Ari Matilainen

# POISTOILMALÄMPÖPUMPUN HYÖDYNTÄMINEN VANHASSA KERROSTALOSSA

Opinnäytetyö
Talotekniikan koulutusohjelma

Toukokuu 2013

MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU
Mikkeli University of Applied Sciences

# KUVAILULEHTI

| | |
|---|---|
| MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU<br>Mikkeli University of Applied Sciences | **Opinnäytetyön päivämäärä**<br>8.5.2013 |
| **Tekijä(t)**<br>Ari Matilainen | **Koulutusohjelma ja suuntautuminen**<br>Talotekniikan koulutusohjelma |

**Nimeke**

Poistoilmalämpöpumpun hyödyntäminen vanhassa kerrostalossa

**Tiivistelmä**


Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää poistoilmalämpöpumpun (PILP) käytön soveltuvuutta, energiatehokkuutta ja kannattavuutta vanhassa asuinkerrostalossa. Tutkimuskohteena oli Vantaalla sijaitseva, vuonna 1978 rakennettu 89 asuntoa käsittävä kerrostalo, jonne on asennettu vuoden 2011 loppupuolella poistoilmalämpöpumppulaitteisto. Poistoilmalämpöpumppulaitteistolla tuotettua lämpöenergiaa käytetään sekä rakennuksen käyttöveden että tilojen lämmitykseen. Tutkimusta varten selvitettiin mm. PILP-laitteiston toimintaa, mitoitusta, kustannuksia sekä rakennuksen veden- ja energiankulutustietoja ennen ja jälkeen PILP-laitteiston käyttöönottoa. Tulosten perusteella arvioitiin saavutettua energiansäästöä sekä kustannussäästöjä, laitteiston käytöllä saavutettuja vaikutuksia ympäristönäkökulmasta sekä muita laitteiston hyödyntämiseen liittyviä tekijöitä.

Tulosten perusteella PILP-laitteistolla on pystytty tuottamaan vuoden 2012 aikana noin 450 MWh lämpöenergiaa, mikä on noin 58 % rakennuksen vuotuisesta lämpöenergian kokonaiskulutuksesta. Laitteistoinvestointi on tehtyjen laskelmien mukaan kannattavaa laitteiston oletetulla 20 vuoden käyttöajalla, vuoden 2013 energian hinnoilla ja 3 prosentin korkokannalla. Vuotuinen kustannussäästö pelkkään kaukolämmön käyttöön verrattuna on noin 2 000 € vuodessa. Mahdollisesti saatava energia-avustus ja kaukolämmön tilaustehon alentaminen lisäisivät vielä merkittävästi investoinnin kannattavuutta. Esim. 15 % energia-avustus laitteistoinvestointiin sekä 90 kW:n kaukolämmön tilaustehon alentaminen kasvattaisivat vuotuisen kustannussäästön noin 5 000 euroon.

Pilot-kohteen tulosten perusteella näyttäisi olevan mahdollista käyttää patterilämmityksessä huomattavasti alhaisempia menoveden lämpötilatasoja kuin mitä alun perin rakennukseen on suunniteltu. Tällöin PILP-laitteistoa pystytään hyödyntämään tehokkaasti myös talviaikaan, jolloin kaukolämmön hinnat ja PILP-laitteistolla saavutettava hyöty ovat korkeimmillaan. Myös ympäristönäkökulmasta PILP-laitteiston käytöllä voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä primäärienergiankulutuksen ja fossiilisten $CO_2$-päästöjen vähetessä: Pilot-kohteen tapauksessa saavutettava todellinen hyöty on merkittävästi suurempi, kuin mitä pelkästään kaukolämmön ja sähkön kulutustietojen sekä E-luvun laskennan mukaisilla kertoimilla laskettaessa saadaan.



**Asiasanat (avainsanat)**

Lämpöpumput, kerrostalot, energiankulutus, energian säästö, kannattavuus


| **Sivumäärä** | **Kieli** | **URN** |
|---|---|---|
| 92 + 6 | Suomi | |

**Huomautus (huomautukset liitteistä)**

| | |
|---|---|
| **Ohjaavan opettajan nimi**<br>Martti Veuro | **Opinnäytetyön toimeksiantaja**<br>YIT Kiinteistötekniikka Oy |

# DESCRIPTION

| | |
|---|---|
| MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU<br>Mikkeli University of Applied Sciences | **Date of the bachelor's thesis**<br>8.5.2013 |
| **Author(s)**<br>Ari Matilainen | **Degree programme and option**<br>Building services engineering |

**Name of the bachelor's thesis**

Utilization of exhaust air heat pump on renovation of an old multi-storey building


**Abstract**

The aim of this study was to find out the suitability of exhaust air heat pumps on renovation of an old multi-storey building. The object of investigations was an old multi-storey building with 89 flats in Vantaa. An exhaust air heat pump system was installed to the building in the end of year 2011. The heat pumps system is used for heating of service water and spaces of the building together with an old district heat system. It was estimated energy savings, cost savings and the achieved effects on environment perspective which were achieved by the use of exhaust heat pump system.

It was seen that heat pump system was able to produce almost 450 MWh of heat energy during the year 2012. This is about 58 % of annual heating energy usage of the building. The investment of pump system is profitable when using 20 years as a life time of the system and interest rate is 3 %. It is possible to achieve about 2 000 euros cost savings by using heat pump system compared to use of district heat only as it was made earlier. If it`s possible to get some subvention for the investment or to lower the contacted capacity of district heating it would be even more profitable. In this case it`s possible that the annual cost savings could be about 5 000 € or even more.

In Vantaa the price of district heat is highest in the winter time. It was found that when lowering the temperatures of heating water of radiators, it was possible to use heat pump system as full capacity during the coldest winter times. This shows very important role on profitability of use of heat pump system. In summer time energy consumption is much lower and the price of district heat is lower too. So it is impossible to get significant cost savings in summer time. The calculations showed that the use of heat pump system lowered both the primary energy consumption and especially the emissions of the fossil carbon dioxide.



**Subject headings, (keywords)**

Heat pump, multi-story building, energy consumption, energy saving, profitability


| **Pages** | **Language** | **URN** |
|---|---|---|
| 92 + 6 | Finnish | |

**Remarks, notes on appendices**

| | |
|---|---|
| **Tutor**<br>Martti Veuro | **Bachelor's thesis assigned by**<br>YIT Kiinteistötekniikka Oy |

**SISÄLTÖ**

1 JOHDANTO ..... 1

2 ENERGIAKULUTUS JA RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUS SUOMESSA ..... 2

2.1 Nykytilanne ..... 2

2.2 Suomen ilmastopolitiikka, tavoitteet ja toimenpiteet ..... 7

2.3 Suomen toinen kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma ..... 9

3 KERROSTALOT SUOMESSA JA NIIDEN IV- SEKÄ LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT JA ENERGIANKULUTUS ..... 11

3.1 1940 – 1960 – lukujen kerrostalot ..... 11

3.2 Vuosien 1960 – 1975 kerrostalot ..... 12

3.3 Vuosien 1975 – 2000 kerrostalot ..... 14

4 KIINTEISTÖN LÄMMITYSENERGIAN KULUTUKSEN MUODOSTUMINEN JA ENERGIANKULUTUS ERI AIKAKAUDEN KERROSTALOISSA ..... 17

5 KERROSTALOJEN KORJAUSRAKENTAMINEN ..... 21

5.1 Yleistä ..... 21

5.2 Korjaustoimenpiteiden säästöpotentiaali ja vaikutukset ..... 22

6 LÄMPÖPUMPUT ..... 25

6.1 Yleistä ..... 25

6.2 Määrä Suomessa ..... 28

7 POISTOILMALÄMPÖPUMPPU ..... 30

7.1 Toimintaperiaate ja käyttö asuinrakennuksissa ..... 30

7.2 Käyttö asuinkerrostaloissa Suomessa ja saavutettu hyöty ..... 34

7.2.1 Esimerkkikohde 1: Therecon laitteisto ..... 34

7.2.2 Esimerkkikohde 2: Naavatar-konsepti ..... 35

7.2.3 Muita esimerkkejä ..... 37

8 MÄÄRÄYKSET JA OHJEET LIITTYEN RAKENNUSTEN ENERGIAN-KULUTUKSEEN, ENERGIATEHOKKUUTEEN YMS. ..... 37

8.1 Lainsäädännöstä ja sen kehityksestä ..... 37

8.2 Rakennusten energiatehokkuus ja rakennusten E-luku (D3 – 2012) ..... 38

8.3 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta (D5) 41

8.4 Rakentamismääräyskokoelman ohjeen, D5 2012 mukainen lämpöpumppujen energialaskenta ... 42
8.4.1 Yleistä ... 42
8.4.2 Yksinkertaisen laskentamenetelmä ... 43
8.4.3 Yksityiskohtainen laskentamenetelmä ... 46
8.5 Korjausrakentamista koskevat energiamääräykset ... 47
8.6 Energia-avustukset ... 48
9 PILOT- KOHTEEN RAKENNUKSEN KUVAUS ... 48
10 PILOT-KOHTEEN POISTOILMALÄMPÖPUMPPULAITTEISTO ... 49
11 PILOT-KOHTEEN ENERGIANKULUTUS ... 52
11.1 Energian kulutuksen mittaukset ... 52
11.2 Vuosien 2011 ja 2012 energiankulutustietojen vertailu ... 54
11.3 PILP-laitteiston käyttöönoton vaikutukset energiankulutukseen ... 57
11.3.1 PILP-laitteistolla tuotettu lämpöenergia ... 57
11.3.2 PILP-laitteiston lämmöntuotannon hyötysuhde ... 67
11.3.3 PILP-laitteiston käyttöönoton vaikutus kaukolämmön tehontarpeeseen ... 70
11.4 PILP-laitteistolla tuotetun lämpöenergian osuus verrattuna laskentaoppaan mukaisen laskennan tuloksiin ... 72
12 PILP-LAITTEISTON AVULLA SAAVUTETUT KUSTANNUSSÄÄSTÖT JA INVESTOINNIN KANNATTAVUUS PILOT-KOHTEESSA ... 73
12.1 Yleistä ... 73
12.2 Investointikustannukset ... 73
12.3 Käyttökustannukset ... 74
12.3.1 Kaukolämpö ... 74
12.3.2 Sähkö ... 75
12.3.3 Huoltokustannukset ... 75
12.4 Kustannussäästöt ja investoinnin takaisinmaksuaika ... 75
13 PILP-LAITTEISTON KÄYTTÖÖNOTON VAIKUTUKSET YMPÄRISTÖNÄKÖKULMASTA ... 82
13.1 Kokonaisenergiankulutus / E-luku ... 82
13.2 Hiilidioksidipäästöt ... 83
14 TULOSTEN YHTEENVETO JA TOIMENPIDESUOSITUKSET ... 85

LÄHTEET ..... 91

LIITTEET

1 Vantaan Energian kaukolämpöhinnastot
2 Lämmitysenergian kulutuksen muutokset ja kustannussäästöt

# 1 JOHDANTO

Rakennuksissa käytettävän ja rakentamiseen kuluvan energian osuus energian loppukäytöstä on Suomessa yli 40 %, ja sen osuus myös kasvihuonekaasupäästöistä on lähes 40 %. Rakennusmääräyskokoelman nykyiset rakennusten energiatehokkuusvaatimukset koskevat vain uusia rakennuksia, joskin kesäkuussa 2013 voimaan astuu vanhoja rakennuksia koskeva ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Suomessa on runsaasti vanhaa rakennuskantaa, mm. asuinkerrostaloja, joiden lämpöenergian ominaiskulutus on varsin korkea ja joiden energiatehokkuutta parantamalla voitaisiin vähentää rakennusten käytön aiheuttamaa lämpöenergian kulutusta varsin merkittävästi.

1960- ja 1970-lukujen kerrostalolähiöt syntyivät osana suomalaisen yhteiskunnan suurta rakennemuutosta. Väestön muutto maaseudulta keskuksiin edellytti kiivasta rakennustahtia. Erityisen vilkasta kerrostalorakentaminen oli 1970-luvun alkupuoliskolla. Kaikkien aikojen ennätys saavutettiin vuonna 1974, jolloin maahamme valmistui yhteensä 46 200 kerrostaloasuntoa, joka vastasi 2/3 valmistuneiden asuntojen määrästä.

Yksi potentiaalinen keino rakennusten energiatehokkuuden parantamiseksi ja energian säästämiseksi on lämpöpumppujen hyödyntäminen. Suomessa pääpaino lämpöpumppujen hyödyntämisessä on ollut maalämpö- ja ilmalämpöpumpuissa. Poistolämpöpumppujen hyödyntäminen on sen sijaan ollut varsin vähäistä. Esim. vuonna 2011 poistoilmalämpöpumppuja (PILP) myytiin Suomessa noin 1650 kappaletta, mikä on vain reilut kaksi prosenttia lämpöpumppujen kokonaismyynnistä, joka oli yli 70 000 kpl. Lisäksi poistoilmalämpöpumppujen myyntimäärä laski vuonna 2011 yli 20 % vuoteen 2010 verrattuna, kun lämpöpumppujen myyntimäärä kasvoi kokonaisuudessaan 10 %.

Poistoilmalämpöpumpuilla voidaan kuitenkin osaltaan alentaa rakennusten lämmitysenergian kulutusta ja lämmityskustannuksia pientalojen lisäksi myös asuinkerrostaloissa, joiden ilmanvaihto perustuu koneelliseen poistoon eli pääosin 60-, 70- ja 80-luvulla rakennettuihin kerrostaloihin. Samalla on mahdollista alentaa myös lämmitysenergian kulutuksen aiheuttamia päästöjä, esim. fossiilisen hiilidioksidin päästöjä.

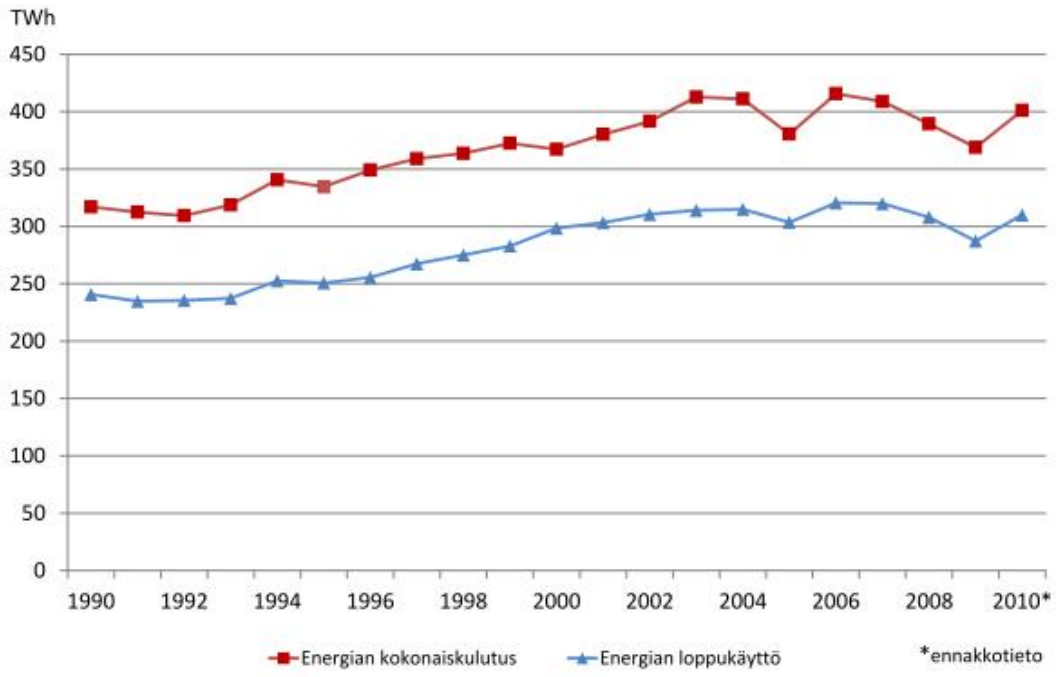
Tämän työn tavoitteena on selvittää ja arvioida poistoilmalämpöpumpun soveltuvuutta ja hyödyntämismahdollisuuksia vanhan kerrostalon energiatehokkuuden parantamiseksi sekä PILP-laitteiston käytön kannattavuutta. Selvityksen tulokset perustuvat pääosin Helsingin seudun opiskelija-asuntosäätiön (HOAS) Vantaan Koivukylässä sijaitsevan opiskelija-asunnon tietoihin ja energiankulutuksen seurantaan vuodelta 2012. Tähän, vuonna 1978 rakennettuun, 89 huoneistoa käsittävään, kaukolämpökäytössä olleeseen asuinkerrostaloon on vuoden 2011 lopussa asennettu poistoilmalämpöpumppulaitteisto. YIT on vastannut lämpöpumppulaitteiston ja sen oheislaitteiden toimittamisesta ja asentamisesta sekä vastaa laitteiston toiminnasta pilot-kohteessa.

# 2 ENERGIAKULUTUS JA RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUS SUOMESSA

## 2.1 Nykytilanne

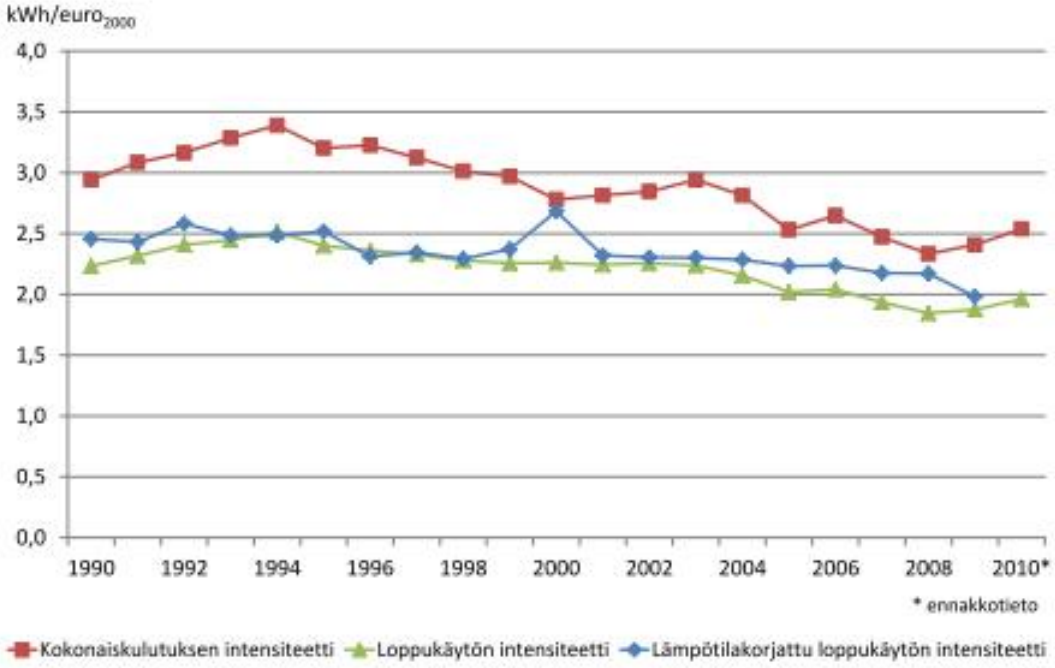
Suomen energian kokonaiskulutus oli vuoden 2010 ennakkotiedon mukaan 401 TWh ja loppukäyttö 310 TWh. Energian kokonaiskulutus ja loppukäyttö laskivat hieman 1990-luvun alun laman aikana, mutta kasvoivat sen jälkeen tasaisesti vuoteen 2003 saakka. Vuoden 2005 tiedoissa näkyy metsäteollisuuden pitkä työselkkaus. Jaksolla 2006–2009 energian kokonaiskulutus ja loppukäyttö laskivat selkeästi. Vuosien 2008 ja 2009 energiakulutuksessa näkyy kansainvälisen talouskriisin vaikutus, joka vaikutti erityisesti energiavaltaisten teollisuusalojen tuotantoon. Vuonna 2008 kulutusta laski myös poikkeuksellisen leuto talvi. Vuoden 2010 ennakkotietojen mukaan energian kokonaiskulutus kasvoi 9 % edelliseen vuoteen verrattuna. Pääsyyt tähän kasvuun olivat talouden elpymistä seurannut teollisuustuotannon kasvu ja kylmä talvi. Vaikka jaksolla 2003–2010 on selkeitä normaalia alhaisempaan energian kokonaiskulutuksen tasoon johtaneita syitä, voi koko jaksoa 1990–2010 tarkasteltaessa todeta, että pitkään jatkunut kasvu on vähintäänkin taittumassa. [1, s. 7.]

Vuonna 2010 energian kokonaiskulutus asukasta oli 74,6 MWh, mikä tarkoittaa 18 % kasvua vuodesta 1990. Energian loppukulutus asukasta kohden oli 57,7 MWh, mikä vastaa 20 % kasvua samalla jaksolla. [1, s. 7.]




**KUVA 1. Suomen energian kokonaiskulutus ja loppukäyttö 1990–2010 [1, s. 8]**

1990-luvun alun laman jälkeen energian kokonaiskulutuksen ja loppukäytön intensiteetit (kWh/€$_{2000}$) kääntyivät Suomessa laskuun vuonna 1995. Vaikka energiankulutus kasvoi, bruttokansantuote kasvoi vieläkin voimakkaammin. Laskeva trendi jatkui vuoteen 2008, minkä jälkeen taantuman seurauksena intensiteetit kasvoivat. Kokonaiskulutuksen intensiteetti laski jaksolla 1994–2010 noin 25 % ja loppukäytön intensiteetti 22 %. Energian loppukäytön intensiteetti voidaan laskea myös lämpötilakorjattuna. Lämpötilakorjatussa loppukäytön intensiteetissä näkyy lämmitystarpeen väheneminen, minkä seurauksena trendikäyrä on kulkenut reilut kymmenen vuotta korjaamattoman loppukäytön intensiteetin yläpuolella. Vuoden 2000 piikki johtuu poikkeuksellisen lämpimästä vuodesta, jolloin lämmöntarveluvut ”ylikorjaavat” intensiteettiä. [1, s. 7 – 8.]




**KUVA 2. Suomen energian kokonaiskulutuksen ja loppukäytön intensiteetit 1990–2010 [1, s. 8]**

Taulukossa 1 on esitetty energian loppukäytön sektorikohtaiset osuudet sekä loppukäytön suhteellinen muutos vuodesta 2000 lähtien. Merkittävin muutos energian loppukäytössä on teollisuuden suhteellisen osuuden pienentyminen rakennemuutoksen seurauksena. Vuoden 2010 osalta rakennusten lämmityksen osuutta nosti kylmä talvi. [1, s. 8.]

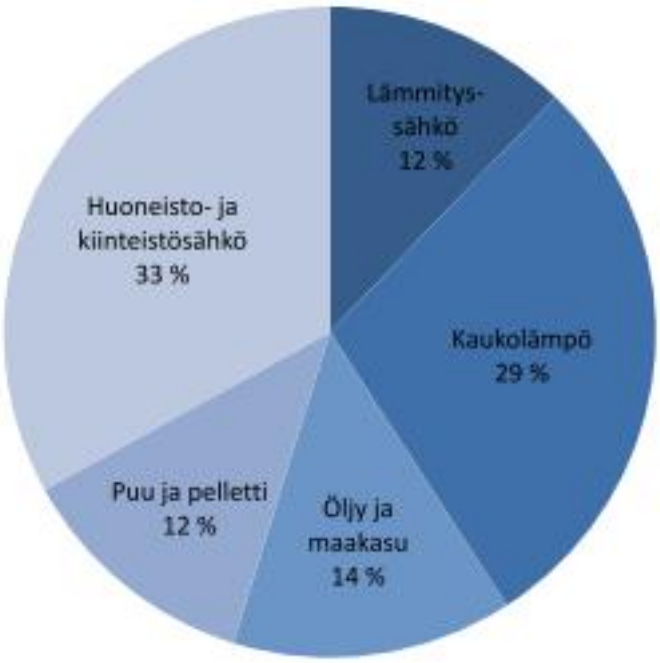
**TAULUKKO 1. Energian loppukäytön sektorikohtaiset osuudet ja energian loppukäyttö 2000–2010 [1, s. 8]**

| SEKTORI | 2000 | 2002 | 2004 | 2006 | 2008 | 2010* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Teollisuus | 52,3 | 50,7 | 50,5 | 50,5 | 48,8 | 45,2 |
| Liikenne | 15,6 | 15,4 | 15,8 | 15,8 | 16,5 | 16,6 |
| Rakennusten lämmitys | 19,7 | 21,3 | 21,1 | 20,9 | 21,0 | 24,6 |
| Muut | 12,4 | 12,6 | 12,6 | 12,7 | 13,7 | 13,5 |
| Loppukäyttö yht. (2000 = 100) | 100 | 104 | 105 | 107 | 103 | 104 |

*ennakkotieto

Rakennetulla ympäristöllä on keskeinen rooli energian käytössä ja kasvihuonekaasupäästöjen muodostumisessa. Rakennusten lämmitys ja rakennuksissa käytetty huoneisto- ja kiinteistösähkö (yhteensä noin 120 TWh) kattavat noin 38 % ja rakennustarvik-

keiden valmistus ja rakentaminen noin 4 % koko Suomen energian loppukäytöstä. Rakennusten energian loppukäyttö jakautuu lämmityssähköön (12 %), kaukolämpöön (29 %), öljyyn ja maakaasuun (14 %), puuhun ja pellettiin (12 %) sekä huoneisto- ja kiinteistösähköön (noin 33 %). [1, s. 9.]




**KUVA 3. Rakennusten energian loppukäytön jakautuminen. [1, s. 10]**

Suomessa on 1,4 miljoonaa rakennusta, joista 85 % on asuinrakennuksia. Asuntoja on yhteensä vajaa kolme miljoonaa. Rakennuskannan tilavuus on yhteensä noin 1 800 miljoonaa kuutiometriä ja kerrosala on yhteensä 429 miljoonaa neliömetriä. Tilavuudesta ja kerrosalasta asuin- ja palvelurakennusten osuus on noin 60 %. [1, s. 10.]

Asuinrakennusten lämmitysenergiasta erillisten pientalojen osuus oli 56 %, rivi- ja ketjutalojen 10 % ja asuinkerrostalojen 29 % (taulukko 2). Vapaa-ajan asuinrakennusten osuudeksi arvioidaan noin 5 prosenttia. Lämmitysenergiasta noin 18 prosenttia arvioidaan kuluneen käyttöveden lämmitykseen ja 5 prosenttia saunojen lämmitykseen. Erillisissä pientaloissa ja vapaa-ajan asuinrakennuksissa käytettiin lämmitykseen eniten puuta, kun taas rivi- ja ketjutaloissa sekä asuinkerrostaloissa suosittiin kaukolämpöä. [2, s. 1.]

**TAULUKKO 2. Asumisen energiankulutus vuosina 2008 - 2011, GWh [1, s. 4]**

| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|---|---|---|---|---|
| Asuinrakennusten lämmitys | 51 245 | 54 872 | 60 589 | 51 863 |
| Varsinaiset asuinrakennukset yhteensä | 48 735 | 52 219 | 57 695 | 49 275 |
| - Erilliset pientalot | 28 174 | 30 188 | 33 781 | 29 204 |
| - Rivi- ja ketjutalot | 5 281 | 5 629 | 6 093 | 5 250 |
| - Asuinkerrostalot | 15 280 | 16 402 | 17 821 | 14 821 |
| Vapaa-ajan asuinrakennukset | 2 510 | 2 653 | 2 894 | 2 588 |
| Kotitalouslaitteet[1)] | 9 806 | 10 033 | 10 289 | 10 021 |
| - Valaistus | 3 384 | 3 568 | 3 603 | 3 570 |
| - Ruoan valmistus | 737 | 740 | 746 | 736 |
| - Muut sähkölaitteet | 5 685 | 5 725 | 5 940 | 5 715 |
| **Asuminen yhteensä** | **61 051** | **64 905** | **70 878** | **61 884** |
| Asuinrakennusten lämmityksestä | | | | |
| - Saunojen lämmitys | 2 749 | 2 753 | 2 756 | 2 755 |
| - Käyttöveden lämmitys | 9 422 | 9 476 | 9 529 | 9 580 |

1) Kotitalouslaitteiden kulutukseen sisältyy sähkön kulutuksen lisäksi myös maakaasun käyttö liesissä.

Lämmitysenergian vuosittaiseen tarpeeseen vaikuttaa ulkoilman lämpötila, jonka muutoksia kuvaa lämmitystarveluku. Vuosi 2011 oli lämpimämpi kuin vuosi 2010, joka oli kylmän alku- ja loppuvuoden vuoksi kylmin vuosi pitkään aikaan. Tästä syystä lämmitysenergian kulutus laski vuodesta 2010 noin 14 prosenttia. Asuinrakennusten lämmitysenergian kulutuksessa on huomioitu sekä päälämmitysjärjestelmän energiankulutus, että sitä täydentävien muiden lämmitysmuotojen energiankulutus. [1, s. 2.]

Asuinrakennusten lämmityksen yleisin energialähde vuosina 2008–2011 oli kaukolämpö. Seuraavaksi eniten kulutettiin puuta ja sähköä. Näiden kolmen energialähteen osuus oli yli 80 prosenttia asuinrakennusten lämmitysenergian kulutuksesta. Kaukolämpöä kulutettiin asuinrakennusten lämmitykseen 17 313 gigawattituntia (GWh) vuonna 2011. [1, s. 1.]

**TAULUKKO 3. Asumisen energiankulutus energialähteittäin vuonna 2011, GWh [1, s. 4]**

| | Puu | Turve | Hiili | Raskas polttoöljy | Kevyt polttoöljy | Maakaasu | Lämpö-pumppu-energia[1)] | Kaukolämpö | Sähkö[2)] | Yhteensä |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Asuminen yhteensä** | **14 116** | **98** | **4** | **87** | **4 758** | **371** | **3 173** | **17 313** | **21 964** | **61 884** |
| **Asuinrakennusten lämmitys** | **14 116** | **98** | **4** | **87** | **4 758** | **361** | **3 173** | **17 313** | **11 953** | **51 863** |
| Varsinaiset asuinrakennukset | 12 442 | 97 | 4 | 87 | 4 714 | 360 | 3 062 | 17 311 | 11 198 | 49 275 |
| - Erilliset pientalot | 12 228 | 91 | 4 | – | 3 699 | 124 | 2 902 | 1 764 | 8 392 | 29 204 |
| - Rivi- ja ketjutalot | 124 | 1 | – | – | 383 | 75 | 149 | 2 793 | 1 725 | 5 250 |
| - Asuinkerrostalot | 90 | 5 | – | 87 | 632 | 161 | 11 | 12 754 | 1 081 | 14 821 |
| Vapaa-ajan asuinrakennukset | 1 674 | 1 | 0 | – | 44 | 1 | 111 | 2 | 755 | 2 588 |
| **Kotitalouslaitteet** | **–** | **–** | **–** | **–** | **–** | **10** | **–** | **–** | **10 011** | **10 021** |
| - Valaistus | – | – | – | – | – | – | – | – | 3 570 | 3 570 |
| - Ruoan valmistus | – | – | – | – | – | 10 | – | – | 726 | 736 |
| - Muut sähkölaitteet | – | – | – | – | – | – | – | – | 5 715 | 5 715 |
| Asuinrakennusten lämmityksestä | | | | | | | | | | |
| - Saunojen lämmitys | 1 778 | – | – | – | – | – | – | – | 977 | 2 755 |
| - Käyttöveden lämmitys | 470 | 17 | 1 | 25 | 1 008 | 73 | 430 | 4 906 | 2 650 | 9 580 |

Käytetyt symbolit:
0 = Luku pienempi kuin puolet käytetystä yksiköstä
– = Ei mitään ilmoitettavaa

1) Lämpöpumppuenergia tarkoittaa lämpöpumpuilla ympäristöstä (maasta, ilmasta tai vedestä) talteenotettua energiaa, jota käytetään rakennusten lämmitykseen. Lämmityskäytössä ja jäähdytyskäytössä olevien lämpöpumppujen kuluttama sähkö on sisällytetty lämmityksen sähkönkulutukseen.

2) Asuinrakennusten lämmitykseen sähköllä on laskettu mukaan suora ja varaava sähkölämmitys, sähköllä tapahtuva lisälämmitys, sähköinen lattialämmitys, lämpöpumppujen käyttämä sähkö, sähköllä tapahtuva käyttöveden lämmitys, sähkökiukaat sekä lämmitysjärjestelmien ja lämmönjakolaitteiden kuluttama sähkö.

Yhden vuoden uudisrakennustuotannon määrä on reilu prosentti koko rakennuskannasta ja poistuma on talotyypistä riippuen 0,3 – 2 %. Nykyisestä rakennuskannasta arvioidaan vuonna 2050 olevan jäljellä vielä noin 75 %. [1, s. 10.]

Korjausrakentamisen arvioidaan jatkuvan merkittävänä 2010- ja 2020-luvuilla mm. julkisivujen ja putkistojen korjaustarpeen vuoksi. Asuinrakentamisessa taloudelliset panokset korjausrakentamiseen ja uudisrakentamiseen ovat lähes yhtä suuret. [1, s. 10.]

## 2.2 Suomen ilmastopolitiikka, tavoitteet ja toimenpiteet

Suomen ilmastopolitiikan keskeiset tavoitteet ja toimenpiteet on määritelty pitkän aikavälin energia- ja ilmastostrategiassa, jolla on toimeenpantu Euroopan unionin ilmasto- ja energiapaketin tavoitteet vuoteen 2020 saakka. Strategiaa päivitettiin vuoden 2013 alussa. Lisäksi kansallista ilmasto- ja energiapolitiikkaa on visioitu vuoteen 2050

saakka vuoden 2009 lopussa hyväksytyssä valtioneuvoston ilmasto- ja energiapoliittisessa tulevaisuusselonteossa.[3.]

Parhaillaan hallitus valmistelee Suomeen ilmastolakia ja työstää Suomen vähähiilistä strategiaa vuoteen 2050. Suomeen perustettiin myös vuonna 2011 kansallinen Ilmastopaneeli, jonka tehtävänä on tuottaa monitieteellistä ilmastotietoa poliittisen päätöksenteon tueksi. [3.]

EU:n ilmasto- ja energiapaketin mukaisesti Suomi on hyväksynyt EU-tavoitteen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 20 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Suomen maakohtaiset tavoitteet ovat:

- Vähentää päästökauppasektorilla päästöjä EU:n tasolla 34 prosentilla vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020.
- Vähentää päästöjä 16 prosentilla päästökaupan ulkopuolisilla sektoreilla (esimerkiksi rakentaminen, rakennusten lämmitys, asuminen, maatalous, liikenne ja jätehuolto sekä teollisuuden fluoratut kasvihuonekaasut).
- Nostaa uusiutuvan energian osuus 38 prosenttiin energian loppukulutuksesta. [3.]

Kansallinen ilmastopolitiikka pohjautuu kansainväliseen ja EU:ssa tehtävään ilmastopolitiikkaan. Suomi raportoi Euroopan komissiolle ja YK:n ilmastosopimuksen sihteeristölle vuosittain siitä, kuinka kasvihuonekaasupäästöjä on onnistuttu vähentämään. Suomessa kansallisesta kasvihuonekaasupäästöjen seurannasta vastaa Tilastokeskus. Lisäksi Tilastokeskus kokoaa säännöllisesti niin sanotun maaraportin, jossa kuvataan Suomen ilmastopoliittiset toimet. [3.]

Hallitus valmistelee ympäristöministeriön johdolla ilmastolakia. Lain keskeisiä elementtejä ovat mahdollinen 80 prosentin päästövähennystavoite vuodelle 2050 ja hallinnon toimintaa päästökaupan ulkopuolisten päästöjen vähentämiseksi ohjaavan suunnittelu- ja seurantajärjestelmän sekä viranomaistoiminnan työnjaon selkeyttäminen. Lain on tarkoitus kattaa sekä ilmastomuutoksen hillintä että siihen sopeutuminen. [3.]

## 2.3 Suomen toinen kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma

Rakennusten osalta merkittävimmät energiansäästötoimet ovat uudisrakentamisen energiatehokkuusmääräysten tiukentaminen, uusiutuvien energialähteiden käytön edistäminen neuvonnalla (pientalojen lämpöpumput), asuinrakennusten energia-avustukset sekä öljylämmitteisiä pientaloja koskeva energiatehokkuussopimustoiminta. [1, s. 33.]

Vuodelle 2010 laskettu rakennusten 6 580 GWh energiansäästövaikutus vastaa yli 5 % energiansäästöä laskettuna rakennusten koko energiankulutuksesta. Seuraavassa taulukossa esitetyillä toimilla energiansäästön arvioidaan nousevan vuoteen 2016 mennessä 12 % tasolle ja vuoteen 2020 mennessä yli 15 % tasolle. [1, s. 33.]

**TAULUKKO 4. Rakennuksiin liittyvien energiansäästötoimenpiteiden vaikutus [1, s. 33]**

| Toimenpide-koodi | Toimenpide* | Energiansäästö 2010 GWh/a | Energiansäästö arvio 2016 GWh/a | Energiansäästö arvio 2020 GWh/a |
|---|---|---|---|---|
| RA-01-YM | Energiatehokkuusmääräykset uudisrakentamiselle 2003, 2008, 2010 ja 2012 | 1 560 | 4 550 | 6 710 |
| RA-02-YM | Asuinrakennusten energiaavustukset | 282 | 1 005 | 1 005 |
| RA-03-TEM | Pientalojen lämpöpumput | 2 326 | 5 310 | 6 960 |
| RA-04-TEM | Rivi- ja kerrostalojen lämpöpumput | 228 | 446 | 471 |
| RA-05-YM | Huoneistokohtaiset vesimittarit pakollisiksi | 0 | 74 | 128 |
| RA-06-TEM | Ikkunoiden energiamerkintä | 59 | 80 | 129 |
| RA-07-TEM/YM | Höylä III energiatehokkuussopimus – öljylämmitteiset pientalot | 2 099 | 2 722 | 3 085 |
| RA-08-YM | Kiinteistöalan energiatehokkuussopimus – vuokra-asuntoyhteisöt | 26 | 194 | 78 |
| Energiansäästö yhteensä – ESD alueella | | **6 580** | **14 381** | **18 566** |

Suomessa hankitaan ilmalämpöpumppuja ja poistoilmalämpöpumppuja energiansäästötoimenpiteenä sähkölämmitteisiin rivitaloihin ja sekä jonkin verran kerrostaloihin. Myös maalämpöjärjestelmien määrän arvioidaan kasvavan kaukolämpöverkon ulko-

puolella olevissa rivi- ja kerrostaloissa merkittävästi vuoteen 2020 mennessä, mutta näiden säästövaikutukset sisältyvät rivi- ja kerrostaloille myönnettävien energia-avustusten arvioon. [1, liite 2, s. 9.]

Vuoden 2011 alussa käynnistyneessä erillisprojektissa selvitettiin kylmässä ilmastossa lämpöpumpuilla saavutettavia energiansäästöjä. Projektia koordinoivan VTT:n, Aalto-yliopiston ja Suomen lämpöpumppuyhdistys ry:n yhteisen näkemyksen mukaisesti energiansäästö on ilmalämpöpumpulla keskimäärin (ILP) 4,8 MWh/a ja poistoilma-lämpöpumpulla (PILP) 5,8 MWh/a. Vuoden 2010 säästövaikutus on laskettu käytössä olevien lämpöpumppujen perusteella. Vuosille 2016 ja 2020 lasketuissa säästövaikutuksissa on oletettu lämpöpumppujen vuotuisten myyntimäärien pysyvän lähivuosina nykyisellä tasolla. Vuoden 2014 jälkeen kokonaismäärän kasvun arvioidaan tasaantuvan erityisesti ilmalämpöpumppujen osalta. [1, liite 2, s. 9.]

Taulukossa 5 on nähtävissä julkaisussa Suomen toinen kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma (NEEAP-2), esitetyt arviot eri lämpöpumpputyypeillä saavutettavista olevista energiansäästötoimenpiteistä rivi- ja kerrostaloissa.

**TAULUKKO 5. Arvioidut säästövaikutukset lämpöpumpputyypeittäin rivi- ja kerrostaloissa, GWh/a [1, liite 2, s. 10]**

| Tyyppi/Vuosi | 2010 | 2016 | 2020 |
|---|---|---|---|
| ILP | 253 | 496 | 518 |
| PILP | 10 | 18 | 24 |
| Yhteensä | 263 | 514 | 542 |
| 0,5 x kerrostalot | -35 | -68 | -71 |

Rivi- ja kerrostalojen lämpöpumppujen osalta arvioidut säästövaikutukset ovat vuonna 2010 228 GWh/a, vuonna 2016 446 GWh/a ja vuonna 2020 471 GWh/a. Vastaavasti esim. pientalojen osalta lämpöpumppujen säästövaikutuksiksi on arvioitu 2 326 GWh/a, 5 310 GWh/a ja 6 960 GWh/a, eli pientalojen osalta säästöjen on oletettu olevan yli kymmenkertaiset rivi- ja kerrostaloihin verrattuna. [1, liite 2, s. 10.]

.

# 3 KERROSTALOT SUOMESSA JA NIIDEN IV- SEKÄ LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT JA ENERGIANKULUTUS

## 3.1 1940 – 1960 – lukujen kerrostalot

Yleisin talotyyppi oli suorakaiteen muotoinen 3 – 4 -kerroksinen hissitön lamellitalo, jossa oli kaksi tai kolme asuntoa porrastasannetta kohti. Lamellitalojen lisäksi rakennettiin runsaasti pistetaloja, jotka olivat 3 – 8-kerroksisia tai vieläkin korkeampia tornitaloja. Pistetalossa kullekin kerrostasolle pyrittiin sijoittamaan mahdollisimman monta, jopa kahdeksan asuntoa. Pistetaloihin suunniteltiin myös eritasoratkaisuja, joissa samasta porrashuoneesta oli käynti kahdella tai jopa neljällä eri kerrostasolla sijaitseviin asuntoihin. [4, s. 87.]

Ensimmäinen kokonaiselle asuinalueelle tarkoitettu alueellinen lämpökeskus aloitti toimintansa Helsingin Olympiakylässä vuonna 1940. Varsinainen kaukolämpöverkko sai alkunsa Helsingissä vuonna 1952 ja Tapiolassa 1953. [4, s. 113.]

Vaikka taloryhmä- tai aluekohtaiset ratkaisut olivat yleistymässä, huolehtivat monet uusista taloyhtiöistä lämmityksestä edelleen itsenäisesti. Yleisin lämmitysjärjestelmä oli vesikeskuslämmitys. Veden kierto toteutettiin aluksi painovoimaisena, mutta 1950-luvun puolen välin jälkeen yleensä pumppukiertoisena. Raskaat valurautapatterit vaihtuivat kevyisiin teräslevypattereihin. [4, s. 113.]

1950-luvun kerrostaloihin rakennettiin muun muassa Espoon Tapiolassa ja Helsingin Haagassa sekä Munkkivuoressa myös lattialämmitysjärjestelmiä, jolloin pattereista päästiin kokonaan eroon [4, s. 113].

Yleisin ilmanvaihtoratkaisu oli 1950-luvun puoliväliin asti painovoimainen ilmanvaihto. Se säilytti asemansa 3-4-kerroksisissa taloissa vielä 1960-luvun puolelle saakka. Koneellisen poiston (yhteiskanavajärjestelmä) käyttö alkoi vuonna 1953,kun Rakennushallitus hyväksyi Suomen Puhallintehdas Oy:n SP-yhteiskanavajärjestelmän. Kuten aiemminkin, poistoilmaventtiilit sijoitettiin keittiöihin, wc- / kylpyhuonetiloihin ja vaatehuoneisiin. Aiemmista poiketen eri kerroksissa päällekkäin sijaitsevat tilat yhdistettiin samaan pystysuoraan poistoilmakanavaan. Lopuksi nämä eri tiloja palve-

levat yhteiskanavat liitettiin ullakolla vaakasuoralla kokoojakanavalla puhallinkomeroon, johon sijoitettu puhallin poisti ilmaa koko rakennuksesta tai sen osasta. [4, s. 115.]

Järjestelmän etuina olivat sääolosuhteista riippumaton toiminta ja vähäinen lattiapintaalan tarve, mikä kasvatti myytävien asuinneliöiden määrää. Kääntöpuolella olivat melu- ja hajuhaitat, paloturvallisuuden heikkeneminen ja hallitsematon ulkoilman sisäänotto, sillä ulkoilmaventtiilien rakentamisesta asuintiloihin luovuttiin yhteiskanavajärjestelmään siirryttäessä. Kone imi ilmaa ikkunoiden ja ovien sekä rakenteiden väliin jääneistä raoista ja keittiön kylmäkomeron venttiilien kautta. [4, s. 115, 117.]

1940-50-luvuilla rakennettiin jonkin verran myös koneelliseen poistoon perustuvia ilmanvaihtojärjestelmiä, joissa eri kerroksissa päällekkäin sijaitsevilla tiloilla oli kullakin oma pystysuora poistoilmakanava (erilliskanavajärjestelmä) [4, s. 117].

Ilmanvaihtokanavat muurattiin tiilestä kipsiharkoista tai betonisista hormielementeistä tai ne valettiin kantavien betoniseinien sisään asbestisementtiputki- tai pahvitorvimuottien avulla [4, s. 117].

### 3.2 Vuosien 1960 – 1975 kerrostalot

1960- ja 1970-lukujen kerrostalolähiöt syntyivät osana suomalaisen yhteiskunnan suurta rakennemuutosta. Väestön muutto maaseudulta keskuksiin edellytti kiivasta rakennustahtia. Erityisen vilkasta kerrostalorakentaminen oli 1970-luvun alkupuoliskolla. Kaikkien aikojen ennätys saavutettiin vuonna 1974, jolloin maahamme valmistui yhteensä 46 200 kerrostaloasuntoa. [4, s. 142.]

Kerrostalotuotannon painopiste oli määrällisten tavoitteiden täyttymisessä. Aravaohjeiden mukaan rakennuksissa ja niiden osissa oli ”pyrittävä mahdollisimman pitkälle vietyyn teolliseen sarjatuotantoon”. Keskenään erilaisten esivalmisteisten osien ja huoneistojen lukumäärä tuli rajoittaa, jotta saavutettaisiin ”sarjatuotannosta aiheutuvat säästöt ja edut”. Asuntotuotannon avainsanoja olivat tehokkuus, teollinen sarjatuotanto, esivalmisteiset rakennusosat, moduulimitoitus ja standardointi. [4, s. 142 – 143.]

Lamelli- ja pistetalojen pohjaratkaisut systematisoitiin sarjatuotantoon soveltuviksi. Varsin suosittu tyyppitalo oli hissitön 4-kerroksinen lamellitalo, jossa oli maan päällinen kellarikerros. 5 – 8-kerroksisten hissillisten talojen lisäksi rakennettiin myös yli-korkeita, yli kymmenkerroksisia talokolossiryhmiä. Etenkin 1970-luvulla rakennettiin myös jonkin verran luhtikäytävätaloja (sivukäytävätalo), joihin sijoitettiin useimmiten pienasuntoja. [4, s. 143.]

Yleisin lämmitysmuoto oli alue- tai kaukolämpöverkkoon kytketty pumppukiertoinen vesikeskuslämmitys. Yleisimmin patterit liitettiin lämmitysverkostoon kaksiputkiliitännällä, jossa oli erilliset kerrosten läpi kulkevat nousulinjat sekä meno- että paluuvettä varten. Patterit olivat yksi- tai kaksilevyisiä teräslevypattereita tai matalia konvektoreita. Kylpyhuoneiden lämmityspatteri ja kupariputkista koottu lattialämmitys liitettiin lämminvesiverkostoon. [4, s. 181.]

Ilmanvaihtojärjestelmänä oli useimmiten koneellinen poistoilmanvaihto (yhteiskanavajärjestelmä), mutta 3 -4 –kerroksisissa taloissa saatettiin edelleen soveltaa painovoimaista ilmanvaihtoa. Sen lisäksi rakennettiin kuitenkin myös koneelliseen poistoon perustuvia erilliskanavajärjestelmiä, missä kullekin huonetilalle oli oma kanavansa. [4, s. 188.]

Poistoilmaventtiilit sijoitettiin keittiöön, kylpyhuoneeseen, WC:hen ja vaatehuoneeseen. Kierresaumatut peltikanavat yleistyivät etenkin, kun kanavia ryhdyttiin 1970-luvulla sijoittamaan kevyiden kylpyhuone-elementtien yhteyteen. [4, s. 188.]

Erillisiä ulkoilmaventtiilejä ei mahdollista löylyhuonetta ja keittiön ruokakomeroa lukuun ottamatta yleensä ollut. Tavallinen tapa toteuttaa ilman sisäänotto oli poistaa tuuletusikkunoiden yläosasta pätkä tiivistettä tai luottaa ulkoseinien hataruuteen. Eri tilojen poistoilmakanavat yhdistettiin vaakasuoriin kokoojakanaviin, jotka sijoitettiin yläpohjan sisään tai kattopinnan yläpuolelle. Puhaltimet olivat kaksinopeuspuhaltimia, jotka toimivat täydellä teholla vain osan vuorokautta. [4, s. 188.]

### 3.3 Vuosien 1975 – 2000 kerrostalot

1970-luvun jälkipuoliskolla kerrostalorakentamisen määrä väheni jyrkästi. Tähän vaikuttivat asuntotuotannon kokonaismäärän lasku ja painopisteen siirtyminen omakotitaloihin, paritaloihin ja rivitaloihin. Vuonna 1974 kaksi kolmasosaa uusista asunnoista sijaitsi asuinkerrostaloissa mutta 1980-luvulla alimmillaan enää yksi kolmasosa. Rakentamisen seuraavan korkeasuhdanteen huippuvuonna 1990 kerrostaloasuntoja valmistui enää vain runsaat 21 000 kappaletta eli alle puolet ennätysvuoden 1974 määrästä. [4, s. 210.]

1980-luvun lopun korkeasuhdannetta seurasi pitkä lamakausi. Vapaarahoitteinen asuntotuotanto väheni rajusti ja painopiste siirtyi valtion lainoittamaan Arava-tuotantoon. Aallonpohja saavutettiin vuonna 1996, jolloin maahan valmistui yhteensä alle 10 000 kerrostaloasuntoa. 1990-luvulla tyypillisiä ilmiöitä olivat uusi muuttoliike kaupunkeihin ja asuntotuotannon keskittyminen kasvukeskuksiin. Vuosikymmenen lopulla kerrostalotuotannon määrä alkoi jälleen kasvaa, ja samalla sen osuus nousi miltei puoleen kaikesta asuntotuotannosta. [4, s. 210.]

1970-luvun jälkipuoliskolta aluerakentamiskauden teollisen asuntotuotannon vastustus saavutti jo sellaiset mittasuhteet, että tavoitteiden uudelleenasettelu oli väistämätöntä. Kyllästyminen betonilaatikkoarkkitehtuuriin heijastui myös Arava-ohjeisiin. Vuoden 1979 ohjeissa ulkoarkkitehtuurilta edellytettiin jo mittasuhteiden ihmisläheisyyttä, virikkeisyyttä ja sopeutumista ympäristöön. Laadulliset tavoitteet alkoivat nousta määrällisten rinnalle, mutta monin paikoin tuotanto jatkui ankeilla lähiökauden resepteillä vielä 1980-luvulle asti. [4, s. 210.]

Asuinkerrostalojen suunnittelu oli edelleen lukuisten määräysten ja ohjeiden sitomaa ja viitoittamaa. Vuosina 1962 - 1993 Arava-ohjeilta oli keskeinen vaikutus kerrostalorakentamiseen, myös vapaarahoitteisissa asunnoissa, joita ohjeet eivät suoranaisesti koskeneet. Ohjeissa esitetyistä vähimmäisratkaisuista muodostui usein käytännössä ylin mahdollinen laatutaso. Myös Helsingissä sovellettu asuntojen hinta- ja laatutason sääntelyjärjestelmä, Hitas-järjestelmä (1978-) nojasi aluksi Arava-ohjeisiin. Erot Arava-lainoitetun tuotannon ja tavanomaisen vapaarahoitteisen tuotannon välillä saattoivat usein supistua vain eroihin pintamateriaaleissa ja kalusteiden ovissa. Vuonna 1993

asuntohallitus lakkautettiin ja suunnittelunohjauksen painopiste siirtyi valtiolta kunnille ja rakennuttajille. [4, s. 210.]

Perinteisten omistus- ja vuokra-asuntojen rinnalle ilmestyivät osa-omistusasunnot ja asumisoikeusasunnot, joista ensimmäiset valmistuivat vuonna 1991. 1990-luvun teemoja kerrostalorakentamisen kehittämisessä olivat esteettömyyden lisäksi muuntojousto, ekologisuus, paikalla rakentamisen kehittäminen ja hyvä kaupunkimainen ympäristö. [4, s. 210.]

Erilaisten talotyyppien kirjo kasvoi. Perinteisten lamelli- ja pistetalojen lisäksi rakennettiin luhtikäytävätaloja, pien- ja kerrostalojen rajaa hämärtäviä pienkerrostaloja ja jopa joitakin huoneistokohtaisten ulkotilojen runsaudella ylpeileviä terassitaloja. [4, s. 213.]

1990-luvun alun taloudellisen taantuman aikana kerrostalojen keskimääräinen koko ja kerrosluku alkoivat jälleen kasvaa. Muutoksen taustalla olivat yleinen taloudellinen tehokkuusajattelu, rakentaminen keskusta-alueiden läheisyyteen ja uudet hissimääräykset, jotka edellyttivät hissejä tietyin rajoituksin myös kolmikerroksisiin rakennuksiin. Porrashuoneiden ja hissien määrä rakennuksissa pyrittiin kustannussyistä minimoimaan, mikä johti mahdollisimman monen, tavallisesti 4 - 5 asunnon sijoittamiseen saman porrastason yhteyteen. Samasta syystä asuinkerrostaloissa kokeiltiin myös keskuskäytäväratkaisuja. [4, s. 213.]

Yleisin lämmitysjärjestelmä oli helppohoitoisuutensa ja toimintavarmuutensa vuoksi kaukolämpöverkkoon kytketty pumppukiertoinen vesikeskuslämmitys. Yleisimmin patterit liitettiin lämmitysverkostoon kaksiputkiliitännällä, jossa on omat kerrosten läpi kulkevat linjat sekä meno- että paluuvettä varten. Putket sijoitettiin näkyville ulkoseinien nurkkiin ja patterit kytkettiin putkiin näkyvissä olevilla vaakavedoilla. [4, s. 230.]

1990-luvun uusinta asennustekniikkaa edusti asuntokohtainen jakotukkijärjestelmä. Linjat meno- ja paluuvettä varten sijoitettiin porrashuoneeseen, josta ne liittyivät huoneistokohtaiseen jakotukkiin. Vaakavedot jakotukilta pattereille kulkivat muoviputkissa lattiarakenteiden sisältä. Ratkaisu mahdollisti huoneistokohtaisen energiankulutuk-

sen mittauksen ja esti äänen kulkeutumisen putkia pitkin huoneistosta toiseen. Ilmalämmitys, jossa lämmitys ia ilmanvaihto yhdistettiin yhdeksi järjestelmäksi, jäi kerrostaloissa kokeiluasteelle. Suomen ensimmäinen ilmalämmityksellä varustettu asuinkerrostalo valmistui Lappeenrantaan vuonna 1980. Sen ilmakanavina toimivat ontelolaattojen ontelot. [4, s. 230.]

Uusinta 1990-luvun kehitysvaihetta edusti talotekniikan pystykuilujen sijoittaminen porrashuoneeseen, jolloin kaikki vesijohdot, viemärit ja lämpöjohdot voitiin tuoda asuntoihin vaakasuunnassa välipohjia puhkomatta. Tämän huoneistokohtaisen jakotukkijärjestelmän muoviputket kulkevat asennusputkien sisässä lattian pintarakenteiden alla. [4, s. 232.]

Energiakriisin jälkeen suosittiin suihkujen asentamista vettä runsaasti kuluttavien kylpyammeiden sijaan. Vettä säästävät yksiotevipuhanat yleistyivät 1970-luvun jälkipuoliskolla. Suihkulle ja pesualtaalle ryhdyttiin asentamaan erilliset sekoittajat. 1990-luvulla asennettiin osaan rakennuksista huoneistokohtaiset vesimittarit. [4, s. 232.]

Yleisin ilmanvaihtojärjestelmä oli koneellinen poistoilmanvaihto. Yhteiskanavajärjestelmässä eri asuntojen päällekkäisillä tiloilla oli yhteinen poistoilmakanava. Korkeissa taloissa järjestelmä jaettiin pystysuunnassa yleensä enintään viisi kerrosta korkeisiin osiin. Poistoilmaventtiilit sijoitettiin keittiöön, kylpyhuoneeseen, wc:hen, saunaan ja vaatehuoneeseen. Keittiön poistoilmaventtiili oli usein sijoitettu liesikuvun yhteyteen. Kanavat olivat usein kierresaumattuja peltikanavia. Eri tilojen poistoilmakanavat yhdistettiin vaakasuoriin kokoojakanaviin, jotka sijoitettiin lämmöneristekerroksen sisään tai eristettyinä kattopinnan yläpuolelle. Kello-ohjaimella varustettu kaksinopeuksinen poistopuhallin varustettiin termostaatilla, joka automaattisesti esti suuremman kierrosluvun käytön, kun lämpötila oli alle - 10 °C. [4, s. 233.]

1980-luvulle asti tavallinen tapa toteuttaa tuloilman sisäänotto oli luottaa ulkoseinien hataruuteen tai poistaa tuuletusikkunoiden yläosasta pätkä tiivistettä. Erillisiä ulkoilmaventtiilejä ei mahdollista löylyhuonetta lukuun ottamatta yleensä ollut. 1988 voimaan tulleet uudet määräykset edellyttivät tuloilmareittien parempaa suunnittelua. Tämä toteutettiin asentamatta taloihin tästä lähtien seinäventtiilit, ikkunaan sijoitetta-

vat karmiventtiilit tai harvinaiseksi jääneet erikoisrakenteiset tuloilmaikkunat. [4, s. 233.]

1970 - 80-luvuilla valmistui muutamia koekohteita, joissa oli koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Laajemmassa mitassa näitä järjestelmiä ryhdyttiin rakentamaan kuitenkin vasta 1990-luvulla. Tuloilma johdetaan peltikanavissa makuu- ja olohuoneisiin ja poistetaan wc:n, kylpyhuoneen, keittiön ja vaatehuoneen poistoilmaventtiilien kautta. Tuloilma suodatetaan ja se esilämmitetään poistoilmasta talteen otetulla lämmöllä (LTO eli lämmöntalteenotto). [4, s. 233.]

Järjestelmät ovat keskitettyjä tai huoneistokohtaisia. Huoneistokohtaisessa järjestelmässä jokaisessa asunnossa on oma säädettävä ilmastointikone, joka sisältää puhaltimen ja lämmöntalteenoton. Ilmastointikone on sijoitettu kylpyhuoneeseen, kodinhoitohuoneeseen tai eteiseen. Vaakakanavat kulkevat huoneistojen kipsilevypintaisen alakaton sisällä. Keskitetyissä järjestelmissä asunnoilla on yhteinen ilmastointikone ja mahdollisuudet ilmanvaihdon huoneistokohtaiseen säätöön ovat rajatumpia. [4, s. 233.]

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto yleistyi uudisrakennuksissa 1990-luvun alussa. Vuonna 2003 voimaan tulleiden ilmanvaihtomääräysten jälkeen se on ollut käytännössä miltei ainoa uusien kerrostalojen ilmanvaihtojärjestelmä. [4, s. 232.]

# 4 KIINTEISTÖN LÄMMITYSENERGIAN KULUTUKSEN MUODOSTUMINEN JA ENERGIANKULUTUS ERI AIKAKAUDEN KERROSTALOISSA

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. [5, s. 9.]

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. [5, s. 9.]

Rakennusten energiankulutusta voidaan vertailla ominaiskulutusluvun avulla, joka lasketaan kohteen huoneistoneliömetriä ($htm^2$), bruttoneliömetriä ($brm^2$) tai rakennustilavuutta kohden. Käyttökelpoisin on huoneistoalaa kohden laskettu kulutus, josta nähdään selvimmin rakennuksen energiataloudellisuus. [5, s. 9.]

Rakennuksen lämmitystarve muodostuu eri tekijöistä. Näitä tekijöitä ovat:

- Johtumishäviöt vaipan läpi
    - Ulkoseinät
    - Yläpohja
    - Alapohja
    - Ikkunat
    - Ovet
- Ilmanvaihto (määrä, lämmöntalteenotto, tekninen varustelu)
- Lämmin käyttövesi (kulutustottumukset, vesi- ja viemärikalusteiden kunto). [5, s. 9.].

Lisäksi asuinkerrostalon lämmitysenergiankulutukseen vaikuttavat seuraavat seikat:

- Maantieteellinen sijainti (lämpötilat, astepäiväluku)
- Rakennuspaikka ja kaupunkirakenne (suojaisuus–tuulisuus, umpikortteli–avoin korttelirakenne)
- Rakennuksen tilaohjelma, koko ja pohjaratkaisu sekä tilavuuden ja ulkovaipan pinta-alan välinen suhde
- Talon lämmitysjärjestelmän kunto ja säätö, huonelämpötila
  [5, s. 9].

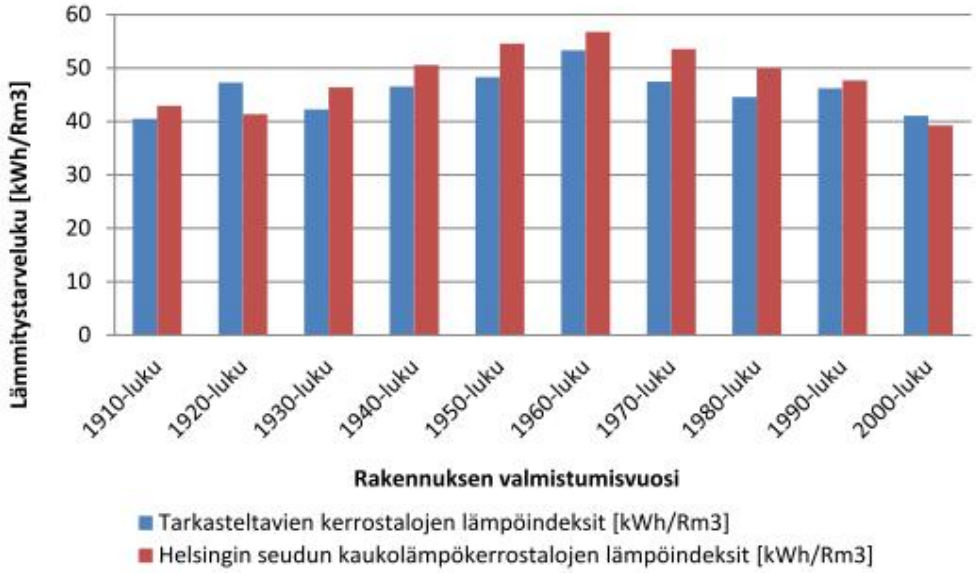
Rakennuspaikalla on merkittävä vaikutus ilmanvaihdon lämpöhäviöihin. Hyvin tiiviissä rakennuksissa rakennuspaikalla ei ole suurta vaikutusta ilmanvaihdon energiankulutukseen, mutta ilmanvuotoluvun ollessa esimerkiksi yli 2 1/h:ssa, avoimella alueella

ja tiiviillä keskusta-alueella sijaitsevien rakennusten lämmönkulutusero voi olla jopa parikymmentä prosenttia. Ilmanvuotoluku vaikuttaa muutenkin merkittävästi rakennuksen lämmönkulutukseen. [5, s. 9 – 10.]

Ilmanvaihdon ja rakennuksen vaipan eri osien johtumishäviöiden suhteellinen osuus vaihtelee eri lähteiden mukaan. Lisäksi kerrostalokohteiden ominaisuudet poikkeavat suuresti toisistaan eri aikakausilla vallinneiden rakennustapojen vuoksi. [5, s. 10.]

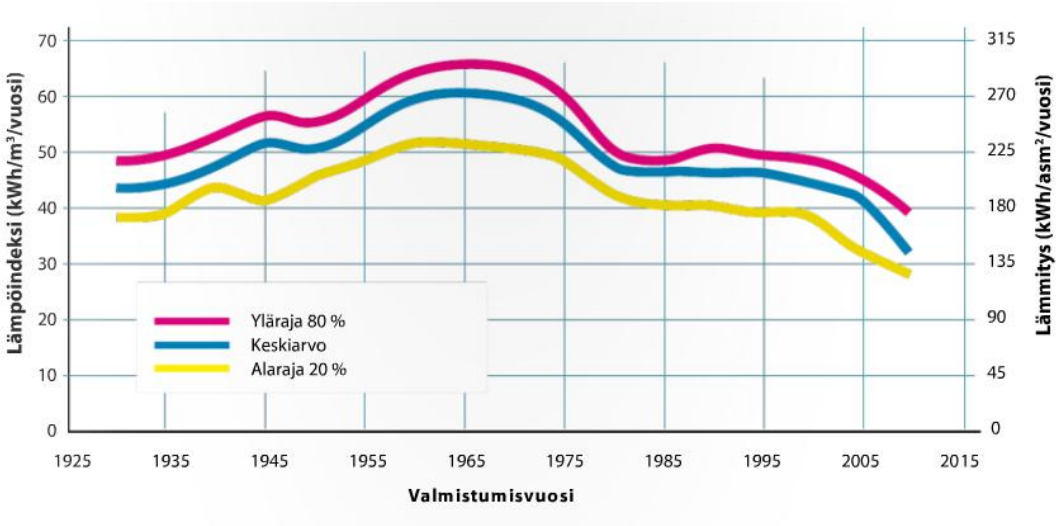
Lämpöindeksi on lämmitystarveluvulla normaalivuoteen korjattu vuotuinen lämmönkulutus jaettuna rakennuksen tilavuudella. Kuvassa 4 esitetään kaukolämmitettyjen kerrostalojen lämmitystarvelukuja eri vuosikymmeninä. Tiedot on kerätty tutkimusaineiston (Ulrika Uotila: Korjaustoimien vaikutukset lähiökerrostalon todelliseen energiankulutukseen. Diplomityö 2011) rakennusten kulutusaineiston perusteella sekä Energiateollisuuden verkkosivuilta Helsingin kaukolämpökerrostalojen osalta. 1940-luvulla ja tätä aiemmin rakennettujen kerrostalojen lämpöindeksit ovat kohtalaisen pieniä. Tähän osasyynä on muun muassa kylmänä varastona toimivat ullakkotilat ja muiden lämmittämättömien tilojen nykyistä suurempi osuus sekä näiden tilojen vaikutus rakennuksen tilavuuteen, ei niinkään vaipan hyvä lämmöneristävyys. Lisäksi pienempään kulutukseen syinä ovat umpikorttelit ja massiiviset rakenteet sekä nykyistä pienemmät ikkunat. 1960-luvun ja 1970-luvun alun kerrostalot ovat eniten lämpöenergiaa kuluttavia, suurin osa tuon aikakauden kerrostalokannasta kuluttaa yli 45 kWh/m$^3$/a. Syitä korkeisiin kulutuslukuihin ovat muun muassa:

- koneellisen poistoilmanvaihdon yleistyminen 1960-luvulla, minkä seurauksena ilmanvaihdon ja ominaiskulutuksen lisääntyminen
- lähiökerrostalojen sijainti kaupunkien ulkopuolella tuulisilla ja aukeilla paikoilla
- 1960- ja 1970-lukujen rakennusten suuri ikkunapinta-ala sekä ikkunoiden alhainen lämmöneristyskyky
- rakennusten heikko tiiviys.




**KUVA 4. Kerrostalojen lämmitystarveluvut vuosikymmenittäin [5, s. 19]**

Edellä mainitut lukemat vastaavat varsin hyvin myös esim. Taloyhtiön energiakirjassa esitettyjä tietoja eri aikakauden asuinkerrostalojen energiankulutuksesta (kuva 5).




**KUVA 5. Asuinkerrostalojen lämmitysenergiankulutus [6, s. 21]**

Etelä-Suomessa 1960 – 1980 – luvulla valmistuneiden asuinkerrostalojen lämpöindeksi on yleensä 45 - 65 kilowattituntia rakennuskuutiometriä kohti vuodessa. Keski-Suomessa kulutukset ovat kylmien sääolojen vuoksi keskimäärin 10 - 15 prosenttia ja Pohjois-Suomessa 25 – 30 % suurempia kuin Etelä-Suomessa. [5, s. 20.]

Jos lämmitysenergian kulutus halutaan esittää lämpöindeksin sijasta asuinpinta-alaa ($asm^2$) kohti, voidaan muuntokertoimena käyttää asuinkerrostalojen osalta arvoa 4,5. Muuntokerroin perustuu tilastotietoihin asuinkerrostalojen rakennustilavuuksista ja asuinpinta-aloista. Tällöin Etelä-Suomessa olevien, 1960 – 1980 – luvuilla valmistuneiden asuinkerrostalojen lämmitysenergiankulutus olisi välillä 200 – 295 $kWh/asm^2$. [5, s. 20.]

Rakennuksen ET-luku (energiatehokkuusluku) ilmaisee rakennuksen energiatehokkuuden. ET-luku lasketaan jakamalla rakennuksen vuosittainen energiankulutus rakennuksen bruttoalalla. ET-luku lasketaan 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 $kWh/m^2$. [5, s. 83.]

Suurin osa nykyisistä kerrostaloista kuuluu ET-luokkaan D, jolloin ET-luku on 141 - 180 $kWh/brm^2/a$. Noin kolmasosa kerrostaloista kuluttaa 181 - 230 $kWh/brm^2/a$, jolloin ET-luokka on E. [5, s. 84.]

# 5 KERROSTALOJEN KORJAUSRAKENTAMINEN

## 5.1 Yleistä

Korjausrakentamisen arvo oli Suomessa vuonna 2010 noin 9,5 miljardia euroa, ja tästä noin 5,3 miljardia euroa oli asuinrakennusten korjaamista. Korjaukset lisääntyivät edellisvuodesta noin 5 prosenttia. Vuonna 2011 korjausrakentamisen kasvun ennakoidaan olevan noin 3 prosenttia ja seuraavina vuosina parin prosentin luokkaa. Kerrostaloja korjattiin vuonna 2010 2,75 miljardin euron arvosta. Taloyhtiöiden teettämien korjausten ennakoidaan lisääntyvän korjausikään tulevien yhtiöiden määrän kasvun johdosta. Asuinrakennusten korjausten arvo oli samaa luokkaa kuin uudisasuntojen rakentamisen arvo. Asuntojen korjausmäärät ovat kasvussa, mutta toimitilojen korjaus vähenee. [5, s. 4 – 5.]

Tällä hetkellä julkisivujen ja parvekkeiden korjaustarpeen arvo on noin 3,5 miljardia euroa. Mikäli julkisivukorjaukset lopetettaisiin, korjaustarpeen arvo nousisi noin 1,8 % vuodessa. Vuonna 2050 korjaustarpeen arvioidaan olevan noin 7 miljardia euroa. Jos julkisivuista korjattaisiin vuosittain 1,8 %, ja julkisivujen tekninen kunto säilytettäisiin näin ennallaan, korjauskustannuksia kertyisi noin 63 miljoonaa euroa vuosittain. [5, s. 5.]

Kustannuksilla mitattuna noin kaksi kolmasosaa korjauksista on rakennusteknistä korjaamista. Talotekniikkakorjauksia on noin neljäsosa. Loput korjaustoimenpiteet käsittävät muun muassa piha-alueen korjaustöitä. Ulkovaipan korjaustoimenpiteiden osuus koko korjaustoiminnasta on noin kolmasosa ja ne painottuvat erityisesti 1960- ja 1970-luvuilla rakennettuihin taloihin. Myös ikkuna- ja ovikorjauksia tehdään eniten 1960 - ja 1970-luvuilla valmistuneisiin taloihin. Tulevaisuudessa kerrostalojen korjaustarpeen oletetaan kohdistuvan erityisesti julkisivuihin sekä LVI-järjestelmiin. [5, s. 5 – 6.]

## 5.2 Korjaustoimenpiteiden säästöpotentiaali ja vaikutukset

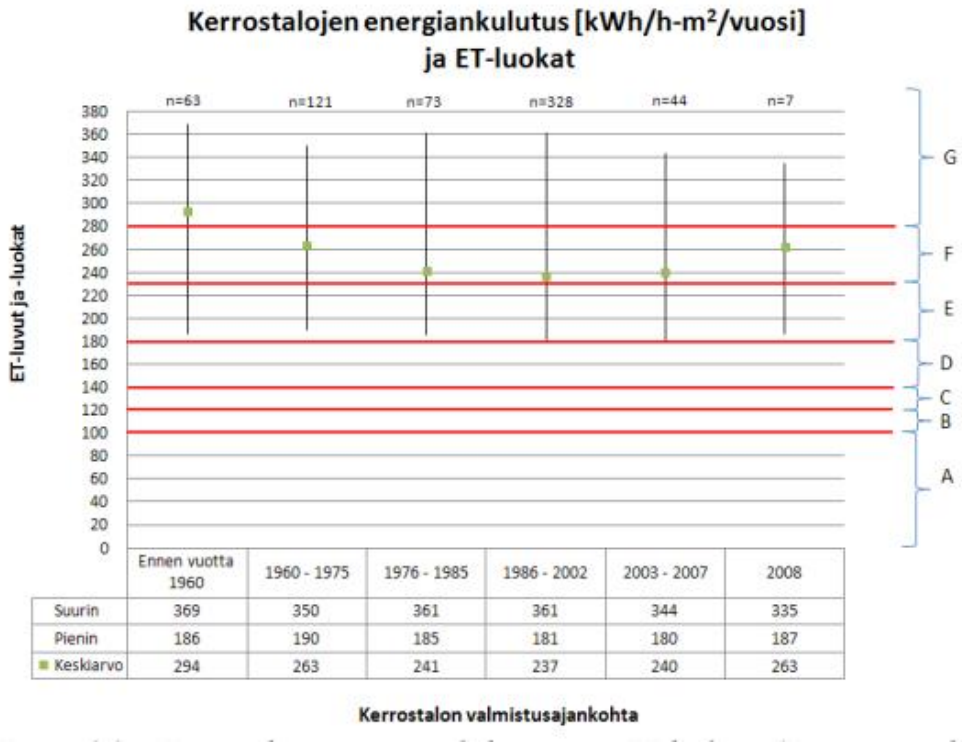
Eri korjaustoimenpiteiden vaikutukset lämpöenergiankulutukseen vaihtelevat huomattavasti eri kohteiden välillä. Yleensä on kannattavinta korjata paljon energiaa kuluttavia rakennuksia eli kerrostaloja, jotka kuuluvat esimerkiksi E- tai F-energiatehokkuusluokkiin. [5, s. 1.]

Yksittäisillä korjaustoimenpiteillä on yleensä mahdollista saavuttaa enintään 10 prosentin säästö kerrostalon lämpöenergiankulutuksessa. Vain lämmöntalteenottoon siirryttäessä voidaan saavuttaa suurempia säästöjä. Yleensä korjauksia suoritetaan rakenteen vaurioitumisen vuoksi, pelkästään energiansäästön takia ei korjauksia kannata toteuttaa. [5, s. 1.]

Merkittävimmin lämpöenergiankulutusta kerrostaloissa voidaan vähentää lämpötilan säädöllä asunnoissa. Monissa kerrostaloissa huonelämpötilat ovat turhan korkeita ja säädöllä voidaankin lämpöenergiankulutusta vähentää jopa 15 %. Toimenpide on myös hyvin edullinen toteuttaa. Muita kannattavimpia melko edullisia toimenpiteitä ovat lämmönsiirtimen sekä patteri- ja linjasäätöventtiilien uusiminen. Julkisivun lisä-

lämmöneristämisellä on mahdollista saavuttaa 10 % lämpöenergiansäästö. Ikkunoiden uusiminen tai etuikkunoiden asennus voi myös parhaimmillaan tuoda 10 % säästön lämpöenergiankulutukseen. Parvekelasituksella on mahdollista saavuttaa 5 - 10 % säästö. [5, s. 1.]

Yksittäisillä korjauksilla ET-lukua saadaan laskettua enimmillään 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. Paljon energiaa kuluttavilta kerrostaloilta eli yli 220 kWh/brm$^2$/a kuluttavilta kohteilta D-luokkaan pääseminen vaatii yleensä lämmöntalteenottoon siirtymistä. Toisaalta esimerkiksi alle 200 kWh/brm$^2$ vuodessa kuluttavat kerrostalot, joissa ilmanvaihto korjataan hyvän sisäilman vaatimuksien mukaiseksi, energiankulutus kasvaa lämmöntalteenotosta huolimatta ja ET-luokka ei korjauksissa paranekaan. Kuvassa 6 on esitetty eri aikakaudella valmistuneiden kerrostalojen energiankulutushajonta sekä keskiarvo ja ET-luokat. Tiedot on koottu kulutusaineiston perusteella 727:sta eri puolella Suomea sijaitsevista kerrostalokohteista. 1980-luvulla ja sen jälkeen on valmistunut paljon kerrostaloja, joiden ET-luku on 181 - 200 kWh/brm$^2$/a. Näiden kerrostalojen ET-luokkaa pystyttäisin monesti parantamaan luokasta E luokkaan D esimerkiksi ikkunakorjauksilla sekä ulkoseinien lisäeristyksellä ja lämmönsäädöllä. Näillä korjauksilla ET-lukua saataisiin pienennettyä noin 20 - 35 kWh/brm$^2$/a ja ET-luokaksi näin ollen D. [5, s. 84.]




**KUVA 6. Kerrostalojen energiankulutus ja ET-luokat [5, s. 84]**

Ilmanvaihdon mukana lasketaan kuluvan n. 30 – 40 % asuinrakennukseen tulevasta energiasta. Lämmön talteenotto poistoilmasta on siten merkittävin energiansäästöpotentiaali asuinkerrostaloissa. Lämmön talteenottoratkaisuilla saadaan hukkaan menevästä energiasta talteen 40 - 70 % laiteratkaisusta riippuen ja olettaen, että talon tiiveydestä on huolehdittu eikä merkittävä osa todellisesta ilman vaihtuvuudesta tapahdu vuotoina. [6, s. 8.]

Asuinkerrostaloissa toteutettujen ilmanvaihtoratkaisujen ongelmana energiansäästön näkökulmasta on usein ollut se, että todellinen ilmanvaihto ennen uudistusta on ollut huomattavasti alkuperäistä suunniteltua määrää pienempi ja lisäksi sitä on käytetty jaksotettuna korostetun säästeliäästi. Joko energiansäästön tai vetovalitusten vuoksi on tingitty ilmanvaihdon määrästä. Tällaisessa tapauksessa energiankulutus on saattanut uudistuksen yhteydessä kasvaa, kun ilmanvaihtomäärät palautetaan vaaditulle tasolle, huolimatta mahdollisesti hyvästäkin lämmön talteenoton hyötysuhteesta. Vertailut olisikin aina tehtävä tilanteeseen, jossa ilmanvaihto on ensin saatettu toimimaan suunnitellulla tai ainakin määräysten edellyttämällä tasolla. Säästöjä saadaan joka tapauksessa parhaiten silloin, kun pystytään toteuttamaan tarpeenmukainen huoneistokohtainen ilmamäärän säätö, ja sitä käytetään oikein. [6, s. 9.]

# 6 LÄMPÖPUMPUT

## 6.1 Yleistä

Lämpöpumput luokitellaan neljään kategoriaan: maa-, vesi-ilma-, ilma- ja poistoilmalämpöpumppuihin. Näistä voi helposti sekoittaa vesi-ilma-, ilma- ja poistoilmalämpöpumpun. Lämmönkeräystapa ja sen luovuttamistapa vaihtelevat eri lämpöpumpputyypeissä. Ilmalämpöpumppu kerää lämmön suoraan ulkoilmasta ja luovuttaa sen rakennuksen sisäilmaan. Ilma/vesilämpöpumppu kerää lämmön myös suoraan ulkoilmasta, mutta luovuttaa sen vesivaraajaan. Poistoilmalämpöpumppu ottaa lämmön rakennuksen poistoilmasta ja luovuttaa sen takaisin rakennuksen tuloilmaan ja vesivaraajaan. Maalämpöpumppu kerää lämmön maasta tai vedestä putkistossa kiertävään keruunesteeseen ja luovuttaa sen vesivaraajaan. [7, s. 3 – 4.]

Ilmalämpöpumput ovat yksinkertaisia ja halvimpia lämpöpumppuja. Niiden lämmityskyky heikkenee lämpötilan jäähtyessä ja loppuu kokonaan pakkasen kiristyttyä riittävästi. Tämän takia ne eivät sovellu Suomen oloissa muutoin kuin lämmitysjärjestelmän rinnalle pienentämään energiankulutusta. Ne vähentävät energiankulutusta vielä nollakeleillä ja pienillä pakkaslukemilla. Ilmalämpöpumpun lämmöntuotantokyky on ristiriidassa rakennuksen lämmöntarpeen kanssa. Kovilla pakkasilla, kun lämpöenergiaa tarvittaisiin eniten, ilmalämpöpumppu ei sitä pysty tuottamaan. [7, s. 4.]

Maalämpöpumput ovat ilmalämpöpumppua tehokkaampia, mutta myös kalliimpia. Sillä voi tuottaa rakennuksen lämmitysenergian tarpeen lähes kokonaan, mutta varalle tarvitaan myös muu lämmitysmuoto, esimerkiksi sähkölämmitys, jolla voi kovilla pakkasilla tai häiriötilanteissa lämmittää rakennusta. [7, s. 4.]

Lämpöpumppu toimii samalla periaatteella kuin jääkaappi tai pakastin, eli se kerää ja siirtää lämpöä kylmemmästä paikasta lämpimämpään. Jääkaapin kompressorikoneisto pitää kaapin ja sen sisällön kylmänä poistamalla kaapista lämpöä, joka vapautuu kaapin takana olevasta radiaattorista huonetilaan. Lämpöpumppu toimii samalla tavalla, mutta vastakkaiseen suuntaan; se pitää rakennuksen lämpimänä keräämällä lämpöä esim. kylmästä ulkotilasta ja siirtämällä sen sisätiloihin. Lämpöpumpun kompressori-

koneistokin on samantapainen kuin jääkaapeissa, koneiston koko ja teho ovat vain suuremmat. [8, s. 29.]

Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen kiertoon kahden putkilla toisiinsa yhdistetyn osan, höyrystimen ja lauhduttimenvälillä. Höyrystimeen alhaiseen paineeseen vapautuneen ja samalla voimakkaasti jäähtyneen kylmäaineen annetaan ensin kerätä ulkotiloista itseensä lämpöä, jolloin se samalla höyrystyy. Tämän jälkeen kompressori puristaa kylmäaineen korkeaan paineeseen, jolloin se kuumenee samalla lähes 100 asteen lämpötilaan. Kuumentunut paineenalainen kylmäaine ohjataan nyt sisätiloissa olevaan lämpöpumpun lauhduttimeen, missä se luovuttaa ulkoa keräämänsä lämmön rakennuksen lämmittämiseen. Lämpönsä luovuttava kylmäaine jäähtyy samalla ja tiivistyy taas nesteeksi. Nestemäisen kylmäaineen annetaan nyt purkautua paisuntaventtiilin kautta uudelleen höyrystimeen, jolloin sen paine samalla voimakkaasti alenee, ja se jäähtyy alimmillaan noin - 20 Celsius-asteeseen. Höyrystimeen vapautunut kylmäaine alkaa taas kerätä lämpöä itseensä, ja sama kierto alkaa uudelleen. Lämpöpumpun toiminnan mahdollistaa kylmäaine, joka voi ottaa ympäristöstä lämpöä ja höyrystyä alhaisessa lämpötilassa, jos sen paine on alhainen ja toisaalta luovuttaa lämpönsä ja tiivistyä korkeassa lämpötilassa lauhduttimessa, jos sen paine on korkea. [8, s. 30 – 31.]

Lämmön keräystapa ja sen luovuttamistapa vaihtelevat eri lämpöpumpputyypeissä. Yleisimmin käytetty lämpöpumppu, ilmalämpöpumppu kerää lämmön suoraan ulkoilmasta ja luovuttaa sen rakennuksen sisäilmaan.  llma- / vesilämpöpumppu kerää myös lämmön ilmalämpöpumpun tapaan suoraan ulkoilmasta, mutta luovuttaa sen vesivaraajaan. Poistoilmalämpöpumppu ottaa lämmön rakennuksen poistoilmasta talteen ja luovuttaa sen joko tuloilmaan tai veteen. [8, s. 53.]

Lämpöpumppu kerää hyvissä olosuhteissa itse käyttämänsä energian jatkoksi rakennuksen ulkopuolelta runsaasti "ilmaista" lisäenergiaa. Pumpun toiminnan tehokkuutta kuvaa sen lämpökerroin. Englanninkielessä siitä käytetään lyhennettä COP (CoefÌìcient Of Performance). COP-arvo kertoo, miten moninkertaisen määrän lämpöä pumppu tuottaa itse kuluttamaansa energiamäärään verrattuna. Esimerkiksi lämpökertoimen arvolla 3 pumppu luovuttaa jokaisen itse käyttämänsä kilowattitunnin

lisäksi rakennukseen kaksi ylimääräistä kilowattituntia lämpöä. Jokaista rakennusta lämmittävää kolmen kilowattitunnin energiamäärää kohti sähkölaskuun kertyy silloin maksettavaa vain yhdestä kilowattitunnista. [8, s. 31 – 32.]

Lämpökertoimen suuruus riippuu lämmönkeruu- ja luovutuslämpötiloista, ja sen teoreettinen arvo voidaan laskea yhtälöstä

$$\text{Lämpökerroin} = \frac{T2}{(T2-T1)} \qquad (1)$$

$T_1$ on kohteen lämpötila, josta lämpö kerätään eli ulkoilman tai maan lämpötila, K

$T_2$ on kylmäaineen lauhtumislämpötila eli sisäilman tai kiertoveden lämpötila, K

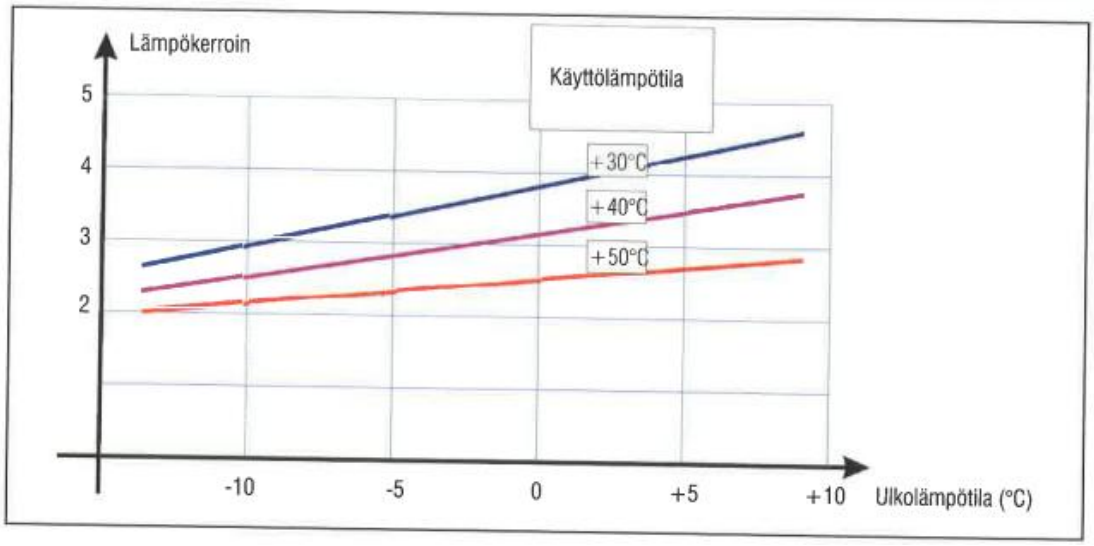
Lämpökertoimen arvoa laskettaessa lämpötilojen on oltava nk. Kelvin-yksiköitä eli absoluuttisesta nollapisteestä alkavia absoluuttisia lämpötila-arvoja. Celcius-asteina mitatut lämpötila-arvot muutetaan Kelvineiksi yksinkertaisesti lisäämällä niihin luku 273. [8, s. 32.]

Tämä laskutapa tuottaa käytännössä kuitenkin aivan liian optimistisia lämpökertoimen arvoja, sillä siinä oletetaan kompressorin ja lämpöpumpun muidenkin laitteiden toimivan täydellä 100 %:n hyötysuhteella. Todellisissa lämpöpumpuissa niin kompressorin kuin apulaitteidenkin oma kulutus huonontaa kuitenkin aina lämpökertoimen arvoja. [8, s. 32.]

Lämpöpumppujen todellisia lämpökertoimen arvoja alentaa myös se, että laskelmassa pitäisi käyttää keruulämpötilana kylmäaineen lämpötilaa paisuntaventtiilin jälkeen höyrystimessä, missä se on alempi kuin etäämmällä keruuputkistossa, missä lämpö varsinaisesti kerätään. Luovutuslämpötilanakin pitäisi käyttää kylmäaineen lämpötilaa kompressorin jälkeen lauhduttimessa, ja tämä lämpötila on aina korkeampi kuin se lämpötila, missä lämpö saadaan käyttöön. Näiden syiden takia lämpöpumppujen todelliset lämpökertoimen arvot ovat aina teoreettisesti laskettuja arvoja alempia. Käytännössä hyvänä lämmönkeruusuhteen arvona voidaan pitää arvoa 3. [8, s. 32.]

Laskelmasta voi kuitenkin päätellä, että lämpökertoimelle saadaan hyvä arvo, jos lämmön keruu- ja luovutuslämpötilojen välillä on mahdollisimman pieni ero. Ulkoilman tai maan lämpötilaan ei juuri voi vaikuttaa, joten tärkeintä on pitää luovutuslämpötila mahdollisimman alhaisena. Jos lämpö siirtyy rakennukseen kiertoveden mukana, veden lämpötila kannattaa pitää mahdollisimman alhaisena. [8, s. 32.]

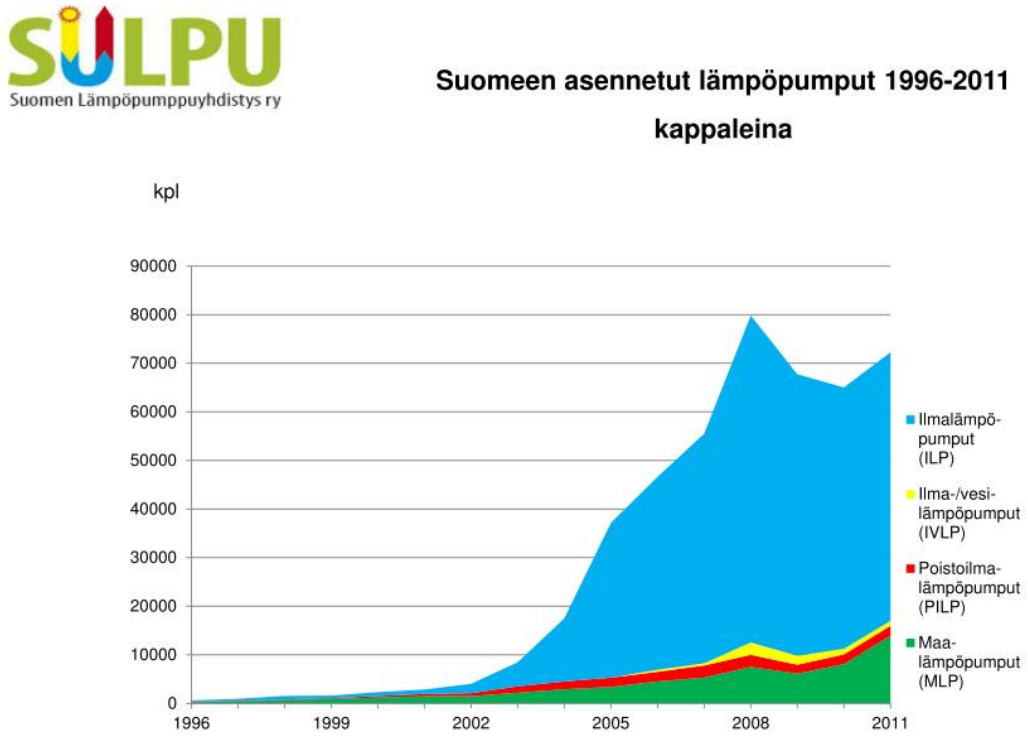
Maalämpöpumpulla lämpiävissä rakennuksissa kiertovesiputket on usein valettu betoniseen lattialaattaan, mistä haaleakin kiertovesi levittää lämmön tehokkaasti huonetilaan. Kiertoveden lämpötilaksi riittää silloin vain runsas 30 astetta, ja pumpun lämpökertoimesta tulee erittäin hyvä. Tavanomainen patterilämmitys vaatii lämpimämmän kiertoveden, joka samalla alentaa pumpun lämpökerrointa. [8, s. 32, 34.]




**KUVA 7. Lämmönlähteen ja käyttökohteen välisen lämpötilaeron vaikutus lämpöpumpun lämpökertoimeen [8, s. 33]**

## 6.2 Määrä Suomessa

Lämpöpumppujen käyttö on yleistynyt Suomessa 2000 – luvun alkupuoliskolta lähtien. Enimmillään asennettujen lämpöpumppujen määrä Suomessa on ollut vuonna 2008, jolloin määrä oli noin 80 000 kappaletta. Määrästä pääosa oli ilmalämpöpumppuja ja poistoilmalämpöpumppujen osuus oli muutamia prosentteja (kuva 8).




**KUVA 8. Suomeen asennetut lämpöpumput 1996 – 2011 [9]**

Vuonna 2011 lämpöpumppujen myyntimäärä Suomessa kasvoi vuoteen 2010 verrattuna yli 7 000 kappaleella eli kasvu oli noin 11 % (taulukko 6). Suurinta kasvu oli sekä määrällisesti että prosentuaalisesti maalämpöpumpuissa. Poistoilmalämpöpumppuja myytiin sekä vuonna 2010 että 2011 noin 2 000 kappaletta. Kappalemääräisesti kasvu oli vain 60 kappaletta eli noin 3 %. Tilastoista ei ilmene myytyjen/asennettujen pumppujen koko/teho ja siinä mahdollisesti tapahtuneet muutokset. Mikäli pumppuja on alettu asentaa enemmän myös suurempiin rakennuksiin (rivitalot ja kerrostalot), voi lämpöpumppujen käytön lisääntymisellä olla merkittävämpi vaikutus rakennusten lämmitysenergian kulutukseen, mitä pelkän kappalemääräisen myyntitilaston perusteella voisi ajatella.

**TAULUKKO 6. Erityyppisten lämpöpumppujen myyntimäärät Suomessa vuosina 2010 ja 2011 [9]**

| Lämmönlähde | Lämmönjako | Vuosi | Yhteensä |
|---|---|---|---|
| Ulkoilma | Vesi (UVLP) | 2011 | **992** |
| | | *2010* | ***1150*** |
| | Ilma (ILP) | 2011 | **55286** |
| | | *2010* | ***53821*** |
| Poistoilma | Vesi, ilma (PILP) | 2011 | **2048** |
| | | *2010* | ***1988*** |
| Maa, vesi, kallio | Vesi, ilma (MLP) | 2011 | **13941** |
| | | *2010* | ***8091*** |
| Yhteensä | | **2011** | **72267** |
| | | *2010* | *65050* |

# 7 POISTOILMALÄMPÖPUMPPU

## 7.1 Toimintaperiaate ja käyttö asuinrakennuksissa

Poistoilmalämpöpumpun avulla hyödynnetään poistoilman mukana poistuvaa lämpöenergiaa, joka menisi muuten hukkaan. Poistoilman lämpöenergia hyödynnetään nykyisin uusissa rakennuksissa pääosin yksinkertaisilla lämmönsiirtimillä, joiden avulla lämpö siirretään poistoilmasta lämmittämään tuloilmaan. Tämä ei kuitenkaan ole käytännössä mahdollista rakennuksissa, joissa ei ole koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää. Poistoilmalämpöpumpulla saadaan lisäksi hyödynnettyä poistoilman lämpöenergia tarkemmin ja laitteiston avulla lämpötilaa saadaan nostettua korkeammalle, jolloin talteenotettua lämpöenergiaa pystytään hyödyntämään paremmin ja muissakin käyttötarkoituksissa kuin tuloilman lämmityksessä.

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmään kuuluu kompressori, poistoilmavirtaan sijoitettu höyrystin ja lämmön käyttökohteeseen sijoitettu lauhdutin. Lämpöpumpun avulla lämpötila saadaan nostetuksi lauhduttimessa yli 40 °C:n. Silloin poistoilmasta talteenotettua lämpöä voidaan käyttää myös muuhun kuin ilmanvaihtoilman lämmitykseen. Höyrystimet sijoitetaan poistoilmavirtaan. Lauhduttimesta lämpö voidaan siirtää suoraan lämmitys- tai käyttövesipiiriin, mutta yleisemmin kuitenkin erillisen käyttöpiirin

välityksellä. Poistoilmalämpöpumppu soveltuu erityisesti rakennuksiin, joissa ei ole koneellista tuloilmajärjestelmää. [10, s. 380.]

Poistoilmalämpöpumpulle, kuten muillekin ilmanvaihtoilman lämmön talteenottolaitteille on edullista, että rakennuksen poistoilma poistuu mahdollisimman harvoista paikoista. Jos poistoilma-aukkoja on useampia, on epäsuoran järjestelmän käyttö teknisesti helpompaa kuin suoran. Jokaiseen jäteilma-aukkoon asennetaan jäähdytyspatteri, jossa kiertävä neste johdetaan lämpöpumpun höyrystimeen. Suorassa järjestelmässä usean höyrypatterin käyttö johtaa pitkiin kylmäainetäytteisiin putkivetoihin ja moniin liitoksiin. Rakennuksesta ja putkivetojen pituudesta riippuen kompressori ja lauhdutin voivat sijaita joko ullakolla, lämmönjakohuoneessa tai kattilahuoneessa. [10, s. 381.]

Lämpöpumpun avulla poistoilman lämpötila voidaan jäähdyttää alle ulkoilman lämpötilan. Ulkoilman lämpötilaan verrattuna lämmön talteenoton hyötysuhde on silloin yli 100 %. Jos sähkötehossa otetaan huomioon pelkkä kompressori, rajoitutaan tarkastelussa pelkkään lämpöpumppuun. Tärkeämpää on kuitenkin tarkastella koko järjestelmän lämpökerrointa. Silloin sähkötehoon on sisällytettävä lämpöpumppujärjestelmän kaikkien laitteiden tarvitsema sähköteho (pumput, puhaltimet ym.). [10, s. 381 – 382.]

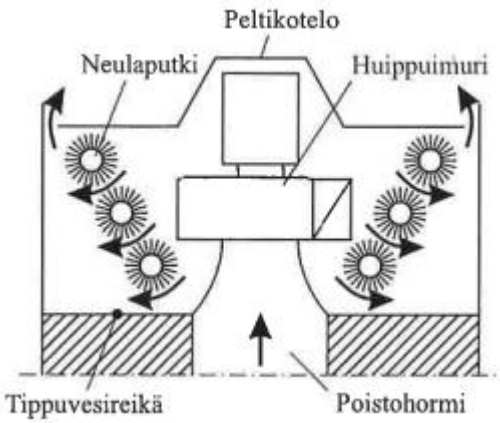
Lauhtumislämpötilan ja höyrystymislämpötilan erotuksen pieneneminen suurentaa lämpökerrointa. Tämän vuoksi lämpöpumpun lauhduttimen lämpö on edullista käyttää mahdollisimman alhaisessa lämpötilassa, jolloin lämpötilaero on pieni ja lämpökerroin suuri. [10, s. 382.]

Asuinrakennusten poistoilman lämmöntalteenotto tapahtuu keskitetysti tai huippuimureihin yhdistetyillä höyrystimillä (kuva 9). Talteenotettu lämpö ohjataan hyötykäyttöön lämpökeskuksessa, joka miltei aina sijaitsee kellari- tai pohjakerroksessa. Talteenotettu lämpö on siis johdettava katolta alas. Tämä voi tapahtua kahdella periaatteella (kuva 10):

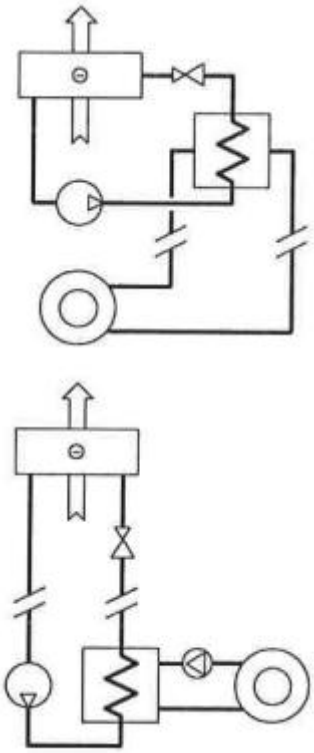
- lämpöpumpun höyrystin sijoitetaan katolle ilmavirtaan (suora höyrystys)
- höyrystin on lämpökeskuksessa ja on putkistolla yhdistetty poistoilma-aukossa sijaitsevaan lämmöntalteenottopatteriin (epäsuora hoyrystys)

Koska poistoilmaa jäähdytetään voimakkaasti, laskee sen lämpötila alle kastepistelämpötilan. Tästä syystä vettä tiivistyy jäähdytyspatterin pintoihin. Tiivistyvä vesivirta

saattaa asuntoa ja vuorokautta kohden olla yli 5 kg. Siksi on tärkeää, että vesi johdetaan ohjatusti viemäriin. [10, s. 382.]




**KUVA 9. Huippuimuriin yhdistetty lämmön talteenottopatteri [10, s. 382]**

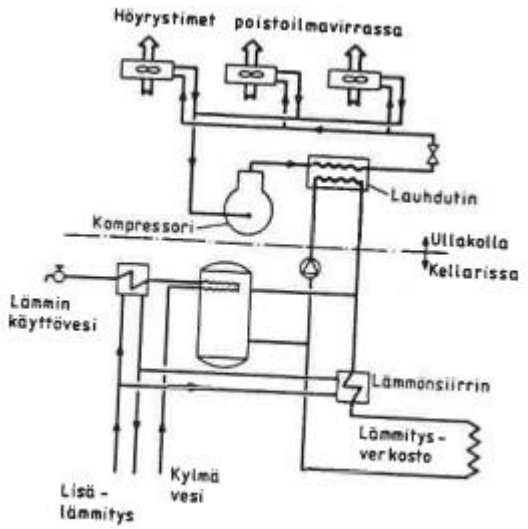


**KUVA 10. Lämpöpumppu voi sijaita ullakolla/katolla poistoilmalaitteen yhteydessä tai pohjakerroksessa lämmityslaitteiden lähellä [10, s. 382]**

Ilmanvaihdon jäteilma-aukon ja lämmönjakokeskuksen välinen putkitus voidaan vanhoissa rakennuksissa sijoittaa useaan paikkaan. Edullisin vaihtoehto riippuu tapauksesta. Mahdollisia sijoituspaikkoja ovat:

- vanha, käytöstä poistettu ilmanvaihdon pystyhormi
- vanha roskakuilu
- hissikuilu
- rakennuksen ulkoseinä savupiipun vieressä. [10, s. 383.]

Poistoilmanlämpöpumpun lämpö voidaan käyttää joko käyttöveden tai lämmitysverkon veden lämmittämiseen (kuva 11). Edullisin käyttökohde on se, jonka lämpötila on alhaisin. Tämä riippuu lämmitysverkoston mitoituksesta ja lämmitystehon tarpeesta. [10, s. 383.]




**KUVA 11. Poistoilmasta talteenotettu lämpö voidaan käyttää joko käyttöveden lämmitykseen tai lämmitysverkoston veden lämmittämiseen. [10, s. 383]**

Pientalojen poistoilmalämpöpumppu voidaan yhdistää myös rakennuksen ilmalämmitysjärjestelmään ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Omakotitaloissa järjestelmillä on mitattu 45 %:n lämmitysenergian säästöjä, käyttöveden lämmitys mukaan lukien. [10, s. 383.]

Hyvin suunnitellulla poistoilmalämpöpumpulla on saatu lämpökerroin niinkin suureksi kuin 4,2. Asuinkerrostalossa Tapiolassa poistoilmalämpöpumpulla on tuotettu yli 40 % rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta. Pienin parannuksin on osuuden arvioitu nousevan jopa 60...90 %:iin. Poistoilmalämpöpumpun lämpökerrointa voidaan paran-

taa, jos lämmin käyttövesi kiertää suoraan lauhduttimessa ja se varastoidaan kahteen rinnan kytkettyyn varaajasäiliöön. [10, s. 384.]

## 7.2 Käyttö asuinkerrostaloissa Suomessa ja saavutettu hyöty

Poistoilmalämpöpumppujen käyttö asuinkerrostaloissa Suomessa on tiettävästi ollut hyvin vähäistä. Aivan viime vuosina kiinnostus PILP-laitteiston hyödyntämiseen erityisesti jo olemassa olevien kerrostalokohteiden energiatehokkuuden parantamiseen on lisääntynyt ja laitteistoja on asennettu useampaan kohteeseen. Markkinoilla on myös useampia toimijoita, jotka tarjoavat vanhoihin kerrostalokohteisiin soveltuvia PILP-laitteistoja. Osa toimijoista tarjoaa pelkkää laitteistoa mutta sen lisäksi voidaan tarjota myös suunnittelua, laitteiston käyttöä ja kunnossapitoa sekä laitteiston toiminnan ja energiankulutuksen seurantaa. YIT:n lisäksi toimijoita ja laitteistoratkaisu-ja/niiden tarjoajia ovat esim. RS-partners/Therco ja Naavatar.

### 7.2.1 Esimerkkikohde 1: Therecon laitteisto

Seuraavassa on Thereconin www-sivuilta [11] löytyvä kuvaus kohteesta, johon on asennettu Theroconin PILP-laitteisto. Seurantajakson pituudeksi on ilmoitettu kaksi vuotta:

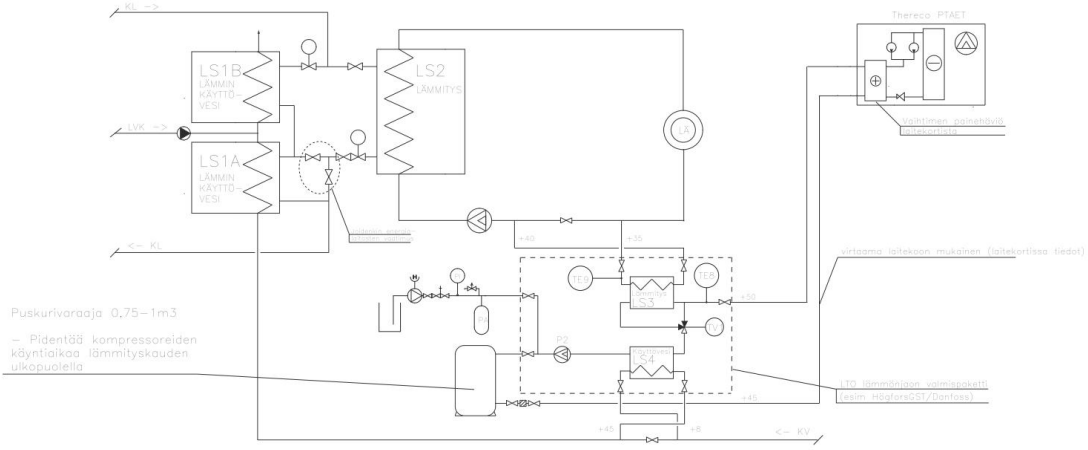
*As Oy Pilttipiha on kolmesta kerrostalosta koostuva yhtiö. Taloon jossa sijaitsee lämmönjakohuone, asennettiin lämmön talteenottolaitteisto tammi-helmikuussa 2011. Talossa on käytössä 2 puhallustehoa, normaali ja tehostus. Normaali ilmanvaihto on 750 l/s, päällä 18h/vrk ja tehostus on 1500 l/s joka on päällä 6h/vrk.*

*Laitteiston vuosituotoksi laskettiin ennen asennuksia noin 175 MWh ja siihen käytettäväksi sähköenergian määräksi noin 45 MWh.*

*Nyt kahden vuoden seurantajakson jälkeen voidaan todeta että laitteiston toiminta on ollut kuten luvattua ja annettuihin arvoihin on päästy. Tuottu energiamäärä on 347 MWh ja sähkön kokonaiskulutus noin 90 MWh.*

Thereconin mukaan lämmön talteenottolaitteistolta saadaan vuositasolla lämmitysenergiaa 40 – 50 % kiinteistön kokonaistarpeesta.

Kuvassa 12 on nähtävissä Therecon-laitteiston esimerkkikytkentä.




**KUVA 12. Therecon PILP-laitteiston (suorahöyrystys) esimerkkikytkentä [11]**

Lämmön talteentossa voidaan kuvasta 12 poiketen käyttää vaihtoehtoisesti myös LTO-patteria.

### 7.2.2 Esimerkkikohde 2: Naavatar-konsepti

Seuraavassa on Naavattaren www-sivuilta [12] löytyvä esitteen Naavatar-laitteiston ja sen toiminnan kuvaus:

*Naavatar-laitteisto koostuu kolmesta kokonaisuudesta sekä niiden välisestä putkituksesta ja kaapeloinnista. Yksiköt ovat kattoyksikkö (kuva 13), lämmitysyksikkö ja kaukolämmön lämmönjakokeskus. Lisäksi kaikkia laitteita ohjaa rakennusautomaatiojärjestelmä. Kattoyksikkö ottaa talteen poistoilmassa olevan energian. Lämmin, +21 °C, poistoilma ohjataan kattoyksikön harjalämmönsiirtimen läpi. Poistoilman hukkalämpö siirtyy nesteeseen, samalla poistoilman lämpötila lasketaan - 3 °C:een. Kattoyksikön ja lämmitysyksikön välissä virtaa glykoliliuos, joka on sekoitettu 20 - prosenttiseksi.*

**KUVA 13. Naavatar-kattoyksikkö asennettuna kerrostalokiinteistön katolle [12]**

*Lämmitysyksikkö käyttää kattoyksiköltä saadun energian lämpöpumpun höyrystimessä, jossa kylmäaine saadaan höyrystymään pienessä paineessa nesteestä kaasuksi. Kompressori nostaa kaasun painetta, jolloin sen lämpötila kasvaa. Korkealämpötilainen kaasu lauhdutetaan lämpöpumpun lauhduttimessa uudelleen nesteeksi, jolloin saadaan lämpöenergiaa patteriverkostoa ja käyttövettä varten.*

*Lämmitysyksikkö koostuu kahdesta osasta, lämpöpumpusta ja kahdesta 500 litran käyttövesivaraajasäiliöstä. Lämpöpumpun kompressorilla lämpöenergia johdetaan lämmönsiirtimien avulla patteripiiriin ja käyttöveteen, lämmönsiirtimet ovat kaukolämpöpaketissa. Patteri- ja käyttöveden kierron taajuusmuuttajapumppuja ohjataan rakennusautomaation kautta käyttötarpeen mukaan.*

*Mikäli järjestelmän tuottama energia ei riitä, niin lisäenergia otetaan esimerkiksi kaukolämmöstä lämmönjakokeskuksen avulla. Naavatar-järjestelmä liitetään eValvomoon, jota kautta ePalvelu varmistaa järjestelmän toiminnan. eValvomon kautta nähdään myös järjestelmän energiakulutus ja online-COP-kerroin.*

Naavatar-järjestelmän vuotuiseksi energiansäästöksi ilmoitetaan tuote-esitteen mukaan, tässä dokumentissa myöhemmin esitettävän pilot-kohteen kaltaisessa tapauksessa, jossa poistoilmamäärä on 2,7 $m^3/s$ (YIT:n/HOAS:n pilotkohde: laitteiston mitoitus IV-koneen puolikkaan tehon, poistoilmamäärän 3,5 m3/s mukaan), 560 MWh/a ja sen arvoksi yli 22 000 €/a. Laskelmissa säästö on laskettu kaukolämmön hinnalla 70 €/MWh ja sähkön hinnalla 100 MWh ja Naavatar-järjestelmän kokonais-COP-kertoimella 3,3.

### 7.2.3 Muita esimerkkejä

Tero Huuhtasen vuonna 2012 tekemässä insinöörityössä ”Poistoilmalämpöpumppujen ja aurinkokeräinten kannattavuusvertailu kerrostalokiinteistössä” [13] on vertailtu kahden,PILP-laitteistolla varustetun asuinkerrostalon PILP-laitteiston käytön kannattavuutta. Vertailu on toteutettu vertaamalla edellä mainittujen asuinkerrostalojen energiankulutustietoja ja kustannuksia samoilla paikkakunnilla sijaitseviin vertailurakennuksiin, jotka ovat kaukolämpökäytössä. PILP-laitteistoilla varustetut kerrostalot sijaitsevat Tampereella ja Espoossa, ja niiden rakennustilavuudet ovat 7 000 $m^3$ ja 11 000 $m^3$. Laitteistoinvestoinnin hintana on käytetty 50 000 euroa.

Laskelmien mukaan toteutuneen energiainsäästön arvo on ollut kohteessa 1 vajaat 2 000 €/a ja kohteessa 2 reilut 8 500 €/a ja investoinnin takaisinmaksuajat ovat 37 a ja 6 a.

Työssä on ilmoitettu myös muista lähteistä kerättyjä tietoja PILP-laitteiston investointikustannuksista, saavutetuista säästöistä sekä takaisinmaksuajoista. Tietojen mukaan neljässä eri kerrostalokohteessa (Porvoo, Akaa, Oulu sekä paikka tuntematon) investointikustannukset ovat vaihdelleet välillä 45 000… 110 000 €, vuotuiset rahalliset säästöt välillä noin 2 000 … 10 000 € ja investoinnin takaisinmaksuajat ovat olleet luokkaa 5 … 23 vuotta.

# 8 MÄÄRÄYKSET JA OHJEET LIITTYEN RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUKSEEN, ENERGIATEHOKKUUTEEN YMS.

## 8.1 Lainsäädännöstä ja sen kehityksestä

Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen taustalla on Kioton ilmastosopimus sekä Suomen energia- ja ilmastostrategia, jonka tavoitteena on kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen. Rakennusten energian käyttö aiheuttaa noin 30 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Energian käytöstä rakennusten osuus oli lähes 40 % vuonna 2003.

Vuonna 2003 tehdyn rakentamismääräysten muutoksen avulla rakennusten energiankulutuksesta pyrittiin säästämään 25 - 30 % aiempaan määräystasoon verrattuna. Ympäristöministeriö antoi kesällä 2007 uudet rakennuksen energiatehokkuutta ja lämpöhäviöitä koskevat vaatimukset (RakMk 2007). Tällöin vaatimuksia ei muutettu oleellisesti. Joulukuussa 2008 annetuissa määräyksissä (RakMk 2010) energiatehokkuusvaatimukset parantuivat noin 25 – 30 %. Maaliskuussa 2011 annetuissa uusissa määräyksissä energiatehokkuusvaatimuksia parannetaan edelleen noin 20 % ja samalla määräysten rakenne ja sisältö uudistettiin perusteellisesti. [14, s. 7.]

Rakennuksen energiatehokkuutta ja lämpöhäviötä käsitellään seuraavissa Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa:

- C4 Lämmöneristys. Ohjeet 2012, luonnos 16.3.2012
- D3 Rakennuksen energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012

D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012, luonnos 14.3.2012. [14, s. 7.]

Rakentamismääräysten uudistaminen on osa rakennusten energiatehokkuusdirektiivin toimeenpanoa Suomessa. Uudistetut määräykset mahdollistavat aiempaa suuremman joustavuuden suunnittelutyössä ja toisaalta antavat vapauden käyttää eri laskentamenetelmiä energiatehokkuuden laskennassa. [14, s. 7.]

## 8.2 Rakennusten energiatehokkuus ja rakennusten E-luku (D3 – 2012)

Suomen rakentamismääräyskokoelman rakennusten energiatehokkuutta käsittelevät, 1.7.2012 voimaan astuneet uudet määräykset ja ohjeet, D3 2012 [15], koskevat uusia rakennuksia, joissa käytetään energiaa tilojen ja ilmanvaihdon lämmitykseen ja sen lisäksi mahdollisesti jäähdytykseen tarkoituksenmukaisten sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseksi.

Vaikka määräykset koskevat siis vain uusia rakennuksia, eivätkä tässä selvityksessä pääkohteina olevia vanhoja, saneerattavia rakennuksia, esitellään tässä ko. määräysten sisältö lyhyesti. Määräyksissä koskevia ohjeita ja vaatimuksia voidaan kuitenkin hyödyntää esim. laskettaessa ja vertailtaessa vanhojen rakennusten saneeraustoimenpiteiden vaikutusta sekä myös osin vertailtaessa rakennusten energiatehokkuutta uusiin

rakennuksiin ja D 3:ssa annettuihin vaatimuksiin sekä D 3:ssa esitettyihin eri käyttötarkoitusluokkiin kuuluville taloille annetuille kokonaisenergiankulutusvaatimuksille (E-luku). E-lukua, joka saadaan laskemalla yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodoittain, ei ole ollut mukana aiemmassa, vuonna 2010 voimaan astuneessa D3:ssa. Lisäksi poistoilmalämpöpumppua voidaan periaatteessa hyödyntää myös uusissa kerrostaloissa, esim. maalämpöjärjestelmän ohessa.

D3:ssa rakennukset ja tilat jaotellaan seuraaviin käyttötarkoitusluokkiin, esim. luokka 2: asuinkerrostalot, ja rakennuksille on määritetty käyttötarkoitusluokittain E-luvut, joiden arvoa ei saa ylittää.

Suomen rakentamismääräyskokoelman rakennusten energiatehokkuutta koskevissa määräyksissä ja ohjeissa (D3 2012) esitetään energiatehokkuuden vaatimukset mm. rakennuksen kokonaisenergiankulutukselle, rakennusvaipan ilmanpitävyydelle, rakennusosien lämmönläpäisykertoimien enimmäisarvoille, rakennuksen lämpöhäviöille, ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuudelle ja rakennuksen lämmitysjärjestelmän teholle.

D3:n esitetään määräykset ja ohjeet mm. seuraaville energialaskennan lähtötiedoille: säätiedot, sisäilmasto, rakennuksen standardikäyttö, lämmin käyttövesi ja rakennuksen ilmanpitävyys.

D3:n energialaskennan laskentasäännöissä on annettu määräykset koskien mm. seuraavia tekijöitä ja järjestelmiä: lämmitysenergian nettotarve, rakennusvaipan lämpöhäviöt, lämmitysjärjestelmä, ilmanvaihtojärjestelmä, jäähdytysjärjestelmä sekä valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähkönkäyttö

D 3:n mukaan rakennuksen ostoenergiankulutus on laskettava näissä määräyksissä esitetyillä ulkoilman säätiedoilla, sisäilmasto-olosuhteiden, rakennuksen ja sen järjestelmien käyttö- ja käyntiaikojen sekä sisäisten lämpökuormien lähtöarvoilla (rakennustyypin standardikäyttö). Muut energialaskennan tarvitsemat lähtötiedot otetaan rakennuksen suunnitteluasiakirjoista.

D 3:n mukaan rakennuksen kokonaisenergiankulutus (E-luku) on laskettava. E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyypin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. E-luku saadaan laskemalla yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodoittain.

Energiamuotojen kertoimet ovat seuraavat:

- sähkö 1,7
- kaukolämpö 0,7
- kaukojäähdytys 0,4
- fossiiliset polttoaineet 1,0
- rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet 0,5

D 3:n mukaan uusien asuinkerrostalojen (luokan 2 rakennusten) E-luku ei saa ylittää arvoa 130 kWh/m$^2$/vuosi.

D 3:ssa esitetään lisäksi lämpöpumppuja koskevat seuraavat määritelmät, määräykset ja ohjeet:

- Uusiutuvaa omavaraisenergiaa on esimerkiksi aurinkopaneeleista ja -keräimistä tuotettu energia, paikallinen tuulienergia ja lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia.
- Lämmitysjärjestelmän tilojen lämmityksen energiankulutus voidaan laskea jakamalla tilojen lämmitysenergian nettotarve lämmitysjärjestelmän lämmönjaon ja -luovutuksen hyötysuhteella. Tämä tulos jaetaan vielä tuoton hyötysuhteella kuten esimerkiksi kattilan hyötysuhteella tai lämpöpumpun vuoden keskimääräisellä lämpökertoimella.
- Ilma-ilmalämpöpumpun tuottamaksi lämmitysenergiaksi voidaan laskea enintään 1000 kWh vuodessa, lukuun ottamatta kiinteän ilmanvaihto- tai lämmitysjärjestelmän osana toimivia ilmailmalämpöpumppuja, joiden tuottama lämmitysenergia voidaan ottaa täysimääräisesti huomioon.
    - Ostoenergiaa laskettaessa tulee ottaa huomioon varaavien tulisijojen ja ilma-ilmalämpöpumppujen hyötysuhteet.

- Lämpöpumppujärjestelmissä otetaan huomioon lisälämmityksen (yleensä sähköinen) energiankäyttö ellei maalämpöpumppujärjestelmä ole mitoitettu täysi-

tehomitoituksella. Ilma-vesi-tyyppisten lämpöpumppujen tapauksessa lasketaan aina lisälämmityksen energiankäyttö. Laskennassa otetaan huomioon, että ulkoilmaa lämmönlähteenä käyttävien lämpöpumppujen teho ja lämpökerroin riippuvat olennaisesti ulkolämpötilasta.

Lisäksi poistoilmalämpöpumppujen hyödyntämiseen liittyy vaatimus, että rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Vastaava lämpöenergiantarpeen pienentäminen voidaan toteuttaa

1) rakennuksen vaipan lämmöneristystä parantamalla;
2) rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä parantamalla; tai
3) vähentämällä ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaa lämpömäärää muulla tavalla kuin poistoilman lämmöntalteenotolla.

Vastaava lämpöenergiantarpeen pienentäminen osoitetaan rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskennalla, joka lasketaan D3:n mukaisesti. Rakennuksen lämpöhäviö saa olla kokonaisuudessaan enintään yhtä suuri kuin D3:ssa esitettyjen arvojen mukaisilla vertailuarvoilla rakennukselle määritetty vertailulämpöhäviö.

## 8.3 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta (D5)

Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennassa on voimassa 1.1.2008 voimaan astunut ohje D5 - 2007. Uusi ohje energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennasta on kuitenkin valmisteilla ja tässä luvussa käsitellään D 5:ssa olevia määräyksiä ja ohjeita, uuden D 5:n 14.3.2012 päivätyn luonnosversion [16] perusteella.

D 5:n ohjeissa esitettyä kuukausitason laskentamenetelmää voidaan käyttää lämmityksen energiatarpeen, ostoenergiankulutuksen, kokonaisenergiankulutuksen ja lämmitystehon laskentaan jäähdyttämättömissä rakennuksissa tai rakennuksissa, joissa on vain yksittäisiä jäähdytettyjä tiloja. Menetelmää voidaan käyttää myös jäähdytettyjen rakennusten ostoenergiankulutuksen ja kokonaisenergiankulutuksen laskentaan kun lämmitys- ja jäähdytysenergian nettotarpeet on laskettu dynaamisella menetelmällä.

Rakennusten energiatehokkuutta koskevien määräysten vaatimuksenmukaisuuden osoittamisessa tulee käyttää rakentamismääräyskokoelman osassa D3 annettuja lähtöarvoja, laskentasääntöjä ja sen liitteessä 2 esitettyjä säätietoja sekä kohteen suunnitteluarvoja. Muissa tarkasteluissa voidaan käyttää tässä ohjeessa annettuja arvoja, jos muuta tietoa ei ole käytettävissä.

D5:ssa annetaan ohjeet myös lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun sähkönkulutuksen, lämpöpumpun tuottaman tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian sekä tilojen ja käyttöveden lisälämmitykseen tarvittavan lisälämmitysenergian laskentaan yksinkertaisella laskentamenetelmällä.

## 8.4 Rakentamismääräyskokoelman ohjeen, D5 2012 mukainen lämpöpumppujen energialaskenta

### 8.4.1 Yleistä

Lämpöpumpuista saatavan hyödyn arvioimiseksi tarvitaan laskentamenetelmää, jolla pystytään laskemaan lämpöpumpun tuottama energia Suomen ilmasto-olosuhteissa. Lämpöpumppujen suorituskykyyn vaikuttavat useat tekijät ja Suomen kylmät ilmasto-olosuhteet vaikuttavat erityisesti ulkoilmalämpöpumppujen toimintaan. [14, s. 5.]

Lämpöpumppujen energialaskentaoppaassa (3.10.2012) esitellään laskentaohjeen D5 2012 lämpöpumppujen yksinkertainen laskentamenetelmä sekä yksityiskohtaisempi laskentamenetelmä, jolla voidaan laskea lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun ostoenergiankulutus, lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia sekä tarvittava lisälämmitysenergia. Menetelmät on tarkoitettu lämpöpumppujen energialaskentaan, eikä niillä voida tehdä lämpöpumppujen tehomitoitusta. [14, s. 5.]

Yksinkertaista laskentamenetelmää voidaan käyttää valmiiksi laskettujen taulukoitujen SPF-lukujen (lämpöpumpun kausisuorituskykykerroin) avulla, jotka kuvaavat suomalaisessa pientaloissa tyypillisesti käytettävien lämpöpumppujen suorituskykyä. Lämpöpumpun ostoenergiankulutus ja suorituskyky ovat aina kuitenkin tapauskohtaisia riippuen merkittävästi käytössä olevasta lämpöpumppumallista, lämpöpumpun

mitoituksesta, lämpöpumpun käytöstä sekä käyttökohteesta. Laskentaoppaassa esitettävällä yksityiskohtaisella menetelmällä voidaan ottaa tarkemmin huomioon lämpöpumpun suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä, joten yksityiskohtaisen laskentamenetelmän käyttö on suositeltavaa erityisesti lämpöpumpun hankintaa ja valintaa tehtäessä. Oppaan laskentamenetelmiä voidaan soveltaa ulkoilmalämpöpumppujen (ilma-ilma ja ilma-vesi), maalämpöpumpun sekä poistoilmalämpöpumpun energialaskentaan. [14, s. 5.]

### 8.4.2 Yksinkertaisen laskentamenetelmä

Lämpöpumppujen yksinkertaista laskentamenetelmää voidaan käyttää lämpöpumppujen energialaskentaan, mutta menetelmällä ei voida tehdä lämpöpumppujen tehomitoitusta. Yksinkertaisella laskentamenetelmällä voidaan laskea lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun sähköenergian kulutus, lämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia sekä tilojen ja käyttöveden lämmitykseen tarvittava lisälämmitysenergia. Yksinkertaista laskentamenetelmää voidaan käyttää myös tapauksissa, joissa lämpöpumppua käytetään tilojen lämmityksen lisäksi myös ilmanvaihdon lämmitykseen. Tällöin ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve lisätään tilojen lämmitysenergiantarpeeseen ja ilmanvaihto lasketaan osana tilojen lämmitystä. [14, s. 6.]

Lämpöpumpun sähköenergian kulutus koostuu lämmitysenergian tuoton energiankulutuksesta sekä lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutuksesta. Lämpöpumpun sähköenergiankulutus lasketaan lämpöpumpun tuottaman tilojen tai käyttöveden lämmitysenergian sekä lämpöpumpun kausisuorituskykykertoimen (SPF-luku) avulla, joka määritellään tarkemmin luvussa 2.3. Luvun 2.3 taulukoissa esitetyt SPF-luvut ovat vuoden keskimääräisiä lämpökertoimia, joita voidaan käyttää vain silloin, kun energiankulutus lasketaan koko vuoden lämmöntarpeesta. [14, s. 6.]

Laskentaoppaan luvussa 2.2 esitettävässä lämpöpumppujen lisälämmitysenergian laskentamenetelmässä (taulukot 1 - 4) sekä luvussa 2.3 esitettävien lämpöpumpun SPF-lukujen esimerkkiarvojen (taulukot 5 - 7) laskennassa on oletettu, että ulkoilmalämpöpumppujen alin toimintalämpötila on - 20 °C. Samoin on oletettu, että tiloja ja käyttövettä lämmittävät ulkoilma- ja maalämpölämpöpumput lämmittävät vuorotellen joko

käyttövettä tai tiloja siten, että käyttövettä lämmitetään ensisijaisesti. Poistoilmalämpöpumpun oletetaan lämmittävän tiloja sekä käyttövettä samanaikaisesti. Mikäli nämä oletukset eivät päde laskettavassa tapauksessa, on tapaus laskettava tarkemmin muilla menetelmillä, kuten esimerkiksi oppaan luvussa 3 esitettävällä laskentamenetelmällä. [14, s. 6.]

#### 8.4.2.1 Lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia

Lämpöpumpun tuottaman tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian sekä tarvittavan lisälämmitysenergian osuus voidaan arvioida esimerkiksi oppaan taulukoiden avulla tai laskea tarkemmin oppaan luvussa 2 esitetyllä menetelmällä tai muulla vaihtoehtoisella menetelmällä [14, s. 6].

Poistoilmalämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian osuus voidaan arvioida oppaan taulukon 4 avulla, jos tilojen lämmitysenergian kulutus tunnetaan. Taulukon 4 avulla voidaan lisäksi arvioida poistoilmalämpöpumpun jäteilman lämpötilan sekä SPF-luvun vaikutus lämpöpumpulla tuotettavan lämmitysenergian osuuteen. Lämöpumpun lisälämmitykseen tarvittava energiankulutus voidaan arvioida taulukon avulla määritettävän lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian osuuden avulla. [14, s. 6.]

**TAULUKKO 7. Poistoilmalämpöpumpun tuottama osuus tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta ($Q_{LP}$ / $Q_{lämmitys, tilat, iv, lkv}$) lämpöpumpun SPF-luvun, tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämpöenergian tarpeen ja jäteilman lämpötilan funktiona [14, s. 9]**

| $Q_{lämmitys,tilat, iv, lkv}$, kWh/m² a | $Q_{LP}$ / $Q_{lämmitys, tilat, iv, lkv}$ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | SPF = 2,0 | | | | SPF = 3,0 | | | |
| | $T_{jäte}$ -3℃ | $T_{jäte}$ 1℃ | $T_{jäte}$ 3℃ | $T_{jäte}$ 5℃ | $T_{jäte}$ -3℃ | $T_{jäte}$ 1℃ | $T_{jäte}$ 3℃ | $T_{jäte}$ 5℃ |
| 100 | 0,99 | 0,95 | 0,90 | 0,84 | 0,94 | 0,86 | 0,80 | 0,74 |
| 150 | 0,82 | 0,72 | 0,66 | 0,60 | 0,70 | 0,61 | 0,56 | 0,51 |
| 200 | 0,66 | 0,56 | 0,51 | 0,46 | 0,55 | 0,47 | 0,43 | 0,39 |
| 250 | 0,55 | 0,46 | 0,41 | 0,37 | 0,45 | 0,38 | 0,35 | 0,31 |

Lämpöpumppu otetaan huomioon lämmityksen sähköenergiankulutusta laskettaessa vain sen ajanjakson osalta, jonka aikana lämpöpumppua käytetään [14, s. 10].

Ohjeen taulukoista nähdään, että lämmönjakoverkoston menoveden lämpötila vaikuttaa lämpöpumpun suorituskykyyn. Lämmönjakoverkoston menoveden lämpötilan noustessa lämpöpumpun suorituskyky heikkenee ja SPF-luku pienenee. [14, s. 10.]

Vesikiertoisen lämmönjakojärjestelmän paluuveden lämpötila vaikuttaa myös lämpöpumpun suorituskykyyn. Ohjeen taulukoissa esillä olevien lämpöpumppujen SPF-luvut on laskettu käyttäen standardin SFS-EN 14511 mukaisten testausolosuhteiden meno- ja paluuveden lämpötilaerotusta 5 °C. Mikäli mitoitusolosuhteet eivät vastaa tältä osin testaustilannetta, voidaan mitoitustilanteen meno- ja paluuveden lämpötilaerosta aiheutuva lämpökertoimen korjaus ottaa huomioon ohjeen luvussa 3 esitettävällä yksityiskohtaisella laskentamenetelmällä. [14, s. 10.]

Taulukossa 8 on esillä poistoilmalämpöpumppujen tilojen ja käyttöveden lämmityksen yhteisiä SPF-lukuja eri jäteilman minimilämpötiloilla poistoilman lämpötilan ollessa 21°C. Taulukon SPF-lukuja voidaan käyttää, mikäli tarkempaa tietoa ei ole käytettävissä. Mikäli lämpöpumpun poistoilman minimilämpötila on matalampi tai korkeampi kuin taulukossa esitetyt lämpötilat, voidaan SPF-luvut laskea tarkemmin esimerkiksi luvun 3 yksityiskohtaisemmalla laskentamenetelmällä. [14, s. 11.]

**TAULUKKO 8. Poistoilmalämpöpumpun tilojen ja käyttöveden lämmityksen SPF-lukuja [14, s. 11 – 12]**

| Poistoilmalämpöpumppu | SPF-luku |
|---|---|
| Jäteilman min. lämpötila | |
| - 3 | 2,4 |
| + 1 | 2,1 |
| + 3 | 2,0 |
| + 5 | 1,9 |

Lämpöpumpun SPF-luku voidaan laskea tarkemmin esimerkiksi luvussa 3 esitetyllä yksityiskohtaisella laskentamenetelmällä tai muulla vaihtoehtoisella menetelmällä käyttäen lähtötietona esimerkiksi standardien SFS-EN 16147 tai SFS EN 14511-3 mukaisilla testausmenetelmillä mitattuja tai muulla tavoin varmennettuja lämpöpumppujen tuotetietoja. Lämpöpumpun SPF-luvun määrityksessä käytettävässä lämpöpumpun lämpökertoimessa otetaan huomioon mahdollisiin sulatusjaksoihin kuluva energia

sekä lämpöpumpun apulaitteiden, kuten esimerkiksi lämpöpumpun säätölaitteiden, puhaltimien sekä pumppujen sähkönkulutus standardin SFS-EN 14511-3 osoittamalla tavalla. [14, s. 12.]

Lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutus, joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin, joissakin laitteissa esimerkiksi lämmönkeruupiirin pumppaukseen kuluva sähköenergia, otetaan erikseen huomioon SPF-luvun laskennassa. Rakennuksen lämmönjakopiirin pumppujen sähkönkulutus lasketaan kuitenkin osana lämmönjakoverkoston sähkönkulutusta. Tällöin lämmönjakopiirin pumppausenergiaa ei lasketa mukaan lämpöpumpun apulaitteiden sähkönkulutukseen. [14, s. 12.]

Poistoilmalämpöpumpulla varustetun rakennuksen ilmanvaihtokoneen puhaltimien sähkönkultusta ei tarvitse ottaa huomioon laskettaessa ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutusta, koska poistoilmalämpöpumpun puhaltimien sähkönkulutus sisältyy SPF-lukuun [14, s. 12].

Lämpöpumpun tilojen ja käyttöveden lämmityksen yhteinen SPF-luku määritellään kaavan (2) avulla

$$SPF_{tilat+LKV} = \frac{Q_{LP,lämmitys}}{W_{LP} + W_{apu}} \tag{2}$$

$Q_{LP,\ lämmitys}$ on rakennuksen tilojen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergian kulutus, joka voidaan tuottaa lämpöpumpulla, kWh

$W_{LP}$ on lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus tilojen ja käyttöveden lämmityksessä, kWh

$W_{apu}$ on lämpöpumpun apulaitteiden vuotuinen sähkönkulutus (tilat ja LKV), joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin, kWh

### 8.4.3 Yksityiskohtainen laskentamenetelmä

Yksityiskohtaisempaa laskentamenetelmää voidaan käyttää, kun lämpöpumpun ominaisuudet tunnetaan tarkemmin ja lämpöpumpusta on tehty esimerkiksi standardin SFS-EN 14511-3 mukaiset mittaukset. Laskentamenetelmällä voidaan laskea lämpö-

pumpun ja lisälämmitysjärjestelmän käyttämä sähköenergia, lämpöpumpun tuottama lämpöenergia sekä vuotuinen SPF-luku. Laskenta voidaan tehdä tilojen tai käyttöveden lämmitykseen käytettäville lämpöpumpuille tai lämpöpumpuille, jotka lämmittävät sekä tiloja että käyttövettä. Tulokset voidaan laskea tietylle ajanjaksolle tai koko vuodelle lämpöpumpusta ja lämmöntarpeesta sekä laskennan tarpeesta riippuen. Laskennassa otetaan huomioon lämpöpumpun ominaisuudet, lämmönlähde sekä lämmönjakojärjestelmä. Tarvittaessa lämpöpumpun energialaskenta voidaan tehdä tarkemmin esimerkiksi standardin SFS-EN 15316-4-2 avulla. [14, s. 14.]

Tässä työssä ei kuitenkaan käydä tarkemmin läpi yksityiskohtaista laskentamenetelmää.

## 8.5 Korjausrakentamista koskevat energiamääräykset

Ympäristöministeriö on antanut helmikuussa 2013 asetuksen korjausrakentamista koskevista energiamääräyksistä, jotka astuvat voimaan 1.6.2013.

Ympäristöministeriön asetuksen määräykset koskevat rakennuksia, joissa käytetään energiaa valaistukseen, tilojen ja ilmanvaihdon lämmitykseen tai jäähdytykseen tarkoituksenmukaisten sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseksi ja joissa tehdään maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukaan rakennus- tai toimenpideluvanvaraista korjaus- tai muutostyötä tai joiden käyttötarkoitusta muutetaan [17, s.1].

Rakennusosiin tai teknisiin järjestelmiin kohdistuvien energiatehokkuutta parantavien toimenpiteiden kokonaan tai osittain tekemättä jättämistä voidaan kompensoida tekemällä muut toteutettavat toimenpiteet vaatimusten mukainen taso ylittäen [17, s.2].

Luvanvaraiseen rakennushankkeeseen ryhtyvän on valittava rakennusosien tai rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi jokin seuraavista vaihtoehdoista:

1) rakennus täyttää peruskorjattavien, uudistettavien ja uusien rakennusosien osalta 4 §:ssä säädetyt rakennusosakohtaiset vaatimukset;
2) rakennuksen energiankulutus on enintään 6 §:ssä säädettyjen vaatimusten mukainen;

3) rakennuksen kokonaisenergiankulutus on enintään 7 §:ssä säädettyjen vaatimusten mukainen. [17, s. 3.]

Asetuksen mukaan rakennuksen energiankulutus lämmitettyä nettoneliömetriä kohden saa olla asuinkerrostalon osalta enintään 130 kWh/m$^2$. Rakennusluokan mukainen kerroin, joilla alkuperäiselle rakennukselle laskettu ominainen energiatehokkuusluku (E-luku, kWh/m²) kerrotaan, on asuinkerrostalon osalta seuraava: E-vaadittu ≤ 0,85 x E-laskettu. [17, s. 3.]

### 8.6 Energia-avustukset

Vuoden 2012 valtion talousarviossa on energia-avustusten myöntämistä varten vahvistettu 10 miljoonan euron suuruinen määräraha uusiutuvaa energiaa hyödyntävien lämmitystapojen käyttöönottoon ympärivuotisessa asuinkäytössä olevissa asuinrakennuksissa sekä muihin energia-avustuksiin 8,8 miljoonaa, josta pientalojen tarveharkintaisiin energia-avustuksiin 2 miljoonaa euroa [18, s. 3].

Energia-avustusta, joka ei liity uusiutuvaa energiaa hyödyntävien lämmitystapojen käyttöönottoon, on saatavissa mm. ilmanvaihdon lämmön talteenoton rakentamiseen. Avustuksen enimmäismäärä on 15 % hankkeen kustannuksista. Avustusta myönnetään pääsääntöisesti vähintään kolmiasuntoisten asuinrakennusten korjaamiseen. Jos rakennuksen omistaja on kunta, kuntayhtymä tai muu yhteisö (esim. asuntoosakeyhtiö), avustuksen piiriin kuuluvat myös 1 – 2 -asuntoiset asuinrakennukset. Ilmanvaihdon lämmön talteenoton rakentamisen yhteydessä on tehtävä myös lämmitysjärjestelmän perussäätö sekä tarvittaessa perussäädöstä aiheutuva patteri- ja linjasäätöventtiilien uusiminen. [19]

## 9 PILOT- KOHTEEN RAKENNUKSEN KUVAUS

Pilot-kohde on HOAS:n Vantaan Koivukylässä sijaitseva 12 – kerroksinen kerrostalo, joka toimii opiskelija-asuntolana. Talo on vuonna 1978 rakennettu ns. pistetalo, jossa on yksi porraskäytävä, joka on sijoitettu rakennuksen keskelle. Talossa on yhteensä 89 huoneistoa. Huoneistot ovat yksiöitä, kaksioita tai kolmioita, joiden pinta-alat ovat

51,5 $m^2$, 61 $m^2$ ja 78,5 $m^2$. Rakennuksen muita ominaistietoja on nähtävissä taulukossa 9.

**TAULUKKO 9. Rakennuksen ominaistietoja**

| ***Ominaisuus*** | ***Yksikkö*** | ***Arvo*** |
|---|---|---|
| Tilavuus | $m^3$ | 22 200 |
| Lämmin pinta-ala | $m^2$ | 5 230 |
| Huoneistoala | $m^2$ | 5 318 |
| Bruttoala | $m^2$ | 7 354 |
| Asukasluku | | 156 |
| Lämpöenergian kulutuksen normeerauksessa käytettävä, oletettu käyttöveden lämmityksen osuus | MWh/kk | 15,3 |

Rakennus on Vantaan Energian kaukolämpöverkossa. Lämmitys on toteutettu vesikiertoisella patterilämmityksellä. Patterit on liitetty lämmitysverkostoon kaksiputkiliitännällä. Patterien mitoituksessa käytetyt mitoituslämpötilat ovat 80 / 50 ˚C.

Kaukolämmön sopimusteho on 450 kW. Ilmanvaihto on toteutettu koneellisella poistolla, poistoilmapuhallin on taajuusmuuttajakäyttöinen.

## 10 PILOT-KOHTEEN POISTOILMALÄMPÖPUMPPULAITTEISTO

Poistoilman lämmön hyödyntäminen tapahtuu epäsuoralla höyrystyksellä siten, että höyrystimet/lämpöpumput sijaitsevat rakennuksen pohjakerroksessa sijaitsevassa lämmönjakohuoneessa. Lämmön talteenotto tapahtuu rakennuksen katolle poistoilmakanavaan (jäteilmakanavaan) sijoitetun lämmöntalteenottopatterin avulla. LTO-patterin avulla poistoilmasta kerätty lämpöenergia johdetaan lämpöpumpuille putkiston ja siellä kierrätettävän lämmönsiirtonesteen avulla. Lämmönsiirtonesteenä käytetään 25 % etyleeniglykolia.

Poistoilmalämpöpumppulaitteisto koostuu seuraavista pääkomponenteista:

- Lämmön talteenottopatteri (LTO-patteri), jolla otetaan talteen poistoilman sisältämää lämpöä
- Lämmönsiirtoputkisto LTO-patterilta lämpöpumpuille, lämmönsiirtoaineena 25 % etyleeniglykoli, nesteen tilavuusvirta 4,3 l/s
- 3 kappaletta tulistus-tyyppisiä maalämpöpumppuja
    - antoteho/ottoteho lämpötiloissa 0/35 ˚C: 26,1/7,3 kW
    - antoteho/ottoteho lämpötiloissa 0/45 ˚C: 24,9/8,4 kW
- 3 kappaletta maalämpöpumppukäyttöön tarkoitettuja, tilavuudeltaan 1 000 litran energiavaraajia
    - yksi tulistusvaraaja/käyttövesivaraaja
    - kaksi lauhdevaraajaa
    - erillinen käyttövesilämmönsiirrin

Rakennuksen katolle sijoitetulla LTO-patterilla kerätään talteen tyypillisesti noin 21-22 ºC:n poistoilman lämpöä. LTO-patterin jälkeisestä poistoilmasta ei ole lämpötilan mittausta. Lämpötila pysyy käytännössä kuitenkin vähintään tasolla noin 2 - 3 ºC, sillä patterille tulevan lämmönsiirtonesteen lämpötila pidetään tasolla > 0 ºC. Talteenottopatterille tulevan lämmönsiirtonesteen mitoituslämpötila on 3 ºC. Rakennuksessa ei ollut kuilua tms., johon lämmönsiirtoputkisto LTO-patterilta lämpöpumpuille olisi voitu yksinkertaisesti sijoittaa. Täten putkistolle jouduttiin tekemään läpivientejä verkkokomeroiden yms. kautta. Putkisto kulkee rakennuksen sisällä, lämpimässä tilassa, lukuun ottamatta noin 10 metrin mittaista osuutta rakennuksen katolla.

Lämpöpumpuilla tuotettu lämpöenergia siirretään energiavaraajiin. Yhteen varaajaan (käyttövesivaraaja) siirretään pumppujen tulistuslämpö, jota hyödynnetään myös suoraan erillisessä, varaajan jälkeisessä käyttöveden lämmönsiirtimessä. Rinnakkain kytkettyihin lauhdevaraajiin johdetaan lämpöpumppujen lauhdelämpö.

Lämpöpumppulaitteisto on liitetty olemassa olevaan kaukolämpölaitteistoon siten, että rakennuksessa hyödynnetään ensisijaisesti poistoilmalämpöpumpuilla tuotettavaa lämpöenergiaa ja jos tämä ei riitä, käytetään lisäksi tarvittava määrä kaukolämpöä, joko käyttöveden tai lämmitysveden lämmittämiseen

Lämmin käyttövesi lämmitetään ensisijaisesti PILP-laitteistolla tuotetulla lämpöenergialla siten, että käyttövesi esilämmitetään ensin lauhdevaraajissa ja sen jälkeen erillisessä tulistuslämmönsiirtimessä. Mikäli käyttöveden lämpötila ei yllä asetusarvoon, 55 ºC, lämmitetään käyttövettä vielä lämpimän käyttöveden KL-siirtimen avulla. Käytännössä lämpöpumpulla saadaan tuotettua noin 52 ºC:sta vettä, joten kaukolämpöä tarvitaan käyttöveden priimaukseen vuoden ympäri, ennen veden toimittamista käyttöön. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon paluuvesi johdetaan yhdessä lauhdevaraajissa esilämmitetyn käyttöveden kanssa tulistuslämmönvaihtimelle, ilman esilämmitystä.

Myös patteriverkoston veden lämmitys hoidetaan ensisijaisesti PILP-laitteistolla tuotetulla lämpöenergialla: Lämmitysverkoston paluuvesi johdetaan rinnakkaisiin lauhdevaraajiin. Mikäli veden lämpötila ei yllä asetusarvoon, johdetaan vesi vielä tulistusvaraajaan lämpenemään lisää. Mikäli asetuslämpötilaa ei tämän jälkeenkään saavuteta, tehdään tarvittava lämmityksen menoveden lisälämmitys lämmityksen KL-siirtimen avulla.

Lämpöpumppujen toiminta on säädetty automatiikalla kuitenkin siten, että pumppu/pumput lähtevät päälle ainoastaan silloin, kun niiden yhtäjaksoinen käyntiaika on vähintään noin 30 minuuttia.

Käytännössä kokemusperäinen nyrkkisääntö on, että ulkolämpötilan ollessa ≥ 12…13 °C, on lämpöpumpuista toiminnassa vain yksi, tätä kylmemmällä säällä, kun on lämmitystarvetta, on käytössä kaksi pumppua ja kun lämpötila ≤ noin 6 °C, ovat käytössä kaikki kolme lämpöpumppua, ainakin osan ajasta. Kaikki kolme lämpöpumppua toimivat jatkuvasti täydellä teholla, kun lämpötila on 0 ºC tuntumassa tai on kylmempää. Kesäaikana, kun lämmitystarvetta ei ole ja kaikki tuotettu lämpöenergia käytetään käyttöveden lämmittämiseen, on käytössä yksi lämpöpumppu, jonka käyntiaika on noin 14 – 15 h/d. Tämän lisäksi kesäaikaankin tarvitaan kuitenkin myös hieman kaukolämpöä lämpimän käyttöveden lämpötilan nostamiseksi asetusarvoon, 55 ºC.

Lämpöpumppujen käyttöä rajoittaa aivan kylmimmillä säillä patteriverkoston korkea mitoituslämpötila 80/50 ºC. Lämpöpumppujen lauhdepuolen mitoituslämpötilat ovat 48/40 ºC mutta jatkossa on tarkoituksena muuttaa lämpötilat tasolle 53/45 ºC. Nykyi-

sin aivan kovimpien pakkasten aikaan, jolloin patteriverkoston menoveden lämpötila on korkeimmillaan, voi periaatteessa tulla tilanne, jolloin patteriverkoston paluuveden lämpötila ylittää lämmitysveden enimmäislämpötilan, 45 ºC, jota PILP-laitteistolla pystytään nykyisin tuottamaan. Tällöin lämpöpumppuja ei voida hyödyntää lämmitysenergian tuottamiseen, mutta esim. talven 2012 aikana ei tällaisia tilanteita esiintynyt. Kovimmilla pakkasilla, jolloin lämmitystarve on suurimmillaan, poistoilmalämpöpumpuilla tuotettavan lämmitysenergian osuus tarvittavasta lämmitysenergiasta jäisi alhaiseksi. Vuoden 2012 aikana on kuitenkin kokeiltu rakennuksen lämmitysjärjestelmän toimintaa ja riittävyyttä patteriverkoston alkuperäistä selvästi alhaisemmilla lämpötiloilla, jolloin lämpöpumppuja pystytään hyödyntämään myös kovimpien pakkasjaksojen aikana.

Laitteiston mitoitus perustuu poistoilmanvaihdon toimintaan puolella teholla, jolloin poistoilmamäärä on 2,5 $m^3/s$ (ilmanvaihtokerroin noin 0,4). Tällaista aikaa on kesällä (touko-elokuu) 9,5 h/d ja muulloin 16 h/d eli yhteensä hieman vajaat 5 000 h/a. Täydellä teholla, poistoilmamäärällä 5,0 $m^3/s$ (iv-kerroin noin 0,8), jolloin poistoilmasta olisi otettavissa talteen vielä enemmän lämpöä, poistoilmapuhallin on toiminnassa hieman vajaat 3 800 h/a.

Laitteisto on asennettu vuoden 2011 loppupuolella siten, että käyttö on aloitettu joulukuun loppupuolella 2011. Pääosa asennustyöstä on tehty YIT:n omana työnä.

Laitteiston osalta on tehty säätötyötä vuoden 2012 aikana, ja erityisesti tammihelmikuun aikana laitteistossa oli toimintahäiriöitä eikä laitteiston käyttöä ollut vielä muutenkaan saatu optimoitua kaikilta osin. Myös energian- ja vedenkulutuksen automaattinen mittaus- ja seurantajärjestelmä saatiin otettua kokonaisuudessaan käyttöön siten, että tulokset ovat kaikilta osin vertailukelpoisia vasta huhtikuusta 2012 lähtien.

# 11 PILOT-KOHTEEN ENERGIANKULUTUS

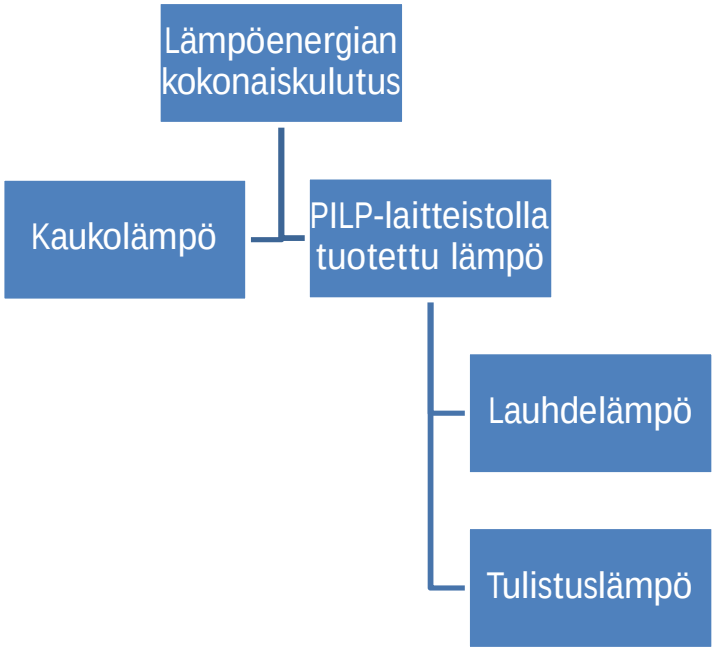
## 11.1 Energian kulutuksen mittaukset

Sähköenergian kulutuksen mittaukset on toteutettu kiinteistössä siten, että aiemmin sähkönkulutusta on mitattu erikseen asuntojen (käyttöpiste 703 435) sekä kiinteis-

tösähkön (käyttöpiste 703 437) osalta. Näiden lisäksi poistoilmalämpöpumppujen käyttöönoton yhteydessä on asennettu erillinen kulutusmittaus poistoilmalämpöpumpulle ja sen käytön edellyttämille oheislaitteille (kuva 14). Lisäksi poistoilmalämpöpumpun sähkönkulutuksen sekä poistoilmalämpöpumppujen lämpöenergian tuoton perusteella seurataan poistoilmalämpöpumppujen lämpökerrointa (COP) eli hyötysuhdetta. Järjestelmän laskenta ei kuitenkaan ainakaan tietoja kerättäessä vielä toiminut viimeksi mainitulta osin.

**KUVA 14. Sähköenergian kulutuksen mittausjärjestelyt**

Lämpöenergian kulutuksen osalta mitataan kaukolämmön kulutusta. Lisäksi seurataan lämpöpumppujen lämmön tuottoa siten, että tuotto on jaettu lauhdelämpöön (lauhdevaraajat: lämmitys) ja tulistuslämpöön (tulistusvaraaja: lämmitys ja erillinen käyttövesilämmönsiirrin) (kuva 15). Raportointijärjestelmä ilmoittaa raportti-valikossa hämäävästi/epäloogisesti sekä poistoilmalämpöpumpuilla tuotetun lämpöenergian että käytetyn kaukolämpöenergian yhteismäärän kulutetun kaukolämpöenergian määräksi, mutta tulokset on saatavilla erikseen ns. mittaripuuvalinnalla.




**KUVA 15. Lämmön kulutuksen ja tuotannon mittausjärjestelyt**

Näiden lisäksi mitataan/seurataan nykyisin sekä käyttöveden että lämpimän käyttöveden kulutusta. Lämpimän käyttöveden osalta kulutusta on seurattu vuoden 2011 joulukuun loppupuolelta lähtien.

## 11.2 Vuosien 2011 ja 2012 energiankulutustietojen vertailu

Taulukossa 10 on nähtävissä kiinteistön sähkö- ja lämpöenergian sekä vedenkulutustietoja vuosilta 2011 ja 2012. Sähkön kulutus sisältää vuoden 2011 osalta kiinteistösähkön sekä asuntosähkön kulutuksen. Vuoden 2012 kulutukseen on tullut lisää poistoilmalämpöpumppujen sekä niiden oheislaitteiden sähkönkulutus.

Lämpöenergian kulutus sisältää sekä tilojen lämmityksen että käyttöveden lämmityksen energiankulutuksen. Vuonna 2011 lämmitykseen on käytetty pelkästään kaukolämpöä. Vaikka PILP-laitteisto otettiin käyttöön joulukuun loppupuolella vuonna 2011, ei sillä tuotettu lämpöenergia näy vuoden 2011 energian kulutustiedoissa. Vuonna 2012 lämpöenergia on tuotettu ensisijaisesti PILP-laitteistolla ja toissijaisesti on käytetty kaukolämpöä. Lämmön kulutuksen osalta on huomioitava, että PILP-laitteiston lämpöenergia kuvaa itse asiassa sillä tuotettua energiamäärää, ei kulutettua energiamäärää, joka olisi täysin vertailukelpoista vuonna 2011 kulutustietojen kanssa.

Tämä johtuu varaajahäviöistä, joiden määrä on tosin vähäinen, arviolta noin 0,4 % tuotetusta energiamäärästä.

Veden kulutuksen osalta lämpimän käyttöveden kulutuksen seuranta on aloitettu vuoden 2012 alusta. Vuoden 2011 osalta on kulutustietoja ainoastaan käyttöveden kokonaiskulutuksen osalta.

**TAULUKKO 10. Energian ja vedenkulutustietoja vuosilta 2011 ja 2012[*1]**

| | Sähkö [kWh/kk] | | | Lämpö: Kaukolämpö ja PILP[*1] [MWh/kk] | | | Käyttövesi, kv + lv [m³/kk] | | | Lämmin käyttövesi [m³/kk] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2011 | 2012 | Muutos [%] | 2011 | 2012 | Muutos [%] | 2011 | 2012 | Muutos [%] | 2011 | 2012 |
| Tammikuu | 31 857 | 52 844 | 66 % | 109,8 | 108,3 | -1 % | 755 | 1047 | 39 % | | 350 |
| Helmikuu | 29 221 | 49 783 | 70 % | 115,9 | 119,5 | 3 % | 719 | 1260 | 75 % | | 375 |
| Maaliskuu | 30 267 | 47 566 | 57 % | 94,0 | 80,1 | -15 % | 768 | 970 | 26 % | | 387 |
| Huhtikuu | 24 514 | 34 857 | 42 % | 61,2 | 67,5 | 10 % | 739 | 778 | 5 % | | 366 |
| Toukokuu | 22 521 | 29 879 | 33 % | 43,7 | 39,3 | -10 % | 857 | 776 | -9 % | | 348 |
| Kesäkuu | 21 171 | 24 488 | 16 % | 28,6 | 30,1 | 5 % | 722 | 779 | 8 % | | 305 |
| Heinäkuu | 21 959 | 26 234 | 20 % | 26,4 | 27,6 | 4 % | 761 | 778 | 2 % | | 308 |
| Elokuu | 21 825 | 26 399 | 21 % | 28,4 | 28,2 | -1 % | 745 | 786 | 5 % | | 312 |
| Syyskuu | 19 796 | 33 065 | 67 % | 43,0 | 36,1 | -16 % | 721 | 833 | 15 % | | 346 |
| Lokakuu | 26 740 | 46 951 | 76 % | 54,4 | 63,6 | 17 % | 744 | 872 | 17 % | | 382 |
| Marraskuu | 45 813 | 51 691 | 13 % | 66,9 | 72,9 | 9 % | 710 | 854 | 20 % | | 372 |
| Joulukuu | 40 638 | 54 473 | 34 % | 51,4 | 112,4 | 119 % | 679 | 791 | 17 % | 84 | 353 |
| ***Yhteensä*** | ***336 322*** | ***478 231*** | ***42 %*** | ***723,6*** | ***785,5*** | ***9 %*** | ***8 921*** | ***10 525*** | ***18 %*** | ***84*** | ***4 205*** |
| ***Ominaiskulutus [yks/m³]*** | ***15,1*** | ***21,5*** | | ***32,6*** | ***35,4*** | | ***402*** | ***474*** | | ***4*** | ***189*** |

[*1] PILP-laitteisto otettu käyttöön vuoden 2012 alussa

Sähkön kulutuksen osalta tilastoissa näkyy PILP-laitteiston käyttöönotto. Sähkön kokonaiskulutus on kasvanut v. 2012 yli 40 % vuoteen 2011 verrattuna.

Lämpöenergian kokonaiskulutuksessa ei ollut tapahtunut käytännössä muutoksia ennen joulukuuta: Vuoden 2012 kulutus oli tammi-marraskuussa noin 0,1 % korkeampi kuin vuonna 2011. Johtuen 2012 kylmästä joulukuusta joulukuun lämpöenergian kulutus on ollut yli kaksinkertainen vuoden 2011 joulukuuhun verrattuna. Tämä nosti myös koko vuoden 2012 lämpöenergian kulutuksen 9 % edellisvuotta korkeammaksi. Lämpöenergian osalta on huomioitava, että energian kulutusta ei ole tähän tilastoon

normitettu, eli siinä ei ole huomioitu mahdollisia eroja vuosien 2011 ja 2012 lämmitystarpeessa. Normitus ei tosin välttämättä kuvaa erityisen hyvin todellista tilannetta, erityisesti kuukausitasolla, sillä käyttöveden lämmityksen osuutena käytetään normituslaskennassa vuotuisen käyttöveden kulutuksen perusteella arvioitua kuukausikulutusta, joka ei perustu mitattuihin, kuukausikohtaisiin kulutuslukemiin.

Käyttöveden kulutus on kasvanut reilut 18 % vuoteen 2011 verrattuna. Vuonna 2012 käyttöveden keskimääräinen kulutus on ollut noin 1 200 l/h. Vertailuvuonna 2011 käyttöveden ominaiskulutus oli kesimäärin 165 litraa/henkilö vuorokaudessa ja vuonna 2012 noin 185 l/henk/d.

Lämpimän käyttöveden osuus käyttöveden kokonaiskulutuksesta on vuonna 2012 ollut 40 %. Osuus on vaihdellut kuukausittain helmikuun 30 %:sta huhtikuun 47 %:iin. Lämpimän käyttöveden tuntikohtainen enimmäiskulutus on ollut 2040 l/h (ke 1.2.2012 klo 21) ja keskimääräinen kulutus 480 l/h. Lämpimän käyttöveden hetkellisestä enimmäiskulutuksesta ei ole tietoa.

Taulukossa 11 on nähtävissä vuosien 2011 ja 2012 normitettu lämpöenergian kulutus.

**TAULUKKO 11. Lämpöenergian normitettu kulutus vuosina 2011 ja 2012**

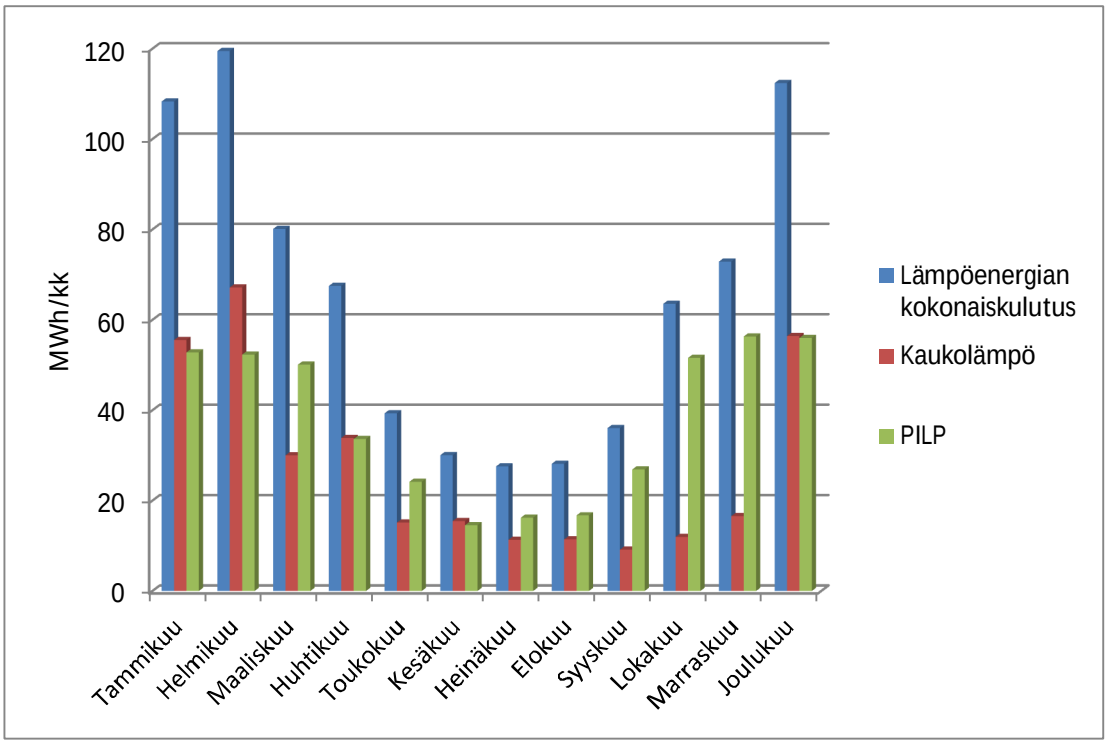
| | Normitettu lämpöenergia [MWh] | | |
|---|---|---|---|
| Kuukausi | 2011 | 2012 | Muutos [%] |
| Tammikuu | 109,57 | 109,4 | -0,20 % |
| Helmikuu | 97,88 | 108,32 | 10,70 % |
| Maaliskuu | 95,32 | 87,64 | -8,10 % |
| Huhtikuu | 77,92 | 70,51 | -9,50 % |
| Toukokuu | 74,57 | 58,43 | -21,60 % |
| Kesäkuu | 28,58 | 30,06 | 5,20 % |
| Heinäkuu | 26,41 | 27,57 | 4,40 % |
| Elokuu | 28,44 | 28,16 | -1,00 % |
| Syyskuu | 139,03 | 56,02 | -59,70 % |
| Lokakuu | 65,98 | 67,53 | 2,40 % |
| Marraskuu | 84,71 | 85,89 | 1,40 % |
| Joulukuu | 67,43 | 98,9 | 46,70 % |
| ***Yhteensä*** | ***895,84*** | ***828,44*** | ***-7,50 %*** |
| Ominaiskulutus [kWh/m³] | 40,4 | 37,3 | |

Normitettua lämpöenergiankulutusta verrattaessa vuoden 2012 kulutus oli sen sijaan 7,5 % alhaisempi kuin vuonna 2011. Tämä on merkittävästi alhaisempi erityisesti, kun ottaa huomioon, että v.2012 käyttöveden lämmityksen lämpöenergian tarve on kasvanut käyttöveden kulutuksen muutoksen ja v. 2012 lämpimän käyttöveden kulutuksen osuuden perusteella arvioituna noin 7 % (18 % x 0,4). Vuoden 2011 syyskuun normitettu lämpöenergian kulutus on kuitenkin ollut poikkeuksellisen korkea ja johtuu pääosin syyskuun poikkeuksellisista lämpötilaolosuhteista, joiden perusteella lämpöenergian normitus on luultavasti tuottanut todellisesta tilanteesta poikkeavia tuloksia. Syyskuun lämmitystarveluvun vertailuarvo (v. 1971 – 2000) Vantaalla on 185, kun lämmitystarveluku oli 52 vuonna 2011. Jos jätetään huomioimatta syyskuun kulutustiedot, on vuoden 2012 normitettu lämpöenergian kulutus ollut vain noin 2 % korkeampi kuin vuonna 2011.

## 11.3 PILP-laitteiston käyttöönoton vaikutukset energiankulutukseen

### 11.3.1 PILP-laitteistolla tuotettu lämpöenergia

Kuvassa 16 on nähtävissä vuoden 2012 lämpöenergian kulutustiedot ja sen jakautuminen kaukolämpöön sekä PILP-laitteistolla tuotettuun lämpöenergiaan v. 2012 osalta.

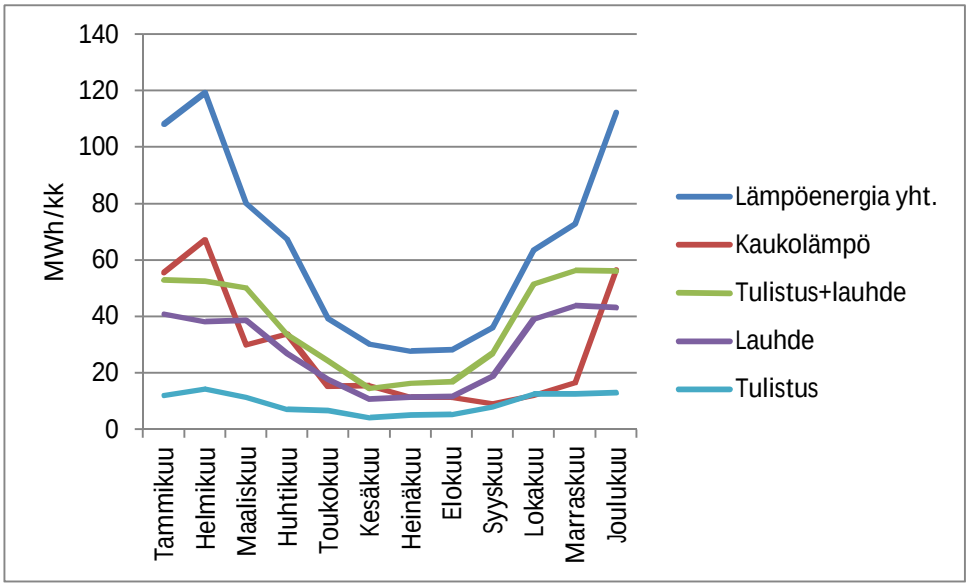



**KUVA 16. Lämpöenergian kulutuksen jakautuminen kaukolämpöön ja PILP-laitteistolla tuotettuun lämpöenergiaan v. 2012**

PILP-laitteistolla on pystytty tuottamaan kuukausittain noin 15 – 56 MWh lämpöenergiaa. Tuotetun lämpöenergian määrä on vastannut kuukausitasolla noin 44 – 81 % rakennuksen lämpöenergian tarpeesta. PILP-laitteistolla tuotetun lämpöenergian osuus on ollut suurimmillaan loka-marraskuussa, jolloin lämpöenergian tarve on ollut riittävä PILP-laitteiston käyttämiseen täydellä teholla, mutta kiinteistön lämmitystarve on ollut vielä kuitenkin suhteellisen alhainen.

Myös kesäaikaan on tarvetta käyttää kaukolämpöä johtuen siitä, että PILP-laitteistolla ei pystytä tuottamaan riittävän lämmintä käyttövettä ja lämpimän käyttöveden priimaus on tehtävä kaukolämmöllä. Lisäksi rakennuksessa on yksi pieni tuloilmakone, jonka tuloilman lämmitykseen käytetään kaukolämpöä. Ko. IV-koneen lämmitysenergian tarpeen on kuitenkin oletettu olevan kokonaisuuden kannalta niin vähäisen, ettei sitä ole pyritty eliminoimaan tuloksista.

Kuvasta 17 on nähtävissä v. 2012 lämpöenergian kulutuksen jakautuminen kaukolämpöön sekä PILP-laitteistolla tuotetun lämpöenergian jakautuminen tulistuslämpöön ja lauhdelämpöön.




**KUVA 17. Lämpöenergian kulutuksen jakautuminen kaukolämpöön ja PILP-laitteistolla tuotettuun lämpöön v. 2012**

Poistoilmalämpöpumppujen tulistuksen poistosta saatu lämpöenergia on ollut vuositasolla 24,8 % poistoilmalämpöpumpuilla tuotetusta lämpöenergiasta. Osuus on vaihdellut huhtikuun noin 21 %:n ja heinäkuun noin 31 %:n välillä.

Kuvasta voidaan myös nähdä, että poistoilmalämpöpumpuilla tuotettavissa oleva lämpöenergia olisi teoriassa riittävä kattamaan rakennuksen lämpöenergian tarpeen kokonaisuudessaan touko-, kesä-, heinä-, elo- ja syyskuussa, mikäli laitteistolla saataisiin tuotettua riittävän lämmintä käyttövettä sekä lämmitysvettä patteriverkostoon. Huhtikuun ja lokakuun osaltakin lämmitystarve voitaisiin pystyä kattamaan teoriassa kokonaisuudessaan PILP-laitteistolla ainakin joinain, keskimääräistä lämpimämpinä vuosina. Käytännössä näin ei luultavasti kuitenkaan olisi, sillä sen lisäksi, että PILP-laitteistolla ei pystytä tuottamaan riittävän lämmintä vettä, voi lämpimän käyttöveden tarve olla hetkellisesti niin suuri, että laitteiston kapasiteetti varaajineen ei olisi riittävä. Lisäksi lämmitystarve voi esim. päiväkohtaisesti poiketa kuukausitason keskimääräisestä lämmitystarpeesta johtuen poikkeavista ulkolämpötiloista, jolloin PILP-laitteiston kapasiteetti ei ole riittävä. Täten erityisesti tapauksissa, joissa myös lämpimän käyttöveden kulutus on korkea.

Taulukosta 12 on vielä nähtävissä toteutuneet kaukolämmön käyttömäärät ja PILP-laitteistolla tuotetun lämpöenergian määrät v. 2012 taulukkomuodossa.

**TAULUKKO 12. Lämpöenergian kulutus ja jakautuminen kaukolämpöön sekä PILP-laitteistolla tuotettuun lämpöenergiaan vuonna 2012**

| Kuukausi | Lämpöenergian kokonaiskulutus | Kaukolämpö | PILP | Kaukolämpö | PILP |
|---|---|---|---|---|---|
| | MWh | MWh | MWh | % | % |
| Tammikuu | 108,3 | 55,5 | 52,8 | 51,3 % | 48,7 % |
| Helmikuu | 119,5 | 67,2 | 52,3 | 56,2 % | 43,8 % |
| Maaliskuu | 80,1 | 30,0 | 50,1 | 37,5 % | 62,5 % |
| Huhtikuu | 67,5 | 33,9 | 33,6 | 50,2 % | 49,8 % |
| Toukokuu | 39,3 | 15,2 | 24,2 | 38,5 % | 61,5 % |
| Kesäkuu | 30,1 | 15,5 | 14,6 | 51,5 % | 48,5 % |
| Heinäkuu | 27,6 | 11,3 | 16,2 | 41,1 % | 58,9 % |
| Elokuu | 28,2 | 11,4 | 16,7 | 40,6 % | 59,4 % |
| Syyskuu | 36,1 | 9,2 | 26,9 | 25,4 % | 74,6 % |
| Lokakuu | 63,6 | 12,0 | 51,6 | 18,8 % | 81,2 % |
| Marraskuu | 72,9 | 16,6 | 56,3 | 22,7 % | 77,3 % |
| Joulukuu | 112,4 | 56,4 | 56,0 | 50,2 % | 49,8 % |
| ***Yhteensä*** | ***785,5*** | ***334,1*** | ***451,4*** | ***42,5 %*** | ***57,5 %*** |

Toteutuneiden lämpöenergian kulutus- ja tuotantotietojen perusteella PILP-laitteistolla on mahdollista tuottaa vuodessa vähintään vajaat 450 MWh lämmitysenergiaa. Määrä vastaa noin 58 %:a vuoden 2012 toteutuneesta lämpöenergian kokonaiskulutuksesta. PILP-laitteistolla tuotetun lämpöenergian osuus on ollut syys- loka- ja marraskuussa vähintään luokkaa ¾ kiinteistön lämpöenergian tarpeesta. Alkuvuoden osalta PILP-laitteiston toiminnassa ilmeni käyttökatkoksia eikä laitteistoa ollut muutenkaan saatu viriteltyä kaikilta osin vielä optimaaliseen toimintaan. Täten PILP-laitteistolla vuodessa tuotettava energiamäärä voinee olla käytännössä jonkin verran v. 2012 toteutunutta tuotantomäärää korkeampi.

Jos arvioidaan, että PILP-laitteistolla saataisiin tammi- helmi- ja maaliskuussa jatkossa tuotettua lämpöenergiaa samalla päiväkohtaisella teholla kuin marras- ja joulukuussa 2012, eli noin 1,87 MWh/d, nostaisi se vuotuista tuotettavaa lämpöenergian määrää 13,1 MWh. Tämä lisäisi PILP-laitteiston lämpöenergian tuotantomäärää vuositasolla noin 3 %. Täten kovin suuria muutoksia PILP-laitteistolla tuotettavan lämpöenergian määrään on tuskin odotettavissa.

Tulosten osalta on huomioitava, että ko. laskelmissa ei ole otettu huomioon PILP-laitteiston yhteydessä käyttöön otettuja energiavaraajia, joista aiheutuu lämpöhäviöitä, joita ei pelkkää kaukolämpöä käytettäessä tapahdu.

Rakennusmääräyskokoelman uuden D5-luonnoksen ja ympäristöministeriön ”Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi – laskentaoppaan” mukaan 1 000 litran lämpimän käyttöveden varaajan käytön aiheuttama lämpöhäviö on vuositasolla hyvin eristetyssä varaajassa (100 mm:n eriste) noin 1 100 kWh/a. Kun lämmitysvaraajien veden keskimääräinen lämpötila, noin 47 ºC on edellä mainittua käyttövesivaraaja-tapausta (70 ºC) alhaisempi ja lämpötilaero varaajan veden ja ympäröivän tilan välillä (21 ºC) on siten noin puolet D5:n tapauksesta, voidaan varaajahäviöiden olettaa olevan karkeasti noin puolet esitetystä eli: 3 x 0,5 x 1 100 kWh/a = 1 650 kWh/a. Varaajahäviöiden määrä olisi siten käytännössä noin 0,4 %:a PILP-laitteistolla tuotetusta lämpöenergiasta eli käytännössä varsin vähäinen.

Poistoilman sisältämää, teoreettista, hyödynnettävissä oleva lämpöenergiamäärä on arvioitu seuraavasti:

Normaalitilanteessa, syys-huhtikuussa ilmanvaihto on täydellä teholla 8 h/d, ilmamäärän ollessa tällöin 5 000 l/s ja puolella teholla 16 h/d, ilmamäärän ollessa 2 500 l/s. Ilmanvaihtoa tehostetaan touko-elokuussa siten, että ilmanvaihto on tuolloin täydellä teholla 15 h/d ja puolella teholla 9 h/d.

Kun arvioidaan poistoilmasta lämmön talteenottopatterin avulla saatavaa lämpötehoa ja lämpömäärää käyttämällä edellä mainittuja ilmanvaihdon käyntiaikoja ja ilmamääriä, poistoilman (jäteilman) lämpötilana ennen lämmön talteenottopatteria 21 ˚C ja patterin jälkeen 5 ˚C, ilman tiheytenä 1,2 kg/m$^3$, sekä ilman ominaislämpökapasiteettina arvoa 1 006 J/kgK, päästään seuraaviin tuloksiin:

Teho ilmanvaihdon ollessa täydellä teholla saadaan laskettua seuraavasti:

$\phi$ = 5 m$^3$/s x 1,2 kg/m$^3$ x (21 - 5) K x 1 006 J/kgK = 96 576 W ≈ 96,6 kW

Teho ilmanvaihdon ollessa puolella teholla saadaan laskettua seuraavasti:

$\phi$ = 2,5 $m^3$/s x 1,2 kg/$m^3$ x (21 - 5) K x 1 006 J/kgK = 48 288 W ≈ 48,3 kW

Kun ilmanvaihto on syys-huhtikuussa täydellä teholla 8 h ja puolella teholla 16 tuntia sekä touko-elokuussa täydellä teholla 15 h/d ja puolella teholla 9 h/d, saadaan vuorokaudessa hyödynnettävissä olevat energiamäärät laskettua seuraavasti:

- Syys-huhtikuu: Q = (8 h x 96,6 kW) + (16 h x 48,3 kW) = 1 545 kWh
- Touko-elokuu: Q = (15 h x 96,6 kW) + (9 h x 48,3 kW) = 1 883 kWh

Kuukausitasolla poistoilmasta hyödynnettävä energiamäärä olisi täten kesäaikana noin 56 MWh ja muulloin noin 46 MWh. Vuositasolla lämpömäärä olisi täten noin 605 MWh. Lämmön talteenottopatterissa ei ole lämpötilan mittausta poistoilmasta patterin jälkeen, joten tarkkaa tietoa todellisesta lämpötilasta ei ollut käytettävissä.

Lämpöpumppulaitteistolla tuotettavissa olevaa, LTO-patterilla kerätyn lämpöenergian teoreettista määrää voidaan arvioida edellä mainittujen energiamäärien, lämpöpumpulla lämmön tuotannossa saavutetun lämmön tuotannon hyötysuhteen sekä seuraavan, ”lämpöpumpun lämpökertoimen vaikutus energiaosuuksiin”-taulukon avulla.

**TAULUKKO 13. Lämpöpumpun lämpökertoimen vaikutus energiaosuuksiin [20]**

| Lämpökerroin | Sähköenergiaa | Ilmaisenergiaa |
|---|---|---|
| 4,0 | 25 % | 75 % |
| 3,9 | 26 % | 74 % |
| 3,8 | 26 % | 74 % |
| 3,7 | 27 % | 73 % |
| 3,6 | 28 % | 72 % |
| 3,5 | 29 % | 71 % |
| 3,4 | 29 % | 71 % |
| 3,3 | 30 % | 70 % |
| 3,2 | 31 % | 69 % |
| 3,1 | 32 % | 68 % |
| 3,0 | 33 % | 67 % |
| 2,9 | 34 % | 66 % |
| 2,8 | 36 % | 64 % |
| 2,7 | 37 % | 63 % |
| 2,6 | 38 % | 62 % |
| 2,5 | 40 % | 60 % |
| 2,4 | 42 % | 58 % |
| 2,3 | 43 % | 57 % |
| 2,2 | 45 % | 55 % |
| 2,1 | 48 % | 52 % |
| 2,0 | 50 % | 50 % |

Kun valitaan taulukosta toteutunut lämpökerroin, 3,1 (kts. luku lämmön tuotannon hyötysuhde), niin edellä mainitun LTO:lla kerättävissä olevan ”ilmaisenergian” määrä on 68 % ja sähköenergian osuus on 32 %. Täten lämpöpumppulaitteistolla tuotettavissa oleva teoreettinen energiamäärä on LTO:lla kerätty energiamäärä kerrottuna kertoimella 1,31.

Täten kesäaikana lämpöpumppulaitteiston teoreettinen lämmöntuotantopotentiaali olisi päivätasolla noin 2,8 MWh/d ja kuukausitasolla noin 83 MWh/kk. Muuna aikana teoreettinen tuotantopotentiaali olisi päivätasolla noin 2,3 MWh/d ja kuukausitasolla noin 68 MWh/kk. Lämmöntuotannon teoreettinen tuotantopotentiaali olisi täten vuositasolla noin 890 MWh. Toisaalta laskelmien mukaan potentiaalinen lämmöntuotantoteho olisi noin 142 kW ilmanvaihdon toimiessa täydellä teholla ja noin 71 kW ilmanvaihdon toimiessa puolella teholla. Käytännössä PILP-laitteistolla on saavutettu esim. marraskuussa lämmöntuotannossa tyypillisesti tehotaso ≥ 75 kW, mikä on noin 5 % korkeampi kuin edellä mainittu, laskettu lämpöteho ilmanvaihdon toimiessa puolella

teholla. Jotta laskennallinen lämpöteho olisi esim. käytännössä marraskuussa toteutuneen PILP-laitteistolla tuotetun jatkuvan lämpötehon mukaisesti noin 75 kW, olisi poistoilman lämpötilan LTO:n jälkeen oltava noin 4 ºC. Lukemat vastaavat siis käytännössä hyvin toisiaan. PILP-laitteiston tuntikohtaisia lämmöntuotantomääriä vertailtaessa ja myös lämmön talteenottopatterin lämmönkeruunesteen lämpötiloissa on nähtävissä pieni muutos, kun ilmanvaihto vaihtuu puolelle teholle tai täydelle teholle.

Käytännössä edellä mainitun kaltaista, jatkuvaa lämmön tuotantotehoa ei ole mahdollista saavuttaa vuoden ympäri, sillä rakennuksen lämmöntarve on erityisesti kesäaikaan huomattavasti alhaisempi. Täten myös käytännössä tuotettavissa oleva lämpöenergiamäärä on tätä huomattavasti alhaisempi. Vuoden 2012 PILP-laitteistolla tuotettu energiamäärä, 451 MWh vastaa noin 50 % edellä mainitusta, potentiaalisesta PILP-laitteiston lämmöntuotantopotentiaalista, 890 MWh.

Lämpimän käyttöveden kulutus on ollut v. 2012 kuukausitasolla varsin tasaista (taulukko 14). Käyttöveden kulutus on vuonna 2012 ollut selvästi vuosien 2007 - 2011 keskikulutusta korkeampi. Käyttöveden lämmityksen aiheuttamaa lämpöenergian kulutusta ja ominaiskulutusta voidaan arvioida kesä-, heinä- ja elokuun toteutuneen lämpimän käyttöveden kulutuksen sekä ko. ajanjakson lämpöenergian kulutuksen perusteella, koska tuolloin ei ole käytännössä muuta merkittävää lämmitystarvetta. Kesäkuukausina lämpimän käyttöveden kulutus on ollut vajaat 90 % vuoden keskimääräisestä, kuukausikohtaisesta kulutuksesta.

**TAULUKKO 14. Käyttöveden (lv + kv) ja lämpimän käyttöveden kulutustietoja**

| Kuukausi | Käyttövesi ka. 2007-2011 | Käyttövesi 2012 | Lämmin käyttövesi 2012 | Lämmin käyttövesi 2012 |
|---|---|---|---|---|
| | $m^3$ | $m^3$ | $m^3$ | % käyttövedestä v. 2012 |
| Tammikuu | 745 | 1047 | 350 | 33,4 % |
| Helmikuu | 697 | 1260 | 375 | 29,8 % |
| Maaliskuu | 771 | 970 | 387 | 39,9 % |
| Huhtikuu | 750 | 778 | 366 | 47,1 % |
| Toukokuu | 764 | 776 | 348 | 44,9 % |
| Kesäkuu | 671 | 779 | 305 | 39,2 % |
| Heinäkuu | 674 | 778 | 308 | 39,6 % |
| Elokuu | 699 | 786 | 312 | 39,7 % |
| Syyskuu | 713 | 833 | 346 | 41,5 % |
| Lokakuu | 738 | 872 | 382 | 43,8 % |
| Marraskuu | 725 | 854 | 372 | 48,3 % |
| Joulukuu | 723 | 791 | 353 | 48,4 % |
| ***Yhteensä*** | ***8672*** | ***10525*** | ***4205*** | ***40,5 %*** |
| ***Kk-keskiarvo*** | ***723*** | ***877*** | ***350*** | |
| Kesä-elokuu, yht. | 2044 | 2343 | 925 | |
| Kesä-elokuu, keskim. | 681 | 781 | 308 | 39,5 % |
| | % keskim. kk-kulutuksesta | % keskim. kk-kulutuksesta | % keskim. kk-kulutuksesta | % keskim. kk-kulutuksesta |
| Kesä-elokuu | 94,3 % | 81,1 % | 88,5 % | |
| | l/vrk/as | l/vrk/as | l/vrk/as | |
| Vuotuinen ominaiskulutus | 152 | 185 | 74 | |

Kun kesä-elokuun lämpimän käyttöveden kokonaiskulutus on ollut 925 $m^3$ ja lämpöenergian kulutus yhteensä 85,8 MWh, on käyttöveden lämmityksen bruttoenergian tarve ollut luokkaa 92,8 kWh/$m^3$. Tämä on huomattavasti enemmän kuin D5-luonnoksen mukaisesti laskettu lämpimän käyttöveden nettotarve, joka on noin 58 kWh/$m^3$. Eroa aiheuttavat ainakin lämpimän käyttöveden siirron ja varastoinnin (varaajat) sekä lämpimän käyttöveden kiertojohdon aiheuttamat häviöt. Kiertojohdoissa merkittäviä lämpöhäviöitä voivat aiheuttaa varsinaisen kiertojohdon lisäksi kiertojohtoon kytketyt lämmityslaitteet (esim. rättipatterit).

Jos käyttöveden lämmityksenenergian tarpeena käytetään arvoa 93 kWh/m$^3$ ja lämpimän käyttöveden kokonaiskulutus on 4 179 m$^3$, olisi käyttöveden lämmityksen energiantarve vuositasolla noin 391 MWh/a. Tämä olisi lähes 50 % vuoden 2012 toteutuneesta lämpöenergian kulutuksesta, joka oli 786 MWh.

Taulukossa 15 on nähtävissä vuoden 2012 lämpöenergian kulutus kuukausitasolla sekä viitenä edellisenä vuonna, vuosina 2007 – 2011.

**TAULUKKO 15. Lämpöenergian kulutus vuonna 2012 ja vuosina 2007 - 2011**

| **Kuukausi** | **2007** | **2008** | **2009** | **2010** | **2011** | **Keskiarvo** | **2012, lämmitysenergia yht.** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh |
| Tammikuu | 110,1 | 99,6 | 107,1 | 139,1 | 109,8 | 113,1 | 108,3 |
| Helmikuu | 124,3 | 87,3 | 99,4 | 113,6 | 115,9 | 108,1 | 119,5 |
| Maaliskuu | 88,8 | 95,0 | 98,5 | 95,7 | 94,0 | 94,4 | 80,1 |
| Huhtikuu | 70,4 | 67,4 | 72,0 | 66,0 | 61,2 | 67,4 | 67,5 |
| Toukokuu | 48,0 | 44,3 | 43,7 | 45,1 | 43,7 | 44,9 | 39,3 |
| Kesäkuu | 29,2 | 31,2 | 35,9 | 31,1 | 28,6 | 31,2 | 30,1 |
| Heinäkuu | 25,3 | 27,1 | 27,6 | 25,2 | 26,4 | 26,3 | 27,6 |
| Elokuu | 28,1 | 30,7 | 29,3 | 27,9 | 28,4 | 28,9 | 28,2 |
| Syyskuu | 43,7 | 49,4 | 37,9 | 42,3 | 43,0 | 43,3 | 36,1 |
| Lokakuu | 66,1 | 60,4 | 79,3 | 67,2 | 54,4 | 65,4 | 63,6 |
| Marraskuu | 92,4 | 83,2 | 81,9 | 91,4 | 66,9 | 83,2 | 72,9 |
| Joulukuu | 90,4 | 93,3 | 113,8 | 121,5 | 51,4 | 94,1 | 112,4 |
| ***Yhteensä*** | ***816,8*** | ***768,9*** | ***826,3*** | ***866,0*** | ***723,6*** | ***800,3*** | ***785,5*** |
| Muutos | | | | | | | -1,9 % |

Lämpöenergian kulutus on vuonna 2012 ollut käytännössä samalla tasolla kuin vuosien 2007 – 2011 keskiarvo. Kuukausittaiset kulutuslukemat eivät poikkea minkään kuukauden osalta erityisen merkittävästi vuosien 2007 – 2011 kuukausikeskiarvoista. Täten vuoden 2012 lämpöenergian kulutusta voidaan pitää riittävän edustavana, ns. normaalivuotta kuvaavana vuotena, jotta toteutuneita kulutuslukemia voidaan pitää riittävän edustavina.

### 11.3.2 PILP-laitteiston lämmöntuotannon hyötysuhde

PILP-laitteistolla tuotetun lämpöenergian määrä on vaihdellut kuukausitasolla välillä 14 … 54 MWh ja kuukauden tuntikohtainen enimmäislämpöteho välillä 61… 93 kW (taulukko 16). Suurimmat tuntikohtaiset lämpötehot on saatu vuoden loppupuoliskolla syys-marraskuussa. Pelkästään mitatun, PILP-laitteistolla tuotetun lämpöenergian ja PILP-laitteiston ja siihen liittyvien oheislaitteiden sähkönkulutuksen perusteella lasketut kuukausikohtaiset lämmöntuotannon hyötysuhteet ovat vaihdelleet maaliskuun 2,89 ja huhti- sekä kesäkuun 3,66 välillä. Saavutettu hyötysuhde on ollut yleisesti ottaen kesäaikaan talvea korkeampi. Koko vuoden 2012 ajalta laskettu kausisuorituskyky (SPF-luku) on ollut 3,21.

**TAULUKKO 16. PILP-laitteistolla tuotettu lämpöenergia, PILP-laitteiston ja sen oheislaitteiden sähköenergian kulutus sekä niiden perusteella laskettu hyötysuhde**

| **Kuukausi** | **Lämpö, tuotettu** | **Lämpö, max. tuntiteho** | **Sähkö, käytetty** | **Hyötysuhde** |
|---|---|---|---|---|
| | MWh | kW | MWh | |
| Tammikuu | 52,79 | 71 | 16,85 | 3,13 |
| Helmikuu | 52,32 | 75 | 17,90 | 2,92 |
| Maaliskuu | 50,09 | 89 | 17,36 | 2,89 |
| Huhtikuu | 33,64 | 88 | 9,18 | 3,66 |
| Toukokuu | 24,17 | 85 | 6,92 | 3,49 |
| Kesäkuu | 14,57 | 67 | 3,98 | 3,66 |
| Heinäkuu | 16,23 | 61 | 4,63 | 3,51 |
| Elokuu | 16,74 | 69 | 4,83 | 3,47 |
| Syyskuu | 26,90 | 93 | 8,14 | 3,30 |
| Lokakuu | 51,58 | 93 | 15,88 | 3,25 |
| Marraskuu | 56,32 | 93 | 17,06 | 3,30 |
| Joulukuu | 56,01 | 89 | 17,96 | 3,12 |
| ***Yhteensä*** | ***451,36*** | | ***140,69*** | ***3,21*** |

Jotta toteutuneet energiankulutustiedot olisivat täysin vertailukelpoisia lähtötilanteeseen verrattuna ja jotta PILP-laitteistolla saavutettava todellinen hyöty saadaan arvioitua, on laskelmissa huomioitava vielä seuraavat tekijät, jotka eivät näy suoraan PILP-laitteiston energiankulutuksen seurantatiedoissa:

- vesivaraajien aiheuttamat lämpöhäviöt

- uuden, suurempitehoisen lämmityspumpun tarve ja sen käytöstä aiheutunut sähkönkulutuksen lisääntyminen
- LTO-patterin painehäviön aiheuttama lisäys poistoilmapuhaltimen tehontarpeeseen, mikäli ilmamäärät pidetään aiemmalla tasolla.

Varaajien aiheuttamien lämpöhäviöiden arvioinnista on kerrottu jo aiemmin tässä selvityksessä. Varaajien lämpöhäviöiden määräksi on arvioitu yhteensä noin 1 650 kWh/a.

Uuden lämmityspumpun aiheuttamaa sähkönkulutuksen lisäystä on arvioitu seuraavasti:

- lämmityspumpun nimellistehon kasvu on 0,35 kW
- energiankulutus kasvaa käytännössä 60 % nimellistehon lisäyksestä
- käyttötuntien määräksi on arvioitu vuositasolla 6 480 h (pumppu ei ole käytössä kesäaikana).

Sähkönkulutuksen lisäykseksi saadaan tällöin: 0,35 kW x 0,6 x 6 480 h = 1 361 kWh

LTO-patterin painehäviön aiheuttama lisäys poistoilmapuhaltimen tehotarpeeseen ja energiankulutukseen saadaan arvioitua poistoilman tilavuusvirran, LTO-patterin painehäviön ja puhaltimen hyötysuhteen avulla.

Kun tilavuusvirtana käytetään ilmanvaihdon täyden tehon ja puolen tehon ilmavirtojen keskiarvoa, 3,75 $m^3/s$, painehäviönä 60 Pa ja puhaltimen hyötysuhteena 0,5, saadaan tarvittavaksi puhaltimen lisätehontarpeeksi: P = (3,75 $m^3/s$ x 60 Pa) / 0,5 = 450 W. Kun tämä kerrotaan 8 760 käyttötunnilla, saadaan sähkönkulutuksen lisäykseksi 3 942 kWh/a.

Taulukosta 17 on nähtävissä edellä mainittujen tekijöiden vaikutus PILP-laitteiston hyötysuhteeseen.

**TAULUKKO 17. Varaajahäviöiden sekä LTO-patterin ja tehokkaamman lämmityspumpun vaikutus PILP-laitteistolla tuotetun lämpöenergian hyötysuhteeseen verrattaessa tilannetta pelkkään KL-käyttöön**

| | **Lämpö, tuotettu** | **Lämpö, tuotettu, varaajahäviöt huomioitu** | **Sähkö, käytetty** | **Sähkö, käytetty; *1** | **Hyötysuhde/ Lämpökerroin** | **Lämpökertoimen pieneneminen** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | MWh | MWh | MWh | MWh | | |
| Tammikuu | *52,79* | *52,65* | *16,85* | *17,33* | 3,04 | 3,0 % |
| Helmikuu | *52,32* | *52,18* | *17,90* | *18,38* | 2,84 | 2,9 % |
| Maaliskuu | *50,09* | *49,95* | *17,36* | *17,84* | 2,80 | 3,0 % |
| Huhtikuu | *33,64* | *33,50* | *9,18* | *9,66* | 3,47 | 5,4 % |
| Toukokuu | *24,17* | *24,03* | *6,92* | *7,40* | 3,25 | 7,0 % |
| Kesäkuu | *14,57* | *14,43* | *3,98* | *4,31* | 3,35 | 8,5 % |
| Heinäkuu | *16,23* | *16,09* | *4,63* | *4,96* | 3,25 | 7,4 % |
| Elokuu | *16,74* | *16,60* | *4,83* | *5,16* | 3,22 | 7,1 % |
| Syyskuu | *26,90* | *26,76* | *8,14* | *8,62* | 3,10 | 6,0 % |
| Lokakuu | *51,58* | *51,44* | *15,88* | *16,36* | 3,14 | 3,2 % |
| Marraskuu | *56,32* | *56,18* | *17,06* | *17,54* | 3,20 | 3,0 % |
| Joulukuu | *56,01* | *55,87* | *17,96* | *18,44* | 3,03 | 2,8 % |
| ***Yhteensä*** | ***451,36*** | ***449,71*** | ***140,69*** | ***145,99*** | **3,08** | **4,0 %** |

*1 Huomioitu myös LTO-patteri ja lämmityspumppu: LTO-patterin aiheuttama sähkönkulutuksen lisäys jaettu tasan kaikille kuukausille, lämmityspumpun sähkönkulutuksen lisäys muille kuukausille, paitsi kesä-, heinä- ja – elokuulle

Jos poistoilmalämpöpumppulaitteiston hyötysuhteen laskennassa huomioidaan myös PILP-laitteiston käyttöönoton myötä tapahtuneet muutokset, jotka lisäävät sähkönkulutusta ja aiheuttavat lämpöhäviötä, pienenee hyötysuhde vuositasolla arvion mukaan 4 % ja vuosihyötysuhde olisi tällöin 3,08. On siis huomioitava, että edellä mainittu arvo, 3,08 ei ole virallinen kausisuorituskyky.

Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi – laskentaoppaan [14] mukaan lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö olisi noin 32 % pienempi, jos kahden 1 000 litran varaajan sijasta käytettäisiin yhtä 2 000 litran varaajaa. Kun varaajajärjestelmässä on tässä tapauksessa oletettavasti joka tapauksessa järkevintä olla erilliset tulistusva-

raajat ja lauhdevaraajat eli esim. yksi 1 000 litran tulistusvaraaja ja yksi 2 000 litran lauhdevaraaja, olisi varaajien lämpöhäviö ollut tällaisessa ratkaisussa täten arviolta noin 21 % nykyistä järjestelmää pienempi. Tällä ei kuitenkaan ole kokonaisuuden kannalta juurikaan merkitystä, sillä varaajien lämpöhäviöt ovat varsin pienet, erityisesti, kun varaajien veden lämpötila on varsin alhainen. Lisäksi suurempien varaajien käyttö ei tässä tapauksessa olisi edes ollut edes mahdollista tilankäytöllisten seikkojen takia.

### 11.3.3 PILP-laitteiston käyttöönoton vaikutus kaukolämmön tehontarpeeseen

Kaukolämmön käytön osalta PILP-laitteiston käyttöönotto ei ainakaan vielä ole näkynyt kovin merkittävästi kaukolämmöntarpeen tuntikohtaisessa enimmäistehossa: Vuoden 2012 suurin tuntitehontarve on ollut 230 kW, kun se vuosina 2007 – 2011 on vaihdellut välillä 230… 300 kW (taulukko 18). Kaukolämpöveden jäähtymä on pienentynyt selvästi erityisesti kuukausitason maksimi- että keskimääräisen jäähtymän osalta mutta myös minimijäähtymän osalta.

**TAULUKKO 18. Kaukolämmön käyttöön liittyvien muuttujien vaihtelu vuosina 2007 - 2012**

| ***Muuttuja*** | **2007** | **2008** | **2009** | **2010** | **2011** | **2012** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Maksimituntiteho, kW | 300 | 230 | 250 | 270 | 270 | 230 |
| Max. Vesivirta, $m^3/h$ | 3,4 | 3,3 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 3,3 |
| Ajankohta | ti 6.2 klo 20 | to 28.2 klo 9 | la 19.12 klo 14 | su 15.2 klo 13 | ti 16.2 klo 22 | to 2.2.2012 klo 13 |
| Ulkolämpötila max. teholla, °C [*1] | n. -19 | - | n. - 10 | n. -18 | n. -19 | n. - 12 |
| Jäähtymät, kk-taso | | | | | | |
| max., °C | 70 | 66 | 68 | 71 | 71 | 52 |
| min., °C | 45 | 44 | 46 | 43 | 46 | 34 |
| ka., °C | 59 | 57 | 61 | 63 | - | 46 |

[*1] Vuorokauden keskilämpötila

Vuoden 2012 helmikuun toiselta päivältä, jolloin kaukolämmön käytön osalta on tänä vuonna mitattu suurin tuntikohtainen kulutus, 230 kWh, ei ole käytössä lämpöpumppulaitteiston tuntikohtaista tai edes päiväkohtaista lämpöenergian tuotantomäärää. PILP-laitteiston sähkönkulutuksen mittausten mukaan sähkönkulutus on ollut 2.2.2012 klo 13 26 kWh eli tämän mukaan kaikki kolme lämpöpumppua olisivat olleet toiminnassa, kun kaukolämpöteho oli suurimmillaan. Vuorokauden keskilämpötila oli tuolloin luokkaa noin -12 °C. Suurta lämmön tarvetta tuolloin ei selitä myöskään esim. poikkeuksellisen suuri lämpimän käyttöveden kulutus: lämpimän käyttöveden kulutus on tuolloin ollut 880 l/h, kun kuukauden enimmäistuntikulutus oli 2 040 l/h, kuukauden tuntikeskiarvon ollessa 539 l/h. Jos käyttöveden lämmityksen bruttoenergiantarpeena käytetään aiemmin laskettua arvoa, 92,8 kWh/m$^3$, olisi käyttöveden lämmitykseen tarvittu lämpöteho ollut tuolloin luokkaa noin 82 kW. Toisaalta lämpöpumppujen sähköteho laski klo 13 jälkeen tasolta n. 26 kW tasolle n. 10 - 18 kW ja seuraavana yönä tasolle 1 – 7 kW, kunnes palasi klo 16 jälkeen jatkuvalle n. 26 kW:n tasolle. Tämä voisi viitata mahdolliseen toimintahäiriöön PILP-laitteistossa. Mahdollisten lämpöpumppulaitteiston toimintahäiriöitä ja niiden ajankohtia ei tässä yhteydessä lähdetty kuitenkaan selvittämään.

Toisaalta vuoden 2013 alussa, 14.3.2013 mennessä suurin tuntikohtainen kaukolämmön käyttöteho on ollut 160 kW. Kun tähän lisää PILP-laitteiston lämpötehon, noin 80 – 90 kW, vastaa tämä varsin hyvin esim. vuosien 2009 – 2011 suurinta toteutunutta kaukolämmön tuntikohtaista käyttötehoa.

Aiempina vuosina myös esim. loka-marraskuun suurimmat mitatut tuntikohtaiset kaukolämpötehot ovat olleet luokkaa 150 … 210 kW, kun ne nyt, vuonna 2012, PILP-laitteiston ollessa toiminnassa olivat 80 ja 100 kW. Toisaalta kesä-heinä-elokuussa, jolloin ei ole lämmitystarvetta ja käytännössä ainakin lähes kaikki kulutettu/tuotettu lämpö käytetään käyttöveden lämmittämiseen, suurimmat lämpöenergian tuntikohtaiset tehot (sisältäen kaukolämmön ja PILP:lla tuotetun energian) olivat 97, 75 ja 89 kW. Täten käyttöveden lämmitys olisi periaatteessa mahdollista hoitaa lähes kokonaisuudessaan PILP-laitteistolla tuotetulla lämpöenergialla, vaikka käytännössä PILP-laitteistolla ei saada tuotettua ainakaan nykyisellään kuin noin 52 °C käyttövettä. Nykynormien mukaan käyttöveden lämpötila pitäisi olla lähtiessä tasolla 58 ºC, jotta veden lämpötila pysyisi vähintään tasolla 55 ºC. Käytännössä pilot-kohteessa, jossa lait-

teiston mitoitus on tehty aiempien säännösten mukaan, on hyväksytty käyttöveden lämpötilaksi lähtiessä 55 ºC. Lisäksi tässä tutkimuksessa ei lähdetty tarkemmin arvioimaan, paljonko on todellisuudessa tarvittava hetkellinen lämpötehontarve ja paljonko on PILP-laitteiston ja järjestelmään liitettyjen varaajien hetkellinen antoteho.

Kaukolämmön nykyinen tilausteho on 450 kW. Energiankulutuksen seurantatiedoista ei kuitenkaan ilmene, mikä on ollut käytännössä suurin tarvittu hetkittäinen lämpöteho ja kaukolämpöteho, jotka voivat poiketa huomattavasti tuntikohtaisesta tehontarpeesta. Tarkkaa tietoa siitä, paljonko PILP-laitteiston ja järjestelmään liitettyjen varaajien hetkellinen antoteho käytännössä on, ei myöskään ollut tiedossa. Käytännössä tilaustehoa olisi varmaan kuitenkin mahdollista ja järkevää laskea nykyisestä, koska sillä voi olla kohtuullisen merkittävä vaikutus vuotuisiin lämmityskustannuksiin sekä myös PILP-laitteiston investoinnin kannattavuuteen ja takaisinmaksuaikaan.

## 11.4 PILP-laitteistolla tuotetun lämpöenergian osuus verrattuna laskentaoppaan mukaisen laskennan tuloksiin

Vuosien 2007 – 2011 keskimääräinen, normitettu lämmitysenergian kulutus on ollut 893 MWh ja vuoden 2012 normitettu kulutus 828 MWh. Jos vertailulukuna käytetään viime vuoden todellista lämmitysenergian kulutusta, 785,5 MWh ja kun lämpöpumpuilla saatiin viime vuonna tuotettua 451,4 MWh lämpöenergiaa, olisi sen osuus reilut 57 % lämmitysenergian kulutuksesta.

Jos arvioidaan lämpöpumpun tuottamaa osuutta rakennuksen lämpöenergian tarpeesta lämpöpumppujen laskentaoppaan taulukon 4 mukaisesti siten, että neliötä kohti lasketun lämmitysenergian määränä (ominaiskulutuksena) käytetään vuoden 2012 arvoa n. 110 kWh/m$^2$ a, SPF-lukuna 3,0 ja jäteilman lämpötilaksi arvioidaan +5 °C (laitteistossa ei ole jäteilman lämpötilan mittausta, taulukon lukuarvoja interpoloimalla osuudeksi saadaan noin 0,69 eli 69 %). Tämä on jonkin verran enemmän, kuin mitä toteutunut, vuonna 2012 PILP-laitteistolla tuotettu lämpöenergiamäärä on.

Jos taas SPF-lukuna käytetään toteutunutta lukemaa 3,1 ja taulukon arvoja interpoloimalla arvioidaan, paljonko lämpöenergian ominaiskulutus voisi olla, jos PILP-

laitteistolla tuotetun lämpöenergian osuus olisi 57 %, saadaan vastaavaksi ominaiskulutukseksi noin 135 kWh/m$^2$ a.

# 12 PILP-LAITTEISTON AVULLA SAAVUTETUT KUSTANNUSSÄÄSTÖT JA INVESTOINNIN KANNATTAVUUS PILOT-KOHTEESSA

## 12.1 Yleistä

Kustannuslaskelmissa on käytetty energian kulutuksen osalta aiemmin tässä raportissa mainittuja periaatteita. Laskelmissa on pyritty huomiomaan kaikki PILP-laitteiston käytön aiheuttamat, energiankulutusta lisäävät tekijät, jotka eivät näy suoraan kulutustiedoissa, mutta jotka on otettava huomioon, jotta vertailu aiempaan tilanteeseen, pelkkään kaukolämpökäyttöön, olisi mahdollisimman vertailukelpoista. Täten saadaan realistinen kuva PILP-laitteiston avulla todellisuudessa saavutettavista kustannussäästöistä ja investoinnin kannattavuudesta.

Laskelmissa on käytetty hintoina arvonlisäverollisia hintoja (alv 23 %) ja hinnat sisältävät myös mahdolliset verot, esim. energiavero.

## 12.2 Investointikustannukset

PILP-laitteiston investointikustannukset sisältäen sekä itse laitteistokustannukset että niiden asennuksen ja käyttöönoton, ovat olleet hieman alle 160 000 €. Laitteiston asennus on hoidettu pääosin YIT:n toimesta.

Koska kyseessä oli YIT:n ensimmäinen ko. tyyppinen asuntokerrostalokohde, johon asennettiin PILP-laitteisto, sisältyi kustannuksiin erityisesti putki- ja sähköasennusten osalta runsaasti sellaisia ylimääräisiä kustannuksia, joita ei todennäköisesti enää sisältyisi seuraaviin toteutettaviin kohteisiin.

Pilot-kohteen osalta on myös huomioitava, että koska kyseessä oli ns. pistetalo, oli kyseessä siltä osin helpompi kohde, että ilmanvaihto oli toteutettu yhdellä, koko rakennusta palvelevalla poistoilmapuhaltimella. Täten lämmön talteenotto pystyttiin toteuttamaan yksinkertaisesti yhdestä poistoilmakanavasta.

Toisaalta vaikeutena oli se, että rakennuksessa ei ollut kuilua tms. johon lämmön siirtoputkisto rakennuksen katolle sijoitetulta LTO-katokselta lämpöpumpuille olisi voitu yksinkertaisesti sijoittaa. Putkisto jouduttiin asentamaan kulkemaan esim. verkkokomeroihin, joihin tarvitsi tehdä runsaasti läpivientejä ja tällöin mm. tilojen palo-osastointivaatimusten täyttäminen aiheutti runsaasti lisätyötä ja – kustannuksia.

Näiden syiden takia kustannuslaskelmissa käytettiin laitteiston investointikustannuksina arvoa 140 000 €. Tämän oletettiin vastaavan paremmin laitteiston hintaa jatkossa.

## 12.3 Käyttökustannukset

### 12.3.1 Kaukolämpö

Vantaan Energian kaukolämpöverkkoon liittyneet asiakkaat maksavat tarvitsemansa sopimustehon perusteella määräytyvän perusmaksun sekä käyttämästään lämpöenergiasta energiamaksun. Myyntihinnaston mukaan kerrostalon kokoluokan rakennusten osalta maksuperusteen muuttuvat sopimusteho ylittäessä 100 kW, 250 kW tai 700 kW. Energiamaksun yksikköhinta on ollut 1.10.2012 lähtien erilainen kevät-, kesä-, syksy- ja talvikaudella, ollen kallein talvikaudella (1.12 – 28.2) ja halvin kesällä (1.6 – 31.8). Aiemmin energiamaksu oli samansuuruinen kaikkina vuoden aikoina. Vantaan Energian kaukolämmön myyntihinnastot vuoden 2013 alusta sekä 1.5.2012 -30.9.2012, ja 1.10 -31.12.2012 voimassa olleet hinnastot ovat nähtävissä liitteestä 1. Kun esim. 1.10.2012 saakka voimassa olleessa hinnastossa energiamaksu oli 59,42 €/MWh, nousi energiamaksu talvikautena 69,99 €/MWh, mutta aleni kesäkauden (41,21 €/MWh) sekä kevät- että syyskauden osalta (54,86 €/MWh) ”kausihinnoitteluperiaatteen” astuessa voimaan vuoden 2012 lokakuun alussa.

Kaukolämmön hintoihin tuli vuoden 2013 alusta korotus, joka koskee sekä perusmaksua että energiamaksua. Korotuksen suuruus on ollut energiamaksun osalta noin 5 %.

### 12.3.2 Sähkö

Hoas hankkii sähkönsä ns. sertifikaatti-menettelysähkönä, joka on tuotettu vihreällä vesivoimalla.

Kustannuslaskelmissa sähköenergian hintana on käytetty arvoa 11,36 c/kWh, johon sisältyy sekä energiamaksu, sähkön siirto, energiavero ja arvonlisävero.

Kustannuslaskelmissa, joissa käytettiin vuoden 2013 hintoja, huomioitiin laskelmissa oletettu sähkön siirtohintojen alennus. Laskelmissa laskun suuruudeksi on arvioitu noin 0,3 c/kWh, jonka vaikutus sähkön kokonaishintaan on reilut 2,5 %.

### 12.3.3 Huoltokustannukset

Huoltokustannusten osalta on otettu huomioon PILP-laitteiston käyttöönoton aiheuttamat, arvioidut kustannukset. Kustannukset koostuvat lähinnä LTO-patterin puhdistustarpeesta (vähintään kerran vuodessa) ja mahdollisista lämpöpumppujen huolloista/korjauksista. Laskelmissa huoltokustannusten osuudeksi on arvioitu noin 250 €/a.

## 12.4 Kustannussäästöt ja investoinnin takaisinmaksuaika

PILP-laitteiston käyttöönoton aikaansaamaa vaikutusta vuotuisiin lämmitysenergiakustannuksiin on arvioitu kolmella eri energiataksalla. Ensimmäisessä tapauksessa kaukolämmön hintana käytettiin 1.5.2012 - 30.9.2012 käytössä olleen hinnaston mukaisia hintoja, joissa energiamaksun määrä vuoden ympäri oli vakio. Toisessa laskelmassa käytettiin 1.10. – 31.12.2012 voimassa olleen hinnaston hintoja, joissa energiamaksu on erisuuruinen kevät-, kesä-, syksy- ja talvikaudella. Hinnat ovat hinnaston mukaan kalleimmat talvikaudella (1.12 – 28.2) ja halvimmat kesällä (1.6 – 31.8). Kolmannessa laskelmassa kaukolämmön hintana on käytetty 1.1.2013 voimaan astuneen hinnaston hintoja, joissa sekä energiamaksua sekä perusmaksua on nostettu jonkin verran. Korotus on perusmaksun osalta ollut noin 3 €/MWh ja energiamaksun osalta noin 5 %. Kolmannessa laskelmassa on lisäksi huomioitu oletettu ja ainakin Vantaalla toteutunut sähkön siirtohintojen lasku vuoden 2012 hintoihin nähden. Las-

kelmissa hintojen alennuksen suuruudeksi on arvioitu noin 0,3 c/kWh, jonka vaikutus sähkön kokonaishintaan on reilut 2,5 %.

Lasketut lämmitysenergiakustannusten vuotuiset säästöt ovat nähtävissä taulukoista 19, 20 ja 21. Kustannussäästölaskelmat ovat kokonaisuudessaan nähtävissä liitteestä 2. Laskelmissa ei ole huomioitu kaukolämmön perusmaksua, jonka on oletettu olevan yhtä suuri sekä pelkässä kaukolämpökäytössä että sen lisäksi myös PILP-laitteistoa käytettäessä, sillä PILP-laitteiston käyttöönotto ei sellaisenaan vaikuta kaukolämmön tilaustehoon, jonka perusteella perusmaksu määräytyy.

**TAULUKKO 19. PILP-laitteiston käyttöönoton tuoma vuotuinen lämmitysenergian kustannussäästö v. 2012 kulutustiedoilla ja 30.9.2012 saakka voimassa olleilla KL-hinnoilla**

| | ***PILP-laitteisto käytössä*** | | | ***Vertailukust., pelkkä KL-käyttö*** | ***Kustannussäästö*** |
|---|---|---|---|---|---|
| | Sähkö, PILP | Kaukolämpö | Sähkö + KL | Kaukolämpö | |
| Kuukausi | Kustannukset | Kustannukset | Kustannukset | Kustannukset | |
| | € | € | € | € | € |
| Tammikuu | 1969 | 3300 | 5268 | 6428 | 1159 |
| Helmikuu | 2088 | 3991 | 6079 | 7091 | 1012 |
| Maaliskuu | 2027 | 1784 | 3811 | 4752 | 941 |
| Huhtikuu | 1097 | 2012 | 3110 | 4003 | 893 |
| Toukokuu | 841 | 901 | 1741 | 2328 | 587 |
| Kesäkuu | 489 | 920 | 1410 | 1778 | 368 |
| Heinäkuu | 563 | 674 | 1237 | 1630 | 393 |
| Elokuu | 586 | 678 | 1264 | 1665 | 400 |
| Syyskuu | 979 | 544 | 1523 | 2134 | 611 |
| Lokakuu | 1858 | 711 | 2570 | 3767 | 1198 |
| Marraskuu | 1993 | 985 | 2978 | 4323 | 1345 |
| Joulukuu | 2095 | 3351 | 5446 | 6671 | 1225 |
| **Yht. v. 2012** | **16585** | **19851** | **36436** | **46569** | **10132** |

**TAULUKKO 20. PILP-laitteiston käyttöönoton tuoma vuotuinen lämmitysenergian kustannussäästö v. 2012 kulutustiedoilla ja 1.10 – 31.12.2012 voimassa olleilla KL-hinnoilla**

| | ***PILP-laitteisto käytössä*** | | | ***Vertailukust., pelkkä KL-käyttö*** | ***Kustannussäästö*** |
|---|---|---|---|---|---|
| | Sähkö, PILP | Kaukolämpö | Sähkö + KL | Kaukolämpö | |
| Kuukausi | Kustannukset | Kustannukset | Kustannukset | Kustannukset | |
| | € | € | € | € | € |
| Tammikuu | 1969 | 3887 | 5856 | 7572 | ***1716*** |
| Helmikuu | 2088 | 4702 | 6790 | 8373 | ***1584*** |
| Maaliskuu | 2027 | 1647 | 3674 | 4403 | ***729*** |
| Huhtikuu | 1097 | 1858 | 2955 | 3711 | ***756*** |
| Toukokuu | 841 | 832 | 1672 | 2165 | ***493*** |
| Kesäkuu | 489 | 638 | 1128 | 1244 | ***117*** |
| Heinäkuu | 563 | 467 | 1031 | 1142 | ***111*** |
| Elokuu | 586 | 471 | 1057 | 1166 | ***110*** |
| Syyskuu | 979 | 502 | 1481 | 1985 | ***504*** |
| Lokakuu | 1858 | 657 | 2515 | 3494 | ***979*** |
| Marraskuu | 1993 | 910 | 2902 | 4007 | ***1105*** |
| Joulukuu | 2095 | 3948 | 6043 | 7878 | ***1835*** |
| **Yht. v. 2012** | ***16585*** | ***20519*** | ***37104*** | ***47141*** | **10038** |

**TAULUKKO 21. PILP-laitteiston käyttöönoton tuoma vuotuinen lämmitysenergian kustannussäästö v. 2012 kulutustiedoilla ja 1.1.2013 voimaan astuneilla KL-hinnoilla**

| | ***PILP-laitteisto käytössä*** | | | ***Vertailukust., pelkkä KL-käyttö*** | ***Kustannussäästö*** |
|---|---|---|---|---|---|
| | Sähkö, PILP | Kaukolämpö | Sähkö + KL | Kaukolämpö | |
| Kuukausi | Kustannukset | Kustannukset | Kustannukset | Kustannukset | |
| | € | € | € | € | € |
| Tammikuu | 1919 | 4054 | 5974 | 7898 | ***1924*** |
| Helmikuu | 2036 | 4904 | 6940 | 8713 | ***1774*** |
| Maaliskuu | 1976 | 1738 | 3714 | 4629 | ***915*** |
| Huhtikuu | 1070 | 1960 | 3030 | 3899 | ***869*** |
| Toukokuu | 820 | 877 | 1697 | 2268 | ***571*** |
| Kesäkuu | 477 | 685 | 1162 | 1323 | ***161*** |
| Heinäkuu | 549 | 501 | 1051 | 1213 | ***162*** |
| Elokuu | 571 | 505 | 1076 | 1239 | ***163*** |
| Syyskuu | 955 | 530 | 1484 | 2078 | ***594*** |
| Lokakuu | 1812 | 693 | 2505 | 3670 | ***1165*** |
| Marraskuu | 1943 | 959 | 2902 | 4211 | ***1309*** |
| Joulukuu | 2042 | 4118 | 6160 | 8197 | ***2036*** |
| **Yht. v. 2012** | ***16170*** | ***21525*** | ***37695*** | ***49338*** | **11643** |

Laskelmien mukaan vuotuinen kustannussäästö on 10 000 – 12 000 € riippuen vertailussa käytetystä KL-hinnoista. Kaukolämmön hinnoittelussa vuoden 2012 loppupuolella tehty muutos, jossa energiamaksu on erisuuruinen kevät-, kesä-, syksy- ja talvi-

kaudella, ei ole käytännössä vaikuttanut PILP-laitteistolla saavutettavissa olevaan lämmitysenergiakustannusten kustannussäästöön.

Taulukossa 19 - 21 esitetyillä hinnoilla merkittävästi suurempi vaikutus (> 1 000 €) kustannussäästöjen kasvamiseen on ollut kaukolämmön hinnan korotuksella. Sähkön kokonaishinnan oletetun 2,5 %:n laskun vaikutus vuositasolla v. 2013 hinnoin tehdyissä laskelmissa on vain luokkaa noin 400 €.

Jos sähkön ja kaukolämmön yksikköhinnat muuttuvat yhtä paljon, lisää se käytännössä PILP-laitteiston kilpailukykyä: mikäli sekä kaukolämmön että sähkön hinta kohoaisivat esim. 10 %, kasvaisi PILP-laitteistolla saavutettava vuotuinen kustannussäästö noin 1 100 €/a, jos lähtöhintoina käytetään vuoden 2013 laskelmissa käytettyjä kaukolämmön ja sähkön hintoja.

Jos lasketaan pelkästään lämmitysenergiakustannussäästöjen avulla PILP-investoinnin korotonta takaisinmaksuaikaa vuoden 2013 hinnoilla ja olettaen, että laitteiston investointikustannukset olisivat joko 140 000 € tai 119 000 €, takaisinmaksuajat olisivat 12 vuotta ja 10,2 vuotta. Jos kaukolämmön tilaustehoa alennettaisiin PILP-laitteistolla saavutetun enimmäislämmöntuotantotehon, noin 90 kW mukaisesti 360 kW:iin, alenisi takaisinmaksuaika jälkimmäisessä tapauksessa 8,9 vuoteen. Jos tilaustehoa voitaisiin pudottaa esim. 250 kW:iin, jota alhaisempia ovat olleet esim. vuoden 2012 suurimmat tuntikohtaiset kaukolämmön käyttötehot, kuten myös esim. tilanne myös v. 2013 maaliskuun loppuun mennessä, laskisi koroton takaisinmaksuaika puolestaan 7,7 vuoteen.

Taulukoissa 22 ja 23 on nähtävissä PILP-laitteistoinvestoinnin kannattavuus ja vuodessa saavutettava kustannushyöty, kun laskelmissa on huomioitu arvioidun laitteistoinvestoinnin lisäksi energiakustannukset (kaukolämmön energiamaksun osuus sekä PILP-laitteiston ja sen oheislaitteiden sähkönkulutus), PILP-laitteiston huoltokustannukset, mahdollinen PILP-laitteistoinvestointiin saatava energiatuki sekä kaukolämmön tilaustehon mahdollisen alentamisen vaikutukset. Laskelmissa PILP-laitteiston käyttöikänä on käytetty 20 vuotta ja korkokantana 3 prosenttia.

**TAULUKKO 22. PILP-laitteistoinvestoinnin kannattavuus ja kustannussäästöt vuoden 2013 alussa voimaan astuneilla kaukolämpöhinnoilla**

| | ***Investointikustannukset*** | | ***Käyttökustannukset*** | | | | | | | ***Investointi- ja käyttökustannukset yht.*** | | ***Kustannussäästöt*** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Laitteisto asennettuna* | | *Energiakustannukset* | | | | | *Huolto*[*2] | *Energia- ja huoltokust. yht.* | | | | |
| | | | Sähkö[*1] | Lämpö, energia-maksu | Sähkö ja lämpö yht. | KL-perusmaksun alennus | Yhteensä | | | | | | |
| | € | €/a | €/a | €/a | | €/a | €/a | €/a | €/a | €/a | €/20 a | €/a | €/20 a |
| ***PILP-laitteisto*** | 140 000 | 9 410 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | 0 | 37 695 | 250 | 37 945 | ***47 355*** | ***947 103*** | ***1 983*** | ***39 651*** |
| ***PILP-laitteisto, energiatuki huomioitu*** | 119 000 | 7 999 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | 0 | 37 695 | 250 | 37 945 | ***45 944*** | ***918 873*** | ***3 394*** | ***67 882*** |
| ***PILP-laitteisto, KL-sopimustehon alennus 90 kW*** | 140 000 | 9 410 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | -1 679 | 36 016 | 250 | 36 266 | ***45 677*** | ***913 533*** | ***3 661*** | ***73 221*** |
| ***PILP-laitteisto, KL-sopimustehon alennus 200 kW*** | 140 000 | 9 410 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | -3 730 | 33 965 | 250 | 34 215 | ***43 625*** | ***872 503*** | ***5 713*** | ***114 251*** |
| ***PILP-laitteisto, KL-sopimustehon alennus 250 kW*** | 140 000 | 9 410 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | -5 438 | 32 257 | 250 | 32 507 | ***41 917*** | ***838 339*** | ***7 421*** | ***148 416*** |
| ***PILP-laitteisto, energiatuki ja 90 kW:n sop.tehon alennus huomioitu*** | 119 000 | 7 999 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | -1 679 | 36 016 | 250 | 36 266 | ***44 265*** | ***885 303*** | ***5 073*** | ***101 452*** |
| ***PILP-laitteisto, energiatuki ja 200 kW:n sop.tehon alennus huomioitu*** | 119 000 | 7 999 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | -3 730 | 33 965 | 250 | 34 215 | ***42 214*** | ***844 273*** | ***7 124*** | ***142 482*** |
| ***PILP-laitteisto, energiatuki ja 250 kW:n sop.tehon alennus huomioitu*** | 119 000 | 7 999 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | -5 438 | 32 257 | 250 | 32 507 | ***40 505*** | ***810 108*** | ***8 832*** | ***176 647*** |
| **Vertailukustannukset, pelkkä KL-käyttö** | 0 | 0 | 0 | 49338 | 49 338 | | 49 338 | 0 | 49 338 | ***49 338*** | ***986 755*** | | |

[*1] Hinnassa huomioitu, että esim. Vantaan Energian sähkön siirtohinnat laskevat 1.1.2013 alkaen. Muutos esim. yleissiirtotariffin osalta on 0,3 c/kWh. Sen vaikutus sähkön kokonaishintaan on reilut 2,5 %.

[*2] PILP-laitteiston käyttöönoton tuoma, arvioitu huoltokustannusten lisäys; mm. LTO-patterin puhdistus.

**TAULUKKO 23. PILP-laitteistoinvestoinnin kannattavuus ja kustannussäästöt vuoden 2012 lopussa voimassa olleilla kaukolämpöhinnoilla**

| | ***Investointikustannukset*** | | ***Käyttökustannukset*** | | | | | | | ***Investointi- ja käyttökustannukset yht.*** | | ***Kustannussäästöt verrattuna KL-käyttöön*** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Laitteisto asennettuna* | | *Energiakustannukset* | | | | | *Huolto*[*1] | *Energia- ja huoltokust. yht.* | | | | |
| | | | Sähkö[*1] | Lämpö, energiamaksu | Sähkö ja lämpö yht. | KL-sopimustehon alennus | Yhteensä | | | | | | |
| | € | €/a | €/a | €/a | | €/a | €/a | €/a | €/a | €/a | €/20 a | €/a | €/20 a |
| ***PILP-laitteisto*** | 140 000 | 9 410 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | 0 | 37 695 | 250 | 37 945 | ***47 355*** | ***947 103*** | ***645*** | ***12 897*** |
| ***PILP-laitteisto, energiatuki huomioitu*** | 119 000 | 7 999 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | 0 | 37 695 | 250 | 37 945 | ***45 944*** | ***918 873*** | ***2 056*** | ***41 127*** |
| ***PILP-laitteisto, KL-sopimustehon alennus 90 kW*** | 140 000 | 9 410 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | -1 679 | 36 016 | 250 | 36 266 | ***45 677*** | ***913 533*** | ***2 323*** | ***46 467*** |
| ***PILP-laitteisto, KL-sopimustehon alennus 200 kW*** | 140 000 | 9 410 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | -3 730 | 33 965 | 250 | 34 215 | ***43 625*** | ***872 503*** | ***4 375*** | ***87 497*** |
| ***PILP-laitteisto, KL-sopimustehon alennus 250 kW*** | 140 000 | 9 410 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | -5 438 | 32 257 | 250 | 32 507 | ***41 917*** | ***838 339*** | ***6 083*** | ***121 661*** |
| ***PILP-laitteisto, energiatuki ja 90 kW:n sop.tehon alennus huomioitu*** | 119 000 | 7 999 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | -1 679 | 36 016 | 250 | 36 266 | ***44 265*** | ***885 303*** | ***3 735*** | ***74 697*** |
| ***PILP-laitteisto, energiatuki ja 200 kW:n sop.tehon alennus huomioitu*** | 119 000 | 7 999 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | -3 730 | 33 965 | 250 | 34 215 | ***42 214*** | ***844 273*** | ***5 786*** | ***115 727*** |
| ***PILP-laitteisto, energiatuki ja 250 kW:n sop.tehon alennus huomioitu*** | 119 000 | 7 999 | 16 170 | 21 525 | 37 695 | -5 438 | 32 257 | 250 | 32 507 | ***40 505*** | ***810 108*** | ***7 495*** | ***149 892*** |
| **Vertailukustannukset, pelkkä KL-käyttö** | 0 | 0 | 0 | 48000 | 48 000 | | 48 000 | 0 | 48 000 | ***48 000*** | ***960 000*** | | |

[*1] PILP-laitteiston käyttöönoton tuoma, arvioitu huoltokustannusten lisäys; mm. LTO-patterin puhdistus.

Kaukolämpöhintojen muutos lisää laskelmien mukaan PILP-investoinnin avulla saavutettavia käyttökustannussäästöjä vuositasolla noin 1 300 € ja siten myös osaltaan investoinnin kannattavuutta. Mikäli PILP-laitteiston investointikustannuksiin ei saada energiatukea, eikä kaukolämmön sopimustehoa alenneta PILP-laitteiston käyttöönoton yhteydessä, on PILP-laitteiston käytön avulla saavutettava kustannussäästö vuositasolla hieman vajaat 2 000 € ja 20 vuoden käyttöiän aikana hieman alle 40 000 €.

Kaukolämmön tilaustehon 90 kW:n alennuksen ja 15 %:n energiatuen vaikutus kannattavuuteen on suunnilleen samaa tasoa. Mikäli nämä molemmat tekijät toteutuisivat, olisi säästö pelkkään KL-käyttöön verrattuna v. 2013 hinnoilla vuositasolla reilut 5 000 €:a ja 20 vuoden aikana noin 100 000 €. Mikäli energiatuen lisäksi kaukolämmön tilaustehoa saataisiin alennettua esim. 200 kW:lla nykyisestä 450 kW:sta 250 kW:iin, kustannussäästöt lisääntyisivät vuositasolla reilu 2 000 € edellä mainituista ollen vuositasolla luokkaa 7 000 € ja 20 vuoden aikana noin 140 000 €. Esim. vuoden 2013 tammi-maaliskuussa suurin toteutunut tuntikohtainen kaukolämpötehon tarve on ollut 160 kW. Jos PILP-laitteistolla varaajineen pystyttäisiin tuottamaan lämpimän käyttöveden käytön aiheuttamien hetkellisten lämpöenergian kulutushuippujen mukainen energiantarve, olisi kaukolämmön tilaustehon huomattava alentaminen periaatteessa mahdollista. Tämä tosin edellyttäisi myös PILP-laitteistolta riittävää käyttövarmuutta.

Laskettaessa kannattavuutta investoinnin takaisinmaksuajan menetelmällä takaisinmaksuaika olisi ilman energiatukea ja KL-tilaustehon alentamista v. 2013 hinnoilla reilut 15 vuotta. Investoinnin kannattavuuden raja tulee vastaan, mikäli joku seuraavien muuttujien arvoista muuttuisi edellä mainitussa tapauksessa seuraavaan arvoon:

- korkokanta noin 5 %, tai
- laitteiston investointikustannukset olisivat noin 170 000 €, tai
- käyttöikä noin 15,5 vuotta.

Laskelmissa ei ole toisaalta huomioitu energian hinnan oletettu kohoamista. Jos esim. kaukolämmön ja sähkön hinnat nousevat samaa tahtia, kasvattaa se PILP-laitteistoinvestoinnin kannattavuutta: jos sähkön ja kaukolämmön hinnat olisivat esim. 10 €/MWh laskennassa käytettyjä v. 2013 hintoja kalliimmat, kasvaisi PILP-laitteiston avulla saavutettava kustannussäästö vuositasolla yli 1 000 euroa.

# 13 PILP-LAITTEISTON KÄYTTÖÖNOTON VAIKUTUKSET YMPÄRISTÖNÄKÖKULMASTA

## 13.1 Kokonaisenergiankulutus / E-luku

Rakennuksen kokonaisenergiankulutuksella, E-luvulla (kWh/m$^2$) tarkoitetaan energiamuotojen kertoimilla painotettua rakennuksen vuotuista ostoenergian laskennallista kulutusta rakennusten energiatehokkuudesta annettujen määräysten ja ohjeiden (D3) mukaisilla säännöillä ja lähtöarvoilla laskettuna lämmitettyä nettoalaa kohden.

Vaikka rakennuksen E-luvun laskenta ei täten ole varsinaisesti tarkoitettu käytettäväksi pilot-kohteen kaltaisen, olemassa olevan rakennuksen toteutuneen energiakulutuksen laskentaan, voidaan sen avulla kuitenkin arvioida PILP-laitteiston käyttöönoton vaikutusta rakennuksen E-lukuun ja siten rakennuksen käytön energiankulutuksen aiheuttamaan primäärienergian kulutukseen ja siitä aiheutuvaan ympäristökuormitukseen.

Taulukossa 24 on nähtävissä tilanne, jossa vuoden 2012 lämpöenergian kulutusta (kaukolämpö ja PILP-laitteiston sekä siihen liittyvien oheislaitteiden sähkönkulutus) verrataan tilanteeseen, jossa vuoden 2012 tarvittava lämpöenergia olisi tuotettu pelkästään kaukolämmöllä ja kulutuslukemat on kerrottu E-luvun laskennan mukaisilla energiamuotojen kertoimien lukuarvoilla.

**TAULUKKO 24. E-luvun laskennan mukaisilla energiamuotojen kertoimilla kerrottu lämpöenergian kulutus ja omaan lämmön tuotantoon tarvittavan sähköenergian kulutus v. 2012 kulutustietojen perusteella.**

| | KL*1 | Kerroin | KL, korj. kulutus | Sähkö*2 | Kerroin | Sähkö, korj. kulutus | Yhteensä |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MWh | | MWh | MWh | | MWh | MWh |
| Pelkkä kaukolämpö | 783,9 | 0,7 | 548,7 | 0,0 | 1,7 | 0,0 | 548,7 |
| PILP + kaukolämpö | 334,1 | 0,7 | 233,9 | 146,0 | 1,7 | 248,2 | 482,1 |
| Erotus | | | | | | | 66,6 |
| Muutos - % | | | | | | | -12,1 % |

*1 Huomioitu PILP-laitteiston varaajahäviöt

*2 Huomioitu myös LTO-patterin ja lämmityspumpun aiheuttama, arvioitu sähköenergiankulutuksen lisäys, joka ei näy sähkön kulutustiedoissa

Vuoden 2012 kulutustietojen perusteella laskettuna PILP-laitteiston käyttöönotto on vähentänyt vuositasolla vajaat 67 MWh eli reilut 12 % energiamuotojen kertoimien mukaisilla lukuarvoilla laskettua lämmitysenergian (primäärienergian) kulutusta.

## 13.2 Hiilidioksidipäästöt

Vaikka rakennuksen E-luvun laskennan energiamuotojen kertoimilla pyritään kuvaamaan ja kompensoimaan kunkin energiamuodon käytön aiheuttamaa primäärienergian kulutusta ja sen aiheuttamia keskimääräisiä $CO_2$ -päästöjä, riippuu PILP-laitteiston käyttöönoton avulla saatava $CO_2$-päästöjen vähennys aina tapauskohtaisesti kussakin rakennuksessa käytettävän sähkön tuotantotavasta ja siitä, mitä polttoaineita kaukolämmön tuottamiseen on käytetty.

Pilot-kohteen tapauksessa, jossa käytettävä sähkö on tuotettu vihreällä vesivoimalla, PILP-laitteiston aiheuttama sähkönkulutuksen lisäys ei aiheuta fossiilisia hiilidioksidipäästöjä. Toisaalta kaukolämmön käytön väheneminen alentaa fossiilisia hiilidioksidipäästöjä, joita Vantaan Energian pääosin maakaasun (n. 60 %) ja kivihiilen (n. 40 %) käyttöön perustuva kaukolämmön tuotanto aiheuttaa. Vantaan Energian myymän kaukolämmön ominaispäästöt olivat hiilidioksidin osalta 274 g/kWh [21].

PILP-laitteiston käyttöönoton aiheuttama muutos lämpöenergiankulutuksesta aiheutuviin päästöihin v. 2012 kulutustietojen perusteella laskettuna on nähtävissä taulukosta 25. Taulukkoon on lisätty vertailun vuoksi myös tilanne, jossa sähkö hankittaisiin kaukolämmön toimittajalta, Vantaan Energialta ns. normaalisähkönä. Lisäksi mukaan on lisätty laskelmat siitä, kuinka paljon hiilidioksidipäästöt olisivat, jos rakennus sijaitsisi Mikkelissä ja käyttäisi paikallisen energiantuotantoyhtiön Etelä-Savon Energia Oy:n (ESE) kaukolämpöä tai kaukolämpöä sekä sähköä. Ominaispäästöinä on käytetty Vantaan Energian ja Etelä-Savon Energian ilmoittamia ominaispäästötietoja v. 2011 sekä ilmastolaskurissa käytettyjä päästökertoimia.

**TAULUKKO 25. PILP-laitteiston käyttöönoton vaikutus lämpöenergiankulutuksesta aiheutuviin fossiilisiin hiilidioksidipäästöihin sekä neljän muun esimerkkitapauksen päästöt. [21, 22, 23]**

| **Energian käyttö ja hankinta** | **Kulutus, KL** | **$CO_2$-ominaispäästö** | **$CO_2$-päästö** | **Kulutus, sähkö** | **$CO_2$-ominaispäästö** | **$CO_2$-päästö** | **$CO_2$-päästöt yht.** | **$CO_2$-päästövähennys** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MWh | g/kWh | t | MWh | g/kWh | t/a | t/a | t/a | % |
| ***Lähtötilanne, pelkkä KL*** | ***784*** | ***274*** | ***215*** | ***0*** | ***0*** | ***0*** | ***215*** | | |
| **PILP + KL** | ***334*** | ***274*** | ***92*** | ***146*** | ***15*** | ***2*** | ***92*** | ***123*** | ***57 %*** |
| | | | | | | | | | |
| PILP + KL, sähkö Vantaan energia | 334 | 274 | 92 | 146 | 267 | 39 | ***131*** | ***84*** | ***39 %*** |
| PILP + KL, ESE Oy, Mikkeli | 334 | 142 | 47 | 146 | 260 | 38 | ***85*** | ***129*** | ***60 %*** |
| PILP + KL, KL ESE + vihreä sähkö | 334 | 142 | 47 | 146 | 0 | 0 | ***47*** | ***167*** | ***78 %*** |
| Pelkkä KL, ESE Oy | 784 | 142 | 111 | 0 | 260 | 0 | ***111*** | ***103*** | ***48 %*** |

Laskelmien mukaan PILP-laitteiston käyttöönotto on vähentänyt lämpöenergiankulutuksesta aiheutuvia fossiilisia hiilidioksidipäästöjä vuositasolla 123 t eli 57 %. Mikäli

PILP-laitteiston käytössä tarvittava sähkö hankittaisiin Vantaan Energialta tavanomaisena sähkönä, olisi $CO_2$-päästöjen vähennys merkittävästi pienempi, mutta vuositasolla vielä kuitenkin luokkaa 84 t eli 39 %. Täten PILP-laitteiston käytön avulla saavutettava hyöty on ympäristönäkökulmasta käytännössä huomattavasti suurempi, mitä E-laskennan mukaisilla energiamuotojen kertoimilla laskettaessa saatiin.

Rakennuksen lämpöenergiankulutuksesta aiheutuvien $CO_2$-päästöjen todellinen määrä voi vaihdella huomattavasti sen mukaan, millä paikkakunnalla rakennus sijaitsee ja millä polttoaineilla kaukolämpöä tuotetaan: Esim. Mikkelissä, jossa Etelä-Savon Energia kaukolämmön tuotannossa käyttämien puupohjaisia polttoaineiden osuus on n. 2/3 ja turpeen noin 30 %, $CO_2$-päästöjen määrä olisi pelkästään kaukolämpökäytössäkin lähes puolta pienempi kuin todellisessa lähtötilanteessa Vantaalla. $CO_2$-päästöjen määrä olisi tällöin noin 111 tonnia eli vain noin 20 % korkeampi kuin PILP-laitteiston käyttöönoton jälkeen todellisessa tilanteessa pilot-kohteessa. Jos taas pilot-kohderakennus sijaitsisi Mikkelissä, kaukolämpö hankittaisiin ESE:ltä sekä tarvittava sähkö hankittaisiin vihreänä sähkönä, olisivat $CO_2$-päästöt alle ¼ siitä, mitä ne olivat lähtötilanteesta Vantaalla.

# 14 TULOSTEN YHTEENVETO JA TOIMENPIDESUOSITUKSET

PILP-laitteistolla on vuonna 2012 saatu tuotettua vajaat 450 MWh lämmitysenergiaa. Määrä vastaa noin 58 % vuoden 2012 toteutuneesta lämpöenergian kokonaiskulutuksesta, joka oli 786 MWh. PILP-laitteistolla tuotetun lämpöenergian määrä oli kuukausitasolla 15 – 56 MWh, mikä vastaa noin 44 – 81 % rakennuksen lämpöenergian tarpeesta. Suurimmillaan tuotetun lämpöenergian osuus on ollut syys- loka- ja marraskuussa, jolloin osuus oli vähintään luokkaa ¾ kiinteistön lämpöenergian tarpeesta. Poistoilmalämpöpumpuilla tuotettavissa oleva kuukausittainen lämpöenergia olisi teoriassa riittänyt kattamaan rakennuksen lämpöenergian tarpeen kokonaisuudessaan touko-, kesä-, heinä-, elo- ja syyskuussa, mikäli laitteistolla saataisiin tuotettua riittävän lämmintä käyttövettä sekä lämmitysvettä patteriverkostoon. Myös huhti- ja lokakuun osalta lämpöenergian tarve pystyttäisiin teoriassa kattamaan ainakin pääosin PILP-laitteistolla huomioiden kuitenkin myös edellä mainitut lämpötilavaatimukset tuotettavalle lämmölle. Lisäksi lämpimän käyttöveden tarve voi olla hetkellisesti niin suuri, että PILP-laitteiston antoteho varaajineen ei ole hetkelliseen tehontarpeeseen verrattuna riittävä, vaikka tuotantoteho olisi esim. tunti- tai päivätasolla riittävä.

Poistoilmalämpöpumppujen tulistuksen poistosta saatu lämpöenergia on ollut vuositasolla 24,8 % poistoilmalämpöpumpuilla tuotetusta lämpöenergiasta. Osuus on vaihdellut huhtikuun noin 21 %:n ja heinäkuun noin 31 %:n välillä.

Alkuvuoden osalta PILP-laitteiston toiminnassa ilmeni käyttökatkoksia eikä laitteistoa ollut muutenkaan saatu viriteltyä kaikilta osin vielä optimaaliseen toimintaan. Täten PILP-laitteistolla vuodessa tuotettava energiamäärä voinee olla käytännössä jonkin verran, ehkä muutamia prosentteja v. 2012 toteutunutta tuotantomäärää korkeampi.

PILP-laitteistolla pystytään saatujen kokemusten perusteella tuottamaan lämpöenergiaa jatkuvalla tehotasolla ≥ 75 kW, jolloin päivässä tuotetun lämpöenergian määrä on luokkaa noin 1,8 … 1,9 MWh, mikäli lämmöntarve on riittävä.

PILP-laitteiston mitoitus perustuu poistoilmanvaihtokoneen toimintaan puolella teholla, jolloin poistoilmamäärä on 2,5 $m^3/s$. Syys-huhtikuussa ilmanvaihto on täydellä teholla 8 h/d ja puolella teholla 16 h/d. Ilmanvaihtoa tehostetaan touko-elokuussa siten, että ilmanvaihto on tuolloin täydellä teholla 15 h/d ja puolella teholla 9 h/d. Mikäli laitteisto olisi mitoitettu IV-koneen täydelle teholle, kesäaikana lämpöpumppulaitteiston teoreettinen lämmöntuotantopotentiaali olisi päivätasolla noin 2,8 MWh/d ja kuukausitasolla noin 83 MWh/kk. Muuna aikana teoreettinen tuotantopotentiaali olisi päivätasolla noin 2,3 MWh/d ja kuukausitasolla noin 68 MWh/kk. Lämmöntuotannon teoreettinen tuotantopotentiaali olisi täten vuositasolla noin 890 MWh eli lähes kaksinkertainen v. 2012 tuotettuun lämpöenergiamäärään verrattuna. Käytännössä erityisesti kesäaikana tuotetulle lisälämpöenergialle ei kuitenkaan olisi käyttöä, sillä kesäaikana on pääosin nykyisinkin käytössä kolmesta lämpöpumpusta vain yksi.

Pelkästään mitatun, PILP-laitteistolla tuotetun lämpöenergian ja PILP-laitteiston sekä siihen liittyvien oheislaitteiden sähkönkulutuksen perusteella lasketut kuukausikohtaiset lämmöntuotannon hyötysuhteet ovat vaihdelleet maaliskuun 2,89 ja huhti- sekä kesäkuun 3,66 välillä. Saavutettu hyötysuhde on ollut yleisesti ottaen kesäaikaan talvea korkeampi. Koko vuoden 2012 ajalta laskettu hyötysuhde/kausisuorituskyky (SPF-luku) on ollut 3,21. Kun huomioidaan tuloksissa myös PILP-laitteistoon tai sen käyttöön liittyvät tekijät, jotka lisäävät energiankulutusta lähtötilanteeseen nähden (vesivaraajien aiheuttamat lämpöhäviöt, uuden, suurempitehoisen lämmityspumpun

käytöstä aiheutunut sähkönkulutuksen lisääntyminen ja LTO-patterin painehäviön aiheuttama lisäys poistoilmapuhaltimen tehontarpeeseen, mikäli ilmamäärät pidetään aiemmalla tasolla), pienenee hyötysuhde vuositasolla arvion mukaan 4 %. Täten laskettu korjattu, epävirallinen hyötysuhde olisi tällöin 3,08. Varaajien lämpöhäviöiksi on arvioitu noin 1,65 MWh, LTO aiheuttaman patterin painehäviön noin 3,9 MWh ja lämmityspumpun noin 1,4 MWh.

Pilot-kohteen vuoden 2012 energiankulutustilastojen ja sähkön sekä kaukolämmön hintojen perusteella energiakustannuksissa saavutettava vuotuinen kustannussäästö on luokkaa 10 000 – 12 000 €. Kun laitteiston käyttö saadaan optimoitua, voi säästö olla hieman suurempi, mutta ei oletettavasti kovin merkittävä, mikäli sähkön ja kaukolämmön hinnoissa/hintaerossa ei tapahdu suuria muutoksia. Jos laitteistoinvestoinnin kustannuksiksi oletetaan 140 000 €, olisi investoinnin koroton takaisinmaksuaika pelkästään laitteistoinvestointi, kaukolämmön käytön energiamaksun aleneminen sekä PILP-laitteiston käytön edellyttämä sähkön kulutus huomioiden luokkaa 12…14 vuotta.

Investoinnin kannattavuuteen ja takaisinmaksuajan pituuteen voi vaikuttaa suhteellisen merkittävästi laitteiston käyttöönoton myötä mahdollisesti toteutettavissa oleva kaukolämmön sopimustehon alentaminen. Pilot-kohteen tapauksessa sopimustehon alentaminen 90 kW:n, eli suunnilleen PILP-laitteiston enimmäistuotantotehon verran olemassa olevasta 450 kW:sta 360 kW:iin toisi vuositasolla vajaan 1700 €:n kustannussäästön, joka lyhentäisi takaisinmaksuaikaa lähes kahdella vuodella. Käytännössä lähes samansuuruinen olisi vaikutus, jos PILP-laitteistoinvestointiin olisi saatavilla 15 %:n energiatuki. Jos huomioidaan sekä energiatuki että sopimustehon alennus koroton takaisinmaksuaika laskisi noin 9…10 vuoteen.

Kun laskettiin PILP-laitteiston käyttöönotolla saavutettavaa kustannushyötyä siten, että korkokantana käytettiin 3 % ja laitteiston käyttöikänä 20 vuotta, olivat kustannussäästöt noin 2 000 €/a ja 40 000 € 20 vuoden aikana pelkän kaukolämpökäytön kustannuksiin verrattuna, mikäli investointiin ei saada energiatukea, eikä KL-sopimustehoa alenneta. Energiatuki ja sopimustehon alentaminen esim. 90 kW:lla 360 kW:iin aikaansaavat sen, että säästöt kasvaisivat vuositasolla noin 5 000 euroon ja 20 vuoden aikana noin 100 000 euroon.

Investoinnin kannattavuuteen vaikuttaa merkittävästi myös kaukolämmön hintataso, joka vaihtelee varsin merkittävästi Suomessa. Esim. vuoden 2011 kaukolämpötilaston [24] mukaan vuoden 2011 kaukolämmön aritmeettinen keskihinta oli 70,5 €/MWh ja painotettu keskihinta 65,4 €/MWh. Hinta oli halvimmillaan luokkaa 42 €/MWh ja kalleimmillaan luokkaa 100 €/MWh. Kun kaukolämmön hinta on yleisesti kohonnut vuoden 2011 jälkeen, on Vantaan Energian kaukolämmön nykyinen hintataso (pilot-kohteen tapauksessa keskihinta perusmaksuineen n.72 €/MWh), todennäköisesti keskimääräistä halvempi ja PILP-laitteiston käytöllä saavutettava kustannushyöty voisi täten olla jollain toisella paikkakunnalla pilot-kohdetta selvästikin korkeampi.

Nykyisellä PILP-laitteistolla ei pystytä tuottamaan niin lämmintä käyttövettä, että sitä ei tarvitsisi enää priimata ennen käyttöä. Toisaalta erityisesti kesäaikana, jolloin kaukolämmön energiamaksu on Vantaan Energian hintojen mukaan noin 40 % alhaisempi kuin talviaikana, ei ole saavutettavissa merkittävää kustannushyötyä, vaikka kaukolämmön käytöstä pystyttäisiin tuolloin luopumaan kokonaan. Joillain toisilla PILP-laitteistoilla tai käytettäessä eri kylmäainetta olisi mahdollista tuottaa ainakin nykyistä, 52 °C, lämpimämpää käyttövettä, mutta se ei ole välttämättä järkevää, jos lämmöntuotannon hyötysuhde samalla heikkenee nykyisestä.

Koska PILP-laitteiston käytön avulla saavutettava taloudellinen hyöty voi pelkkään kaukolämpökäyttöön verrattuna, investointikustannukset huomioiden olla joissain muissa kohteissa merkittävästi pilot-kohdetta alhaisempi, ei PILP-laitteistoa ole välttämättä järkevää asentaa kaikkiin koneellisella poistolla varustettuihin asuinkerrostalokohteisiin ainakaan pelkästään kustannussäästösyistä. Merkittäviä lisäkustannuksia voi aiheutua esimerkiksi, jos rakennuksen poistoilma (jäteilma) johdetaan ulos useammasta eri paikasta, jolloin tarvitaan useampia lämmön talteenottopattereita ja lämmönkeruu-/siirtoputkistoja pattereilta PILP-laitteistolle. Rakennuksessa jo olemassa olevat kuilut tms. tilaratkaisut, joihin lämmönsiirtoputket katolla sijaitsevalta LTO-yksiköltä lämpöpumpuille voitaisiin yksinkertaisesti sijoittaa, voivat aikaansaada merkittäviä kustannussäästöjä asennuskustannuksiin. Jos sen sijaan tarvitaan runsaasti läpivientejä eri palo-osastojen välillä, palo-osastointivaatimusten täyttäminen voi aiheuttaa runsaasti lisätyötä ja -kustannuksia.

Pilot-kohteen patteriverkoston alkuperäiset mitoituslämpötilat ovat korkeat, 80/50 ºC. Täten oli epäilys siitä, että PILP-laitteistoa ei pystytä hyödyntämään kovimmilla pak-

kasilla, jolloin lämmitystarve on suurimmillaan ja menoveden lämpötila korkeimmillaan ylittäen PILP-laitteistolla tuotettavissa olevan lämpötilan. Vuoden 2012 aikana on kuitenkin kokeiltu rakennuksen lämmitysjärjestelmän toimintaa ja lämmön riittävyyttä patteriverkoston alkuperäistä selvästi alhaisemmilla lämpötiloilla. Tällöin lämpöpumppuja pystytään hyödyntämään myös kovimpien pakkasjaksojen aikana. Esim. - 20 ºC ulkolämpötilassa menoveden lämpötilaksi on asetettu + 51 ºC ja - 30 ºC:ssa + 55 ºC. Lämpötilaero meno- ja paluuveden välillä on ollut noin 11 ºC. Täten on pystytty hyödyntämään lämpöpumppulaitteistoa tehokkaammin, eikä ainakaan merkittäviä ongelmia asuntojen lämmön riittävyyden suhteen ole tiettävästi ilmennyt.

Tehtyjen laskelmien mukaan PILP-laitteiston käyttöönoton avulla saavutettava hyöty ympäristönäkökulmasta on varsin vähäinen, kun arvioidaan muutosta E-luvun laskennan mukaisilla energiamuotojen kertoimien lukuarvojen avulla: kokonaisenergiankulutus on vähentynyt vuositasolla reilut 12 %.

Vaikka rakennuksen E-luvun laskennan energiamuotojen kertoimilla pyritään kuvaamaan ja kompensoimaan kunkin energiamuodon käytön aiheuttamaa primäärienergian kulutusta ja sen aiheuttamia keskimääräisiä $CO_2$ -päästöjä, riippuu PILP-laitteiston käyttöönoton avulla saatava $CO_2$-päästöjen vähennys aina tapauskohtaisesti kussakin rakennuksessa käytettävän sähkön tuotantotavasta ja siitä, mitä polttoaineita kaukolämmön tuottamiseen on käytetty.

Pilot-kohteen tapauksessa, jossa käytettävä sähkö on tuotettu vihreällä vesivoimalla, PILP-laitteiston aiheuttama sähkönkulutuksen lisäys ei aiheuta fossiilisia hiilidioksidipäästöjä ja kaukolämmön käytön väheneminen alentaa hiilidioksidipäästöjä, joita Vantaan Energian pääosin maakaasun ja kivihiilen käyttöön perustuva kaukolämmön tuotanto aiheuttaa. Laskelmien mukaan PILP-laitteiston käyttöönotto on vähentänyt lämpöenergiankulutuksesta aiheutuvia fossiilisia hiilidioksidipäästöjä vuositasolla 123 t eli 57 % pelkkään kaukolämmön käyttöön verrattuna. Täten PILP-laitteiston käyttöönoton vaikutus on ollut ympäristönäkökulmasta erittäin merkittävä. Mikäli käytettävä kaukolämpö tuotettaisiin vielä pääosin esim. puupohjaisilla polttoaineilla, kuten esim. Etelä-Savon Energia Mikkelissä, olisivat hiilidioksidipäästöt alle ¼ siitä, mitä ne olivat pilot-kohteessa Vantaalla lähtötilanteessa.

Kaukolämmön sopimustehon alentamisesta ja alentamisen periaatteesta kannattaisi keskustella kaukolämmön toimittajan kanssa. Lienee myös energiayhtiöiden etujen mukaista, että ne eivät joudu pitämään yllä ylimääräistä lämmöntuotantokapasiteettia, jos nykyisten sopimusten mukaista tehontarvetta pilot-kohteen kaltaisissa tapauksissa ei ole. Joskin ongelmia voi aiheutua mahdollisissa PILP-laitteiston käyttöhäiriötilanteissa, jos kaukolämpöliittymään asennetaan virtauksen rajoitin, joka estää suuremman virtaaman ko. poikkeustilanteissa. Kulutushuiput näissä tapauksessa ilmenisivät todennäköisesti kuitenkin eri aikaan, kuin enimmäistehontarve yleisesti, eli kovimpien pakkasten aikaan.

PILP-laitteiston ja siihen liitettyjen vesivaraajien hetkellistä antotehoa ja lämpimän käyttöveden hetkellisten kulutushuippujen tasoa ja kestoa kannattaisi selvittää tarkemmin, jotta voitaisiin varmistua laitteiston kapasiteetista lämpimän käyttöveden hetkellisten kulutushuippujen aiheuttamaan hetkelliseen tehontarpeeseen.

Mikäli ilmanvaihtokonetta käytettäisiin pilot-kohdetta merkittävästi enemmän täydellä teholla erityisesti kesäajan ulkopuolella, jolloin PILP-laitteistolla tuotettavalle lisälämpöenergialle olisi käyttöä, kannattaisi ehkä harkita laitteiston mitoittamista täyden tehon/tehostetun ilmanvaihdon ilmamäärien mukaan.

PILP-laitteiston lämpöenergian hyödyntämistä myös esim. mahdollisten, rakennuksessa olevien erillisten, pienehköjen IV-koneiden tuloilman lämmityksessä, kannattaisi tapauskohtaisesti harkita.

Jos ajatellaan laajemmin PILP-laitteiston hyödyntämistä kaukolämpöä käyttävissä kohteissa, on kuitenkin hyvä pitää mielessä, että hyödyntäminen ei ole välttämättä aina järkevää ympäristönäkökulmasta. Näin erityisesti, mikäli PILP-laitteiston tarvitsema sähkö joudutaan tuottamaan laude-energialla, jonka tuotannossa käytetään fossiilisia polttoaineita, joiden hiilidioksidin ominaispäästöt ovat korkeat ja erityisesti, mikäli korvattavan kaukolämmön tuotannossa lisäksi käytetään merkittävissä määrin puupolttoaineita tai muita uusiutuvia energialähteitä. Tällöin voidaan käytännössä menettää jopa kokonaan primäärienergian kulutuksen ja/tai fossiilisten hiilidioksidipäästöjen alenemisen kautta saavutettavissa oleva potentiaalinen hyöty.

**LÄHTEET**


1. NEEAP-2,Suomen toinen kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma. 27.6.2011. Energiapalveludirektiivin (32/2006/EY) 14 artiklan mukainen raportointi Euroopan komissiolle. PDF-dokumentti. http://www.tem.fi/files/30406/NEEAP_2.pdf. Luettu 13.2.2013.

2. Tilastokeskus. Asumisen energiankulutus 2011. PDF-dokumentti. http://www.stat.fi/til/asen/2011/asen_2011_2012-11-16_fi.pdf.

3. Ympäristöministeriö. Kansallinen ilmastopolitiikka. WWW-dokumentti. http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansallinen_ilmastopolitiikka. Luettu 7.4.2013.

4. Rakennustieto Oy 2006. Kerrostalot 1880 – 2000. Tampere: Tammer-Paino Oy.

5. Uotila, Ulrika. 2012. Korjaustoimien vaikutukset lähiökerrostalon todelliseen energiankulutukseen. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Diplomityö. http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21141/uotila.pdf?sequence=1

6. Taloyhtiön Energiakirja. WWW-dokumentti. http://issuu.com/mediat/docs/taloyhtion_energiakirja/23#share. Luettu 5.4.2013

7. Suvanto, Saku. Poistoilmalämpöpumppu. Insinöörityö 28.5.2012. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/46094/insinoorityo%20saku%20suvanto.pdf?sequence=1

8. Perälä, Rae. Lämpöpumput, Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. Alfamer Oy. 2009.

9. Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. Suomen lämpöpumpputilastot. http://www.sulpu.fi/tilastot. Luettu 10.10.2012

10. Seppänen, Olli. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-liitto ry. 2001.

11. Thereco. Referenssikohteen esittely. WWW-dokumentti. http://www.thereco.fi/component/content/article/1/15-referenssikohde. Luettu 9.4.2013

12. Naavatar-järjestelmä. Esite. PDF-dokumentti. http://naavatar.fi/wp-content/uploads/2012/09/naavatar_esite_K_LR.pdf. Luettu 9.3.2013

13. Huuhtanen, Tero. Poistoilmalämpöpumppujen- ja aurinkokeräinten kannattavuusvertailu kerrostalokiinteistössä. 15.2.2012. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. https://publications.theseus.fi

14. Ympäristöministeriö. Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi – laskenta-opas: Järjestelmien lämpöhäviöiden laskenta ja hyötysuhteiden määritys, 15.9.2011.
15. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2010. PDF-dokumentti. http://www.finlex.fi/data/normit/34165-D3-2010_suomi_22-12-2008.pdf. Luettu 7.4.2013.

16. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. LUONNOS.14.3.2012. PDF-dokumentti. http://www.ym.fi/download/noname/%7BDF2B6F84-2CF9-4C43-9D76-9B04C7AF1D72%7D/30748. Luettu 7.4.2013.

17. Ympäristöministeriön asetus 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. http://www.ym.fi/download/noname/%7B924394EF-BED0-42F2-9AD2-5BE3036A6EAD%7D/31396. Luettu 16.4.2013

18. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA. Ohje energia-avustusten hakemiseen, myöntämiseen ja maksamiseen 2012. WWW-dokumentti. http://www.ara.fi. Luettu 30.11.2012.

19. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA. Energia-avustustushakemus v. 2012. WWW-dokumentti. http://www.ara.fi. Luettu 30.11.2012.

20. Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. Lämpöpumppujärjestelmän suunnittelu. PDF-dokumentti. http://www.sulpu.fi. Luettu 5.1.2013

21. Vantaan Energia. Lämmön ja sähkön tuoteseloste. WWW-dokumentti. http://yhteiskuntavastuu2011.vantaanenergia.fi/EnergiaJaYmparisto/Sivut/default.aspx. Luettu 26.3.2013

22. Etelä-Savon Energia Oy. Ympäristöraportti 2011. PDF-dokumentti. http://www.ese.fi/Ymparistoraportit. Luettu 26.3.2013.

23. Ilmastolaskurissa käytetyt arvot ja kertoimet. PDF-dokumentti. http://www.ilmastolaskuri.fi/web/storage/files/21112011_oletuskertoimet_ja_arvot.pdf. Luettu 2.4.2013

24. Energiateollisuus Ry. Kaukolämpötilasto 2011. PDF-dokumentti. http://energia.fi/sites/default/files/kaukolampotilasto_2011_web.pdf. Luettu 21.3.2013

Vantaan Energia

# KAUKOLÄMMÖN MYYNTIHINNASTO

**Voimassa 1.5.2012 alkaen**

Kaukolämpöverkkoon liittyneet asiakkaat maksavat tarvitsemansa sopimustehon perusteella määräytyvän perusmaksun sekä käyttämästään lämpöenergiasta energiamaksun.

## P E R U S M A K S U

| | **Arvonlisäveroton hinta** | | Arvonlisäverollinen hinta | |
|---|---|---|---|---|
| **Sopimusteho kW** | **Vakio-osa €/vuosi** | **Muuttuva osa €/kW, vuosi** | Vakio-osa €/vuosi | Muuttuva osa €/kW, vuosi |
| **0… 10** | **376,50** | **0,00** | 463,10 | 0,00 |
| **10… 30** | **0,00** | **37,65** | 0,00 | 46,31 |
| **30…100** | **30,60** | **36,63** | 37,64 | 45,05 |
| **100…250** | **1048,60** | **26,45** | 1289,78 | 32,53 |
| **250…700** | **4051,10** | **14,44** | 4982,85 | 17,76 |
| **700…** | **8181,10** | **8,54** | 10062,75 | 10,50 |

## E N E R G I A M A K S U

**Arvonlisäveroton 48,30 €/MWh** Arvonlisäverollinen 59,41 €/MWh

**Esimerkkilaskelma vuosikustannuksista**
Sopimusteho 35kW, lämmön vuosikulutusarvio 70 MWh
Perusmaksu: 37,64 €/vuosi + 35 kW * 45,05 €/kW = 1 614,39 €/vuosi (sis.alv)
Energiamaksu: 70 MWh/vuosi * 59,41 €/MWh = 4 158,70 €/vuosi (sis.alv)
Vuosikustannusarvio yhteensä: 5 773,09 €/vuosi (sis.alv)

Hinnat on vahvistettu arvonlisäverottomina.
Arvonlisäverokanta 23 %.
Muut verot ja veroluonteiset maksut lisätään hintoihin täysimääräisinä.

**Vantaan Energia Oy**
Käyntiosoite
Peltolantie 27
Tikkurila
Postiosoite
PL 95
01301 Vantaa
Puhelin (09) 82 901
Telefax (09) 826 517
www.vantaanenergia.fi
Kotipaikka Vantaa
Alv.rek.
Y-tunnus 0124461-3

Vantaan Energia

# KAUKOLÄMMÖN MYYNTIHINNASTO

**Voimassa 1.10.2012 alkaen**

Kaukolämpöverkkoon liittyneet asiakkaat maksavat tarvitsemansa sopimustehon perusteella määräytyvän perusmaksun sekä käyttämästään lämpöenergiasta energiamaksun.

## PERUSMAKSU

| | **Arvonlisäveroton hinta** | | Arvonlisäverollinen hinta | |
|---|---|---|---|---|
| **Sopimusteho kW** | **Vakio-osa €/vuosi** | **Muuttuva osa €/kW, vuosi** | Vakio-osa €/vuosi | Muuttuva osa €/kW, vuosi |
| **0…10** | **376,50** | **0,00** | 463,10 | 0,00 |
| **10…30** | **0,00** | **37,65** | 0,00 | 46,31 |
| **30…100** | **30,60** | **36,63** | 37,64 | 45,05 |
| **100…250** | **1048,60** | **26,45** | 1289,78 | 32,53 |
| **250…700** | **4051,10** | **14,44** | 4982,85 | 17,76 |
| **700…** | **8181,10** | **8,54** | 10062,75 | 10,50 |

## ENERGIAMAKSU

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Kevät (1.3.–31.5.)** | **Arvonlisäveroton** | **44,60 €/MWh** | Arvonlisäverollinen | 54,86 €/MWh |
| **Kesä (1.6.–31.8.)** | **Arvonlisäveroton** | **33,50 €/MWh** | Arvonlisäverollinen | 41,21 €/MWh |
| **Syksy (1.9.–30.11.)** | **Arvonlisäveroton** | **44,60 €/MWh** | Arvonlisäverollinen | 54,86 €/MWh |
| **Talvi (1.12.–28.2.)** | **Arvonlisäveroton** | **56,90 €/MWh** | Arvonlisäverollinen | 69,99 €/MWh |

Lisätietoja kaukolämmöstä ja hinnoittelusta löytyy kotisivuilta www.vantaanenergia.fi

Hinnat on vahvistettu arvonlisäverottomina.
Arvonlisäverokanta 23 %.
Muut verot ja veroluonteiset maksut lisätään hintoihin täysimääräisinä.
Hinnat on laskettu muutosajankohdan kustannustason mukaisesti.
Hintoihin tehdään muutoksia kustannusten muuttuessa.

**Vantaan Energia Oy**
Käyntiosoite
Peltolantie 27
Tikkurila
Postiosoite
PL 95
01301 Vantaa
Puhelin (09) 82 901
Telefax (09) 826 517
www.vantaanenergia.fi
Kotipaikka Vantaa
Alv.rek.
Y-tunnus 0124461-3

Vantaan Energia

# KAUKOLÄMMÖN MYYNTIHINNASTO

**Voimassa 1.1.2013 alkaen**

Kaukolämpöverkkoon liittyneet asiakkaat maksavat tarvitsemansa sopimustehon perusteella määräytyvän perusmaksun sekä käyttämästään lämpöenergiasta energiamaksun.

## PERUSMAKSU

| | **Arvonlisäveroton hinta** | | Arvonlisäverollinen hinta | |
|---|---|---|---|---|
| **Sopimusteho** | **Vakio-osa** | **Muuttuva osa** | Vakio-osa | Muuttuva osa |
| **kW** | **€/vuosi** | **€/kW, vuosi** | €/vuosi | €/kW, vuosi |
| **0…9** | **395,33** | **0,00** | 486,26 | 0,00 |
| **10…29** | **0,00** | **39,53** | 0,00 | 48,62 |
| **30…99** | **32,13** | **38,46** | 39,52 | 47,31 |
| **100…249** | **1 101,03** | **27,77** | 1 354,27 | 34,16 |
| **250…699** | **4 253,66** | **15,16** | 5 232,00 | 18,65 |
| **700…** | **8 590,16** | **8,97** | 10 565,90 | 11,03 |

Perusmaksun laskenta esimerkkejä (sis. alv:n):
Sopimusteho 10kW: 0 + 10 x 48,62 = 486,2 €/vuosi (40,52 €/kk)
Sopimusteho 230kW: 1354,27 + 230 x 34,16 = 9211,07 €/vuosi (767,59 €/kk)

Perusmaksua laskutetaan kuukausittain tasaerissä; vuositason maksu jaetaan tasan kuukausille

## ENERGIAMAKSU

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Kevät (1.3.–31.5.)** | **Arvonlisäveroton** | **47,05 €/MWh** | Arvonlisäverollinen | 57,87 €/MWh |
| **Kesä (1.6.–31.8.)** | **Arvonlisäveroton** | **35,95 €/MWh** | Arvonlisäverollinen | 44,22 €/MWh |
| **Syksy (1.9.–30.11.)** | **Arvonlisäveroton** | **47,05 €/MWh** | Arvonlisäverollinen | 57,87 €/MWh |
| **Talvi (1.12.–28.2.)** | **Arvonlisäveroton** | **59,35 €/MWh** | Arvonlisäverollinen | 73,00 €/MWh |

Energiamaksua laskutetaan kuukausittain käyttöpaikan mitatun kulutuksen mukaan.
Lisätietoja kaukolämmöstä löytyy kotisivuiltamme www.vantaanenergia.fi

Hinnat on vahvistettu arvonlisäverottomina.
Arvonlisäverokanta 23 %.
Muut verot ja veroluonteiset maksut lisätään hintoihin täysimääräisinä.
Hinnat on laskettu muutosajankohdan kustannustason mukaisesti.
Hintoihin tehdään muutoksia kustannusten muuttuessa.

**Vantaan Energia Oy**
Käyntiosoite
Peltolantie 27
Tikkurila
Postiosoite
PL 95
01301 Vantaa
Puhelin (09) 82 901
Telefax (09) 826 517
www.vantaanenergia.fi
Kotipaikka Vantaa
Alv.rek.
Y-tunnus 0124461-3

## Lämmitysenergian kulutuksen muutos ja kustannussäästöt

| | **Vuosi 2012, PILP-laitteisto käytössä: 1.5.2012 - 30.9.2012 voimassa olleilla kaukolämmön hinnoilla laskettuna** | | | | | | | **Vertailukustannukset 2012, jos olisi ollut pelkkä kaukolämpökäyttö** | | | **Kustannus-säästö** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Sähkö** | | | **Kaukolämpö** | | | **Kaukolämpö ja sähkö yht.** | **Lämmitysenergia/kaukolämpö** | | | |
| Kuukausi | Korjattu kulutus, PILP[*1] | Hinta | Kustan-nukset | Mitattu kulutus | Hinta | Kustannuk-set | Kustannukset | Korjattu kulu-tus [*2] | Hinta | Kustan-nukset | |
| | MWh | €/MWh | € | MWh | €/MWh | € | € | MWh | €/MWh | € | € |
| Tammikuu | 17,33 | 113,6 | 1969 | 55,54 | 59,41 | 3300 | 5268 | 108,19 | 59,41 | 6428 | 1159 |
| Helmikuu | 18,38 | 113,6 | 2088 | 67,18 | 59,41 | 3991 | 6079 | 119,36 | 59,41 | 7091 | 1012 |
| Maaliskuu | 17,84 | 113,6 | 2027 | 30,03 | 59,41 | 1784 | 3811 | 79,98 | 59,41 | 4752 | 941 |
| Huhtikuu | 9,66 | 113,6 | 1097 | 33,87 | 59,41 | 2012 | 3110 | 67,37 | 59,41 | 4003 | 893 |
| Toukokuu | 7,40 | 113,6 | 841 | 15,16 | 59,41 | 901 | 1741 | 39,19 | 59,41 | 2328 | 587 |
| Kesäkuu | 4,31 | 113,6 | 489 | 15,49 | 59,41 | 920 | 1410 | 29,92 | 59,41 | 1778 | 368 |
| Heinäkuu | 4,96 | 113,6 | 563 | 11,34 | 59,41 | 674 | 1237 | 27,43 | 59,41 | 1630 | 393 |
| Elokuu | 5,16 | 113,6 | 586 | 11,42 | 59,41 | 678 | 1264 | 28,02 | 59,41 | 1665 | 400 |
| Syyskuu | 8,62 | 113,6 | 979 | 9,15 | 59,41 | 544 | 1523 | 35,91 | 59,41 | 2134 | 611 |
| Lokakuu | 16,36 | 113,6 | 1858 | 11,97 | 59,41 | 711 | 2570 | 63,41 | 59,41 | 3767 | 1198 |
| Marraskuu | 17,54 | 113,6 | 1993 | 16,58 | 59,41 | 985 | 2978 | 72,76 | 59,41 | 4323 | 1345 |
| Joulukuu | 18,44 | 113,6 | 2095 | 56,41 | 59,41 | 3351 | 5446 | 112,28 | 59,41 | 6671 | 1225 |
| **Yht. v. 2012** | **145,99** | | **16585** | **334,14** | | **19851** | **36436** | **783,85** | | **46569** | **10132** |

*[1] Huomioitu LTO-patterin aiheuttama painehäviö, joka lisää poistoilmapuhaltimen sähkötehon tarvetta sekä uuden, nimellisteholtaan suuremman lämmityspumpun arvioitu sähkönkulutuksen lisäys. Sähkön kulutuksen arvioitu kohoaminen yht. 5,30 MWh/a.

*[2] Huomioitu PILP-laitteistoon kuuluvien varaajien lämpöhäviöiden arvioitu vaikutus, n. 1,65 MWh.

## Lämmitysenergian kulutuksen muutos ja kustannussäästöt

| | **Vuosi 2012, PILP-laitteisto käytössä: 1.10.2012 – 31.12.2013 voimassa olleilla kaukolämmön hinnoilla laskettuna** | | | | | | | **Vertailukustannukset 2012, jos olisi ollut pelkkä kaukolämpökäyttö** | | | **Kustannussäästö** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Sähkö** | | | **Kaukolämpö** | | | **Kaukolämpö ja sähkö yht.** | **Lämmitysenergia/kaukolämpö** | | | |
| Kuukausi | Korjattu kulutus, PILP *1 | Hinta | Kustannukset | Mitattu kulutus | Hinta | Kustannukset | Kustannukset | Korjattu kulutus *2 | Hinta | Kustannukset | |
| | MWh | €/MWh | € | MWh | €/MWh | € | € | MWh | €/MWh | € | € |
| Tammikuu | 17,33 | 113,6 | 1969 | 55,54 | 69,99 | 3887 | 5856 | 108,19 | 69,99 | 7572 | ***1716*** |
| Helmikuu | 18,38 | 113,6 | 2088 | 67,18 | 69,99 | 4702 | 6790 | 119,64 | 69,99 | 8373 | ***1584*** |
| Maaliskuu | 17,84 | 113,6 | 2027 | 30,03 | 54,86 | 1647 | 3674 | 80,26 | 54,86 | 4403 | ***729*** |
| Huhtikuu | 9,66 | 113,6 | 1097 | 33,87 | 54,86 | 1858 | 2955 | 67,65 | 54,86 | 3711 | ***756*** |
| Toukokuu | 7,40 | 113,6 | 841 | 15,16 | 54,86 | 832 | 1672 | 39,47 | 54,86 | 2165 | ***493*** |
| Kesäkuu | 4,31 | 113,6 | 489 | 15,49 | 41,21 | 638 | 1128 | 30,20 | 41,21 | 1244 | ***117*** |
| Heinäkuu | 4,96 | 113,6 | 563 | 11,34 | 41,21 | 467 | 1031 | 27,71 | 41,21 | 1142 | ***111*** |
| Elokuu | 5,16 | 113,6 | 586 | 11,42 | 41,21 | 471 | 1057 | 28,30 | 41,21 | 1166 | ***110*** |
| Syyskuu | 8,62 | 113,6 | 979 | 9,15 | 54,86 | 502 | 1481 | 36,19 | 54,86 | 1985 | ***504*** |
| Lokakuu | 16,36 | 113,6 | 1858 | 11,97 | 54,86 | 657 | 2515 | 63,69 | 54,86 | 3494 | ***979*** |
| Marraskuu | 17,54 | 113,6 | 1993 | 16,58 | 54,86 | 910 | 2902 | 73,04 | 54,86 | 4007 | ***1105*** |
| Joulukuu | 18,44 | 113,6 | 2095 | 56,41 | 69,99 | 3948 | 6043 | 112,56 | 69,99 | 7878 | ***1835*** |
| **Yht. v. 2012** | **145,99** | | **16585** | **334,14** | | **20519** | **37104** | **786,88** | | **47141** | **10038** |

*1 Huomioitu LTO-patterin aiheuttama painehäviö, joka lisää poistoilmapuhaltimen sähkötehon tarvetta sekä uuden, nimellisteholtaan suuremman lämmityspumpun arvioitu sähkönkulutuksen lisäys. Sähkön kulutuksen arvioitu kohoaminen yht. 5,30 MWh/a.

*2 Huomioitu PILP-laitteistoon kuuluvien varaajien lämpöhäviöiden arvioitu vaikutus, n. 1,65 MWh.

## Lämmitysenergian kulutuksen muutos ja kustannussäästöt

| | **Vuosi 2012, PILP-laitteisto käytössä: 1.1.2013 voimaan astuneilla kaukolämmön hinnoilla laskettuna ja huomioitu oletettu, sähkön siirtohinnan lasku** | | | | | | | **Vertailukustannukset 2012, jos olisi ollut pelkkä kaukolämpö-käyttö** | | | **Kustannus-säästö** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Sähkö** | | | **Kaukolämpö** | | | **Kaukolämpö ja sähkö yht.** | **Lämmitysenergia/kaukolämpö** | | | |
| Kuukausi | Korjattu kulu-tus, PILP *1 | Hinta | Kustannukset | Mitattu kulutus | Hinta | Kustannukset | Kustannukset | Korjattu kulutus *2 | Hinta | Kustan-nukset | |
| | MWh | €/MWh | € | MWh | €/MWh | € | € | MWh | €/MWh | € | € |
| Tammikuu | 17,33 | 110,76 | 1919 | 55,54 | 73 | 4054 | 5974 | 108,19 | 73 | 7898 | ***1924*** |
| Helmikuu | 18,38 | 110,76 | 2036 | 67,18 | 73 | 4904 | 6940 | 119,36 | 73 | 8713 | ***1774*** |
| Maaliskuu | 17,84 | 110,76 | 1976 | 30,03 | 57,87 | 1738 | 3714 | 79,98 | 57,87 | 4629 | ***915*** |
| Huhtikuu | 9,66 | 110,76 | 1070 | 33,87 | 57,87 | 1960 | 3030 | 67,37 | 57,87 | 3899 | ***869*** |
| Toukokuu | 7,40 | 110,76 | 820 | 15,16 | 57,87 | 877 | 1697 | 39,19 | 57,87 | 2268 | ***571*** |
| Kesäkuu | 4,31 | 110,76 | 477 | 15,49 | 44,22 | 685 | 1162 | 29,92 | 44,22 | 1323 | ***161*** |
| Heinäkuu | 4,96 | 110,76 | 549 | 11,34 | 44,22 | 501 | 1051 | 27,43 | 44,22 | 1213 | ***162*** |
| Elokuu | 5,16 | 110,76 | 571 | 11,42 | 44,22 | 505 | 1076 | 28,02 | 44,22 | 1239 | ***163*** |
| Syyskuu | 8,62 | 110,76 | 955 | 9,15 | 57,87 | 530 | 1484 | 35,91 | 57,87 | 2078 | ***594*** |
| Lokakuu | 16,36 | 110,76 | 1812 | 11,97 | 57,87 | 693 | 2505 | 63,41 | 57,87 | 3670 | ***1165*** |
| Marraskuu | 17,54 | 110,76 | 1943 | 16,58 | 57,87 | 959 | 2902 | 72,76 | 57,87 | 4211 | ***1309*** |
| Joulukuu | 18,44 | 110,76 | 2042 | 56,41 | 73 | 4118 | 6160 | 112,28 | 73 | 8197 | ***2036*** |
| **Yht. v. 2012** | **145,99** | | **16170** | **334,14** | | **21525** | **37695** | **783,85** | | **49338** | **11643** |

*1 Huomioitu LTO-patterin aiheuttama painehäviö, joka lisää poistoilmapuhaltimen sähkötehon tarvetta sekä uuden, nimellisteholtaan suuremman lämmityspumpun arvioitu sähkön-kulutuksen lisäys. Sähkön kulutuksen arvioitu kohoaminen yht. 5,30 MWh/a.

*2 Huomioitu PILP-laitteistoon kuuluvien varaajien lämpöhäviöiden arvioitu vaikutus, n. 1,65 MW