

Sanna Boström, Ulrika Uotila, Stina Linne, Kimmo Hilliaho & Jukka Lahdensivu

**Erilaisten korjaustoimien vaikutuksia lähiökerrostalojen todelliseen energiankulutukseen**



Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka.  
Tutkimusraportti 158  
Tampere University of Technology. Department of Civil Engineering. Structural Engineering.  
Research Report 158

Sanna Boström, Ulrika Uotila, Stina Linne, Kimmo Hilliaho & Jukka Lahdensivu

## **Erilaisten korjaustoimien vaikutuksia lähiökerrostalojen todelliseen energiankulutukseen**

ISBN 978-952-15-2911-5 (nid.)  
ISBN 978-952-15-2912-2 (PDF)  
ISSN 1797-9161

Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos

Boström Sanna, Uotila Ulrika, Linne Stina, Hilliaho Kimmo, Lahdensivu Jukka

## **Erilaisten korjaustoimien vaikutuksia lähiökerrostalojen todelliseen energiankulutukseen**

Tutkimusraportti 158, 77 s.

Tampere 2012

Hakusanat: energiankulutus, korjausten vaikutus, energiatehokkuusluku, laskennallinen tarkastelu, energiataloudelliset valinnat, tietokanta, korjaustarve

### **Tiivistelmä**

Tutkimuksessa tehdään tarkasteluja 727 vuokrakerrostalon todellisesta energiankulutuksesta. Tämän lisäksi näistä 119:ssä kohteessa tarkastellaan erilaisten tehtyjen korjausten vaikutuksia rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Näiden todellisista kohteista saatujen kulutustietojen lisäksi erilaisten korjaustoimien vaikutuksia rakennuksen lämmitysenergiankulutukseen tarkastellaan simuloimalla tyypillisessä lamellitalossa ja tornitalossa.

Tarkasteltava kerrostalokanta on rakennettu pitkällä ajanjaksolla 1950-luvulta 2000-luvulle, joten eri aikakausien kerrostalojen energiatehokkuutta (ET-luku) oli mahdollista tarkastella todellisen mitatun energiankulutuksen mukaan. Jokaisen vuosikymmenen kerrostalojen energiatehokkuudessa esiintyy suurta vaihtelua, mutta kaikki eri vuosikymmenillä rakennetut tietokannan kerrostalot sijoittuvat energiatehokkuudessa keskimäärin luokkaan D, vaikka esimerkiksi ulkoseinien lämmöneristeen paksuus on saamaan aikaan kasvanut 60 mm:stä 180 mm:iin.

Rakennusten lämmitysjärjestelmään tehtävät korjaukset ja säädöt ovat yleisesti kannattavimpia energiatehokkuuden parannustapoja. Oikean huonelämpötilan säätö on tuottanut 0-15 % säästön ilman kustannuksia, mikä kertoo yleisesti liian korkeista huonelämpötiloista asuinkerrostaloissa. Patteriventtiilien uusiminen ja säätö on laskenut kulutusta keskimäärin 5 % ja kustannukset ovat luokkaa 5-15 €/as-m<sup>2</sup>. Talokohtaisten lämmönsiirtimien uusiminen liittyy niiden vanhenemiseen. Tyypillisesti uusien vaihtimien hyötysuhde on alkuperäisiä parempi, joten energiansäästöä syntyy keskimäärin 5 %.

Julkisivujen lisälämmöneristyksellä on todettu saavutettavan 1970-luvun kerrostaloissa noin 13 % energiansäästö. Lisälämmöneristäminen on kuitenkin halvimmillaankin luokkaa 200 €/m<sup>2</sup>, joten se on taloudellisesti kannattavaa ainoastaan sellaisissa tapauksissa, joissa julkisivuun joudutaan sen vaurioitumisen vuoksi tekemään peittävä korjaus. Ikkunoiden uusiminen vähentää energiankulutusta keskimäärin 5 % ja kustannus on luokkaa 100 €/as-m<sup>2</sup>.

Parvekelasituksella on todettu olevan jopa 4 % energiankulutusta vähentävä vaikutus, joka on suuresti riippuvainen parvekkeiden muodosta ja ilmansuunnasta. Parvekelasituksella on positiivisia vaikutuksia myös betoniparvekkeen käyttöikänsä. Parvekelasitus maksaa noin 20 €/as-m<sup>2</sup>.

Lähiökerrostalojen yläpohjat on jo lähtökohtaisesti eristetty kohtalaisesti ja niiden osuus koko vaippapinta-alasta on kohtalaisen pieni, joten lisälämmöneristyksellä on saavutettu vain 0-3 % säästö korjauskustannuksen ollessa luokkaa 80 €/as-m<sup>2</sup>.

Rakennusten ilmanvaihtoon tehtävät korjaukset ja huoltotoimet pääsääntöisesti lisäävät rakennuksen energiankulutusta keskimäärin 3 %, myös yli 10 % lisäyksiä on tapahtunut. Tämä tarkoittaa, että ilmanvaihto on asunnoissa ollut puutteellinen ja korjauksen jälkeen asumisterveellisyys on parantunut.

## **The effects of different renovation measures on the energy consumption of suburban block of flats**

Research report 158, 77 p.

Tampere 2012

Keywords: energy consumption, repair measure, energy efficiency number, cost-effective measures, database, repair need

### **Abstract**

Studies have been made on total energy consumption of buildings as well as the effect of different repair measures on the total energy efficiency of these buildings. The distribution of total heating energy consumption has been studied also with dynamic modelling in typical tower block and slab block. Studies are based on a wide database gathered during this research consisting of measured energy consumption of 727 rental block of flats. The database includes 119 buildings where has been made various repair measures to structures and adjustments to HVAC solutions.

The block of flats stock has been built up during a long time period from 1950's to 2000's, which made it possible to study energy efficiency (ET-number) of block of flats in different periods based on measured energy consumption. Despite the energy efficiency of the buildings in each studied period has a large variation; the average energy efficiency was in class D, despite e.g. the thickness of thermal insulation has been grown from 60 mm to 180 mm at the same time.

In general, the most cost-effective measure to improve the energy efficiency of an apartment building is to repair and adjust the heating system. In many apartments, room air temperatures are too high and the control of temperature can result in a 0-15 % saving in heat energy without expense. The renewing of radiator heat control valves causes an average saving of 5 % in heat energy consumption and costs 5-15 €/m<sup>2</sup>. The efficiency of new heat exchanger is usually better than the old one and to replace a new heat exchanger typically results in a 5 % saving in heat energy consumption.

The additional thermal insulation with new facing of the facade causes approximately a 13 % saving in heat energy consumption in the apartment buildings built in the 1970s. The costs of thermal insulation is more than 200 €/m<sup>2</sup>. The additional thermal insulation of the facades is cost-effective only when the damage in the old façade necessitates cladding type repair. The renewing of windows can result in a 5 % saving in the heat energy consumption on an average and costs 100 €/m<sup>2</sup>.

By using balcony glazing it is possible to save 4 % in heat energy and it costs 20 €/m<sup>2</sup>. The amount of saving depends on the form and the direction of balcony. By using balcony glazing it is also possible to extend the useful technical service life of a balcony.

The thermal insulation of roofs is generally quite good in the apartment buildings located in suburbs. The roof has a small section of the building envelope in the apartment buildings and by increasing the thermal insulation of the roof, only a 0-3 % saving in heat energy consumption can be achieved. The cost of the thermal insulation of roof is approximately 80 €/m<sup>2</sup>.

Ventilation repairing and ventilation overhaul increase the heat energy consumption in the apartment buildings usually 3 %, but also as much as 10 % in some cases. In many apartments air exchange has been inadequate and the indoor air quality was improved after ventilation repair.



## ALKUSANAT

Rakennusten energiatehokkuus on ollut Ympäristöministeriön agendalla jo useita vuosia lähinnä uudisrakentamista koskien. Tähän liittyen Ympäristöministeriön, Sitran ja Tekesin toimesta on laadittu raportti ERA 17, Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017 (Matinkauppi 2010), jossa on määritelty tiekartta Suomen kasvihuonekaasujen ja energiankulutuksen vähentämiseksi merkittävästi vuoteen 2017 mennessä. Raportissa esitetyjä tavoitteita ei ole mahdollista saavuttaa pelkästään uudisrakentamisen keinoin, joten korjausrakentamisella tulee olemaan myös merkittävä osuus näissä talkoissa. Tätä kirjoitettaessa uudet korjausrakentamista koskevat energiatehokkuusmääräykset ovat juuri lausuntokierroksella.

Energiatehokas lähiökorjaaminen -hankkeessa kunnianhimoisena tavoitteena oli kehittää innovatiivisia ratkaisuja suomalaisten lähiöiden energiatehokkaaseen korjaamiseen. Tutkimuksen pienemmässä Rakennustekniikan laitoksen osuudessa tarkasteltiin lähiöiden korjaustarpeita yleisesti, lähiökerrostalojen kokonaisenergiankulutusta sekä erilaisten korjaus- ja säätötoimien vaikutusta kokonaisenergiankulutukseen.

Tähän raporttiin on koottu neljän uusimman Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitokselle tehdyn diplomityön keskeinen sisältö ja merkittävimmät tulokset. Kaksi diplomitöistä (Boström ja Uotila) on tehty Entelkor-tutkimukseen liittyen ja kaksi muuta (Linne ja Hilliaho) omissa erillisissä tutkimusprojekteissaan.

Entelkor-tutkimus oli osa Ympäristöministeriön lähiöohjelmaa ja on ollut kokonaisuudessaan Ympäristöministeriön rahoittama tutkimus. Tutkimuksen hallinnoinnista on vastannut ARA.

TTY:n Rakennustekniikan laitoksella tutkimushanketta on johtanut prof. Matti Pentti ja tutkimusryhmän ovat muodostaneet tekn. toht. Jukka Lahdensivu, dipl.ins. Jommi Suonketo, tekn. kand. Sanna Boström, tekn. kand. Ulrika Uotila, tekn. kand. Kari Saastamoinen ja dipl.ins. Jaakko Koskinen. Haluamme kiittää kaikkia tutkimukseen osallistuneita yritysten, ministeriön ja ohjausryhmän edustajia sekä tutkimuksen toteuttamiseen osallistuneita henkilöitä.

Tampereella 9.10.2012

Tekijät

## Sisällysluettelo

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>JOHDANTO</b>  | <b>9</b>  |
| 1.1      | KERROSTALOKANTA SUOMESSA   | 9         |
| 1.2      | YLEISTÄ ENTELKOR-TUTKIMUKSESTA   | 10        |
| 1.2.1    | <i>Tavoitteet</i>  | 11        |
| 1.2.2    | <i>Toimintatavat</i>   | 11        |
| 1.3      | KERROSTALON ENERGIANKULUTUS  | 12        |
| 1.3.1    | <i>Lämmönkulutuksen jakautuminen</i>   | 12        |
| 1.3.2    | <i>Ilmasto ja lämmitystarve</i>  | 13        |
| 1.3.3    | <i>Lämmöneristysmääräysten muutokset</i>   | 15        |
| <b>2</b> | <b>TUTKIMUSAINEISTO</b>  | <b>18</b> |
| 2.1      | USEITA ERI OSATUTKIMUSIA   | 18        |
| 2.2      | KULUTUSTIETOKANTA  | 18        |
| 2.2.1    | <i>Laskennallinen vertailuaineisto</i>   | 18        |
| 2.3      | KORJAUSAINEISTO  | 18        |
| 2.3.1    | <i>Mallinnuskohteet</i>  | 18        |
| 2.4      | PARVEKELASITUKSEN VAIKUTUKSEN MITTAUSAINEISTO                                      | 19        |
| 2.5      | KULUTUSTIETOKANNAN LUOTETTAVUUS  | 19        |
| 2.5.1    | <i>Tietokanta vs. Suomen rakennuskanta</i>   | 19        |
| 2.5.2    | <i>Kerrostalojen lämpöindeksit</i>   | 19        |
| 2.5.3    | <i>Asuntokuntien muutokset</i>   | 21        |
| 2.5.4    | <i>Vedenkulutus</i>  | 21        |
| 2.5.5    | <i>Korjaustietokanta</i>   | 22        |
| <b>3</b> | <b>TOTEUTUNUT VS. LASKENNALLINEN KULUTUS</b>                                       | <b>23</b> |
| 3.1      | KOKO TIETOKANNAN ET-LUVUT  | 23        |
| 3.2      | ENERGIANKULUTUKSEN JA ENERGIAEHOJKUUSLUVUN LASKENTA                                | 24        |
| 3.2.1    | <i>Case-kohteet</i>  | 25        |
| 3.2.2    | <i>Ilmanvaihdon merkitys laskennallisesti</i>                                      | 26        |
| 3.2.3    | <i>Maan lämmönvastuksen vaikutus energiankulutuksen laskentaan</i>                 | 27        |
| 3.3      | LÄMMÖNKULUTUKSEN JAKAUTUMINEN  | 27        |
| <b>4</b> | <b>KORJAUS- JA SÄÄTÖTOIMIEN VAIKUTUKSET</b>  | <b>30</b> |
| 4.1      | JULKISIVUJEN LISÄLÄMMÖNERISTYS   | 30        |
| 4.1.1    | <i>Energiankulutuksessa suuria kohdekohtaisia eroja</i>                            | 30        |
| 4.1.2    | <i>Ikkunoiden uusiminen ja LVI-järjestelmien säädöt tehostavat energiansäästöä</i> | 31        |
| 4.1.3    | <i>Lisälämmöneristepaksuudella on huomattava merkitys</i>                          | 32        |
| 4.1.4    | <i>Lisälämmöneristys vaikuttaa energialuokkaan</i>                                 | 33        |
| 4.2      | LÄMMITYSLAITTEIDEN JA –VERKOSTON KORJAUKSET  | 33        |
| 4.2.1    | <i>Lämmitysverkoston perussäätö</i>  | 34        |
| 4.2.2    | <i>Kaukolämpölaitteiden (lämmönsiirtimen) uusiminen</i>                            | 34        |
| 4.2.3    | <i>Lämmitysjärjestelmän korjaukset</i>   | 35        |
| 4.3      | ILMANVAIHTOKORJAUKSET  | 36        |
| 4.3.1    | <i>Painovoimaisen ilmanvaihdon korjaukset</i>                                      | 37        |
| 4.3.2    | <i>Koneellisen poistoilmanvaihdon korjausmahdollisuudet</i>                        | 37        |
| 4.3.3    | <i>Nuohous ja ilmavirtojen säätö</i>   | 38        |
| 4.3.4    | <i>Ilmanvaihdon säätö</i>  | 38        |
| 4.3.5    | <i>Ilmanvaihdon uusimisvaihtoehdot</i>   | 39        |
| 4.3.6    | <i>Keskitetty tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä</i>                            | 39        |
| 4.3.7    | <i>Huoneistokohtainen ilmanvaihto</i>  | 40        |
| 4.3.8    | <i>Koneellisen poiston yhdistäminen huoneistokohtaisiin tuloilmakoneisiin</i>      | 41        |
| 4.3.9    | <i>Lämmöntalteenoton kannattavuus ja rajoitukset</i>                               | 41        |



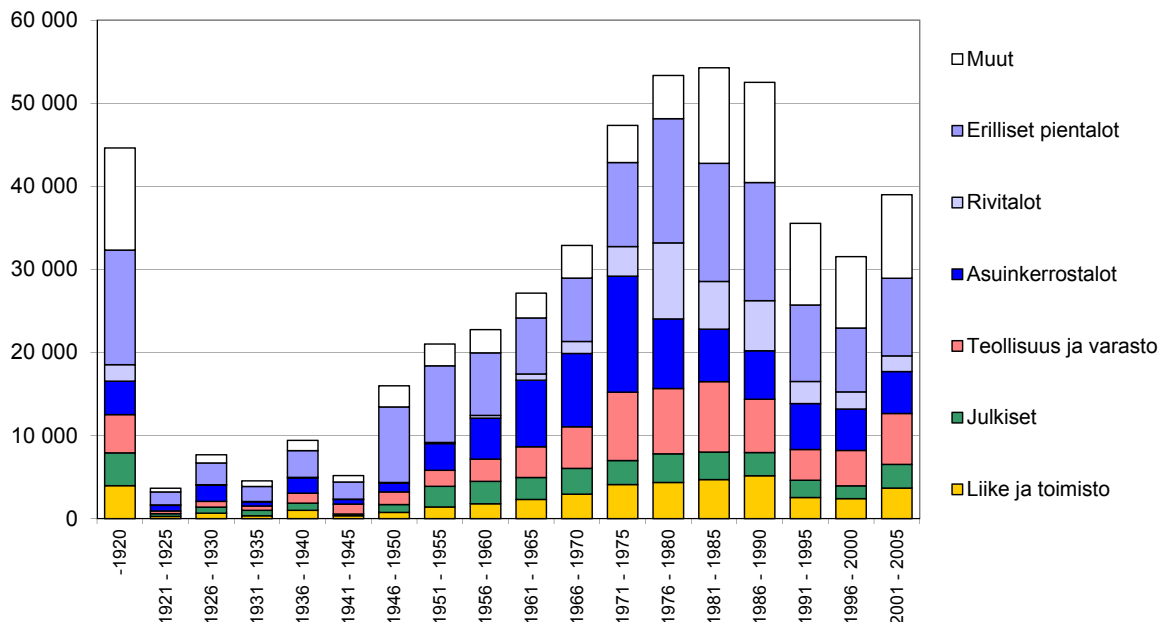
|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 4.3.10   | <i>Ilmanvaihdon korjausten kannattavuus</i> .....                            | 42        |
| 4.4      | VESI- JA VIEMÄRILAITTEIDEN KORJAUKSET .....                                  | 42        |
| 4.4.1    | <i>Viemäriputkien uusiminen</i> .....  | 43        |
| 4.4.2    | <i>Vesikalusteiden uusiminen</i> .....                                       | 43        |
| 4.4.3    | <i>Huoneistokohtainen vedenkulutuksen mittaus ja laskutus</i> .....          | 44        |
| 4.5      | IKKUNA- JA OVIKORJAUKSET .....   | 45        |
| 4.5.1    | <i>Ikkunoiden kunnossapitokorjaus</i> .....                                  | 45        |
| 4.5.2    | <i>Ikkunoiden osittainen uusiminen</i> .....                                 | 45        |
| 4.5.3    | <i>Ikkunoiden uusiminen</i> .....  | 46        |
| 4.5.4    | <i>Ikkunakorjausten kannattavuus</i> .....                                   | 46        |
| 4.5.5    | <i>Ovikorjaukset</i> .....   | 47        |
| 4.5.6    | <i>Parvekeovien uusiminen</i> .....  | 47        |
| 4.5.7    | <i>Elementtisaumojen uusiminen</i> .....                                     | 48        |
| 4.6      | YLÄPOHJA JA VESIKATTO.....   | 48        |
| 4.6.1    | <i>Yläpohjan lisälämmöneristys</i> .....                                     | 48        |
| 4.6.2    | <i>Yläpohjan lisäeristämällä pieni vaikutus energiankulutukseen</i> .....    | 49        |
| 4.6.3    | <i>Yläpohjan kevyet korjaukset</i> .....                                     | 49        |
| 4.6.4    | <i>Vesikatteen korjauksilla ei ole vaikutusta energiankulutukseen</i> .....  | 49        |
| 4.7      | PARVEKKEET .....   | 50        |
| 4.7.1    | <i>Parvekkeen taustaseinän uusiminen tai lisälämmöneristäminen</i> .....     | 51        |
| 4.8      | ALAPOHJAN KORJAUSMAHDOLLISUUDET .....  | 51        |
| 4.8.1    | <i>Sokkelin eristys</i> .....  | 52        |
| 4.9      | LASKUTUS HUONEISTOKOHTAISEN LÄMMÖNKULUTUKSEN PERUSTEELLA .....               | 52        |
| 4.10     | KORJAUSKUSTANNUKSET JA ENERGIANSÄÄSTÖ .....                                  | 52        |
| <b>5</b> | <b>MALLINNUS</b> .....   | <b>55</b> |
| 5.1      | TUTKIMUKSESSÄ KÄYTETYT KOHTEET .....   | 55        |
| 5.2      | MALLINNUSTEN TULOKSET .....  | 58        |
| 5.2.1    | <i>Ulkoseinien lisäeristys</i> .....   | 59        |
| 5.2.2    | <i>Ikkunakorjaukset</i> .....  | 60        |
| 5.2.3    | <i>Yhdistetty ikkuna- ja julkisivuremontti</i> .....                         | 60        |
| 5.2.4    | <i>Ulko-ovien ja parvekkeenovien uusiminen</i> .....                         | 61        |
| 5.2.5    | <i>Yläpohjan lisäeristys</i> .....   | 61        |
| 5.2.6    | <i>Alapohjan lisäeristämällä vähäinen vaikutus energiankulutukseen</i> ..... | 61        |
| 5.2.7    | <i>Parvekelasitus</i> .....  | 62        |
| 5.2.8    | <i>Parvekkeen taustaseinän lisäeristäminen</i> .....                         | 62        |
| 5.2.9    | <i>Ilmanvaihtokorjausten vaikutuksen energiankulutukseen</i> .....           | 62        |
| <b>6</b> | <b>PARVEKELASTUKSEN VAIKUTUS RAKENNUKSEN ENERGIANKULUTUKSEEN.</b>            | <b>64</b> |
| 6.1      | KENTTÄMITTAUKSIIN JA 3D-SIMULOINTEIHIN PERUSTUVA TUTKIMUS .....              | 64        |
| 6.1.1    | <i>Puskurivyöhykkeellä mahdollisuus lämpötilaerojen pienentämiseen</i> ..... | 64        |
| 6.1.2    | <i>Simulointitarkastelut</i> .....   | 65        |
| 6.2      | PARVEKETYYPIN JA PARVEKKEIDEN SUUNTAUKSEN VAIKUS .....                       | 66        |
| 6.3      | ASUKKAILLA KESKEINEN VAIKUTUS TODELLISTEN SÄÄSTÖJEN SYNTYYN .....            | 67        |
| <b>7</b> | <b>PÄÄTELMÄT</b> .....   | <b>68</b> |
| 7.1      | KESKEISET HAVAINNOT ERI OSATUTKIMUKSISTA.....                                | 68        |
| 7.2      | JATKOTUTKIMUSTARPEET.....  | 71        |

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Kerrostalokanta Suomessa

Suomen rakennuskanta on rakennettu pääosin toisen maailmasodan jälkeen. Rakennuskannan kokonaiskerrosala oli vuonna 2005 noin 510 miljoonaa neliometriä. Suurimman yksittäisen ryhmän muodostivat erilliset pientalot 29 % osuudella. Asuinkerrostalojen osuus on 17 % sekä teollisuus- ja varastorakennusten osuus 13 %. Ryhmään muut rakennukset kuuluu pääasiassa kylmiä lämmittämättömiä rakennuksia ja rakennelmia (Vainio et al. 2005).

Eurooppalaisittain tarkasteltuna Suomen rakennuskanta on varsin nuorta, suurin osa on rakennettu 1960-luvulla ja sen jälkeen, ks. kuva 1.1. Julkisivukorjaamisessa korostuvien erilaisten betonijulkisivujen osuus on vain 18 % kaikista julkisivuista. Korjaustoiminta on aktiivista myös betoniparvekkeiden osalla, jotka on yli 90 prosenttisesti rakennettu 1960-luvulla ja sen jälkeen (Vainio et al. 2005). Parvekkeita on rakennettu lähinnä asuinkerrostaloihin, joita rakennettiin eniten betonielementtirakentamisen valtakaudella 1960-luvun puolivälistä lähtien.



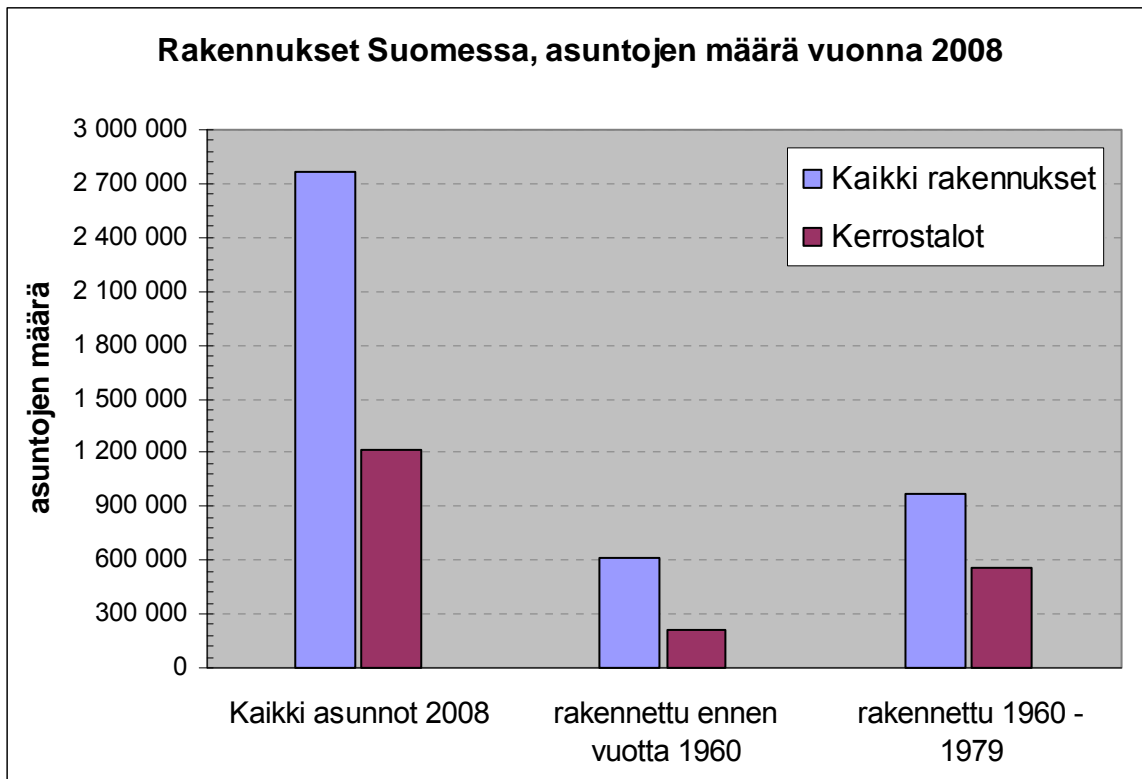
**Kuva 1.1** Suomen rakennuskannan kerrosala rakennusten valmistusajankohdan mukaan. Kokonaiskerrosala oli 510 milj. m<sup>2</sup> vuonna 2005 (Vainio et al. 2005).

Tilastokeskuksen mukaan Suomessa on asuntoja kaikkiaan reilut 2,7 miljoonaa kappaletta, joista 1,2 miljoonaa on kerrostaloissa. Kerrostaloasuntokannasta noin 50 % on rakennettu varsin lyhyessä ajassa välillä 1960-1979 (Tilastokeskus 2009). Vuonna 2008 kaikkiaan 62 % Suomen kansallisvarallisuudesta on ollut sitoutuneena rakennuksiin (Valtionvarainministeriö 2009).

Rakennusten korjaamista on tapahtunut aina. Korjaamisen syynä on ollut ensisijaisesti rakenteiden vaurioituminen, tilamuutostarpeet tai rakennuksen käyttötarkoituksen muuttaminen. Korjaustoiminta on kasvanut tasaisesti 1990-luvulta lähtien ja oli vuonna 2009 arvoltaan noin 9 miljardia euroa (Rakennusteollisuus RT 2012).

Ilmastonmuutoksen torjuntaan liittyvien kansainvälisten ilmastopöytäkirjojen hiilidioksidipäästörajoitteiden myötä kiinnostus korjausrakentamista ja sen avulla saavutettavia energiansäästömahdollisuuksia kohtaan on lisääntynyt merkittävästi aivan

viime vuosina. Rakennuskannan hitaan uusiutumisen vuoksi koko rakennuskannan energiataloutta ei voida parantaa vain uudisrakentamisen keinoin, vaan myös olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuutta on parannettava (Ympäristöministeriö 2007). Korjausrakentamisessa energiatehokkuuden parantaminen yhdistetään yleisimmin julkisivujen lisälämmöneristykseen sekä ikkunoiden uusimiseen.



**Kuva 1.2** Betonielementtikerrostalot muodostavat huomattavan suuren osuuden Suomen kerrostalokannasta (Tilastokeskus 2009).

Tällä hetkellä eletään aikaa, jolloin yhä useammat rakennukset tulevat korjausikään (Lahdensivu et al. 2010 ja Vainio et al. 2005). Rakenteita vaurioittavat useat eri turmeltumisilmiöt, joiden etenemiseen puolestaan vaikuttavat monet rakenteelliset sekä olosuhde- ja materiaalitekijät. Näin ollen rakenteiden todelliset käyttöiät vaihtelevat käytännössä paljon. Vauriutilanteen suuri vaihtelu eri talojen välillä sekä se, että merkittävimpiä vaurioita ei voi silmin havaita ennen kuin ne ovat edenneet hyvin pitkälle tekevät perusteellisen kuntotutkimuksen tarpeelliseksi useimmissa julkisivukorjauskohteissa todellisen korjaustarpeen määrittämiseksi.

Pääosin lähiöissä sijaitsevien betonielementtikerrostalojen julkisivuista on tähän mennessä korjattu noin 19 % ja parvekkeista noin 23 % (Köliö 2011). Korjausten määrään ja niistä aiheutuviin kustannuksiin on osattava varautua, jotta korjaukset voidaan tehdä oikeaan aikaan. On myös osattava tehdä oikein mitoitettuja korjaustoimenpiteitä, jotta kasvavia korjauskustannuksia voidaan hallita. Tätä varten tarvitaan luotettavaa tietoa rakennusten nykyisestä kunnosta ja vaurioiden etenemisestä. Tällä hetkellä korjattavan aikakauden rakennuskanta on tyyliltään ja rakenteiltaan yhtenevää, mikä mahdollistaa korjaustarpeen hyvinkin tarkan arvioinnin (Ympäristöministeriö 2007).

## 1.2 Yleistä Entelkor-tutkimuksesta

Energiatehokas lähiökorjaaminen (Entelkor) -hanke oli TTY:n Arkkitehtuurin laitoksen hanke, jonka kunnianhimoisena tavoitteena oli kehittää innovatiivisia ratkaisuja suomalaisten lähiöiden energiatehokkaaseen korjaamiseen. Tutkimuksen Rakennustekniikan laitoksen

osuudessa tarkasteltiin lähiöiden korjaustarpeita yleisesti, lähiökerrostalojen kokonaisenergiankulutusta sekä erilaisten korjaus- ja säätötoimien vaikutusta kokonaisenergiankulutukseen.

Lähiökerrostalojen julkisivuja ja LVI-järjestelmiä on korjattu noin 20 vuoden ajan, tosin korjaamisen syynä on ollut rakenteiden vaurioituminen tai käyttöiän päättymisen, ei niinkään energiatehokkuuden parantaminen. Suomen sitoutuminen kansainvälisiin sopimuksiin kasvihuonekaasujen vähentämisessä ovat ohjaamassa korjaustoimintaa siten, että rakennukset kuluttaisivat vähemmän energiaa. Toisaalta energian hinnan nousu lisää rakennusten ylläpitokustannuksia ja korjausten yhteydessä tehtävillä energiansäästötoimenpiteillä voidaan saada aikaan säästöjä energiakustannuksissa.

### 1.2.1 Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää elementtikerrostalojen todellista energiankulutusta laajalla otannalla sekä vertailla sitä laskennalliseen kulutukseen. Laskennallisessa tarkastelussa varioitiin mm. rakenteiden ilmanpitävyyttä sekä ilmanvaihtomääriä. Laskennallisissa tarkasteluissa selvitettiin myös maan lämmönvastuksen vaikutusta energiankulutuksen laskentaan.

Toisena tavoitteena oli selvittää tehtyjen korjausten sekä erilaisten säätötoimien vaikutuksia kerrostalon kokonaisenergiankulutukseen. Tutkimusaineiston lisäksi erilaisten korjaustoimien vaikutusta kokonaisenergiankulutukseen tarkasteltiin dynaamisella simuloinnilla kahdessa erityyppisessä kerrostalossa: ns. lamellitalossa ja pistetalossa. Yhtenä osatavoitteena on asettaa eri korjaustoimenpiteet edullisuusjärjestykseen niiden kustannusten ja mahdollisesti saavutettavan energiansäästön perusteella.

### 1.2.2 Toimintatavat

Tutkimuksen käytännön toimenpiteitä olivat mm.:

- Rakennusten energiankulutustietokannan luominen
- Kulutustietokannan luominen kohteista, joissa on tehty erilaisia korjaus- ja säätötoimenpiteitä
- Asukasmäärien ja kulutustottumusten muutosten tarkastelu
- Ilmaston lämpötilojen muutosten vaikutukset lämmitysenergiantarpeeseen.

**Rakennusten energiankulutustietokannan luominen.** Jotta lähiökerrostalojen energiankulutuksesta on mahdollista tehdä tilastollisesti luotettavaa tarkastelua, tarvitaan laaja tietokanta. Tietokantaan on kerätty yhteensä 727 lähiökerrostalon kulutustiedot koko niiden olemassaolon ajalta. Tiedot on kerätty KuluNet-järjestelmästä, johon tutkijoilla on ollut käyttöoikeudet tutkimuksen ajan. Kaikkien rakennusten todellinen energiankulutus on normeerattu Jyväskylän ilmastoa vastaavaksi, jotta kerätty tieto on vertailukelpoista. Tämän lisäksi rakennuksia on käsitelty erilaisissa ryhmissä siten, että jokaisessa ryhmässä on vähintään 30 rakennusta. Kulutustiedoista on laadittu erilaisia jakaumia.

**Korjauskohteiden tietokanta.** Yhteensä 119 kohteeseen oli tehty erilaisia korjaus- ja säätötoimenpiteitä, joista muodostettiin oma tietokanta. Rakennukset jaoteltiin erilaisten toimien mukaan ryhmiin, joissa kussakin oli vähintään 5 eri rakennusta. Pienemmät ryhmät on käsitelty yksittäistapauksina. Kohteiden kulutustietoja tarkasteltiin ennen ja jälkeen toimenpiteen.

**Asukasmäärien ja kulutustottumusten muutokset.** Asukasmäärien muutoksia verrattiin rakennusten kokonaisenergiankulutukseen, jolloin oli mahdollista saada selville energiankulutus asukasta kohden ja erilaisista asukkaista aiheutuvia vaihteluja koko rakennuksen energiankulutukseen. Tarkastelussa olivat myös huoneistoissa asuvien

kotitalouksien koko ja niiden muutokset rakennuksen elinkaaren aikana. Asukasta kohden kuluvan veden määrällä arvioitiin käyttötottumusten eroja eri rakennuksissa.

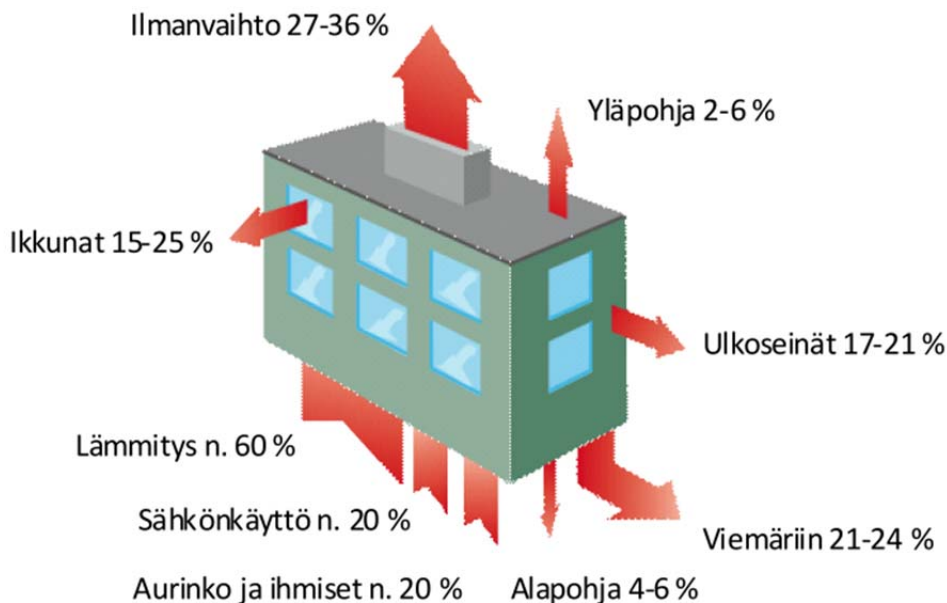
**Ilmaston lämpötilojen muutokset.** Ilmaston lämpötilojen muutosten tarkastelulla selvitettiin alueellisesti lämmitystarvetta eri vuosina, mitä verrattiin toteutuneeseen energiankulutukseen.

## 1.3 Kerrostalon energiankulutus

### 1.3.1 Lämmönkulutuksen jakautuminen

Kiinteistön kokonaisenergiankulutus muodostuu lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmien energiankulutuksesta sekä kiinteistösähkön ja kotitaloussähkön kulutuksesta. Lämmitysjärjestelmän energiankulutus koostuu tilojen lämmityksestä, ilmanvaihdon lämmityksestä ja lämpimän käyttöveden lämmityksestä. Lämmitystarvetta voidaan tarkastella lämmitystehon tarpeena tai lämmitysenergian käytön kannalta (Seppänen et al. 2007).

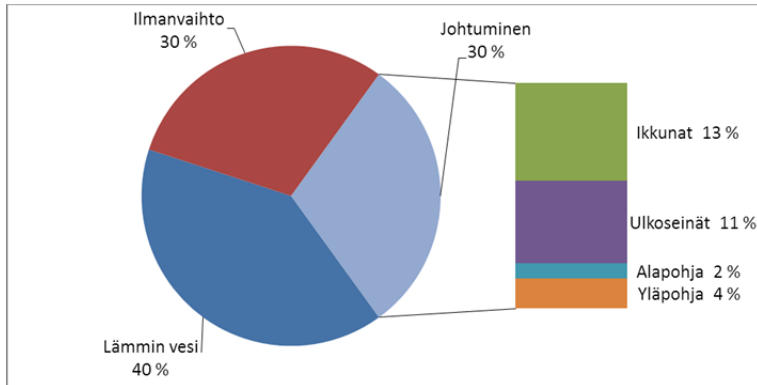
Rakennuksen lämmönkulutus tarkoittaa ilmanvaihdon, lämpimän käyttöveden sekä johtumishäviöiden kautta kulkeutuvaa lämpöä ulos rakennuksesta. Johtumishäviöt jakautuvat ikkunoiden, ulkoseinien, alapohjan ja yläpohjan kautta tapahtuviksi häviöiksi. Arvio lämmönkulutuksen jakaumasta vaihtelee hieman eri kirjallisuuslähteiden mukaan. Kuvassa 1.3 on esitetty KIMU-tutkimuksen (2010) mukainen tyypillinen energiankulutusjakauma 1950-70 rakennetuissa asuinkerrostaloissa.



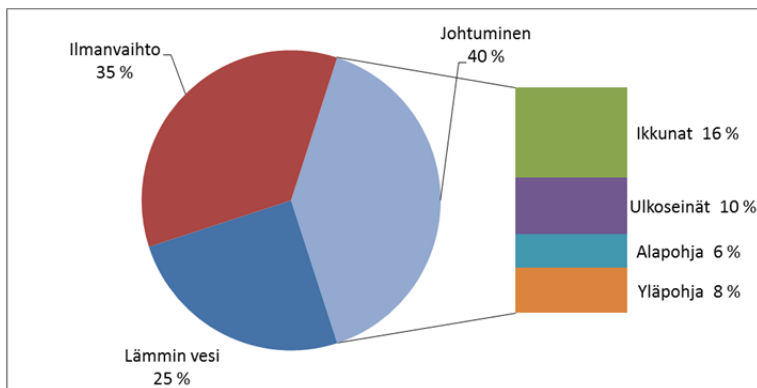
**Kuva 1.3** Tyypillinen 1950-70 rakennetun asuinkerrostalon lämpöenergiatase KIMU-tutkimuksen (2010) mukaan.

Asuinkerrostalojen rakennustavoissa on tapahtunut suuri muutos juuri 1950-70 -lukujen välillä. Mm. ulkoseinissä siirryttiin massiivisesta tiilimuurista erilaisiin muurattuihin ja betoniseiniin, joissa on käytetty erilaisia lämmöneristeitä korkista mineraalivillaan ja lopulta betonisandwich-elementteihin, joissa lämmöneristeenä oli mineraalivillaa noin 80 mm. Näin ollen kuvassa esitettyihin arvioihin lämpöenergian kulutuksen jakautumisesta eri rakennusosien sekä ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden kesken tulee suhtautua varauksellisesti.

Muissa lähteissä asuinkerrostalon lämmönkulutuksen on arvioitu jakautuvan seuraavasti: Linne (2012) ilmanvaihdon osuus on noin 30 %, lämpimän käyttöveden osuus noin 40 % ja johtumishäviöiden osuus noin 30 % lämmönkulutuksesta, Mäkinen (2009) ilmanvaihdon osuus on 35 %, lämpimän käyttöveden osuus 25 % ja johtumishäviöiden osuus 40 % lämmönkulutuksesta. Kummankin lähteen johtumishäviöt on arvioitu tarkemmin kuvissa 1.4 ja 1.5.



**Kuva 1.4** Asuinkerrostalon lämmönkulutuksen jakautuminen Linnen (2010) mukaan.



**Kuva 1.5** Asuinkerrostalon lämmönkulutuksen jakautuminen Mäkisen (2010) mukaan.

Huomattavaa on, että kummassakin ulkoseinien osuudeksi on saatu noin 10 %. Suhteellisesti merkittävimmät erot ovat alapohjissa, joissa ero on kolminkertainen ja yläpohjissa, joissa ero on kaksinkertainen.

Motivan (2002) mukaan kiinteistö- ja kotitaloussähkön kulutus on kasvanut viime vuosikymmeninä muun muassa huoneistokohtaisen ilmanvaihdon yleistymisen ja lisääntyneen elektroniikan vuoksi. Toisaalta kylmälaitteiden ja valaistuksen tehokkaampi energiankäyttö alentaa sähkönkulutusta. Lisääntynyt sähkönkulutus voi laskea lämmitysenergian kulutusta kerrostaloissa, joissa säätölaitteiden avulla energia voidaan hyödyntää.

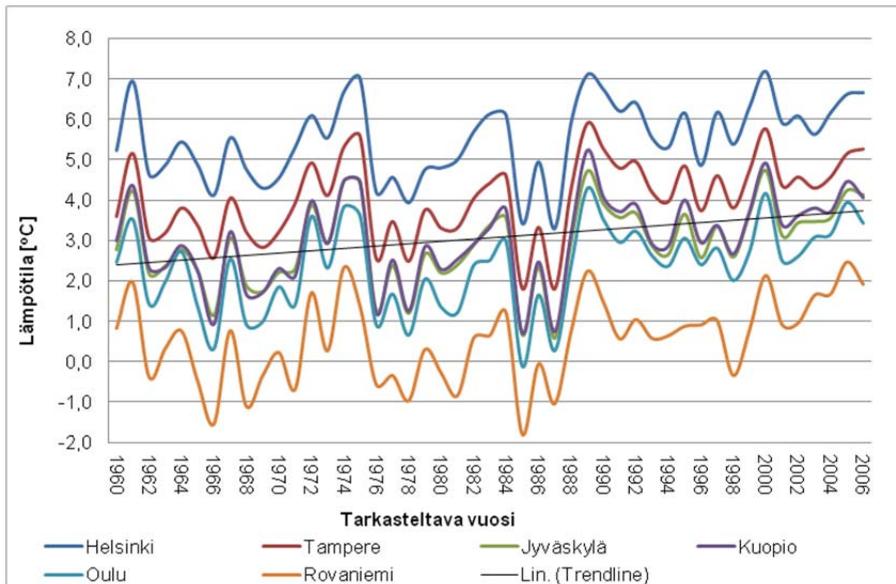
### 1.3.2 Ilmasto ja lämmitystarve

Rakennuksen sijaintipaikkakunta vaikuttaa suuresti sen tarvitsemaan lämpöenergiankulutukseen. Pohjois-Suomessa sijaitsevien rakennusten lämmitystarve on selvästi suurempi kuin Etelä-Suomessa sekä rannikolla. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehotarpeen laskenta tehdään Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan.

Lämmitystarveluvun (astepäiväluvun) avulla eri ajankohdat saadaan yhteismitallisiksi energiankäytön suhteen sekä erilämpöiset vuodet verrannollisiksi keskenään energiankulutuksen suhteen. Eri paikkakuntien lämmitystarvelukuja ja normeerausessa

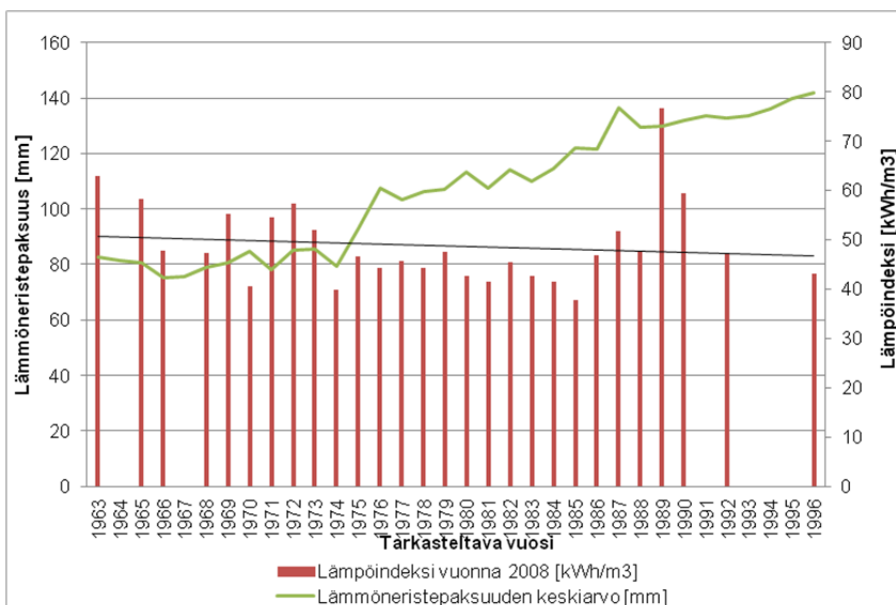
tarvittavia korjauskertoimia on esitetty muun muassa Ilmatieteenlaitoksen ja Motivan internet-sivuilla. (Rakennusten energiankulutuksen seuranta, Motiva; Lämmitystarveluvut, Ilmatieteenlaitos)

Ilmatieteen laitoksen havaintotilastoista voidaan todeta, että välillä 1960-2006 lämpötilat ovat nousseet keskimäärin 1,3 °C. Keskilämpötilojen vuotuinen vaihtelu on suurta mutta trendi on samansuuntainen kaikilla havaintopaikkakunnilla, ks. kuva 1.6.



**Kuva 1.6** Vuoden keskilämpötilat eri paikkakunnilla välillä 1960-2006 (Ilmatieteen laitos 2010).

Samaan aikaan lähiökerrostalojen ulkoseinissä on lämmöneristeen määrä lisääntynyt noin 80 mm:stä 140 mm:iin välillä 1963-96 (Lahdensivu 2012). Myös yläpohjien lämmöneristeen määrä on kasvanut merkittävästi ja ikkunoiden U-arvot parantuneet. Ilmaston lämpenemisen seurauksena keskimääräinen lämpöindeksi on pienentynyt, ks. kuva 1.7. Näiden yhteisvaikutuksena rakennusten lämmitysenergian tarpeen tulisi siis kaiken aikaa tasaisesti vähentyä.



**Kuva 1.7** Sandwich-elementtien keskimääräinen lämmöneristeen paksuus sekä toteutuneet lämpöindeksit vuoden 2008 vertailutasoon.

### 1.3.3 Lämmöneristysmääräysten muutokset

Lähiökerrostalorakentaminen alkoi Suomessa 1960-luvulla, joten tässä tarkastellaan siitä lähtien käytössä olleita ohjeita ja määräyksiä. 1960-luvulle tultaessa ulkoseinärakenteissa käytettiin vielä yleisesti paksua tiilimuuria joko ns. yksiaineisena tai jonkinlaisella lämmöneristeellä lisättynä.

Vuoden 1960 Rakentajain kalenterissa oli annettu lämmönläpäisyluvut (k-arvo) erikseen eri materiaaleista rakennetuille seinille. Lukuja tarkasteltaessa ei voi välttyä ajatukselta, että Rakentajain kalenteriin on pikemminkin kirjattu yleisesti käytössä olleiden rakenteiden toteutuneet lämmönläpäisyluvut, sillä annetut arvot ovat kovasti toisistaan poikkeavia.

Lähiökerrostalojen kannalta oleellisempia lämmöneristyslukuja ovat Rakennusinsinööriyhdistys ry:n (RIY) vuonna 1962 julkaisemat ja sitä uudemmat lämmöneristysnormit, jotka on koottu taulukkoon 1.1.

Vuoden 1974 rakennushallituksen ohjeiden mukaiset rakennusosien suurimmat sallitut k-arvot ohjasivat varsin merkittävästi asuntolainoitettavaa rakennustuotantoa, sillä RIL 66b:ssä julkaistut ohjeet olivat velvoittavia, ks. taulukko 1.2.

Vuodesta 1976 lähtien rakennusten lämmöneristysmääräykset on esitetty Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa C3, missä on annettu eri rakennusosien lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot, ks. taulukko 1.3.

Merkillepantavaa on, että ikkunoiden ja ovien lämmönläpäisylle ei ole annettu mitään määräyksiä tai ohjeita ennen vuoden 1976 Rakentamismääräyskokoelman julkaisua. Kuten taulukosta 1.3 voidaan todeta, ikkunoiden U-arvot ovat monikertaisia verrattuna ulkoseinien U-arvoihin. Asuinkerrostaloissa sekä toimistorakennuksissa, joissa ikkunapinta-alaa on julkisivujen kokonaispinta-alasta paljon, ikkunoiden kautta tapahtuva lämpöhäviö on merkittävä.

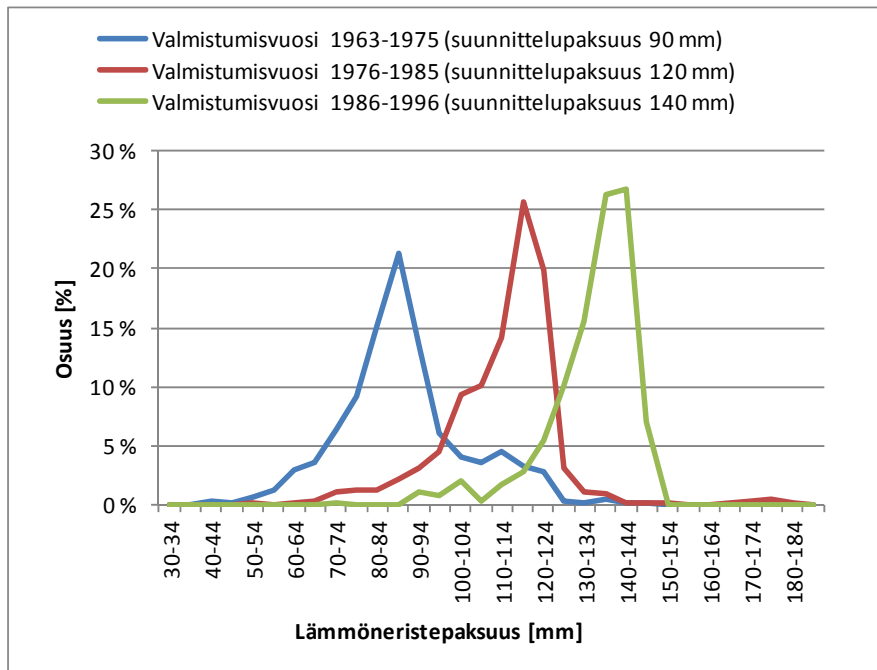
Lähiökerrostalorakentamiskauden aikana ulkoseinien U-arvovaatimukset ovat laskeneet  $U \leq 0,81 \text{ W/m}^2\text{°C}$   $U \leq 0,29 \text{ W/m}^2\text{°C}$ . Tapahtunut muutos on ollut merkittävä sekä rakenteiden että lämmöneristeiden kehittymisen kannalta. Betonijulkisivujen kuntotutkimuksissa on tarkasteltu yhtenä asiana myös toteutuneita lämmöneristepaksuuksia, lämmöneristeen materiaalia sekä lämmöneristeen kuntoa kuntotutkimushetkellä näyteporareikien kautta. Kaikkiaan 2161 havainnon perusteella on voitu todeta, että pääasiassa betonielementeissä on käytetty lämmöneristeenä mineraalivillaa EPS:n ja lastuvillalevyjen ollessa yksittäistapauksia. Merkittävä havainto oli myös se, että lämmöneristeet olivat yleisesti tutkimushetkellä kuivia (Lahdensivu 2012).

Betonielementtien lämmöneristepaksuudet on tyypillisesti valittu täyttämään voimassaolevat lämmöneristysmääräykset. Lämmöneristepaksuuksissa esiintyy hajontaa suunnittelupaksuuden molemmin puolin, kuten kuvasta 1.8 voidaan todeta. Huomattavaa on, että alle 60 mm lämmöneristepaksuuksien osuus on kaikkiaan vain noin 3 %. Laskennallinen keskimääräinen ulkoseinien lämmönläpäisykerroin eli U-arvo on ennen vuotta 1976 rakennetuissa elementtikerrostaloissa  $U = 0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$ , vuosina 1976-1985  $U = 0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$  ja vuosina 1986-1996 rakennetuissa elementtikerrostaloissa  $0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Lahdensivu 2012).

Sandwich-elementit on valmistettu vaakamuoteissa, jolloin toinen betonikerroksista valetaan lämmöneristeiden päälle, mistä aiheutuu eristeiden tasaista kokoonpuristumista. Betonin levitys on usein kuitenkin aiheuttanut paikallisesti enemmän eristeiden painumista, koska betoni on usein kaadettu elementin keskelle, josta se on sitten levitetty tasaiseksi lapiolla samalla eristekerroksen päällä seisten, josta on aiheutunut edelleen paikallisia saappaankokoisia painumia. Jälkimmäinen betonikerros on siten monin paikoin suunnittelupaksuutta jonkin verran paksumpi. Lämmöneristeiden kokoonpuristuminen on



ollut suurempaa 1970-luvulla, jolloin käytettiin yleisesti pehmeämpiä mineraalivillalatuja kuin 1980-luvulla ja sen jälkeen.



**Kuva 1.8** Mitatut betonielementtien lämmöneristepaksuudet rakennuksen valmistumisvuosien mukaan (n=2161) (Lahdensivu 2012).

Elementtien väliseen saumaan asennetuista tuuletuskoteloista ja tuuletusputkista huolimatta ilma ei käytännössä kierrä eristetilassa ollenkaan. Tämä voidaan päätellä betonisen ulkokuoren sisäpinnan karbonatisoitumattomuudesta, joka on välillä 0-1 mm rakenteiden iästä riippumatta (Lahdensivu 2012).

**Taulukko 1.1** Rakennusosien lämmönläpäisyluvut vuosien 1962 ja 1969 ohjeiden mukaan.

| Rakennusosa                          | Rakennusosien lämmönläpäisyluvut [ $W/m^2 \cdot C$ ] |               |             |               |
|--------------------------------------|--|---------------|-------------|---------------|
|                                      | RIY 1962   |               | RIL 66 1969 |               |
|                                      | Etelä-Suomi  | Pohjois-Suomi | Etelä-Suomi | Pohjois-Suomi |
| Ulkoseinä                            | 0,81   | 0,70          | 0,81        | 0,70          |
| -poltetusta tiilestä                 | 1,05   | 0,93          | 1,05        | 0,93          |
| -kevyempi kuin 100 kg/m <sup>2</sup> | 0,47   | 0,47          | 0,47        | 0,41          |
| Katto                                |  |               |             |               |
| -kiviaineinen                        | 0,47   | 0,47          | 0,47        | 0,47          |
| -puurakenteinen                      | 0,41   | 0,41          | 0,41        | 0,35          |
| Alapohja                             |  |               |             |               |
| -alapuoli osittain lämm.             | 0,70   | 0,70          | 0,70        | 0,70          |
| -alap. lämmittämätön                 | 0,47   | 0,47          | 0,47        | 0,47          |
| -ulkoilmaa vasten                    | 0,41   | 0,41          | 0,35        | 0,35          |
| -maanvarainen                        | -  | -             | 0,47        | 0,47          |

**Taulukko 1.2** Rakennusosien lämmönläpäisyluvut vuona 1974 julkaistun RIL 66b mukaan.

| Rakennusosa       | Rakennusosien lämmönläpäisyluvut [W/m <sup>2</sup> C] |
|-------------------|---|
| Ulkoseinä         |   |
| -puurakenteinen   | 0,29  |
| -kivirakenteinen  | 0,35  |
| Yläpohja          |   |
| -puurakenteinen   | 0,23  |
| -kivirakenteinen  | 0,29  |
| Alapohja          |   |
| -maanvarainen     | 0,41  |
| -ryömitättiläinen | 0,23 tai 0,29   |

**Taulukko 1.3** Suomen rakennusmääräyskokoelman mukaiset rakennusosien lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot 1976-2002.

| Rakennusosa | Rakennusosien U-arvot [W/m <sup>2</sup> C] |         |         |         |         |         |         |
|-------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|             | C3 1976                                    | C3 1978 | C3 1985 | C3 2003 | C3 2007 | C3 2010 | D3 2012 |
| Ulkoseinä   | 0,40                                       | 0,29    | 0,28    | 0,25    | 0,24    | 0,17    | 0,17    |
| Yläpohja    | 0,35                                       | 0,23    | 0,22    | 0,16    | 0,15    | 0,09    | 0,09    |
| Alapohja    | 0,40                                       | 0,40    | 0,36    | 0,25    | 0,24    | 0,16    | 0,16    |
| Ikkunat     | 2,10                                       | 2,10    | 2,10    | 1,40    | 1,40    | 1,00    | 1,00    |
| Ovet        | 0,70                                       | 0,70    | 0,70    | 1,40    | 1,40    | 1,00    | 1,00    |

## **2 TUTKIMUSAINEISTO**

### **2.1 Useita eri osatutkimusia**

Tähän tutkimusraporttiin on koottu neljän eri diplomityön keskeinen sisältö, joissa lähiökerrostalon energiankulutusta käsitellään eri näkökulmista. Osatutkimukset ovat:

- Lähiökerrostalon energiankulutuksen laskenta ja lämmönkulutuksen jakautuminen (Boström 2012)
- Korjaustoimien vaikutus lähiökerrostalon todelliseen energiankulutukseen (Uotila 2012)
- Ulkovaipan lämpötalouteen vaikuttavat korjaustoimenpiteet käytännössä (Linne 2012)
- Parvekelasituksen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen (Hilliaho 2010).

Jokaisessa eri osatutkimuksessa tarkasteltiin eri asioiden vaikutusta lähiökerrostalon energiankulutukseen, joten niissä on käytetty pääosin eri aineistoja. Erilaisten mittausaineistojen lisäksi tarkasteluja on tehty laskennallisesti sekä mallintamalla.

### **2.2 Kulutustietokanta**

Mittausaineisto koostuu kaiken kaikkiaan 727 kiinteistöstä, joista asuinkerrostalokiinteistöjä on 716 kappaletta ja asuinliiketalokiinteistöjä on 11 kappaletta. Kaikilla kiinteistöillä on lämmitysmuotona kaukolämpö. Kiinteistöt sijaitsevat ympäri Suomea ja niiden valmistumisvuodet sijoittuvat 1900 -luvun alkupuolelta 2000-luvun alkupuolelle.

Kiinteistöistä on mitattu niiden lämmitysenergian, kaukolämpöveden, kiinteistösähkön ja veden kulutus. Eri paikkakunnilla sijaitsevien kerrostalojen vertailun mahdollistamiseksi kulutustiedot on normeerattu Jyväskylän ilmastoon.

#### **2.2.1 Laskennallinen vertailuaineisto**

Mitatun ja laskennallisen energiankulutuksen vertailemiseksi aineistosta valittiin yhteensä kuusi kerrostalokohdetta siten, että ne edustavat eri lämmöneristysmääräysten aikakausia, jolloin oli mahdollista arvioida myös lämmöneristepaksuuden vaikutusta energian- ja lämmönkulutukseen. Valitut kohteet ovat valmistuneet vuosina 1965, 1974, 1978, 1981, 1989 ja 1992.

### **2.3 Korjausaineisto**

Korjausaineisto koostuu edellä mainitun kulutustietokannan 119 korjatun kerrostalokohteen energiankulutustiedoista sekä näiden korjausten kustannustiedoista. Kohteet sijaitsevat eri puolella Suomea ja niistä vanhimmat on rakennettu vuonna 1958 ja uusimmat vuonna 2006.

Julkisivujen lisäeristysten vaikutuksia lämmönkulutukseen on tarkasteltu erillisellä 37 kohteen otannalla. Kaikkiaan tässä aineistossa on yhteensä 78 erillistä rakennusta. Tutkimusotannassa olevat kohteet on rakennettu vuosien 1958 ja 1981 välisenä aikana. Suurin osa kohteista (23 kohdetta) on rakennettu 1970-luvun alkupuolella. Kohteista 23 on matalia lamellitaloja ja korkeita pistetaloja on 10 kiinteistöä. Lopuissa kohteista on samassa kiinteistössä sekä matalia että korkeita lamellitaloja.

#### **2.3.1 Mallinnuskohteet**

Erilaisten korjausten vaikutuksia rakennuksen energiankulutukseen tarkasteltiin mallintamalla tyypillinen lamellikerrostalo sekä ns. pistetalo. Molemmat mallinnuskohteet sijaitsevat Tampereella ja niistä oli mahdollista saada tarkat piirustukset sekä kuntotutkimusraportit.

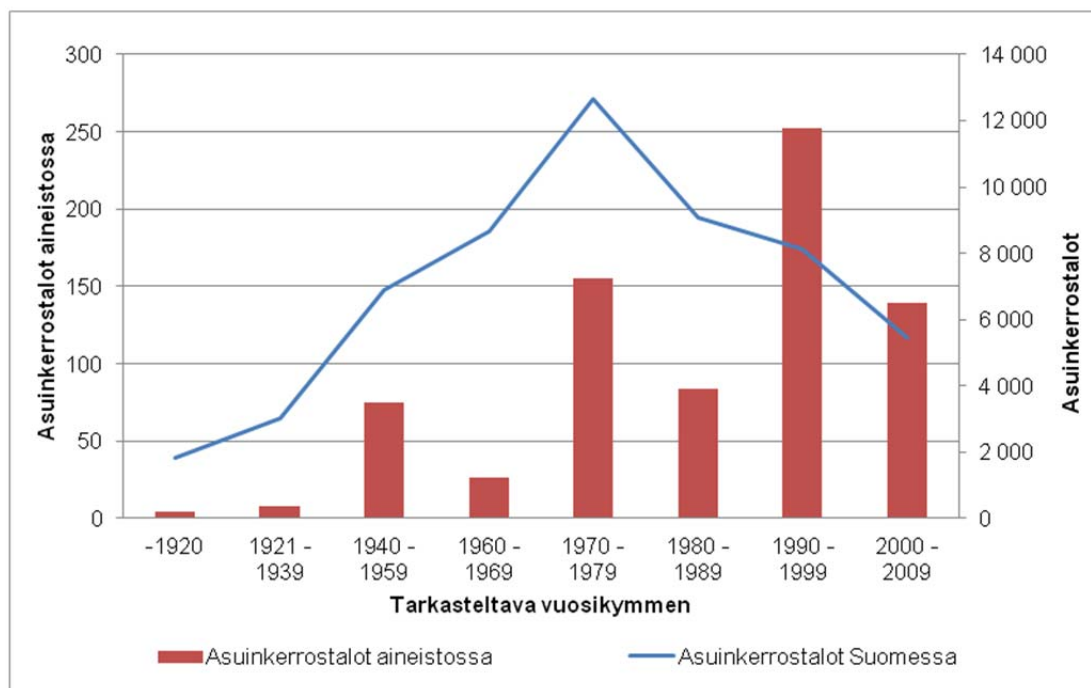
## 2.4 Parvekelasituksen vaikutuksen mittausaineisto

Tutkimusaineisto koostuu lasitetun ja lasittamattoman parvekkeen lämpötilamittauksista rakennuksen ulkopuolelta, parvekkeiden sisältä ja huoneistoista sekä pintalämpötilamittauksista parvekeseinän, -oven ja -ikkunan ja parvekelasituksen sisä- ja ulkopuolelta. Näiden lisäksi seurattiin 18 lasitetun ja viiden lasittamattoman parvekkeen sekä niitä vastaavien huoneistojen ilman lämpötiloja ja suhteellista kosteutta mittauksin. Kenttämittaukset suoritettiin välillä 1.7.2009-31.5.2010.

## 2.5 Kulutustietokannan luotettavuus

### 2.5.1 Tietokanta vs. Suomen rakennuskanta

Kiinteistötietokanta sisältää 727 kerrostalokiinteistöstä kootun lämmitysenergian-, veden- ja kiinteistösähkön kulutustiedot vuosikohtaisesti. Rakennuksista 716 on asuinkerrostaloja ja asuinliiketaloja on 11 kappaletta. Tietokannassa olevat kiinteistöt kattavat lähes koko Suomen, suurin osa aineiston kiinteistöistä on kuitenkin pääkaupunkiseudulla ja muissa suurissa Suomen kaupungeissa. Kulutustietojen normeerauksella eri paikkakunnilla olevat rakennukset on saatu vertailukelpoisiksi.



**Kuva 2.1** Asuinkerrostalojen jakautuma eri vuosikymmenittäin Suomessa sekä tietokannassa (Tilastokeskus 2009).

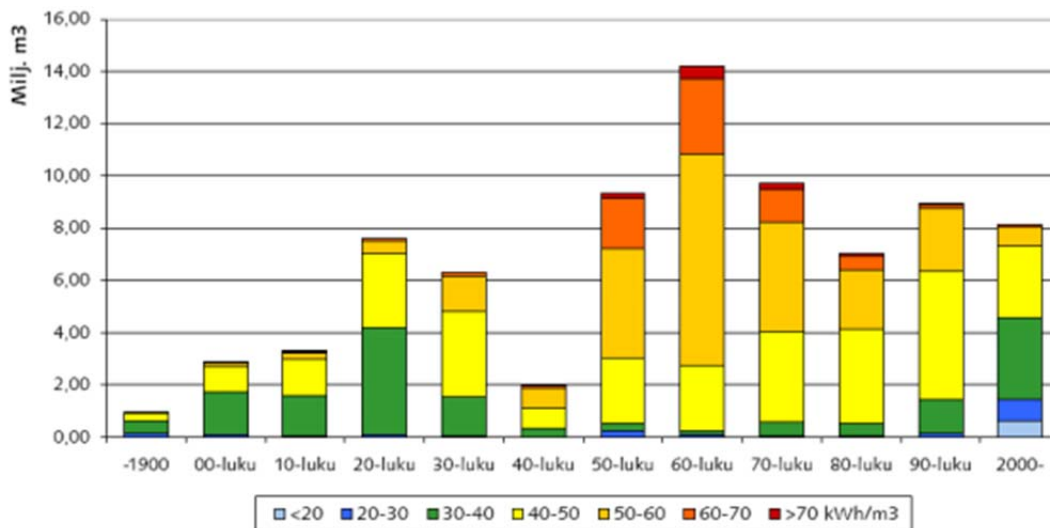
Tietokannassa olevat vanhimmat kerrostalot ovat 1900-luvun alussa rakennettuja ja uusimmat 2000-luvulla valmistuneita. Kuten kuvan 2.1 jakaumista voidaan todeta, 1960- ja 1980-lukujen kerrostalokanta on tietokannassa aliedustettuna ja vastaavasti 1990-luvulla ja sitä uudempien asuinkerrostalojen osuus on liian suuri verrattuna Suomen asuinkerrostalokantaan. Tästä syystä laajoja yleistyksiä 1960-luvulla rakennettujen asuinkerrostalojen kulutuksesta ei voida tehdä.

### 2.5.2 Kerrostalojen lämpöindeksit

Rakennusten ominaislämmönkulutus riippuu useasta eri tekijästä, muun muassa rakennusajankohdasta, rakennuksen paikallisesta ja maantieteellisestä sijainnista sekä kiinteistön omistusohjasta, koosta ja muodosta. Myös samanlaisten kiinteistöjen välillä voi

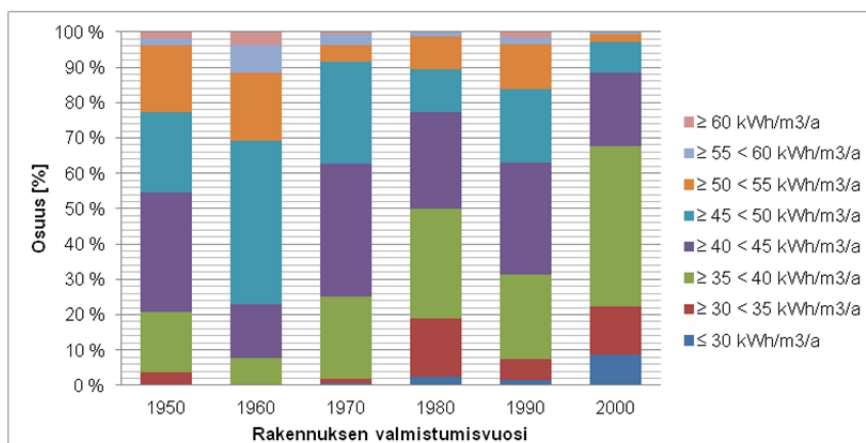
olla yksilöllisiä eroja lämmön ominaiskulutuksessa, joihin vaikuttavat esimerkiksi asukkaat ja rakennustyön laatu.

Kuvassa 2.2 on esitetty kaukolämpöön liitettyjen asuinrakennusten mitatut ominaiskulutukset pääkaupunkiseudulla rakennusajankohdittain jaoteltuna (Helsingin Energia 2008).



**Kuva 2.2** Helsingin kaukolämpöverkkoon liitettyjen asuinrakennusten ominaiskulutus vuonna 2008 (Helsingin Energia 2008).

Rakennusmääräykset ja rakennustavat ovat olleet koko Suomessa yhtenevät, joten siinä mielessä kuva 2.2 kertoo yleisesti Suomalaisten asuinrakennusten ominaislämmönkulutuksesta. Kuvaajasta huomataan, että 1950-, -60- ja -70 lukujen rakennuksissa on paljon kuluttavia (yli 60 kWh/m<sup>3</sup>) kiinteistöjä runsaasti. Erityisen merkittävä osuus on 50-60 kWh/m<sup>3</sup> kuluttavien rakennusten osuus.

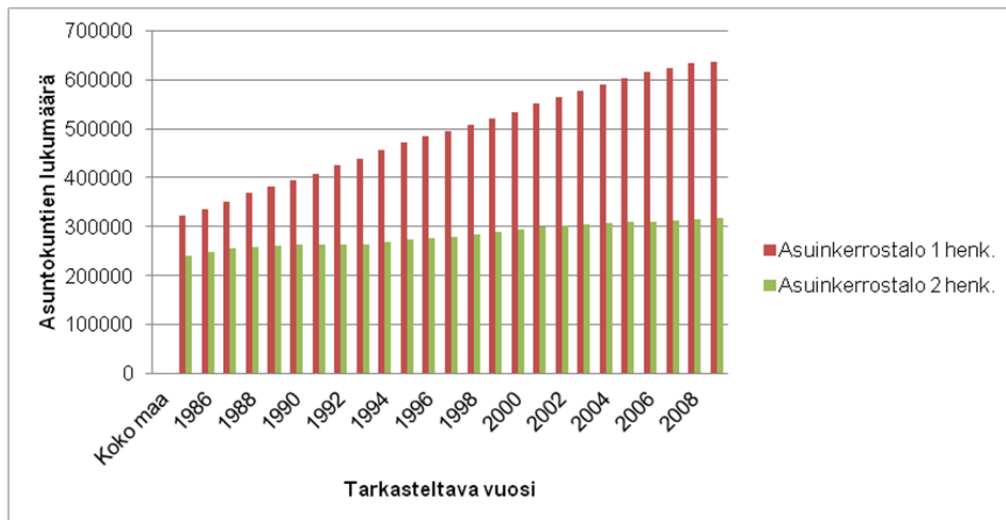


**Kuva 2.3** Tietokannan kerrostalojen lämpöindeksien jakautuminen.

Tätä tutkimusta varten tietokantaan kerättyjen asuinrakennusten ominaiskulutukset on esitetty kuvassa 2.3. Tästä voidaan havaita, että 1950 ja -60-luvun rakennuskannassa esiintyy eniten suuren ominaiskulutuksen rakennuksia kuten edellä esitetyssä laajemmassa otannassa. Näin ollen kerätty kulutustietokanta antaa samansuuntaisia tuloksia 1960-luvun rakennusten kulutuksesta vaikka niiden osuus tietokannassa onkin vähäinen muiden vuosikymmenten rakennuksiin verrattuna.

### 2.5.3 Asuntokuntien muutokset

Jo pitkään jatkunut trendi on kohti pienempiä asuntokuntia. Yksinasujien määrä on koko Suomessa kaksinkertaistunut vuosien 1986 ja 2009 välillä. Kahden hengen kotitaloudet ovat samana aikana kasvaneet vain noin 50 000, ks. kuva 2.4.



**Kuva 2.4** Yhden ja kahden hengen kotitalouksien määrä Suomessa välillä 1986-2009 (Tilastokeskus 2009).

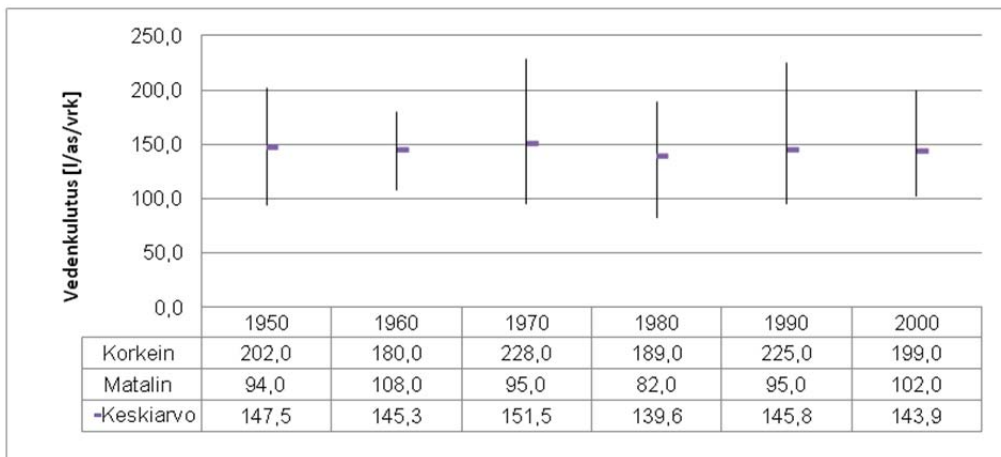
Vastaavana aikana kolmen ja neljän hengen kotitaloudet ovat radikaalisti pienentyneet. Lähiökerrostalojen asuntojakauma ei siten vastaa kovinkaan hyvin tämän päivän kysyntään, vaan suurempia perheasuntoja on kysyntään nähden liikaa.

### 2.5.4 Vedenkulutus

Kirjallisuuden perusteella asukkaiden käyttötottumusten muutoksilla on vaikutusta eri vuosien väliseen energiankulutukseen noin 2 % (Rejström & Blomberg 1986). Yksittäisissä kohteissa voi kuitenkin tapahtua myös tätä suurempia muutoksia energiankulutuksessa, joihin ei löydy selvää teknistä syytä (Säteri et al. 1999). Muutoksia syntyy myös, jos suuri osa asukkaista vaihtuu tarkasteltavan ajanjakson aikana. Asukkaiden vaihtuvuus on usein vuokrataloissa omistustaloja tiheämpää.

Tietokannan rakennuksissa veden kokonaiskulutus laskee kaiken aikaa ominaiskulutuksen pysyessä samalla tasolla eri mittareilla mitattuna (l/vrk/asukas tai l/vrk/rakennus-m<sup>3</sup>). Keskimäärin vedenkulutus on 143 l/vrk/asukas. Vedenkulutuksessa esiintyy kuitenkin huomattavaa vaihtelua kuten kuvasta 2.5 voidaan todeta. Alhaisin kulutus on 82 l/vrk/asukas ja korkein 225 l/vrk/asukas. Kun lämpimän käyttöveden osuudeksi oletetaan aiemmin mainittu 40 %, lämmitysenergian kulutuksessa on jo tästä syystä merkittävää talokohtaista vaihtelua. Keskimääräinen vedenkulutus on kuitenkin hyvin samalla tasolla koko tietokannan taloissa.

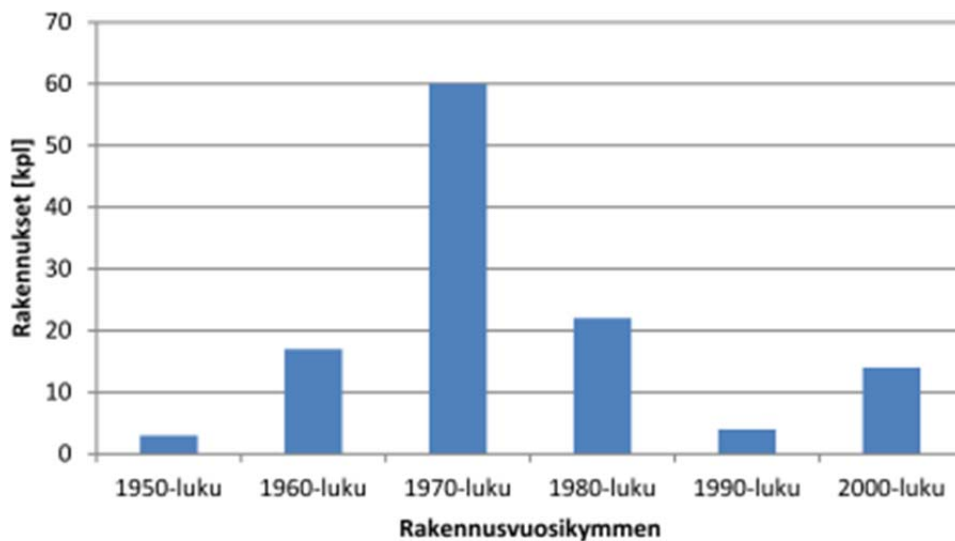
Kaikki tietokannan kerrostalot kuuluvat KuluNET-etäseurantajärjestelmään, jonka kautta kulutustiedot on kerätty. Kulutusaineistosta ei saatu käyttöön asuinhuoneistokohtaisia lämpötilatietoja, ilmanvaihtomääriä eikä huoneistoissa kuluvaa sähköenergian määrää.



**Kuva 2.5** Tietokannan kerrostalojen vedenkulutus eri vuosikymmeninä.

### 2.5.5 Korjaustietokanta

119 asuikerrostalosta koostuvan korjaustietokannan rakennuksiin oli tehty yhteensä 643 erilaista toimenpidettä vuodesta 1986 vuoteen 2009 mennessä. Suurin osa korjauksista on tehty 1970-luvulla valmistuneisiin kohteisiin. Erilaisten korjausten suuren kirjon vuoksi korjaustoimenpiteet jaoteltiin suurempiin ryhmiin, jotta yksittäisiä toimia saatiin vähintään kymmenen rinnakkaista. Pienemmistä ryhmistä tarkasteluja ja päätelmiä tehtiin vain yksittäistapauksina.

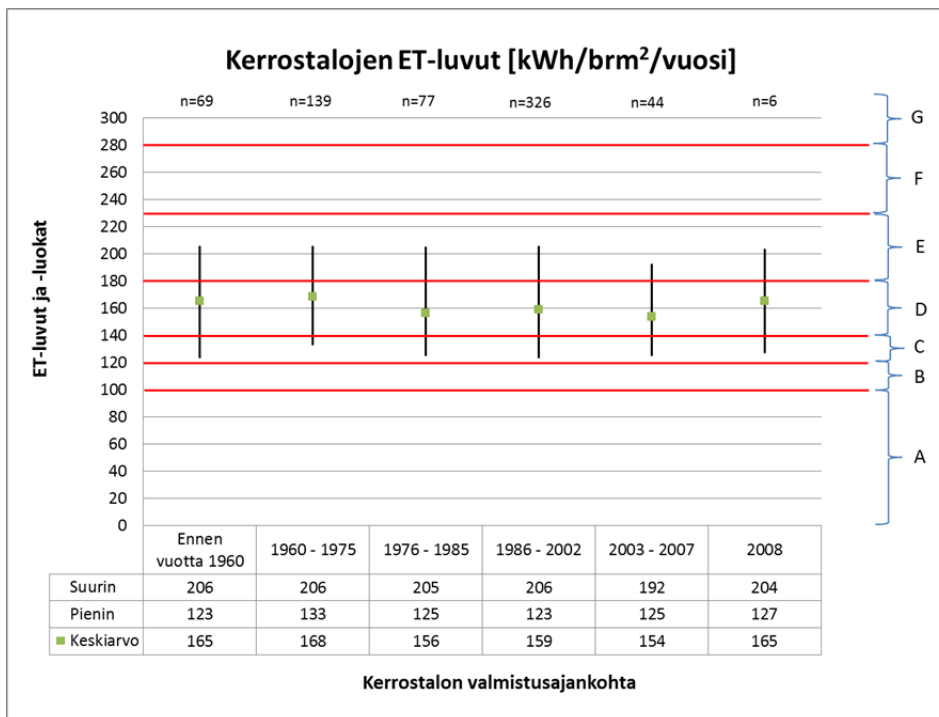


**Kuva 2.6** Tietokannan korjatut kohteet rakennusvuosikymmenen mukaan lajiteltuna (n=119).

### 3 TOTEUTUNUT VS. LASKENNALLINEN KULUTUS

#### 3.1 Koko tietokannan ET-luvut

Tavoitteena on vertailla asuinkerrostalon laskennalliseen ja toteutuneeseen energiankulutukseen perustuvia energiatehokkuuslukuja (ET-luku [kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi]). Kuvassa 3.1 on koko aineiston sisältämien kerrostalokiinteistöjen toteutuneeseen energiankulutukseen perustuvat energiatehokkuusluvut ja -luokat. Kerrostalojen bruttopinta-alat eivät olleet omistajan tiedossa, joten ne on arvioitu jakamalla rakennustilavuus kerroskorkeudella. Kuvassa 3.2 on kerrostalokiinteistöjen vuotuinen energiankulutus huoneistoalaa kohden (ET-luku [kWh/h-m<sup>2</sup>/vuosi]) sekä energiatehokkuusluokkien rajat. Koko aineiston energiatehokkuuslukuista ja huoneistoalaa kohti olevista energiankulutuksista on jätetty tarkastelun ulkopuolelle pienimmät 5 % ja suurimmat 5 %. Kerrostalokiinteistöjen lämmitysenergian kulutukset on muunneltu vastaamaan Jyväskylän normaalivuoden lämmitystarvelukua. Kerrostalot on jaoteltu molemmissa kuvissa eri aikakausilla kulloinkin voimassa olleen lämmöneristysmääräystason mukaan.



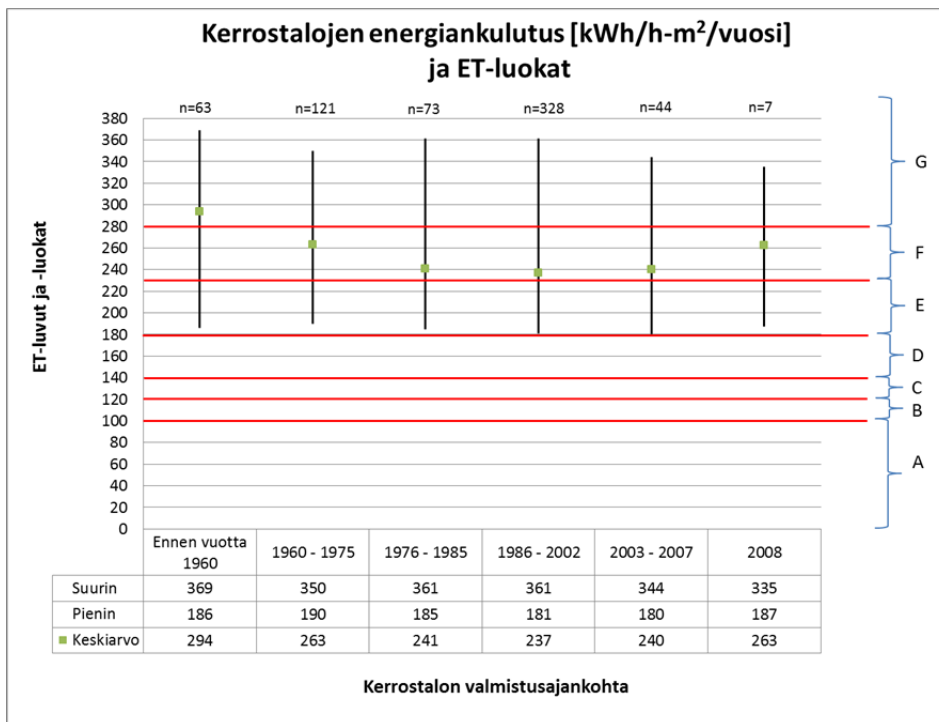
**Kuva 3.1** Tietokannan kerrostalojen ET-luvut ja sijoittuminen ET-luokkiin. Kerrostalot on jaoteltu kulloinkin voimassa olleen lämmöneristysmääräystason mukaan.

Rakennusten bruttoneliömetrien mukaan laskettuna kaikki tietokannassa olevat kerrostalot kuuluvat energiatehokkuusluokkaan D. Selkeää eroa eri vuosikymmenillä valmistuneiden kerrostalojen energiatehokkuuslukujen välillä ei ole, vaan niiden keskiarvo on lähes sama samoin kuin hajonnan suuruus. Parhaat rakennukset yltävät energiatehokkuusluokkaan C ja heikoimmat ovat luokassa E.

Kun rakennusten energiatehokkuus lasketaan kiinteistön omistajien tiedossa olevaa huoneistoalaa kohden kuuluvat samat kerrostalot keskimäärin energiatehokkuusluokkaan F ja vanhimmat ennen vuotta 1960 rakennetut kerrostalot luokkaan G. Näin tarkastellen rakennusten energiatehokkuus on huomattavasti heikompi ja hajonta merkittävästi suurempi. Keskimäärin vuosien 1976-2007 välisenä aikana valmistuneiden kerrostalojen



energiankulutuksessa ei kuitenkaan ole huomattavaa eroa, vaikka lämmöneristysmääräyksissä on tuona aikana tapahtunut huomattavaa kiristystä.



**Kuva 3.2** Tietokannan kerrostalojen vuotuinen energiankulutus huoneistoalaa kohden ja ET-luokat. Kerrostalot on jaoteltu kulloinkin voimassa olleen lämmöneristysmääräystason mukaan.

### 3.2 Energiankulutuksen ja energiatehokkuusluvun laskenta

Rakennuksen energiankulutus ja energiatehokkuusluku lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (RakMK: D5 2007) ohjeiden sekä Ympäristöministeriön julkaiseman Energiatodistusoppaan (Energiatodistusopas 2009) avulla. Jotta eri puolella Suomea sijaitsevien rakennusten laskennalliset energiankulutukset saadaan vertailukelpoiseksi keskenään, niiden energiankulutus on laskettava Jyväskylän säätietojen mukaisesti. Laskennallista ja toteutunutta energiankulutusta vertailtaessa on toteutunut energiankulutus suhteutettava Jyväskylän sähkän.

Energiatehokkuusluku saadaan jakamalla rakennuksen tarvitsema vuotuinen energiamäärä rakennuksen lämmitettyjen tilojen bruttopinta-alalla. Suurissa asuinrakennuksissa energiankulutukseen kuuluu rakennuksen vuotuinen lämmitysenergian, kiinteistösähkön ja mahdollisen jäähdytysenergian kulutus. Rakennuksen lämmitysenergiaan sisältyy tilojen lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittava energiamäärä. Suurissa asuinrakennuksissa vain uudisrakennuksen energiatehokkuusluku määritellään laskennallisesti, jonka jälkeen se perustuu rakennuksen todelliseen energiankulutukseen. Energiatehokkuusluku lasketaan kaavalla 3.1. Kiinteistölle määritellään energialuokka asteikolla A-G sen energiatehokkuusluvun perusteella. Asteikossa A tarkoittaa vähiten energiaa kuluttavaa ja G eniten energiaa kuluttavaa kiinteistöä. Taulukossa 3.1 on suurten asuinrakennusten energiatehokkuusluokat ja niitä vastaavat energiatehokkuusluvut. (Energiatodistusopas 2009 ja A 19.6.2007/765)

$$ET = \frac{\sum [Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{kiinteistösähkö}} + Q_{\text{jäähdytys, tilat}}]}{\sum A} \quad (3.1)$$

missä

|                              |   |
|------------------------------|---|
| ET                           | rakennuksen tai rakennusryhmän energiatehokkuusluku, kWh / brm <sup>2</sup> / vuosi                             |
| Q <sub>lämmitys</sub>        | rakennuksen tai rakennusryhmän lämmitysenergian kulutus, kWh / vuosi  |
| W <sub>kiinteistösähkö</sub> | rakennuksen tai rakennusryhmän kiinteistösähkön kulutus, kWh / vuosi  |
| Q <sub>jäädytys, tilat</sub> | rakennuksen tilojen jäädytysenergiankulutus (jäädytysjärjestelmään tuotu jäädytysenergia), kWh / vuosi          |
| Σ A                          | rakennuksen tai rakennusryhmän yhteenlaskettu bruttopinta-ala, brm <sup>2</sup> .<br>(Energiatodistusopas 2009) |

**Taulukko 3.1** Suurten asuinrakennusten energiatehokkuusluokat (A 19.6.2007/765).

| Energiatehokkuusluokka | Energiatehokkuusluku [kWh/brm <sup>2</sup> /vuosi] |
|------------------------|--|
| A                      | ≤ 100  |
| B                      | 101 - 120  |
| C                      | 121 - 140  |
| D                      | 141 - 180  |
| E                      | 181 - 230  |
| F                      | 231 - 280  |
| G                      | ≥ 281  |

### 3.2.1 Case-kohteet

Energiankulutuksen laskentaa ja lämmönkulutuksen määrittystä varten aineistosta on valittu yhteensä kuusi asuinkerrostalokohdetta eri vuosikymmeniltä siten, että niiden valmistumisvuodet sijoittuvat eri lämmöneristysmääräysten aikakausille. Taulukossa 3.2 on perustietoja valituista kohteista ja taulukossa 3.3 on kohteiden kulutustietoja vuodelta 2008.

**Taulukko 3.2** Case-kohteiden perustietoja.

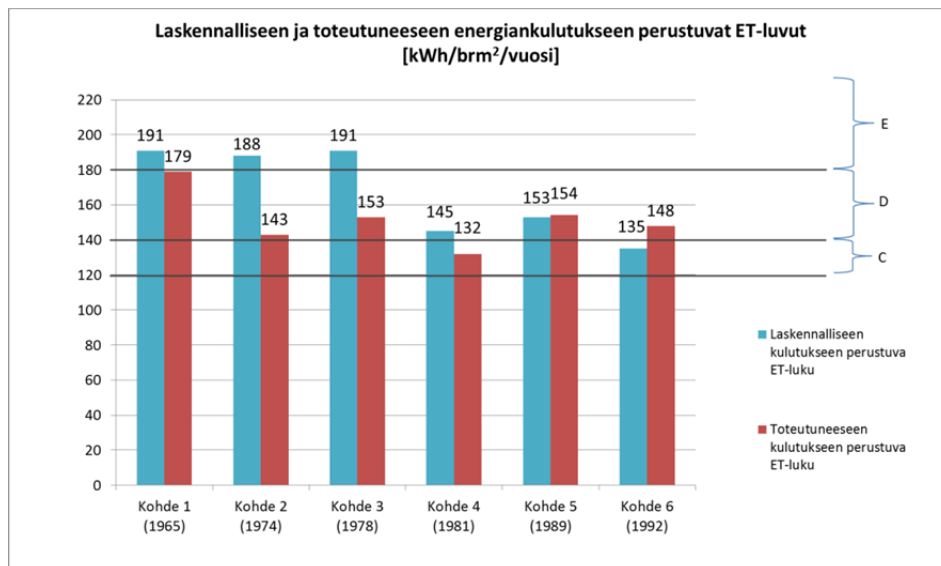
| Kohde   | Rakennusvuosi | Sijainti  | Bruttopinta-ala [m <sup>2</sup> ] | Asukasluku | Ulkoseinärakenteen lämmöneristeen paksuus [mm] |
|---------|---------------|-----------|-----------------------------------|------------|--|
| Kohde 1 | 1965          | Helsinki  | 1 728                             | 31         | 50   |
| Kohde 2 | 1974          | Tampere   | 5 221                             | 98         | 90   |
| Kohde 3 | 1978          | Tampere   | 6 941                             | 137        | 120  |
| Kohde 4 | 1981          | Tampere   | 2 684                             | 56         | 120  |
| Kohde 5 | 1989          | Järvenpää | 1 243                             | 29         | 140  |
| Kohde 6 | 1992          | Tampere   | 6 002                             | 114        | 140  |

**Taulukko 3.3** Case-kohteiden kulutustietoja vuodelta 2008. Lämmitysenergian kulutus on muunnettu vastaamaan Jyväskylän normaalivuoden lämmitystarvelukua.

| Kohde    | Lämmitystarveluku-korjattu energiankulutus [MWh] | Kiinteistö-sähkönkulutus [kWh] | Veden kulutus [m <sup>3</sup> ] | Ominais-lämmitys-energian-kulutus [kWh/Rm <sup>3</sup> ] | Kiinteistö-sähkön ominaiku-lutus [kWh/Rm <sup>3</sup> ] | Veden ominais-kulutus [l/vrk/as] | Veden ominais-kulutus [l/Rm <sup>3</sup> ] |
|----------|--|--------------------------------|---------------------------------|--|---|----------------------------------|--|
| 1 (1965) | 294  | 15 514                         | 1 964                           | 60   | 3,2   | 150                              | 347  |
| 2 (1974) | 678  | 78 416                         | 6 000                           | 45   | 5,2   | 168                              | 399  |
| 3 (1978) | 996  | 75 228                         | 7 310                           | 50   | 3,8   | 146                              | 366  |
| 4 (1981) | 326  | 31 318                         | 3 755                           | 42   | 4,0   | 184                              | 483  |
| 5 (1989) | 177  | 18 616                         | 1 591                           | 47   | 4,9   | 150                              | 422  |
| 6 (1992) | 817  | 79 499                         | 7 388                           | 48   | 4,6   | 178                              | 431  |

Kuvassa 3.3 on esitetty kohteiden laskennalliseen ja toteutuneeseen energiankulutukseen perustuvat energiatehokkuusluvut ja -luokat. Toteutuneen energiankulutuksen mukaan kohde 4 kuuluu energiatehokkuusluokkaan C ja muut kohteet luokkaan D. Kuvasta nähdään myös, että kohteilla 1-4 on laskennallisesti suurempi energiatehokkuusluku ja kohteilla 5 ja 6 laskennallisesti pienempi energiatehokkuusluku toteutuneen kulutuksen mukaiseen

energiatohokkuuslukuun verrattuna. Etenkin kohteilla 2 ja 3 ero laskennallisen ja toteutuneen energiatohokkuusluvun välillä on todella suuri. Lähes kaikilla kohteilla on laskennallisesti eri energiatohokkuusluokka toteutuneen kulutuksen mukaiseen luokkaan verrattuna. Ainoastaan kohteella 5 on toteutunut energiatohokkuusluku lähes samansuuruinen laskennallisen luvun kanssa ja sen energiatohokkuusluokka on sama sekä laskennallisesti että toteutuneeseen kulutukseen perustuen. Laskennallisesti kohteet 1-4 saavat huonomman ja kohde 6 paremman energiatohokkuusluokan kuin toteutuneen kulutuksen mukaisesti.



**Kuva 3.3** Case-kohteiden laskennalliseen ja toteutuneeseen energiankulutukseen perustuvat ET-luvut sekä niitä vastaavat ET-luokat.

### 3.2.2 Ilmanvaihdon merkitys laskennallisesti

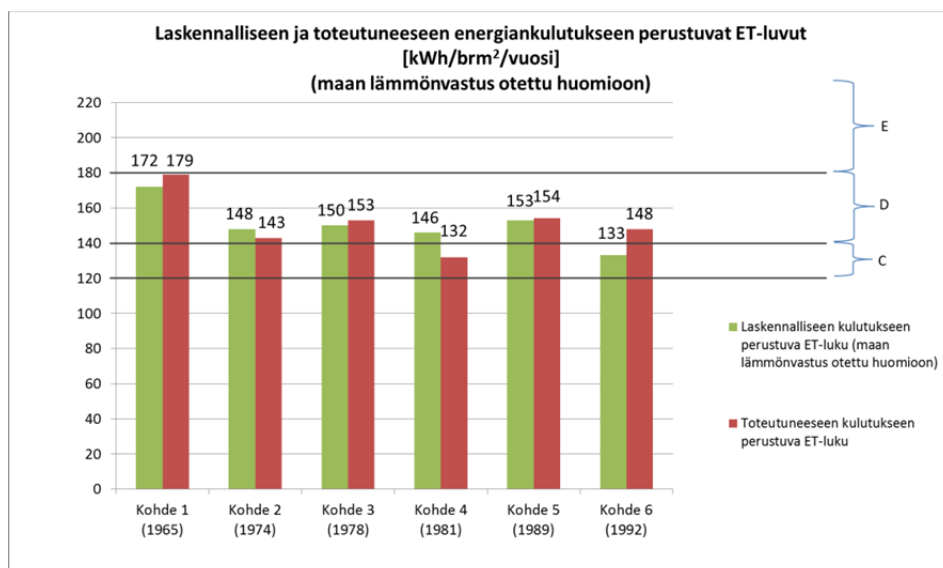
Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (RakMK: D5 2007) mukaan rakennuksen energiankulutuksen laskennassa käytetään ilmapuotoluvun arvona  $n_{50} = 4$  1/h, jos lukua ei tunneta. Laskennassa on myös käytetty ilmanvaihtokertoimen arvoa 0,5 1/h, koska tietoa kohteiden ilmanvaihtokertoimen suuruudesta ei ollut saatavilla. Laskennallista energiankulutusta on varioitu ilmapuotoluvun ja ilmanvaihtokertoimen avulla, jotta nähdään kertoimien suuruuksien vaikutukset laskennalliseen kulutukseen. Ilmapuotoluvun pienentyessä arvosta  $n_{50} = 4$  1/h arvoon  $n_{50} = 1$  1/h on laskennallinen energiankulutus 7-10 % pienempi kohteesta riippuen. Rakennuksen tiiveydellä on siten suuri merkitys energiankulutukseen.

Ilmanvaihtokertoimen pienentyessä arvosta 0,5 1/h arvoon 0,1 1/h on laskennallinen energiankulutus 14-20 % pienempi. Toisaalta ilmanvaihtokertoimen suurentuessa arvosta 0,5 1/h arvoon 0,7 1/h on laskennallinen energiankulutus 7-10 % suurempi perusarvoon verrattuna. Lähiökerrostaloissa on tyypillisesti vain poistoilmanvaihto ilman lämmön talteenottoa. Ilmanvaihdon määrällä on siten huomattavan suuri merkitys rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen, sillä ulkoa tulevaa kylmää ilmaa joudutaan lämmittämään ja lämmitetty ilma puhalletaan suoraan ulos.

Määräystasoa (0,5 vaihtoa tunnissa) pienemmällä ilmanvaihdoilla on mahdollista saada merkittävää energiankulutuksen pienenemistä. Tällöin oleellinen kysymys on, kuinka paljon ilmanvaihtoa voidaan pienentää huoneilmanlaadun oleellisesti siitä kärsimättä ja voidaanko ilmanvaihto esimerkiksi ajastuksella ohjata pienemmäksi päiväaikaan, kun asukkaat suurimmalta osin ovat töissä tai koulussa. Toisaalta kesäkaudella, jolloin kerrostaloasunnoissa on usein liian lämmin, ilmanvaihtoa tulisi tehostaa. Kesäkaudella ulkoilman lämmitystarve on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin talvikuukausina, joten tältä osin lämmitykseen tarvittava energiamäärä ei juuri kasva.

### 3.2.3 Maan lämmönvastuksen vaikutus energiankulutuksen laskentaan

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (RakMK: D5 2007) mukaan maanvastaisen alapohjan U-arvon laskennassa ei oteta huomioon alapohjan alapuolisen maan lämmönvastusta toisin kuin osan C4 (RakMK: C4 2003) ohjeiden mukaan. Tällöin etenkin kohteilla 1-3, joissa lämmöneristystä alapohjassa ei ole, on osan D5 ohjeiden mukaan laskettuna alapohjan U-arvo huomattavan paljon suurempi kuin osan C4 ohjeiden mukaan laskettuna. Tämä johtaa siihen, että kyseisillä kohteilla alapohjan läpi johtuvan energian määrä on todella suuri, kun alapohjan alapuolisen maan lämmönvastusta ei oteta huomioon laskennassa. Kun kohteiden energiankulutukset lasketaan käyttäen alapohjan U-arvona osan C4 mukaan laskettua U-arvoa, on kohteiden 1-3 laskennallinen kokonaisenergiankulutus 10-27 % pienempi kuin perusarvo. Muilla kohteilla U-arvon laskentatavalla ei ole kovinkaan suurta vaikutusta rakennuksen energiankulutuksen laskennalliseen arvoon. Maan lämmönvastuksen huomioon otto vaikuttaa ainoastaan maanvastaisten alapohjien U-arvon laskentaan. Koska kohteessa 5 on ryömintätilaan rajoittuva alapohja, sen U-arvon laskentatapa ei muutu, joten kohteen laskennalliseen kulutukseen perustuva energiatehokkuusluku pysyy samana. Kuvassa 3.4 on kohteiden laskennalliseen ja toteutuneeseen kulutukseen perustuvat energiatehokkuusluvut, kun laskennassa on otettu huomioon alapohjan alapuolisen maan lämmönvastus.



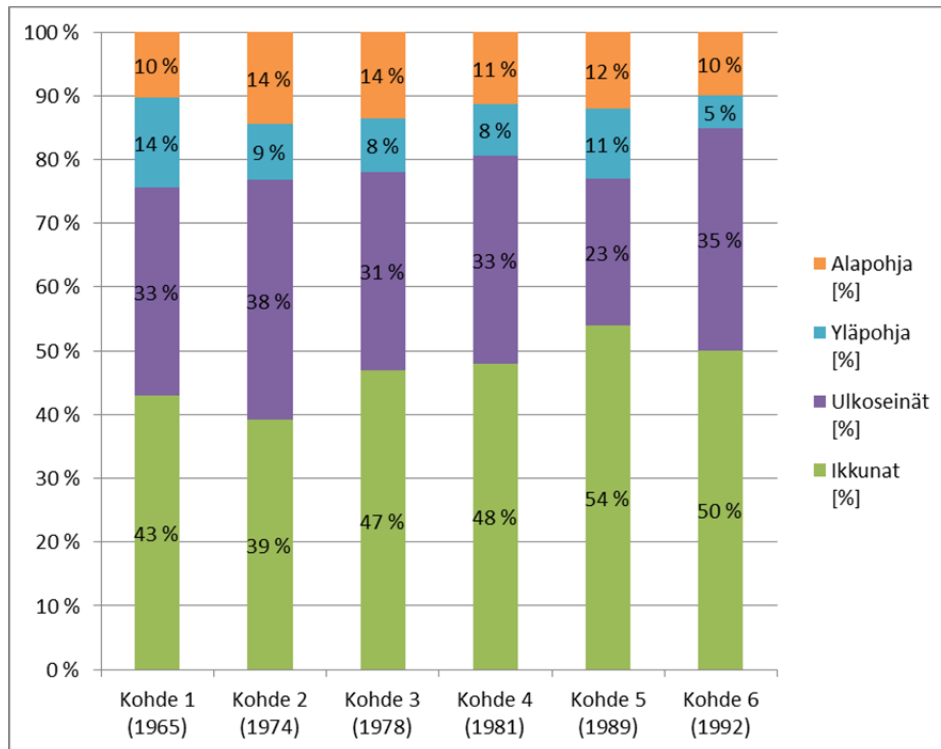
**Kuva 3.4** Case-kohteiden laskennalliseen ja toteutuneeseen energiankulutukseen perustuvat ET-luvut, kun laskennassa on otettu huomioon maan lämmönvastus.

Kuvasta 3.4 nähdään, että kohteiden 2 ja 3 laskennalliseen kulutukseen perustuvat energiatehokkuusluvut ovat todella lähellä toteutuneen kulutuksen mukaisia lukuja, kun energiankulutuksen laskennassa on otettu huomioon alapohjan alapuolisen maan lämmönvastus. Myös niiden energiatehokkuusluokat ovat samat sekä laskennalliseen että toteutuneeseen kulutukseen perustuen. Kohteella 1 laskennallisen kulutuksen mukainen energiatehokkuusluku on hieman pienempi toteutuneen kulutuksen mukaiseen lukuun verrattuna, mutta kohteen energiatehokkuusluokka on laskennallisesti sama kuin toteutuneen kulutuksen mukaan. U-arvon laskentatavalla ei ole kovinkaan suurta vaikutusta kohteiden 4 ja 6 energiatehokkuuslukuihin.

### 3.3 Lämmönkulutuksen jakautuminen

Rakennuksen lämmönkulutus jakautuu ilmanvaihdon, lämpimän käyttöveden ja johtumishäviöiden kesken. Case-kohteiden käyttöveden lämmitykseen kulunut energia on mitattu ja ilmanvaihdon lämmitykseen kulunut energia on laskettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (RakMK: D5 2007) mukaan. Johtumishäviöihin

kulunut energia on saatu vähentämällä mitatusta lämmitysenergian määrästä veden ja ilmanvaihdon lämmitykseen kuluneet energiat. Johtumishäviöiden jakautuminen eri rakennusosille on laskettu rakennusosien pinta-alojen ja U-arvojen perusteella. Ikkunoiden osuuteen on laskettu myös parveke- ja ulko-ovet. Kuvassa 3.5 on johtumishäviöiden jakautuminen eri rakennusosille ja kuvassa 3.6 on lämmönkulutuksen jakautuminen ilmanvaihdon, lämpimän veden sekä johtumishäviöiden kesken. Kuvasta 3.7 nähdään lämmönkulutuksen jakautuminen, kun johtumishäviöt on jaettu rakennusosittain tapahtuviksi häviöiksi.



**Kuva 3.5** Case-kohteiden johtumishäviöiden jakautuminen eri rakennusosille.

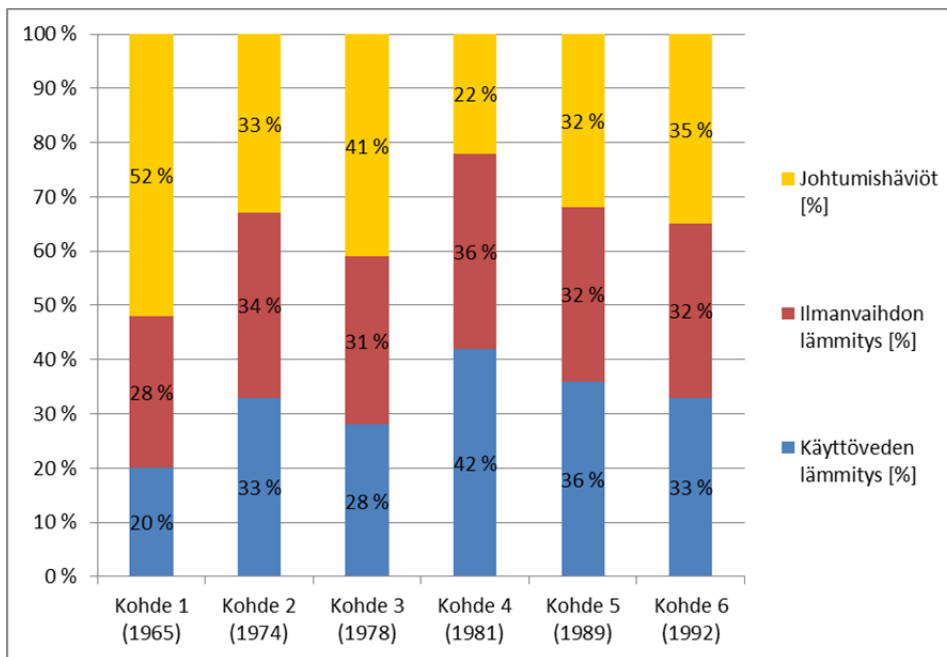
Johtumishäviöiden jakaumissa on pieniä kohdekohtaisia eroja, mutta keskimäärin puolet johtumishäviöistä tapahtuu ikkunoiden, parvekeovien ja ulko-ovien kautta. Noin kolmasosa johtumishäviöistä tapahtuu ulkoseinien kautta.

Kuvasta 3.6 nähdään, että lämmönkulutuksen jakautumisessa on huomattavan suuria eroja kohteiden välillä. Käyttöveden osuus vaihtelee välillä 20-42 % ja johtumishäviöiden osuus välillä 22-52 %. Ilmanvaihdon lämmitys vie joka kohteella noin kolmanneksen lämmitysenergiasta, mutta toisaalta ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia on kaikilla kohteilla laskettu samalla ilmanvaihtokertoimella ja ilmanvaihdon käyntiajalla. Kohteilla 2, 5 ja 6 lämmönkulutus jakautuu suunnilleen kolmeen samansuuruiseen osioon. Kohteella 1 käyttöveden lämmitykseen on kulunut vain 20 % lämmitysenergiasta, jolloin johtumishäviöiden osuus on jopa puolet lämmönkulutuksesta. Myös kohteella 3 suurin osa lämmitysenergiasta kuluu johtumishäviöihin. Kohteella 4 lämmönkulutus on lähes päinvastainen verrattuna kohteisiin 1 ja 3: käyttöveden lämmitys kuluttaa suurimman osan eli 42 % lämmitysenergiasta, kun taas johtumishäviöt vievät ainoastaan 22 %.

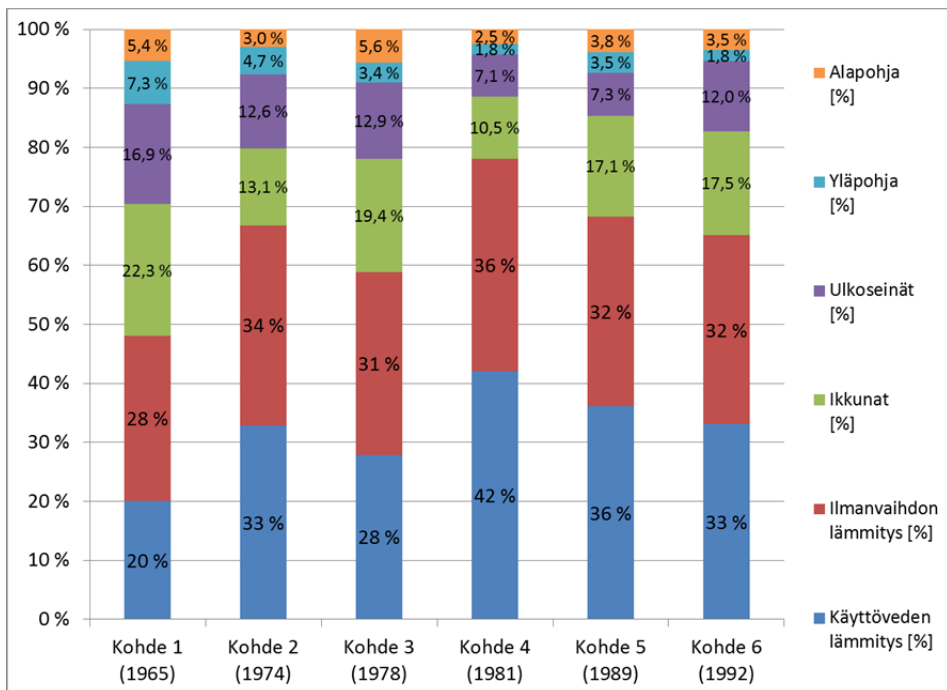
Kuvan 3.7 mukaan ikkunoiden osuus rakennuksen kokonaislämmönkulutuksesta on noin 11-22 % kohteesta riippuen ja ulkoseinien osuus vaihtelee noin 7-17 %:n välillä.

Todellisuudessa ilmanvaihdon osuus voi olla pienempi tai suurempi kuin kuvissa 3.6 ja 3.7 on esitetty. Kohteiden ilmanvaihtokertoimen suuruus ja ilmanvaihdon käyntiaika voivat poiketa oletetuista arvoista, jolla on vaikutusta ilmanvaihdon lämmitykseen kuluvan energian laskentaan. Koska käyttöveden lämmitykseen kulunut energia on mitattu, sen osuus

lämmönkulutuksesta ei muutu, mutta ilmanvaihdon osuuden muutos vaikuttaa myös johtumishäviöiden osuuden suuruuteen.



**Kuva 3.6** Case-kohteiden lämmönkulutuksen jakautuminen lämpimän veden, ilmanvaihdon lämmityksen ja johtumishäviöiden kesken.



**Kuva 3.7** Case-kohteiden lämmönkulutuksen jakautuminen, kun johtumishäviöt on jaettu rakennusosittain tapahtuviksi häviöiksi.

# 4 KORJAUS- JA SÄÄTÖTOIMIEN VAIKUTUKSET

## 4.1 Julkisivujen lisälämmöneristys

Julkisivujen lisälämmöneristuksen todellista vaikutusta rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen tarkasteltiin erillisellä 37 kohteen aineistolla. Tässä aineistossa oleviin kohteisiin oli tehty joko pelkkä julkisivujen lisälämmöneristys (kohteet 1-10), lisäeristys sekä ikkunoiden uusiminen (kohteet 11-14) tai edellisten toimien lisäksi toimenpiteitä lämmitysjärjestelmälle ja/tai ilmanvaihtojärjestelmälle (kohteet 15-37).

Tutkimuskohteista kerättiin lämmönkulutustiedot vähintään kolmelta vuodelta ennen korjausta sekä kolme vuotta korjauksen jälkeen. Varsinaisen korjausvuoden energiankulutusta ei ole otettu huomioon tarkasteluissa, sillä korjaustyön aikana rakennuksen toiminta ei yleensä ole normaalia. Kulutukset on normeerattu, jonka yhteydessä kulutustiedoista vähennetään lämpimän käyttöveden kuluttama osuus ja normeeratuista kulutuksista on laskettu kohteissa tapahtunut todellinen lämmönkulutuksen muutos.

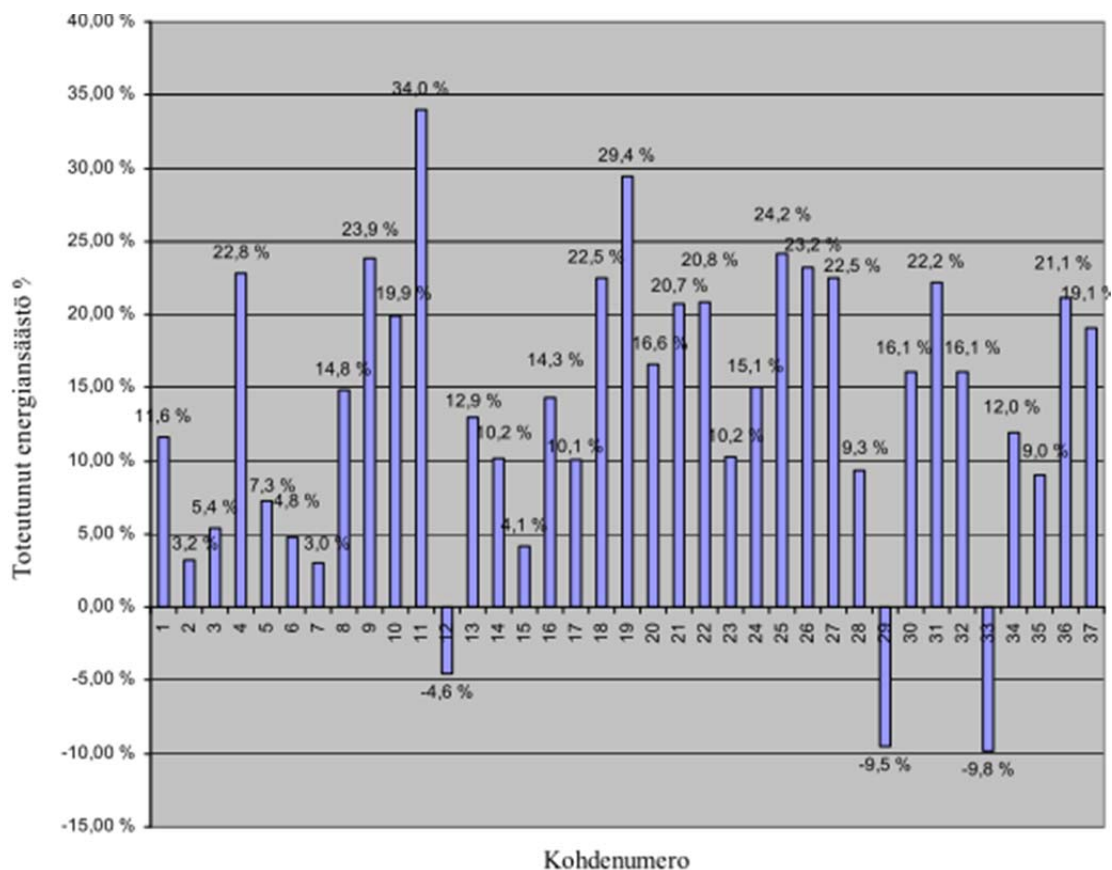
Yleisesti kerrostaloissa ei mitata erikseen lämpimän käyttöveden kulutusta, joten se joudutaan arvioimaan käyttöveden kokonaiskulutuksen mukaan. Yleisesti asuinkerrostaloissa lämpimän käyttöveden osuudeksi arvioidaan laskelmissa 40 % käyttöveden kokonaiskulutuksesta.

Tilojen lämmittämiseen kulunut energia sisältää myös ilmanvaihdon kuluttaman energian. Laskelmissa ilmanvaihdon oletetaan pysyneen samana, jolloin lämmönkulutuksen säästö pystytään laskemaan suoraan normitettujen tilojen lämmittämiseen kuluneiden energioiden avulla. Tutkimuskohteista on laskettu keskiarvot noin kolmen vuoden ajalta ennen korjausta ja korjauksen jälkeen normitetuista tilojen lämmittämiseen kuluneesta energiasta. Toteutunut energiansäästö on ennen korjausta ja korjauksen jälkeen olleiden tilojen lämmittämiseen kuluneiden energioiden keskiarvojen erotus. Energiansäästö prosentteina on säästön osuus ennen korjausta olevasta kulutuksesta.

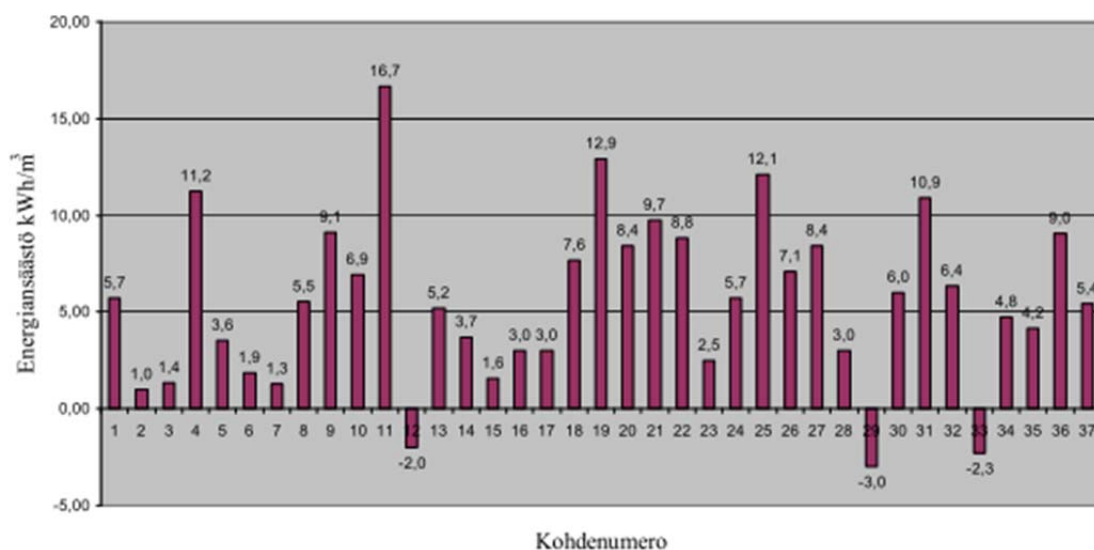
### 4.1.1 Energiankulutuksessa suuria kohdekohtaisia eroja

Kohteiden toteutuneet energiansäästöt vaihtelevat suuresti -9,8 %:sta 34 %:ään. Kolmessa kohteessa (kohteet 12, 29 ja 33) lämmönkulutuksen todettiin kasvaneen korjauksen jälkeen. Näissä kohteissa ei todettu mitään erityistä selittävää tekijää kasvaneeseen energiankulutukseen. Todennäköisimmin kohteissa ilmanvaihdon määrää on lisätty merkittävästi ennen korjausta olevaan tilanteeseen nähden. Kaikkien kohteiden energiansäästöt on esitetty kuvassa 4.1 prosentteina ja kuvassa 4.2 ominaiskulutuksen muutoksena.

Koko aineistossa energiansäästöjen keskiarvo on  $(13,8 \pm 1,6)$  % eli  $(5,6 \pm 0,7)$  kWh/m<sup>3</sup> ja mediaani 14,8 % ( $5,5$  kWh/m<sup>3</sup>) laskettuna normeeratuista tilojen lämmittämiseen kuluneesta energiasta. Jos energiansäästö lasketaan normeeratusta kokonaiskulutuksesta, joka sisältää myös lämpimän käyttöveden sisältämän energian, on säästön keskiarvo 11,8 % ja mediaani 12,5 %. Koska kohteita on suhteellisen paljon saatavilla ja eri kohteiden väliset vaihtelut ovat suuria, soveltuu mediaani paremmin tämän tutkimusotannon tulosten arviointiin. Mediaani kuvaa paremmin keskimääräistä arvoa, koska siinä keskiarvosta paljon poikkeavat yksittäiset arvot eivät vaikuta niin suuresti tulokseen. Tuloksille esitetyt virherajat ovat keskiarvon keskivirheitä, jotka on laskettu jakamalla keskihajonta otosmäärän neliöjuurella.



**Kuva 4.1** Kaikkien kohteiden toteutunut lämmitysenergiansäästö (n=37 kohdetta) (Linne 2012).



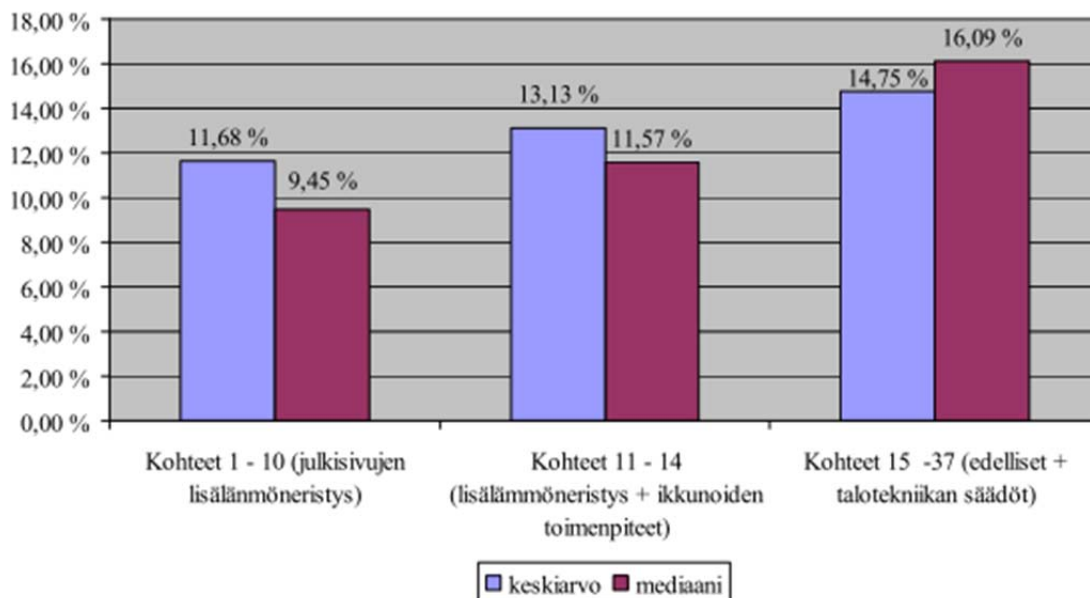
**Kuva 4.2** Kaikkien kohteiden toteutunut ominaiskulutuksen muutos [kWh/m³] (N=37 kohdetta) (Linne 2012).

#### 4.1.2 Ikkunoiden uusiminen ja LVI-järjestelmien säädöt tehostavat energiansäästöä

Kohteissa, joissa on tehty pelkkä julkisivun lisälämmöneristys (kohteet 1-10), energiansäästön mediaani on 9 % ja keskiarvo ( $11,7 \pm 2,6$ ) %. Kohteissa, joissa on lisälämmöneristyksen lisäksi uusittu ikkunat (kohteet 11-14), on energiansäästön mediaani 12 % ja keskiarvo ( $13,1 \pm 7,9$ ) %. Keskiarvon suureen virhemarginaaliin (7,9 % -yksikköä) vaikuttaa näiden kohteiden pieni otosmäärä. Kohteissa, joissa on lisälämmöneristyksen ja ikkunoiden uusimisen lisäksi tehty myös toimenpiteitä lämmitysjärjestelmälle ja/tai



ilmanvaihtojärjestelmälle on energiansäästön mediaani 16 % ja keskiarvo (14,8 ± 2,0) %. (kohteet 15-37). Kuvassa 4.3 on esitetty kohteiden säästöjen mediaanit ja keskiarvot tehtyjen korjaustoimenpiteiden mukaan jaoteltuna. Säästötoimenpiteet parantavat merkittävästi korjauksen kannattavuutta ja saavutettavaa energiansäästöä, mitä tukevat myös aiemmat tutkimukset (Haahlahti et al. 1989, Taivalantti 1997).



**Kuva 4.3** Kohteiden toteutunut energiansäästö tehtyjen korjaustoimenpiteiden mukaan (N=37 kohdetta) (Linne 2012).

#### 4.1.3 Lisälämmöneristepaksuudella on huomattava merkitys

Valtaosassa kohteista peittävässä korjauksessa lisälämmöneristysten paksuus oli 50 mm (14 kohdetta) tai 70 mm (15 kohdetta). Lisälämmöneristystä ei siis oltu asennettu seinään energiansäästömielessä, vaan ensisijainen tarkoitus on ollut betonijulkisivun vaurioitumisen pysäyttäminen tai ainakin merkittävä hidastaminen.

Lisälämmöneristepaksuuden vaikutus energiansäästöön on havaittavissa toteutuneiden kohteiden energiansäästöissä. Kohteet, joissa lämmöneristettä on lisätty 50 mm, on energiansäästön mediaani 10 %. Kohteet, joissa lämmöneristettä on lisätty 70 mm, on energiansäästön mediaani 16 %. Säästöt on laskettu kaikista kohteista. Tällöin mukana on myös kohteita, joissa on tehty lisäksi ikkunoiden uusintaa ja/tai säätöjä lämmitys- tai ilmanvaihtojärjestelmään. Tämä aiheuttaa tuloksiin epävarmuutta, mutta on looginen ja suuntaa-antava.

Kohteen alkuperäinen ominaiskulutus vaikuttaa osin saavutettavaan energiansäästöön. Kohteet, joissa ominaiskulutus on alun perin ollut korkea, on pystytty saavuttamaan pääosin suurempia säästöjä kuin kohteissa, joissa ominaiskulutus on ollut jo alkujaan alhainen. Jos ominaiskulutus on ollut 50 - 65 kWh/m<sup>3</sup> välillä, on saavutettu säästö noin 16 %. Jos kulutus on yli 65 kWh/m<sup>3</sup>, on säästö noin 17 %. Alle 50 kWh/m<sup>3</sup> kulutuksella energiansäästö on noin 7 %. Ilmoitetut keskimääräiset säästöt on laskettu kaikista kohteista. Tällöin mukana on myös kohteita, joissa on tehty lisäksi ikkunoiden uusintaa ja/tai säätöjä lämmitys- tai ilmanvaihtojärjestelmään. Tämä aiheuttaa tuloksiin epävarmuutta. Korjauskohteen paikkakunnalla ei ollut selkeää vaikutusta saavutettavaan säästöön. Tuloksista voidaan kuitenkin huomata, että rannikkoalueilla saavutetut säästöt ovat olleet hieman keskimääräistä säästöä suurempia. Rannikkoalueet ovat usein sisämaata tuulisempia (Lahdensivu 2012). Uusi todennäköisesti tiiviimpi julkisivurakenne voi vähentää rakenteen läpi kulkeutuvia ilmapuotoja, joilla voi olla tuulisilla paikoilla suurempi merkitys kuin suojaisemmilla paikoilla.

#### 4.1.4 Lisälämmöneristys vaikuttaa energialuokkaan

Energiatodistuksessa määritellään rakennuksen energiatehokkuus ja energialuokka. Koska julkisivukorjaus vähentää rakennuksen energiankulutusta, on sillä vaikutusta myös rakennuksen energialuokkaan. Keskimääräinen säästö (5,6 kWh/m<sup>3</sup>) pudottaa energialukua noin 15 yksikköä. Eri energialuokkien raja-arvot eivät ole yhtä suuria, jolloin energialuvun alenemista ei pystytä suoraan vertaamaan energialuokkaan. 1960- ja 1970-lukujen rakennukset kuuluvat kuitenkin useimmiten D - G energialuokkiin. Näissä energialuokissa 15 yksikön lasku energialuvussa parantaa energialuokkaa 1/2 - 1/3 osalla. Jos siis rakennuksen energialuokka on ollut lähellä energialuokan rajaa, voi lisälämmöneristyskorjaus nostaa rakennuksen energialuokkaa pykälää parempaan.

Mikäli tehtyjen korjaustoimenpiteiden jälkeen lämmitysjärjestelmä ei pysty reagoimaan vähentyneeseen energiantarpeeseen, kuten esimerkiksi lattialämmitysjärjestelmä jonka säätöominaisuudet ovat huonot tai käsikäyttöiset säätöventtiilit pattereissa, ei säästöjä lämmönkulutuksessa saavuteta (Rejström & Blomberg 1986). Useimmiten korjauksissa, joissa ei ole tavoiteltu energiansäästöä vaan asumisviihtyvyyttä, energiansäästöt jäävät usein pieniksi, mutta asumisviihtyvyys paranee. Koska ulkoseinien lisälämmöneristyksen syynä on ollut rakenteiden tekninen kunto eikä energian säästö, saavutetaan korjauksella todennäköisesti hieman pienempi hyöty kuin jos korjauksen tarkoituksena olisi energian säästö (Rejström & Blomberg 1986).

## 4.2 Lämmityslaitteiden ja -verkoston korjaukset

Asuinkerrostalojen selvästi yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö, vain vajaassa 10 % kerrostaloista on öljykeskuslämmitys. Useimmissa kerrostaloissa on vesikiertoinen patterilämmitys. Varsinkin 1970-luvun ja tätä vanhempien kerrostalojen lämmitysverkoston monet laitteet ja komponentit ovat tällä hetkellä elinkaarensa lopussa. Useissa kerrostaloissa vesi- ja viemärikalusteita onkin jo uusittu, mutta monesti korjauksia kannattaisi suorittaa jo aikaisemmin. Korjauksia aikaistamalla voitaisiin säästyä esimerkiksi monilta vesivahingoilta sekä laajemmilta korjauksilta. Varsinkin yli 15 vuotiaiden lämmitysverkoston laitteiden ja komponenttien kuntoa pitäisi seurata säännöllisesti (Palonen 2011 ja Rakennusten lämmitysjärjestelmät 2007).

Alla on esitetty lämmityslaitteiden komponenttien tavoitteellisia käyttöikäiä KH-90-40016 mukaan (KH-90-40016 ja Taloyhtio.net, lämmitysverkoston elinkaaret).

| Komponentti                     | Tavoitteellinen käyttöikä (a) |
|---------------------------------|-------------------------------|
| • Lämmönsiirtimet               |                               |
| • putki                         | 30                            |
| • levy                          | 20                            |
| • paisunta- ja varolaitteet     | 10                            |
| • kiertovesipumput              | 20                            |
| • lämpöjohdot                   | 50–100                        |
| • lämmityspatterit varusteineen | 50–100                        |
| • patteriventtiilit             | 25                            |
| • termostaatit                  | 10                            |
| • moottoriventtiilit            | 15                            |
| • sulk- ja säätöventtiilit      | 20                            |
| • varoventtiilit                | 10                            |
| • säätölaitteet                 | 10                            |
| • LTO-patterit                  | 20                            |

Lämmityslaitteiden korjausvaihtoehtoja ovat muun muassa lämmönsiirtimen, linjasäätöventtiilien ja pattereiden uusiminen tai korjaaminen ja lämmitysverkoston perussäätö. (Palonen 2011 ja Rakennusten lämmitysjärjestelmät 2007).

#### **4.2.1 Lämmitysverkoston perussäätö**

Lämmitysverkoston perussäädöllä vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä asennetaan toimimaan suunnitelmien mukaisesti eli varmistetaan, että kaikissa huoneistoissa on suunnitelmien mukaiset huonelämpötilat. Perussäätö parantaa asumisviihtyisyyttä ja liian korkeiden lämpötilojen alentaminen vähentää allergiaoireita ja kuivan ilman sekä pölyn aiheuttamia ongelmia.

Perussäädössä selvitetään aluksi lämpöjohtojärjestelmiin liittyvien laitteiden kunto. Patteriventtiilit on usein vaihdettava esisäädöllä varustettuihin venttiileihin. Perussäädön yhteydessä suoritetaan verkoston ilmaus ja menoveden lämpötila asetetaan suunnittelijan ohjeiden mukaiseksi. Lämmitystehoa voidaan säädellä muuttamalla menoveden lämpötilaa lämmitystarpeen mukaan, pääasiassa lämmöntarve riippuu ulkolämpötilasta, mutta siihen vaikuttavat myös sisäiset lämmönlähteet ja aurinko (Seppänen et al. 2007; Palonen 2011; Motiva 2002). Yleensä asuinhuonelämpötilaksi valitaan noin 20-22 °C, ja porrashuoneiden ja varastojen lämpötilaksi 15-18 °C. Liian korkea huonelämpötila lisää tarpeetonta ikkunatuuletusta ja näin ollen lämpöhäviöitä. Yhden asteen sisälämpötilan muutos merkitsee noin 5 % muutosta energiankulutuksessa, joten lämpötilat kannattaa valita huolella. Patteriverkoston perussäätö voi tuoda säästöjä lämmitysenergian pienemisen, lämpöjohtopumpun sähkönkulutuksen ja tilausvesivirran pienentämisen kautta. (Palonen 2011)

Lämmönsäätö on melko edullinen toimenpide, säädön kustannukset ovat korjausaineiston perusteella 2,3 €/h-m<sup>2</sup>. Lämmönsäädöllä saadaan aikaan melko suuriakin energiakustannussäästöjä ja lisäksi asumismukavuutta saadaan parannettua, minkä vuoksi lämmönsäätö on lähes aina kannattavaa korjattavissa kohteissa. Korjausaineiston perusteella lämmönsäätö alentaa lämpöenergiankulutusta keskimäärin 3,8 %. Motivan mukaan perussäädöllä voidaan saavuttaa kiinteistössä jopa 10–15 % energiansäästö.

#### **4.2.2 Kaukolämpölaitteiden (lämmönsiirtimen) uusiminen**

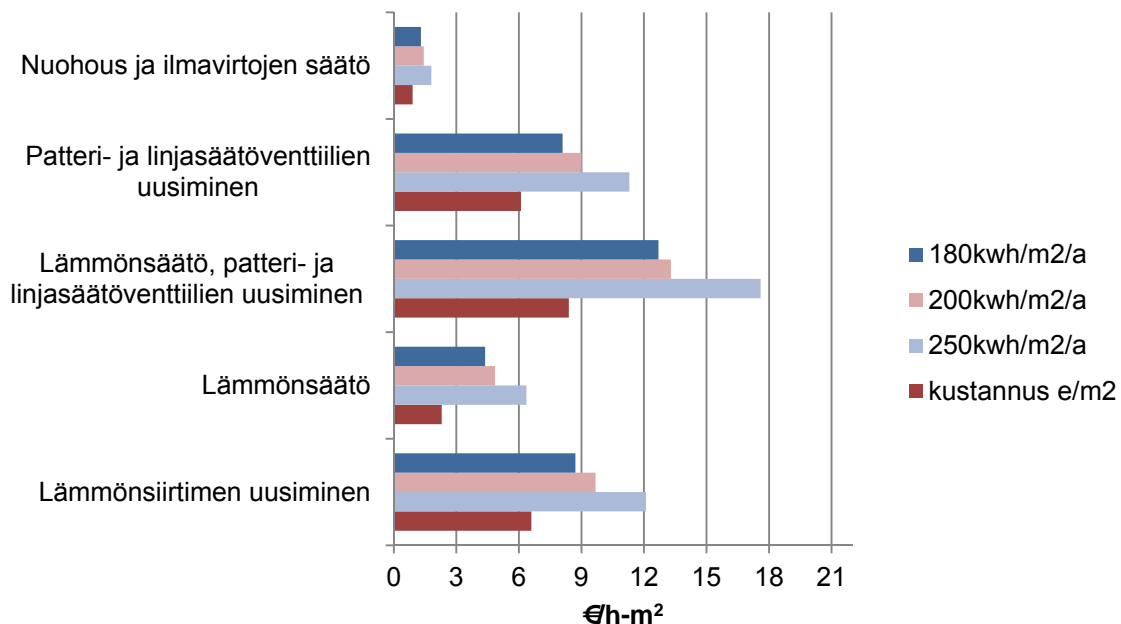
Kaukolämpölaitteiden käyttöikä vaihtelee hyvin paljon, pisimmillään laitteet kestävät yli 30 vuotta. Laitteiden kuntoa pitäisikin seurata säännöllisesti, jotta korjaustoimiin voidaan ryhtyä ajoissa. (Rakennusten lämmitysjärjestelmät 2007)

Lämmönsiirtimessä kaukolämpövesi lämmittää rakennuksen käyttöveden ja lämmitysverkoston veden. Asuinkerrostalossa on yleensä erilliset lämmönsiirtimet lämmitysverkkoa ja käyttövedettä varten. Nykyiset vesikalusteet ovat vettä säästäviä, ja vanha lämmönsiirrin onkin usein ylimitoitettu. Lämmönsiirtimen teho mitoitetaan lämmitystehon mukaan käyttökohteittain. Lämpöteho määritellään paikkakuntakohtaisen mitoitussuhteellisuuden mukaan ja lämpötehon avulla määritellään suurin tilausvesivirta. (Rakennusten lämmitysjärjestelmät 2007)

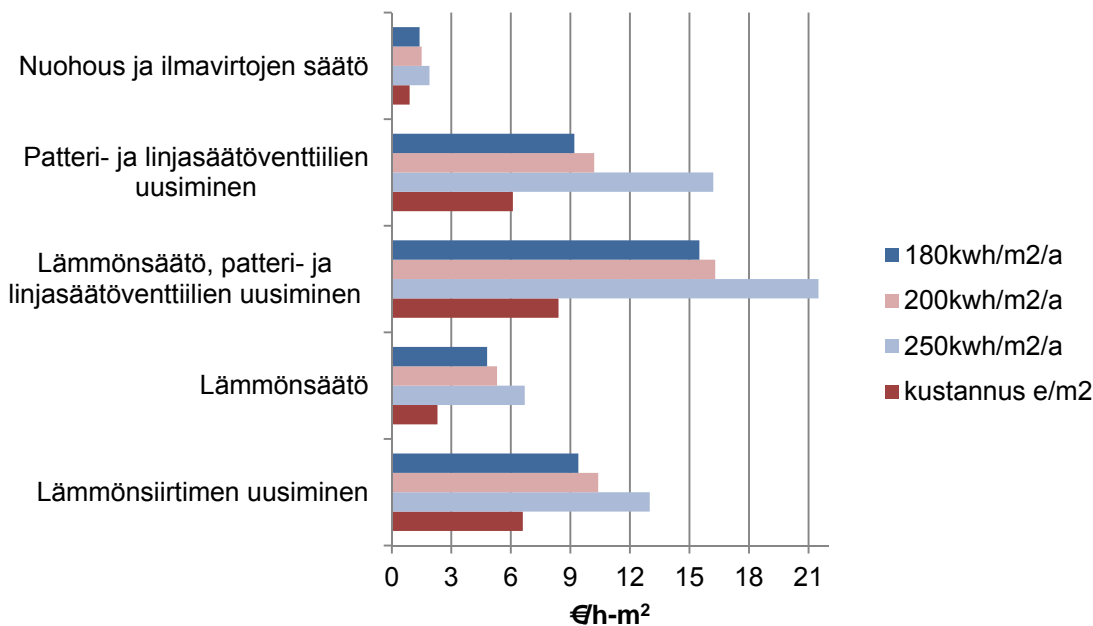
Vanhan lämmönsiirtimen levyn tai putkiston seinämiin on saattanut kertyä likaa, joka heikentää lämmönsiirtymistä ja jäähdytystä. Tämän seurauksena kaukolämmön paluulämpötila tai painehäviö lämmönsiirtimessä nousee. Kaukolämpöjärjestelmien käyttöikä on noin 25 vuotta. Tämän jälkeen ne kannattaa yleensä uusida kokonaan, vaikka laitteet vielä toimisivatkin. Kehittyneen lämmönsiirtotekniikan vuoksi kaukolämmöstä saadaan uusien laitteiden myötä enemmän lämmitystehoa kuin aiemmin. (Taloyhtio.net, lämmönjakokeskus ja elinkaaret, WebDia-palvelu ja Energiatieteiden tutkimuskeskus 2007)

### 4.2.3 Lämmitysjärjestelmän korjaukset

Kuvissa 4.4. ja 4.5. on kuvattu eri lämmitysjärjestelmään liittyvien korjaustoimenpiteiden vaikutusta energiansäästöön. Toimenpiteiden hintoina on käytetty korjausaineistossa olleiden korjausten keskihintoja, ja keskihintojen laskennassa on jätetty huomioimatta korkeimmat ja alimmat 10 % hinnoista. Saavutettavat energiansäästöt on laskettu korjausaineiston perusteella saatavien energiansäästöprosenttien mukaan ja suurimmat ja pienimmät 10 % säästöistä on jätetty huomioimatta. Pylväillä on kuvattu korjauksen käyttöiän aikaisia energiankustannussäästöjä (€/h-m<sup>2</sup>), jotka on laskettu korjausten käyttöiän ja energian hinnan perusteella. Eri toimenpiteiden vaikutusten ja komponenttien käyttöikänä on käytetty KH 90-40016 -kortissa ilmoitettuja arvioituja käyttöikäjä. Eri väreillä kuvataan kerrostalojen energiankulutusmääriä, esimerkiksi 180 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa kuluttavassa kerrostalossa korjauksilla saatavat energiankustannussäästöt ovat selvästi pienempiä kuin 250 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa kuluttavassa kohteessa saavutettavat säästöt. Kuvassa 4.4. energian hinnan on arvioitu nousevan joka vuosi 1 % ja kuvassa 4.5. nousu on 3 %. Esimerkiksi kuvassa 4.4. 250 kWh/m<sup>2</sup>/a kuluttavassa kerrostalossa lämmönsiirtimen uusimisen seurauksena saavutetaan keskimäärin 12 €/h-m<sup>2</sup> kustannussäästö lämmönsiirtimen keskimääräisen käyttöiän aikana, tässä keskimääräisenä käyttöikä on käytetty 15 vuotta.



**Kuva 4.4** Lämmitysjärjestelmään liittyvien korjausten ja uusimisten energiansäästö sekä toimenpiteiden hinnat. Energian hinnan nousuna on käytetty 1 % vuodessa.



**Kuva 4.5** Lämmitysjärjestelmään liittyvien korjausten ja uusimisten energiansäästö sekä toimenpiteiden hinnat. Energian hinnan nousuna on käytetty 3 % vuodessa.

Kaukolämpölaitekomponenttien uusimisella ja muilla lämmitysjärjestelmäkoroauksilla saavutetaan jonkin verran energiakustannussäästöjä, ja kaikki taulukossa esitetyt toimenpiteet maksavat itsensä takaisin niiden käyttöaikana. Nuohous ja ilmavirtojen säätö on edullinen toimenpide ja sillä saadaan aikaan pieniä energiasäästöjä. Keskimääräinen lämpöenergiesäästö oli korjausaineiston perusteella 0,7 % ja nuohouksen ja ilmavirtojen säädön hinta noin 0,9 €/h-m<sup>2</sup>. Hieman kalliimmista investoinneista patteri- ja linjasäätöventtiilien uusiminen sekä lämmönsäätö samassa yhteydessä on aineiston perusteella hyvin kannattavaa, näiden toimenpiteiden kustannukset ovat noin 8,4 €/h-m<sup>2</sup>. Näillä toimenpiteillä keskimäärin lämpöenergiankulutus laskee korjausaineiston kohteissa 5 %. Lämmönsiirtimen uusiminen kustantaa keskimäärin 6,6 €/h-m<sup>2</sup> ja on taloudellisesti hieman suurempi investointi kuin patteri- ja linjasäätöventtiilien uusiminen, mutta lämmönsiirtimen uusimisella saadut kustannussäästöt jäävät pienemmiksi. Näin ollen on yleensä järkevämpää uusia ensin patteri- ja linjasäätöventtiilit ja vasta tämän jälkeen tarpeen vaatiessa lämmönsiirrin. Joka tapauksessa lämmönsiirtimen uusiminenkin on kannattava toimenpide, sillä korjausaineiston mukaan se laskee lämpöenergiankulutusta 4,7 %.

### 4.3 Ilmanvaihtokorjaukset

Ilmanvaihto on suurin yksittäinen tekijä asuinkerrostalojen lämpöenergian kuluttajana, sen mukana kuluu noin 30 - 40 % rakennuksen energiasta. Ilmanvaihto pitäisi mitoittaa suurimman tarpeen mukaan, mutta käyttää vain todellisen tarpeen mukaan. Tämän vuoksi ilmanvaihtoa pitäisi pystyä tarpeen mukaan ohjailemaan ja ilmavirtoja muuttamaan. Tulo- poistoilmanvaihdon lämmitysenergiankulutusta voidaan pienentää yli puolella lämmöntalteenotolla poistoilmasta sekä rakenteiden tiivistyksellä, kokonaisuudessaan lämpöenergian kulutus voi siis laskea jopa 25 %. Lämmöntalteenotolla hukkaan menevästä energiasta saadaan hyödynnettyä hyvin tiivistetyssä talossa 40 - 70 % laitteista riippuen (Palonen 2007 ja Junnonen & Lindstedt 2009).

Korjausikään tulevissa kerrostaloissa asuntojen ilmanvaihto on usein riittämätöntä ja täyttää vain harvoin nykyiset ohjeavot. Ilmanvaihdon vähimmäisvaatimus on nykyisten määräysten mukaan 0,5 1/h ja esimerkiksi 1960- ja 1970-luvuilla rakennetuista rakennuksista neljässä viidestä ilmanvaihtuvuus on vähäisempää (Junnonen & Lindstedt 2009).

Ilmanvaihtojärjestelmien hankintakustannukset ovat melko korkeita. Putkistojen ja linjasaneerausten yhteydessä toteutetun ilmanvaihtojärjestelmän uudistuksen kustannuksia voidaan säästää 20–40 % verrattuna erillään toteutettuun hankintaan.

#### **4.3.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon korjaukset**

Painovoimainen ilmanvaihto perustuu paine-eroon, joka syntyy lämpötilaerojen ja tuulen vaikutuksesta. Ilmavirrat vaihtelevat lämpötilan sekä tuulen nopeuden ja suunnan mukaan, minkä vuoksi esimerkiksi kesällä tyynellä säällä ilmanvaihto voi olla olematonta. 1950-luvun puoliväliin asti ilmanvaihto hoidettiin kerrostaloissa yleensä painovoimaisena (Palonen 2007).

Painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan parantaa huoltotoimenpiteillä ja pienillä korjauksilla. Ilmanvirtausaukkojen pitäisi pysyä avoimena, joten poistoilmaventtiilit on puhdistettava riittävän usein. Samalla huolehditaan siitä, ettei venttiileitä peitetä esimerkiksi kalustuksella tai tavaroilla. Oviraot ovat saattaneet pienentyä väliovien tai lattiapinnoitteiden uusimisen yhteydessä, tällöin rako on palautettava tai oveen on asennettava erillinen siirtoilmasäleikkö. Virtausaukon alan pitäisi olla lähes yhtä suuri kuin poistokanavan alan, esimerkiksi kylpyhuoneessa tämä vastaa 2 cm ovirakoa 80 cm levyisessä ovessa. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilmavirroista on voinut tulla liian pieniä ikkunoiden vaihtamisen tai tiivistämisen seurauksena. Ilmavirtoja voidaan lisätä yksinkertaisesti poistamalla ikkunatiivistettä 0,2 - 1 metrin matkalta, jolloin tosin samalla heikennetään rakennuksen tiiveyttä (Palonen 2007).

Ilmavirtoja voidaan myös lisätä asentamalla rakennukseen ulkoilmaventtiilit. Ratkaisu on toimiva, mikäli rakennus on selvästi liian tiivis. Ulkoilmaventtiilien huonona puolena on vetoisuuden lisääntyminen, minkä vuoksi venttiilien tulisikin olla säädettäviä tai automaattisesti säätyviä. Mikäli järjestelmän kanavat ovat tiiviitä, painovoimainen poistoilmanvaihto voidaan muuttaa myös koneelliseksi poistoksi asentamalla poistohormin päähän poistoilmapuhallin ja vaihtamalla poistoilmaventtiilit. Myös koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtoon siirtyminen on mahdollista, mutta korjaustyöt edellyttävät yleensä uuden kanaviston rakentamista ja kustannukset ovat korkeat purku- ja asennustöiden vuoksi (Pallari et al. 1995).

#### **4.3.2 Koneellisen poistoilmanvaihdon korjausmahdollisuudet**

Koneellisen poiston käyttö alkoi vuonna 1953 ja se on yleisin ilmanvaihtojärjestelmä kerrostaloissa. Koneellisessa ilmanvaihdossa paine-ero saadaan aikaan puhaltimella tai huippumurilla ja ilmavirran tehokkuutta säädellään puhaltimen kierrosnopeutta muuttamalla. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa poistopuhaltimella saadaan kanavistoon aikaan alipaine ja tuloilma otetaan rakennuksen epätiiviykskohdista ulkoilmasta tai lähinnä 1990-luvulla ja sen jälkeen rakennetuissa taloissa myös korvausilmaventtiileillä. Koneellinen ilmanvaihto tulisi pitää koko ajan päällä ilman epäpuhtauksien poistamiseksi. Käyttöä voidaan tehostaa aikaohjauksella esimerkiksi arvioituna ruoanlaitto-aikana tai todellisen käyttötarpeen mukaan nykyään useammin liesikuvun säätimillä. Koneellista poistoilmanvaihtoa rakennettiin käytännössä vuoteen 2003 asti, jolloin uudet tiukemmat ilmanvaihtomääräykset astuivat voimaan. Poistoilmaventtiilit sijoitettiin keittiöihin, wc-tiloihin, kylpyhuoneisiin ja vaatehuoneisiin. Poistokanavina käytetään betonisia hormielementtejä sekä 1970-luvulla yleistyneitä kierresaumattuja peltikanavia. Ulkoilmaventtiileitä on ryhdytty asentamaan vasta 1980-luvun lopulla. Korvausilmalaitteet sekä liesikuvut tulivat palkollisiksi vuonna 1987 (Kerrostalot 1880-2000, 2006 ja Palonen 2007).

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto on yleistynyt vasta 1990-luvulla ilmativiissä rakennuksissa. Toimintaperiaate siinä on muuten hyvin samanlainen kuin koneellisessa poistoilmanvaihdossa, mutta tuloilma johdatetaan tiloihin koneellisesti ja usein myös lämmitetään. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto voidaan toteuttaa joko asuntokohtaisilla tai rakennuskohtaisilla laitteilla (Pallari et al. 1995).

Koneellista poistoilmanvaihtoa voidaan parantaa asentamalla ulkoilmaventtiilit, siirtoilmareittien tarkistamisella, poistoilmapuhaltimien kunnostamisella, huippumurin uusimisella tai vaihdolla. Tämän lisäksi äänihaittoja voidaan vähentää poistoventtiiliin kiinnitettävällä äänenvaimentimella (Kerrostalot 1880-2000, 2006). Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ulkoilmaventtiilien asentaminen makuu- ja olohuoneisiin parantaa ilmanvaihdon hallittavuutta. Venttiilit voidaan asentaa seinään tai ikkunarakenteisiin (Pallari et al. 1995). Rakennuksen energiatehokkuutta ja viihtyisyyttä voidaan parantaa myös tuloilmaikkunoiden avulla. Niitä kannattaa harkita erityisesti silloin, kun rakennuksessa suoritetaan ikkunaremonttia ilmanvaihtoremontin kanssa samanaikaisesti. Tuloilmaikkunassa ulkoilma johdetaan ikkunan puitteiden väliseen tilaan karmien kautta ja siitä huoneilmaan yläkarmin tai –puitteen läpi. Ilmavirta lämpenee virratessaan rakenteen läpi ja myös ikkunaan kohdistuva auringonsäteily lämmittää tuloilmaa. Ulkoilma voidaan myös suodattaa (Heimonen & Hemmilä 2006).

Ilmanvaihtoa ohjataan usein aikaohjauksella, jolloin ilmanvaihtoa tehostetaan tiettyinä ajanjaksoina. Kaikki asukkaat eivät kuitenkaan tarvitse tehokkaampaa ilmanvaihtoa samaan aikaan, joten toimivampi ratkaisu on keittiössä ilmanvaihdon tehostus liesikuvusta ja venttiiliohjaus. Ilmavirrat mitoitetaan venttiiliohjauksessa vähintään arvoon 0,5 1/h ja keittiön ilmanvaihtoa voidaan tehostaa liesikuvusta. Myös muissa tiloissa voidaan käyttää tehostusta ja käytännössä tehostus voidaan suorittaa käsin tai esimerkiksi kylpyhuoneessa kosteuden perusteella automaattisesti. Venttiiliohjauksessa ilmavirrat voidaan mitoittaa todellisen käyttötarpeen mukaan, mikä säästää energiaa (Pallari et al. 1995).

Vanhat huippumurit kuluttavat usein paljon sähköä. Nykyaikaisten huippumureiden sähkönkulutus voi olla vain puolet aiemman imurin sähkönkulutuksesta, joten uusimisella saadaan selviä säästöjä sähkönkulutuksessa.

### **4.3.3 Nuohous ja ilmavirtojen säätö**

Nuohouksella saadaan rakennuksen ilman laatua parannettua. Kanavien puhdistuksen jälkeen ilmavirrat yleensä hieman kasvavat, joten myös energiankulutus lisääntyy.

### **4.3.4 Ilmanvaihdon säätö**

Poistoilmajärjestelmän säädöillä voidaan parantaa ilmanvaihdon toimivuutta ja sisäilmaolosuhteita. Perussäätö voidaan toteuttaa käyttöteknisinä parannuksina olemassa olevalla tekniikalla tai investointeja vaativina korjauksina esimerkiksi huonokuntoisten osien purkuna ja uusimisena, osakorjauksina ja laatutason nostona (Palonen 2007). Tehostetun ilmanvaihdon vuoksi energiankäyttö voi jopa lisääntyä. Tällaisissa tapauksissa kasvaneiden kustannusten lisäksi on otettava huomioon lisääntynyt viihtyvyys ja terveellisyys, joita ei voida kustannuksissa arvioida.

Järjestelmän energiankulutusta voidaan alentaa puhaltimen käyntiaikoja lyhentämällä, ilmavirtojen käytönmukaisella ohjauksella sekä puhaltimen kokonaishyötysuhdetta parantamalla. Hyötysuhdetta alentavia seikkoja ovat muun muassa puhaltimen imuaukossa olevat häiriöt, liian suuri sähkömoottori, löysä tai kireä kiilahihna, likaisuus sekä huonot kanavaliitokset (Palonen 2007).

Ulkosäleikön painehäviötä pienentämällä voidaan vähentää energiankulutusta. Painehäviötä voidaan vähentää ruostevaurioiden korjaamisella, suojaverkon puhdistuksella, kiinnityksiä kiristämällä sekä suodattimen vaihdolla. Lisäksi ulkoilmapeltien tiiviys kannattaa tarkistaa. Pellin pitäisi sijaita mahdollisimman lähellä ulkosäleikköä ja ulkoilmapellin pitäisi avautua kokonaan (Palonen 2007).

Lämmöntalteenottolaitteilla varustetuissa kerrostaloissa lämmöntalteenoton hyötysuhdetta saadaan parannettua ohivuodot korjaamalla, LTO-laitteiden ja suodattimien puhdistuksella

sekä lämmönsiirtonestevirtoja ja säätövikoja korjaamalla. Lisäksi on huolehdittava siitä, ettei LTO-laite pääse jäätymään, jolloin poistoilmavirta pienenee ja lämpövastus lisääntyy, minkä seurauksena ilmanvaihto huononee ja talteen otettu lämpömäärä vähenee. Säätö- ja valvontalaitteiden asetusarvoja parantamalla voidaan lisäksi alentaa energiankulutusta (Palonen 2007).

#### **4.3.5 Ilmanvaihdon uusimisvaihtoehdot**

Ilmanvaihtojärjestelmän uusimisvaihtoehtoja ovat:

- huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihto (seinäpoistolla)
- keskitetty tulo- ja poistoilmanvaihto
- välimallit: hajautettu tuloilmanvaihto ja keskitetty poisto

Lisäksi uusiin ilmanvaihtoratkaisuihin kannattaa aina liittää lämmöntalteenotto.

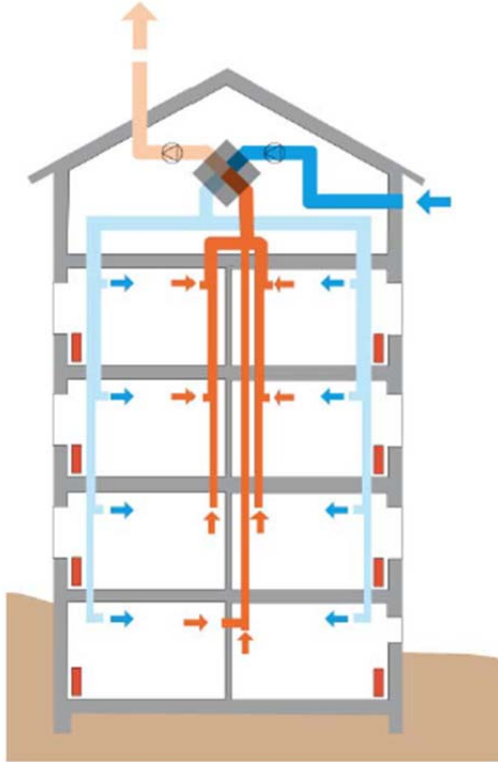
Suurimmassa osassa korjattavista kerrostaloista on käytössä painovoimainen tai koneellinen poistoilmanvaihto. Tällöin ilmanvaihtojärjestelmää uusittaessa vaihtoehdoiksi jäävät huoneistokohtainen tai keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä. Mikäli rakennuksen energiatehokkuutta halutaan selvästi parantaa, energiansäästön kannalta paras vaihtoehto on koneellinen lämmöntalteenotolla varustettu tulo-poistoilmanvaihto. Huoneistokohtainen lämmöntalteenotolla varustettu tulo- ja poistoilmanvaihto on usein helpoin toteuttaa ja parhaiten toimiva sekä säädettävä, mutta myös kustannuksiltaan kallein. Ilmanvaihtokorjauksia vanhoissa kerrostaloissa on tehty Suomessa hyvin vähän. Suurin syy tähän on korjausten korkeat kustannukset sekä epävarmuus saavutettavissa energiasäästöissä. Yleensä energiansäästöt ovat 10 - 15 %, mutta ylläpito ja huoltokustannukset vähentävät saavutettavia kustannussäästöjä. Ilmanvaihtokorjauksilla saadaan kuitenkin parannettua asuntojen sisäilmaa. (Kuitunen 2012)

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän muuttaminen keskitetyksi koneelliseksi tulo- ja poistoilmajärjestelmäksi on työläs ja kallis, koska kanaville joudutaan tekemään uusia asennusreittejä. Keskitetyssä järjestelmässä on käytössä yksi yhteinen ilmanvaihtokone tai joka kerroksessa on oma ilmanvaihtokoneensa. Painovoimaisen ilmanvaihdon uusimista poistoilmanvaihto- tai tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmäksi on Suomessa käytetty lähinnä vuokratalokohteissa erittäin suurten remonttien yhteydessä. Tällöin yleensä koko talo on tyhjennetty ja vain kerrostalon runko on säilytetty ennallaan. Tulevaisuudessa huoneistokohtaiset ilmanvaihtojärjestelmät tulevat todennäköisesti yleistymään. Tällä hetkellä esimerkiksi Saksassa huoneistokohtaiset ilmanvaihtokorjaukset ovat yleisiä. Suomessa huoneistokohtaisten järjestelmien rajoitteena on ilman ulospuhallus, jota ei usein sallita. Lähivuosina ulospuhallus kuitenkin mahdollisesti hyväksytään ja erityisesti asunto-osakeyhtiöiden hallinnoimissa kerrostaloissa huoneistokohtaiset ilmanvaihtojärjestelmät lisääntyvät. Puhaltimien sähkönkulutus kasvattaa rakennuksen sähkönkulutusta noin kolmesta kWh/m<sup>2</sup>:stä noin kuuteen kWh/m<sup>2</sup>:een (Palonen 2011). Se on vain pieni osa rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta, mikä lämpöenergiankulutuksen vähenemisen myötä laskee usein selvästi (Kerrostalot 1880-2000, 2006, Kuitunen 2012 ja Nieminen 2010).

#### **4.3.6 Keskitetty tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä**

Keskitetyssä tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä tuloilman pystykuilut pitää rakentaa vanhoihin taloihin ja kuilut vievät tilaa rakennuksen porrashuoneista tai asunnoista. Poistokanavistona voidaan yleensä ainakin osittain käyttää rakennuksen nykyistä järjestelmää. Uusi ilmanvaihtokonehuone asennetaan usein vesikatolle tai ullakotiloihin. Keskitetyssä järjestelmässä usealla asunnolla on yhteinen ilmanvaihtokone ja ilmavirtoja asunnoissa voidaan säätää huoneistokohtaisilla venttiileillä (Seppänen et al. 1997). Keskitetyn järjestelmän hyvinä puolina on vähäinen huollon tarve asunnoissa (Palonen 2011 ja KIMU loppuraportti 2010). Kuvassa 4.6. on esitetty keskitetyn tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän periaatepiirustus.

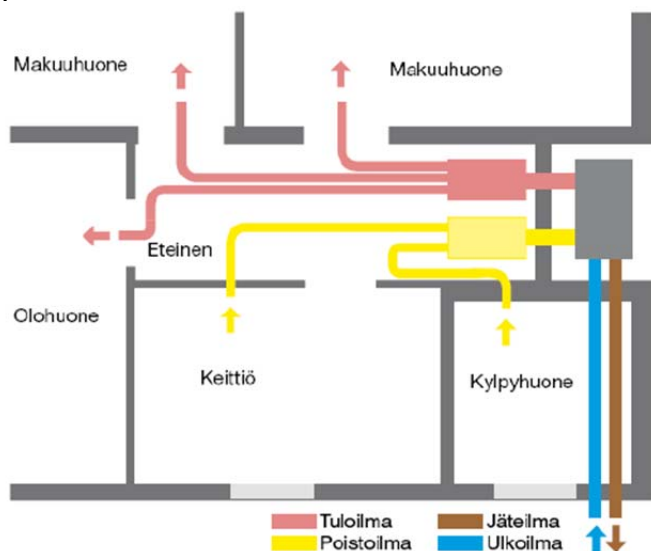




**Kuva 4.6** Keskitetty tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmä (KIMU, loppuraportti 2010).

#### 4.3.7 Huoneistokohtainen ilmanvaihto

Huoneistokohtaisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa ilman ulospuhallus tapahtuu seinäpuhalluksena tai keskitettynä poistona. Järjestelmää sopii erityisesti kohteisiin, joissa tavoitellaan vaatimustasoltaan korkeita sisäilmaolosuhteita. Asuntokohtaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä ilmanvaihtokoneet sijoitetaan usein kylpyhuoneisiin tai ovien yläpuolelle eteisiin, jolloin laitteiden huolto voidaan hoitaa esimerkiksi porrashuoneen kautta. Asukkaat voivat itse ohjata ilmanvaihtoaan säätämällä keittiön tai kylpyhuoneen säätöpeltiä. Tavallisesti asuntojen tuloilmavirta on 80 % poistoilmavirrasta ja loppu 20 % tulee rakennusvaipan vuodoista. Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon periaate on esitetty kuvassa 4.7.



**Kuva 4.7.** Huoneistokohtainen ilmanvaihto (KIMU, loppuraportti 2010).

Huoneistokohtaisesti säädettävällä ilmanvaihdolla saadaan paras viihtyvyys ja suurimmat energiansäästöt oikein toteutettuina ja käytettynä, mutta myös investointikustannukset ovat korkeat. Huoneistokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä mahdollistaa myös paremman lämmön talteenoton hyötysuhteen kuin keskitetty järjestelmä. Huoneistokohtainen ilmanvaihto lisää jonkin verran huoltokustannuksia, huollon kannalta yksinkertaisin ratkaisu uudessa ilmanvaihtojärjestelmässä on keskitetty tulo- ja poisto (Palonen 2011 ja Lahti et al. 2010).

#### **4.3.8 Koneellisen poiston yhdistäminen huoneistokohtaisiin tuloilmakoneisiin**

Huoneistokohtaisen ja keskitetyn ratkaisun välimuoto on järjestelmä, jossa hyödynnetään käytössä olevaa koneellista poistoilmanvaihtojärjestelmää ja täydennetään sitä huoneistokohtaisilla tuloilmakoneilla ja lämmöntalteenotolla. Tässä vaihtoehdossa vanhan järjestelmän poistokanavisto nuohotaan ja poistoilmapuhaltimet tai huippumurit uusitaan lämmönsiirtimillä varustetuilla malleilla. Jokaiseen huoneistoon asennetaan oma tuloilmakone, joka huolehtii tuloilman koneellisesta tuonnista. Lisäksi tarvitaan lämmönkeruuputkisto, joka yhdistää lämmönsiirtimet tuloilmakoneisiin. Tässä vaihtoehdossa poistoilma ei lämmitä suoraan tuloilmaa, vaan poistoilma lämmittää ensin lämmönkeruunestettä, joka taas lämmittää tuloilmaa. Järjestelmällä saadaan lämmöntalteenoton lisäksi parempi sisäilman laatu lämpimän ja suodatetun tuloilman ansiosta (teeparannus.fi, lämmöntalteenotto poistoilmasta).

#### **4.3.9 Lämmöntalteenoton kannattavuus ja rajoitukset**

Rakennuksen tiiviys vaikuttaa merkittävästi lämmön talteenoton kannattavuuteen. Mikäli rakennuksen tiiviys on heikompi kuin 2-3 1/h, rakennus kannattaa tiivistää ennen lämmön talteenottoon ryhtymistä. Lämmön talteenotolla saavutetaan energiatalouden lisäksi muitakin hyötyjä, kuten sisäilman laadun paraneminen ja vedon väheneminen, jotka on myös otettava huomioon päätöksiä tehdessä. Poistoilman lämmöntalteenoton rakentaminen edellyttää yleensä siirtymistä koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon. Nykyään on markkinoille tullut myös tuotteita, joiden yhteydessä tuloilmakanavistoa ei tarvitse rakentaa, vaan lämpö otetaan lämpöpumpuilla talteen poistuvasta ilmasta. Lämpö siirretään veteen, joka lämmittää kiinteistöä sekä mahdollisesti myös lämmintä käyttövetä (RS Partners ja Therecon).

Lämmöntalteenotto toteutetaan pyörivällä lämmönsiirtimellä tai levylämmönsiirtimellä. Lämmöntalteenoton hyötysuhde tarkoittaa sitä, miten suuri osa lämmöstä saadaan talteen. Esimerkiksi poistoilman lämpötilan ollessa +22 °C, ja lämmittäessä tuloilman -22 °C lämpötilasta 0 °C:een, ilma lämpenee 22 astetta. Poisto- ja ulkoilman lämpötilaero on tässä tapauksessa 44 astetta, ja tuloilman lämpötilahyötysuhde on  $22/44 = 0,5$  eli 50%. Pyörivän lämmönsiirtimen hyötysuhde on yleensä jonkin verran parempi kuin levylämmönsiirtimellä. Pyörivän lämmönsiirtimen käyttöön liittyy kuitenkin rajoituksia. Pyörivä lämmönsiirrin ei esimerkiksi sovellu keskitettyihin ratkaisuihin, joissa likaiset ja puhtaat ilmavirrat voivat sekoittua (KIMU loppuraportti 2010 ja Lahti et al. 2010). Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde kuvaa vuoden aikana talteen otetun lämpömäärän suhdetta ilmanvaihdon lämmityksen vuodessa tarvitsemaan lämpömäärään. Talvella lämmön talteenottoa joudutaan rajoittamaan, jotta laitteen poistoilmapuolelle ei muodostuisi jäätä. Asuinrakennuksissa rajoituslämpötilaksi suositellaan + 5 °C. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen vaikuttaa siis merkittävästi rajoituslämpötila ja paikkakunta. Esimerkiksi Sodankylässä voi lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde + 5 °C-asteen rajoituslämpötilassa olla 57 % ja Helsingissä samassa rajoituslämpötilassa 65 %. Tämän vuoksi eteläisemmässä Suomessa lämmöntalteenotolle saadaan keskimäärin paremmat vuosihyötysuhteet verrattuna Pohjois-Suomeen (KIMU loppuraportti 2010, Palonen 2011 ja Lahti et al. 2010).

#### 4.3.10 Ilmanvaihdon korjausten kannattavuus

Painovoimaisen ilmanvaihdon muuttaminen koneelliseksi ilmanvaihdoksi on haastava ja kallis toimenpide. Purku- ja asennustyön osuus on tällaisissa toimenpiteissä korjauskustannuksista suurin. Myös koneellisen poistoilmanvaihdon muuttaminen koneelliseksi tulo-poistojärjestelmäksi on kallista, koska tulokanaville joudutaan rakentamaan kokonaan uudet kanavat. Lisäksi kerrostalojen asuinpinta-alaa ei haluttaisi vähentää. Peruskorjauksissa yleensä helpoin tapa on rakentaa huoneistokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä ja sijoittaa tulo- ja poistoilmalaitteet ulkoseinille. Keskitetyn tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän kustannukset ovat yleensä noin 200–250 €/h-m<sup>2</sup> ja huoneistokohtaisen järjestelmän 250–300 €/h-m<sup>2</sup>. Lisäksi huoneistokohtaisen järjestelmän huoltokustannukset ovat hieman kalliimmat kuin keskitetyn järjestelmän. Painovoimaisen ilmanvaihdon uusimista poistoilmanvaihto- tai tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmäksi on Suomessa käytetty lähinnä vuokratiloissa erittäin suurten remonttien yhteydessä. Tällöin yleensä koko talo on tyhjennetty ja vain kerrostalon runko on säilytetty ennallaan. Tulevaisuudessa huoneistokohtaiset ilmanvaihtojärjestelmät tulevat todennäköisesti yleistymään. Tällä hetkellä esimerkiksi Saksassa huoneistokohtaiset ilmanvaihtokorjaukset ovat yleisiä. Suomessa huoneistokohtaisten järjestelmien rajoitteena on ilman ulospuhallus, jota ei usein sallita. Lähivuosina ulospuhallus kuitenkin mahdollisesti hyväksytään ja erityisesti asunto-osaakeyhtiöiden hallinnoimissa kerrostaloissa huoneistokohtaiset ilmanvaihtojärjestelmät lisääntyvä (Kuitunen 2012, Lahti et al. 2010 ja Virta 2011).

Ilmanvaihtoon liittyvät korjaukset monesti lisäävät rakennusten energiankulutusta, minkä vuoksi korjauksia suunniteltaessa on nostettava esille muutkin kuin energiasäästöihin liittyvät seikat. Ilmanvaihdon parantaminen tai uusiminen nostaa asumisviihtyisyyttä ja asuntojen terveellisyttä sekä voi vähentää muun muassa rakenteiden kosteutta ja näin vähentää niihin liittyvää kunnostustarvetta.

Tiiviisiin kerrostaloihin kannattaa yleensä asentaa lämmön talteenotolla varustettu ilmanvaihtojärjestelmä, esimerkiksi koneellinen tuloilmajärjestelmä. Katolle johdettavien jäteilmakanavien tulisi olla vuotamattomia, mikä kasvattaa usein korjauskustannuksia (Pallari et al. 1995). Jäteilman puhaltaminen ulos seinästä on huomattavasti edullisempaa, mutta rajoituksia tähän asettaa asuntojen poistoilmaa koskevat määräykset ja niiden tulkinta. Lisäksi seinäpuhalluksessa on riskinä, että epäpuhtaudet kulkeutuvat asuntojen välillä ja talotekniset ratkaisut aiheuttavat esteettistä haittaa julkisivulle, lisäksi vaimentamaton puhallinmelu voi aiheuttaa häiriöitä (KIMU loppuraportti 2010 ja Palonen 2011).

Ilmanvaihtokorjauksilla mahdollisesti saatavat taloudelliset säästöt riippuvat rakennuksen alkuperäisestä ilmanvaihdosta sekä lämmöntalteenoton hyötysuhteista. Mikäli rakennuksen ilmanvaihto on alun perin ollut hyvin puutteellista, tulo-poistoilmanvaihtoon siirtyminen lisää ilmavirtoja ja energiankulutus kasvaa väkisin. Yleensä tällöin edes lämmöntalteenoton korkeilla hyötysuhteilla ei saada energiankulutusta rakennuksessa pienennettyä. Korjauksilla saavutettavat muut hyödyt ovat kuitenkin usein korjauksien arvoisia.

#### 4.4 Vesi- ja viemäri-laitteiden korjaukset

Asuinkerrostalojen lämpöenergiasta noin 20 % poistuu viemärien kautta. Lämpöenergian kulutusta on mahdollista pienentää yksinkertaisilla toimenpiteillä, joilla lämpimän käyttöveden kulutusta vähennetään. Merkittävin energiansäästöpotentiaali vesi- ja viemärijärjestelmissä on vettä säästävillä vesikalusteilla. Vanhemmassa kerrostalokannassa vesikalusteet onkin pääasiassa jo ehditty uusimaan. Tehokkaita toimenpiteitä lämpimän veden kulutuksen vähentämiseen kerrostaloissa on huoneistokohtaisten vesimittareiden asentaminen ja huoneistokohtainen lämpimän käyttöveden laskutus kulutuksen perusteella (RIL 249-2009 ja Junnonen & Lindstedt 2009).

Yleensä vesi- ja viemäriputkistojen korjausten syynä on niissä esiintyvä korroosio. Se muun muassa lisää verkoston kunnossapitokuluja, heikentää veden laatua, vähentää vedenjakelun tehokkuutta sekä lisää vesivahinkoriskiä. Asuinkerrostaloissa vesivuodot alkavat yleistyä erityisesti rakennuksen ylittäessä 30 vuoden iän (Palonen 2011).

#### **4.4.1 Viemäriputkien uusiminen**

Viemäriputkien täydellinen uusinta on kallein ja samalla varmin putkiremontin muoto. Uusimisessa vanhat vaaka- ja pystylinjat sekä vesikalusteet puretaan ja uusitaan. Se soveltuu kohteisiin, joissa on kosteus- ja mikrobivaurioita, rakennuksen laatutasoa halutaan nostaa, halutaan tehdä tilamuutoksia tai rakennuksen sähköasennukset aiotaan korjata samalla. Putkien purkamisen ja uusimisen arvioitu käyttöikä on noin 50 vuotta. Putkiremontin kustannukset ovat keskimäärin noin 400 €/h-m<sup>2</sup>, joten korjaustoimenpiteenä se on yksi kalleimmista (Taloussanomat 16.11.2010 ja Hallittu putkiremontti 2008).

Täydellistä uusimista hieman kevyempiä korjaustoimenpiteitä on uusien putkistojen ja kaapelointien asentaminen vanhoihin putkikuiluihin sekä vanhojen putkikuilujen jättäminen paikoilleen ja uusien putkien asennus uusiin koteloihin. Nämä menetelmät soveltuvat kohteisiin, joissa vanhat hormit ovat helposti avattavissa tai uusille putkistoille on riittävästi tilaa. (Hallittu putkiremontti 2008) Osittainen uusiminen soveltuu kohteisiin, joissa vain osa linjoista vaatii korjausta.

Putkien pinnoitus sisäpuolelta mahdollistaa putkien korjaamisen rakenteita suuremmin rikkomatta. Pinnoituksessa putkien sisäpinta puhdistetaan mekaanisesti ja kuivunut pinta pinnoitetaan elastisella massalla. Pinnoitekehittäjien mukaan putkiston kestoikää voidaan pinnoittamalla lisätä noin 40 vuotta. Sujutuksella tarkoitetaan menetelmää, jossa vanhan putken sisään asennetaan uusi putki. Usein sujutusputki on muovipintaista polyesterihuopaa, joka paineilman avulla asennetaan paikoilleen. Se kovettuu tiiviisti vanhan putken seinämiin uudeksi putkeksi. Toimenpide on nopea ja aiheuttaa asukkaille vain vähän häiriöitä. Sekä pinnoitus että sujutus voidaan tehdä rakenteita juurikaan avaamatta ja se soveltuu kohteisiin, joissa ei ole tarkoitus nostaa laatutasoa. Rakenteiden, vedeneristysten, pintojen, vesikalusteiden sekä lattiakaivojen on myös oltava kunnossa pinnoitusta tai sujutusta käytettäessä. Sujutus ja pinnoitusmenetelmien arvioitu käyttöikä on noin 15 vuotta (Hallittu putkiremontti 2008).

#### **4.4.2 Vesikalusteiden uusiminen**

Kerrostaloissa kulutetaan vettä noin 150–160 litraa asukasta kohden vuorokaudessa (Junnonen & Lindstedt 2009). Vedenkulutusluvut asuinrakennuksissa ovat pudonneet 1970-luvun kulutukseen verrattuna hieman muun muassa putkistomitoituksen uudistuksen, vesikalusteiden ja laitteiden kehittymisen ja kulutustottumusten muutosten myötä. Vesimittareiden asennus ja laskutus kulutuksen mukaan voi laskea lämpimän käyttöveden kulutusta noin 10 % (Ympäristöministeriö 2009, huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttö ja vaikutukset rakennusten energiankulutukseen, työryhmämuistio sekä Junnonen & Lindstedt 2009).

Lämmintä käyttövettä kuluu eniten peseytymiseen. Käyttöveden lämmitysjärjestelmän energiankulutus muodostuu veden lämmitysenergiamäärästä sekä lämmitysjärjestelmien eri osien, kuten putkiston, kiertojohdon sekä lämmönkehityslaitteiden lämpöhäviöistä. Asuinkerrostaloissa lämmitysjärjestelmän kuluttamasta lämmitysenergian käytöstä lämpöhäviöt ja kosteiden tilojen lämmityksen osuus on noin 40 %. Vedenkulutuksen pienentäminen 20 % vähentää siis käyttöveden lämmitysenergiaa vain noin 10 % (Junnonen & Lindstedt 2009).

Lämpimän veden kulutusta voidaan vähentää muun muassa seuraavilla toimenpiteillä:

- vesijohtoverkoston oikea mitoitus
- lämpimän käyttöveden lämpötilan asetus ja kiertojohdon virtaaman mitoitus
- lämpimän käyttövesijärjestelmän lämmöneristys
- vesilaitteiston vesitiiviys
- WC-laitteiden ja muiden kalusteiden huolto
- asukastiedotus

Lisäksi energiankulutusta voidaan vähentää putkistoja lämpöeristämällä. (Junnonen & Lindstedt 2009).

#### **4.4.3 Huoneistokohtainen vedenkulutuksen mittaus ja laskutus**

Vedenkulutuksen huoneistokohtaisella mittauksella ja laskutuksella veden kulutusta voidaan vähentää jopa 20 %, mikä tarkoittaa 10 % säästöä käyttöveden lämmitysenergian kulutuksessa. Uudisrakennuksissa asuntokohtaiset mittarit ovatkin tulleet pakollisiksi vuoden 2011 alusta lähtien. Korjausrakentamisessa 40 % korjattavista asunnoista asennetaan vesimittarit linjasaneerausten yhteydessä (Kiinteistölehti 3/2008). Vesimittarit voidaan asentaa kylmään veteen, lämpimään veteen tai molempiin. Mikäli veden kulutus mitataan molemmista, pystytään asukkaita laskuttamaan luotettavimmin vedenkulutuksestaan sekä lämpimän käyttöveden energiankulutuksesta. Mittarit sijoitetaan helposti asennettaviin, luettaviin ja huollettaviin paikkoihin. Vesimittarit voidaan lukea mittarista suoraa huoneistosta tai porraskäytävän huoltokaapista, rakennuksen teknisestä tilasta, jossa on keskitetty kiinteistökohtainen luenta tai etäluenta esimerkiksi huoltoyhtiössä. Laskutus perustuu joko asukkaiden ilmoittamiin lukemiin tai kaukoluentajärjestelmään. Tieto saadaan parhaiten hyödynnettyä ja virheiden määrä on vähäisempi kaukoluenta käyttämällä. Samaa mittauspäättettä voidaan kaukoluennessa käyttää kaukolämpöveden, käyttöveden, kaukolämpöenergian ja sähkönkulutuksen kaukoluentaan (Rakennusten lämmitysjärjestelmät 2007 ja Palonen 2011).

Vedenkulutussäästöt riippuvat paljon käyttäjien kulutustottumuksista. Tampereen vuokratalosäätiön asunnoissa mittaroitujen huoneistojen keskimääräinen vedenkulutus on 126 litraa/asukas/vuorokausi ja ilman mittaria olevissa asunnoissa 156 litraa/asukas/vuorokausi. Espoonkruunu Oy:n 13700 asunnosta noin puolessa on huoneistokohtainen vedenmittaus. Keskimääräinen kulutus kaikissa Espoonkruunu Oy:n kohteissa on 150 litraa/asukas/vuorokausi ja mittaroiduissa kohteissa 130 litraa/asukas/vuorokausi. Huoneistokohtaiseen mittaukseen perustuva laskutus vaikuttaa rakennuksen lämpöenergiankulutukseen Ympäristöministeriön laskennallisen arvion mukaan 3–9 %. Suurimmat säästöpotentiaalit ovat kohteissa, joissa mittarien asentamisen lisäksi uusitaan vesijohtoverkosto nykyaikaisin mitoitusperiaattein sekä vanhat vesikalusteet vaihdetaan vettä säästäviksi. Vesijohtoverkoston painetasoa voidaan lisäksi säätää vakiopaineventtiilillä.

Huoneistokohtainen vesimittarijärjestelmä kustantaa noin 500–700 euroa asuntoa kohden. Lisäksi laskutus-, luenta-, ja huoltokustannuksia kertyy 10–30 euroa vuodessa. Ympäristöministeriön laskelmien mukaan järjestelmän kustannukset saadaan nykyisillä energian ja veden hinnoilla katettua noin 20 vuoden kuluessa. (Huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttö ja vaikutukset rakennusten energiankulutukseen 2009) Vesimittarijärjestelmä on peruskorjattava noin 12 vuoden välein. Vesimittareiden ja mittaustietojen seurantajärjestelmien investointi- ja ylläpitokustannukset ovatkin melko korkeita verrattuna saatuihin kulutussäästöihin. Toisaalta vesimittareilla ja niihin perustuvalla laskutuksella pyritään kannustamaan veden- ja energiansäästöihin sekä se lisää asukkaiden omia vaikutusmahdollisuuksia asumiskustannuksiin. Lisäksi mahdolliset laiteviat ja vesivuodot huomataan tuntiseurannan avulla helposti ja niihin voidaan reagoida nopeasti (Rakennusten lämmitysjärjestelmät 2007 ja Palonen 2011).

## 4.5 Ikkuna- ja ovikorjaukset

Suurimmassa osassa kerrostaloja ikkunat ovat puupintaisia ja kaksilasisia. 1940-luvulla yleistyi kaksilasinen sisäännavautuva MS-ikkuna ja 1960-luvulle asti ne lasitettiin ja pintakäsiteltiin paikan päällä. Lasitus ja pintakäsittely siirtyivät ikkunatehtaille 1960-luvulla, minkä seurauksena ikkunoiden käyttövaikeudet ja huollontarve usein lisääntyivät ja ikkunoiden käyttöikä lyheni. 1960-luvun lopulla maalaus käsittelyssä suosittiin tummansävyisiä puunsuoja-aineita ja petsejä, mikä kiihdyttää auringonsäteilyn ja kosteuden yhteisvaikutusta haurastuttaen puun pintaa (Hagan 1996). Kolmilasista MSK-ikkunaa ja MSE-yhdistelmäikkunoita alettiin käyttää 1970-luvun puolivälissä energiakriisin ja uusien rakentamismääräysten myötä. Vuonna 1974 uudet rakentamismääräykset ja energiakriisi johtivat kaksilasisista ikkunoista siirtymisen kokonaan kolmilasisiin ikkunoihin. 1990-luvun aikana yleistyivät puualumiini-ikkunat ja eristyslaseja käyttämällä päästiin huomattavasti aiempaa parempiin lämmöneristävyksiin (Kerrostalot 1880-2000, 2006 ja Ruuska 2007). Parvekeikkunat ovat useimmiten kiinteällä sisälasilla ja ulosnavautuvalla puitteella varustettuja kaksilasisia puuikkunoita. Parvekkeiden ovet ovat yleensä kaksilehtisiä puurakenteisia ovia, ja niiden ongelmana on usein taipuneen sisäoven aiheuttama epätiivisyys ja lahovauriot (Ruuska 2007).

Ikkunoiden merkittävin rasitustekijä on ulkopuolisen veden tunkeutuminen puuainekseen, erityisesti ulkopuitteen alakappaleeseen ja alakulmaliitoksiin. Puuosien jatkuva kosteana pysyminen aiheuttaa lahoamista. Myös auringon säteily ja ilman epäpuhtaudet ovat ikkunoiden rasitteina. Usein erityisesti eteläsivun ja yläkerrosten ikkunat joutuvat kovempaan rasitukseen kuin pohjoisjulkisivun ikkunat (Taivalantti 1997). Ikkunoiden korjaustoimenpiteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään: kunnossapitokorjaukseen, ikkunoiden osittaiseen uusimiseen sekä ikkunoiden uusimiseen (Haukijärvi 2005).

### 4.5.1 Ikkunoiden kunnossapitokorjaus

Jos perusparannustarvetta ei vielä ole, riittää, että ikkunoille tehdään kunnostus maalaamalla ja tiivistämällä ja vanha rakenne säilytetään ennallaan. Vaurioituminen pyritään pysäyttämään uusimalla ja korjaamalla pinnoitteita, tiivisteitä, kittauksia, saumauksia ja heloja. Lisäksi ikkunan toimivuutta, kuten avattavuutta ja ilmanpitävyyttä, voidaan parantaa. Kunnossapitokorjauksilla ei paranneta oleellisesti ikkunan ominaisuuksia alkuperäisestä lähtötasosta, mutta korjauksilla lisätään ikkunarakenteen käyttöikää (Haukijärvi 2005). MSK- ja MSE-tyyppisten ikkunoiden karmi- ja puiterakenteiden keskimääräinen U-arvo on noin 1,1–1,4 W/m<sup>2</sup>K, joten tiivistyksillä lämpöhäviötä voidaan pienentää hiukan (Hemmilä 1992). Ikkunarakenteen ulkopuolisten osien maalausväliksi suositellaan ilmansuunnasta riippuen peittomaalatuille ikkunoille 5-8 vuotta, kuultokäsitteltyille 2-5 vuotta ja sisäpuolisille osille 8-15 vuotta (Haukijärvi 2005). Hyväkuntoisilla ikkunoilla riittää, että lohkeillut maali poistetaan ja tämän jälkeen suoritetaan huoltomaalaus. Huonokuntoisemmilla ikkunoilla vanha maali pitää poistaa kokonaan, minkä jälkeen maalataan osat uudelleen (Mehto 2007).

### 4.5.2 Ikkunoiden osittainen uusiminen

Osittaisessa uusimisessa parannetaan ikkunan lämmön- ja ääneneristävyyttä lisälaseja lisäämällä tai vaihtamalla laseja eristyslaseihin. Ikkunan karmirakenne kuitenkin säilytetään ennallaan ja toimenpide soveltuukin vain rakenteille, joiden puurakenteet ovat hyvässä kunnossa. Ikkunoiden osittaisessa uusimisessa vanhaa rakennetta yleensä kunnostetaan muun muassa tiivisteitä uusimalla ja maalauskorjauksilla. Ulkopuolisella lisälasilla (lisäpuite) vanha ikkunarakenne peitetään kokonaan ulkopuolelle asennettavalla uudella ikkunalla. Yleensä käytetään tavallista niin sanottua float-lasia tai eristyslaseja. Lisäpuite soveltuu parhaiten vanhojen kaksilasisien MS-ikkunoiden korjaamiseen sekä kohteisiin, joissa julkisivulle tehdään verhouskorjaus lämmöneristyksellä, jolloin ulkoseinän paksuus kasvaa. Tällöin uusi ikkunarakenne saadaan ulkoseinän kanssa samalle syvyydelle. Osittainen uusiminen voidaan toteuttaa myös vaihtamalla vaurioitunut ulkopuite uuteen, jolloin vanha

ulkopuute poistetaan saranoineen ja lukkoineen. Yleensä vanha puinen ulkopuute korvataan alumiinisella vaihtopuutteella, tällöin myös karmin ulkopinta suojataan alumiiniprofiililla. Vaihtopuute soveltuu melko pahoin vaurioituneisiin rakenteisiin, ikkunan karmit eivät kuitenkaan saa olla pahoin vaurioituneita. Erityisesti kolmilasisten MSK-ikkunoiden korjaamiseen vaihtopuute on usein hyvä ratkaisu. Kaksilasisen MS-ikkunan U-arvo paranee noin 2,1–2,8 W/m<sup>2</sup>K:sta tavallisella lasilla lasitetun etuikkunan myötä noin arvoon 1,5 W/m<sup>2</sup>K, kovapintaista selektiivilasia käyttämällä U-arvoon 1,25 W/m<sup>2</sup>K ja kryptonkaasutäytteistä selektiivieristyslasia käyttämällä U-arvoon 1,0 W/m<sup>2</sup>K (Haukijärvi 2005).

#### 4.5.3 Ikkunoiden uusiminen

Ikkunoiden kokonaan uusimisessa vanha ikkunarakenne poistetaan karmeineen ja sen tilalle asennetaan uusi ikkunarakenne. Uusi ikkuna voidaan valita samoista ikkunatyypeistä, joita käytetään uudisrakentamisessa. Lasivalinnoilla voidaan vaikuttaa ikkunan ominaisuuksiin, yleensä käytetään float-laseja tai eristyslaseja, lisäksi laseissa voidaan käyttää myös erilaisia selektiivi- tai auringonsuojapinnoitteita. Vanhojen kaksilasisten ikkunoiden U-arvo on noin 2,5 W/m<sup>2</sup>K ja kolmilasisten 1,8 W/m<sup>2</sup>K, joten ikkunoiden uusiminen esimerkiksi U-arvoltaan 0,8–1,0 W/m<sup>2</sup>K oleviin tavanomaisiin ikkunoihin pienentää selvästi rakennuksen lämpöhäviötä (Haukijärvi 2005 ja RIL-249-2009). Kerrostalojen ikkunoita uusittaessa ja vaipparakenteen tiiviyttä lisätessä on painovoimaisessa ilmanvaihdossa korvausilman saanti huomioitava ratkaisuihin, jotta sisäilman laatu ei huonone (RIL-249-2009). Rakennuksen ilmanvaihtoa voidaan myös parantaa käyttämällä tuloilmaikkunaa, jolloin huoneiston korvausilma saadaan ikkunarakenteessa olevien tuuletusventtiilien kautta, myös raitisilmaventtiileitä voidaan käyttää (Haukijärvi 2005).

#### 4.5.4 Ikkunakorjausten kannattavuus

Ikkunoiden kautta tapahtuvaan lämpöhäviöön vaikuttavat ikkunan U-arvo, ikkunan säteilynläpäisy, rakennuksen sijainti, ikkunan ilmansuunta ja varjostukset sekä tiivistevuodot. Auringon säteilynläpäisy yleensä pienenee ikkunan U-arvon parantuessa, jolloin siis myös auringosta saatavan säteilyn hyödyntäminen lämmityksessä ja valaistuksessa vähenee. Toisaalta kesäaikana se vähentää asuntojen ylikuumenemistä (Saarni 1996). Ilmansuuntien vaikutukseen ja varjostukseen remontilla ei pystytä vaikuttamaan. Astepäiväluku vaikuttaa merkittävästi lämmitysenergian määrään ja näin ollen ikkunoiden U-arvon parantamisen vaikutus korostuu pohjoisemmassa Suomessa (Taivalantti 1997 ja Saarni 1996).

1970-luvun alussa ja tätä ennen rakennettujen kerrostalojen ikkunoiden lämmöneristävyys on usein heikkoa, ikkunoiden U-arvot ovat yleensä luokkaa 2,0–2,7 W/m<sup>2</sup>K (Mäkinen 2009). Tämän vuoksi tuon ajan kerrostalojen ikkunaremonteissa erityistä huomiota kannattaa kiinnittää ikkunoiden lämmöneristävyiden parantamiseen. Suuri osa 1950-luvun ja tätä vanhempien talojen ikkunoista onkin jo uusittu tai kunnostettu. Mikäli korjattavan kerrostalon ikkunat ovat kohtuullisen hyvässä kunnossa, eikä ikkunoiden uusimiselle ole tarvetta, lämmönkulutusta voidaan hieman laskea myös ikkunoiden tiivistystasoa parantamalla. Ikkunoiden ja karmien tiivistys maksaa korjausaineiston perusteella keskimäärin 1,8 €/h·m<sup>2</sup>. Toisaalta pelkkä ikkunoiden tiivistys ilman lämmönsäätöä saattaa korjausaineiston perusteella kasvattaa lämmönkulutusta. Noin kahdessa kolmesta ikkunakorjauksesta on samalla tai seuraavana vuonna tehty myös lämmönsäätö. Kohteissa, joissa ikkunoita oli uusittu, mutta lämmönsäätöä ei ollut tehty, energiankulutus oli usein noussut. Tähän syynä on muun muassa lämpötilojen nousu ja sitä myötä lisääntynyt tuuletus. Lähes kaikissa kohteissa, joissa oli tehty lämmönsäätö ikkunaremontin yhteydessä, oli energiankulutus laskenut (Palonen 2010).

Lisäksi ikkunarakenteen kautta tulevasta vuotoilmasta suurin osa on ilmanvaihdon korvausilmaa ja ainoastaan korvausilmamäärän ylittävä osuus voidaan poistaa, jolloin ylimääräisen ilmamäärän lämmittämiseen käytetty energiankulutus saadaan pieneneään. Rakennetta tiivistettäessä on siis myös riittävästä korvausilmansaannista huolehdittava.

Lisäpuitteen asentaminen soveltuu hyvin kaksilasisten MS-ikkunoiden lisäeristämiseen, tällöin U-arvo tavanomaisella lisäpuitteella laskee noin  $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ :sta arvoon  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  ja eristyslasia käyttämällä jopa arvoon  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Taivalantti 1997). Ikkunarakenteiden sekä ulkoseinien lämmöneristävyuden paraneminen vähentää vedon tunnetta asunnoissa, minkä vuoksi asuntojen lämpötilaa voidaan yleensä hieman laskea. Esimerkiksi yhden asteen lämpötilan laskeminen alentaa rakennuksesta riippuen energiankulutusta noin 5 % (Motiva internetsivut). Mikäli lämpötilaa ei rakennuksessa lasketa, asukkaat voivat lisätä tuuletusta ikkunoiden kautta, minkä seurauksena energiankulutus taas nousee ja suunnitellut säästöt jäävät ennakoitua pienemmiksi.

Korjausaineiston perusteella etuikkunan kustannukset ovat keskimäärin  $21 \text{ €/h-m}^2$  ja ikkunoiden uusimisen kustannukset  $45 \text{ €/h-m}^2$ . Korjausten hintojen välillä esiintyi kuitenkin merkittävää vaihtelua varsinkin ikkunoiden uusimisen kohdalla. Etuikkunoiden asennus on selvästi edullisempi toimenpide kuin ikkunoiden uusiminen, ja etuikkunoilla voidaan saada ikkunarakenne lämmöneristävydeltään yhtä hyväksi kuin uusillakin ikkunoilla. Tämän vuoksi etuikkunoiden asennus on monissa kohteissa kannattavampi toimenpide kuin ikkunoiden uusiminen. Varsinkin julkisivun lisäeristämisen yhteydessä etuikkunan asennus on usein kannattavampaa kuin ikkunoiden uusiminen, mikäli ikkunat ovat kohtuullisen hyvässä kunnossa. Lisäksi on ekologisesti järkevämpää lisätä rakennukseen etuikkunat kuin poistaa vanhat ja asentaa kokonaan uudet ikkunat tilalle. Ikkunoiden uusiminen tai lisäpuitteen asentaminen on kannattavaa lähes aina, jos vanhojen ikkunoiden U-arvo on yli  $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Parantunut lämmöneristävyys vähentää energiankulutusta hyvin paljon ja lisäksi huoltokustannukset pienenevät, minkä vuoksi raskaammakin ikkunakorjaukset ovat taloudellisesti kannattavia.

#### **4.5.5 Ovikorjaukset**

Puisten ulko-ovien ja parvekkeen ovien tavanomaisia korjausyyitä ovat lahovauriot, kuluminen, tiivistepuutteet ja valmistusviat, esimerkiksi oven kierous. Lahovaurioita syntyy, kun kastunut puu ei pääse kuivumaan. Useimmiten syynä on sadeveden pääsy vaakaliitosten kautta ovirakenteen sisään tai lasioivessa veden valuminen lasia pitkin lasin ja puun väliin (Museovirasto). Yleensä kerrostalojen ulko-ovet ovat metallioivia.

Ovien lämmöneristävyteen vaikuttaa erityisesti sen tiiviys. Useimmiten erityisen ongelmallisia kohtia ovat karmin ja ovilevyn välinen rako sekä karmin ja seinän välinen rako. Ovilevyn ja karmin väli voidaan tiivistää ikkunatiivisteellä. Ulko-oven karmin ja seinärakenteen tiiviyttä voidaan parantaa sullomalla vanhaa eristettä tiiviimmäksi ja lisäämällä uutta eristettä. Myös ovien sulkeutumista voidaan tarpeen vaatiessa parantaa esimerkiksi kiristämällä saranoiden ruuveja tai ovea höyläämällä.

Rakennuksen lämmöneristävyttä voidaan parantaa myös rakentamalla tuulikaappi, mikäli se tilaan soveltuu. Lisäksi oviliistat voidaan kunnostaa maalaamalla ja halkeamat liimaamalla. Erittäin huonokuntoiset ulko-ovet voidaan korvata uusilla ovilla. Tällöin yleensä myös rakennuksen lämmöneristävyys paranee. Nykyään tavanomaisten ulko-ovien U-arvo on noin  $0,8\text{--}1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ , kun esimerkiksi 1900-luvun puolivälissä ulko-ovien U-arvot ovat olleet yleensä väliltä  $1,2\text{--}3,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ . (Lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeet 1955)

#### **Parvekeovien uusiminen**

Varsinkin huonokuntoisissa parvekkeiden ovissa tiivistykset ovat usein puutteellisia ja vanhojen ovien U-arvot nykyisiä selvästi heikompia. Parvekeovien kautta voi tapahtua siis merkittävääkin lämpöhäviötä. Nykyisten tavanomaisten parvekeovien U-arvot ovat noin  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ , kun taas esimerkiksi 70-luvulla U-arvot ovat usein olleet yli  $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tiivistyksillä U-arvoa ei saada merkittävästi laskettua, mutta asumisviihtyvyys paranee vedontunteen vähentyessä (Fenestra ja Ebeling 1963).



Korjausaineiston perusteella parvekkeenovien uusiminen vähensi lämpöenergiankulutusta 2,9 %. Korjausaineistossa parvekkeenovia oli uusittu melko vähän ja uusimisella saatu energiansäästö vaihteli merkittävästi kohteiden välillä. Lähes kaikissa kohteissa energiankulutus oli kuitenkin laskenut selvästi, mikä saattaa johtua siitä, että lämpöhäviöt parvekkeenovien kautta ovat suurempia kuin mitä laskennallisesti voidaan olettaa ja esimerkiksi vanhojen ovien tiivisteet ovat puutteellisia.

## Elementtisaumojen uusiminen

Elementtisaumojen kunnossapitoväli on 10–25 vuotta, sillä elastiset liikuntasaumamat menettävät joustoaan muun muassa auringon vaikutuksesta. Huonokuntoinen sauma alkaa halkeilla ja aiheuttaa vesivuotoriskin, minkä vuoksi elementtisaumat kannattaa paikata tai uusia ajoissa.

Korjausaineiston perusteella elementtisaumojen uusiminen maksaa noin 5,7 €/h-m<sup>2</sup> ja vähentää lämpöenergiankulutusta keskimäärin 2,4 %. Suureen energiansäästöön yhtenä syynä voi olla muut toimenpiteet, joita on suoritettu elementtisaumojen uusimisen yhteydessä. Elementtisaumojen uusimisella voidaan vaikuttaa vaipan tiiviyteen ja näin myös vaipan lämmöneristävyyteen. Elementtisaumojen hyvä kunto on julkisivun kunnossa pysymisen ja käyttöiän kannalta tärkeää. Saumojen uusiminen vähentää lämpöenergiankulutusta hyvin paljon ja elementtisaumojen uusiminen kannattaakin suorittaa mahdollisimman nopeasti niiden kunnan heikettyä.

## 4.6 Yläpohja ja vesikatto

Kerrostalojen kattoratkaisut ovat useimmiten tuuletettuja tai tuulettamattomia ratkaisuja. Tuuletettujen kattojen lämmöneristeet ovat yleensä kevyitä esimerkiksi mineraalivilloja. Tuulettamattomissa katoissa lämmöneristeet ovat kuormitusta kestäviä kuten levymäisiä mineraalivilloja, polystyreeniä tai -uretaania ja kevytsoraa. Mineraalivilla- ja solumuovieristeitä käytettäessä eristeen päälle asennetaan niin sanottu laakeri- ja palonestokerros, jonka päälle vedeneristys on yleensä asennettu. Kevytsoraeristyksissä lämmöneristuksen päälle on valettu betonilaatta tai asennettu kevytsoralaatat ja näiden päälle on asennettu vedeneristys (Kouhia et al. 2010).

Tasakattojen ongelmia ovat olleet saumojen vuodot, kattokaivojen tukkeutuminen ja vesien kerääntyminen sekä jäätyminen katolla (Kerrostalot 1880-2000, 2006).

Yläpohjan ja vesikaton korjaustoimenpiteitä ovat:

- Yläpohjan lisälämmöneristys, katon kaltevuuden muuttaminen ja vesikatteen uusiminen
- Pelti-, tiili- tai huopakatteen korjaus, kunnostus ja uusiminen
- Yläpohjan korjaukset
- Vesikatteen korjaukset.

### 4.6.1 Yläpohjan lisälämmöneristys

1950-luvulla ja sitä vanhemmissa kerrostaloissa on usein ullakkotilat, joiden lisäeristäminen on tavallisesti helppoa. Myös tuuletettujen kattojen lisäeristäminen on yleensä melko yksinkertaista. Rajoitteena on vain räystäiden tuuletusaukkojen auki pysyminen sekä ullakkotilan korkeus. Eristeenä on yleensä varminta käyttää saman tyyppistä eristettä, mitä aiemminkin on käytetty (Kerrostalot 1880-2000, 2006). Lämmöneriste lisätään vanhan eristeen päälle, mutta mikäli katteessa on ollut vuotoja tai muita kosteusongelmia, on lämmöneristeiden kunto tarkistettava. Mikäli lämmöneristys on kastunut, on eristekerros kuivattava tai vaihdettava uuteen. Ilmaa läpäisevien lämmöneristeiden kuivaus on huomattavasti helpompi toteuttaa kuin umpisoluisten, muovisten lämmöneristeiden.

Lämmöneristekerrosta uusittaessa katon höyrynsulun kunto on hyvä tarkastaa ja tarpeen vaatiessa korjata. Lisäksi katon vedenpoistoa voidaan parantaa lisäämällä kaltevuutta kallistuseristeiden avulla (Kouhia et al. 2010).

Tasakattoisissa kerrostaloissa lisäeristämistä voidaan harkita varsinkin vesikatetta uusittaessa. Tällöin voidaan eristettä paksuntaa tai lämmöneriste vaihtaa eristävämpään esimerkiksi solupolyuretaaniksi. Tasakattoisten kerrostalojen yläpohjan lisäeristämällä voidaan parantaa katon kaltevuutta ja vedenpoiston toimintaa. Lisäeristys voidaan asentaa vanhan vedeneristeen päälle tuuletettuna eristyskerroksena. Yleensä lisälämmöneristys korottaa hieman rakennuksen korkeutta ja räystäsrakenteet on uusittava. Tuuletettujen kattojen lämmöneristyksen parantaminen on yleensä helppo toimenpide, jos tuuletustila on riittävän korkea (Kouhia et al. 2010 ja Lahti et al. 2010).

#### **4.6.2 Yläpohjan lisäeristämällä pieni vaikutus energiankulutukseen**

Yläpohjan lisäeristämisen vaikutus energiankulutukseen on kerrostaloissa yleensä melko pieni. Lisäeristämisen vaikutus energiankulutukseen on suurinta kohteissa, joissa yläpohjan lämmöneristävyys on heikkoa ja yläpohjapinta-alaa on paljon. Lämmöneristävyysmääräykset ovat yläpohjan osalta kiristyneet erityisesti 70-luvun lopulla. Yläpohjan lisäeristäminen onkin usein kannattavinta ennen 1970-luvun puoliväliä rakennetuissa ja tätä vanhemmissa lamellitaloissa yläpohjan muun korjaamisen yhteydessä. Tornitaloissa yläpohjan lisäeristämisen vaikutus energiankulutukseen on hyvin pieni.

#### **Yläpohjan kevyet korjaukset**

Yläpohjarakenteelle tehtäviä melko yksinkertaisia toimenpiteitä ovat ilmapuotojen poistaminen tiivistämällä. Useimmiten ilmapuotoja esiintyy seinien ja katon sekä katon läpäisevien rakenteiden liitoskohdissa ja korjaukset joudutaan tekemään asuntojen sisäpuolelta. Tuuletetuissa yläpohjissa tuuletusta voidaan tehostaa lisäämällä tuuletusaukkoja, alipainetuulettimilla tai koneellisella poistolla. Ullakolla ja ulkona olevat kanavat ja putket voidaan lämmöneristää, jottei kosteutta tiivisty ja jäädy niiden sisään (Sisäilmäyhdistys, vesikatto ja yläpohja 2008).

#### **Vesikatteen korjauksilla ei ole vaikutusta energiankulutukseen**

Vesikatteen korjaustavat riippuvat pitkälti katemateriaalista. Mikäli vesikatte on vaurioitunut, se voidaan paikata ja uusia kokonaan tai osittain. Samassa yhteydessä voidaan harkita lisälämmöneristystä, varsinkin jos alusrakenteet vaativat korjaustoimenpiteitä. Teknisesti toimivan katon kunnostus voidaan varmistaa asentamalla uusi kermikatte vanhan katteen päälle. Lämmöneristystä voidaan parantaa vanhan katteen päälle tehdyllä lisäeristyskerroksella ja uusimalla vesikatte (Kouhia et al. 2010).

Vesikaton kallistuksia voidaan muuttaa, jos katolle on päässyt syntymään vesilammikoita. Esimerkiksi jiirin pohjalle voidaan tehdä uudet vastakallistukset tai painuma-alueille rakentaa uudet kaivot. Laajoilla katoilla kallistuksia voidaan muuttaa kevytsoran tai kevytbetonimurskeen avulla. Muotoillun pinnan päälle asennetaan kovat mineraalivillalevyt ja vedeneriste (Aho 1994 sekä Sisäilmäyhdistys, vesikatto ja yläpohja 2008). Vesikaton korjauksella ei korjausaineiston perusteella ole vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen.

## 4.7 Parvekkeet

Ennen 1960-lukua rakennettujen kerrostalojen parvekkeet ovat yleensä paikalla valetusta välipohjasta terästen avulla kannatettuja pieniä ulokeparvekkeita. Tämän jälkeen rakennetut parvekkeet ovat useimmiten ulkonevia tai sisäänvedettyjä itsekantavia elementtirakenteisia torneja tai runkoon tukeutuvia parvekkeita. Myös ripustettuja kontteja ja eri parvekeratkaisujen sekamuotoja on käytetty.

Parvekkeiden tyypillisimpiä vaurioita ovat pellitysten ja teräsosien korroosio, parveke- ja pintalaatan pakkasrapautuminen puutteellisesta vedeneristyksestä johtuen, halkeilu ja pakkovoimat, juotosbetonin rapautuminen sekä huonosta vedenpoistosta aiheutuvat ongelmat. Pakkaskestävyydessä suurimmat puutteet ovat yleensä pihalelementeissä. BeKo-tutkimuksessa silmämääräisesti havaittavia raudoitteiden korroosiovaurioita esiintyi 66 % parvekkeista. Korroosiovauriot ovat pääosin vain paikallisia, mutta laajoja vaurioita esiintyy 15 % parvekkeista (Lahdensivu et al. 2010).

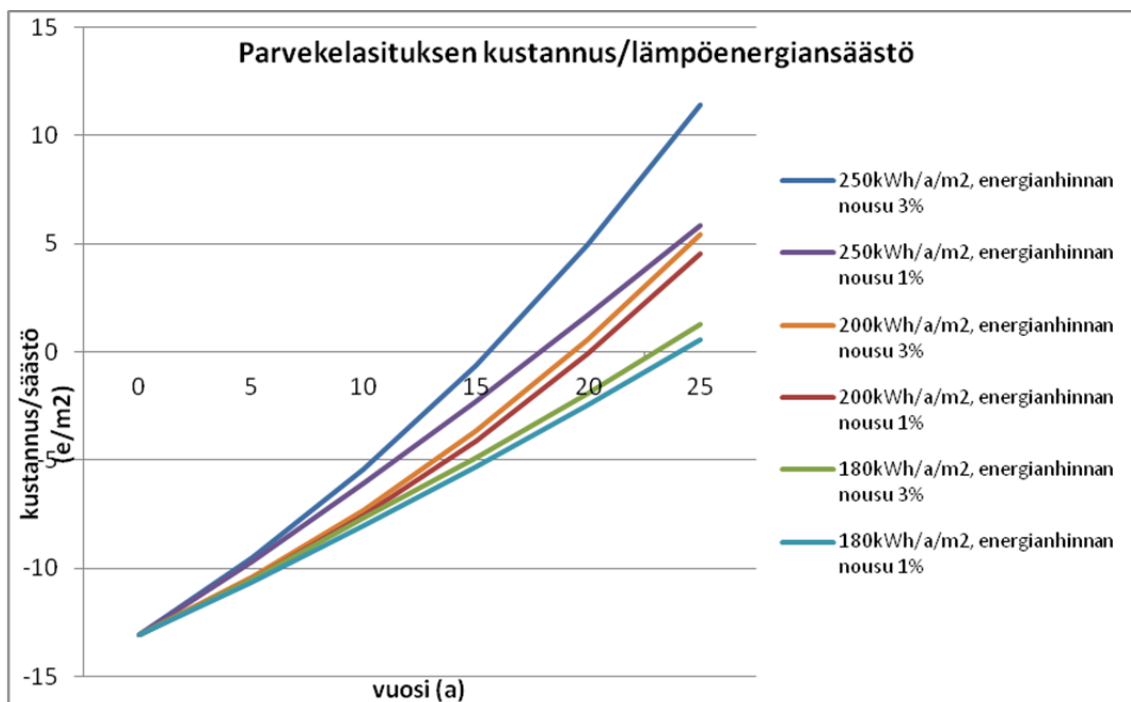
Parvekkeiden korjauksessa on tarkistettava uloketerästen kunto tai elementtiparvekkeissa riittävät kiinnitykset välipohjaan. Lisäksi varmistetaan ja korjataan vedeneristysten riittävyys, kaatojen, saumausten ja muiden vedenpoistoon vaikuttavien osien toimivuus. Elementtiparvekkeet ovat yleensä vedeneristämättömiä. Ruostuneet betoniteräksiset piikataan näkyviin ja suojataan tarkoitukseen soveltuvalla suoja-aineella. Betoniin liittyvät korjaukset voidaan tehdä laastipaikkauksina, valuina tai ruiskubetonoinnilla, ja betonipinnat maalataan tai suojakäsitellään (Kouhia et al. 2010). Yleisin parvekkeiden korjaustoimenpide on laastipaikkauksen pinnoitus (Julkisivukorjausten määrät 2002). Laastipaikkattujen ja pinnoitettujen parvekkeiden arvioitu käyttöikä on korjauksen jälkeen noin 10–30 vuotta. Valupaikkattujen ja ruiskubetonoitujen parvekkeiden käyttöikä taas on 15–40 vuotta. Pelkkä puhdistus ja huoltopinnoitus on uusittava 10–20 vuoden välein (Sistonen et al. 2007).

Parvekkeiden lasitus suojaa vanhaa rakennetta säärasitukselta ja lisää sen käyttöikää. Lasitus suojaa myös parvekkeen ovia ja ikkunoita säärasitukselta. Parvekelasituksella saadaan aikaan myös lämpöenergiansäästöjä.

Mikäli parveke on laajasti vaurioitunut, voidaan parveke purkaa ja rakentaa uusi tilalle. Tällöin voidaan myös muuttaa parvekkeen ulkoasua, kokoa ja rakennejärjestelmää, jos se on tarpeen.

BeKo-aineiston mukaan parvekkeiden korjaustoimenpiteet jakautuvat niin, että noin puolet parvekkeista voidaan suojata kevyitä pinnoitustyyppisiä korjaustapoja käyttäen ja viidesosa parvekkeista tarvitsee paikkaus- ja pinnoituskorjauksia. Parvekkeista noin viidesosa ei tarvitse välittömiä korjauksia ja hieman vähemmän pitäisi uusia kokonaan (Köliö 2010).

Kiinteistöaineiston kulutustietojen mukaan parvekelasituksella saavutettiin keskimäärin 4,2 % säästö lämmitysenergiankulutuksessa ja parvekelasituksen kustannus oli kiinteistöaineistossa keskimäärin 13 €/h·m<sup>2</sup>. Kuvaajassa 4.8. on esitetty parvekelasituksen hankintakustannus ja toimenpiteen aiheuttamat lämpöenergian kustannussäästöt. Parvekelasitus on selvästi kannattavinta paljon energiaa kuluttavissa kerrostaloissa. Energianhinnan nousu 1 %:sta 3 %:iin ei muuta eri määrän energiaa kuluttavien kerrostalojen järjestystä kuvassa. Lämpöenergian hintana on käytetty 0,64 snt/kWh. Vähiten kannattavaa parvekelasitus on alle 180 kWh/a/m<sup>2</sup> kuluttavissa kerrostaloissa. Tällöin toimenpiteen takaisinmaksuaika on lähes 25 vuotta. Parvekelasituksen kannattavuutta arvioidessa pitää huomioida kuitenkin vielä parvekelasituksen positiiviset vaikutukset parvekkeen kunnan säilymiseen. Korjausaineistossa on lisäksi paljon kohdekohtaista hajontaa ja yksittäisiä kannattavuuteen vaikuttavia muuttujia.



**Kuvaaja 4.8.** Parvekelasituksen kustannus/lämpöenergiesäästö –kuvaaja.

Parvekelasitusmahdollisuus on kaikkein heikoin kolmelta sivulta auki olevissa ulokeparvekkeissa. Arkkitehtuurin kannalta myös kahdelta sivulta auki oleviin tai osittain sisäänvedettyihin parvekkeisiin lasit eivät välttämättä sovellu. 1960-luvulla ja tämän jälkeen rakennettuihin parvekkeisiin lasitus yleensä sopii ja ne voidaan tietyin ehdoin lasittaa jopa ilman rakennus- tai toimenpidelupaa. Osassa 1980-luvulla rakennetuista parvekkeista lasituksen mahdollisuus on jopa otettu huomioon parvekettä suunniteltaessa ja rakennusluvassa (Korjaustieto.fi).

### Parvekkeen taustaseinän uusiminen tai lisälämmöneristäminen

Parvekkeen takaseinä on yleensä ulkoseinää heikommin lämmöneristetty ja suuri osa sen alasta muodostuu ikkuna- ja parvekeovialasta. Mikäli taustaseinän U-arvo on hyvin korkea ja seinä muutenkin huonossa kunnossa, se voidaan uusita kokonaan. Taustaseinä voidaan myös lisälämmöneristää, tosin tällöin parvekkeen lattia pinta-ala hieman pienenee.

### Alapohjan korjausmahdollisuudet

Alapohjan korjaaminen on suhteellisen haastavaa varsinkin maanvaraisissa alapohjissa. Ongelmat alapohjassa liittyvät lähinnä kosteuteen tai heikkoon lämmöneristykseen. Alapohjan eristävyttä voidaan parantaa lisäämällä lämmöneristekerroksia tai vaihtamalla lämmöneriste paremmin eristävään. Lämmöneristeen vaihtaminen toiseen voi olla kannattavaa esimerkiksi viemäriputkien uusimisen yhteydessä ja jos lattian pintamateriaali joudutaan uusimaan sekä alapohjan vanha lämmöneriste on eristävyydeltään heikkoa. Mikäli ensimmäisen kerroksen tilat halutaan säilyttää entisen korkuisina, on vanha lattia purettava ja vanhojen eristeiden alta poistettava maa-ainesta lisäeristykseen paksuuden verran. Muutoin lisälämmöneristäminen nostaa ensimmäisen kerroksen lattian pintaa. Tällöin on myös tarkistettava uuden lämmöneristeen alle jäävän maa-aineksen laatu ja huolehdittava siitä, että kapillaarinen vedennousu on riittävän pieni. Ryömintätalinen alapohja voidaan periaatteessa lisälämmöneristää alapuolelta kiinnittämällä lisälämmöneriste yläpuoliseen rakenteeseen kiinnikkeillä. Tällöin erityistä huomiota on kiinnitettävä ryömintätalisen kosteustekniseen toimivuuteen esimerkiksi tuuletusta korjaamalla (Palonen 2011).

## Sokkelin eristys

Varsinkin julkisivun lisäeristämisen yhteydessä myös sokkelin lisälämmöneristämistä kannattaa harkita. Sokkelin lämmöneristäminen voi vähentää lattian kylmyyttä erityisesti reuna-alueilla. Lisäeristuksen asennus aloitetaan poistamalla maata sokkelin vierestä syvyysuunnassa vähintään 0,5 metriä ja noin 50–70 mm paksuinen lämmöneriste asennetaan vanhan sokkelin pintaan (Palonen 2011, EPS-rakennuseristeteollisuus ja Paroc-Renova asennusohje).

## 4.9 Laskutus huoneistokohtaisen lämmönkulutuksen perusteella

Tavallisesti asuinkerrostaloissa maksetaan lämmönkulutuksesta asuinneliöiden perusteella hoitovastikkeessa. Uudisrakennuksessa lämmitysenergiankulutuksen mittausta ja laskutusta sen perusteella on melko yksinkertaista toteuttaa, mutta korjausrakentamisessa se on haastavampaa. Lämmitysenergian kulutukseen vaikuttaa monta yksityiskohtaa, jotka pitäisi laskutuksessa ottaa huomioon. Esimerkiksi asunnon sijainnilla kerrostalossa sekä ilmansuunnilla on suuri vaikutus kulutukseen. Lisäksi kulutukseen perustuvaan laskutukseen sisältyy jonkin verran virheitä ja huolto- sekä ylläpitokustannuksia. Keskeisimmät lämmitysenergianmittausjärjestelmät ovat sähköinen kulutusmittari ja haihtumiseen perustuva mittausta. Asukkaiden kulutukseen perustuvalla laskutuksella saadaan aikaan säästöjä lämpöenergiankulutuksessa varsinkin paljon lämmitysenergiaa kuluttavissa kerrostaloissa. Usein lämpöviihtyvyydestä ollaan kuitenkin valmiita maksamaan, joten lämpöenergianmittaus ei välttämättä johda säästöihin. Toisaalta huoneistokohtaisella laskutuksella voidaan saada vähennettyä asukkaiden ikkunatuuletusta patteriventtiilin säätämisen sijaan, joten varsinkin ylläpöimissä asunnoissa se voi olla kannattavaa (Palonen 2011).

## 4.10 Korjauskustannukset ja energiansäästö

Taulukossa 4.1. esitetään korjaustoimenpiteiden kustannuksia sekä vaikutuksia energiansäästöön. Korjausten hinnat ja normeeratut energiansäästöt on laskettu huoneistopinta-alan mukaan korjausaineistosta. Energiansäästöissä ja korjauskustannuksissa pienimmät 10 % ja suurimmat 10 % arvoista on jätetty tarkastelun ulkopuolella. Korjaustoimenpiteissä, joissa kohteita on ollut aineistossa alle kahdeksan kappaletta, on kustannuksien ja energiansäästöjen ajateltu edustavan yksittäisiä korjauksia ja kyseiset toimenpiteet on merkitty tähdellä. Energiankulutusmuutosta tarkasteltiin selvittämällä korjausta edeltävän vuoden energiankulutus sekä korjauksen jälkeisen vuoden energian kulutus. Laajempaa vuositarkastelua ei tehty, koska aineiston kohteille oli yleensä tehty useampia remontteja lähekkäin ja useampaa vuotta tarkastelemalla tulokseen olisi vaikuttanut myös muut korjaukset. Tosin pelkästään yhtä vuotta tarkastelemalla kulutuksessa esiintyy jonkin verran vaihtelua esimerkiksi asukkaiden vaihtumisesta ja kulutustottumuksista johtuen. Energiankulutusmuutoksissa ei ole otettu huomioon kerrostalossa samana vuonna tehtyjä eri korjaustoimenpiteitä, minkä vuoksi kulutusmuutoksiin on joissakin korjauksissa vaikuttanut useampi korjaustoimenpide ja sen vuoksi arvot yksittäisten toimenpiteiden kohdalla ovat liian suuria. Osittain tästä syystä peräkkäisinä vuosina tehdyt korjaustoimenpiteet näyttivät jopa lisäävän rakennuksen energiankulutusta. Kaikista korjaustoimenpiteistä ei ole vähäisten tai puutteellisten tietojen vuoksi esitetty energiankulutusmuutoksia.

Usein esimerkiksi ikkunakorjausten yhteydessä on tehty myös lämmönsäätö, minkä vuoksi energiankulutusta on saatu pienennettyä. Taulukossa 4.1 eri korjaustoimenpiteet on kuitenkin

jaoteltu erikseen, vaikka todellisuudessa kulutukseen on saattanut vaikuttaa useampikin eri korjaustoimenpide.

**Taulukko 4.1** Korjaustoimenpiteiden kustannuksia ja vaikutus energiankulutukseen.

| Korjaustoimenpide  | Hinta [€/h-m <sup>2</sup> ] | Energiankulutusmuutos [%] | Energiankulutusmuutos keskiarvo [%] |
|--|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| <b>Ikkunat ja ovet</b>                                   |                             |                           |                                     |
| Ikkunoiden ja karmien tiivistys                          | 1-4                         | -6 ... +9                 | +0,4                                |
| Etuikkunoiden asennus                                    | 16-25                       | -11 ... +2                | -4,5                                |
| Parvekeovien uusiminen                                   | 4-4,5                       | -12 ... +4                | -3,8                                |
| Ulko-ovien uusiminen*                                    | 2-10                        | -4 ... +11                | +1,9                                |
| Ikkunoiden ja parvekeovien kunnostus*                    | 1-17                        | -                         | -                                   |
| Ikkunoiden uusiminen                                     | 50-110                      | -16 ... +4                | -5,0                                |
| <b>Ulkoseinien korjaukset</b>                            |                             |                           |                                     |
| Elementtisaumojen uusiminen                              | 3-9                         | -10 ... +2                | -2,4                                |
| Laastipaikkaus ja pinnoitus                              | 20-60                       | -                         | -                                   |
| Julkisivujen perusteellinen kunnostus                    | 100-150                     | -                         | -                                   |
| Levytys + lisäeristys (vanhan rak. päälle)               | 150-300                     | -                         | -                                   |
| Eristerappaus (vanhan rak. päälle)                       | 120-200                     | -                         | -                                   |
| Levyverhous  | 120-170                     | -                         | -                                   |
| Kuorielementit ja -muuraus                               | 200-400                     | -                         | -                                   |
| Parvekelasitus   | 4-25                        | -12 ... +3                | -4,2                                |
| Parvekelasit ja kaiteet                                  | 40-70                       | -                         | -                                   |
| Parvekkeiden uusiminen                                   | 32-150                      | -12 ... +5                | -2,4                                |
| <b>Yläpohjan korjaukset</b>                              |                             |                           |                                     |
| Vesikaton korjaus  | 2-20                        | -10 ... +9                | +1,2                                |
| Kermin lisäys  | 10-20                       | -                         | -                                   |
| Vanhan huopakatteen purku ja uuden asennus               | 1-60                        | -12 ... +5                | -3,5                                |
| Vesikaton uusiminen ja lisäeristys                       | 50-100                      | -                         | -                                   |
| <b>Ilmanvaihto</b>                                       |                             |                           |                                     |
| Ilmanvaihtokoneen uusiminen*                             | 1-10                        | -12 ... +13               | +2,2                                |
| Nuohous ja ilmavirtojen säätö                            | 0,5-3                       | -12 ... +12               | -0,7                                |
| <b>Lämmitysjärjestelmä</b>                               |                             |                           |                                     |
| Lämmönsiirtimen uusiminen                                | 3-13                        | -14 ... +5                | -4,7                                |
| Lämmönsäätö  | 1-5                         | -14 ... +5                | -3,8                                |
| Patteriventtiilien uusiminen*                            | 3-10                        | -9 ... +2                 | -5,7                                |
| Patteri- ja linjasäätöventtiilien uusiminen*             | 4-8                         | -7 ... +2                 | -2,5                                |
| Lämmönsäätö, patteri- ja linjasäätöventtiilien uusiminen | 2-16                        | -14 ... +2                | -5,0                                |
| <b>Vesijohtoverkosto</b>                                 |                             |                           |                                     |
| Vesijohtoverkoston uusiminen*                            | 15-25                       | -15 ... +9                | -3,8                                |
| Vesijohtoverkoston uusiminen ja kylpyhuonekorjaus*       | 180-280                     | -7 ... -1                 | -4,6                                |
| <b>Muut korjaukset</b>                                   |                             |                           |                                     |
| LVIS-peruskorjaus*                                       | 390-480                     | -12 ... +5                | -0,6                                |
| Rakennusautomaation korjaus                              | 4-9                         | -8 ... +6                 | -0,2                                |
| Tuulikaappi  | 0,5-1                       | -                         | -                                   |
| Porrastaso-ovien uusiminen                               | 6-14                        | -4 ... +2                 | -3,4                                |

Rakennusten korjauskustannuksiin vaikuttavat rakenteiden kunto korjaushetkellä, työ-, työmaa- ja materiaalikustannukset, liittyvien rakenteiden, ympäristön ja tontin ominaisuuksista riippuvat kustannukset sekä rakentamisen suhdanteet (Sistonen et al. 2007). Korjauskustannuksissa on suurta rakennuskohtaista vaihtelua. Myös korjaushankkeen koolla on merkitystä kustannuksiin. Pienemmissä korjauksissa yleiskustannukset jakaantuvat pienemmälle määrälle toimia, minkä vuoksi pienet hankkeet eivät kiinnosta rakennusliikkeitä yleensä niin paljon kuin suuremmat korjaukset. Tämän

vuoksi pienempien hankkeiden yksikkökustannukset nousevat suuremmiksi kuin suurien korjaushankkeiden (Myyryläinen 2008).

Korjaustoimenpiteitä vertaillaessa järjestelmien, laitteiden ja osien eripituiset käyttöiät aiheuttavat eroja kannattavuuslaskelmiin. Tulevia käyttöiä ei voida tarkasti tietää ja käyttöiän arvioinnissa on otettava huomioon myös huolto- ja kunnossapitotoimenpiteiden vaikutus sekä energiankulutus. Mikäli esimerkiksi uusien ikkunoiden käyttöikä onkin kymmenen vuotta odotettua lyhyempi ja huoltotoimenpiteitä joudutaan tekemään oletettua enemmän, kustannussäästöt jäävät selvästi arvioidusta. Lisäksi pitäisi tietää rakennuksen käyttö- ja rasitusolosuhteet sekä eri tekijöiden vaikutus toimenpiteiden ja järjestelmien käyttöikään. Suunnittelun ja rakennustyön laadulla on myös merkittävä vaikutus. Taloudellisella käyttöiällä tarkoitetaan tuotteen taloudellisesti kannattavaa käyttöikää. Laitteen tai järjestelmän vanhetessa huolto- ja kunnossapitokustannukset kasvavat, minkä seurauksena vanhan järjestelmän ylläpitäminen ei ole enää kannattavaa, vaikka teknistä käyttöikää vielä olisikin jäljellä (Heimonen et al. 2007).

Usein toisiinsa liittyviä korjauksia kannattaa suorittaa samaan aikaan, jolloin korjaukset ovat edullisempia suorittaa. Samanaikaisilla korjaustoimenpiteillä voidaan saavuttaa myös muita etuja, esimerkiksi rakennuksen julkisivu- ja ikkunaremontti kannattaisi toteuttaa samanaikaisesti, jotta ikkunoiden karmisyyvyys ja liittymät seinärakenteeseen onnistuisivat parhaiten.



**Kuva 4.9** Laastipaikkauskorjaukset ja julkisivun pinnoitus suojaavalla pinnoitteella pidentävät rakenteen käyttöikää noin 15-20 vuotta, mutta eivät vaikuta rakennuksen energiankulutukseen.

## 5 MALLINNUS

Energiankuluksen laskennallisia tarkasteluja tehtiin IDA Indoor Climate and Energy (IDA-ICE) –ohjelmistolla. Tampereelta valittiin kaksi olemassa olevaa kerrostalokohdetta, jotka mallinnettiin ohjelmalla. Molempiin kerrostaloihin on tehty betonijulkisivujen ja -parvekkeiden kuntotutkimukset 2000-luvun alussa. Eri arvoja muuttamalla pystyttiin tarkastelemaan eri korjaustoimenpiteiden vaikutusta rakennusten energiankulutukseen. Simuloinneissa käytettiin Helsingin vuoden 1970 säätiedostoja, jotka vastaavat melko hyvin 2000-luvun Tampereen sääoloja.

Tampereen Hervannassa Arkkitehdinkadulla sijaitsevasta lamellitalosta sekä Amurissa Mustanlahdenkadulla sijaitsevasta tornitalosta piirrettiin rakennuspiirustusten ja muiden kohteiden tietojen perusteella CAD-ohjelmistolla pohjapiirustukset eri kerroksista. Pohjakuvat siirrettiin IDA-ICE –ohjelmaan, jossa määriteltiin kerrostalojen rakenteet, asukasmäärät, eri laitteiden ja järjestelmien käyttöajat ja tehot sekä muut tarpeelliset energiankulutukseen vaikuttavat tiedot.

### 5.1 Tutkimuksessa käytetyt kohteet

#### Arkkitehdinkadun kerrostalo

Ensimmäinen mallinnettu kohde on Tampereen Hervannassa Arkkitehdinkadulla sijaitseva vuonna 1985 valmistunut kuusikerroksinen asuinkerrostalo. Julkisivut ovat sandwich-elementtejä ja niiden pinnat pesubetonia. Rakennuksen päädyissä, itäjulkisivulla sekä ikkunoiden väleissä on lisäksi kahdessa ylimmässä kerroksessa maalattuja muottipintaisia elementtejä ja osia. Parvekerakenteet ovat omilla perustuksillaan seisovia parveketorneja, joissa parvekelaatta on pielielementtien välissä. Kaiteet on valettu laattoihin kiinni. Sokkelielementit ovat muottipintaisia pintakäsittelemättömiä umpielementtejä.

Kerrostalon rakenteet on selvitetty rakennuspiirustusten ja muun aineiston perusteella. U-arvoina simuloinneissa on käytetty rakennuspiirustuksissa ilmoitettuja arvoja sekä kuntotutkimuksessa mitattuja arvoja.

Arkkitehdinkadun kohteen poistoilmavirrat on mitoitettu vuoden 1978 rakentamismääräyskokoelman osan D2 ohjeen mukaan:

- Keittiö 22 l/s
- Vaatehuone 3 l/s
- Pesuhuone 15 l/s
- WC 10 l/s
- Sauna 2 l/s.

Tehokäyttö, jolloin ilmvirrat ovat 1,5-kertaisia, on käytössä klo 6-9, 12-14 ja 16-18.

Kerrostalon lämpöenergiankulutukseksi saatiin simuloinnin perusteella 110,8 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa ja kokonaisenergiankulutukseksi 182,4 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa. Rakennus kuuluu simuloinneilla saatujen arvojen mukaan ET-luokkaan E.

#### Mustanlahdenkadun kerrostalo

Toinen mallinnettu kohde on Tampereella Mustanlahdenkadulla sijaitseva tornimainen 13-kerroksinen asuinkerrostalo, joka on rakennettu vuonna 1963. Julkisivut ovat klinkkeripintaisia sandwich-elementtejä, ikkunoiden välit ovat pellitetty ja sokkelit maalattuja. Parvekkeet ovat kantavista betonilaatoista muodostuvia sisäänvedettyjä parvekkeita. Betoniset parvekkeen kaiteet ja pielet ovat klinkkeripintaisia. Parvekkeiden vedenpoisto tapahtuu laattojen etureunan ja kaiteen välistä. Kerrostalon vesikatteena on huopakate ilman



singeli- tai sirotepintaa. Katolla on sisäpuolinen vedenpoisto. Kerrostalossa on väestönsuoja, 12 asuinkerrosta sekä ylimmässä kerroksessa ullakko- ja saunatilat.

Rakenteet on selvitetty rakennuspiirustuksista. Kaikkia tarvittavia tietoja ja rakenteita ei piirustuksissa esitetty, joten osa rakenteista on valittu aikakaudelle tyypillisiksi rakenteiksi. U-arvot ovat laskettuja.

Laitteiden ja valojen lämpökuormina on käytetty samoja arvoja kuin Arkkitehdinkadun kerrostalossa. Ilmanvaihtuvuuden arvona on käytetty lukua 1,6 1/h. Arvo on tyypillinen 1960-luvun betonikerrostalolle (Ruotsalainen et al. 1990).

Kerrostalossa on käytössä koneellinen poistoilmanvaihto. Ilmanvaihtomäärinä on käytetty vuoden 1955 lämmitys ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeita sekä vuonna 1963 ilmestyneen Lämmitys-, ilmanvaihto- ja saniteettiteknilisiä taulukoita sekä ohjeita – kirjan tarvittavia ilmanvaihtomääriä sekä likimääräisiä mittausten mukaan saatuja arvoja (Ebeling 1963 sekä Lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeet 1955):

- keittiö 80 m<sup>3</sup>/h
- pesuhuone 60 m<sup>3</sup>/h
- WC 30 m<sup>3</sup>/h
- vaatehuone 10 m<sup>3</sup>/h
- sauna 60 m<sup>3</sup>/h
- hissikonehuone 50m<sup>3</sup>/h
- kellarivarastot 1,5m<sup>3</sup>/h,m<sup>2</sup>.

Tehokäyttö on käytössä klo 7–9 ja 15–22, jolloin ilmanvaihdossa on kaksinkertaiset arvot. Puhaltimen sähkötehoon liittyvänä SFP-arvona on käytetty lukua 0,667 kWh/m<sup>3</sup>/s (Kiinteistön lämmitys ja ilmanvaihto 1960).

Henkilömäärä: 144

Lämpimän käyttövedenkulutuksen arvona on käytetty rakentamismääräyskokoelmassa annettua arvoa 60 l/hlö/vuorokausi.

Simulointien perusteella kerrostalon lämpöenergiankulutus ilman mitään korjaustoimenpiteitä on 191,2 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa. Kokonaisenergiankulutus on 238,3 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa, joten kerrostalon ET-luokka on F.

Taulukossa 5.1 on esitetty molempien rakennusten rakenteita sekä muita simuloinneissa käytettyjä arvoja.

**Taulukko 5.1** Mallinnettujen kohteiden rakenteet.

| Rakennusosa                    | Arkkitehdinkatu   | Mustanlahdenkatu   |
|--------------------------------|---|--|
| <b>Yläpohja ja vesikatto</b>   | 2-kertainen huopakate, kiveys, betoni 40mm ja kevytsora väh. 270mm, kantava teräsbetonilaatta, vesikaton vedenpoisto sisäpuolinen, U-arvo 0,29 W/m <sup>2</sup> K | Bitumikermikate, ei signeliä, betoni 40mm, kevytsora vähintään 270mm, kantava tb-laatta, U-arvo 0,4 W/m <sup>2</sup> K |
| <b>Välipohja</b>               | Iskuäänen eristävä lattiapäällyste, kantava tb-laatta 190mm, porrashuoneissa lattiassa muovilaatta  | Lattiapäällyste, betoni, lämmöneriste, tb-laatta 160mm   |
| <b>Alapohja</b>                | Lattiapäällyste, tb-laatta, sitkeä paperi, styrox n. 50mm, tiivistetty sora, U-arvo 0,4 W/m <sup>2</sup> K  | Betonilaatta, vuorauspahvi, lämmöneristys, tb-laatta 160mm, arvioitu U-arvo 0,46 W/m <sup>2</sup> K                    |
| <b>Seinät</b>                  |   |  |
| Kantava ulkoseinä              | (Päädyt) Betoni 60mm, mineraalivilla 120mm, betoni 150mm, U-arvo 0,35 W/m <sup>2</sup> K  | Betoni 60mm, lämmöneriste 75mm, betoni 150mm, laskettu U-arvo 0,51 W/m <sup>2</sup> K                                  |
| Kevyt ulkoseinä                | (Pitkät sivut) Betoni 60mm, mineraalivilla 120mm, betoni 70mm, U-arvo 0,35 W/m <sup>2</sup> K   | (Länsisivu, itäisivun pohjoisosa) betoni 60mm, lämmöneriste 75mm, betoni 80mm, laskettu U-arvo 0,52 W/m <sup>2</sup> K |
| Parvekkeen takaseinä           | U-arvo 0,36 W/m <sup>2</sup> K  | Laskettu U-arvo 0,54 W/m <sup>2</sup> K  |
| Kantava väliseinä              | Betoni 160mm, huoneistojen väliset seinät 180mm   | Betoni 160mm   |
| Osastoiva väliseinä kantamaton | Betoni 80mm   |  |
| Kevyt väliseinä                | Betoni 70mm   |  |
| <b>Parvekkeet</b>              |   |  |
| Pielet                         | Betoni 150mm  | Betoni 160mm   |
| Parvekelaatat                  | Paksuus 180mm   | Paksuus 180mm  |
| Parvekekaiteet                 | Paksuus 90mm  | Paksuus 70mm   |
| <b>Ikkunat</b>                 | Tavanomaiset puuikkunat, U-arvo 2,1 W/m <sup>2</sup> K  | Kaksilasiset MS-ikkunat, U-arvo 2,5 W/m <sup>2</sup> K   |
| <b>Ulko-ovet</b>               | Puu-ulko-ovet, ilmoitettu U-arvo 0,7 W/m <sup>2</sup> K, käytetty arvoa 2,0 W/m <sup>2</sup> K. Tuulikaapin teräsotvet U-arvo 2,5 W/m <sup>2</sup> K              | U-arvo 2,2 W/m <sup>2</sup> K  |
| Parvekkeen ovet                | U-arvo 2,0 W/m <sup>2</sup> K   | U-arvo 2,2 W/m <sup>2</sup> K  |
| Ilmanvaihto                    | Koneellinen poistoilmanvaihto   | Koneellinen poistoilmanvaihto  |
| Ilmanpitävyyden arvo           | 0,8 1/h   | 1,6 1/h  |
| Asukasmäärä                    | 75  | 144  |
| Lämpimän käyttöveden kulutus   | 60 l/hlö/vrk  | 60 l/hlö/vrk   |

Lämpimän käyttövedenkulutuksessa on käytetty rakentamismääräyskokoelman osassa D5 annettua arvoa 60 l/hlö/vuorokausi. Laitteiden ja valaistuksen tehojen mitoituksessa käytettiin molemmissa kohteissa rakentamismääräyskokoelman osaa D5 sekä Kimmo Hilliahon diplomityössään käyttämiä laitteiden ja valojen lämpökuormia. IDA-ICE –ohjelmassa käytetty MET-luku kuvaa ihmisten aktiviteettitasoa huoneessa. Käyttöluku ilmaisee käytön tehokkuutta, luku 1 tarkoittaa, että käyttö on 100 % ja luku 0,5, että käyttö on 50 %. Taulukossa 5.2 on esitetty molemmissa kohteissa käytettyjen laitteiden ja valaistuksen tehot ja käyttöajat sekä ihmisten oleskelu tiloissa.

**Taulukko 5.2** Laitteiden ja valaistuksen tehot sekä käyttöajat.

|                     |  |         |
|---------------------|--|---------|
| <b>Makuuhuone</b>   |  |         |
| ihmiset             | ma-pe: klo 22 -7.30,<br>la-su: klo 23-8                            | MET 0,7 |
| laitteet            | 20 W, klo: 7-9, 16–22  |         |
| valot               | 60 W, klo 7-9 ja 16–22   |         |
| <b>Olohuone</b>     |  |         |
| ihmiset             | Käyttö 0,5, klo 7-8 ja 16–22                                       | MET 1,0 |
| laitteet            | 150 W, klo 7-8 ja 16–22  |         |
| valot               | 60W, klo 7-8 ja 16–22  |         |
| <b>Keittiö</b>      |  |         |
| ihmiset             | Käyttö 0,5, klo 7-8, 16–19 ja 21–22                                | MET 1,0 |
| laitteet            | 125 W, Käyttö 1: klo 7-8 ja 17–19,<br>muuna aikana 0,75            |         |
| valot               | 25W, klo 7-9 ja 18–22  |         |
| <b>WC/Pesuhuone</b> |  |         |
| ihmiset             | Käyttö 0,5, klo 7-8 ja 21–22                                       | MET 1,0 |
| laitteet            |  |         |
| valot               | 25 W, klo 7-8 ja 21–22   |         |
| <b>Eteinen</b>      |  |         |
| ihmiset             |  |         |
| laitteet            | 15 W, Käyttö 0,5: klo 7-8 ja 16–21                                 |         |
| valot               | 25 W, Käyttö 0,5: klo 7-8 ja 16–21                                 |         |
| <b>Sauna</b>        |  |         |
| ihmiset             | Käyttö 0,5: ma-pe, su: klo 20–21,<br>Käyttö 1: la: klo 20–21       | MET 1,0 |
| laitteet            | 75 W, Käyttö 0,5: ma-pe, su: klo 20–21,<br>Käyttö 1: la: klo 20–21 |         |
| valot               | 25 W, Käyttö 0,5: ma-pe,<br>su: klo 20–21, Käyttö 1: la: klo 20-21 |         |
| <b>Vaatehuone</b>   |  |         |
| ihmiset             |  |         |
| laitteet            |  |         |
| valot               | 25 W, Käyttö 0,25: klo 7-8 ja 19–21                                |         |

## 5.2 Mallinnusten tulokset

Mallinnuksilla tutkittiin eri korjaustoimenpiteiden vaikutusta energiankulutukseen.

Simuloituja korjaustoimenpiteitä rakennuksissa ovat:

- Ulkoseinäkorjaukset
  - lisäeristäminen
- Ikkunaremontti
  - U-arvon parantaminen vaihtopuitteella/ikkunoiden uusiminen
  - U-arvoiksi 1,0 W/m<sup>2</sup>K ja 1,2 W/m<sup>2</sup>K
- Yläpohjan lisäeristäminen
- Alapohjan lisäeristäminen

- Parvekelasitus
- Ilmanvaihdon parantaminen
  - lämmöntalteenotto

### 5.2.1 Ulkoseinien lisäeristys

Arkkitehdinkadun kerrostalon ulkoseinien U-arvo on 0,35 W/m<sup>2</sup>K ja Mustanlahdenkadulla 0,51 W/m<sup>2</sup>K. Arkkitehdinkadun kohteessa korjausvaiheessa vanhojen pesubetonipintaisten sandwich-elementtien päälle voitaisiin asentaa 70 - 150 mm mineraalivilla-lisäeristys ja pintarakenteeksi paksurappaus-eristejärjestelmä tai yleisempi ohutrappaus-eristejärjestelmä. Peittäväällä korjauksella rakennuksen ulkonäkö muuttuisi jonkin verran alkuperäisestä. Verhouksella rakenteen U-arvo paranisi Arkkitehdinkadulla 0,14–0,24 W/m<sup>2</sup>K:iin ja Mustanlahdenkadun kohteessa 0,16–0,3 W/m<sup>2</sup>K:iin. Ulkoseinän paksuus kasvaa verhouksen seurauksena, minkä vuoksi ikkunaremontti olisi syytä tehdä ulkoseinäremontin kanssa samaan aikaan, jotta ikkunat eivät jäisi ulkoseinää syvemmälle. Ulkoseinien lisälämmöneristämisen yhteydessä pitää tarkistaa myös lämmitysjärjestelmän säädöt ja ilmanvaihdon toimivuus. Jos rakennuksessa ei aiota lisäeristämisen lisäksi suorittaa muita korjaustoimenpiteitä, kannattaakin lisäeristepaksuudeksi valita korkeintaan 100 mm, koska muuten ikkunat jäävät selvästi liian syvälle ulkoseinässä (Mäkinen 2009).

Toinen vaihtoehto lisäeristämisessä on se, että ainoastaan rakennuksen ikkunattomat päädyt lisäeristetään. Tällöin ulkoseinän paksuuntuminen ei aiheuta ongelmia ikkunoiden yhteydessä ja asennustyö on yksinkertaisempaa.

Ulkoseinien lämmöneristävyiden parantaminen voidaan molemmissa kohteissa toteuttaa esimerkiksi eristerappauksena tai verhoukorkorjauksena seinän korjaustarpeesta riippuen. Mallinuksissa ulkoseiniin asetettiin eripaksuisia lisälämmöneristeitä: 50 mm, 70 mm, 125 mm ja 150 mm. Ulkoseinän U-arvot paranivat näillä eristeillä Arkkitehdinkadulla arvoihin 0,24 W/m<sup>2</sup>K, 0,21 W/m<sup>2</sup>K, 0,18 W/m<sup>2</sup>K, 0,16 W/m<sup>2</sup>K ja 0,14 W/m<sup>2</sup>K sekä Mustanlahdenkadulla arvoihin 0,3 W/m<sup>2</sup>K, 0,26 W/m<sup>2</sup>K, 0,21 W/m<sup>2</sup>K, 0,19 W/m<sup>2</sup>K ja 0,16 W/m<sup>2</sup>K. Lisäksi tutkittiin tapausta, jossa ulkoseinien U-arvoksi asetettiin nykyinen uudisrakennusten U-arvo 0,17 W/m<sup>2</sup>K. Tämä lukema toteutuisi Arkkitehdinkadun kohteessa 112 mm lisäeristeellä ja Mustanlahdenkadun kerrostalossa 145 mm lisäeristeellä. Paksummilla eristeillä U-arvot saadaan jopa nykyisiä määräyksiä paremmiksi. U-arvot on laskettu uuden eristekerroksen paksuuden ja rakennuspiirustuksissa ilmoitettujen arvojen mukaan. Myös kylmäsiltojen ulkoseinän ja lattialaatan, sisäseinän ja ulkoseinien välillä oletettiin muuttuvan tasosta ”normaali” tasoon ”hyvä”. Lisälämmöneristeiden vaikutus kerrostalojen lämmitysenergiankulutukseen on esitetty taulukossa 5.3.

**Taulukko 5.3** Ulkoseinän lisäeristeiden vaikutus lämpöenergiankulutukseen simulointien perusteella.

| Lisäeristepaksuus              | Arkkitehdinkatu,<br>lämpöenergiankulutusmuutos | Mustanlahdenkatu,<br>lämpöenergiankulutusmuutos |
|--------------------------------|--|---|
| 50 mm                          | -3,3 %   | -2,3 %  |
| 70 mm                          | -4,0 %   | -2,7 %  |
| 100 mm                         | -4,8 %   | -3,1 %  |
| 125 mm                         | -5,1 %   | -3,5 %  |
| 150 mm                         | -5,7 %   | -3,7 %  |
| U-arvo 0,17 W/m <sup>2</sup> K | -5,1 %   | -3,6 %  |

Arkkitehdinkadun lamellitalossa lisäeristämällä saavutettiin noin puolitoista kertaa suurempia säästöjä kuin Mustanlahdenkadun tornitalossa. Lamellitalossa ikkunapinta-alaa on usein selvästi vähemmän kuin tornitalossa, ulkoseinien alan suhde rakennustilavuuteen taas on lamelli- ja tornitaloissa melko samaa luokkaa. Arkkitehdinkadun kerrostalon ulkoseinäpinta-alan (ikkunat vähennetty) suhde rakennustilavuuteen on 0,22 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ja Mustanlahdenkadun kohteen 0,20 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Ikkuna-alan suhde ulkoseinän alaan on Arkkitehdinkadulla 0,14 ja Mustanlahdenkadulla 0,3. Lamellitalossa julkisivun verhoukorkorjaukset tai eristerappaukset on usein myös helpompi ja edullisempi toteuttaa

tornitaloon verrattuna, koska lamellitalojen päädyt ovat usein ikkunattomia ja muutenkin työtä hankaloittavia detaljeja on vähemmän. Rakennuksen monimutkainen geometria lisää rakennuksen ulkovaipan sekä kylmäsiltojen määrää ja näin ollen tällaisen rakennuksen lämpöenergiankulutus on suurempaa kuin suorakaiteen muotoisissa rakennuksissa. Simulointien perusteella lisälämmöneristeillä saavutettiin lämpöenergiesäästöjä 2,3 – 5,7 %, mikä on selvästi vähemmän kuin Stina Linnen (2012) todellisissa kohteissa saadut tulokset.

Lisäeristämisen vaikutusta energiankulutukseen tutkittiin myös Arkkitehdinkadun lamellitalossa lisäämällä eristettä ainoastaan päätyihin. Eristeen asentaminen on yksinkertaisempaa ja edullisempaa ikkunattomissa päädyissä, koska työtä vaikeuttavia ja hidastavia yksityiskohtia on hyvin vähän. Päätyihin asennetun 80 mm lisälämmöneristeen jälkeen päätyseinien U-arvot olivat 0,20 W/m<sup>2</sup>K. Lämpöenergiankulutus laski kyseisellä toimenpiteellä 1,3 %, joten energiansäästö on noin neljännes siitä mitä koko julkisivun lisäeristämällä saavutettaisiin. Pelkkä päätyjen lisäeristäminen ei siis yleensä ole kovin järkevää, lisäksi lamellitalojen kantavat päädyt ovat usein hieman paremmin lämmöneristäviä kuin rakennuksen ei-kantavat pitkien sivujen ulkoseinät.

## 5.2.2 Ikkunakorjaukset

Simuloinneilla asuinkerrostalojen ikkunoiden U-arvoja muutettiin korjaustoimenpiteillä saavutettaviksi paremmiksi arvoiksi. Arkkitehdinkadun kerrostalon nykyisten ikkunoiden U-arvo on 2,1 W/m<sup>2</sup>K ja Mustanlahdenkadun 2,5 W/m<sup>2</sup>K. Ikkunarakenteiden lämmöneristävyttä voidaan parantaa tiivistämällä, etuikkunoiden lisäämisellä, vaihtopuitteella tai uusimalla ikkunat kokonaan. Esimerkiksi asentamalla ikkunoihin vaihtopuite ja parantamalla tiivistyksiä U-arvoksi saataisiin selektiivilasia käyttämällä noin 1,1 - 1,5 W/m<sup>2</sup>K ja eristyslasia käyttämällä 1,0 W/m<sup>2</sup>K. Ikkunoiden U-arvon paranemisen myötä vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä tulee säätää uudelleen (RT-41-10644 ja Ruuska 2007).

Simuloinneissa ikkunoiden U-arvoja parannettiin lukemiin 1,0 W/m<sup>2</sup>K ja 1,2 W/m<sup>2</sup>K, lisäksi kylmäsiltojen oletettiin muuttuvan arvosta ”normaali” arvoon ”hyvä”. Taulukossa 5.4 on esitetty ikkunakorjausten muutokset lämpöenergiankulutukseen.

**Taulukko 5.4** Ikkunakorjausten vaikutus kerrostalon lämpöenergiankulutukseen.

| Korjauksella saatu U-arvo [W/m <sup>2</sup> K] | Arkkitehdinkatu, lämpöenergiankulutusmuutos [%] | Mustanlahdenkatu, lämpöenergiankulutusmuutos [%] |
|--|---|--|
| 1,2  | -6,6  | -5,9   |
| 1,0  | -8,0  | -6,9   |

Ikkunoiden U-arvon paraneminen laskee molemmissa kohteissa lämpöenergiankulutusta selvästi. Myös pienet U-arvon muutokset näyttävät vaikuttavan lämpöenergiankulutukseen melko paljon. Laskelmissa ei ole huomioitu sitä, että usein vedontunteen vähenemisen myötä huonelämpötiloja voidaan hieman laskea asumismukavuutta heikentämättä. Todellisuudessa energiansäästöt voivat olla siis vielä suurempia.

Arkkitehdinkadulla ikkunoiden osuus koko vaipan alasta on 7 % ja Mustanlahdenkadun tornitalossa osuus on yli 16 %. Tästä huolimatta Arkkitehdinkadun kohteen ikkunaremontti on simulointien perusteella energiansäästön kannalta tehokkaampaa.

## 5.2.3 Yhdistetty ikkuna- ja julkisivuremontti

Julkisivun lisäeristämisen yhteydessä myös ikkunoiden kunnostus tai uusiminen on järkevää. Simuloinneissa kohteiden ulkoseinät lisäeristettiin 100 mm lämmöneristeellä ja ikkunat korjattiin niin, että niiden U-arvoksi saatiin 1,0. Lisäksi kylmäsiltojen oletettiin vähenevän ikkunan ja ulkoseinän välillä arvosta ”normaali” arvoon ”hyvä” ja myös muut ulkoseiniin liittyvät liitokset oletettiin kylmäsiltojen arvoltaan ”hyviksi”. Simuloinneilla Arkkitehdinkadun kerrostalon lämpöenergiankulutus laski 15 % ja Mustanlahden kohteessa 10 %. Mikäli

samassa yhteydessä tehtäisiin käytännössä vielä lämmönsäätö, lämpöenergiankulutus voisi laskea yhteensä jopa 15–20 %.

#### **5.2.4 Ulko-ovien ja parvekkeenovien uusiminen**

Vanhojen ulko-ovien U-arvona oli molemmissa kohteissa 2,1 W/m<sup>2</sup>K ja uusien ovien U-arvoksi asetettiin 1,0 W/m<sup>2</sup>K. Simuloinneissa lämpöenergiankulutus laski ovien uusimisen seurauksena Arkkitehdinkadun kohteessa 0,5 % ja Mustanlahdenkadun talossa alle 0,1 %. Ulko-ovien uusimisella ei ole juurikaan merkitystä kerrostalon lämpöenergiankulutukseen, varsinkin tornitaloissa ulko-ovien lukumäärä on niin pieni suhteessa rakennustilavuuteen, että ovien vaikutus energiankulutukseen on mitättömän pieni.

Parvekkeen ovet ovat usein heikommin eristäviä kuin ulko-ovet ja niitä on määrällisesti enemmän. Parvekkeen ovet uusimalla U-arvoltaan 1,0 W/m<sup>2</sup>K oleviin oviin Arkkitehdinkadun kerrostalossa lämpöenergiankulutus väheni prosentoin ja Mustanlahdenkadun kohteessa 0,6 %. Parvekkeenovien uusimisen kannattavuuteen vaikuttaa merkittävästi ovien kunto ja eristävyys sekä ovien lukumäärä. Yleensä parvekkeenovia uusitaan ikkunoiden uusimisen yhteydessä.

#### **5.2.5 Yläpohjan lisäeristys**

Yläpohjan lisäeristäminen voidaan mallinnetuissa kohteissa toteuttaa asentamalla vedeneristeen päälle tuuletettu eristyskerros tai korvaamalla lämmöneristeenä katossa käytetty kevytsora paremmin lämmöneristävään materiaaliin. Eristemateriaalia vaihtamalla katon korkeus ei muutu välttämättä juurikaan alkuperäisestä. Mikäli rakennuksen vesikatossa on vuotoja tai muuten katto on syytä korjata, yläpohjan lisäeristäminen voidaan tehdä muiden korjausten yhteydessä.

Simuloinneissa yläpohjaan lisättiin molemmissa kerrostaloissa eristettä 200 mm ja 300 mm, minkä jälkeen rakenteen U-arvoiksi saatiin Arkkitehdinkadun kohteessa 0,12 W/m<sup>2</sup>K ja 0,09 W/m<sup>2</sup>K, ja Mustanlahden kerrostalossa 0,13 W/m<sup>2</sup>K ja 0,09 W/m<sup>2</sup>K. U-arvo 0,09 W/m<sup>2</sup>K vastaa jo vuoden 2010 rakentamismääräyskokoelmassa vaadittua yläpohjan U-arvoa. 200 mm lisäeristyksillä saavutetaan Arkkitehdinkadun kohteessa lämpöenergiesäästöä 0,8 % ja Mustanlahdenkadun kerrostalossa 0,3 %. 300 mm lisäeristeillä säästöprosentit ovat Arkkitehdinkadulla 1,0 % ja Mustanlahdenkadulla 0,3 %. Simuloinnin perusteella yläpohjan lisäeristäminen on selvästi kannattavampaa lamellitalossa kuin tornitalossa. Simuloinneissa käytetyissä kerrostaloissa yläpohjan osuudet rakennustilavuudesta olivat Arkkitehdinkadun lamellitalossa 0,066 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ja Mustanlahden tornitalossa 0,025 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Lamellitalon yläpohjan lisäeristämisen kannattavuutta voidaan jo yläpohjan selvästi suuremman suhteellisen osuuden vuoksi olettaa olevan kannattavampaa.

#### **5.2.6 Alapohjan lisäeristämällä vähäinen vaikutus energiankulutukseen**

Alapohjan lisäeristämisen vaikutusta lämpöenergiankulutukseen tutkittiin asettamalla molempiin simuloitaviin kohteisiin alapohjaan lisäeristettä niin, että alapohjan U-arvoksi saatiin 0,2 W/m<sup>2</sup>K. Lämpöenergiankulutus laski lisäeristämisen seurauksena Mustanlahdenkadulla 0,1 % ja Arkkitehdinkadun kerrostalossa 0,9 %. Lamellitalossa alapohjan pinta-alan suhde rakennustilavuuteen on selvästi suurempi kuin tornitalossa, joten lamellitalossa saavutetaan myös suurempia lämpöenergiesäästöjä. Alapohjan lisäeristäminen ei juurikaan vaikuta kohteiden lämpöenergiankulutukseen.

Simuloinnissa Mustanlahdenkadun kerrostalossa kellarikerroksen seinät lisäeristettiin U-arvoon 0,2 W/m<sup>2</sup>K. Kellarin seinien lisäeristämisen vaikutus lämmönkulutukseen oli alle 0,1 %. Alapohjan ja kellarin seinien lisäeristäminen ei siis ole taloudellisesti järkevää.

### 5.2.7 Parvekelasitus

Simuloinneissa molempien mallinnettujen kerrostalojen parvekkeille asennettiin parvekelasit, joiden U-arvo oli lasiosassa tavanomaista 1-lasista karkaistua lasia käyttäen  $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  ja karmien U-arvo  $7,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Hilliaho 2010; Lumon Oy internetsivut). Simuloinneissa lämpöenergian kulutus laski Arkkitehdinkadun kohteessa 3,4 % ja Mustanlahdenkadun kerrostalossa 2,7 %. Simuloitujen talojen energiansäästöeroja selittää ainakin parvekkeiden suuntaus sekä parvekkeiden osuus seinäpinta-alasta. Molemmissa kohteissa parvekelasien osuus seinäpinta-alasta on noin 16 %. Parvekelasituksen kannattavuuteen ei vaikuta juurikaan kerrostalon muoto, simulointien perusteella tornitalon ja lamellitalon energiansäästöarvoissa ei ollut talon mallista johtuvia ollut eroja.

### 5.2.8 Parvekkeen taustaseinän lisäeristäminen

Parvekkeen taustaseinän lisäeristämisen vaikutusta lämpöenergiankulutukseen tutkittiin vanhan seinärakenteen U-arvoa parantamalla. Arkkitehdinkadun kerrostalon alkuperäinen parvekkeen taustaseinän U-arvo on  $0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$  ja Mustanlahdenkadun kohteessa arvo on  $0,54 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Simuloinneissa seiniin asennettiin 50 mm ja 100 mm paksuiset lisäeristeet ja näin takaseinän U-arvoiksi saatiin Arkkitehdinkadulla  $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$  ja  $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$  ja Mustanlahdenkadulla  $0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$  sekä  $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Lämmönkulutus laski 50 mm lisäeristämisen seurauksena Arkkitehdinkadulla 0,5 % ja Mustanlahdenkadulla 0,4 %. 100 mm lisäeriste laski lämmönkulutusta Arkkitehdinkadulla 0,8 % ja Mustanlahdenkadulla 0,5 %. Lisäeristämällä saavutettava energiansäästö on siis melko pieni investointeihin nähden. Näin ollen parvekkeen taustaseinän kunnostuksessa lisäeristeen asentamisella ei yleensä saavuteta merkittävää hyötyä ja lisäksi parvekkeen pinta-ala pienenee.

### 5.2.9 Ilmanvaihtokorjausten vaikutuksen energiankulutukseen

Mustanlahdenkadun ja Arkkitehdinkadun kerrostalokohteissa on koneellinen poistoilmanvaihto. Simuloinneissa kohteiden ilmanvaihto korjattiin nykyistä tasoa vastaavaksi eli ilmavirtoina käytettiin S2-tason arvoja. Korjausvaihtoehtoina käytettiin koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa ja lisäksi siihen liitettiin lämmöntalteenotto. Ilmavirtojen kasvattaminen lisää aina energiankulutusta, mutta parantaa asumisviihtyvyyttä ja terveellisyyttä. Energiansäästöt riippuvat lämmöntalteenoton hyötysuhteista.

Simuloinnissa lämmöntalteenoton hyötysuhteina käytettiin molemmissa kohteissa arvoja 60 % ja 40 %. Huoneistokohtaisessa järjestelmässä laitteiden sähkötehoon liittyvänä SFP-arvona oli  $1,5 \text{ kW/m}^3\text{s}$  ja keskitetyssä järjestelmässä  $1,7 \text{ kW/m}^3\text{s}$ . Jäteilman minimilämpötilana käytettiin arvoa  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Lämpötilasuhteen  $\eta_t$ -arvoksi asetettiin huonekohtaisessa järjestelmässä arvo 0,80 ja keskitetyssä järjestelmässä arvo 0,68. Tuloilman sisäänpuhalluslämpötilan arvo asetettiin  $19 \text{ }^\circ\text{C}$  asteeseen. Ilmanvaihdon käyttö ajateltiin toteutettavan manuaalisesti, jolloin ilmanvaihtoa tehostetaan arkisin klo 7-8 ja 17-21 sekä viikonloppuisin klo 8-9, 12-13 ja 17-21 suhteelliseen arvoon 1,3, arvoa 0,2 käytetään arkisin klo 8-17 ja muutoin ilmanvaihdon suhteellinen käyttö on 1,0. Käytönajan tuloilmavirtoina käytettiin makuuhuoneessa ja olohuoneessa arvoa  $16 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja poistoilmavirran arvona keittiössä  $25 \text{ dm}^3/\text{s}$ , kylpyhuoneessa  $15 \text{ dm}^3/\text{s}$ , wc-tiloissa  $10 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja vaatehuoneessa  $3 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Taulukossa 5.5 on esitetty eri järjestelmien vaikutus lämpö- ja kokonaisenergiankulutukseen.

**Taulukko 5.5** Koneelliseen tulo-poisto-ilmanvaihdon ja lämmöntalteenoton vaikutus energiankulutukseen.

|                             | Arkkitehdinkatu, energiankulutus | Arkkitehdinkatu, lämpöenergiankulutus | Mustanlahdenkatu, energiankulutus | Mustanlahdenkatu, lämpöenergiankulutus |
|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Huoneistokohtainen, LTO 40% | -3,2 %                           | -6,3 %                                | -8,5 %                            | -8,5 %                                 |
| Keskitetty, LTO 40%         | -2,3 %                           | -6,3 %                                | -8,3 %                            | -8,5 %                                 |
| Huoneistokohtainen, LTO 60% | -5,8 %                           | -11,3 %                               | -11,2 %                           | -11,8 %                                |
| Keskitetty, LTO 60%         | -4,9 %                           | -11,3 %                               | -10,9 %                           | -11,8 %                                |

Tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän rakentaminen lämmöntalteenotolla on simulointien mukaan kannattavampaa paljon energiaa kuluttavassa kerrostalossa kuin esimerkiksi alle 200 kWh/brm<sup>2</sup> vuodessa kuluttavissa rakennuksissa. Paljon energiaa kuluttavissa kerrostaloissa energiankulutus vähenee noin kymmenen prosenttia ja alun perin vähemmän energiaa kuluttavissakin taloissa useita prosentteja lisäksi sisäilma paranee aina. Arkkitehdinkadun kerrostalossa alkuperäinen lämmönkulutus on selvästi pienempää kuin Mustanlahdenkadun kohteessa. Arkkitehdinkadun kerrostalossa energiankulutus vähenee vain muutaman prosentin lämmöntalteenoton hyötysuhteen ollessa 40 %. Noin viiden prosentin energiankulutussäästöjä taas saadaan aikaan, mikäli hyötysuhteeksi asetetaan 60 %. Sisäilmaa saadaan siis parannettua, mutta energiansäästöjä ei matalalla lämmöntalteenoton hyötysuhteen arvolla paljoakaan synny kohonneen sähkönkulutuksen vuoksi. Mustanlahdenkadullakin sähkönkulutus hieman kasvaa, mutta lämpöenergiankulutus pienenee niin merkittävästi, että kulutuksessa saadaan selviä taloudellisia säästöjä aikaan jo alhaisillakin lämmöntalteenoton hyötysuhteen arvoilla. Mikäli kohteiden sisäilman laatua ei alkuperäisestä parannettaisi, vaan puhaltimien arvot säilytettäisiin ennallaan ja järjestelmään lisättäisiin vain lämmöntalteenotto, energiansäästöt olisivat suurempia. Huoneistokohtainen järjestelmä on energiansäästön kannalta tehokkaampi, mutta investointi- ja huoltokustannuksiltaan keskitettyä järjestelmää hieman kalliimpi. Keskitetyssä järjestelmässä voi riittää vain yksi ilmanvaihtokone kun taas huoneistokohtaisessa järjestelmässä joka asunnossa on oma ilmanvaihtokone. Kerrostalon ilmastonmuutos – energiatalous ja sisäilmasto kuntoon -projektiin liittyvien tutkimusten mukaan tehokkaalla lämmöntalteenotolla on mahdollista saada simulointien mukaan jopa 25 prosentin säästöjä kokonaisenergiankulutukseen (KIMU, loppuraportti 2010).

Mustanlahdenkadun kerrostalon ilmanpitävyyden arvona on alun perin käytetty lukua 1,6 1/h, tulo-poisto –ilmanvaihtosimuloinnit toistettiin myös ilmanpitävyyden arvolla 0,6 1/h. Tällöin energiankulutukset simuloinneissa laskivat vain muutaman prosentinkymmenyksen. Käytännössä rakennuksen tiiveyden pitäisi vaikuttaa huomattavasti enemmän lämmöntalteenoton kannattavuuteen.



## **6 PARVEKELASTUKSEN VAIKUTUS RAKENNUKSEN ENERGIANKULUTUKSEEN**

Parvekkeiden lasittamista perustellaan usein parvekerakenteiden huolto- ja korjaustarpeen vähenemisellä, kalustettavuuden paranemisella ja asumisviihtyvyyden lisääntymisellä. Asuntojen markkinoinnissa puhutaan lisähuoneesta, joka mahdollistaa asukkaalle yhteyden ulkoilmaan vuodenajasta ja säästä riippumatta. Harvinaisempaa on lasitettujen parvekkeiden mieltäminen puolilämpimäksi tilaksi tai passiivisesti aurinkoenergiaa varastoivaksi tuulikaapiksi.

### **6.1 Kenttämittauksiin ja 3D-simulointeihin perustuva tutkimus**

Kenttämittauksista ja tietokonesimuloinneista koostunut energiansäästötutkimus suoritettiin välillä heinäkuu 2009 – kesäkuu 2010 Tampereen alueella. Tutkimuksessa oli mukana yhteensä 11 kerrostaloa ja 23 parvekettä. Yhden kerrostalon päällekkäisille parvekkeille ja niitä vastaaviin huoneistoihin sijoitettiin noin 50 pintalämpötilamittaria, jotka kytkettiin ohjausyksikköön. Tämä seurannan tarkoituksena oli kalibroida IDA-ICE laskentaohjelma vastaamaan todellisia lämpötilaolosuhteita alle 0,5 asteen tarkkuudella kaikissa tilanteissa. Lisäksi kenttämittauksia täydennettiin sijoittamalla 11 kerrostalon 18 lasitetulle parvekkeelle ja 5 lasittamattomalle parvekkeelle ja niitä vastaaviin huoneistoihin ilman lämpötilaa mittaavat mittausanturit. Mittaukset kestivät noin 10 kuukautta. Kerrostaloja oli 60-, 70-, 80- ja 2000-luvuilta. Suurin osa parvekkeista oli 70-luvun elementtikerrostaloissa, joissa oli ulkonevat eli rakennusrungosta ulos tulevat parveketornit.

Kenttämittausten tuloksia verrattiin IDA Indoor Climate and Energy (IDA-ICE)-ohjelmistolla suoritettuihin 3D-simulointeihin. Luotettavan laskentatarkkuuden varmistamiseksi pintalämpötilamittauskohteen rakenteet, lämmöneristysjärjestelmän toiminta ja ilmanvaihto sekä asukkaiden sähkön-, valaistuksen- ja asunnon käyttö selvitettiin yksityiskohtaisesti kohteesta. Tästä johtuen laskennassa päästiin hyvin lähelle todellisia olosuhteita (alle 0,5 asteen tarkkuuteen) kaikissa ulkoilmaolosuhteissa. Tämä osoitti, että IDA-ICE ohjelma soveltui erittäin hyvin parvekelasitusten energiansäästötarkastelun tekemiseen. Tämän jälkeen tutkimusta jatkettiin tekemällä simulaatiotarkastelut 80 m<sup>2</sup>:n huoneistoon erilaisissa laskentatapauksissa. Muuttujina laskennassa olivat maantieteellinen sijainti, ilmansuunnat, parvekkeen ikkunan, oven ja taustaseinän lämmöneristystaso sekä parveketyyppi, ilmatiiviyys ja rakennuksen tuloilmaventtiilin sijainti. Yhteensä laskentatapauksia oli 256 kappaletta.

#### **6.1.1 Puskurivyöhykkeellä mahdollisuus lämpötilaerojen pienentämiseen**

Lämmitysenergiesäästö 80 m<sup>2</sup> kerrostalohuoneistossa vaihteli suomen olosuhteissa 3,4 %:sta 10,7 %:n. Suurimmat säästöt saatiin 1970-luvun elementtikerrostalojen etelään suunnatuilla parvekkeilla. Tärkein energiansäästöön vaikuttava tekijä on tuloilmaratkaisu. Myös parveketyypillä ja -suuntauksella on huomattava vaikutus energiansäästöön. Sen sijaan maantieteellisellä sijainnilla, lämmöneristystasolla ja ilmatiiviydellä on vähäisempi vaikutus säästöjen muodostumiseen. Tämä osoittaa, että auringon säteilyenergian hyödyntämisen maksimoiminen on keskeisin asia parvekkeita suunniteltaessa.

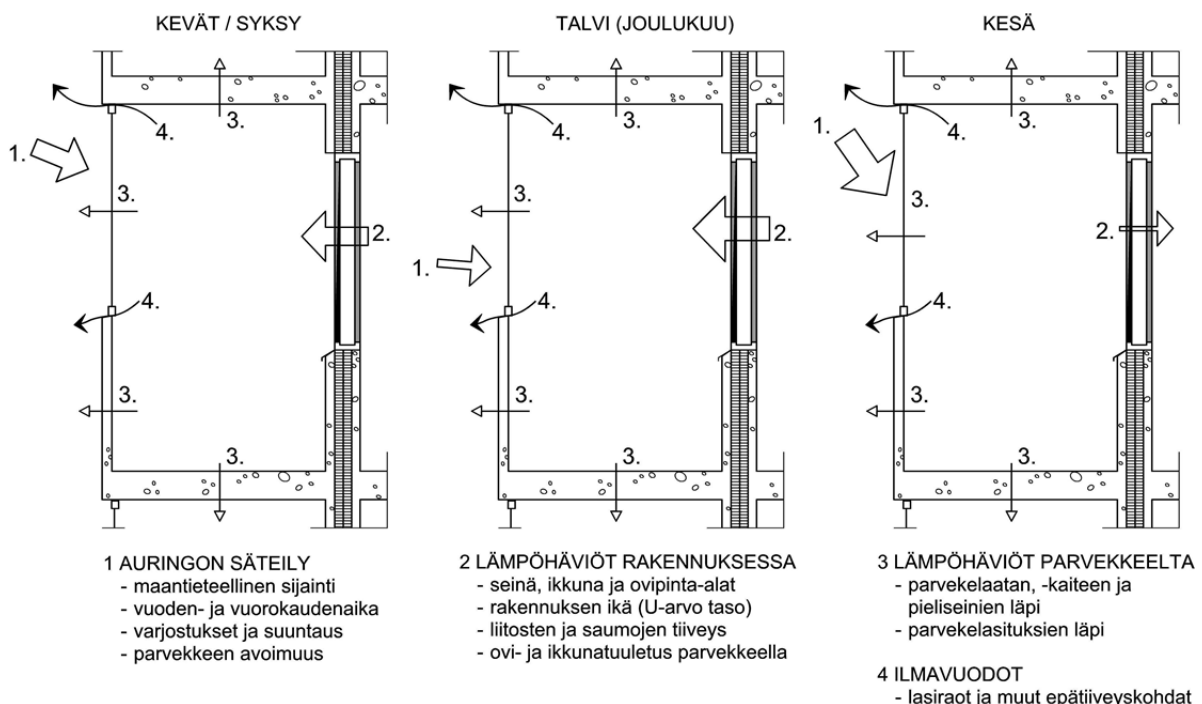
Parvekkeiden lasittamisen yhteydessä syntyy ulko- ja sisätilan välille yhtenäinen tuulta hyvin suojaava puskurivyöhyke, joka tasaa ulkoilman olosuhteita. Tämä vyöhyke varastoi passiivisesti auringon säteilyä rakenteisiinsa ja kerää rakennuksen lämpöhäviöitä talteen. Näin muodostuu välitila, joka on yleensä 2-8 °C ulkoilmaa lämpimämpi tapauksesta ja ajankohdasta riippuen. Tämä lämmennyt välitila pienentää sisä- ja ulkoilman välistä lämpötilaeroa parvekkeen kohdalla ja samalla vähentää rakennuksen lämpöhäviöitä.

Pintalämpötilojen seuranta osoitti, että parvekkeen taustaseinän lämpöhäviöt pienenevät parvekelasitusten ansiosta merkittävästi. Kyseisessä kohteessa parvekkeen taustaseinän lämpöhäviöt pieneni 18 %, parvekeoven 15 % ja parvekeikkunan 22 %.

## 6.1.2 Simulointitarkastelut

Simulointitarkastelujen mukaan parvekelasituksilla säästetään 80 m<sup>2</sup> huoneistossa lämmitysenergiaa 3,4-10,7 % Suomen olosuhteissa. Eniten energiaa säästyy Helsingissä sijaitsevassa 1970-luvulla rakennetussa elementtikerrostalossa, jonka sisäänvedetyt parvekkeet on suunnattu etelään ja rakennuksen tuloilma otetaan parvekkeen läpi. Vähiten säästöä syntyy Sodankylässä sijaitsevilla 2010-luvun rakennuksissa, joiden parvekkeet on suunnattu itään ja tuloilma otetaan parvekkeen ulkopuolelta. Keskimäärin energiaa säästyi Suomessa 5,9 %. Vertailun vuoksi tarkasteltiin tutkimuksessa myös energiansäästöä Berliinin olosuhteissa. Siellä energiansäästö vaihteli 5,6-12 % välillä ja oli keskimäärin 8,2 %. Tästä voidaan havaita, että Suomessa lasitetuilla parvekkeilla saadaan lähes yhtä suuri energiataloudellinen hyöty kuin Keski- Euroopassa.

Laskennallisten tarkasteluiden mukaan parvekelaseista oli eniten hyötyä kohteissa, joissa parvekkeella esilämmennettyä ilmaa hyödynnettiin rakennuksen ilmanvaihdossa. Tuloilman esilämmitys vaikutti energiansäästöön 24-38 % tapauksessa riippuen eli noin ¼ energiansäästöä tuotettiin ottamalla tuloilma lasitetulta parvekkeelta. Esimerkiksi 8 % energiansäästö muuttui 6 % energiansäästökseksi, kun tuloilmaventtiili siirrettiin parvekkeelta parvekkeen ulkopuolelle yhdessä tapauksessa. Keskimäärin energiansäästö tuloilman parvekkeelta ottaneissa huoneistoissa oli 6,8 % ja parvekkeen ulkopuolelta ottaneissa huoneistoissa 4,9 %. Tästä johtuen tuloilmaventtiilit (esim. ikkunan rakoventtiilit) olisi suotavaa sijoittaa parvekkeen kohdalle koneellisella poistoilmavaihdolla varustetuissa kerrostaloissa.



**Kuva 6.1** Parvekkeen lämpötase eri vuodenaikoina (Hilliaho2010).

## 6.2 Parveketyypin ja parvekkeiden suuntauksen vaikutus

Sisäänvedetyillä parvekkeilla energiansäästö on keskimäärin 14-35 % suurempi kuin ulkonevilla parvekkeilla. Tämä johtuu siitä, että sisäänvedetyissä parvekkeissa on parvekkeen kolmella sivulla lämpöhäviöitä tuottavaa ulkoseinää ja vain yhdellä sivulla lasitusta. Tästä johtuen parveke voi ottaa talteen jopa kolminkertaisen määrän rakennuksen lämpöhäviöitä kuin vastaava ulkoneva parveke. Tällä on merkittävä vaikutus säästettyyn energiaan. Energiansäästö ulkonevilla parvekkeilla oli 80 m<sup>2</sup> huoneistossa keskimäärin 5 % ja ulkonevilla parvekkeilla 6,8 %. Parveketyypin vaikutus korostuu erityisesti huonosti eristetyissä rakennuksissa.

Parvekkeen suuntaus on kolmas merkittävä asia energiansäästön kannalta. Tämä vaikutus energiansäästöön on 15-35 %. Paras suuntaus auringon säteilyn kannalta on suoraan etelään, mutta pienet poikkeamat (15 °) itään tai länteen eivät juuri vaikuta auringon säteilyn saatavuuteen. Tosin voi olla tilanteita, joissa ulkopuolisen varjostuksen kannalta parvekkeet kannattaa sijoittaa muihinkin ilmansuuntiin maksimaalisen aurinkoenergian aikaansaamiseksi.

Laskennallisissa tarkasteluissa saavutettiin pohjoiseen suunnatuilla parvekkeilla keskimäärin 5,5 % ja etelään suunnatuilla parvekkeilla 6,7 % energiansäästö. Suuntauksen vaikutus oli merkittävin huonosti eristetyissä rakennuksissa, jotka ottivat tuloilmansa parvekkeelta ja vähäisin hyvin eristetyissä rakennuksissa, joiden parvekkeet oli suunnattu pohjoiseen ja tuloilma otettiin parvekkeen ulkopuolelta.



**Kuva 6.2** Aurinko lämmittää lasitetulla parvekkeella olevaa ilmaa jolloin lämpötilaero parvekkeen ja sisätilan kohdalla laskee pienentäen samalla lämpövirtaa ulospäin.



**Kuva 6.3** Sisäänvedetyillä lasitetuilla parvekkeilla lämpöhäviöt pienenevät kolmella ulkoseinällä, mikä mahdollistaa paremman energiansäästön.

### **6.3 Asukkailla keskeinen vaikutus todellisten säästöjen syntyyn**

Kenttäseuranta paljasti mielenkiintoisen asian asukkaiden käytöksessä kenttämittausten aikana. Asunnoissa, joissa oli lasitettu parveke, olohuoneen sisälämpötilaa pidettiin keskimäärin 0,5 °C viileämpänä kuin vastaavia huoneistoja, joissa oli lasittamattomat parvekkeet. Asukkaat olivat tiedostamatta reagoineet lämmöneristyskyvyn parantumiseen ja vedon tunteen pienenemiseen alentamalla sisälämpötilaa termostaattia säätämällä. Tällä perusteella arvioitiin, että parvekelasit mahdollistavat 0,5-1,0 °C sisälämpötilaan laskun sisäilmaolosuhteiden laadusta tinkimättä.

Tätä ylimääräistä sisälämpötilan laskua ei ole sisällytetty simulaatiotarkasteluissa saatuun keskimääräiseen 5,9 % energiansäästöön. Jos tämä sisällytetään energiansäästötarkasteluihin, voidaan parvekelaseilla saavuttaa vielä suurempia energiansäästöjä asuinkerrostaloissa. Motivan mukaan yhden asteen lämpötilan lasku vastaa 5 % energiansäästöä (Motiva 2010). Tällöin voidaan karkeasti arvioida, että hyödyntämällä sisälämpötilan laskeminen voidaan saavuttaa keskimäärin n. 8 % energiansäästö asuinhuoneiston lämmitysenergiankulutuksessa. Tällä on jo merkittävä vaikutus asunnon lämmityslaskuun, jos kaikki huoneistot varustetaan lasitetuin parvekkein.

Edellytyksenä energiansäästölle on, että parvekelasitusta käytetään, kuten ne on suunniteltu eli pidetään kylminä syys- ja talvi-iltoina kiinni ja avataan kauniina kesäpäivinä. Näin saadaan lasitetuista parvekkeista talvella energiataloudellinen hyöty ja vältetään kesällä liialliselta kuumuudelta. Tosin laskennalliset tarkastelut osoittavat, ettei lasitetun parvekkeen lämpeneminen juuri vaikuta asunnon sisälämpötilaan, koska lämpötilan nousut parvekkeella ovat kuumina kesäpäivinä lyhytaikaisia.

Pahimmassa tapauksessa asunnon sisälämpötila nousi huoneistossa 0,9 astetta. Tämä esiintyi Helsingissä sijaitsevassa huoneistossa, jonka tuloilma otettiin etelään suunnatulta parvekkeelta. Asunnon lämpeneminen voidaan käytännössä estää kokonaan sijoittamalla tuloilmaventtiilit parvekkeen ulkopuolelle tai avaamalla lasitukset osittain tai kokonaan.

# 7 PÄÄTELMÄT

## 7.1 Keskeiset havainnot eri osatutkimuksista

### Toteutunut energiankulutus vs. laskennallinen

Lähiökerrostalot kuuluvat keskimäärin energiatehokkuusluokkaan D, kun tarkastellaan ET-lukua todellisen kulutuksen mukaan laskettuna bruttoneliömetrille [kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi]. Tulos on varsin yllättävä, sillä esimerkiksi ulkoseinien lämmöneristeen paksuus on kasvanut 1960 luvun 60 mm:stä 2008 vuoden 180 mm:iin. Talokohtainen hajonta on varsin suurta, mikä johtuu suurelta osin asukkaiden käyttötottumuksista, huonelämpötiloista ja rakennusten LVI-järjestelmien säädöistä. Uudemmissa taloissa asumismukavuudelle on korkeammat vaatimukset kuin vanhoissa.

Samojen rakennusten keskimääräinen energiatehokkuusluokka on F, mikäli ET-luku lasketaan huoneistoalaa kohti [kWh/h-m<sup>2</sup>/vuosi]. Rakennusten välillä on tällä tavalla tarkasteltuna huomattavasti enemmän hajontaa, mutta näin tarkasteltuna energiatehokkuustarkastelu tulee lähemmäs asukasta.

Laskennalliseen energiankulutukseen perustuva energiatehokkuusluku ei vastaa toteutuneen kulutuksen mukaista energiatehokkuuslukua. Etenkin case kohteilla 2 ja 3 on suuri ero laskennallisen ja toteutuneen energiatehokkuusluvun välillä ja vain yhdellä kohteella laskennallinen energiatehokkuusluku on lähes sama toteutuneen kanssa.

Alapohjan alapuolisen maan lämmönvastuksen huomioonottamisella on suuri merkitys laskennalliseen energiankulutukseen, koska alapohjan U-arvo eroaa huomattavasti siitä, lasketaanko se Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (RakMK: D5 2007) vai C4 (RakMK: C4 2003) ohjeiden mukaan. Toisaalta tulosten perusteella voidaan päätellä, että maan lämmönvastuksen huomioonottamisella on merkitystä lähinnä vanhemmilla asuinkerrostaloilla, joissa alapohjien lämmöneristys on usein varsin vaatimaton tai sitä ei ole ollenkaan. Koska asuinkerrostalon energiatehokkuusluku perustuu laskennalliseen energiankulutukseen vain uudisrakennuksella, ei alapohjan U-arvon laskentatavalla ole tällöin suurta vaikutusta olemassa olevan asuinkerrostalon energiatehokkuuslukuun.

Case kohteiden lämmönkulutuksen keskiarvon perusteella lämmönkulutus asuinkerrostalossa jakautuu lähes tasan kolmeen osaan: käyttöveden lämmityksen osuus on 32 %, ilmanvaihdon osuus on 32 % ja johtumishäviöiden osuus on 36 %. Johtumishäviöistä noin puolet tapahtuu ikkunoiden ja parvekeovien kautta, noin kolmasosa ulkoseinien kautta ja loput ala- ja yläpohjan kautta. Rakennuksen vaipan johtumishäviöiden vähentämisen osalta suurin energiansäästöpotentiaali koko lähiökerrostalokannasta löytyy siis ikkunoiden ja parvekeovien uusimisesta.

### Korjaus- ja säätötoimien vaikutus energiankulutukseen

Kerrostalojen energiankulutukseen merkittävämmän vaikuttavia yksittäisiä toimenpiteitä ovat ikkunoiden uusiminen tai etuikkunoiden asennus, ulkoseinien lisälämmöneristys, lämmönsiirtimen uusiminen, patteri- ja linjasäätöventtiilien sekä lämmönsäätö ja ilmanvaihtokorjaukset, joissa käyttöön otetaan lämmöntalteenotto. Myös parvekelasituksella, ikkunoiden tiivistämisellä ja joissakin kohteissa parvekkeen ovien uusimisella voidaan saada aikaan huomattavia energiansäästöjä. Yksittäisten ja melko edullisten korjausten vaikutus lämpöenergiankulutukseen on yleensä kuitenkin hyvin pieni, korkeintaan muutaman prosentin luokkaa.

Toimenpiteiden vaikutus lämpöenergiesäästöön on esitetty taulukossa 7.1 Lähtötietoina on käytetty korjausaineistosta saatuja kustannustietoja (€/h-m<sup>2</sup>) sekä energiansäästöjä (kWh/a).

Korjausaineiston perusteella saatu säästö on laskettu kertomalla keskimääräinen energiansäästöprosentti energian kilowattituntihinnalla, hintana on tässä käytetty 64 snt/kWh. Säästöt torni- ja lamellitaloihin on laskettu samalla tavalla. Torni- ja lamellitalon energiasäästöprosentit on saatu simulointien perusteella. Korjaustoimenpiteiden järjestyksessä on otettu huomioon saavutettavissa oleva energiansäästö sekä korjauskustannus. Taulukossa on ensiksi esitetty kannattavimpia toimenpiteitä ja lopussa on energiansäästön kannalta vähemmän kannattavia ratkaisuja.

**Taulukko 7.1** Korjaustoimenpiteiden arvioitu lämpöenergiesäästö.

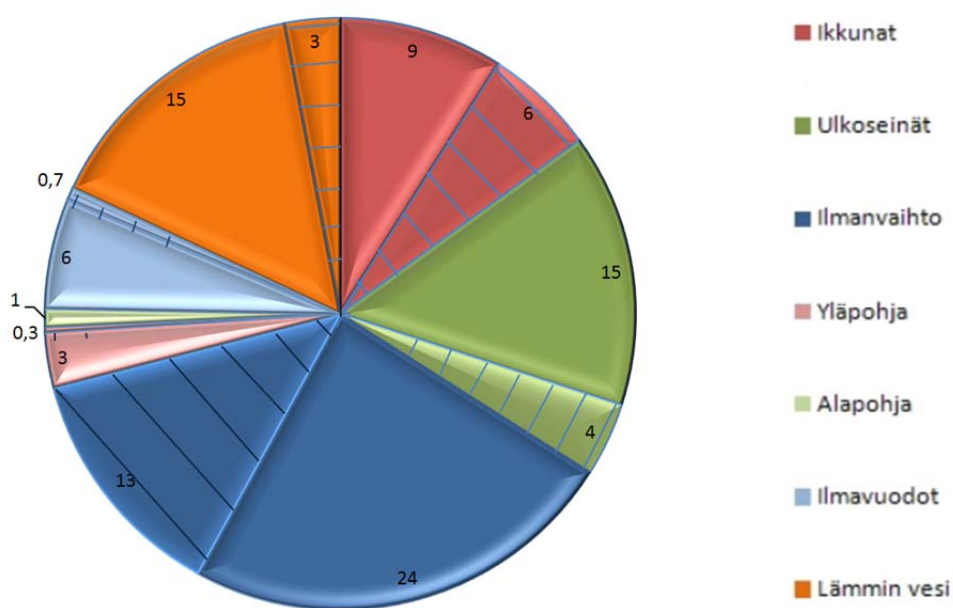
| Korjaustoimenpide                                       | Kustannus<br>€/h-m <sup>2</sup> | Säästö,<br>korjausaineisto<br>snt/kWh | Säästö,<br>tornitalo<br>snt/kWh | Säästö,<br>lamellitalo<br>snt/kWh |
|---|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Lämmönsäätö+patteri- ja linjasäätöventtiilien uusiminen | 5-15                            | 0,48                                  | -                               | -                                 |
| Lämmönsäätö   | 1-5                             | 0,24                                  | -                               | -                                 |
| Lämmönsiirtimen uusiminen                               | 5-15                            | 0,29                                  | -                               | -                                 |
| Etuikkunat  | 20-30                           | 0,29                                  |                                 |                                   |
| Ikkunoiden uusiminen                                    | 45-70                           | 0,32                                  | 0,38                            | 0,52                              |
| Parvekelasitus  | 10-25                           | 0,28                                  | 0,17                            | 0,28                              |
| Elementtisaumojen uusiminen                             | 5-10                            | 0,13                                  |                                 |                                   |
| Parvekeoven uusiminen                                   | 10-25                           | 0,19                                  | 0,04                            | 0,06                              |
| Yläpohjan lisäeristäminen                               | -                               | -                                     | 0,02                            | 0,05                              |
| Patteri- ja linjasäätöventtiilien uusiminen             | 5-10                            | 0,16                                  | -                               | -                                 |
| Nuohous ja ilmavirtojen säätö                           | 1-2                             | 0,06                                  | -                               | -                                 |
| Ulkoseinien peittävä korjaus + lisälämmöneristäminen    | 200-300                         | -                                     | 0,22                            | 0,33                              |
| Ikkunoiden tiivistys                                    | 1-5                             | 0,00                                  | -                               | -                                 |
| Ulko-ovien uusiminen                                    | 2-10                            | 0,00                                  | 0,00                            | 0,07                              |

Rakennuksen ET-luku (energiatehokkuusluku) ilmaisee rakennuksen energiatehokkuuden. ET-luku lasketaan jakamalla rakennuksen vuosittainen energiankulutus rakennuksen bruttoalalla. ET-luku lasketaan suurissa rakennuksissa rakennuksen lämmitysenergian, kiinteistösähkön sekä tilojen jäähdytysenergian yhteenlasketusta kulutuksesta. Myös E-luku kuvaa rakennuksen energiankulutusta, mutta sen laskennassa otetaan huomioon myös energiamuotojen kertoimet. E-luku lasketaan kertomalla ostoenergiat energiamuotojen kertoimilla ja laskemalla nämä kaikki energiat yhteen. Uusissa kerrostaloissa E-luku ei saa ylittää arvoa 130 kWh/m<sup>2</sup> (Ympäristöministeriö 2008; Rakentamismääräyskokoelma osa D3 2012).

Suurin osa nykyisistä kerrostaloista kuuluu ET-luokkaan D, jolloin niiden ET-luku on 141 - 180 kWh/brm<sup>2</sup>/a. Noin kolmasosa kerrostaloista kuluttaa 181 - 230 kWh/brm<sup>2</sup>/a, jolloin ET-luokka on E. Yksittäisillä korjauksilla ET-lukua saadaan laskettua enimmilläänkin vain 15 %, jos ilmanvaihtokorjauksia ja lämmöntalteenottoa ei oteta huomioon. Yksittäisillä korjauksilla ei siis ET-luokkaa saada parannettua, ellei kulutus ole jo entuudestaan hyvin lähellä paremman ET-luokan arvoja. Useita korjauksia tekemälläkään ei ilman lämmöntalteenottoon siirtymistä saada ET-lukua käytännössä pienennettyä muuta kuin korkeintaan yhden luokan verran. Erittäin paljon energiaa kuluttavilta kerrostaloilta eli yli 230 kWh/brm<sup>2</sup>/a kuluttavilta kohteilta D-luokkaan pääseminen vaatii yleensä lämmöntalteenottoon siirtymistä. Toisaalta esimerkiksi alle 200 kWh/brm<sup>2</sup> vuodessa kuluttavat kerrostalot, joissa ilmanvaihto korjataan hyvän sisäilman vaatimuksien mukaiseksi, energiankulutus kasvaa lämmöntalteenotosta huolimatta ja ET-luokka ei korjauksissa paranekaan. 1980-luvulla ja sen jälkeen on valmistunut paljon kerrostaloja, joiden ET-luku on 181 - 200 kWh/brm<sup>2</sup>/a. Näiden kerrostalojen ET-luokkaa pystyttäisiin monesti parantamaan luokasta E luokkaan D

esimerkiksi ikkunakorjauksilla sekä ulkoseinien lisäeristyksellä ja lämmönsäädöllä. Näillä korjauksilla ET-lukua saataisiin pienennettyä noin 20 - 35 kWh/brm<sup>2</sup>/a ja ET-luokaksi näin ollen D.

Kuvan 7.1 ympyrädiagrammissa esitetään tyypillisen 1970-luvun asuinkerrostalon lämmönkulutusjakauma ja eri korjaustoimenpiteiden säästöpotentiaali. Tietyllä värillä on kuvattu eri rakennusosien osuus lämmönkulutukseen prosentteina ja viivoitettu alue ilmoittaa kyseiseen rakennusosaan kohdistuvan lämpöenergiansäästön korjauksen jälkeen. Eri rakennusosien osuudet lämmönkulutuksesta on saatu useista eri lähteistä. Säästöpotentiaalit on saatu korjausaineiston keskimääräisen säästön sekä simulointien perusteella. Esimerkiksi ikkunoiden kautta kuluu tyypillisen 1970-luvun kerrostalon lämpöenergiaa noin 15 % ja korjaamalla ikkunat paremmin eristäviksi voitaisiin lämpöenergiankulutusta saada pienennettyä 6 %. Korjaamalla kaikkia alla esitettyjä rakennusosia ja järjestelmiä rakennuksen lämpöenergiankulutusta voitaisiin saada pienennettyä jopa 30 prosenttia ja ET-luokka paranisi 70-luvun rakennusten tyypillisestä E-luokasta luokkaan D.



**Kuva 7.1** Korjaustoimenpiteiden vaikutus tyypilliseen 1970-luvun kerrostaloon.

### Parvekelasituksen vaikutus energiankulutukseen

Parvekkeiden lasittamisen yhteydessä syntyy ulko- ja sisätilan välille yhtenäinen tuulelta hyvin suojaava puskurivyöhyke, joka tasaa ulkoilman olosuhteita. Tämä vyöhyke varastoi passiivisesti auringon säteilyä rakenteisiinsa ja kerää rakennuksen lämpöhäviöitä talteen. Näin muodostuu välitila, joka on yleensä 2-8 °C ulkoilmaa lämpimämpi tapauksesta ja ajankohdasta riippuen. Tämä lämmennyt välitila pienentää sisä- ja ulkoilman välistä lämpötilaeroa parvekkeen kohdalla ja samalla vähentää rakennuksen lämpöhäviöitä. Pintalämpötilojen seuranta osoitti, että parvekkeen taustaseinän lämpöhäviöt pienenevät parvekelasitusten ansiosta merkittävästi.

Simulointitarkasteluissa lämmitysenergiansäästö 80 m<sup>2</sup> kerrostalohuoneistossa vaihteli suomen olosuhteissa 3,4 %:stä 10,7 %:ään. Suurimmat säästöt saatiin 1970-luvun elementtikerrostalojen etelään suunnatuilla parvekkeilla. Tärkein energiansäästöön vaikuttava tekijä on tuloilmaratkaisu. Mikäli huoneiston tuloilma voidaan ottaa lasitetun parvekkeen kautta suoraan huoneistoon, sitä ei tarvitse lämmittää talvikaudella yhtä paljon kuin suoraan ulkoilmasta otettavaa ilmaa.

Sisäänvedetyillä parvekkeilla energiansäästö on suurempi kuin ulkonevilla parvekkeilla. Tämä johtuu siitä, että sisäänvedetyissä parvekkeissa on parvekkeen kolmella sivulla lämpöhäviöitä tuottavaa ulkoseinää ja vain yhdellä sivulla lasitusta. Energiansäästö ulkonevilla parvekkeilla oli 80 m<sup>2</sup> huoneistossa keskimäärin 5 % ja ulkonevilla parvekkeilla 6,8 %. Parveketyypin vaikutus korostuu erityisesti huonosti eristetyissä rakennuksissa.

Parvekkeen suuntaus on kolmas merkittävä asia energiansäästön kannalta. Tämä vaikutus energiansäästöön on 15-35 %. Paras suuntaus auringon säteilyn kannalta on suoraan etelään, mutta pienet poikkeamat (15 °) itään tai länteen eivät juuri vaikuta auringon säteilyn saatavuuteen. Toisista rakennuksista, puustosta tai maaston muodoista aiheutuvasta varjostuksesta johtuen parvekkeet kannattaa sijoittaa muihinkin ilmansuuntiin, jotta aurinkoenergiaa on mahdollista saada paljon.

Kenttäseurannan mukaan asunnoissa, joissa oli lasitettu parveke, olohuoneen sisälämpötilaa pidettiin keskimäärin 0,5 °C viileämpänä kuin vastaavia huoneistoja, joissa oli lasittamattomat parvekkeet. Asukkaat olivat tiedostamatta reagoineet lämmöneristyskyvyn parantumiseen ja vedon tunteen pienenemiseen alentamalla sisälämpötilaa termostaattia säätämällä. Tällä perusteella arvioitiin, että parvekelasit mahdollistavat 0,5-1,0 °C sisälämpötilaan laskun sisäilmaolosuhteiden laadusta tinkimättä.

Edellytyksenä energiansäästöille on, että parvekelasitusta käytetään, kuten ne on suunniteltu eli pidetään kylminä syys- ja talvi-iltoina kiinni ja avataan kauniina kesäpäivinä. Näin saadaan lasitetuista parvekkeista talvella energiataloudellinen hyöty ja välttyään kesällä liialliselta kuumuudelta. Tosin laskennalliset tarkastelut osoittavat, ettei lasitetun parvekkeen lämpeneminen juuri vaikuta asunnon sisälämpötilaan, koska lämpötilan nousut parvekkeella ovat kuumina kesäpäivinä lyhytaikaisia.

## **7.2 Jatkotutkimustarpeet**

Tutkimuksen aikana on noussut esiin useampia kehitys- ja lisätutkimustarpeita, joista merkittävimmät on seuraavassa esitelty lyhyesti.

### **Tarkempi asumisen vaikutusten selvittäminen**

Tässä sekä aiemmissa tutkimuksissa on tullut ilmi asukkaiden asumistottumusten eroavaisuus mm. vedenkäytön suhteen. Lämpimän käyttöveden määrä on oleellinen tekijä energiatehokkuuden määrittämisessä. Samoin huoneistojen todellinen lämpötila, ilmanvaihdon määrä ja iv-laitteiden käyntiajat jne. Myöskään huoneistoissa käytettävän sähköenergian määrästä ei ole mitattua tietoa. Elektroniikan lisääntyminen on aiheuttanut myös sen, että sähkölaitteilla lämmitetään asuntoja yhä enenevässä määrin.

Nykyisin yleisesti käytössä olevilla kulutusseurantajärjestelmillä ei seurata eikä ole monissa tapauksissa mahdollistakaan seurata huoneistokohtaisesti asumiseen kuluvia erilaisia energiavirtoja ja lämpötiloja. Ihmisten asumistottumusten aiheuttamien energian kulutus- ja tuottotietojen selvittämiseksi tarvitaan useiden erilaisten asumis- ja perhetyyppien tarkkaa mittaamista, jotta asukkaiden osuus rakennuksen energiankulutuksesta voidaan tunnistaa nykyistä luotettavammin.

### **Erialaisten rakennustyyppien energiankulutus**

Tässä tutkimuksessa on kerätty energiankulutustietoa asuin- ja kerrostaloista. Näiden lisäksi on lukuisa joukko muita rakennuksia, joiden energiankulutusta ja käyttöasteita tulee tarkastella laajalla otannalla Suomen kokonaisenergiankulutusta silmälläpitäen.

Kunnilla, seurakunnilla, valtiolla sekä yrityksillä on lukuisa joukko kouluja, päiväkoteja, toimisto- ja liikerakennuksia jne., joiden käyttäjäkunta on varsin moninainen ja käyttöasteet vaihtelevat. Näistä tulee koota rakennustyypeittäin pitkän aikavälin energiankulutustiedot useista kymmenistä rinnakkaisista rakennuksista tietokantaan, josta voidaan tilastollisin



menetelmin tarkastella rakennusten todellista energiankulutusta sekä energiankulutuksen jakautumista lämpimään käyttöveteen, ilmanvaihtoon sekä johtumishäviöihin.

Tämän tutkimuksen (Entelkor) perusteella tiedetään lähiökerrostalon todellisessa energiankulutuksessa olevan suurta hajontaa rakennusten välillä, joten energiankulutustietoja tarvitaan laajasta rakennuskannasta.

### **Energiatehokkuuden mittarit**

Kuten aiemmin on jo todettu asukkailla ja rakennuksen käyttäjillä yleensäkin on merkittävä vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Tämänhetkisen ohjeistuksen mukaan rakennuksen energiatehokkuus lasketaan bruttoneliometriä kohden siten, että asukkaiden käyttämä sähköenergia jää pois laskuista. Asukkailla on kuitenkin todettu olevan merkittävä vaikutus käyttötottumuksiensa kautta rakennuksessa kuluvaan kokonaisenergiamäärään.

Esimerkiksi toimistorakennuksissa voi käyttäjinä olla toimijoita, jotka tarvitsevat huomattavan erilaisen määrän kiinteistön lämmitysenergiaa johtuen yritysten erilaisista toiminnoista. Suuria määriä tietokoneita ja muuta elektroniikkaa toiminnassaan käyttävä yritys käytännössä lämmittää ja monesti myös jäähdyttää toimitilansa omassa sähkölaskussaan, mikä ei näy rakennuksen energiatehokkuusluvussa ollenkaan.

Mitataanko siis rakennuksen energiatehokkuutta vai käyttäjien ja rakennuksen yhteisvaikutusta? Millaiset tunnusluvut kuvaavat parhaiten erilaisten rakennusten energiatehokkuutta käyttö huomioon ottaen?

### **Turvalliset korjausratkaisut**

Rakennusten käytön kannalta sisäilman laatu on merkittävässä asemassa eikä sitä saa korjaamisella heikentää. Tähän mennessä tehdyt rakennusten lisälämmöneristykset on tehty pääasiassa julkisivujen vaurioitumisen pysäyttämiseksi, ja lämmöneristemäärät ovat olleet varsin maltillisia, luokkaa 50-70 mm. Energiasäästötavoitteiden tultua mukaan korjaamiseen lisälämmöneristyksellä tavoitellaan myös merkittävää energiansäästöä rakennuksen kokonaiskulutuksessa. Käytännössä tämä tarkoittaa noin 150-200 mm lisälämmöneristystä julkisivuun. Näin suuri lisälämmöneristys muuttaa oleellisesti vanhan seinärakenteen rakennusfysikaalista toimintaa.

Sekä rakennusten vaippaan että sisälle tehtävien korjaustoimien tulee olla kosteusteknisesti toimivia ja turvallisia. Rakenteiden kuivumismahdollisuus tulee varmistaa käytettävissä korjausratkaisuissa. Suunnitteluvaiheessa rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa tarkastellaan ensisijaisesti laskennallisella mallinnuksella. Tämä ei kerro kuitenkaan vanhan rakenteen tilasta, joten keskeisistä rakennetyypeistä ja niiden liitoksista tulee tehdä rakennustyypeittäin kattava näytteenotto mikrobien mahdollisen olemassaolon selvittämiseksi. Tämän jälkeen on mahdollista kehittää turvallisia korjausratkaisuja, jotka myös parantavat rakenteen energiatehokkuutta.

### **Passiiviset ja aktiiviset toimet jäähdytystarpeen vähentämisessä**

On oleellista, ettei korjaamalla rakennuskanta hyvin lämpöä eristäväksi ei samalla aiheuteta samoihin rakennuksiin jäähdytystarvetta kesäkausiksi, jolloin kokonaisenergiankulutus ei laske toivotulla tavalla. Ilmastonmuutoksen aiheuttaman lämpenemisen seurauksena rakennusten jäähdytystarve kesäkaudella kasvaa erityisesti hyvin lämmöneristetyissä rakennuksissa.

Tutkimuksessa tulee selvittää erilaisten passiivisten ja aktiivisten suoralta auringonpaisteelta suojaavien toimien vaikutusta erilaisten rakennusten jäähdytystarpeen vähentämisessä. Tarkastelu tapahtuu mallintamalla tarkasteluun valittuja rakennustyyppisiä.

## Kirjallisuusviitteet

A 19.6.2007/765. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. 2 s. + 41 liites.

Aho, L. 1994. Kokemukset bitumiaineisten vesikattojen korjaustöistä. Helsinki, Rakennushallitus. 49 s.

Boström, S. 2012. Lähiökerrostalon energiatehokkuusluvun laskenta ja lämmönkulutuksen jakautuminen. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. 60 s. + 3 liites.

C4 Lämmöneristys. Ohjeet 2003. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Suomen rakentamismääräyskokoelma. 23 s. + 1 liites.

D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Suomen rakentamismääräyskokoelma. 55 s. + 17 liites.

Ebeling. 1963. Lämmitys-, ilmanvaihto- ja saniteettitekniillisiä taulukoita sekä ohjeita. Helsinki, Kustannus-aitta oy. 563 s.

Energiateollisuus. [WWW]. [Viitattu 12.9.2011]. Saatavissa: [http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/kaukolampo/kirjasto/julkaisu\\_t/liitteet/julkaisuk1\\_03\\_04072007.pdf](http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/kaukolampo/kirjasto/julkaisu_t/liitteet/julkaisuk1_03_04072007.pdf)

Energiatodistusopas 2007. 2009. Rakennuksen energiatodistus ja energiatehokkuusluvun määrittäminen. Ympäristöministeriö. 37 s. + 110 liites.

EPS Rakennuseristeteollisuus. Energiatehokkuus. [WWW]. [Viitattu 1.9.2011]. Saatavissa: [eriste.fi/fin/energiatehokkuus/energiatehokkuuden\\_perusteet/peruskorjaus/](http://eriste.fi/fin/energiatehokkuus/energiatehokkuuden_perusteet/peruskorjaus/)

Fenestra. [WWW]. [Viitattu 12.9.2011]. Saatavissa: [http://www.fenestra.fi/portal/suomi/palvelut/palvelut\\_suunnittelijalle/energiatekniset\\_ominaisuudet/parvekeovien\\_u-arvot/](http://www.fenestra.fi/portal/suomi/palvelut/palvelut_suunnittelijalle/energiatekniset_ominaisuudet/parvekeovien_u-arvot/)

Haalahti, P., Haakana, M., Rejström, L-O. 1989. Asuinrakennusten energiansäästökorjausten kannattavuus: kenttäseurannan tulokset. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 940. 54 s. + liitt. 5 s.

Hagan. H. 1996. Lähiökorjaamisen arkkitehtuuriset vaikutukset. Helsinki, Ympäristöministeriö. 112 s.

Hallittu putkiremontti. 2008. Helsinki, Rakennustieto oy. 193 s.

Haukijärvi. M. JUKO-Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi, korjaustapakuvaukset, ikkunarakenteet –yleiskuvaukset. 2005. [WWW]. Tampereen teknillinen yliopisto, talonrakennustekniikka. [Viitattu 12.9.2011]. Saatavissa: [http://www.tut.fi/units/rak/rtek/tutkimus/juko/JUKO\\_pdf\\_web/Korjaustavat/Ikkunat/Ikkunat\\_korjaustavat.pdf](http://www.tut.fi/units/rak/rtek/tutkimus/juko/JUKO_pdf_web/Korjaustavat/Ikkunat/Ikkunat_korjaustavat.pdf)

Heimonen, I., Hemmilä, K. 2006. Tuloilmaikkunan energiatehokkuus. Espoo, VTT Tiedotteita 2329. 110 s. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2329.pdf>

Heimonen. I., Junnonen. J-M., Pulakka. S., Vuolle. M. 2007. Talotekniikan elinkaarikustannukset. Espoo, VTT Tiedotteita 2409. 66 s. [WWW]. [Viitattu 21.10.2011]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2409.pdf>

- Hemmilä, K. 1992. Ikkunan lämmöneristävyuden parantaminen. ETRR-Raportti 13. 44 s.
- Hilliaho, K. 2010. Parvekelasituksen energiataloudelliset vaikutukset. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. 147 s + 8 liites.
- Huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttö ja vaikutukset rakennusten energiankulutukseen, työryhmämuistio. 2009. [WWW]. Ympäristöministeriö. 17 s. [Viitattu 5.9.2011]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=104742&lan=sv>
- Junnonen, J-M., Lindstedt, T. 2009. Energiatehokkaat ja teolliset korjausrakentamiskorjaukset Suomessa ja kansainvälisesti. Sitran selvityksiä 11.
- Kerrostalot 1880-2000. 2006. Tampere, Rakennustieto Oy. 288 s.
- KH-90-40016. 1997. Tavoitteelliset käyttöiät ja ohjeelliset kunnossapitojaksot, Asuintalon huoltokirja. Rakennustietosäätiö RTS.
- Kiinteistön lämmitys ja ilmanvaihto sekä laitteet. 1960. Helsinki, LVI-Kustannusosakeyhtiö. 260 s.
- KIMU 2010. Kerrostalon ilmastonmuutos – energiatalous ja sisäilmasto kuntoon. Ilmanvaihtojärjestelmien tarkastelu – lisähanke, KIMULI. Loppuraportti. 57 s.
- Kaukolämpöön liitettyjen rakennusten energiankulutus rakennusvuoden mukaan. 2008. Helsinki. Helsingin Energia. Julkaisematon.
- Korjauskortisto, ovien korjaus. Museovirasto. [WWW]. 16 s. [Viitattu 11.9.2011]. Saatavissa: <http://www.nba.fi/tiedostot/d3729398.pdf>
- Korjausrakentamisen strategian toimeenpanosuunnitelma 2009–2017. 2009. Helsinki. Ympäristöministeriö. Raportteja 7/2009. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=100081&lan=fi>
- Kouhia, I., Nieminen, J., Pulakka, S. 2010. Rakennuksen ulkovaipan energiakorjaukset. Espoo, VTT-Tutkimusraportti, VTT-R-04017-10. 43 s. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2010/VTT-R-04017-10.pdf>
- Kuitunen, Jarmo. 2012. Suomen LVI-liiton hallituksen puheenjohtaja, toimitusjohtaja, Insinööritoimisto Jarmo Kuitunen Oy. Puhelinkeskustelu 19.6.2012.
- Köliö, A. 2011. Betonilähiöiden julkisivujen tekninen korjaustarve. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. 74 s. + 34 liites.
- Lahdensivu, J. 2012. Durability properties and actual deterioration of Finnish concrete facades and balconies. Tampere. Tampere University of Technology. Publication 1028. 117 p. + app. 37 p.
- Lahdensivu, J, Varjonen, S, Köliö, A. 2010. BeKo – Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden korjausstrategiat. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, tutkimusraportti 148. 79 s.
- Lahti, P., Nieminen, J., Nikkanen, A., Nummelin, J., Lylykangas, K., Vaattovaara, M., Kortteinen, M., Ratvio, R., Yousfi, S. 2010. Riihimäen Peltosaari, Lähiön ekotehokas uudistaminen. Helsinki, VTT Tiedotteita 2526. 129 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2526.pdf>

Linne, S. 2010. Ulkovaipan lämpötalouteen vaikuttavat korjaustoimenpiteet käytännössä – tutkimuksen toteutus ja aineisto. *Betoni* 1/2010. ss.59-63.

Linne, S. 2012. Ulkovaipan lämpötalouteen vaikuttavat korjaustoimenpiteet käytännössä. Tampere Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. 57 s. + 50 liites.

Lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeet. 1955. Helsinki. 123 s.

Lämmitystarveluvut. Ilmatieteenlaitos. [WWW]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>

Mihin energiaa kuluu, sähkönkulutus. Motiva. [WWW]. [Viitattu 12.9.2011]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/mihin\\_energiaa\\_kuluu/sahkonkulutus](http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/mihin_energiaa_kuluu/sahkonkulutus)

Lämmöntalteenotto poistoilmasta. Tee parannus. [WWW]. [Viitattu 2.9.2011]. Saatavissa: <http://www.teeparannus.fi/parhaatkaytannot/ratkaisuja/hyvakorjaustapa/ilmanvaihto/>

Martinkauppi, K. (toim.) 2010. Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika. Helsinki. Ympäristöministeriö, Sitra ja Tekes. 80 s. + 11 lites.

Mehto. L. Vanhan julkisivuverhouksen korjaus, Betonijulkisivujen korjaus ja pintakäsittely. Julkisivuyhdistys [WWW]. s. 62-67. [Viitattu 1.11.2011]. Saatavissa: [http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari/images/stories/File/JulkkariOpas/julkisivuopas4\\_s62-81.pdf](http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari/images/stories/File/JulkkariOpas/julkisivuopas4_s62-81.pdf)

Mihin energiaa kuluu, sähkönkulutus. Motiva. [WWW]. [Viitattu 12.9.2011]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/mihin\\_energiaa\\_kuluu/sahkonkulutus](http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/mihin_energiaa_kuluu/sahkonkulutus)

Motiva. 2002. Lämmitysverkoston perussäätö säästää rahaa ja luo terveellisen sisäilmaston. Motiva Oy. [www.motiva.fi](http://www.motiva.fi). 12 s. 2.9.2011.

Motiva. 2010. Terveellinen ja taloudellinen sisälämpötila. Motiva Oy. [www.motiva.fi](http://www.motiva.fi). 30.11.2011.

Myyryläinen. L. 2008. Elinkaariajattelu kiinteistönpidossa. [WWW]. 115 s.. [Viitattu 13.10.2011]. Saatavissa: [https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/15522/Vastamaki\\_Ville.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/15522/Vastamaki_Ville.pdf?sequence=1)

Mäkinen, H. 2009. Energiatehokas ikkuna- ja julkisivukorjaus. Suomen talokeskus Oy. Saatavilla: <http://www.teeparannus.fi/attachements/2009-04-22T10-49-599785.pdf>

Mäkinen, H. 2009. Energiatehokas ikkuna- ja julkisivukorjaus. Suomen Talokeskus Oy. [www.teeparannus.fi](http://www.teeparannus.fi). 28.2.2012. 17 s.

Nieminen, J. 2010. INNOVA, Kerrostalosta passiivitaloksi. VTT. 22 s. [Viitattu 29.8.2011]. Saatavissa: [http://parocfi.virtual35.nebula.fi/innova/assets/pdf/Innova\\_tietopaketti.pdf](http://parocfi.virtual35.nebula.fi/innova/assets/pdf/Innova_tietopaketti.pdf)

Pallari, M-L., Heikkinen, J., Gabrielsson, J., Matilainen, V. ja Reisbacka, A. 1995. Kerrostalojen ilmanvaihdon korjausratkaisut. Espoo, VTT Tiedotteita 1654. 107 s.

Palonen, J. 2011. Kerrostalon ilmastonmuutos (KIMU) Talotekniikkajärjestelmät. Aalto-yliopiston Teknillinen korkeakoulu Energiatekniikan laitos. [WWW]. [Viitattu 13.9.2011]. Saatavissa: <http://www.teeparannus.fi/attachements/2011-05-25T11-37-4114846.pdf>

Putkiremonttien hinnat nousseet rajusti Helsingissä. 2011. Taloussanomat 16.11.2011.

Rakennusten energiankulutuksen seuranta [WWW]. Motiva. [Viitattu 16.11.2011].  
Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/2070/Lammitystarve\\_2005\\_0607\\_high.pdf](http://www.motiva.fi/files/2070/Lammitystarve_2005_0607_high.pdf)

Rakennusten lämmitysjärjestelmät. 2007. Helsinki, Rakennustietosäätiö RTS. 200 s.

Rakennusteollisuus RT. 2012. Korjaus- ja uudisrakentamisen arvon kehitys.  
[www.rakennusteollisuus.fi](http://www.rakennusteollisuus.fi).

Rejström, L-O., Blomberg, U. 1986. Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus  
asuinrakennuksissa. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tiedotteita 583. 89 s. + liitt.  
22 s.

RIL 249-2009 Matalaenergiarakentaminen, asuinrakennukset. 2009. Suomen  
Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 291 s.

RS Partners, Therecon. Lämmöntalteenoton saneeraus. [WWW]. [viitattu 4.9.2011].  
Saatavissa: <http://www.thereco.fi/component/content/article/1/8-laemmoen-talteenotto>

RT-Ympäristöseloste. Rakennustietosäätiö. [WWW]. [Viitattu 10.9.2011]. Saatavissa:  
<http://www.rts.fi/ymparistoseloste/index.htm>

Ruuska. J. 2007. Julkisivujen korjaustarpeet, Ikkunat. Julkisivuyhdistys [WWW]. s. 36-39.  
[Viitattu 1.11.2011]. Saatavissa:  
[http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari/images/stories/File/JulkkariOpas/julkisivuopas2\\_s14-42.pdf](http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari/images/stories/File/JulkkariOpas/julkisivuopas2_s14-42.pdf)

Ruuska. J. Vanhan julkisivuverhouksen korjaus, Ikkunakorjaukset. Julkisivuyhdistys [WWW].  
s. 78-81. [Viitattu 1.11.2011]. Saatavissa:  
[http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari/images/stories/File/JulkkariOpas/julkisivuopas4\\_s62-81.pdf](http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari/images/stories/File/JulkkariOpas/julkisivuopas4_s62-81.pdf)

Saarni, R. 1996. Ikkunoiden energiatalous. Lisentiaatintutkimus. Tampere, Tampereen  
teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan osasto, Rakentamistalous. 55s. +10 liites.

Seppänen, M., Seppänen, O. 1997. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Helsinki,  
Sisäilmayhdistys ry. 279 s.

Sistonen, E., Al-Neshawy, F., Piironen, J., Puttonen, J. 2007.  
Korjaustoimenpiteiden vaikutukset betonijulkisivujen käyttöikään. Elektroninen julkaisu.  
[Viitattu 1.9.2011]. Saatavissa: <http://www.tkk.fi/Yksikot/Talo/publication/Julkaisu131.pdf>

Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, Ympäristöministeriö, Rakennusten  
energiatoteutus, Määräykset ja ohjeet 2012.

Säteri, J., Kovanen, K., Pallari, M-L. 1999. Kerrostalojen sisäilmaston ja energiatalouden  
parantaminen [verkkojulkaisu]. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, rakennustekniikka.  
82 s. + liitt. 2 s. [www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1945.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1945.pdf). 9.2.2010

Taivalantti, K. 1997. Julkisivurakenteiden perusparantamisen vaikutukset  
energiankulutukseen. Tampere. Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakentamistalous. 121  
s. + liitt. 37 s.

Taloyhtio.net. Lämmitys, Lämmitysverkoston elinkaaret. [WWW]. [Viitattu 3.9.2011].  
Saatavissa:  
<http://www.taloyhtio.net/talotekniikka/lammitys/jarjestelmienelinkaaret/default.html>

Taloyhtio.net. Lämmitys, Lämmönjakokeskus ja kaukolämpö. [WWW]. [Viitattu 21.10.2011]. Saatavissa: <http://www.taloyhtio.net/talotekniikka/lammitys/lammonjakokeskus/default.html>

Tilastokeskus 2009. [www.tilastokeskus.fi](http://www.tilastokeskus.fi). 22.12.2009.

Uotila, U. 2012. Korjaustoimien vaikutukset lähiökerrostalon todelliseen energiankulutukseen. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. 92 s.

Vainio T., Lehtinen E., Nuutila H. 2005. Julkisivujen uudis- ja korjausrakentaminen. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Tampere, 2005. 39 s. Julkaisematon.

Valtionvarainministeriö. 2009. Valtiokonttorin ehdotus tilinpäätökseksi varainhoitovuodelta 2007. [www.valtiokonttori.fi](http://www.valtiokonttori.fi).

Vesikatto ja yläpohja. 2008. [WWW]. Sisäilmayhdistys ry 2008. [Viitattu 29.8.2011]. Saatavissa: [http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/kunnossapito\\_ja\\_korjaaminen/vesikatto\\_ja\\_ylapohja/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kunnossapito_ja_korjaaminen/vesikatto_ja_ylapohja/)

Virta, J. Energiatohokkuuden parantaminen taloyhtiössä, Kiinteistöilta. 2011. Oulu. Kiinteistöliitto [WWW]. [Viitattu 15.10.2011]. Saatavissa: <http://www.kiinteistoyhdistysoulu.fi/sivut/wp-content/uploads/jari-virta-313-2011.pdf>

WebDia-palvelu. Kaukolämpö. [WWW]. [Viitattu 29.10.2011]. Saatavissa: <http://www.rte.vtt.fi/webdia/kaukolampo/opastus/faq.asp?Viite1=KF1>

Ympäristöministeriö. 2007. Korjausrakentamisen strategia 2007-2017. Helsinki. Ympäristöministeriö. 48 s.

Ympäristöministeriö, alueellista ympäristötietoa, Pirkanmaa. Veden saanti. [WWW]. [Viitattu 12.10.2011]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=146548&lan=fi>

**Talonrakennustekniikan tutkimusraportit v. 1998 – 2012**

- 158 Boström, S., Uotila, U., Linne, S., Hilliaho, K., Lahdensivu, J., Erilaisten korjaustoimien vaikutuksia lähiökerrostalojen todelliseen energiankulutukseen. TTY 2012. 77 s. 34€
- 157 Bzdawka, K., Optimization of Planar Tubular Truss with Eccentric Joint Modeling. TUT 2012. 29 p. + 1 app. 34 €.
- 156 Ronni, H. & Heinisuo, M., Test Report, End Plate Joints of Steel Tubes, Biaxial Bending in Fire. TUT 2011. 34 p. + 5 app. 34 €. (in Finnish)
- 155 Perttola, H., Heinisuo, M., Test Report, End Plate Joints of Steel Tubes, Biaxial and Weak Axis Bending. TUT 2011. p. + 58 app. 17. 34 €.
- 151 Salminen, M., Shear Buckling Resistance of Thin Metal Plate at Non-Uniform Elevated Temperatures. TUT 2010. 107 p. + 25 app. 34 €
- 150 Piironen, J., Vinha, J., Vakiotehoisen kuivanapitolämmityksen vaikutus hirsimökkien lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. TTY 2010. 79 s. + 16 liites. 34 €
- 149 Ronni, H., Heinisuo, M., Test Report, End Plate Joints of Steel Tubes, Strong Axis Bending. TUT 2010. 33 p. + 19 app. 34 €.
- 148 Lahdensivu, J., Varjonen, S., Köliö, A., Betonijulkisivujen korjausstrategiat. TTY 2010. 79 s. 34 €.
- 147 Bzdawka, K., Composite column – calculation examples. TUT 2010. 54 p. 34 €
- 146 Bzdawka, K., Optimisation of a steel frame building. TUT 2009. 104 p. + 38 app. 34 €
- 145 Leivo, V., Ohje uimahallien ja kylpylöiden lattioiden liukkauden ehkäisemiseen. TTY 2009. 20 s.
- 144 Leivo, V., Uimahallien laattalattioiden liukkaus. TTY 2009. 51 s. + 7 liites.
- 143 Vinha, J., Viitanen, H., Lähdesmäki, K., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Salminen, K., Paajanen, L., Strander, T. & Iitti, H. Rakennusmateriaalien ja rakenteiden homehtumisriskin laskennallinen arviointi. TTY 2009. xx s. + 2 liites. 42 €
- 142 Rauhala, J., Kylliäinen, M., Eristerapatun betoniseinän ilmäänen eristävyys. TTY 2009. 119 s. + 83 liites. 42 €.
- 141 Aho, H., Korpi, M. (toim.) Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. TTY 2009. 100 s. 42 €.
- 140 Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Aho, H., Salminen, M., Salminen, K., Keto, M. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. TTY 2009. 148 s. + 19 liites. 42 €.
- 139 Leivo, V., Rantala, J., Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus. TTY 2006. 57 s. + 55 liites. 34 €.
- 138 Heinisuo, M., Aalto, A., Stiffening of Steel Skeletons Using Diaphragms. TUT 2006. 31 p. 7 app. 34 €.
- 137 Kylliäinen, M., Talonrakentamisen akustiikka. TTY 2006. 205 s. 42 €.
- 136 Varjonen, S., Mattila, J., Lahdensivu, J. & Pentti, M., Conservation and Maintenance of Concrete Facades Technical Possibilities and Restrictions. TUT 2006. 29 p.
- 135 Heinisuo, M., Ylihärsilä, H., All metal structures at elevated temperatures. TUT 2006. 54 p. + 37 app. 34 €.
- 134 Aho, H., Inha, T., Pentti, M., Paloturvallinen rakentaminen EPS-eristeillä. TTY 2006. 106 s. + 38 liites. 42 €.
- 133 Haukijärvi, M., Varjonen, S., Pentti, M., Julkisivukorjausten turvallisuus. TTY 2006. 25 s. + 111 liites.
- 132 Heinisuo, M., Kukkonen, J., Design of Cold-Formed Members Following New EN 1993-1-3. TUT 2005. 41 p. 34 €.
- 131 Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Valovirta, I., Mikkilä, A., Jokisalo, J., Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiveys. TTY 2005. 102 s. + 10 liites. 42 €.



- 130 Vinha, J., Käkelä, P., Kalamees, T., Valovirta, I. Puurunkoisten ulkoseinärakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta diffuusion kannalta tarkasteltuna. 42 € (julkaistaan lähiaikoina)
- 129 Vinha, J., Valovirta, I., Korpi, M., Mikkilä, A., Käkelä, P. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. TTY 2005. 101 s. + 211 liites. 42 €.
- 128 Leivo, V., Rantala, J., Lattialämmitetyn alapohjarakenteen rakennusfysikaalinen toiminta. TTY 2005. 140 s. 34 €.
- 127 Lahdensivu, J., Luonnonkiviverhottujen massiivitiiliseinien vaurioituminen ja korjausperiaatteet. TTY 2003. 156 s. + 9 liites. 34 €.
- 126 Leivo, V., Hirsirakennuksen yläpohjan tiiviys – vaikutus lämpöenergiankulutukseen. TTY 2003. 63 s.
- 125 Kylliäinen, M., Uncertainty of impact sound insulation measurements in field. TUT 2003. 63 p. + 50 app. 34 €.
- 124 Myllylä, P., Lod, T. (toim.), Pitkäikäinen puurakenteinen halli, toimiva kosteustekniikka ja edullinen elinkaari. TTY 2003. 143 s. + 6 liites. 34 €.
- 123 Mattila, J., Pentti, M., Suojaustoimien tehokkuus suomalaisissa betonijulkisivuissa ja parvekkeissa. TTY 2004. 69 s. 42 €.
- 122 Leivo, V., Rantala, J., Moisture Behavior of Slab-on-Ground Structures. TUT 2003. 100 p. + 12 app. 34 €.
- 121 Leivo, V., Rantala, J., Maanvastaiset alapohjarakenteet – kosteustekninen mitoittaminen ja korjaaminen. TTKK 2002. 33 s. + 11 liites.
- 120 Leivo, V., Rantala, J., Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. TTKK 2003. 106 s. + 13 liites. 34 €.
- 119 Lindberg, R., Wahlman, J., Suonketo, J., Paukku, E., Kosteusvirtatutkimus. TTKK 2002. 92 s. + 3 liites. 34 €.
- 118 Hietala, J., Kelluvan betonilattian kaareutuminen, osa II. TTY 2003. 58 s. + 12 liites. 30 €.
- 117 Vinha, J., Käkelä, P., Kalamees, T., Comparison of the Moisture Behaviour of Timber-Framed Wall Structures in a One-Family House. 34 € (julkaistaan lähiaikoina)
- 116 Vinha, J., Käkelä, P., Kalamees, T., Puurunkoisten seinärakenteiden kosteusteknisen toiminnan vertailu omakotitalossa. TTKK 2002. 54 s. + 11 liites. 34 €.
- 115 Junttila, T., Venäjän rakennusalan säädöstö ja viranomaishallinto, osa I ja II TTKK 2001. 97 s. 34 €
- 114 Junttila, T., (toim.) Venäjän rakennusalan tuotekortit. TTKK 2001. 63 s. 34 €
- 113 Junttila, T., Lod, T., Aro, J., Rakennusinvestointihankkeen toteuttaminen Moskovassa. TTKK 2001. 112 s. + 11 liites. 34 €
- 112 Junttila, T., (toim.), Venäjän rakentamisen oppikirja. Osa B: Talonrakennustekniikka. TTKK 2001. 174 s. 34 €
- 111 Junttila, T., (toim.) Venäjän rakentamisen oppikirja. Osa A: Liiketoimintaympäristö ja rakennushankkeen johtaminen. TTKK 2001. 173 s. + 21 liites. 34 €
- 110 Юнттила, Т. (под ред.), Управление недвижимостью в России. Теория и практические примеры. Технический университет Тампере 2001. 356 стр. + приложения на 33 стр. 34 €
- 109 Junttila, T., (toim.) Kiinteistöjohtaminen Suomessa ja Venäjällä. Edellytykset kiinteistöalan yhteistyölle. TTKK 2001. 293 s. + 54 liites. 34 €
- 108 Hietala, J., Kelluvan betonilattian kaareutuminen. TTKK 2001. 80 s. + 7 liites. 34 €
- 107 Binamu, A., Lindberg, R., The Impact of Air Tightness of The Building Envelope on The Efficiency of Ventilation Systems with Heat Recovery. TTKK 2001. 62 p. + 7 app., 25 €
- 106 Leivo, V., Rantala, J., Maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytyminen. TTKK 2000. 124 s. 34 €
- 105 Junttila, T. (toim.), Venäjän federaation kaavoitus- ja rakennuslaki. TTKK 2000. 49 s. 34 €
- 104 Niemelä, T., Vinha, J., Lindberg, R., Carbon Dioxide Permeability of Cellulose-Insulated Wall Structures. TUT 2000. 46 p. + 9 app. 25 €





- 103 Vinha, J., Käkelä, P., Water Vapour Transmission in Wall Structures Due to Diffusion and Convection. TUT 1999. 110 s. 34 €
- 102 Suonketo, J., Pessi, A-M., Pentti, M.,
- 101 Pessi, A-M., Suonketo, J., Pentti, M., Raunio-Lehtimäki, A. Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. TTKK. 1999. 88 s. + 6 liites. 42 €
- 100 Pentti, M., Haukijärvi, M., Betonijulkisivujen saumausten suunnittelu ja laadunvarmistus. TTKK 2000. 2. täydennetty painos. 78 s. + 3 liites. 42 €
- 99 Torikka, K., Hyypöläinen, T., Mattila, J., Lindberg, R., Kosteusvauriokorjausten laadunvarmistus. TTKK 1999. 106 s. + 37 liites. 34 €
- 98 Mattila, J., Peuhkurinen, T., Lähiökerrostalon lisärakentamishankkeen tekninen esiselvitysmenettely. Korjaus- ja LVIS-tekninen osuus. TTKK 1999. 48 s.
- 97 Kylliäinen, M., Keronen, A., Lisärakentamisen rakennetekniset mahdollisuudet lähiöiden asuinkerrostaloissa. TTKK 1999. 59 s. + 37 liites. 34 €
- 96 Vinha, J., Käkelä, P., Vesihöyryn siirtyminen seinärakenteissa diffuusion ja konvektion vaikutuksesta. TTKK 2001. 3 painos. 81 s. + 29 liites. 34 €
- 95 Leivo, V. (toim.), Opas kosteusongelmiin – rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. TTKK 1998. 157 s. 25 €
- 94 Pentti, M., Hyypöläinen, T., Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. TTKK 1999. 150 s. + 40 liites. 42 €
- 93 Lepo, K., Laatuajrjestelmän kelpoisuus. TTKK 1998. 101 s. + 50 liites.
- 92 Berg, Malinen, P., Leivo, V., Internal Monitoring of The Technology Programme for Improving Product Development Efficiency in Manufacturing Industries – Rapid Programme. TUT 1998. 81 s. + 93 liites.
- 91 Berg, P., Salminen, K., Leivo, V., Nopeat tuotantojärjestelmät teknologiaohjelman painoalueet vuosille 1998-2000 sekä ohjelman arviointi- ja ohjaussuunnitelma. TTKK 1998. 55 s. + 37 liites.
- 90 Lindberg, R., Keränen, H., Teikari, M., Ulkoseinärakenteen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen. TTKK 1998. 34 s. + 26 liites.
- 89 Pentti, M., Huttunen, I., Vepsäläinen, K., Olenius, K., Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus. Osa III Korjaushanke. TTKK 1998. 124 s. + 23 liites. 42 €

**Tutkimusraportin hinta: 20 €, ellei toisin ole mainittu. Oikeus hinnanmuutoksiin pidätetään. Hintoihin lisätään alv 9 %.**

**Myynti: Juvenes Teknillisen Yliopiston Kirjakauppa, TTY:n  
Rakennustalo, Korkeakoulunkatu 5, 33720 Tampere, Puh. 0207 600 394  
[tty.kampuskauppa@juvenes.fi](mailto:tty.kampuskauppa@juvenes.fi) tai TTY-Säätiö, Terttu Mäkipää, [terttu.makipaa@tut.fi](mailto:terttu.makipaa@tut.fi)**

Tampereen teknillinen yliopisto  
PL 527  
33101 Tampere

Tampere University of Technology  
P.O.B. 527  
FI-33101 Tampere, Finland