

Tuomo Koskimaa

Matalaenergiarakennuksen ilmanvaihdon ja lämmönjaon toiminnan seuranta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

13.5.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Tuomo Koskimaa Matalaenergiarakennuksen ilmanvaihdon ja lämmönjaon toiminnan seuranta 59 sivua + 2 liitettä 13.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaaja(t)	yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Rakennukset ovat siirtymässä kohti energiatehokkuutta melko nopealla aikavälillä. Määräysten vaatiessa perusratkaisuksi energiatehokasta rakennusta tulisi silloin jo tietää, kuinka suunnitella ja rakentaa toimiva kokonaisuus. Energiatehokkuus tuo mukanaan monimutkaisemmat LVI-, sähkö- ja automaatiojärjestelmät, joten näiden järjestelmien suunnittelu, asennus ja käyttö ovat avainasemassa, jotta rakennus olisi energiatehokas.</p> <p>Insinööriyöni käsittelee tutkimusta, jossa on tutkittu vuonna 2011 valmistunutta matalaenergiarakennusta ja sen LVIA-järjestelmien toimintaa. Tämän tutkimuksen tarkoitus oli kerätä mittaustietoa ja käyttökokemuksia rakennuksen taloteknisten järjestelmien toiminnasta. Näiden perusteella esitetään näkökohtia järjestelmien vastaanottovaiheeseen ja käytönaikaiseen seurantaan, sekä suunnitteluvaiheeseen. Tutkimustyössä kertyneistä tuloksista on alkuvaiheessa laadittu kaksi insinööriyötä, joista toinen käsittelee kohteen lämmöntuotantoa ja tämä insinööriyö käsittelee sen ilmanvaihtoa ja lämmönjakoa. Tutkimusta tehtiin kirjallisuusselvityksillä, kenttämittauksilla, haastatteluilla, tutustumisella kohteeseen ja suunnitelmiin sekä simuloineilla.</p> <p>Tutkimuksessa havaittiin, että lämmitysjärjestelmän ja sisälämpötilojen seuranta sekä jatkuva automatiikan säätö ovat tärkeitä, jotta välttyttäisiin turhalta energiankulutukselta. Kohde poikkeaa tavanomaisista rakennuksista ja niiden lämmitysjärjestelmien säädöistä. Monimutkaisten LVI-järjestelmien monimutkainen automatiikka on tärkeässä asemassa, mutta tällöin nämä vaativat aina myös asiantuntevan huoltohenkilön.</p> <p>Tutkimukseen jäi paljon tutkittavaa mm. ilmanvaihtoon. Tämän lisäksi tutkittavaa riittää aina eri vuodenajoille, mutta kun kaikki vuodenaajat on tutkittu, uskon että kohteesta saadaan arvokasta tietoa tulevaisuuden haasteille.</p>	
Avainsanat	matalaenergiatalo, energiatehokkuus, seurantamittaus, lattialämmitys, ylläampö

Author(s) Title Number of Pages Date	Tuomo Koskimaa Monitoring the ventilation and heat distribution of a low-energy building 59 pages + 2 appendices 13 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC engineering, Design Orientation
Instructor(s)	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The purpose of the Bachelor's thesis was to monitor and research the ventilation and heat distribution of a low-energy apartment building. The apartment building with 56 apartments was built in the year 2011 in Lahti. The goal of the monitoring and research was to collect information on the operation of the engineering systems in the building to be utilized in the design, hand-over and use of HVAC systems.</p> <p>Apart from the monitoring results, this Bachelor's thesis was based on literature research, simulations, and interviews conducted to gather user experience.</p> <p>The project proved the importance of monitoring the heating system and temperatures in the apartments, as well as of adjusting the automated systems in these kinds of buildings for cutting excess energy consumption. Complicated systems such as the studied one require competent service personnel. Designers might benefit from the results of this project if they aim at energy-efficient and functional engineering systems, as well as at planning buildings that are able to respond to the challenges of the future.</p>	
Keywords	low-energy building, energy-efficient, measuring, underfloor heating, overheating

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Työn tavoite	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Parantamismahdollisuudet	2
2.3	Energiatehokkuuden todentaminen	3
2.4	Tutkimuksen rajaukset	3
3	Tutkimuskohde	3
3.1	Yleistä tietoa	3
3.2	Energiatehokkuus	4
3.3	LVI-järjestelmät	5
3.3.1	Lämmitysenergian tuotanto	5
3.3.2	Lämmitysjärjestelmä	5
3.3.3	Jäähdytysjärjestelmä	8
3.3.4	Käyttövesiverkosto	9
3.3.5	Ilmanvaihtojärjestelmä	9
4	Tutkimusmenetelmät	12
5	Seurantamittaus	13
5.1	TAC Vista	13
5.2	Mittaukset kohteessa	14
5.2.1	Sisäilmaston perusteita	14
5.2.2	Asuntojen sisäilmastomittaukset	15
5.2.3	Ilmavirtamittaukset	16
5.2.4	Ilmanvaihtokonehuoneen mittaukset	17
5.2.5	Lämmönjakohuoneen mittaukset	18
5.3	Mittaustuloksia	18
5.4	Tulosten tarkastelu	30
6	Laskennallinen energian tarve	40
6.1	Mallinnus	40
6.1.1	Mallinnuksen kulku	40
6.1.2	Tulokset	42

6.2	Energiasimuloinnit	44
6.2.1	Lähtötiedot	44
6.2.2	Simuloinnin kulku	45
6.2.3	Tulokset	47
6.2.4	Tulosten tarkastelu	49
7	Näkökohtia	53
7.1	Suunnitteluvaihe	53
7.2	Vastaanotto ja rakennuksen käyttö	54
8	Yhteenveto	55
	Lähteet	57
	Liitteet	
	Liite 1. A-talon energiasimuloinnin tulosteet	
	Liite 2. B-talon energiasimuloinnin tulosteet	

Lyhenteet

brm ²	Pinta-alayksikkö, bruttoneliö. Lasketaan kunkin kerroksen ulkoseinien ulkopintojen sisäpuolelle jäävä pinta-ala.
IFC	Industry Foundation Classes. Kansainvälinen formaatti, jota käytetään tietomallintamisessa.
LTO	Lämmöntalteenotto. Lämpöä otetaan talteen esim. lämpimämmästä poistoilmasta ja siirretään viileämpään tuloilmaan, jolloin tuloilman lämmitystarve jälkilämmityspatterilla vähenee.
n ₅₀	Ilmanvuotoluvun yhteydessä käytetty liite. Alaindeksi kertoo paine-eron, joka tulee olla rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välillä ilmanvuotolukua mitattaessa. (Esim. rakennuksen mitattu ilmanvuotoluku n ₅₀ = 0,57 1/h: rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu 0,57 kertaa tunnissa, kun sisä- ja ulkopuolen paine ero on 50 Pascalia.)
PPM	Parts per million. Suhteellinen pitoisuusmitta, jota käytetään paljon hiilidioksidipitoisuuden yhteydessä. Kertoo, kuinka monta miljoonasosaa jokin on jostakin.
RakMK	Rakentamismääräyskokoelma. Suomen rakentamismääräyskokoelma koostuu ympäristöministeriön asettamista määräyksistä ja ohjeista.

1 Johdanto

Rakennus- ja LVI-alalla on suuri merkitys, kun puhutaan energiatehokkuudesta, kestävästä kehityksestä, ilmastonmuutoksen hillitsemisestä ja uusiutuvien energialähteiden lisäämisestä. Tämä näkyy Suomen rakentamismääräysten uudistamisista ja tiukentuvista vaatimuksista, niin rakentamiseen kuin LVI-teknisiin järjestelmiin liittyen. Näihin muutoksiin liittyy myös rakentamisen siirtyminen matalaenergiataloihin, myöhemmin passiivienergiataloihin ja lopulta lähes nollaenergiataloihin.

Tutkimuksessa on tutkittu kahden vuonna 2011 Lahteen valmistuneen matalaenergiakerrostalon LVI-teknisten järjestelmien toimintaa talvi- ja kevätkaudella. Ensimmäinen osa tutkimuksesta on tehty vuoden 2013 tammi- ja toukokuun välisenä aikana Lanssikatu 3-5:n kerrostaloille. Tutkimus tulee jatkumaan vuoteen 2014 asti. Tutkimuksen ajankohta on hyvä, sillä määräysten tiukentuessa rakentamisessa ollaan menossa kohti energiatehokasta rakentamista, joten "opettelemiseen" on vielä aikaa. Tutkimuksen rahoittajana on toiminut Tekes, jonka yksi kuudesta SHOK-yhtiöstä on rakentamiseen ja kiinteistöihin liittyvä RYM Oy. Tämä tutkimus kuuluu osana RYM Oy:n sisäympäristöohjelmaan. [1.] Metropolia Ammattikorkeakoulun yhteistyökumppaneina ovat olleet Lahden Talot Oy talon omistajana, Skanska Oy talon rakentajana sekä Schneider Electric rakennusautomaatiojärjestelmän toimittajana ja ylläpitäjänä.

Tutkimustyön tuloksista on laadittu kaksi insinööriyötä. Tässä insinööriyössä käsitellään asuntojen ja yhteistilojen LVI-järjestelmiä eli pääasiassa lämmönjakoa ja ilmanvaihtoa. Toisessa insinööriyössä [2] käsitellään lämmönjakohuoneen LVI-järjestelmiä eli lämmöntuotantoa.

Matalaenergiatalon määritelmäksi vaaditaan, että laskennalliset lämpöhäviöt saavat olla suunnitteluvaiheessa 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Lämmitysenergian kulutus on Pohjois-Suomessa alle 90 kWh/brm² ja Etelä-Suomessa alle 60 kWh/brm². [3.] Vertailun vuoksi kerrotaan, että passiivitalon lämmitysenergiankulutus tulee olla 20–30 kWh/brm² maantieteellisestä sijainnista riippuen [3] ja tämän lisäksi passiivitalon tulee täyttää ilmanvuotoluku $n_{50} < 0,6$ 1/h [4]. Määritelmässä kaikki kWh-lukemat ovat laskennallisia, eli ainoa mitattava määritelmä on ilmanvuotoluku [3].

2 Työn tavoite

2.1 Yleistä

Tässä tutkimuksessa ja insinööriyössä on käytetty pääosin kohteen suunnittelu- ja rakentamisaikaisia rakentamismääräyksiä, vaikka osa on jo tähän hetkeen mennessä korvattu uusilla. Tämä perustellaan sillä, että tutkittavaa rakennusta ja sen toimintaa on verrattava sen aikaisiin määräyksiin.

Minun osuuteni tutkimuksesta oli tutkia kohteen matalaenergiakerrostalojen LVI-järjestelmiä ja niiden käyttäytymistä tammi-maaliskuun välisenä aikana eli talvikauden aikana ja tutustua kohteen suunniteltujen ja toteutettujen LVI-järjestelmien toimintaan. Insinööriyössäni käsitellään talvikautta, mutta myös jossain määrin huhti-toukokuun välistä aikaa eli tutkimuksen kevätkautta. Tarkemmin kevätkautta tullaan käsittelemään jatkossa tehtävissä insinööritöissä. [1.]

Suunnitelmien ja todennetun toiminnan vertailun lisäksi tehtiin myös mallinnuksia ja simuloitteja, jotka tehtiin MagiCAD Room- ja Riuska-ohjelmilla. Simuloinneilla pyrittiin selvittämään tutkimuskohteen käyttäytymistä ja löytämään tavoitteisiin tähtääviä ideoita. Tavoitteena olivat parantamismahdollisuuksien löytäminen ja energiatehokkuuden todentaminen. [1.]

2.2 Parantamismahdollisuudet

Tavoitteena oli löytää parantamismahdollisuuksia tulevaisuudessa rakennettavia rakennuksia varten. Tarkoitus oli kartoittaa, mitä tulisi tehdä toisin ja mitkä ovat hyväksi todettuja ratkaisuja. Tulevaisuudessa energiatehokkaiden rakennusten rakentaminen yleistyy ja lopulta tulee pakolliseksi, joten olisi hyvä tietää ajoissa, miten rakennuksista saadaan energiatehokkaita, ympäristöystävällisiä ja ihmisille turvallisia. [1.]

2.3 Energiatehokkuuden todentaminen

Oleellinen tavoite oli löytää keinoja, kuinka energiatehokkaiden rakennusten toimivuus ja energiatehokkuus voidaan todentaa vielä sen jälkeen, kun ne on suunnitteluvaiheessa kerran saatu täyttymään [1]. Tällä hetkellä ei mittauksia tai todisteita energiatehokkuudesta juurikaan vaadita. Ei myöskään velvoiteta osoittamaan, että energiatehokkuus säilyy silloinkin, kun käyttöön otosta on kulunut viisi tai kymmenen vuotta. Vastaanottovaiheessa tehdään erilaisia toimintakokeita ja tarkastuksia [5, s.1–6], mutta onko riittävästi tietoa, miten monimutkaisten järjestelmien suorituskyky tulee testata ja riittävätkö hetkelliset testaukset varmistamaan energiatehokkaan rakennuksen, mikä kuitenkin olisi kaikkien etu. Tarkoituksena oli selvittää keinoja, kuinka nykyistä vastaanotto- ja käytönaikaista menettelytapaa tulisi kehittää, jotta monimutkaisien LVI-järjestelmien energiatehokas toiminta voitaisiin varmistaa ajan kuluessa. [1.]

2.4 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimuksen osuudessa, jossa itse olen ollut mukana, on tutkittu LVI-järjestelmien toimintaa talvi- ja kevätkaudella eli jäähdytysjärjestelmien toiminta ei sisälly tähän tutkimukseen. Tämän insinööriyön osuus rajoittuu lämmönjakoon, ilmanvaihtoon ja käyttöveteen eli asuntojen ja yhteistilojen LVI-järjestelmien toimintaan talvikauden aikana, mutta jonkin verran tullaan myös käsittelemään kevätkauden toimintaa (ks. luku 4). Toisessa insinööriyössä käsitellään lämmönjakohuonetta ja sen sisältämiä laitteita ja niiden toimintaa eli lämmöntuotantoa [2]. Tutkimuksessa keskityttiin LVI-tekniisiin järjestelmiin, sähkö- tai rakennetekniikkaa ei käsitelty [1.]

3 Tutkimuskohde

3.1 Yleistä tietoa

Tutkimuskohteina olivat vuonna 2011 valmistuneet, Lahdessa Niemen kaupunginosassa sijaitsevat, Lahden Talot Oy:n omistamat Lanssikatun 3–5:n matalaenergiakerrostalot, joihin kuuluvat A- ja B-talo [6]. Näiden bruttoala on noin 4 100 m² [7]. Kohde sisältää yhteensä 56 kpl vuokra-asuntoa, joissa lemmikkieläinten pitäminen on kielletty.

Kiinteistön tontti on savuton. Rakennusten läntinen julkisivu on järvelle päin ja sijainti on noin 200 metrin päässä järven rannasta, tosin rakennusten ja järven välissä on tiheästi rakennettu kerrostaloalue. Kyseisellä puolella on myös suurin osa asunnoista ja kohteen jokaisessa asunnossa on lasitettu parveke. Tontti on rinnetontti ja itäpuolella on vastassa metsäinen rinne. Pohjoispuolella on kaksi kerrostaloa ja eteläpuolella metsää. Kohde on tutkimusmielessä mielenkiintoisessa paikassa, sillä rinteet, metsät ja järvet vaikuttavat aina rakennusten LVI-järjestelmiin ja sisäolosuhteisiin, auringon ja tuulen vaikutuksista johtuen. [6.]

3.2 Energiatehokkuus

Kohde täyttää matalaenergiatalon vaatimat määritelmät [7]. Määritelmäksi vaaditaan, että laskennalliset lämpöhäviöt ovat 85 % vertailuarvoilla lasketusta vertailulämpöhäviöstä [3]. Alla on lueteltu rakennuksen rakennusosien laskennalliset U-arvot [7] ja su- luissa on esitetty RakMK:n osassa C3: 2010 ilmoitetut vertailuarvot [8, s. 5.]:

- Ulkoseinän U-arvo on $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($0,17 \text{ W/(m}^2\text{K)}$).
- Yläpohjan U-arvo on $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$).
- Maanvaraisen alapohjan U-arvo on $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$).
- Ikkunan U-arvot on $0,76 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$).
- Ulko-oven U-arvo on $1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Rakennusten lämpöhäviöt tulee aina osoittaa tasauslaskelmalla. Laskelma tehdään lämpimille ja puolilämpimille tiloille erikseen. Yhden rakennusosan ylittynyt U-arvo ei vaikuta kokonaisuuteen, mikäli huolehditaan, että muilla U-arvoilla voidaan alentaa kokonaislämpöhäviöt vertailulämpöhäviöön verrattuna. [9, s. 10.] Kohteessa on suuret ikkuna pinta-alat, ja näiden U-arvo on reilusti alle vertailuarvojen. Myös ulkoseinien U-arvot alittavat vertailuarvot. Muiden rakennusosien osuus pinta-alasta on suhteellisen pieni, joten lämpöhäviöihin niillä on vain pieni vaikutus, vaikka U-arvo ylittyisikin

vertailuarvoihin nähden. Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhteen suunnittelu-arvo on 57 % ja vertailuarvo 30 %. [7.] Tutkimuskohteen ilmanvuotoluku n_{50} on 0,5 [10, s. 4].

Energiatehokkuutta on pyritty saamaan myös lasitetuilla parvekkeilla, joiden on tutkittu tuovan lämmitysenergian säästöä varsinkin vanhemmissa rakennuksissa [11, s. 143].

Sähkönkulutusta on pienennetty liiketunnistimilla varustetuilla valaisimilla märkätiloissa ja käytävillä ja asuntojen eteisissä sijaitsevilla poissaolokytkimillä, jotka katkaisevat asunnosta sähköt lukuun ottamatta mm. jääkaappia ja tiettyjä pistorasioita [6]. Hissin jarrutusenergian syöttämisellä sähköverkkoon on saatu myös säästöä sähkönkulutukseen [12].

3.3 LVI-järjestelmät

3.3.1 Lämmitysenergian tuotanto

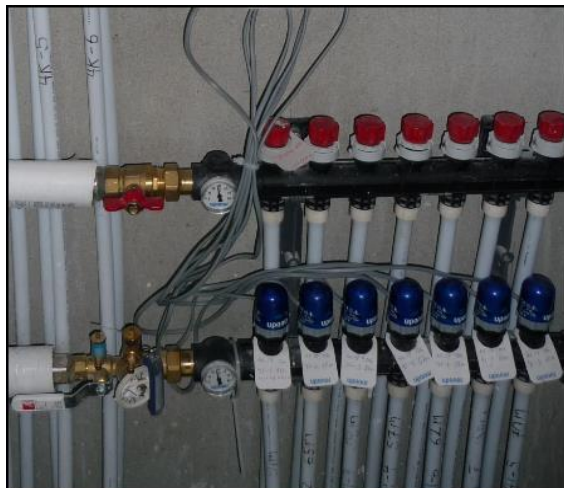
Lämmitysenergia tuotetaan B-talon lämmönjakohuoneessa kahdella maalämpöpumpulla, joiden kummankin teho on hieman alle 60 kW. Tämän lisäksi lämpöä tuotetaan aurinkokeräimillä, joita on B-talon vesikatolla 20 kpl ja yhden keräimen pinta-ala on noin 2 m². [13.] Maalämpöpumput ja aurinkokeräimet lämmittävät kahta hybridivaraajaa, joiden tilavuus on 2 500 litraa ja käyttöveden lämmittämiseen on apuna sähkövastukset, koska kohteen maalämpöpumput eivät pysty suuria määriä lämmintä käyttövettä lämmittämään. [7.]

3.3.2 Lämmitysjärjestelmä

Lämpö jaetaan asuntoihin lattialämmityksen avulla [7], koska maalämpöpumppujen lämpökerroin saadaan korkeammaksi, kun lämmönjako tapahtuu mahdollisimman matalassa lämpötilassa [14, s. 11].

Lämpöjohdot menevät A-taloon putkielementeissä, kuten myös käyttövesi- ja jäähdytysputketkin. Lämpöjohdot kulkevat 1. kerroksen katossa ja nousevat A- ja B-talojen porrashuoneissa keskeisellä kohdalla ylimpään kerrokseen. Jokaisessa kerroksessa

nousujen haarat ovat varustettu huoltokaapilla, jossa ovat mm. jakotukit ja termomoottorit (kuva 1) ja vuotovesiallas, jota ei kuvassa 1 ole esitetty. [6.]



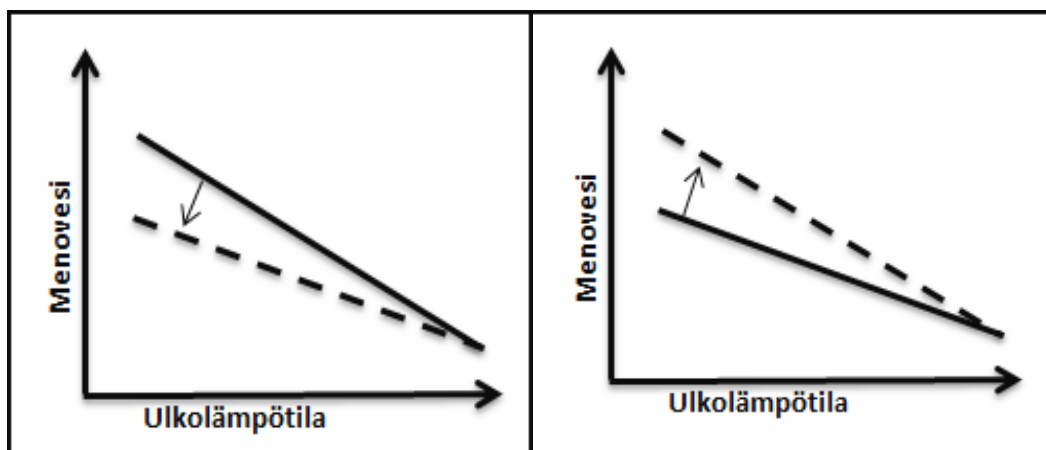
Kuva 1. Käytävän huoltokaappi.

Lattialämmitysverkostoja on kaksi: huoneistojen verkosto ja märkätilojen verkosto. Asukas voi asettaa jokaiselle huoneelle lämpötila-asetuksen [7.]. Asukas voi asettaa halutun huonelämpötilan ennalta määrättyjen ala- ja ylärajojen välillä huonelämpötilanturilla. Huoneissa sijaitsevilta antureilta lähtee viesti jakotukkien vieressä sijaitsevalle säätimelle, joka ohjaa termomoottorilla piirikohtaista venttiiliä, joko avautumaan tai sulkeutumaan, tilanteesta riippuen. Jokaisessa huoneessa sijaitseva anturi mittaa huonelämpötilaa ja mikäli se on matalampi kuin asukkaan asettama lämpötila-arvo, termomoottori avaa venttiiliä ja vesivirta lattialämmityspiirissä kasvaa. Lämpötilan ollessa korkeampi kuin haluttu lämpötila termomoottori sulkee venttiiliä. [12.]

Lämmitysverkosto mitoitetaan aina huipputehon mukaan eli kylmimmän esiintyvän ulkolämpötilan mukaan. Monissa rakennuksissa lämmöntarve on suoraan verrannollien sisä- ja ulkolämpötilan erotukseen. Tällöin lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötilaa säädetään jatkuvasti ulkolämpötilan mukaan säätökäyrän mukaisesti. Säätökäyrä kertoo ulkolämpötilan ja menoveden riippuvuuden. Tämä tarkoittaa, että tietyllä ulkolämpötilalla lämmitysverkoston menovesi on tietyn lämpöistä. Säätökäyrää muuttamalla voidaan vaikuttaa menoveden lämpötilaan ja tarvittaessa korjata rakennuksen sisäpuolella ilmenevää yli- tai alilämpöä. [15, s. 185.] Tätä on havainnollistettu kuvissa 2, 3 ja 4.

Kuvan 2 tapauksessa kovilla pakkasilla huonelämpötilat ovat liian korkeat. Loivennetaan säätökäyrää katkoviivan mukaiseksi, jolloin menoveden lämpötila on vähemmän lämmintä kovilla pakkasilla. [15, s. 186.]

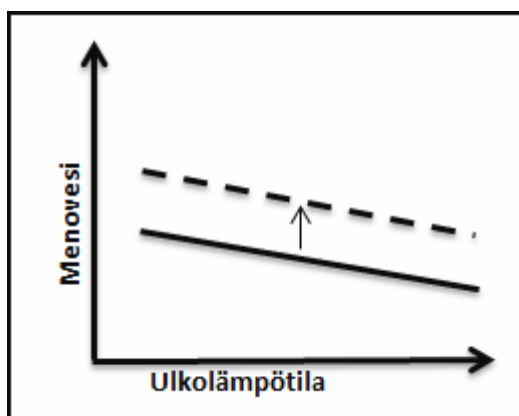
Kuvan 3 tapauksessa kovilla pakkasilla huonelämpötilat ovat liian matalat. Lisätään säätökäyrän jyrkkyyttä katkoviivan mukaiseksi, jolloin menovesi on entistä lämpimämpää kovilla pakkasilla. [15, s. 186.]



Kuva 2. Säätökäyrän loiventaminen.

Kuva 3. Säätökäyrän jyrkkyyden lisääminen.

Kuvan 4 tapauksessa huonelämpötilat ovat aina liian matalat. Nostetaan säätökäyrää tasaisesti ylöspäin katkoviivan mukaiseksi, jolloin menoveden lämpötila nousee kaikilla ulkolämpötiloilla. Vastaavasti huoneissa ilmenevä yllämpö, joka ilmenee kaikilla ulkolämpötiloilla, saadaan korjattua laskemalla säätökäyrää tasaisesti alaspäin. [15, s. 185.]



Kuva 4. Säätökäyrän nostaminen.

Tutkimuskohteen märkätilojen lämmitystä säädetään edellä esitettyjen kuvien mukaisesti, mutta muiden tilojen lämmityksessä käytettävä 3-pisteen säätökäyrä on järjestelmän jatkuvassa automaattisessa optimoinnissa B-talon mittauksien perusteella ja tämä poikkeaa tavanomaisesta säätökäyrästä. Tämän optimoidun säätökäyrän avulla lämmitysjärjestelmään syötetään sen lämpöistä vettä kuin olosuhteet vaativat. Esim. mikäli lähes kaikki lämmityspiirien venttiilit ovat vain alle 20 % auki, tämä tarkoittaa, että menoveden lämpötila on liian korkea ja säätökäyrää lasketaan. Mikäli lähes kaikki lämmityspiirien venttiilit ovat yli 80 % auki, tämä tarkoittaa, että menoveden lämpötila on liian matala ja säätökäyrää nostetaan. Optimoinnin tarkoitus on saada venttiilit toiminaan 20–80 % käyttöalueen välillä, koska tämä alue on säädön kannalta parhaaksi todettu käyttöalue. Tämän automaattisen 3-pisteen säätökäyrän tarkoitus on huolehtia, että säätökäyrä on aina ajantasainen. [12.]

3.3.3 Jäähdytysjärjestelmä

Tavallisesti jäähdytysenergian eli kylmän tuottamiseen tarvitaan kylmäkoneisto. Kylmäprosessiin tarvitaan pääkomponenteiksi lauhdutin, paisuntalaite, höyrystin ja kompressori. Kylmäaine höyrystyy höyrystimessä sitoen lämpöä ympäristöstä. Tämän jälkeen höyrystynyt kylmäaine menee kompressorille, jossa kompressori puristaa höyryn korkeaan paineeseen nostaen kuumakaasun lämpötilaa. Lauhduttimessa tämä kuumakaasu luovuttaa lämpöenergiansa ympäristöön ja höyry nesteytyy eli lauhtuu. Paisuntalaitteen tarkoitus on laskea paine alas. Samalla osa kylmäaineesta höyrystyy ottaen tähän tarvittuun energian aineesta itsestään. Seuraavaksi matalassa paineessa ja lämpötilassa oleva neste ja höyryn seos menee höyrystimelle ja kiertäminen alkaa alusta. [14, s. 10.] Tätä prosessia voidaan käyttää hyväksi lämmöntuotossa esim. maalämpöpumpussa ja kylmäntuotossa esim. jääkaapissa [16]. Laite, jota halutaan käyttää sekä jäähdytykseen että lämmitykseenkin, tulee varustaa 4-tie vaihtoventtiilillä, joka mahdollistaa päinvastaisen kylmäprosessin [17].

Tutkimuskohteessa jäähdytysenergia otetaan jäähdytyksen lämmönsiirtimelle porakaivoista vapaan jäähdytyksen periaatteella eli ilman kylmäprosessia. Tarkemmin sanottuna lämpöä siirretään jäähdytysverkoston liuoksesta maapiirin liuokseen, joka johdetaan maalämpöpumpun kautta porakaivoon. Liuos, joka virtaa porakaivoista jäähdytyksen lämmönsiirtimen kautta maalämpöpumpuihin, tarvitsee vain pumppausenergiaa. Tämä on ainoa energia, joka tarvitsee tuottaa, jotta jäähdytysverkoston neste saa-

daan viilenemään, joten jäähdytysjärjestelmä toimii ainoastaan pumppujen vaatimalla energialla, joka on suhteellisen pientä. [7.] Liuoksen lämmittäminen jäähdytyslaitteella jäähdytyskauden ulkopuolella ennen maalämpöpumppuihin menemistä [7] parantaa maalämpöpumppujen toimintaa, koska mitä matalampi on lauhtumislämpötila ja mitä korkeampi on höyrystymislämpötila, sitä parempi on lämpökerroin. [14, s. 11.]

Kerrostalojen asuntoihin jäähdytysteho tuodaan lattialämmitysputkistoja hyväksikäyttäen ja ilmastoinnin kautta. Ilmastointikoneissa on jäähdytyspatteri, jonka avulla tuloilmaa saadaan jäähdytettyä ja kesäaikaan tuloilman lämpötila pystytään pitämään 18 °C:ssa. [7.] Ilmavirrat on mitoitettu henkilömäärään mukaan [7], joka on RakMK osan D2: 2010 mukaan vähintään 6 l/s henkilöä kohden [18, s. 10]. Pienistä ilmavirroista johtuen jäähdytysteho jää vaatimattomaksi. Toisaalta ilmastoinnin kautta tuotu jäähdytysteho hidastaa asuntojen lämpenemistä ja kuivattaa ilmaa, mitkä saavat aikaan paremmat sisäolosuhteet. [14, s. 236.]

Kesäaikaan lattialämmityksen piirejä käytetään viilennykseen kierrättämällä niissä samaa vettä, joka kiertää myös ilmastointikoneiden jäähdytyspattereissa. Lattiaviilennyksen ohjeasetusarvot ovat menevälle nesteelle 20 °C ja palaavalle nesteelle 24 °C. [7.]

3.3.4 Käyttövesiverkosto

Kaikki asunnot ovat varustettu asuntokohtaisilla etäluettavilla vesimittareilla, jotka ovat sijoitettu eteisiin tai märkätiloihin asunnosta riippuen [7]. Nykyisten Suomen rakentamismääräysten mukaan 3.1.2011 lähtien jokainen kiinteistö, jossa on useampi kuin yksi asunto, tulee varustaa huoneistokohtaisilla vesimittareilla, kylmälle ja lämpimälle vedelle erikseen. Tämä mahdollistaa vedenkulutuksen mittaamisen huoneistokohtaisesti, jota voidaan käyttää laskutuksen perusteena. [19.] Asuntokohtainen vedenmittaus vähentää vedenkulutusta keskimäärin noin 30 % [20].

3.3.5 Ilmanvaihtojärjestelmä

Asuntojen ilmanvaihto on toteutettu kohteessa yhteisillä ilmanvaihtokoneilla, joka palvelevat vain asuntoja. Saunalle ja porrashuoneelle on molemmille erilliset IV-koneet ja hissikuilulle ja irtaimistovarastolle huippuimurit. Näiden lisäksi on radon-imuri, joka hoi-

taa alapohjan tuuletuksen eli radonin poistamisen vesikaton kautta ulos. Molempien rakennusten ilmanvaihto on toteutettu samalla periaatteella. [7.]

Asuntojen ilmanvaihtokoneeksi on valittu Kair 9000M-VP, joka on varustettu jäähdytyspatterilla. Jäähdytykseen tarvittava energia saadaan porakaivoista vapaan jäähdytyksen periaatteella (ks. luku 3.3.3). [7.]

Ilmanvaihtokoneen LTO on levylämmönsiirrin [7], jolloin keittiöiden liesikuvut on voitu yhdistää muiden asuintilojen kanssa samaan ilmanvaihtokoneeseen. Rakentamismääräysten mukaan yhdistämisen tulee tällöin tapahtua kyseisen ilmanvaihtokoneen palvelmien tilojen yläpuolella olevaan kokoojakanavaan. [18, s. 15.] Pyörivässä LTO:ssa tapahtuu aina vähän epäpuhtauksien siirtymistä poistoilmasta tuloilmaan [21, s. 67], jolloin keittiöiden liesien poistokanavat olisi vietävä katolle omille huippuimureilleen, jotta välttyttäisiin ruoanlaiton aiheuttamien epäpuhtauksien pääsylvästä asuinhuoneistoihin tuloilman mukana [18, s. 14].

Raitisilman lämpötilan nostaminen on kohteessa toteutettu siten, että kun raitisilman lämpötilaa halutaan nostaa, otetaan ensimmäisenä LTO käyttöön ja jäähdytyspatteri jätetään päälle. Tämän tarkoitus on siirtää lämpöä mahdollisimman paljon poistoilmapuolelta tuloilmapuolelle, josta lämpö siirtyy jäähdytyspatterin kautta maapiiriin ja tällöin maalämpöpumpun käyttöön. [12.] Tämä toiminto on käytössä niin kauan, kun LTO:sta saatava lämpö riittää pitämään tuloilman lämpötilan LTO:n jälkeen yli 18 asteessa, koska ainoastaan tällöin lämpö siirtyy maapiiriin. Tuloilman lämpötila jäähdytyspatterin jälkeen tulee olla 18 astetta. Kun LTO:sta saatava lämpö ei riitä pitämään tuloilman lämpötilaa LTO:n jälkeen yli 18 asteessa, jäähdytyspatteri otetaan pois käytöstä ja lämmityspatteri otetaan käyttöön. Useimmissa rakennuksissa tämä on toteutettu niin, että tuloilman pitämiseksi asetusarvossaan ensimmäisenä suljetaan jäähdytys, sitten LTO otetaan käyttöön ja viimeisenä lämmityspatteri otetaan käyttöön. [1.]

Ilmanvaihtokanavat kulkevat asuntoihin Elpo-hormien kautta [7]. Elpo-hormit ovat tehdasvalmisteisia betonirunkoisia tekniikkaelementtejä, joihin saadaan tarpeen mukaan nousuja vesi- ja lämpöputkille sekä ilmanvaihtokanaville. Nämä asennetaan aina runkorakenteiden kanssa yhtä aikaa. [22.] Tulo-, poisto- ja keittiön poistokanaville on omat nousunsa ja jokaiselle asunnon kohdalla on 1–2 kpl Elpo-hormia, asunnon mallista

riippuen. Asuntojen tuloilman päätelaitteet ovat Fläkt Woods STI- ja KTI-mallisia ja poistoilman päätelaitteet ovat KSO-mallisia. [7.]

Saunalle ja porrashuoneelle ovat omat erilliset ilmanvaihtokoneet. Koneet ovat mallia Kair Comfort (kuva 5). Nämä koneet sijaitsevat ilmanvaihtokonehuoneessa. [7.]



Kuva 5. Saunan ja porrashuoneen IV-koneet.

Kuva 6. Porrashuoneen tuloilmalaitteet.

Porrashuoneen ilmanjaon periaate on, että tuloilma tuodaan alhaalta (kuva 6) ja poistoilma otetaan ylhäältä, jolloin ilmavirta huuhtelee mahdollisimman hyvin koko porrashuoneen [7]. Tutkimuskohteen ilmanvaihtokoneet on lueteltu taulukossa 1.

Taulukko 1. Ilmanvaihtokoneet.

Talo	IV-kone	Valmistaja	Malli	Palvelu-alue	Tuloilma-virta l/s	Poistoilma-virta l/s
A	TK01	Kair	9000M VP+JP	Asunnot	771	833
A	TK02	Kair	Comfort 100 VP	Porras	60	40
A	TK03	Kair	Comfort 130 VP	Sauna	64	65
B	TK04	Kair	9000M VP+JP	Asunnot	790	851
B	TK05	Kair	Comfort 100 VP	Porras	60	40
B	TK06	Kair	Comfort 130 VP	Sauna	64	65

4 Tutkimusmenetelmät

Tutkimus aloitettiin tekemällä selvitystä, kuinka paljon löytyy kirjallisuutta ja tietoa aiheesta. Todettiin, että saatavilla on todella vähän Suomen oloissa tehtyjä tutkimuksia, joissa olisi selvitetty energiatehokkaiden rakennusten käyttäytymistä ja niiden LVI-järjestelmien toimintaa.

Tutkimus jakautui kahteen mittauskauteen: talvi- ja kevätkauteen. Tämä tutkimus käsittelee pääasiassa talvikauden mittaustuloksia, mutta jossain määrin kevätkauden mittaustuloksia on käytetty varmentamaan talvikauden mittaustuloksia. Molemmissa mittauskausissa teimme lähes samanlaisia mittauksia kohteessa. [1.]

Tutkimusta varten pyydettiin tarpeelliset suunnitelmat, laskelmat ja muut tiedot kohteesta, joita tarvitsee käyttää aina tutkimuksen edetessä tutkimustyön rinnalla. LVIA-suunnitelmat ovat lähes välttämättömät tämänkaltaisissa tutkimuksissa, jotta on riittävästi tietoa siitä, kuinka rakennusten on suunniteltu toimivan. [1.]

Tutkimuskohteen mittaustuloksia on saatavilla TAC Vista -järjestelmän kautta [23], mutta tutkimuksessa kuitenkin tehtiin kaksi viikon mittaista mittausjaksoa. Kenttämittauksien tarkoitus oli varmentaa TAC Vistan mittaustulokset ja mitata niitä suureita, joita TAC Vistasta ei ollut saatavilla [1]. Mittaustuloksia esitellään luvussa 6. Kenttämittauksia tehtiin asunnoissa, porrashuoneissa, lämmönjakohuoneessa ja ilmanvaihtokonehuoneissa. Mitattavia asuntoja oli yhteensä 13. [6.]

Tutkimukseen sisältyi kohteen järjestelmäasiantuntijan Jani Miettisen haastattelut, jolta saimme paljon käytännön tietoa kiinteistöjen toiminnasta. Haastattelut tapahtuivat kenttämittauksien yhteydessä. Hän myös avusti TAC Vista -järjestelmän valvomon käytössä. [12.]

Mittausten lisäksi kohdetta tutkittiin myös mallinnuksen ja simulointilaskelmien avulla. Kohde mallinnettiin MagiCAD Room -ohjelmalla, minkä jälkeen simulointeja jatkettiin Riuska-ohjelmalla (ks. luku 5).

Tutkimusryhmän keskinäisissä tapaamisissa pyrittiin saamaan ideoita ja ajatuksia ylös. Tapaamisissa mietittiin, mitä olemme tähän mennessä selvittäneet, löytyykö mitään tavoitteisiin tähtäviä ideoita ja miten tulemme jatkamaan tutkimusta eteenpäin. [1.]

5 Seurantamittaus

5.1 TAC Vista

Tutkimuskohteen LVI-järjestelmiä valvotaan TAC Vista -järjestelmän kautta. TAC Vista -järjestelmä kerää mittaustietoa valvomoon mittausantureista ja antureita on kohteeseen sijoitettu paljon enemmän kuin tavanomaisesti sijoitetaan. Alapuolella on lueteltu TAC Vista -järjestelmän valvomoon tulevat mittaustiedot [23]:

- huonelämpötilojen asetus- ja mittausarvot
- ilmanvaihtokoneiden tulo- ja poistoilman lämpötilat ja lämmityspatterin veden lämpötilat
- aurinkokeräinpiirin lämpötiloja, tuotettu energiamäärä ja pumpun virtaama
- maalämpöpumppujen lämpötiloja, tieto kompressorien päällä olosta
- varaajien lämpötiloja
- porakaivojen lämpötilat eri syvyyksistä
- raakaveden lämpötila
- rakenteiden lämpötiloja
- ulkolämpötilat.

Näiden lisäksi valvomoon saadaan myös tieto kiertovesipumppujen päällä olosta, 3-tieventtiilien avautumisprosentista ja sähkövastusten käytöstä [23].

5.2 Mittaukset kohteessa

5.2.1 Sisäilmaston perusteita

Sisäilmasto tarkoittaa rakennuksen ympäristökijöitä, joilla on vaikutusta ihmisten terveyteen, hyvinvointiin ja viihtyvyyteen. Lämpötilat suhteellinen kosteus ja ilmavirtojen liikenopeus vaikuttavat kehon lämmönluovutukseen ja näin ovat ratkaisevassa asemassa siinä, miten viihtyisäksi ihminen tuntee olonsa sisätiloissa. [24.]

Lämpötila on sisäilmaston suureista tärkein. Sopiva lämpötila on aina yksilöllinen asia ja siihen vaikuttavat monet seikat. Keskimäärin ihmiset pitävät sopivana lämpötilana talvella 20–22 astetta, vaikka tässäkin lämpötilassa 10–30 % pitää oloansa epämukavana. Teknillisen korkeakoulun tutkimuksen mukaan oireilut lisääntyvät, kun lämpötila nousee yli 22 asteeseen, joten sisälämpötilan pudotus onkin helpoin tapa vähentää oireilua. [25.] Usein puhutaan myös operatiivisesta lämpötilasta. Tämä tarkoittaa lämpötilan ja ympäröivien pintojen säteilylämpötilojen keskiarvoa eli operatiivinen lämpötila kuvastaa paremmin sitä, miten ihminen tuntee lämmön tai vedon. Esim. talvella isojen ikkunoiden lähellä saattaa usein tuntua viileältä, vaikka lämpömittarin osoittama lukema olisikin korkea. Tämä johtuu siitä, että em. tapauksessa operatiivinen lämpötila on matalampi kuin mitattu lämpötila. [26, s. 10.] Operatiivinen lämpötila saadaan laskukaavoilla [27, s. 13].

Ilmanvaihdon tehtävä on poistaa epäpuhtaudet, joita syntyy rakennuksesta, ihmisistä ja ihmisten toiminnasta, sekä tuoda ihmisiä varten puhdasta ilmaa. Ihmisten tarvitsema hapen määrä on vain murto-osa tarvittavasta kokonaisilmamäärästä. [28.] Hiilidioksidipitoisuutta pidetään usein ihmisten aiheuttamien epäpuhtauksien esiintymisen mittarina, joka tarkoittaa, että kun asunnossa on korkea hiilidioksidipitoisuus, myös muita epäpuhtauksia on tällöin paljon. Huoneilma voi tuntua tunkkaiselta, jos hiilidioksidipitoisuus on yli 1 200 ppm ja yli 1 500 ppm ei ole enää terveydensuojelulain vaatimukset täyttävä pitoisuus. [26, s. 22.] Suomen sisäilmaluokituksen parhaan sisäilmaluokan S1 täyttämiseksi vaaditaan hiilidioksidipitoisuuden osalta, että sen enimmäistaso tulee olla

750 ppm [29]. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on tänä vuonna noin 400 ppm, ja se kasvaa noin 2 ppm vuodessa [30].

5.2.2 Asuntojen sisäilmastomittaukset

Mittasimme asunnoissa lämpötilaa, hiilidioksidia ja kosteutta. Mittauslaitteiden rajallisuudesta johtuen kaikkia edellä mainittuja suureita ei mitattu jokaisesta asunnosta. Asunnot valittiin sijainnin ja koon perusteella mahdollisimman monipuolisesti. Seurantamittaukset kestivät keskimäärin viikon jokaisessa asunnossa. Mittarit jätettiin olosuhteiden ja asukkaiden toiveiden mukaisesti mahdollisimman keskeiselle paikalle, jotta tulokset mahdollisimman hyvin kuvaisivat tilannetta oleskelualueella. [6.]

A-talon mittauksissa käytettiin Wirepas-mittausantureita (kuva 7), jotka toimivat paristoilla ja pidempikestoisissa mittauksissa laturiin kytkettynä. Anturit lähettävät mittaustietoa reaaliajassa verkkoon, josta ne olivat nähtävillä kännykällä tai tietokoneella. Antureita sijoitettiin asuntoihin ja porrashuoneisiin. [6.]

B-talon mittauksissa käytettiin TSI-monitoimimittareita. Nämä mittarit ovat paristolla tai verkkovirralla toimivia mittareita, jotka vaativat hieman suuremman tilan kuin Wirepas-mittausanturit. Nämä mittarit mittaavat mm. lämpötilaa, hiilidioksidia ja suhteellista kosteutta, ja mittarien mittaama tieto siirtää mittausjakson päätyttyä tietokoneelle kaapelin avulla. [6.]

Yhden asunnon lasitetulle parvekkeelle jätimme viikon ajaksi Squirrel Data Loggerin (kuva 8). Tähän laitteeseen voidaan kytkeä useampi lämpötila-anturi, jonka ansiosta pääsimmekin mittaamaan lasitetun parvekkeen lämpötilaa useammista eri pisteistä. [6.]

Mittasimme muutamissa asunnoissa pintalämpötiloja lattia-, katto- ja seinäpinnoista. Katon lämpötila on yleensä tasainen. Lattian ja seinän lämpötilat voivat vaihdella mittauskohdista riippuen, koska lattialämmityksen lämmönluovutus saattaa olla epätasainen ja huoneissa on usein lämpötilakerrostumia. [6.]



Kuva 7. Wirepas-anturi.

Kuva 8. Squirrel Data Logger.

5.2.3 Ilmavirtamittaukset

Ilmavirtamittaukset suoritettiin 13 asunnon jokaisesta päätelaitteista ja liesikuvuista. Ilmanvaihtokonehuoneen säätöpelleistä mitattiin runkokanavien ilmavirtoja [6].

Ilmavirtamittaukset tapahtuivat mittaamalla ensin paine-ero (Pa), josta saatiin laskukaavojen tai diagrammien avulla ilmavirrat (l/s) [6].

Asuntojen ilmavirtamittauksiin käytettiin TSI-paine-eromittaria (kuva 10) ja päätelaitteiden vaatimia mittaussondeja. Tuloilman päätelaite on esitetty kuvassa 9. Päätelaite on Fläkt Woods Oy:n STI-malli. Irrottamalla lautasen keskellä oleva nasta päästään työntämään mittauslaite sisälle, jolloin päästään mittaamaan paine-ero (Pa).

Liesikupujen ilmavirtojen mittaus suoritettiin normaalilla ja tehostetulla ilmavirralla. Normaalin ilmavirran mittaus tapahtui yhdellä letkulla asettamalla letku min-tarralla varustettuun mittausyhteeseen. Tämän jälkeen kirjattiin paine-ero (Pa) ja auki olevien reikien määrä. Tehostetun ilmavirran mittaus tapahtui säätämällä liesikupu tehostustilaan, jonka jälkeen letkut asetettiin molempiin mittausyhteisiin. Tämän jälkeen kirjattiin paine-ero (Pa) ja auki olevien reikärievien määrä. Auki olevat reiät kertovat liesikuvun säätöasennon, jota tarvitaan paine-eron lisäksi, kun ilmavirta katsotaan diagrammista. [6.]

Säätöpeltien ilmavirtamittaukset tapahtuivat säätöpelleissä olevien mittausyhteiden avulla ensin mittaamalla paine-ero säätöpellin yli ja sitten laskemalla ilmavirta laskukaavan tai diagrammin avulla [6].



Kuva 9. Tuloilman päätelaite.

Kuva 10. Paine-eromittari ilman mittaussondeja.

Ilmavirtamittauksien tarkoituksena oli verrata mittauksia suunnitelmiin ja todeta ilmanvaihdon toiminta ja riittävyys. [6.] RakMK osan D2 mukaan mitatut ilmamäärät saavat poiketa huonekohtaisesti $\pm 20\%$ ja järjestelmäkohtaisesti $\pm 10\%$. [18, s. 26.]

5.2.4 Ilmanvaihtokonehuoneen mittaukset

Ilmanvaihtokonehuoneessa tehtiin mittauksia myös ilmanvaihtokoneille. Ilmanvaihtokoneista mitattiin tuloilman lämpötilaa ennen lämmityspatteria ja lämmityspatterin jälkeen. Lisäksi mitattiin poistoilman lämpötilaa ennen lämmöntalteenottokennoa ja lämmöntalteenottokennon jälkeen. Raitisilman lämpötilaksi oletettiin sama kuin ulkoilman lämpötila, joten sitä ei erikseen mitattu. [6.]

5.2.5 Lämmönjakohuoneen mittaukset

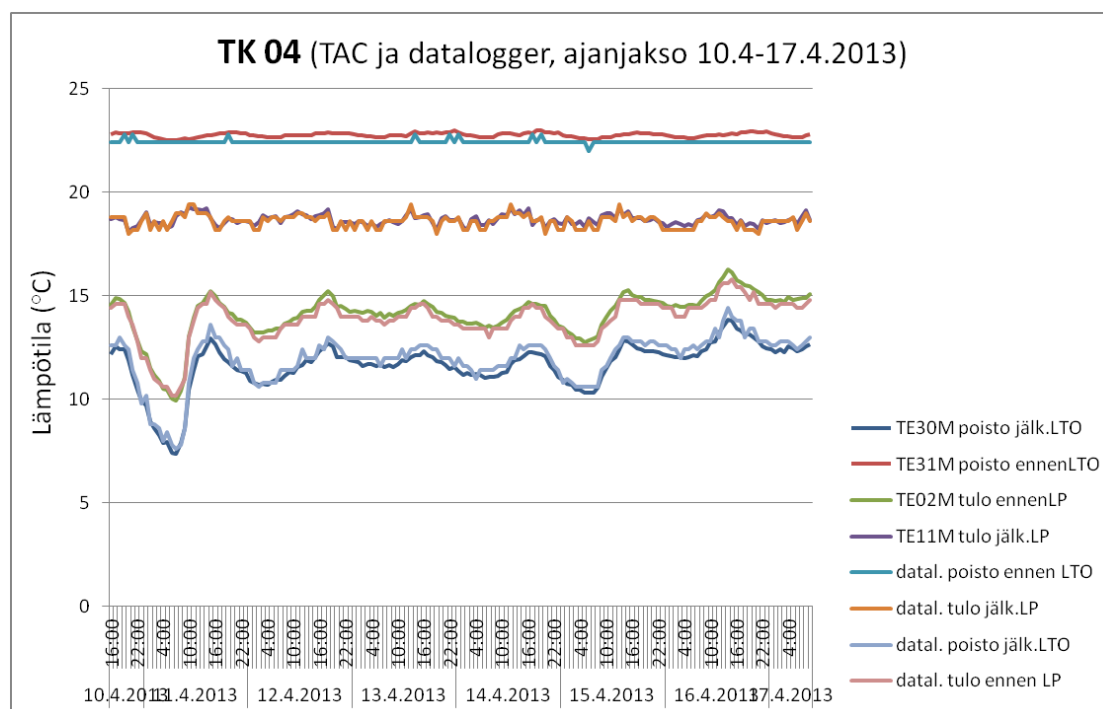
Lämmönjakohuoneessa mittasimme seurantamittauksena maalämpöpumppujen maa- ja lauhdepiirin lämpötiloja, lattialämmityspiirien lämpötiloja ja lämminvesivaraajille menevä veden lämpötiloja. Mittauksissa käytettiin Squirrel Data Loggeria, jonka avulla saatiin monta yhtäaikaista mittauspistettä samasta järjestelmästä. [6.]

Lämmönjakohuoneessa tehtiin myös hetkellisen lämpötilan mittauksia, jonka tarkoituksena oli saada mittaustuloksia mahdollisimman monelta mittausanturilta tulosten varmistamiseksi. [6.]

Lämmönjakohuoneen mittausten tuloksia käsitellään erillisessä insinööriyössä (Paulus Huhtala, Matalaenergiarakennuksen lämmöntuotantojärjestelmien toiminnan seuranta).

5.3 Mittaustuloksia

Tutkimuksessa todettiin, että Squirrel Dataloggerilla mitatut lämpötilat ja TAC Vista -järjestelmän lämpötilat vastasivat riittävällä tarkkuudella toisiaan. Ilmanvaihtokoneen TK04 omat seurantamittaukset ja saman ajankohdan tulokset TAC Vista -järjestelmästä on esitetty kuvassa 11.

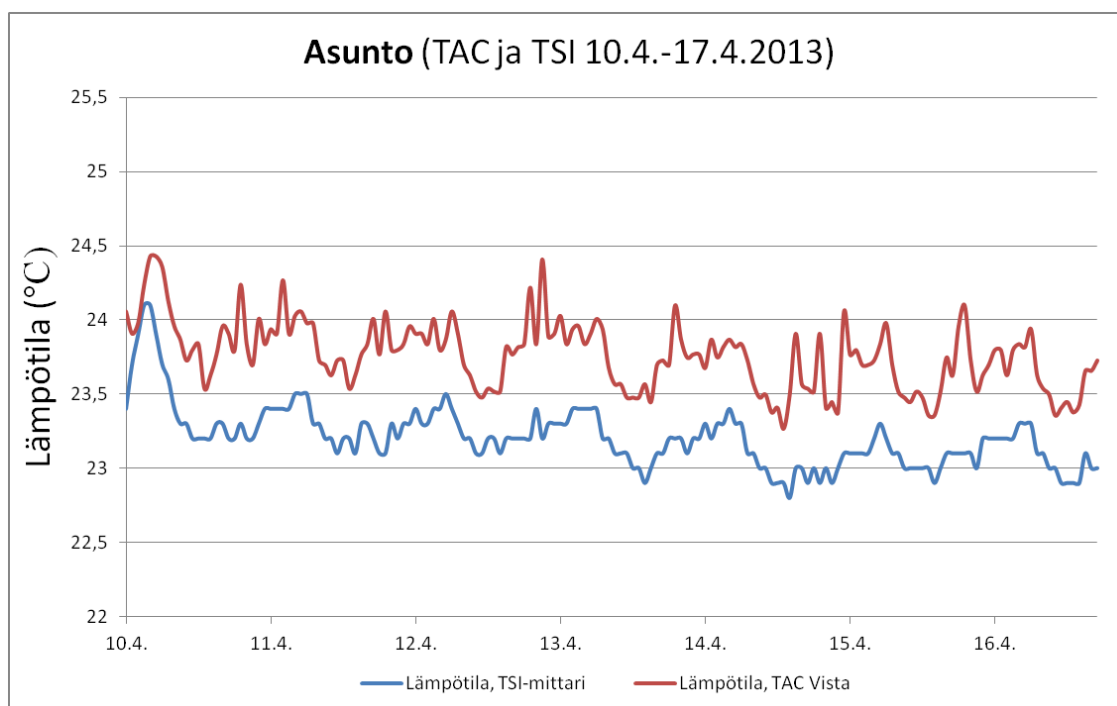


Kuva 11. TK04:n lämpötilamittaukset.

Mittaustulokset on tässä luvussa esitetty järjestyksessä:

- asuntojen sisäilmastomittaukset
- asuntojen lattialämmityspiirien mittaukset
- ilmamäärämittaukset
- ilmanvaihtokoneiden mittaukset.

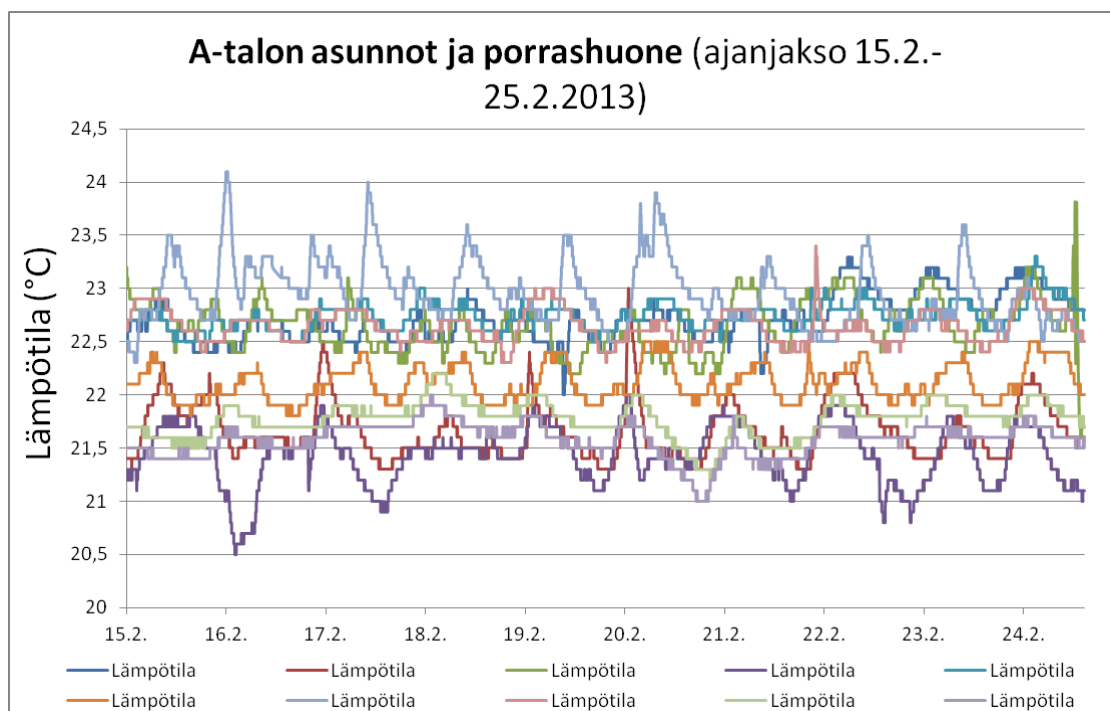
Lämpötilamittauksia tehtiin A- ja B-talossa. Erään asunnon lämpötiloja seurattiin TSI-monitoimimittarilla ja saman ajanjakson lämpötila-arvot otettiin TAC Vista-järjestelmästä. Näitä verrataan kuvassa 12.



Kuva 12. Asunnon lämpötilamittaukset.

Kuvasta 12 huomataan, että TAC Vista -järjestelmän lämpötilat ovat hieman korkeampia, kuin TSI-monitoimimittarilla mitatut lämpötilat. Lämpötilojen erot olivat ajanjakson aikana keskimäärin 0,6 °C. Huomioitava on, että antureita ei voitu käytännöllisistä syistä laittaa vierekkäin. TAC Vista -järjestelmä mittaa lämpötilaa huonelämpötila-anturien kohdalla, jotka ovat seinässä 1,5-2 metrin korkeudella, ja TSI-monitoimimittarit vaativat aina alustan esim. pöydän tai hyllyn. Mittaustulokseen vaikuttaa aina, missä ja kuinka korkealla anturi sijaitsee. Mitä lähempänä kattoa ollaan, sitä lämpimämpää on ilma [31].

A-talon mitattujen asuntojen ja porrashuoneen lämpötilat seurantajakson ajalta on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. A-talon asuntojen ja porrashuoneen lämpötilat.

Ulkolämpötilan käyttäytyminen seurantajakson ajalta on esitetty kuvassa 14.

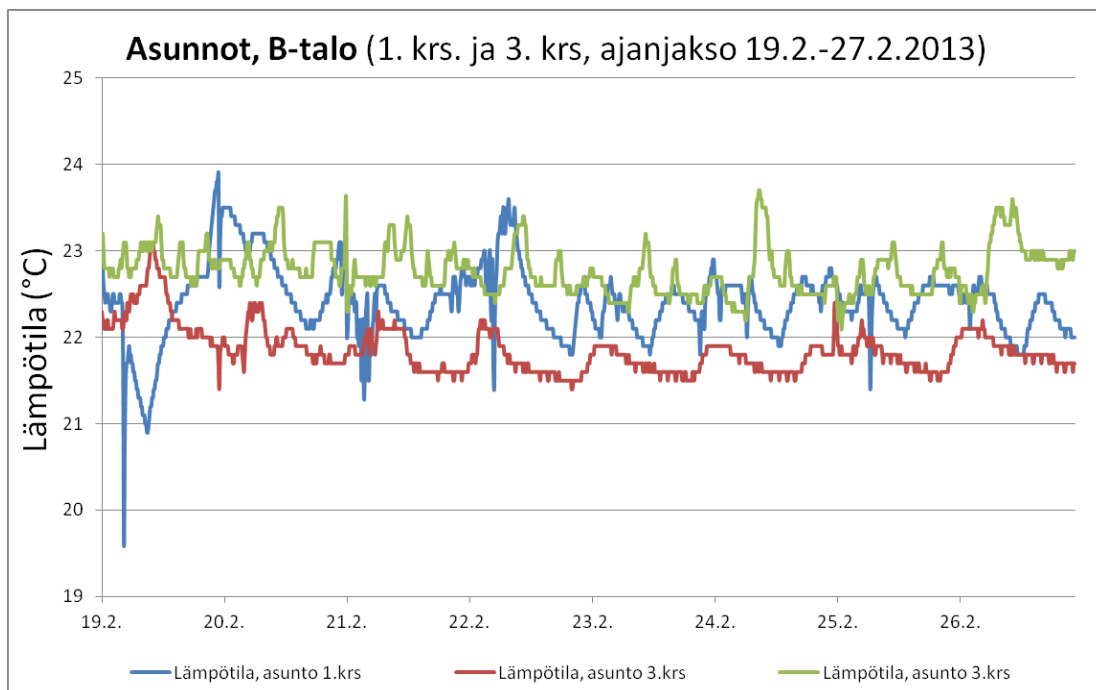


Kuva 14. Ulkolämpötilan käyttäytyminen seurantajakson ajalta.

Mittaustulosten perusteella A-talon asuntojen lämmitys pystyy reagoimaan nopeasti ulkolämpötilan muutoksiin. Tämä voidaan todeta, koska ulkolämpötilan nopeasta laskusta huolimatta, sisälämpötilat pysyvät vakaana.

Tuloksista voidaan havaita lievää yllämpöä A-talossa, koska puolet lämpötilakäyristä pysyttelee yli 22,5 °C:n yläpuolella. Yllämpöä todettiin mittauskäyntien aikana myös porrashuoneessa [6].

B-talon mittaukset tehtiin rajoitetulla määrällä TSI -monitoimimittareita. B-talon 1. ja 3. kerroksesta yhteensä kolmen asunnon lämpötila-arvot on esitetty kuvassa 15.

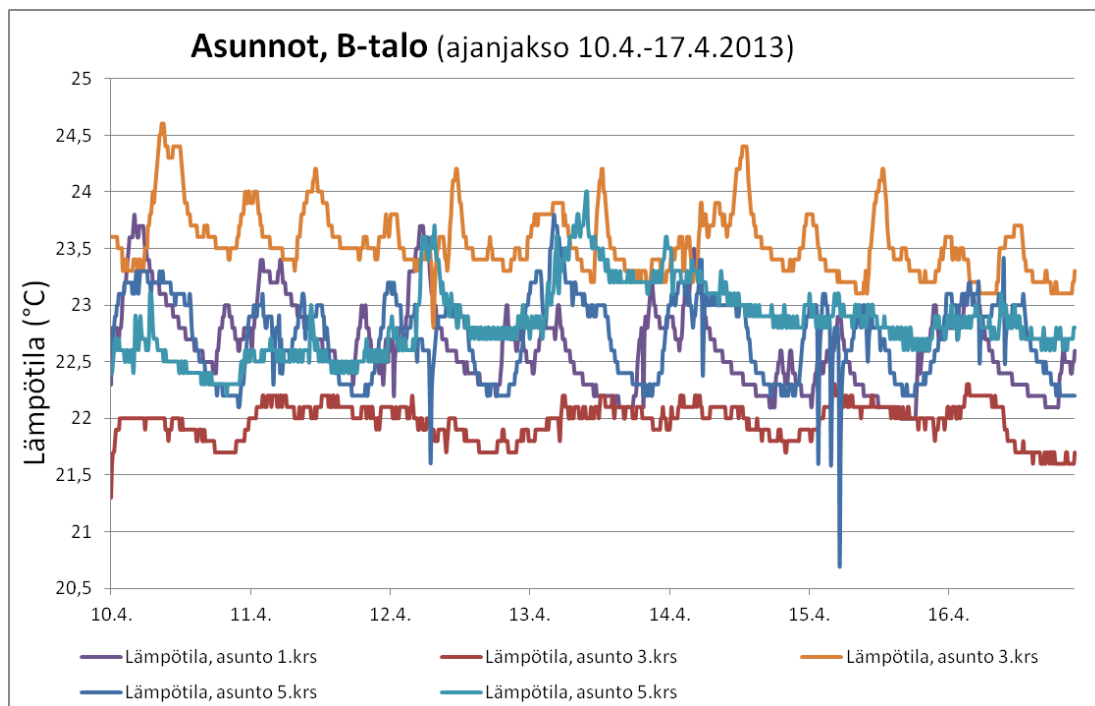


Kuva 15. B-talon 1. ja 3. kerrosten asuntojen lämpötila-arvot.

Mittaustulosten perusteella lämpötilat ovat paikoitellen korkeat myös B-talossa. Por-rashuoneen yllämpö oli aistittavissa myös B-talossa [6]. B-talossa lämpötilamittaukset jäivät talvikaudella vähäisemmiksi sisäilmamittareiden rajallisuuden takia, joten kokonaiskuvaa B-talon lämpötiloista ei saatu talvikauden mittaustulosten perusteella.

Seuraavaksi esitetään kevätkauden mittausten tulokset B-talosta, jotta B-talon sisälämpötilojen käyttäytymisestä saataisiin parempi käsitys.

B-talon kevätkauden lämpötilat on esitetty kuvassa 16, ja kyseisen ajanjakson ulko-lämpötilat ovat esitetty kuvassa 17.



Kuva 16. B-talon asuntojen lämpötilat kevätkaudella.

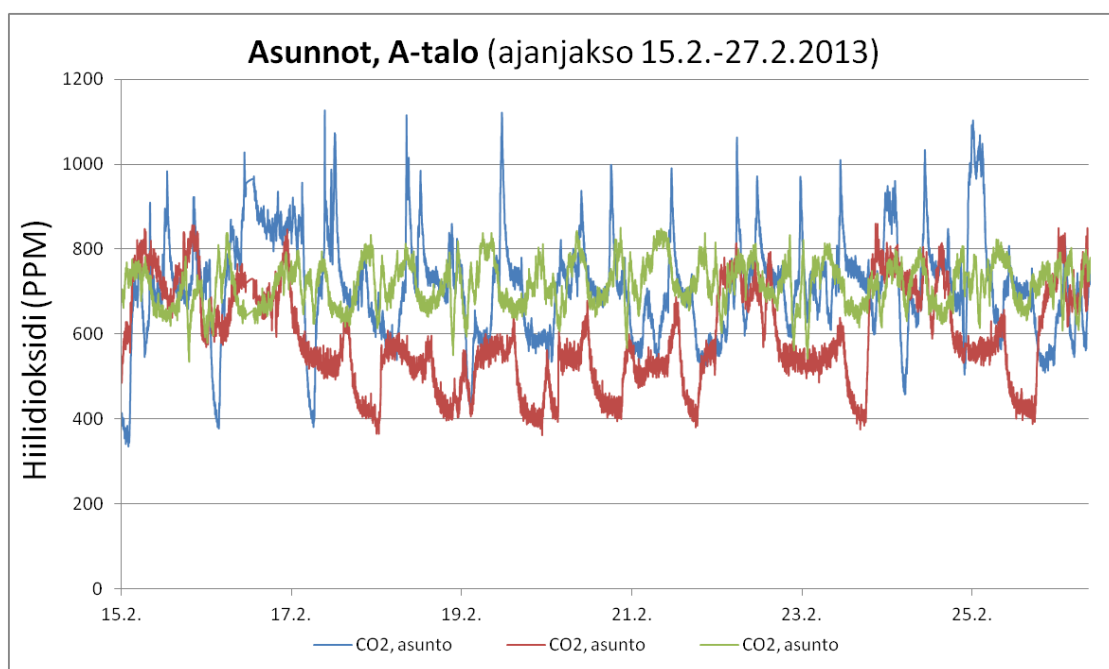


Kuva 17. Ulkolämpötilan käyttäytyminen kevätkauden seuranta-ajaksen ajalta.

Kevätkauden mittaustulosten perusteella B-talon yllämpö on huomattavissa.

Hiilidioksidimittausten tarkoitus oli selvittää asuntojen sisäilman puhtaus eli ilmanvaihdon riittävyys.

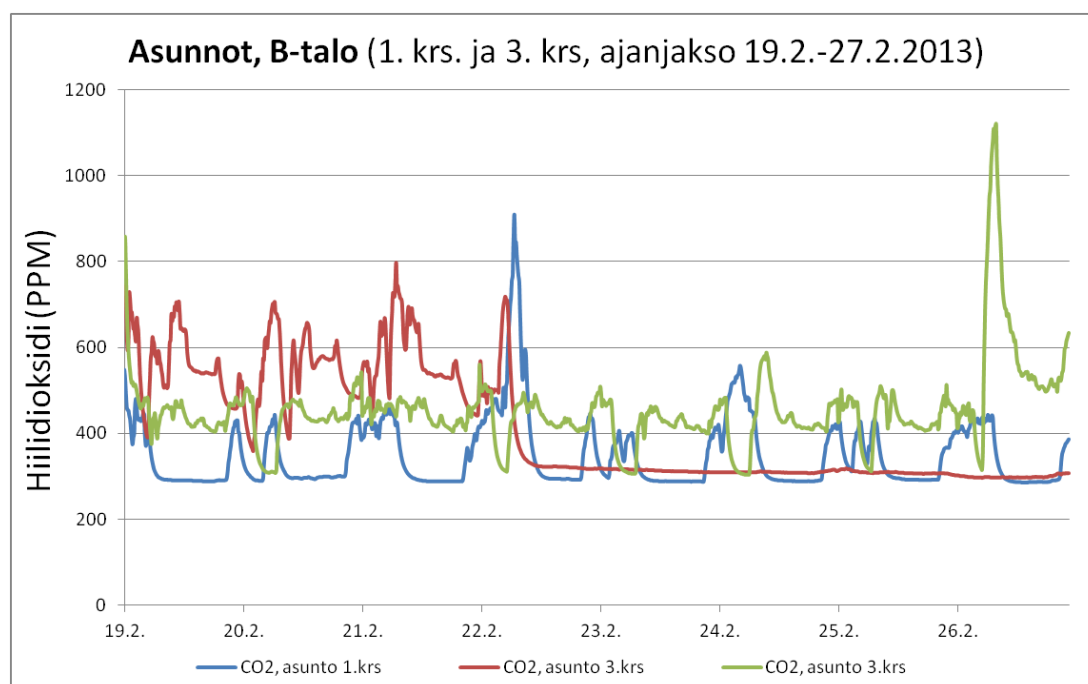
A-talon asuntojen hiilidioksidipitoisuudet on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. A-talon asuntojen hiilidioksidipitoisuudet.

A-talon asuntojen hiilidioksidipitoisuudet mitattiin Wirepas-antureilla. Hiilidioksidipitoisuudet ovat hyvät.

B-talon asuntojen hiilidioksidipitoisuudet on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. B-talon asuntojen hiilidioksidipitoisuudet.

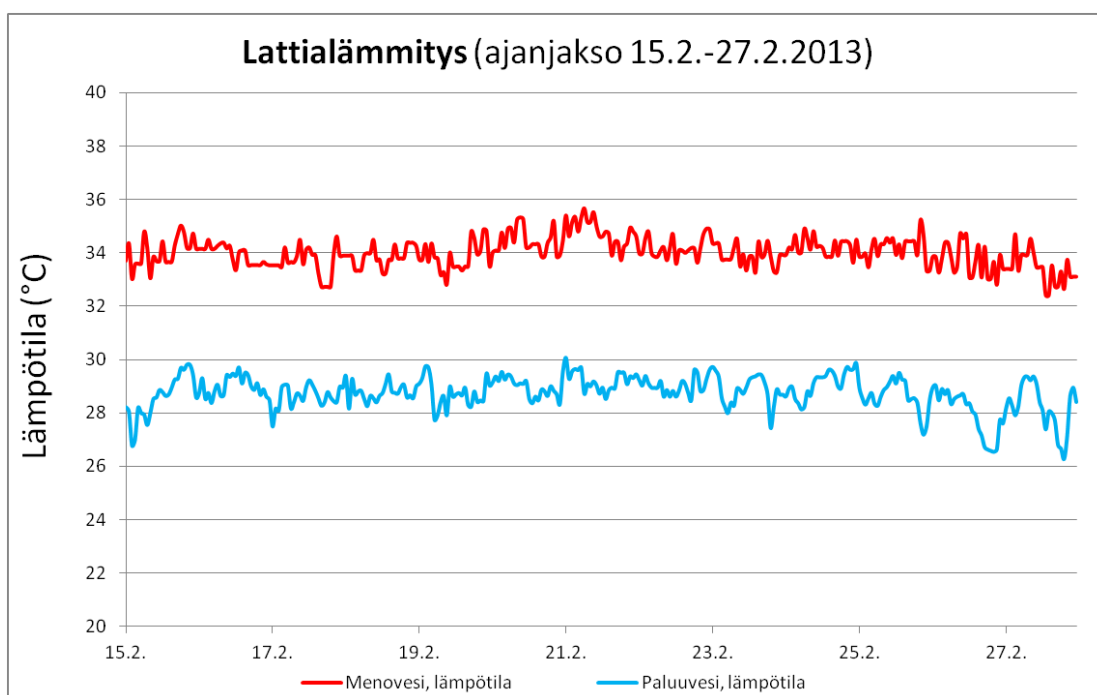
B-talon asuntojen hiilidioksidipitoisuudet mitattiin TSI-monitoimimittareilla [6]. Hiilidioksidipitoisuudet laskevat toisinaan todella alas, mikä asettaa kyseenalaiseksi mittaustulosten paikkansapitävyudet. A-talossa alhaisin hiilidioksidipitoisuus asettuu ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden tasolle, mutta mittausten perusteella kaikissa B-talon mitatuissa asunnoissa alitettaisiin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus, mikä on epätodennäköistä.

Tuloksista voidaan kuitenkin todeta, että hiilidioksidipitoisuudet ovat riittävän alhaiset, vaikka hiilidioksidipitoisuuksiin lisättäisiin varmuusvaraa 200 ppm. Ilmanvaihdon riittävyydestä kertoo myös hiilidioksidipitoisuuksien nopea laskeminen.

Kohteessa mitattiin myös suhteellista kosteutta asuntojen sisäpuolelta. A-talossa Wirepas-antureilla ja B-talossa TSI-monitoimimittareilla. [6.] Talvikauden seurantajakson aikana A-talon suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 22 %, ja B-talon suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 26 %.

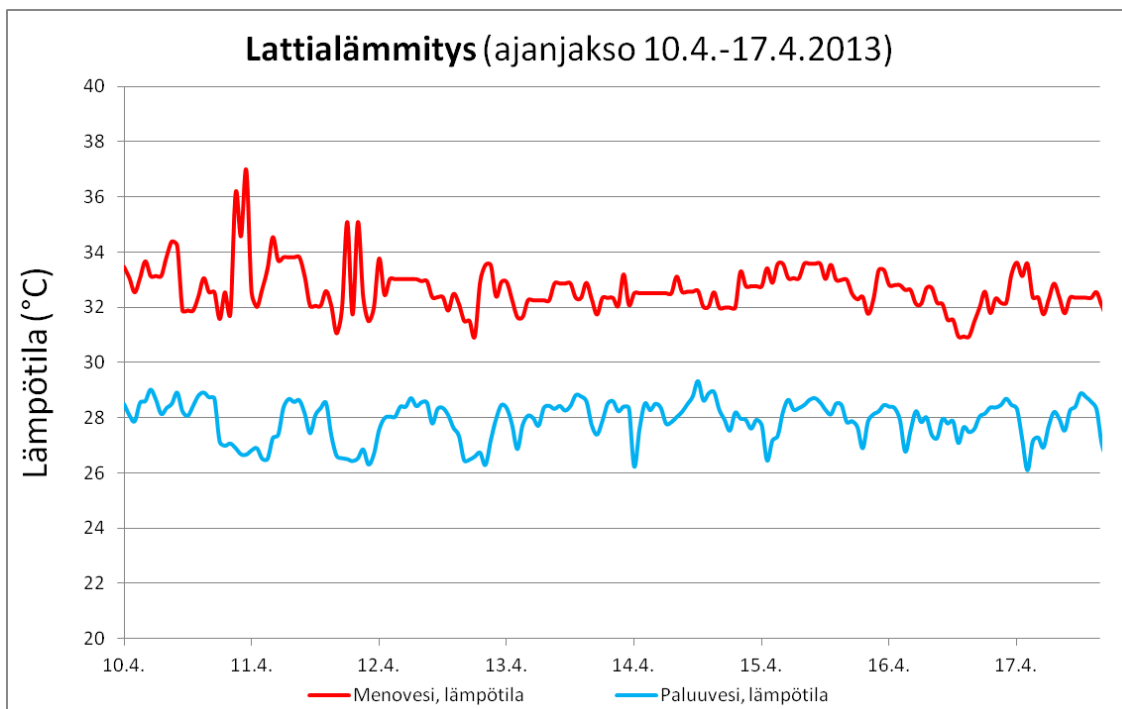
Lattialämmityspiirien mittaustuloksia käsitellään seuraavaksi. Tulokset on otettu TAC Vista -järjestelmästä. Tarkoituksena on esittää, mikä on lattialämmityspiirin menoveden lämpötila ja paluueden lämpötila silloin, kun asunnoissa ilmenee yllämpöä. Vaikka menoveden lämpötilaa säädetään ottamalla huomioon asuntojen yleinen lämpötilataso, yksittäisissä asunnoissa voi lämpötila olla korkea. Lattialämmitys on myös hidas reagoimaan, lämmönluovutus pysyy korkealla tasolla melko pitkään menoveden lämpötilan laskemisen jälkeenkin. Osa yllämmöstä saattaa johtua myös ilmaislämmöstä.

Mitatut lattialämmityksen lämpötilat talvikautena on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Mitatut lattialämmityksen lämpötilat talvikautena.

Mitatut lattialämmityksen lämpötilat kevätkautena on esitetty kuvassa 21.



Kuva 21. Mitatut lattialämmityksen lämpötilat kevätkautena.

Tuloksista käy ilmi, että lattialämmityspiirin menoveden lämpötilat olivat korkeat, vaikka samaan aikaan yllämpöä esiintyi asunnoissa ja porrashuoneissa talvi- ja kevätkaudella.

TAC Vista -järjestelmän valvomon perusteella menoveden lämpötila on korkea myös pidemmällä aikavälillä [23], joten liian korkeat menoveden lämpötilat eivät rajoitu pelkästään tässä työssä esitetyille mittausjaksoille.

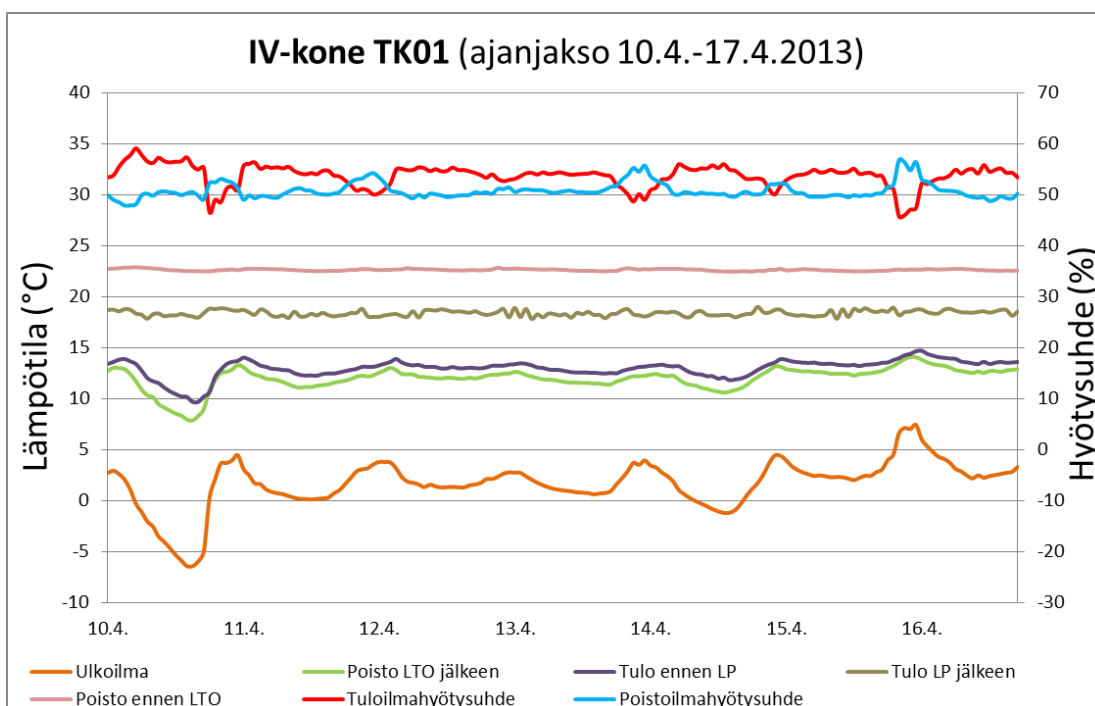
Ilmanvaihdon toimivuutta tutkittiin hiilidioksidimittausten lisäksi mittaamalla ilmavirrat ja seuraamalla ilmanvaihtokoneiden toimintaa. B-talon ilmavirrat on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. B-talon ilmavirrat

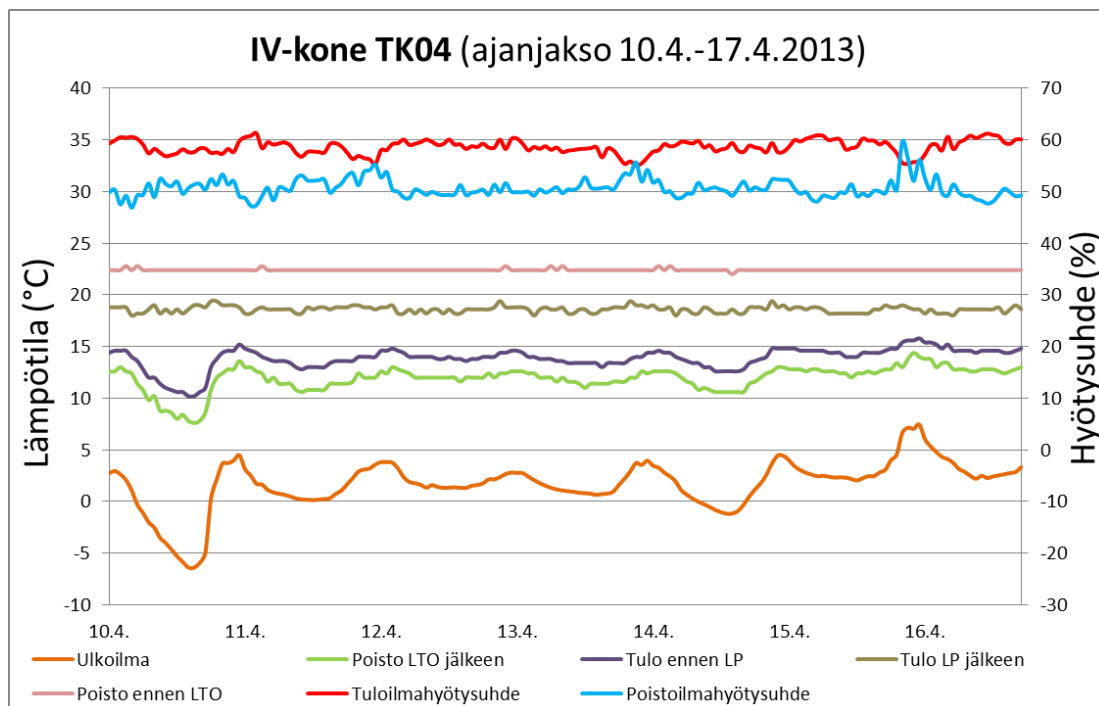
Asunto	Huone	Tuloilma			Poistoilma		
		qv,suunniteltu (l/s)	qv,mitattu (l/s)	mitattu/suunn. (%)	qv,suunniteltu (l/s)	qv,mitattu (l/s)	mitattu/suunn. (%)
A	KPH				15	14	93 %
A	OH+K	12	14	117 %	10	12	120 %
A	MH	12	14	117 %			
A	Yhteensä	24	28	117 %	25	26	104 %
B	KPH				16	17	106 %
B	OH+K	13	15	115 %	10	12	120 %
B	MH	12	8	67 %			
B	Yhteensä	25	23	92 %	26	29	112 %
C	KPH				15	13	87 %
C	OH+K	19	24	126 %	6	7	117 %
C	Yhteensä	19	24	126 %	21	20	95 %
D	KPH				20	20	100 %
D	OH+K	14	15	107 %	15	16	107 %
D	MH1(suuri)	12	14	117 %			
D	MH2(pieni)	9	13	144 %			
D	Yhteensä	35	42	120 %	35	36	103 %
E	KPH				16	13	81 %
E	OH+K	13	17	131 %	10	10	100 %
E	MH	12	16	133 %			
E	Yhteensä	25	33	132 %	26	23	88 %
F	KPH				15	19	127 %
F	OH+K	12	13	108 %	10		0 %
F	MH	12	14	117 %			
F	Yhteensä	24	27	113 %	25	19	76 %
G	KPH				20	23	115 %
G	OH+K	14	14	100 %	15	15	100 %
G	MH1(suuri)	12	17	142 %			
G	MH2(pieni)	9	13	144 %			
G	Yhteensä	35	44	126 %	35	38	109 %

B-talon ilmapirtamittauksien perusteella, toisin kuin suunnitelmissa, suurimmassa osassa asunnoissa näyttäisi tuloilmaa tulevan enemmän kuin poistoilmaa poistetaan. Tämä aiheuttaa ylipainetta asuntojen sisälle. Täytyy huomioida, että ilmavirrat on mitattu ilmanvaihdon normaalikäytössä, eli mikäli liesikuvun tehostus käynnistetään, muuttuvat painesuhteet ja poistoilman osuus saattaa olla tällöin suurempi. Jatkossa voitaisiin tutkia lisää kohteen ilmavirtoja ja painesuhteita, jotta saataisiin varmistus, kuinka ilmanvaihto toimii.

Ilmanvaihtokoneiden toimintaa seurattiin kevätkauden aikana. Ilmanvaihtokoneen TK01 lämpötilat ja LTO-laitteen hyötysuhteet on esitetty kuvassa 22 ja vastaavat tiedot ilmanvaihtokoneesta TK04 on esitetty kuvassa 23.



Kuva 22. TK01:n lämpötilat ja hyötysuhteet.



Kuva 23. TK04:n lämpötilat ja hyötysuhteet.

Mitattujen lämpötilojen perusteella on laskettu tuloilma- ja poistoilmahyötysuhde (kuvat 22 ja 23).

5.4 Tulosten tarkastelu

Tuloilmahyötysuhde eli tuloilman lämpötilahyötysuhde tarkoittaa tuloilman lämpenemisen suhdetta suurimpaan mahdolliseen lämpötilaeroon eli poistoilman ja ulkoilman lämpötilaerotukseen. Tuloilman lämpötilahyötysuhteeseen vaikuttaa lämmöntalteenottolaitteen rakenne ja ilmavirtojen suhde. Poistoilmahyötysuhde eli poistoilman lämpötilahyötysuhde tarkoittaa poistoilman jäähtymisen suhdetta suurimpaan mahdolliseen lämpötilaerotukseen. [32, s. 9.]

Luvun 5.3 kuvien 22 ja 23 tuloilmahyötysuhde on laskettu kaavalla 1 ja poistoilmahyötysuhde kaavalla 2. Kaavoissa 1 ja 2 ei oteta huomioon ilmavirtojen suhdetta. [32, s. 14.]

$$\eta_t = \frac{(t_{LTO} - t_u)}{(t_s - t_u)} \quad (1)$$

$$\eta_p = \frac{(t_s - t_j)}{(t_s - t_u)} \quad (2)$$

η_t	on tuloilmahyötysuhde [%]
η_p	on poistoilmahyötysuhde [%]
t_{LTO}	on tuloilman lämpötila ennen lämmityspatteria [°C]
t_u	on ulkoilman lämpötila [°C]
t_s	on poistoilman lämpötila ennen LTO:ta [°C]
t_j	on poistoilman lämpötila LTO:n jälkeen [°C]

Mikäli halutaan laskea tuloilman lämpötilahyötysuhde (tuloilmahyötysuhde) yhtä suurilla ilmavirroilla, tulee käyttää kaavoja 3 ja 4.

Tuloilman ja poistoilman suhde lasketaan kaavalla 3 [32, s.15].

$$R_{LTO} = \frac{q_{tLTO}}{q_{pLTO}} \quad (3)$$

R_{LTO}	on tuloilmavirran ja poistoilmavirran suhde
q_{tLTO}	on LTO:n läpi kulkeva tuloilmavirta
q_{pLTO}	on LTO:n läpi kulkeva poistoilmavirta

Tuloilman lämpötilahyötysuhde yhtä suurilla ilmavirroilla saadaan laskettua tämän jälke-
keen kaavalla 4 [32, s.15].

$$\eta_{t(R_{LTO}=1)} = \frac{(1 + R_{LTO})}{2} \eta_{t(R_{LTO})} \quad (4)$$

$\eta_{t(R,LTO=1)}$ on tuloilman lämpötilahyötysuhde yhtä suurilla ilmavirroilla [%]

R_{LTO} on tuloilmavirran ja poistoilmavirran suhde

$\eta_{t(RLTO)}$ on tuloilman lämpötilahyötysuhde epäsuhteisilla ilmavirroilla [%]

TK01:n tuloilman lämpötilahyötysuhteen keskiarvo kuvan 22 esittämältä ajanjaksolta oli 54 % ja TK04:n tuloilman lämpötilahyötysuhteen keskiarvo kuvan 23 esittämältä ajan-
jaksolta oli 59 %. Seuraavaksi lasketaan molempien ilmanvaihtokoneiden tuloilman
lämpötilahyötysuhteet yhtä suurilla ilmavirroilla. Ilmavirrat ovat suunnitteluarvoja.

Lasketaan R_{LTO} molemmille ilmanvaihtokoneille kaavalla 3:

TK01:n tuloilmavirta on 771 l/s ja poistoilmavirta on 833 l/s.

$$\frac{771 \text{ l/s}}{833 \text{ l/s}} = 0,926$$

TK04:n tuloilmavirta on 790 l/s ja poistoilmavirta on 851 l/s.

$$\frac{790 \text{ l/s}}{851 \text{ l/s}} = 0,928$$

Lasketaan $\eta_{t(R,LTO=1)}$ molemmille ilmanvaihtokoneille kaavalla 4:

TK01:n tuloilman lämpötilahyötysuhde yhtä suurilla ilmavirroilla on

$$\frac{(1+0,926)}{2} \times 54 = 52 \%$$

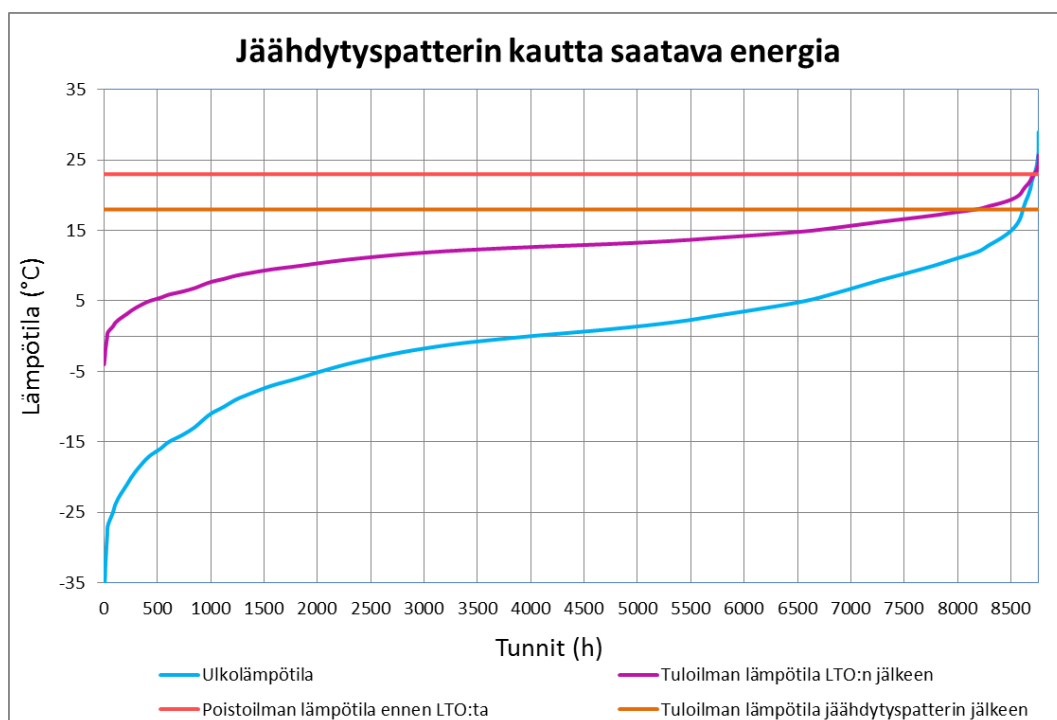
TK04:n tuloilman lämpötilahyötysuhde yhtä suurilla ilmavirroilla on

$$\frac{(1+0,928)}{2} \times 59 = 57 \%$$

Valmistajat ilmoittavat tuloilman lämpötilahyötysuhteen laskettuna standardin EN 308: 1997 mukaan. Tuloilman lämpötilahyötysuhde määritetään yhtä suurilla massavirroilla, kuivilla lämmönsiirtimillä, ilman jäätyksen estoja tai tuloilman lämpötilan rajoituksia. [32, s. 14.]

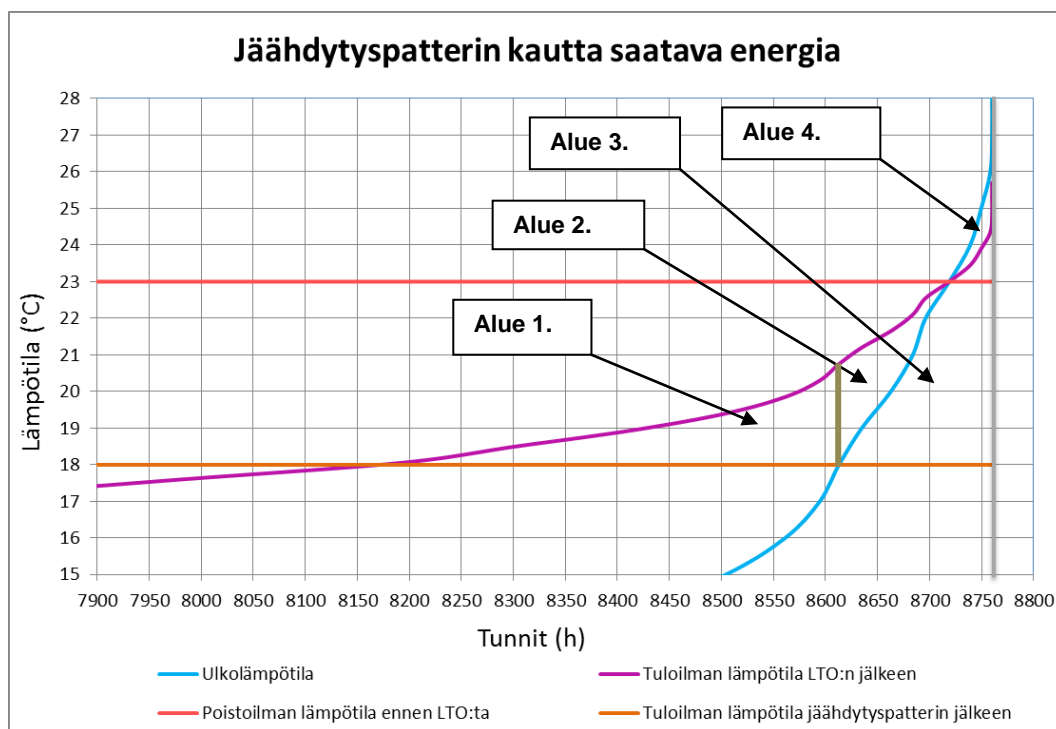
Tutkimuskohteen lämmöntalteenottolaitteiden hyötysuhteet ovat levylämmönsiirtimille tavanomaiset [32, s. 9].

Tutkimuskohteessa tuloilmaa jäähdytetään kesällä vapaajäähdytyspatterilla. Tätä jäähdytyspatteria hyödynnetään myös, kun poistoilmasta siirretään lämpöä LTO:n kautta tuloilmaan (ks. 3.3.5). Seuraavaksi arvioidaan, kuinka paljon on vuotuinen energiamäärä, joka saadaan siirrettyä jäähdytyspatterin kautta jäähdytysverkostoon. Kuvassa 24 on esitetty koko vuoden ulko- ja tuloilman käyttäytyminen, kun tuloilman lämpötilahyötysuhde on 55 %.



Kuva 24. Vuotuinen ulko- ja tuloilman käyttäytyminen.

Edellinen kuva näytetään tarkennettuna kuvassa 25.



Kuva 25. Tarkennus kuvasta 24 (1 ruutu \approx 47 kWh).

Alue 1: Jäähdytystarvetta ei tässä kohdassa ole, koska raitisilman lämpötila on matalampi kuin sisään puhallettavan tuloilman lämpötila eli 18 °C. Raitisilmaa lämmittämään tarvitaan LTO:sta poistoilman lämpöä. Mikäli lämpötila nousee yli 18 asteen, tarvitaan jäähdytyspatteria laskemaan lämpötila 18 asteeseen. Lattiaviilennyksen paluuv veden lämpötila on arviolta vähintään 21 °C, joten mikäli lattiaviilennys ei ole käytössä, saadaan LTO:n kautta jäähdytyspiiriin lämpöenergiaa, joka lämmittää puolestaan maapiirin liuosta. Mikäli lattiaviilennys on käytössä, menetetään lämpöenergiaa, koska jäähdytyspatterin paluuvesi jäähdyttää viileämpänä nesteenä lattiaviilennyksen paluuvettä. Tällöin olisi parempi, että jäähdytyspatterin kautta ei kulkisi vettä lainkaan, mutta tällöin LTO:lla tulisi kyetä lämmittämään tuloilmaa tarkalleen 18 asteeseen tai muuten joudutaan käyttämään lämmityspatteria, johon tarvitaan lämpöenergiaa.

Alue 2: Raitisilma on yli 18 °C, joten jäähdytyspatteri on käytössä. Kun jäähdytyspatteri on käytössä joka tapauksessa, kannattaa sen kautta siirtää mahdollisimman paljon lämpöenergiaa jäähdytyspiiriin. Tämä tarkoittaa sitä, että kun jäähdytyspatteri on käy-

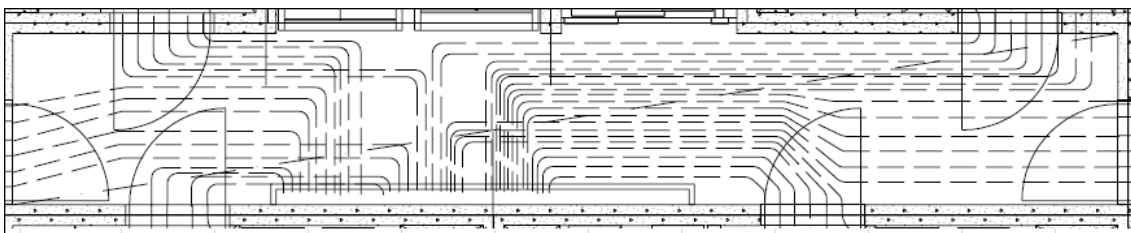
tössä, myös LTO:n kannattaisi olla käytössä, jotta poistoilman lämpö voitaisiin hyödyntää. Tämä ei tarkoita, ettei jäähdytyspatterilla voisi olla joka tapauksessa jäähdytyspiiriin viilentävä vaikutus lattiaviilennyksen ollessa käytössä, mutta LTO:n käytöllä tämä viilentävä vaikutus voitaisiin minimoida, koska jäähdytyspatterin on oltava päällä tällä alueella. LTO:n hyödyntäminen tällä alueella lisää jäähdytysverkostoon siirretyn lämpöenergian määrää noin 130 kWh vuodessa yhden ilmanvaihtokoneen osalta.

Alue 3: Tämä alue on raitisilman jäähdyttämiseen tarvittava energiamäärä. Tuloilma pyritään pitämään 18 asteessa mukavuussyistä, joten tämä toimenpide on välttämätön vaikutuksista riippumatta.

Alue 4: Tällä alueella poistoilma on viileämpää kuin raitisilma. Tämä tarkoittaa, että LTO:ta voidaan käyttää tällä alueella viilentämään raitisilmaa. Tästä on etua varsinkin, jos jäähdytyspatteri ei kykene näillä ulkolämpötiloilla viilentämään tuloilmaa 18 asteeseen. Mikäli kykenee, kannattaa LTO ottaa pois käytöstä, koska myös tällöin saadaan lisättyä jäähdytyspatterille menevän lämpöenergian määrää. Tällä alueella lattiaviilennys on todennäköisesti käytössä koko ajan.

Tämän kaltaisissa toimenpiteissä on huomioitava, millä lämpötiloilla verkostot toimivat. Joskus voi olla kannattavampaa, että vesi ei kierrä ollenkaan jäähdytyspatterin kautta sen sijaan, että ottaisi sieltä lämpöä, jolla kuitenkin on vain viilentävä vaikutus maapiiriin. Asia olisi toisin, jos jäähdytyspiirit olisivat erilliset ja ne toimisivat omilla lämpötilatasoillaan, mutta tällöin tarvittaisiin omat lämmönsiirtimetkin. Tässä luvussa on käytetty suunnitelmien mukaisia lattiaviilennyksen lämpötiloja, joissa lattiapiireihin menevän veden lämpötilaksi on suunniteltu 20 °C [7].

Porrashuoneeseen tuleva lämpöteho on suurta verrattuna porrashuoneen lämpöhäviöihin. Porrashuoneen lattialämmitysputket on hahmoteltu kuvaan 26.



Kuva 26. Porrashuoneen lattialämmitysputket.

Seuraavaksi lasketaan, kuinka paljon yhden talon porrashuoneeseen tulee lämmitysjärjestelmän kautta lämmitystehoa.

Laskelmat perustuvat porrashuoneen lattian putkimaton yläpuolisen osan U-arvoon ja tämän avulla lämpötehon laskemiseen. Putkia on niin tiheässä, että niiden vaikutuksia kuvataan tasalämpöisellä pinnalla, jonka lämpötila on lattialämmitysveden meno- ja paluulämpötilojen keskiarvo ja yläpuolella lämpötila on porrashuoneen lämpötila.

Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo lasketaan kaavalla 5 [33, s. 5].

$$U = 1 / R_T \quad (5)$$

R_T on rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön [m²K/W]

R_T lasketaan ulkoseinille kaavalla 6 [33, s.5.]

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_m + R_g + R_b + R_{q1} + R_{q2} + \dots + R_{qn} + R_{se} \quad (6)$$

R_{si} on sisäpuolinen pintavastus [m²K/W]

$R_{1\dots m}$ on ainekerrosten lämmönvastus [m²K/W]

R_g on rakennusosassa olevan ilmakerroksen lämmönvastus [m²K/W]

R_b	on maan lämmönvastus [m^2K/W]
$R_{q1...qn}$	on ohuen ainekerroksen lämmönvastus [m^2K/W]
R_{se}	on ulkopuolinen pintavastus [m^2K/W]

Ainekerrosten lämmönvastus lasketaan kaavalla 7 [33, s. 5].

$$R_1 = d_1 / \lambda_1, R_2 = d_2 / \lambda_2 \dots R_m = d_m / \lambda_m \quad (7)$$

d_1	on ainekerroksen paksuus [m]
λ_1	on ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo [W/Km]

Tässä tapauksessa rakennusosan kokonaislämmönvastuksen laskemiseen tarvitaan ulkopuolinen pintavastus ja ainekerrosten lämmönvastukset.

Ulkopuolinen pintavastus pystysuorassa lämpövirrassa on $0,10 \text{ m}^2K/W$ [33, s. 16], ja sisäpuolista pintavastusta R_{se} ei tässä laskussa käytetä.

Lattialämmitysputkien yläpuolella oletetaan olevan 50 mm betonia, jonka päällä 10 mm laattaa. Betonin lämmönjohtavuudeksi oletetaan $1,7 \text{ W/Km}$ ja laatan $2,5 \text{ W/Km}$ [33, s. 14–15]. Lasketaan U-arvo kaavoilla 5, 6 ja 7:

$$\frac{1}{0,1 \text{ m}^2W/K + \frac{0,05 \text{ m}}{1,7 \text{ W/K}} + \frac{0,01 \text{ m}}{2,5 \text{ W/K}}} = 7,49 \text{ W/m}^2K$$

Ominaislämpöhäviön saamiseksi, tulos kerrotaan pinta-alalla. Porrashuoneiden tasanteiden pinta-ala on yhteensä 110 m^2 [7].

Johtumislämmitysteho lasketaan kaavalla 8 [38, s. 51].

$$\phi_{\text{joht}} = \sum H_{\text{joht}} (T_s - T_{u,\text{mit}}) \quad (8)$$

ϕ_{joht}	on johtumislämmitysteho [W]
H_{joht}	on ominaislämpöhäviö [W/K]
T_s	on sisälämpötila [$^{\circ}C$]

T_u on ulkolämpötila [°C]

Lattialämmityksen meno- ja paluulämpötilojen keskiarvo oli 31 °C talvikauden mittausjakson aikana ulkolämpötilan keskiarvon ollessa –4,3 °C. Lattialämmityksen keskilämpötilasta vähennetään 5 °C ja tätä lämpötilaa käytetään laskussa. Lasketaan koko porrashuoneen lattialämmityksen antama lämmitysteho kaavalla 8.

$$7,49 \frac{W}{m^2K} * 110 m^2 * (26 - 22)K = 3296 W$$

Seuraavaksi selvitetään porrashuoneen lämmitystehon tarve, kun ulkolämpötila on –4,3 °C. Taulukossa 3 on laskettu rakenneosien ominaislämpöhäviöt kertomalla U-arvo pinta-alalla.

Taulukko 3. Rakenneosien ominaislämpöhäviöt.

Rakenne-osa	U-arvo W/m ² K	Pinta-ala m ²	Ominaislämpöhäviö W/K
Ikkunat	0,76	16,4	12,5
Ulkoseinät	0,15	22,6	3,4
Alapohja	0,14	38,6	5,4
Yläpohja	0,1	33,8	3,4

Johtumisen aiheuttama lämmitystarve lasketaan kaavalla 8 käyttäen taulukon 3 arvoja:

$$12,5 \frac{W}{K} + 3,4 \frac{W}{K} + 5,4 \frac{W}{K} + 3,4 \frac{W}{K} (22 - (-4,3))K = 649 W$$

Tämän lisäksi tarvitaan lämpöä porrashuonetta viileämmän tuloilman lämmittämiseen. Tämä lämmitysteho voidaan laskea kaavalla 9 [34, s. 13]

$$\dot{Q}_{IV} = q_{IV} * \rho * c_p * (\Delta T) \quad (9)$$

\dot{Q}_{IV} on ilmanvaihdon aiheuttama tehontarve [W]

q_{IV} on tuloilmavirta [m³/s]

ρ on ilman tiheys [kg/m³]

c_p on ilman ominaislämpökapasiteetti [J/kgK]
 ΔT on tuloilman ja huonelämpötilan lämpötilaero [K]

Lasketaan tuloilman lämmittämiseen tarvittava teho kaavalla 9:

$$0,06 \text{ m}^3 * 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} * (22 - 18)K = 288 \text{ W}$$

$$649 \text{ W} + 288 \text{ W} = 937 \text{ W}$$

Lämmöntarve on yhteensä 937 W, kun ulkolämpötila on $-4,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Tässä ei ole huomioitu vuotoilmaa.

Porrashuoneen lämpötilan ollessa $22 \text{ }^\circ\text{C}$ lämmitysteho on suurempi kuin lämpöhäviöt, jolloin porrashuoneen lämpötila nousee. Porrashuoneen lämpötilan kasvaessa lämmitysteho pienenee ja lämpöhäviöt kasvavat, ja porrashuoneen lämpötilan ollessa noin $24,5 \text{ }^\circ\text{C}$ lämmitysteho ja lämpöhäviöt ovat yhtä suuret eli kaikki tuotettu lämmitysteho menee lämpöhäviöiden kattamiseen, eikä sisälämpötila enää nouse.

Lämmitysteho porrashuoneen lämpötilassa $24,5 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$7,49 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} * 110 \text{ m}^2 * (26 - 24,5)K = 1236 \text{ W}$$

Johtumislämpöhäviöt porrashuoneen lämpötilassa $24,5 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$12,5 \frac{\text{W}}{\text{K}} + 3,4 \frac{\text{W}}{\text{K}} + 5,4 \frac{\text{W}}{\text{K}} + 3,4 \frac{\text{W}}{\text{K}} (24,5 - (-4,3))K = 711 \text{ W}$$

Ilmanvaihdon tarvitseman lämpöteho porrashuoneen lämpötilassa $24,5 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$0,06 \text{ m}^3 * 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} * (24,5 - 18)K = 468 \text{ W}$$

$$711 \text{ W} + 468 \text{ W} = 1176 \text{ W}$$

Osa lämmöstä menee ulkoseinien läpi ulos, mutta osa menee asuntoihin suhteellisen kevyiden ovien läpi, mikäli asuntojen lämpötilat ovat matalammat kuin porrashuoneen. Tämä nostaa asuntojen sisälämpötilaa, joka vaikuttaa suoraan asumisviihtyvyyteen ja mikäli asukas mieltää sisälämpötilan liian korkeaksi, saattaa porrashuoneen yllämmöllä olla heikentävä vaikutus asuntojen asumisviihtyvyyteen.

6 Laskennallinen energian tarve

6.1 Mallinnus

Tietomallintaminen tarkoittaa rakennuksen ja siihen kuuluvien järjestelmien tekemistä kolmiulotteiseksi virtuaalimalliksi, joka sisältää tietoa tiloista, materiaaleista, järjestelmistä ja komponenteista [35]. Tutkimuskohteen A- ja B-talot mallinnettiin erillisiksi malleiksi MagiCAD Room -ohjelmalla. Mallinnuksesta saatiin mm. pinta-ala- ja tilavuustiedot ja lämpöhäviöt, kun mallinnuksen yhteydessä oli annettu U-arvot. Mallinnuksen pääasiallinen tarkoitus oli kuitenkin luoda IFC-malli energiasimulointia varten.

6.1.1 Mallinnuksen kulku

Mallinnus tehtiin kerroksittain piirtämällä pohjapiirustusten ”päälle” eri rakennusosat, kuten ulko- ja väliseinät, ikkunat ja ovet. Rakennusosat ja niiden leveys ja korkeus tuli määrittellä alkuperäisten suunnitelmien mukaisesti ja mikäli haluttiin saada MagiCAD Room -ohjelmasta lämpöhäviölaskelmia, tuli myös U-arvot määrittellä. Kun kaikki kerrokset oli piirretty, ohjelma teki kerroasetusten perusteella kolmiulotteisen mallin, jossa piirretyt kerrokset asettuivat automaattisesti päällekkäin. Tästä mallista saatiin tehtyä ns. IFC-malli, jota voidaan hyödyntää monessa eri tarkoituksessa, mm. LVI-suunnittelussa tai energiasimuloinnissa. [36.]

Mallin käyttötarkoituksesta riippuu, kuinka tarkasti malli tulisi tehdä. Haluttaessa käyttää MagiCAD Room -ohjelmasta saatuja tietoja hyväksi, täytyisi malli tehdä niin hyvin kuin mahdollista. Käytettäessä mallia Riuska-ohjelman energiasimulointeihin riittää, että mallissa ovat ikkunoiden, seinien, ovien ym. rakenteiden pinta-alat ja sijainnit todellisuuden mukaiset. [37.]

Mallinnuksessa ei otettu huomioon lasitettuja parvekkeita (kuvat 27 ja 28). Lasitetut parvekkeet on kuitenkin huomioitu energiasimuloinnissa toisilla tavoilla (ks. luku 5.2). [36.]



Kuva 27. A-talon IFC-malli ilman lasitettuja parvekkeita.



Kuva 28. A-talo todellisuudessa.

6.1.2 Tulokset

Mallintamisesta saadut tulokset on esitetty taulukossa 4 eriteltynä A- ja B-taloon.

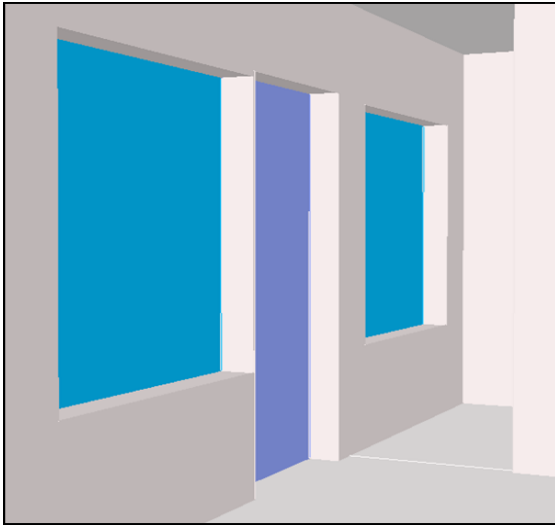
Taulukko 4. Mallinnuksen tulokset.

Tilavuudet ja pinta-alat	A-talo	B-talo	Yhteensä
Nettopinta-ala	1707 m ²	1723 m ²	3430 m ²
Bruttopinta-ala	2027 m ²	2036 m ²	4063 m ²
Nettotilavuus	4595 m ³	4786 m ³	9381 m ³
Bruttotilavuus	5425 m ³	5632 m ³	11057 m ³
Ikkunoiden osuus bruttopinta-alasta	10,3 %	10,2 %	
Ikkunoiden osuus julkisivusta	16,1 %	15,8 %	
Ilmanvaihto			
Tuloilma	926 l/s	895 l/s	
Poistoilma	964 l/s	950 l/s	
Lämpöhäviöt			
Rakenteet	28,3 kW	26,9 kW	55,1 kW
IV + vuotoilma	37,9 kW	24,0 kW	61,9 kW
Yhteensä	66,1 kW	50,8 kW	117,0 kW

Vertailun vuoksi suunnitelmissa esiintyviä tietoja on lueteltu alapuolella [7]:

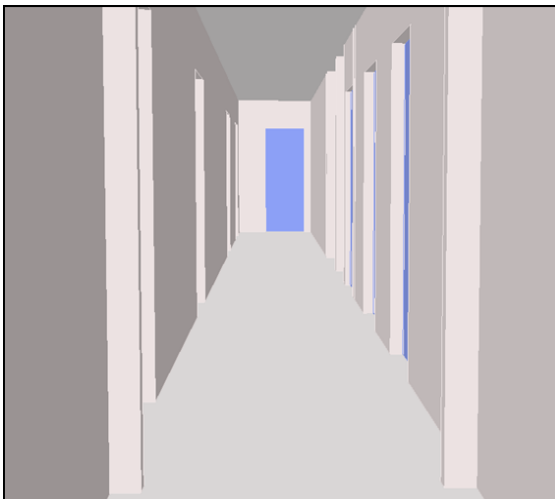
- Bruttopinta-ala on 4100 m².
- Ilmatilavuus on 11892 m³.
- Ominaislämpöhäviö on 2084 W/K (lämpöhäviö on 104,2 kW, jos lämpötilaero on 50 K).

Asunnon IFC-malli on esitetty kuvassa 29.



Kuva 29. Asunnon IFC-malli.

Porrashuoneen IFC-malli on esitetty kuvassa 30.



Kuva 30. Porrashuoneen IFC-malli.

6.2 Energiasimuloinnit

Energiasimuloinnit tehtiin Riuska-ohjelmalla [36]. Simulointien tavoite oli saada selville laskennallisesti tutkimuskohteen vuotuinen energiantarve ja sen osatekijät. Tässä insinööriyössä simuloinneilla ei ole selvitetty ostoenergiankulutusta. [1.] Simulointien lopputulos riippuu paljon lähtötiedoista, ja mitä tarkemmat lähtötiedot ovat käytössä, sitä tarkempaan lopputulokseen myös päästään. [37.]

6.2.1 Lähtötiedot

Lähtötiedot ovat merkittävässä asemassa, kun selvitetään olemassa olevan rakennuksen laskennallista energiankulutusta [37]. Lähtötietoina käytettiin suunnitelmia, Suomen rakentamismääräysten ohjearvoja ja Riuskan omia kirjastoja, jotka perustuvat usein rakentamismääräyksiin. Lähtötietoja joudutaan myös aina jonkin verran arvioimaan. Riuskan tietokannoista valittiin sijaintipaikkakunta ja mitoituspäivän sää. [36.] Lähtötietojen lähteet ovat taulukon 5 mukaiset.

Taulukko 5. Lähtöarvot ja lähteet.

Lähtöarvo:	Lähde:
U-arvot	Suunnitelmat
Ilmanvaihtokoneet	Suunnitelmat
Ilmamäärät	Suunnitelmat
IV:n palvelualueet	Suunnitelmat
LVI-laitteiden sähkötehot	Suunnitelmat
Ilmanvuotoluku n50	Suunnitelmat
Lämpökuormat	Riuskan kirjasto
Lämpimän käyttöveden kulutus	Suomen rakentamismääräykset
Lämpimän käyttöveden kiertopiirin lämpöhäviöenergia	Suomen rakentamismääräykset
Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia	Suomen rakentamismääräykset
Muiden laitteiden ja koneiden sähköteho	Arvioitu

6.2.2 Simuloinnin kulku

Simulointi aloitettiin tuomalla IFC-malli Riuska-projektiin. Tämän jälkeen luotiin rakenneosille U-arvot ja kaikille tiloille tilatiedot. Tilatietoihin määritellään mm. ilmamäärät, lämpökuormat ja sisäilman laatutasot. Lähtöarvot näihin otettiin edellisen sivun taulukon 5 mukaisesti. [36.] Tilaluettelo on esitetty kuvassa 31.

Kerros	Tunnus	Nimi	m ²	m ³	max dnt ² /s	min dnt ² /s	max dnt ² /(s m ²)	min dnt ² /(s m ²)	W	W/m ²	l/h	K/m	Tyyppi	Laatutaso	max °C	Laskettu
6600	A05/1	KPH	4,5	12,1	2	2	0,5	0,5	0	0,0	0,000	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
3600	A05/2	OH+K+ET	37,2	97,0	19	19	0,5	0,5	0	0,0	0,050	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
3600	A05/3	MH	14,8	38,6	8	8	0,5	0,5	0	0,0	0,047	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
3600	A05/4	MH	7,7	20,1	4	4	0,5	0,5	0	0,0	0,078	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
3600	A06/1	KPH	5,4	14,2	3	3	0,5	0,5	0	0,0	0,000	0,00	(D3)Asu...	+27,0	24,3	3.5.2013 11:25
3600	A06/2	OH+K+ET	32,0	83,6	17	17	0,5	0,5	0	0,0	0,055	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
3600	A06/3	MH	10,2	26,6	5	5	0,5	0,5	0	0,0	0,083	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
3600	A07/1	KPH	4,9	12,7	3	3	0,5	0,5	0	0,0	0,000	0,00	(D3)Asu...	+27,0	24,2	3.5.2013 11:25
3600	A07/2	OH+K+ET	25,8	67,4	13	13	0,5	0,5	0	0,0	0,027	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
3600	A07/3	MH	10,1	26,5	5	5	0,5	0,5	0	0,0	0,040	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
3600	A08/1	KPH	4,6	12,1	2	2	0,5	0,5	0	0,0	0,000	0,00	(D3)Asu...	+27,0	24,2	3.5.2013 11:25
3600	A08/2	OH+K+ET	26,7	69,8	14	14	0,5	0,5	0	0,0	0,032	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
3600	A09/1	KPH	5,3	14,0	3	3	0,5	0,5	0	0,0	0,000	0,00	(D3)Asu...	+27,0	24,3	3.5.2013 11:25
3600	A09/2	OH+K+ET	32,3	84,2	17	17	0,5	0,5	0	0,0	0,055	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
3600	A09/3	MH	10,1	26,3	5	5	0,5	0,5	0	0,0	0,083	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
0	A1/1	KPH	5,4	17,2	3	3	0,5	0,5	0	0,0	0,048	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
0	A1/2	OH+K+ET	25,2	67,0	13	13	0,5	0,5	0	0,0	0,123	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
0	A1/3	MH	7,1	22,9	4	4	0,5	0,5	0	0,0	0,096	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
3600	A10/1	KPH	4,7	12,3	2	2	0,5	0,5	0	0,0	0,000	0,00	(D3)Asu...	+27,0	24,3	3.5.2013 11:25
3600	A10/2	OH+K+ET	31,4	81,9	16	16	0,5	0,5	0	0,0	0,058	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
3600	A10/3	MH	13,2	34,4	7	7	0,5	0,5	0	0,0	0,058	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
6600	A11/1	KPH	4,6	12,1	2	2	0,5	0,5	0	0,0	0,000	0,00	(D3)Asu...	+27,0	24,3	3.5.2013 11:25
6600	A11/2	OH+K+ET	37,2	97,0	19	19	0,5	0,5	0	0,0	0,050	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
6600	A11/3	MH	14,8	38,6	8	8	0,5	0,5	0	0,0	0,047	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
6600	A11/4	MH	7,7	20,1	4	4	0,5	0,5	0	0,0	0,078	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
6600	A12/1	KPH	5,4	14,2	3	3	0,5	0,5	0	0,0	0,000	0,00	(D3)Asu...	+27,0	24,3	3.5.2013 11:25
6600	A12/2	OH+K+ET	32,0	83,6	17	17	0,5	0,5	0	0,0	0,055	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
6600	A12/3	MH	10,2	26,6	5	5	0,5	0,5	0	0,0	0,083	0,00	(D3)Asu...	+27,0	21,1	3.5.2013 11:25
6600	A12/4	KPH	4,6	12,3	2	2	0,5	0,5	0	0,0	0,000	0,00	(D3)Asu...	+27,0	24,3	3.5.2013 11:25

Kuva 31. Tilaluettelo.

Tilatietojen määrittelyn jälkeen määriteltiin ilmanvaihtokoneet. Ilmanvaihtokoneille määriteltiin mm. palvelualueet, tuloilman lämpötilahyötysuhde, käyntiajat ja tuloilman lämpötila. [36.] Ilmanvaihtokoneluettelo on esitetty kuvassa 32.

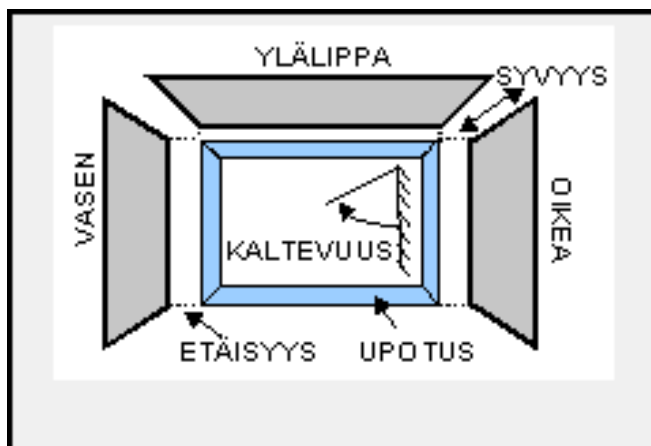
Tilan rakenteet		Tilan lämpökuormat		IV-järjestelmä																
Ilmanvaihdon palvelualueuettelo:																				
Nimi	Tyyppi	m ²	m ³ /s	m ³ /s	Pa	Pa	%	%	kW	kW	°C	°C	°C	°C	LTO %	°C	kW	kW	IV-järjestelmän käyttöaika	
TK01, asunnot	Vakioilmavirtainen	1475,1	0,767	0,767	700	400	65	60	0,826	0,511	1,0	0,0	18,0	18,0	57	-2	0,96	10000,0	10000,0	IV:(D3)Asunkeu...
TK02, porrasuone	Vakioilmavirtainen	205,8	0,062	0,062	700	400	65	60	0,066	0,041	1,0	0,0	18,0	18,0	57	-2	1,50	10000,0	10000,0	IV: ma-su 24h
TK03, sauna	Vakioilmavirtainen	43,5	0,064	0,064	700	400	65	60	0,069	0,043	1,0	0,0	18,0	18,0	57	-2	0,98	10000,0	10000,0	IV: ma-su 14-22 3/3 ja 22-14 1/3

Kuva 32. Ilmanvaihtokoneluettelo (luettelossa ainoastaan tuloilmavirrät).

Tutkimuskohteessa olevat lasitetut parvekkeet huomioitiin Riuskassa ikkunoiden eteen määritellyillä lipoilla ja peitelevyllä [36].

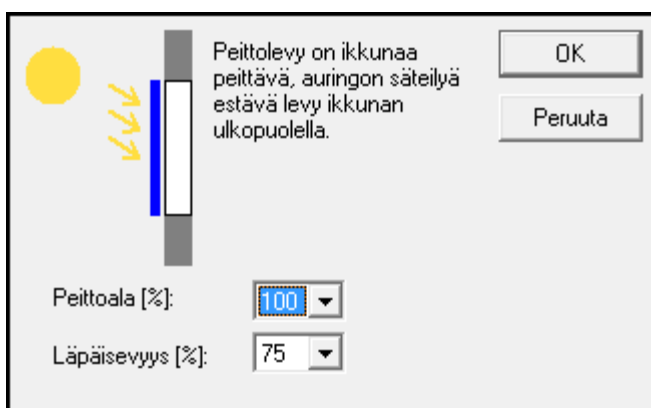
Lipat vastasivat ominaisuuksiltaan parvekkeiden seinä-, lattia- ja kattorakenteita.

Lipat on esitetty kuvassa 33.



Kuva 33. Lipat.

Peittolevyt vastasivat lasitettujen parvekkeiden lasia ja näiden vaikutuksia asuntoon. Peittolevyt on esitetty kuvassa 34.

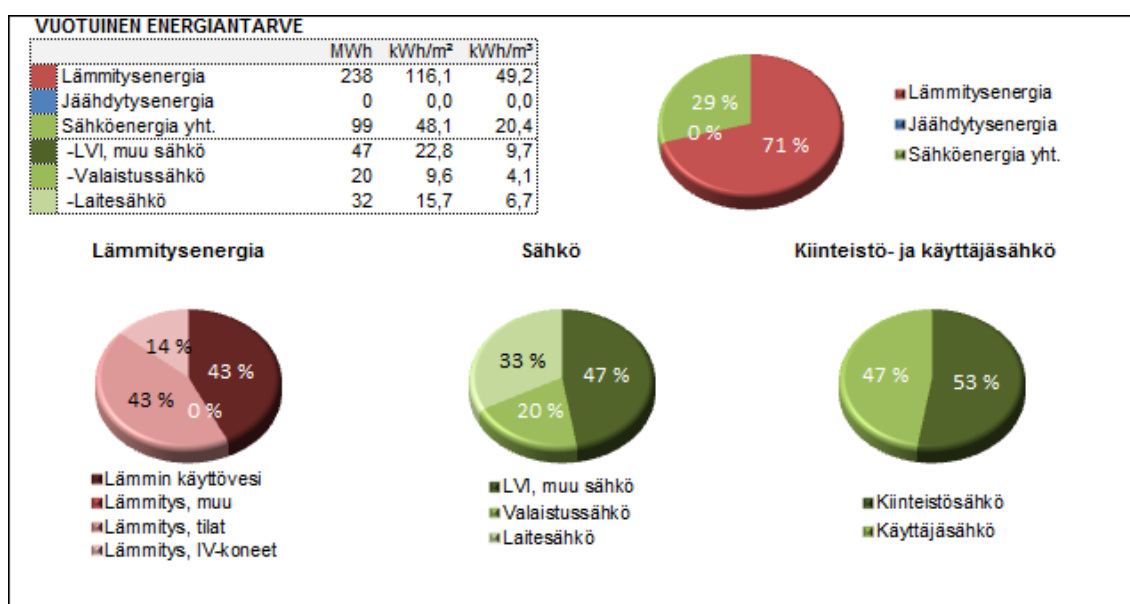


Kuva 34. Peittolevy.

6.2.3 Tulokset

Tässä luvussa käsitellään B-talon tuloksia. Tarkoitus on selventää, mitä kuormat tarkoittavat, mitä ne sisältävät ja mikä on niiden osuus kokonaiskulutuksesta. A- ja B-talon tulokset ovat nähtävillä kokonaisuudessaan liitteissä (liitteet 1 ja 2).

B-talon vuotuinen energiantarve on esitetty kuvassa 35.



Kuva 35. B-talon vuotuinen energiantarve.

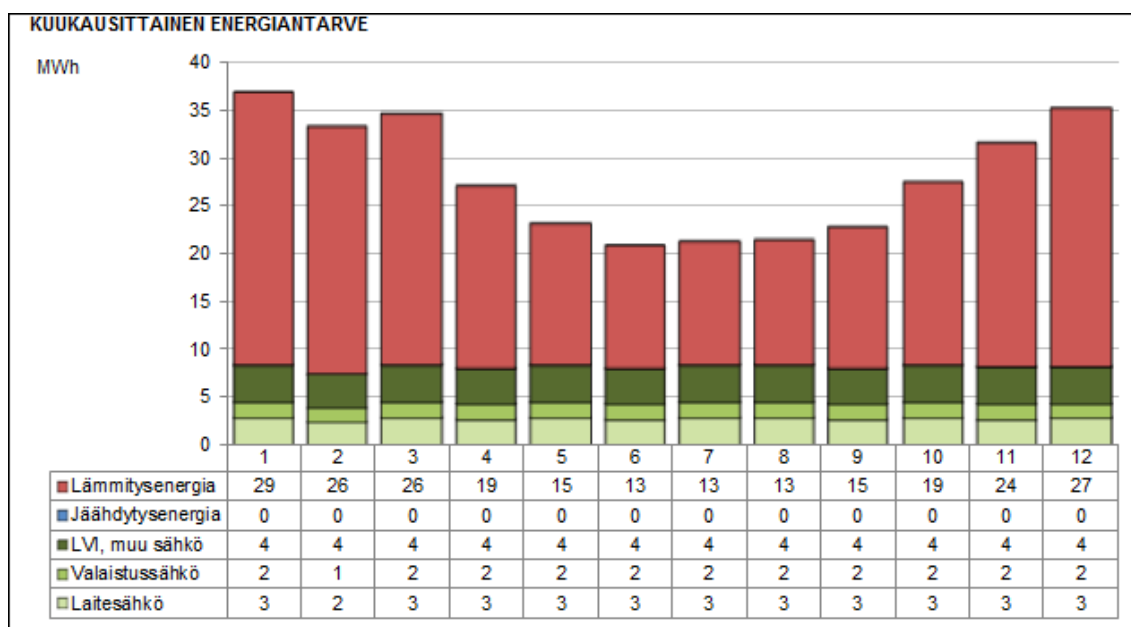
B-talon vuotuinen laskennallinen lämmitysenergian tarve on 238 MWh (kuva 35). Tämä sisältää ilmanvaihtokoneen tuloilman lämmitysenergian 14 %, lattialämmitysjärjestelmän lämmitysenergian 43 %, lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan energian 30 % ja lämpimän käyttöveden kiertopiirin lämpöhäviöt 13 %.

Jäähdytysenergiaa ei tutkimusajankohtana ole kulunut (kuva 35). Jäähdytysenergia kertoisi, kuinka paljon tarvitaan energiaa, jotta tavoitellut sisälämpötilat saavutetaan. Jäähdytysenergian määrään vaikuttavat mm. lämpökuormat, ikkunat ja niiden suojaukset, ilmansuunnat ja ympäristön varjostukset [38, s. 71].

Vuotuinen sähkönkulutus on 99 MWh (kuva 35). Tästä 47 % käyttää LVI-järjestelmien laitteet eli puhaltimet, pumput yms. ja 33 % kuluu laitesähköön ja 20 % kuluu valaistussähköön. Talojen yhteinen lämmönjakohuone sijaitse B-talossa, joten A-talossa sähkönkulutusjakauma poikkeaa B-talosta, koska esim. LVI-järjestelmien kuluttama laitesähkö on pienempi (ks. liite 1). Kaikkia sähkönkulutuslaitteita ei ole huomioitu.

Laitesähköön sisältyvät hissit, kiukaat yms. ja lisäksi asuntojen laitteet. Oikean puoleisessa piirakassa nähdään, kuinka laitesähkö ja valaistussähkö jakautuvat kiinteistön ja käyttäjien eli asukkaiden kesken (kuva 35).

B-talon kuukausittainen energiantarve esitetään kuvassa 36.



Kuva 36. B-talon kuukausittainen energiantarve.

Määräykset täyttävissä rakennuksissa lämmityskausi on syys-toukokuun välinen aika. Tämä perustuu siihen, että tällä ajanjaksolla ulkolämpötilat ovat niin matalat, että lämmitystä tarvitaan [38, s. 58, 66]. Kuvasta 36 on havaittavissa, että lämmityskausi on huomattavasti lyhyempi tutkimuskohteessa kuin määräykset täyttävissä rakennuksissa. Touko-syyskuun välisenä aikana tarvitaan miltei pelkästään lämpimän käyttöveden vaatima lämmitysenergia, mikä kertoo, että lämmitystarve alkaa vasta lokakuussa ja lämmitystarve loppuu huhtikuun aikana.

6.2.4 Tulosten tarkastelu

Riuska-ohjelman perusteella B-talon lämpimän käyttöveden valmistukseen tarvitaan 71,5 MWh vuodessa, ja kiertopiirin lämpöhäviöt ovat 30,8 MWh vuodessa, eli kiertopiirin lämpöhäviöt ovat lähes puolet siitä, mitä lämpimän käyttöveden valmistukseen tarvitaan energiaa. [36.] Energiasimulointeihin syötettiin RakMK:n osassa D5: 2007 annettu lämpimän käyttöveden kiertopiirin ominaislämpöhäviöenergia 15 kWh/bm² [38, s.32].

Kiertopiirin lämpöhäviöt voidaan laskea myös RakMK osan D5: 2012 luonnoksen mukaan kaavalla 10 [39, s. 45].

$$Q_{lkv,kierto} = \left(\phi_{lkv,kiertohäviö,omin} L_{lkv} + \phi_{lkv,lämmitys,omin} n_{lämmitysläite} \right) \frac{t_{lkv,pumppu} 365}{1000} \quad (10)$$

$Q_{lkv,kierto}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö [kWh/a]
$\phi_{lkv,kiertohäviö,omin}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho [W/m]
L_{lkv}	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus [m]
$\phi_{lkv,lämmitys,omin}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho [W/kpl]
$n_{lämmitysläite}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon kytkettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä [kpl]
$t_{lkv,pumppu}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika [h/vrk]

Lämmityslaitteita on 2 kpl, ja kiertojohdon pituus on 360 m [7]. Kiertojohdon lämpöhäviön ominaistehoksi valitaan RakMK osan D5: 2012 luonnoksen, taulukon 6.4 mukaisesti 8 W/m, joka vastaa lämpöhäviötä putkessa, jossa eristeen paksuus on 0,75-kertainen putken halkaisijaan nähden [39, s. 46]. Lasketaan B-talon kiertojohdon lämpöhäviö kaavalla 10:

$$8 \frac{W}{m} * 360 m + 200 \frac{W}{kpl} * 2 kpl \frac{24 \frac{h}{vrk} * 365}{1000} = 28732,8 \text{ kWh/a}$$

$$\frac{28732,8}{1000} \approx 29 \text{ MWh/a}$$

B-talon lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt ovat RakMK osan D5: 2012 luonnoksen mukaisesti laskettu 29 MWh vuodessa ja RakMK osan D5: 2007 mukaisesti laskettu 30,8 MWh vuodessa. Tulokset ovat lähes samat.

Tutkimuskohteessa on lasitetut parvekkeet, jotka huomioitiin energiasimuloinneissa lippojen ja peitelevyjen avulla. Näiden vaikutus oli yllättävä, sillä lasitettuja parvekkeita vastaavat ominaisuudet lisäsivät lämmitysenergian tarvetta. Vaikutuksia jäähdytysenergiaan ei tiedetä, sillä simuloinneissa ei jäähdytystä huomioitu. Laskentatapauksia tehtiin neljä: lippojen kanssa, peitelevyjen kanssa, lippojen ja peitelevyjen kanssa ja ilman näitä kumpaakaan. Taulukossa 6 on lueteltu A- ja B-talon laskentatapaukset ja niillä saavutetut vuotuiset energiantarpeet.

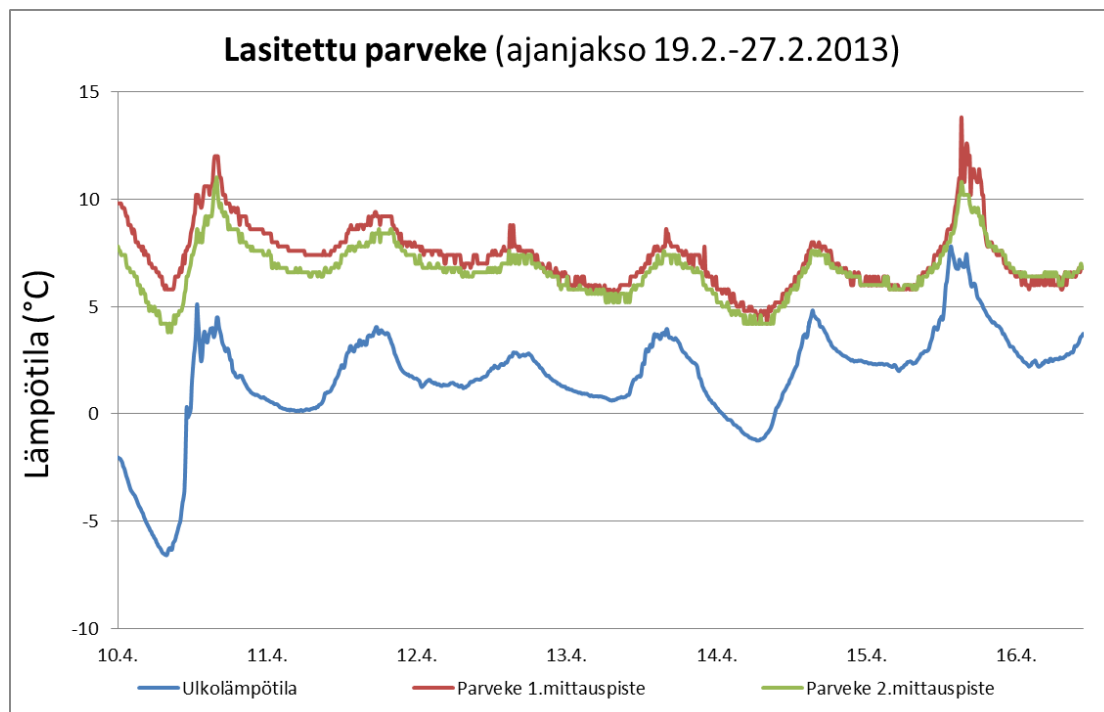
Taulukko 6. Laskentatapaukset.

Talo	Tapaus	Lämmitysenergian tarve
A	ei mitään	233 MWh
A	lipat	235 MWh
A	peitelevy	234 MWh
A	lipat+peitelevy	235 MWh
B	ei mitään	236 MWh
B	lipat	238 MWh
B	peitelevy	237 MWh
B	lipat+peitelevy	238 MWh

Taulukosta 6 huomataan, että erot ovat todella pienet. Tutkimuskohteessa julkisivusta on noin 30 % lasitettua parvekettä, joten näiden vaikutukset energian kulutuksiin olisi varmistettava. Lasitettujen parvekkeiden tulisi vähentää laskennallisesta lämmitysenergian kulutusta noin 3–10 % [11], mutta seuraavaksi selvitetään, päteekö tämä matala-energiataloihin.

Yksi vaihtoehto voisi olla, että lämmitysenergian pienentäminen otettaisiin huomioon lasitettujen parvekkeiden kohdalla U-arvon parantamisella.

Kuvassa 37 on esitetty lasitetun parvekkeen kevätkauden lämpötilamittausten tuloksia ja saman ajanjakson ulkolämpötilat.



Kuva 37. Lasitettujen parvekkeiden lämpötilat.

Kuvasta 37 huomataan, että parvekkeen lämpötila on huomattavasti korkeampi kuin ulkoilman lämpötila, joten lämpöhäviöt ovat pienemmät parvekkeellisissä ulkoseinissä. Ulkoilman keskilämpötila ajanjaksolta oli 2,4 °C ja parvekkeen keskilämpötila ajanjaksolta oli 7 °C.

Näiden lämpötilojen avulla voitaisiin laskea tehollinen U-arvo. Tämä laskelman periaatetta voitaisiin käyttää parvekkeellisten ulkoseinien lämpöhäviölaskelmissa.

Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo lasketaan kaavalla 5 (ks. 5.4).

R_T lasketaan ulkoseinille kaavalla 6 (ks. 5.4).

Ainekerrosten lämmönvastus lasketaan kaavalla 7 (ks. 5.4).

Tässä tapauksessa rakennusosan kokonaislämmönvastuksen laskemiseen tarvitaan sisä- ja ulkopuolinen pintavastus ja ainekerrosten lämmönvastukset.

Sisäpuolinen pintavastus vaakasuorassa lämpövirrassa on $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ ja ulkopuolinen pintavastus R_{se} on vastaavasti $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ [33, s. 16].

Seuraavaksi lasketaan kaavoja 5, 6 ja 7 apuna käyttäen lasitettujen parvekkeiden kohdalla olevan ulkoseinän lämpöhäviö neliometriä kohden, kun sisälämpötila on $22 \text{ }^\circ\text{C}$, ulkolämpötilana $2,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ja parvekkeen lämpötilana $7 \text{ }^\circ\text{C}$. Ulkoseinässä on sisäpuolella 100 mm betonia ja ulkopuolella 70 mm betonia ja näiden välissä 160 mm eristettä [7]. Betonin lämmönjohtavuudeksi oletetaan $1,7 \text{ W/Km}$ [33, s. 14] ja eristeen lämmönjohtavuudeksi tulee tällöin $0,025 \text{ W/Km}$, jotta seinän U-arvo $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ täyttyy:

$$\frac{1}{0,13 \text{ m}^2\text{W/K} + \frac{0,1 \text{ m}}{1,7 \frac{\text{W}}{\text{K}}} + \frac{0,16 \text{ m}}{0,025 \frac{\text{W}}{\text{K}}} + \frac{0,07 \text{ m}}{1,7 \frac{\text{W}}{\text{K}}} + 0,04 \text{ m}^2\text{W/K}} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Kun ulkoseinän toisella puolella on lasitettu parveke, ulkopuolinen pintavastus kasvaa. Laskelmissa tarkistettiin, että tällä ei ole vaikutusta U-arvoon tässä tapauksessa, vaikka ulkopuolisena pintavastuksena käytettäisiin sisäpuolisen pintavastuksen arvoa.

U-arvo tulee kertoa rakenteen eri puolien lämpötilaerolla, jotta saadaan lämpöhäviö neliometriä kohden. Seuraavaksi lasketaan lämpöhäviöteho neliometriä kohden ulkoilmaan:

$$0,15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} * (22 - 2,4)\text{K} = 2,9 \text{ W/m}^2$$

Seuraavaksi lasketaan lämpöhäviöteho neliometriä kohden lasitetulle parvekkeelle:

$$0,15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} * (22 - 7)\text{K} = 2,3 \text{ W/m}^2$$

Näiden suhteesta saadaan $0,8$. Tällä luvulla korjattua U-arvoa voitaisiin käyttää tehollisena U-arvona, kun toisella puolella on lasitettu parveke.

Tällä korjauskertoimella laskettiin tehollinen U-arvo ulkoseinille, ikkunoille ja oville eli kaikkien em. rakenteiden U-arvoa parannettiin 20 %:lla ja vuotuinen lämmöntarve laskettiin uudelleen. Tuloksena oli, että vuotuinen lämmöntarve ei vähentynyt kuin 0,5 % vuodessa eli ei juuri lainkaan. Syynä saattaa olla, että kun lämpöhäviöt ovat pienet, lasitetuilla parvekkeilla ei saada samanlaista lämmitysenergian säästöä kuin tavanomaisissa tai vanhoissa rakennuksissa. Energiatehokkaissa rakennuksissa U-arvot ovat jo valmiiksi pienet, joten korjauskertoimen hyöty ei ole yhtä hyvä kuin jos U-arvo olisi suurempi. Lasitetut parvekkeet joka tapauksessa vähentävät jäähdytysenergian kulutusta.

7 Näkökohtia

7.1 Suunnitteluvaihe

Energiatehokkaissa rakennuksissa ilmenee helposti yllämpöä jo pelkästä ilmaislämmöstä. Lämmitysjärjestelmien hukkalämmöstä aiheutuvaan yllämpöön voitaisiinkin kiinnittää enemmän huomiota, ja tavoitteena voisi olla, että lämpöä tulisi rakennukseen lämmitysjärjestelmän kautta vain sen verran, kuin asunnot tarvitsevat. Tämän huomaa tutkimuskohteen porrashuoneissa, joissa on kyseisen kerroksen kaikkien asuntojen lattialämmityspiirien yhteiset jakotukit. Tällöin porrashuoneen lattiarakenteissa olevissa lämmitysputkissa on pienet putkivälit ja näin ollen suuri lämmitysteho. Tämä aiheuttaa huomattavaa yllämpöä porrashuoneisiin, ja tähän voitaisiinkin kiinnittää huomiota enemmän kuin tavanomaisissa rakennuksissa, koska yllämpöä on huomattavasti vaikeampi päästä eroon, kun lämpöhäviöt ovat pienet. Vaihtoehto voisi olla lämpöjohdonousujen haaroittaminen jokaiseen asuntoon, joihin tulisi asuntokohtaiset jakotukit, eikä lattialämmitysputkia näin ollen tulisi porrashuoneen lattiarakenteisiin. Mikäli halutaan yhteiset jakotukit ja huoltokaapit käytävälle, tarvittaisiin lämpöhäviöitä vähentää esim. eristyksillä.

Lämmitysjärjestelmän säätöautomaatiikalla on tärkeä tehtävä, kun halutaan lämmönjakelusta toimivaa ja energiatehokasta. Säättökäyrän tulee olla sellainen, että lämpötilat vastaavat energiatehokkaan rakennuksen lämmöntarvetta eri ulkolämpötiloilla mutta eivät aiheuta yllämpöä. Säättökäyrän tulee vastata energiatehokkaan rakennuksen haasteisiin, joihin nimenomaan sisältyy myös se, että energiatehokas rakennus ei käyt-

täydy talvella samalla tavalla kuin tavanomaiset rakennukset. Huoneiden lämpötilan säätö usein toimii asetus- ja mittausarvojen perusteella, joten kaikki asuntojen ilmaislämpö tuleeekin hyödynnettyä.

Tavanomaisesti lämmön lisääminen alkaa ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterin sulke-
misella. Seuraavaksi otetaan käyttöön lämmöntalteenotto ja viimeiseksi lisätään läm-
mitysenergiaa. Lämmityksen lisääminen on kohteessa toteutettu niin, että ensin otetaan
käyttöön lämmöntalteenotto. Tämän tarkoitus on siirtää lämpöä poistoilmasta tuloil-
maan, josta lämpöenergia siirtyy jäähdytyspatterin kautta maalämpöpumppujen käytet-
täväksi, koska jäähdytyspatterissa kiertää maapiirin liuos. Tämän jälkeen vasta lisätään
lämmitystä. [12.] Tämän kaltaisia ratkaisuja tulisi harkita. Tässä on kuitenkin otettava
huomioon, millä lämpötilatasoilla verkostot toimivat, jotta toimenpiteellä ei olisi päinvas-
taista vaikutusta kuin on tarkoitus.

Lämmitystarve on asunnoissa pieni, jolloin matalilla lämpötiloilla toimivat lämmityspat-
terit voisivat olla riittävät kattamaan tilojen lämmitystarpeen. Lämmityspatterit ovat no-
peampia reagoimaan kuin lattialämmitys, jolloin ilmaislämpö tulisi hyödynnettyä pa-
remmin.

Kohteen järjestelmät ja erityisesti niiden toiminnan yhteensovittaminen edellyttää suun-
nitteluosapuolilta hyvää yhteistyötä. Tässä eri osapuolet eli laitetoimittajat, suunnittelijat
ja käyttäjät tekivät yhteistyötä jo kohteen hankesuunnittelusta alkaen. Tämä menettely-
tapa osaltaan on edesauttanut hyvän lopputuloksen saavuttamista.

7.2 Vastaanotto ja rakennuksen käyttö

Asiantuntemusta tarvitaan enemmän, kun järjestelmät muuttuvat monimutkaisemmiksi.
Tähän voisi olla ratkaisuna tehdä yksityiskohtaisia käyttöohjeita järjestelmille eri tilantei-
ta varten, esim. mitä tarvitsee tehdä määräajoin, mitä tarvitsee tehdä lämmityskauden
alkaessa tai päättyttyä jne. Lisäksi asukkaille voitaisiin antaa käyttökoulutus tärkeisiin
asioihin mm. huonesäätimien tai huonelämpötila-anturien käyttöön tai jättää yksinker-
taiset käyttöohjeet asuntoon, jotta asuntojen epämieluisat lämpötilat eivät ainakaan
johtuisi huonesäätimien tai huonelämpötila-antureiden puutteellisesta käytöstä.

Energiatehokkaiden rakennusten käytön aikainen seuranta on tärkeää. Tutkimuskoh- teessa on paljon mittausantureita, ja ne on todettu hyväksi keinoksi seurata rakennus- ten ja järjestelmien toimintaa. Mittausantureita olisikin hyvä olla LVI-järjestelmissä ja rakenteissa tämän kohteen kaltaisesti. Seuraamisen lisäksi täytyisi myös tehdä toi- menpiteitä, jotta saavutettaisiin rakennuksen mahdollisimman energiatehokas käyttö. Ajatuksena voisi olla, että vastaanottovaiheessa annettaisiin rakennukselle selvät toi- mintaselostukset ja raja-arvot, joissa kerrotaan, kuinka rakennuksen tulisi toimia. Kiin- teistön huollosta ja LVI-järjestelmien valvonnasta vastuussa oleva taho täyttäisi tarkis- tuslistan määrätyn väliajoin. Tarkistuslistan tarkoitus voisi olla varmistaa mm. alapuo- lella luetellut asiat:

- sisälämpötilojen pysyminen raja-arvojen sisällä
- säätökäyrän toiminta kaikissa olosuhteissa
- lämpötilojen ja kosteuden seuranta rakenteissa.

8 Yhteenveto

Energiatehokkuuden merkitys rakentamisessa on kasvanut ja kasvaa nopeasti. Tällä hetkellä energiatehokkaat rakennukset jakautuvat matalaenergiataloihin, passiiviener- giataloihin ja lähes nollaenergiataloihin, ja jokaisella näistä on omat kriteerit. Ennen energiatehokkaaseen rakentamiseen ryhtymistä täytyisi selvittää, kuinka nämä raken- nukset voitaisiin suunnitella ja rakentaa, jotta rakennuksista tulisi mahdollisimman energiatehokkaita, toimivia ja turvallisia. Viimeistään nyt on oikea aika tutkia rakennet- tuja kokeilukohteita ja selvittää, minkälaisia asioita tulee huomioida suunnittelu- ja ra- kentamisvaiheessa, unohtamatta rakennuksen vastaanottovaihetta ja käytönaikaista seurantaa ja huoltoa. Nykyiset määräykset eivät vaadi rakentamisen perusratkaisuksi kovin energiatehokasta rakennusta, mutta tulevaisuudessa määräykset tulevat vaati- maan.

Tässä tutkimuksessa on tutkittu vuonna 2011 valmistunutta matalaenergiakerrostaloa ja sen LVI-järjestelmiä. Rakennuksen lämmitysenergia tuotetaan kahdella maalämpö- pumpulla ja aurinkokeräimillä. Kohteessa on tehty paljon tavanomaisesta rakennukses-

ta poikkeavia ratkaisuja mm. LVI- ja automaatiojärjestelmiin, mutta on myös joitain seikkoja, joita vastaavanlaisissa kohteissa tulisi tehdä toisin.

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää suunnittelunäkökohtia, jotka voisivat olla hyödyllisiä energiatehokkaan rakennuksen suunnittelussa. Toinen tavoite oli ehdottaa toimenpiteitä, joilla voitaisiin varmistaa, että energiatehokkaat rakennuksen toimivat kuin on suunniteltu. Tämä ajateltiin toteuttaa vastaanottovaiheen ja käytönaikaisien menettelytapojen muuttamisella niin, että ne palvelisivat monimutkaisempia järjestelmiä, jotka energiatehokkaissa rakennuksissa yleistyvät.

Tutkimusta tehtiin kirjallisuusselvityksellä, jossa etsittiin mahdollista tutkimustietoa aiheesta ja aikaisemmista tutkimuksista. Lisäksi tutkimusta tehtiin suunnitelmien tutkimisella, kenttämittauksilla, paikan päällä tehdyillä havainnoilla, simuloinneilla ja haastattelulla.

Tutkimustyössä kertyneiden tuloksien perusteella on laadittu kaksi insinööriyötä. Tässä insinööriyössä käsitellään ilmanvaihtoa, lämmönjakoa, asuntojen sisäilmastoa eli kaikkea, joka tapahtuu lämmönjakuhuoneen ulkopuolella. Toisessa insinööriyössä käsitellään lämmönjakuhuoneen sisäpuolella tapahtuvaa lämmöntuotantoa.

Mittaustuloksien perusteella yllämpöä esiintyi asunnoissa ja porrashuoneissa. Suunnitteluvaiheessa voitaisiinkin enemmän kiinnittää huomiota lämmitysjärjestelmän kautta tulevaan yllämpöön, sillä yllämpö kuluttaa ylimääräistä lämmitysenergiaa ja aiheuttaa lisäksi epämukavuutta. Huomiota voitaisiin kiinnittää mm. eristykseen ja säätöautomaatiikkaan. Käytön aikana yllämpöön voitaisiin puuttua seuraamalla lämpötiloja ja korjaamalla, kun yllämpöä esiintyy.

Tutkimuskohteessa voitaisiin vielä tutkia, mikä on ilmaislämmön osuus yllämpöön. Lattialämmityspiirin menoveden lämpötila oli korkea, joten lämmitysjärjestelmän osittainen vaikutus yllämpöön on todennäköistä. Tutkimustulosten perusteella kävi myös ilmi, että monet mitatut asunnot olivat ylipaineisia. Kohteen ilmanvaihtoa olisi tutkittava lisää, jotta varmistuttaisiin rakennuksen kokonaisilmamääristä ja painesuhteista.

Lähteet

- 1 Tutkimukseen liittyvät palaverit ja keskustelut Jukka Yrjölän ja muiden tutkimukseen liittyvien henkilöiden kanssa 2.11.2012–13.5.2013.
- 2 Huhtala Paulus. Matalaenergiarakennuksen lämmöntuotantojärjestelmien toiminnan seuranta. Insinööri työ, julkaisematon 2013. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 3 Matalaenergiatalon määritelmä. 2011. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalo/matalaenergiatalon_maaritelmia>. Luettu 20.5.2013.
- 4 Passiivitalo. 2013. Verkkodokumentti. Energiatehokas koti -kampanja. <http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/hyva_tietaa/passiivitalo>. Luettu 20.5.2013.
- 5 LVI 03-40002 -ohjekortti. 1991. Rakennusten vastaan- ja käyttöönotto. Rakennustietosäätiö.
- 6 Käynnit tutkimuskohteessa 15.2.2013–17.4.2013
- 7 LVIA-suunnitelmat. Saatu s-postiin. LVI-Cad Oy.
- 8 Rakennusten lämmöneristys, määräykset. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C3. Helsinki: ympäristöministeriö
- 9 Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 10 Schneider uutiset. 2/2011. Schneider Electric.
- 11 Hilliaho, Kimmo. 2010. Parvekelasituksen energiataloudelliset vaikutukset. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- 12 Miettinen, Jani. Schneider Electric Buildings Finland Oy, järjestelmäasiantuntija. Keskustelut 15.2.2013–17.4.2013.
- 13 Ahvenainen, Timo. Oilon Oy, yhteyshenkilö. Keskustelut 8.5.2013.
- 14 Hakala, Pertti; Kaappola, Esko. 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.

- 15 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.
- 16 Mikä on kylmäainepiiri? 2012. Verkkodokumentti.
<<http://www.kylmarakenne.fi/Sivusto/Kylmaainepiiri.html>>. Luettu 7.4.2013.
- 17 Kylmäautomaatiikka, 4-tie vaihtventtiili. Verkkodokumentti. Oy Danfoss Ab.
<<http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/7EB2EF70-5630-4C87-886FF62279F3E124/0/4tieVenttiili.pdf>>. Luettu 7.4.2013.
- 18 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 19 Ympäristöministeriön asetus kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistoista annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta. 2010. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 20 Huoneistokohtainen vedenmittaus kannattavin investointi. Verkkodokumentti.
<<http://www.vexve.com/fi/verto/tietoa-vedenkulutuksesta/energiansaasto>>. Luettu 7.4.2013.
- 21 Harju, Pentti. 2003. Talotekniikan automaatio. Verkkodokumentti. Penan Tieto-Opus Ky. <http://www.penantietoopus.fi/files/Talotekniikan_automatio_oppikirja.pdf>.
- 22 Betonirunkoisia talotekniikkaelementtejä – kaikki talotekniikka Elpo-hormiin. Verkkodokumentti. Elpotek Oy. <<http://www.rudus.fi/elpotek/tuotteet>>. Luettu 6.4.2013.
- 23 TAC Vista-järjestelmä. 2013. Verkkovalvomo. Schneider Electric Oy.
- 24 Mitä sisäilma on? Verkkodokumentti.
<<http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/>>. Luettu 7.5.2013.
- 25 Terveysvaikutukset. 2000. Verkkodokumentti. 2000. Sisäilmayhdistys.
<<http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/terveysvaikutukset/>>. Luettu 7.5.2013.
- 26 Asumisterveysohje, sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003. Helsinki: sosiaali- ja terveysministeriö.
- 27 Seppänen, Olli. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Suomen LVI-yhdistysten Liitto.

- 28 Ilmanvaihdon perusteet. 1995. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys.
<http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/ilmanvaihdon_perusteet/>. Luettu 7.5.2013.
- 29 Sisäilmastoluokitus 2008, sisäympäristön uudet tavoitteet. 2008. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys.
<<http://www.sisailmayhdistys.fi/attachments/kehityshankkeet/sisailmastoluokitus2008-esittely.pdf>>. Luettu 7.5.2013
- 30 Hiilidioksidipitoisuus. Verkkodokumentti.
<<http://www.hiilipuu.fi/fi/artikkelit/hiilidioksidipitoisuus>>. Luettu 7.5.2013.
- 31 Hukkalämmön hyödyntäminen. 2011. Verkkodokumentti. Oulunkaaren kuntayhtymä.
<<http://www.oulunkaari.com/tiedostot/Uusiutuvaenergia/raportit/hukkalammon%20hyod.pdf>>. Luettu 9.5.2013.
- 32 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa, ympäristöministeriön moniste 122. 2003. Helsinki; ympäristöministeriö.
- 33 Lämmöneristys, ohjeet. 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C4. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 34 Linnavuori Sakari. 2011. Kiinteistön lämpöhäviöiden laskeminen. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 35 Tietomallintaminen. Verkkodokumentti. 2012. Skanska Oy.
<<http://www.skanska.fi/fi/tietoa-skanskasta/kehitystoiminta/tietomallintaminen/>>. Luettu 3.5.2013.
- 36 Tutkimuskohteen mallinnukset ja energiasimuloinnit. 29.1.2013–8.5.2013.
- 37 Sormunen, Piia. 2013. Metropolia Ammattikorkeakoulu, energiatekniikan yliopettaja. Keskustelut 29.1.2013–8.5.2013.
- 38 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 39 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5 luonnos. Helsinki: ympäristöministeriö.

DATA:													
Kuorma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	MWh
Kust. jaottelu	Kust. jaottelu												
Kiinteistö	8,684	7,844	8,684	8,404	8,684	8,404	8,684	8,684	8,404	8,684	8,404	8,684	102,3
Lämmin käyttövesi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Lämmitys, muu	13,799	12,378	12,055	7,979	5,590	4,337	4,353	4,353	5,753	8,447	11,058	12,931	103,0
Lämmitys, tilat	6,057	5,696	5,474	2,638	0,583	0,131	0,011	0,069	0,662	1,994	4,089	5,290	32,7
Lämmitys, IV-koneet	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Jäähdytysenergia	1,147	1,036	1,147	1,110	1,147	1,110	1,147	1,147	1,110	1,147	1,110	1,147	13,5
Puhallinsähkö	2,827	2,554	2,827	2,736	2,827	2,736	2,827	2,827	2,736	2,827	2,736	2,827	33,3
LV, muu sähkö	0,451	0,392	0,431	0,412	0,451	0,412	0,431	0,451	0,392	0,451	0,431	0,412	5,1
Laitesähkö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Valaistussähkö	2,304	2,081	2,304	2,230	2,304	2,230	2,304	2,304	2,230	2,304	2,230	2,304	27,1
Laitesähkö	1,663	1,429	1,682	1,619	1,710	1,619	1,682	1,710	1,591	1,710	1,647	1,597	19,7
Yhteenveto:													
Lämmitysenergia	29	26	26	19	15	13	13	13	15	19	24	27	238
Jäähdytysenergia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LV, muu sähkö	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	47
Valaistussähkö	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20
Laitesähkö	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	32
Kiinteistö- ja käyttäjänsähkö													
Kiinteistösähkö	4,4	4,0	4,4	4,3	4,4	4,3	4,4	4,4	4,2	4,4	4,3	4,4	51,9
Käyttäjäsähkö	4,0	3,5	4,0	3,8	4,0	3,8	4,0	4,0	3,8	4,0	3,9	3,9	46,8