



**POISTOILMAN LÄMMÖNTAL-  
TEENOTON ENERGIA TEHOKKUUS  
JA AURINKOLÄMMÖN HYÖDYN-  
TÄMINEN SANEERATTAVISSA  
ASUINKERROSTALOISSA**

Mikael Lehtinen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2015  
Talotekniikan koulutus  
LVI-talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma  
LVI-alan suuntautumisvaihtoehto

LEHTINEN, MIKAEL:

Poistoilman lämmöntalteenoton energiatehokkuus ja aurinkolämmön hyödyntäminen saneerattavissa asuinkerrostaloissa

Opinnäytetyö 66 sivua, joista liitteitä 8 sivua  
Huhtikuu 2015

---

Työssä tutkittiin poistoilman lämmöntalteenoton tehokkuutta kolmen eri kohteen avulla. Kohteet olivat Asunto Oy Pohjolankatu 18-20, Asunto Oy Hervannan Murole ja Asunto Oy Tampereen Actif. Jokaiseen kohteeseen on vuonna 2014 asennettu niin sanottu pilp-järjestelmä, jonka avulla talteenotettu energia hyödynnetään rakennuksen ja käyttöveden lämmityksessä lämpöpumpulla. Saavutettuja energiansäästöjä tutkittiin ja vertailtiin monista eri näkökulmista muun muassa COP-luvun avulla. Tutkimuksessa hyödynnettiin Enermix Oy:tä ja Talotohtori-ohjelmasta saatavia kohteiden todellisia mittaustuloksia. As. Oy Pohjolankadulle on pilp-järjestelmän yhteyteen asennettu aurinkokeräimiä, joiden toimivuutta ja vaikutusta energiansäästöihin oli myös tarkoitus tutkia.

Pilp-järjestelmän avulla kohteissa saavutettiin vertailukuukausina (lokakuu 2014-helmikuu 2015) merkittäviä energiansäästöjä. As. Oy Pohjolankadulla lämmityksen energiankulutus pieneni keskimäärin 60 %, As. Oy Murolessa 40 % ja As. Oy Actifissa 30 %. Erot muodostuivat kohteiden välillä ja kohteiden sisällä kuukausittain suuriksi. Jokaisessa kohteessa suurimmat säästöt saavutettiin tammi- ja helmikuussa. Säästöjen perusteella pilp-järjestelmä on varteenotettava vaihtoehto mietittäessä vanhojen kerrostalojen energiansäästötoimenpiteitä.

As. Oy Pohjolankadun suurimmat energiansäästöt perustuvat lämmitystarpeen pienemiseen suhteessa vertailuvuosiin. Siellä lämmitystarve on vähentynyt eniten käyttövedenkulutuksen vähenemisen ja kiinteistössä olevan liiketilan muutetun ilmastoinnin ansiosta. Jokaisessa kohteessa poistoilmavirtojen ohjaustapa muutettiin ulkolämpötilakäyrään perustuvaksi. Kylmällä säällä poistoilmavirtaa pienennetään, mikä onkin kylminä kuukausina lämmöntalteenoton lisäksi merkittävä energiansäästöjä tuova tekijä pilp-järjestelmässä. Tehtyjen hiilidioksidimittausten perusteella ilmanvaihto on kuitenkin edelleen riittävää. As. Oy Actifin säästöt ovat pienimmät, koska siellä pilp-järjestelmän tehon suhde poistoilmavirtaan ja kiinteistön kokoon on pienin.

As. Oy Pohjolankadun aurinkokeräinjärjestelmä on toiminut kytkentätavan ansiosta hyvällä hyötysuhteella, mutta vertailtavan energialähteen edullisuuden vuoksi se ei tule maksamaan itseään takaisin teknisen käyttöiän aikana, jos investointitukia ei oteta huomioon. Keräimien energiantuotto jää noin prosenttiin suhteessa kokonaislämmitystarpeeseen.

---

Asiasanat: poistoilman lämmöntalteenotto, aurinkolämpö, energiatehokkuus, vertailu.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme in building service engineering  
Option of HVAC-technology

LEHTINEN, MIKAEL:

Energy Efficiency of Exhaust Air Heat Recovery and Utilization of Solar Heat in Renovated Apartment Buildings

Bachelor's thesis 66 pages, appendices 8 pages  
April 2015

---

The purpose of this thesis was to find out about efficient use of heating energy in recovering exhaust air in three apartment buildings. The buildings were Asunto Oy Pohjolankatu 18-20, Asunto Oy Hervannan Murole and Asunto Oy Tampereen Actif. In 2014 the so-called pilp system was installed for every building which allows the utilization of stored energy in heating the building and domestic water. Generated energy savings were researched and compared with many different viewpoints, for example the COP. Enermix Oy and actual measurement results, which were received from Talotohtori programme, were exploited in the research. The solar collectors have been connected to the pilp system in As Oy Pohjolankatu and their function and impact of the solar collectors on energy efficiency were discussed.

Because of the pilp system, significant energy savings were achieved in the buildings in the comparison months (October 2014-February 2015). Energy consumption decreased on average 60 percent in As. Oy Pohjolankatu, 40 percent in As. Oy Murole and 30 percent in As. Oy Actif. The differences were big between the buildings and months. The biggest savings achieved in every building were within January and February. On the basis of the savings, the pilp system is a potential alternative when considering measuring energy savings in old apartment buildings.

The biggest energy savings of As. Oy Pohjolankatu are based on the less need for heating in relation to the comparison years. The need for heating diminished the most in As. Oy Pohjolankatu because water consumption decreased and the control of exhaust air flow changed in business premises, which exist in apartment building. The control of air flow was changed to correspond to the outdoor temperature in every building. The exhaust air flow is turned down in cold weather which makes significant energy savings. The carbon dioxide measurements indicate that ventilation is still sufficient. As. Oy Actifs' energy savings are the smallest because the ratio of the pilp system's power to the exhaust air flow and building size is the least there.

The solar collectors have been working with good coefficient of performance in As. Oy Pohjolankatu, but the energy production with pilp system is so economical that the solar collector system does not pay itself back during its technical life, If investment grants are not taken into account. Energy production of the collectors cover only one percent from the whole heating.

---

Key words: exhaust air heat recovery, solar energy, energy efficiency, comparison

## SISÄLLYS

|       |                                                |    |
|-------|------------------------------------------------|----|
| 1     | JOHDANTO.....                                  | 7  |
| 2     | ENERGIATEHOKKUUS .....                         | 8  |
| 3     | TALOTOHTORI.....                               | 10 |
| 4     | TUTKITTAVAT KOHTEET.....                       | 11 |
| 4.1   | Asunto Oy Pohjolankatu 18-20.....              | 11 |
| 4.1.1 | Yleistiedot .....                              | 11 |
| 4.1.2 | Järjestelmä.....                               | 12 |
| 4.2   | Asunto Oy Hervannan Murole.....                | 16 |
| 4.2.1 | Yleistiedot .....                              | 16 |
| 4.2.2 | Järjestelmä.....                               | 16 |
| 4.3   | Asunto Oy Tampereen Actif.....                 | 17 |
| 4.3.1 | Yleistiedot .....                              | 17 |
| 4.3.2 | Järjestelmä.....                               | 18 |
| 5     | ENERGIANSÄÄSTÖT.....                           | 19 |
| 5.1   | Pohjolankatu .....                             | 19 |
| 5.2   | Murole.....                                    | 20 |
| 5.3   | Actif .....                                    | 21 |
| 6     | SÄÄSTÖJEN VERTAILU JA EROJEN SYYT .....        | 22 |
| 6.1   | Kaukolämmön kulutus .....                      | 22 |
| 6.2   | Energian kokonaiskulutus .....                 | 25 |
| 6.3   | Lämpöpumpun COP .....                          | 26 |
| 6.3.1 | COP-teoria .....                               | 26 |
| 6.3.2 | Toteutuneet COP-luvut .....                    | 27 |
| 6.4   | Taloudelliset säästöt.....                     | 31 |
| 6.5   | Ominaislämmönkulutus .....                     | 32 |
| 7     | AURINKOLÄMPÖ.....                              | 35 |
| 7.1   | Järjestelmä .....                              | 35 |
| 7.2   | Tuotettu energia .....                         | 37 |
| 7.3   | Kannattavuus .....                             | 39 |
| 7.3.1 | Nykyinen järjestelmä .....                     | 39 |
| 7.3.2 | Keräinpinta-alan lisäyksen kannattavuus .....  | 42 |
| 8     | TARKISTUSMITTAUS .....                         | 43 |
| 8.1   | Tausta.....                                    | 43 |
| 8.2   | Mittaus .....                                  | 43 |
| 8.3   | Mittautulokset ja vertailu Talotohtoriin ..... | 44 |
| 9     | SISÄILMAN LAATU.....                           | 47 |

|       |                                                                   |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------|----|
| 9.1   | Laatunäkökulma.....                                               | 47 |
| 9.2   | Hiilidioksidimittaus .....                                        | 48 |
| 9.2.1 | Toteutus.....                                                     | 48 |
| 9.2.2 | Tulokset.....                                                     | 49 |
| 10    | JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....                                  | 51 |
| 10.1  | Johtopäätökset.....                                               | 51 |
| 10.2  | Pohdinta .....                                                    | 53 |
|       | LÄHTEET .....                                                     | 56 |
|       | LIITTEET .....                                                    | 59 |
|       | Liite 1. Pohjolankadun kytkentäkaavio .....                       | 59 |
|       | Liite 2. Murolen ja Actifin kytkentäkaavio .....                  | 60 |
|       | Liite 3. Rinnankytkentä .....                                     | 61 |
|       | Liite 4. Ulkolämpötilat .....                                     | 62 |
|       | Liite 5. SPF-kuvio .....                                          | 63 |
|       | Liite 6. Aurinkokeräimien vaikutus LTO-piirin lämpötiloihin ..... | 64 |
|       | Liite 7. Aurinkokeräimien kannattavuuslaskelma.....               | 65 |

## LYHENTEET JA TERMIT

|                  |                                                                                                                                                                |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pilp-järjestelmä | Poistoilman lämmöntalteenottoratkaisu, jossa poistoilmasta saatava lämpöenergia hyödynnetään rakennuksen- ja käyttöveden lämmitykseen lämpöpumpun välityksellä |
| LTO              | Lämmöntalteenotto                                                                                                                                              |
| LTOH             | Lämmöntalteenoton huippuimuri                                                                                                                                  |
| EU-GUGLE         | European cities serving as Green Urban Gate towards Leadership in Sustainable Energy                                                                           |
| LTO-piiri        | Lämmöntalteenoton huippuimurien ja lämpöpumpun välinen verkosto                                                                                                |
| LTO-neste        | LTO-piirissä kiertävä lämmönsiirtoneste                                                                                                                        |
| COP              | Lämpökerroin (Coefficient of Performance)                                                                                                                      |
| SCOP             | Lämmityskauden lämpökerroin (Seasonal Coefficient of Performance)                                                                                              |
| SPF              | Vuotuinen lämpökerroin (Seasonal Performance Factor)                                                                                                           |
| EER              | Kylmäkerroin (Energy Efficiency Ratio)                                                                                                                         |
| SEER             | Vuotuinen kylmäkerroin (Seasonal Energy Efficiency Ratio)                                                                                                      |
| EC-puhallin      | Elektronisesti kommutoitu puhallin (Electronically commutated)                                                                                                 |
| PPM              | Lyhennys sanoista ”parts per million” ja tarkoittaa miljoonasosaa eli $\text{cm}^3/\text{m}^3$ (Seppänen, 337)                                                 |

## 1 JOHDANTO

Työ sai alkunsa Rejlers Oy:n kiinnostuksesta saada lisää tietoa poistoilman lämmöntalteenoton energiatehokkuudesta ja toimivuudesta saneerauskohteissa. Työn taustana on myös aihepiirin ajankohtaisuus. Suomessa on paljon kerrostaloja, jotka on varustettu koneellisella poistoilmanvaihdoilla ilman lämmöntalteenottoa. Lämmöntalteenotto mahdollistaa tällöin suuret energiansäästöt.

Tässä työssä poistoilman lämmöntalteenoton energiatehokkuutta tutkitaan kolmen eri kohteen avulla. Kohteet ovat Asunto Oy Pohjolankatu 18-20, Asunto Oy Hervannan Murole ja Asunto Oy Tampereen Actif. Kaikkiin kohteisiin on tehty energiaremontti vuonna 2014, jolloin koneelliseen poistoilmanvaihtoon lisättiin lämmöntalteenotto. Energiatehokkuuden ja säästöjen tutkimisessa hyödynnetään todellisia mittaustuloksia, jotka saadaan Enermix Oy:n avulla Talotohtori-ohjelmalla. Energiatehokkuutta on tarkoitus analysoida mahdollisimman kokonaisvaltaisesti ottaen huomioon järjestelmät kokonaisuutena ja etsiä syitä mahdollisiin säästöeroihin. Työssä paneudutaan myös lämpöpumpun COP-lukuun ja käydään kohteissa olevien lämmöntalteenottoratkaisujen toimintaperiaate läpi.

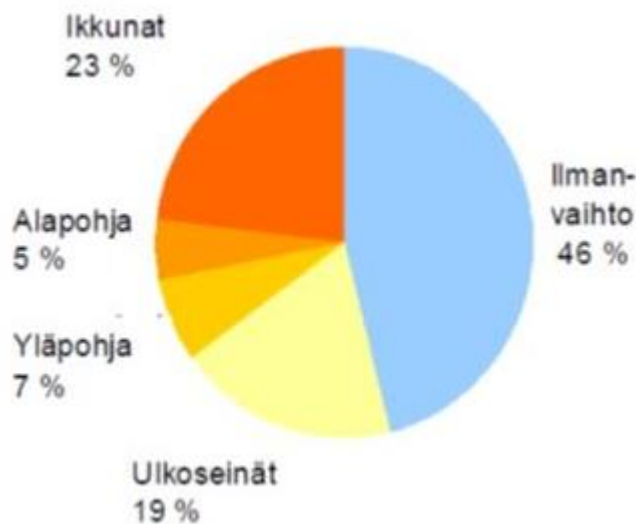
Erityisen huomion kohteena työssä ovat Pohjolankadulle poistoilman lämmöntalteenoton yhteyteen asennetut aurinkokeräimet. Tavoitteena on selvittää niiden vaikutus energiatehokkuuteen. Kohteeseen aiotaan mahdollisesti lisätä aurinkokeräinpinta-alaa, minkä kannattavuuteen otetaan kantaa laskelmien avulla.

Aina, kun saneerauskohteissa pyritään parantamaan energiatehokkuutta, on syytä muistaa rahan lisäksi myös laadulliset näkökulmat. Sisäilman laatu ei saa kärsiä energiatehokkuuden kustannuksella. Pohjolankadulla tehtiin muutamia hiilidioksidimittauksia, joiden avulla tutkittiin sisäilman laatua ja ilmanvaihdon riittävyyttä. Omat mittaukset tehtiin myös Pohjolankadun liiketilan LTO-huippuimurista. Mitattuja poistoilman lämpötiloja verrattiin Talotohtorin vastaaviin arvoihin.

## 2 ENERGIA TEHOKKUUS

Suomen energian kokonaiskulutuksesta noin 40 % kuluu rakennuksissa (Ympäristöministeriö, Maankäyttö ja rakentaminen). Tämä on huomattava määrä, jonka takia EU-direktiivit ja kansalliset säädökset tuovat painetta rakennuksien energiatehokkuuteen.

Suomessa on 1960-luvulta lähtien 2000-luvun alkuun rakennettu kerrostaloja, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa. Kyseisiä kerrostaloja on lähes 40 000 (Talotohtori). VTT:n tutkimuksen mukaan näiden kerrostalojen kokonaislämpöhäviöistä noin 46 % johtuu koneellisen poiston lämpöhäviöistä (kuvio 1). (Enermix.) Kyseessä on siten suuri energiamäärä, jossa on suuri säästöpotentiaali.



KUVIO 1. Vanhan kerrostalon lämpöhäviön muodostuminen (Enermix)

Nykytekniikka mahdollistaa tehokkaan lämmöntalteenoton poistoilmasta. Talteenotettu lämpö voidaan siirtää kiinteistön ja käyttöveden lämmitykseen. Lämpöä voidaan siirtää myös tuloilmaan riippuen järjestelmästä ja saneeraustavasta. Yleinen tapa saneerauskohteissa on toteuttaa poistoilman lämmöntalteenotto nestekiertoisena niin sanotulla pilp-järjestelmällä. Tällöin vanhat poistoilmapuhaltimet vaihdetaan uusiin kierroslukuohjattuihin matalaenergiapuhaltimiin. Puhaltimen yhteyteen asennetaan lisäksi lämmöntalteenottokennosto, joka siirtää poistoilmasta talteenotetun lämmön lämmönsiirtonesteeseen. Kyseinen neste johdetaan lämmöntalteenottoputkistoa pitkin lämpöpum-

pulle, joka nostaa lämpötilatason ja siirtää talteenotetun energian lämmitysverkostolle ja lämpimälle käyttövedelle.

Edellä kuvatulla menetelmällä kaukolämpökohteiden kaukolämmönkulutus on mahdollista puolittaa. Lämpöpumppu kuluttaa sähköenergiaa, mutta siitä huolimatta lämmityskustannusten nettosäästö voi olla peräti 30-40 %. (Enermix.) Poistoilman lämmöntalteenoton lisääminen on siis energiansäästön kannalta perusteltua. Takaisinmaksuaika jää yleensä 5-10 vuoteen. Lisäksi on huomioitavaa, että taloyhtiö voi rahoittaa investoinnin rahoitussopimuksella. Tällöin sovitaan kuukausimaksu, joka on pienempi kuin saavutettava energiansäästö. (Talotohtori.) Näin järjestelmä rahoittaa itse itseään. Tällöin investointi ei välttämättä johda yhtiövastikkeen nousuun.

Kun haetaan säästöjä poistoilman lämmöntalteenotolla, on energiansäästöjen lisäksi kiinnitettävä huomiota elinkaarimalliajatteluun. On kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, että laitteisto toimii suunnitellusti ja optimaalisesti koko elinikänsä. Tällöin laitteiston elinikä muodostuu mahdollisimman pitkäksi ja tilaaja saa mahdollisimman suuren tuoton tekemälleen investoinnilleen. (Heinonen, sähköpostiviesti.) Tässä lämmöntalteenotto-prosessin jatkuva valvonta on suuressa roolissa.

### 3 TALOTOHTORI

Talotohtori on Enermix Oy:n valvonta- ja ohjausjärjestelmä, jonka kerrotaan soveltuvan kaiken kokoisiin kiinteistöihin. Valvomo kerää ja tilastoi tietoa kiinteistön taloteknisten laitteiden toiminnasta ja energiankulutuksesta sekä näyttää, miten järjestelmä toimii. Valvomo antaa hälytyksen tai varoituksen, mikäli järjestelmä ei toimi suunnitellusti. (Talotohtori.) Kytkennot mallinnetaan ohjelmaan, mikä helpottaa järjestelmän seuraamista.

Laitteiden etäohjaus on mahdollista ohjelman avulla, mikä mahdollistaa energiansäästöjä. Säästöjä on mahdollista saavuttaa erityisesti silloin, kun valvomoon yhdistetään asiantuntijapalveluita. Esimerkiksi vaikeasti säädettävissä hybridilämmitysratkaisuissa riittävä asiantuntemus ja jatkuva valvonta on tärkeää useamman lämmönsäätöautomaatiikan vuoksi. (Talotohtori.) Säästövirheet on huomattava ajoissa, jotta järjestelmästä saadaan irti suurin mahdollinen hyöty.

Energiansäästön lisäksi ohjelmalla kerrotaan saavutettavan säästöjä minimoimalla riskit ja huoltokustannukset. Tämä on mahdollista liittämällä kaikki kiinteistön talotekniikka palveluun. Kylmän ja lämpimän vedenkulutuksen mittauksella voidaan kulutuksen seurannan lisäksi havaita vesivuodot ajoissa. Lämmityksen- ja ilmanvaihdonsäädön etäkäyttömahdollisuus vähentää huoltomiehen käyntejä. Myös kiinteistösähkön kulutusta voidaan mitata. Lisäksi valvomopalvelu mahdollistaa kiinteistöjen keskinäisen vertailun. (Talotohtori.) Ominaislämmönkulutus on hyvä vertailuarvo. Tällöin kohteet ovat vertailtavissa niiden kokoluokasta riippumatta.

Talotohtori-palvelu sisältää raportointipalveluja (Talotohtori). Raporttien avulla sekä kuluttaja että valvoja voivat seurata toteutuneita energiankulutuksia ja säästöjä. Tämä auttaa osaltaan huomaamaan mahdolliset säästövirheet ja sitä kautta lisäsäästöpotentiaalin.

## 4 TUTKITTAVAT KOHTEET

Kaikkien tutkittavien kohteiden pilp-järjestelmät on kytketty sarjaankytkentänä kaukolämpöön (Liitteet 1 ja 2). Patteriverkoston paluu on haaroitettu lämpöpumpulle, jolla nostetaan paluuveden lämpötilaa. Lämpöpumpulta patteriverkostoon lähtevä menovesi on yhdistetty takaisin patteriverkoston paluuveteen, jonka jälkeen vesi menee kaukolämpösiirtimelle. Näin ollen kaukolämpöveden jäähtymä pienenee, koska siirtimelle tulevan toisiopuolen paluuveden lämpötila nousee. Käyttövesi puolestaan menee esilämmitettynä kaukolämmön käyttövesisiirtimelle, joten myös siinä kaukolämpöveden jäähtymä pienenee.

Kaikille kaukolämpöyhtiöille jäähtymän pieneneminen ei ole sallittua. Tällöin pilp-järjestelmä kytketään kaukolämpöön rinnankytkentänä, jonka periaate on esitetty liitteessä 3. Rinnankytkennässä patteriverkoston paluu haaroitetaan lämpöpumpulle, mutta lämpöpumpulta patteriverkostoon menevä vesi kytketään patteriverkoston menoon kolmitieventtiilillä (TV4). Tässä tapauksessa pilp-järjestelmä ei vaikuta kaukolämpöveden jäähtymään, koska kaukolämpösiirtimelle tulevan toisiopuolen paluuveden lämpötila ei nouse. Myös käyttövesivaraajassa esilämmitetty käyttövesi kytketään lämpimän käyttöveden runkoon kolmitieventtiilillä (TV5). Tällöin pilp-järjestelmä ei vaikuta myöskään käyttövesi puolella kaukolämpöveden jäähtymään. Rinnankytkentä noudattaa K1:n (Rakennusten kaukolämmitys) kytkentäperiaatteita.

### 4.1 Asunto Oy Pohjolankatu 18-20

#### 4.1.1 Yleistiedot

Asunto Oy Pohjolankatu 18-20 sijaitsee Tampereella Tammelan kaupunginosassa. Kohteen yleistiedot on koottu taulukkoon 1. Tässä työssä Asunto Oy Pohjolankatu 18-20:stä käytetään lyhennettä Pohjolankatu.

TAULUKKO 1. Pohjolankadun yleistiedot

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| Rakennusvuosi               | 1980  |
| Saneerausvuosi              | 2014  |
| Huoneala (m <sup>2</sup> )  | 4067  |
| Kerrosala (m <sup>2</sup> ) | 4117  |
| Kerroksia                   | 7     |
| Tilavuus (m <sup>3</sup> )  | 14335 |
| Asukasmäärä                 | 83    |
| Asuntojen lkm.              | 54    |

Pohjolankadulle tehtiin energiaremontti vuonna 2014. Remontissa kohteeseen lisättiin pilp-järjestelmä, katolle 10 neliötä aurinkokeräimiä ja kaukolämmön lämmönsiirtimet uusittiin. Uuden järjestelmän käyttöönotto oli 4.6.2014. Lisäksi kohteeseen on lisätty vakiopaineventtiilit jokaiseen kerrokseen vuonna 2013 ja vuonna 2011 vaihdettu patteriventtiilit ja tehty patteriverkoston perussäätö (Vesterinen). Myös muita kuin LVI:hin liittyviä perusparannuksia on tehty.

As. Oy Pohjolankatu 18-20 kuuluu EU-GUGLE –hankkeeseen (Eu-gugle, Tampere). Hankkeen tavoitteena on osoittaa, kuinka energiatehokkuutta voidaan parantaa kaiken ikäisissä rakennuksissa. Hankkeessa avustetaan valittuja taloyhtiöitä rahallisesti energiansäästöjen toteuttamiseksi. Tampere on hankkeessa Suomen pilottikaupunki ja Pohjolankatu on ensimmäinen Suomessa valmistunut pilottikohde. (Tampere, Projektit.) Näin ollen Pohjolankatu toimii esimerkkinä muille EU-GUGLE -taloyhtiöille. Suomessa hankkeessa on mukana myös Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT.

#### 4.1.2 Järjestelmä

Kytkentäkaavio pilp-järjestelmästä on esitetty liitteessä 1. Pohjolankadun pilp-järjestelmä sisältää seuraavat laitteet:

- 1 kpl Nibe 1345-60 lämpöpumppu
- 2 kpl Nibe VPB 750 käyttövesivaraajaa
- 3 kpl Retermia LTOH-yksiköitä
- 10 neliötä aurinkokeräimiä
- Gebwellin kaukolämmön alajakokeskus

Poistoilmasta lämpö kerätään talteen Retermian LTO-huippuimurilla (kuva 1), jonka kaavun sisälle on rakennettu neulalämmönsiirrin. Tutkittavien kohteiden LTO-huippuimureissa on yksi EC-puhallin toisin kuin kuvassa.



KUVA 1. Retermian LTO-huippuimuri avattuna (Retermia)

Ilman kulkiessa lämmönsiirtopintana toimivan neulapinnan läpi, ilmassa oleva lämpöenergia siirtyy neulaputken sisällä virtaavaan LTO-nesteeseen (Retermia). Pohjolankadulla, kuten muissakin tutkittavissa kohteissa, LTO-neste on 28 prosentista vesi-etanolia (Heinonen, haastattelu). Yksi LTO-huippuimuri (PF3) palvelee kiinteistön liiketilaa. Se ei ole käynnissä tilan käyttöajan ulkopuolella. Käyttöajan ulkopuolella ilma vaihtuu painovoimaisesti. Käyttöajanohjaus tehdään kellokytkimellä. Kyseisen huip-

puimurin LTO-kytkennässä on moottoriventtiili (VV1), jottei LTO-neste kierrä tarpeettomasti patterille käyttöajan ulkopuolella (Koivukorpi). LTO-piiriin on kytketty yhteensä kymmenen neliometriä aurinkokeräimiä lämmönsiirtimen (LS3) välityksellä. Aurinkokeräimien rakenne, kytkentä ja ohjaus on selitetty tarkemmin kappaleessa seitsemän.

Lämmennyt LTO-neste pumpataan lämmönjakohuoneessa (kuva 2) olevalle lämpöpumpulle, jossa nesteen lämpötilataso nostetaan lämmityksen vaatimalle tasolle. Kyseisessä lämpöpumpussa on kaksi kylmäyksikköä, joista toinen (EP15) tuottaa lämpöä lämmitykseen ja toinen (EP14) lämpimään käyttöveteen tai lämmitykseen. Molemmissa kylmäyksiköissä on höyrystin, kompressori, lauhdutin ja paisuntaventtiili.



KUVA 2. Pohjolankadun lämmönjakohuone (Kuva: Mikael Lehtinen 2015)

Kun lämpöpumppu on nostanut lämmitysveden lämpötilatason halutuksi tai maksimiarvoonsa, lämmityspuolen kiertovesipumppu (PU4) pumppaa lämmitetyn veden patteriverkostoon. Patteriverkosto on kytketty myös kaukolämpöön, koska lämpöpumpun tuottama lämpötilataso ei aina ole riittävä. Näissä tapauksissa kaukolämpö nostaa patteriverkoston menolämpötilan halutuksi. Patteriverkostolla on oma kiertovesipumppu

(PU2), joka ylläpitää haluttua virtaamaa. Kaukolämpöveden virtaamaa ohjataan normaalisti ensiöpuolen säätöventtiilillä (TV2).

Lämpöpumpun käyttövesipuolella on oma kiertovesipumppunsa (PU5), joka pumppaa lämmitysveden käyttövesivaraajien läpi. Lämmityspiiri ja käyttövesipiiri on yhdistetty toisiinsa vaihtventtiilillä (QN10), joka mahdollistaa käyttövesipuolen kompressorin käytön vaihtoehtoisesti lämmityksessä, mikäli käyttöveden lämmitystä ei tarvita. Kylmävesi tulee varaajan alaosaan ja lähtee yläosasta lämmenneenä kaukolämmönsiirtimen kautta käyttövesiverkostoon. Kaukolämpösiirtimessä nostetaan lämpimän käyttöveden lämpötila noin kuuteenkymmeneen asteeseen. Lämpöpumpun tehtävä on ladata käyttövesivaraajaa, jossa käyttövesi esilämmitetään. Kaukolämpöveden tarvittavaa virtaamaa ohjataan ensiöpuolen säätöventtiileillä (TV1.1 ja TV1.2).

Pohjolankadulla on lämpimän käyttöveden kierrossa niin sanottu kesä-talvi – automatiikka. Tämä on toteutettu kolmitieventtiilillä (VV2). Kesällä lämpimän kiertoveden lämpötilaa on tarkoitus ylläpitää lämpöpumpulla ja talvella kaukolämmöllä. Enermix Oy on seurannut kyseisestä kytkennästä saatavia säästöjä. Säästön vaikutus suhteessa lisähintaan on ollut sen verran pieni, että kyseisen automatiikan käyttö on jätetty kokonaan pois ja kiertoveden lämmitys hoidetaan aina kaukolämmöllä. Lisäksi lämpöpumpun kompressorin COP-luku paranee ja elinikä pitenee, kun sillä suoritetaan vain käyttöveden esilämmitys noin 45 asteeseen. (Heinonen, sähköpostiviesti.) Kylmävesi voidaan johtaa myös suoraan kaukolämpösiirtimelle varaajien ohi.

Jotta pilp-järjestelmästä saatavat energiansäästöt pystytään todentamaan, on tehtävä tarvittavat energiamittaukset (FQ). Pohjolankadulla energiamääriä mitataan aurinkopii- rin tuotosta, lämpöpumpun kulutuksesta, lämpöpumpun tuotosta, patteriverkoston kulutuksesta ja kaukolämmön kulutuksesta. Lämpöpumpun tuottoa mitataan erikseen lämmitykselle ja käyttövedelle. Näiden lisäksi Pohjolankadulla mitataan kiinteistösähkön- kulutusta sekä kylmän- ja lämpimänveden kulutusta. Kaikki energiamittaukset on yhdistetty Talotohtori-palveluun.

## 4.2 Asunto Oy Hervannan Murole

### 4.2.1 Yleistiedot

Asunto Oy Hervannan Murole sijaitsee Tampereella Hervannan kaupunginosassa. Kohteen yleistiedot on koottu taulukkoon 2. Tässä työssä Asunto Oy Hervannan Murolesta käytetään lyhennettä Murole.

TAULUKKO 2. Murolen yleistiedot

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| Rakennusvuosi               | 1974  |
| Saneerausvuosi              | 2014  |
| Huoneala (m <sup>2</sup> )  | 3591  |
| Kerrosala (m <sup>2</sup> ) | 4510  |
| Kerroksia                   | 7     |
| Tilavuus (m <sup>3</sup> )  | 14920 |
| Asukasmäärä                 | 89    |
| Asuntojen lkm.              | 63    |

Myös Murolessa tehtiin energiaremontti vuonna 2014. Pilp-järjestelmän käyttöönotto oli 30.9.2014. Vuonna 2008 uusittiin kaukolämmön lämmönsiirtimet, taloautomaatiikka, vaihdettiin termostaattiset patteriventtiilit ja tehtiin lämmönsäätö ja tasaustoimenpiteet. Vuonna 2010 asennettiin vakiopaineventtiilit, 2012 WISU energiansäästöjärjestelmä ja 2013 Fidelix vedenkulutuksen seuranta. (Jarmas.) Myös muita kuin LVI:hin liittyviä perusparannuksia on tehty.

### 4.2.2 Järjestelmä

Kytkentäkaavio pilp-järjestelmästä on esitetty liitteessä 2. Murolen pilp-järjestelmä sisältää seuraavat laitteet:

- 1 kpl Nibe 1345-40 lämpöpumppu
- 2 kpl Nibe VPB 750 käyttövesivaraajaa
- 3 kpl Retermia LTOH-yksiköitä
- Kaukolämmön alajakokeskus

Pilp-järjestelmän kytkentäperiaate Murolessa vastaa Pohjolankatua. Murolessa LTO-piiriin ei ole kuitenkaan kytketty aurinkokeräimiä. Lisäksi yhdenkään LTO-huippuimurin LTO-kytkentä ei ole erillisen moottoriventtiilin takana, koska kaikki puhaltimeet käyvät jatkuvasti. Myös pilp-järjestelmästä tehtävät mittaukset vastaavat Pohjolankatua. Murolessa patteriverkoston kuluttamaa energiaa ei kuitenkaan mitata erikseen.

### 4.3 Asunto Oy Tampereen Actif

#### 4.3.1 Yleistiedot

Asunto Oy Tampereen Actif sijaitsee Tampereen keskustassa. Kohteen yleistiedot on koottu taulukkoon 3. Tässä työssä Asunto Oy Tampereen Actifista käytetään lyhennettä Actif.

TAULUKKO 3. Actifin yleistiedot

|                |        |
|----------------|--------|
| Rakennusvuosi  | 1998   |
| Saneerausvuosi | 2014   |
| Huoneala       | 5380,5 |
| Kerrosala      | 6638   |
| Kerroksia      | 7      |
| Tilavuus       | 23800  |
| Asukasmäärä    | 126    |
| Asuntojen lkm. | 84     |

Kuten muissakin kohteissa myös Actifissa tehtiin energiaremontti vuonna 2014. Uuden järjestelmän käyttöönotto oli 10.10.2014. Actif on huomattavasti uudempi kuin muut tutkittavat kohteet. Kohteessa ei ole tehty merkittäviä energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä ennen pilp-järjestelmän asennusta.

### 4.3.2 Järjestelmä

Actifin pilp-järjestelmän kytkentäperiaate vastaa Murolea, joten myös se on esitetty liitteessä 2. Myös järjestelmästä tehtävät energiamittaukset vastaavat Murolea. Järjestelmä sisältää seuraavat laitteet:

- 1 kpl Nibe 1345-60 lämpöpumppu
- 2 kpl Nibe VPB 750 käyttövesivaraajaa
- 3 kpl Retermia LTOH-yksiköitä
- Kaukolämmön alajakokeskus

## 5 ENERGIAANSÄÄSTÖT

PILP-järjestelmästä saatavat säästöt saadaan selville, kun tiedetään käytettävien energioiden hinnat, vanha energiankulutus ja uuden järjestelmän energiankulutus. Tässä kappaleessa käydään läpi kohteiden energian kulutustiedot ja kulutuksen muutokset. Muutosten syyt ja kohteiden välinen vertailu on tehty kappaleessa 6.

### 5.1 Pohjolankatu

Pohjolankadun energiankulutustiedot, energiansäästöt sekä lämpöpumpun tuottama energia ja lämpökerroin (COP) on esitetty kuukausittain taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Pohjolankadun energiansäästötaulukko 2014-2015

|                            | Yksikkö | Heinä | Elo   | Syys  | Loka  | Marras | Joulu | Tammi | Helmi |
|----------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Vanha KL kulutus           | kWh     | 13230 | 13143 | 20838 | 38495 | 44733  | 68509 | 73604 | 73140 |
| Uusi KL kulutus            | kWh     | 6770  | 7880  | 8485  | 11055 | 12742  | 15996 | 18922 | 13190 |
| KL kulutuksen muutos       | %       | 49    | 40    | 59    | 71    | 72     | 77    | 74    | 82    |
| LP:n sähkönkulutus         | kWh     | 1512  | 1556  | 2363  | 7857  | 8584   | 10072 | 10699 | 9301  |
| Kokonaiskulutus (KL+sähkö) | kWh     | 8282  | 9436  | 10848 | 18912 | 21326  | 26068 | 29621 | 22491 |
| Energian kulutuksen muutos | %       | 37    | 28    | 48    | 51    | 52     | 62    | 60    | 69    |
| LP:llä tuotettu energia    | kWh     | 4087  | 4907  | 8183  | 28998 | 31899  | 36044 | 37134 | 33179 |
| Lämpöpumpun COP            |         | 2,7   | 3,15  | 3,46  | 3,69  | 3,72   | 3,58  | 3,47  | 3,57  |

Kuten taulukosta nähdään, on pohjolankadulla päästy kiitettäviin energiansäästöluke-miin. Jo heinäkuussa saatiin kaukolämmön kulutus puolitettua. Vanha kaukolämmön kulutus on tässä vuosien 2011-2013 kuukausittainen keskiarvo. Loppusyksyn ja talven kuukausina kaukolämmön kulutus on saatu pienenemään yli 70 prosenttia. Helmikuussa kulutus on pienentynyt peräti 82 prosenttia.

Kun otetaan huomioon uuden järjestelmän sähköenergiankulutus ja tarkastellaan energiankulutuksen muutosta nettosäästönä, muutos oli aluksi keskimäärin noin 40 prosenttia.

Talvikuukausina on päästy peräti 60 prosentin säästöihin, mitä voidaan pitää todella merkittävänä. Lämpöpumpun COP-luku on keskimäärin ollut 3,5. Kohteiden lämpöpumppujen COP-lukuja on käsitelty tarkemmin kappaleessa 6.3.

## 5.2 Murole

Murolen energiankulutustiedot ja säästöt on esitetty taulukossa 5. Murolessa oli ongelma lämpöpumpun energian tuottoa mittavaan anturin kanssa. Anturi antoi liian pientä tilavuusvirtatietoa, jonka seurauksena mittarin antama lämpöpumpun tuottoenergia jäi todellista pienemmäksi. Tästä syystä Murolen energiansäästötaulukossa ei ole lämpöpumpun tuottamaa energiaa eikä sen seurauksena lämpöpumpun COP-lukua. Nämä on jätetty myös kappaleen kuusi vertailusta pois.

TAULUKKO 5. Murolen energiansäästötaulukko 2014-2015

|                                  | Yksikkö | Loka  | Marras | Joulu | Tammi | Helmi |
|----------------------------------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Vanha kaukolämmön kulutus        | kWh     | 50400 | 59500  | 76830 | 87200 | 78830 |
| Uusi kaukolämmön kulutus         | kWh     | 27100 | 25689  | 35232 | 42138 | 31391 |
| KL kulutuksen pieneneminen       | %       | 42    | 57     | 54    | 52    | 60    |
| Lämpöpumpun sähkönkulutus        | kWh     | 6124  | 8380   | 8679  | 8519  | 7633  |
| Kokonaiskulutus (KL+sähkö)       | kWh     | 33224 | 34070  | 43911 | 50657 | 39024 |
| Energian kulutuksen pieneneminen | %       | 28    | 43     | 43    | 42    | 51    |

Murolessa on pilp-järjestelmän käyttöönoton jälkeen kaukolämmön kulutus pienentynyt keskimäärin yli 55 prosenttia. Vanha kaukolämmön kulutus on tässä vuosien 2009-2013 kuukausittainen keskiarvo. Kokonaisenergian kulutus on pienentynyt keskimäärin reilulla 40 prosentilla. Kuten Pohjolankadulla myös Murolessa säästöerot kuukausien välillä ovat isot. Helmikuun säästöt ovat peräti 20 prosenttia suuremmat kuin lokakuussa.

### 5.3 Actif

Actifin energiankulutustiedot, säästöt sekä lämpöpumpun tuottama energia ja COP-luku on esitetty taulukossa 6. Actifissa ilmeni samanlainen mittausongelma kuin Murolessa. Ongelma saatiin kuitenkin korjattua tammikuun aikana, joten lämpöpumpulla tuotettu energia ja lämpöpumpun COP-luku on esitetty taulukossa helmikuun osalta.

TAULUKKO 6. Actifin energiansäästötaulukko 2014-2015

|                                  | Yksikkö | Loka  | Marras | Joulu  | Tammi  | Helmi  |
|----------------------------------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Vanha kaukolämmön kulutus        | kWh     | 93700 | 118500 | 160200 | 180980 | 161750 |
| Uusi kaukolämmön kulutus         | kWh     | 77550 | 78500  | 101888 | 113435 | 90330  |
| KL kulutuksen pieneneminen       | %       | 17    | 34     | 36     | 36     | 44     |
| Lämpöpumpun sähkönkulutus        | kWh     | 5909  | 11280  | 12456  | 12395  | 11125  |
| Kokonaiskulutus (KL+sähkö)       | kWh     | 83459 | 89780  | 114344 | 125830 | 101455 |
| Energian kulutuksen pieneneminen | %       | 11    | 24     | 29     | 30     | 37     |
| Lämpöpumpulla tuotettu energia   | kWh     | -     | -      | -      | -      | 39399  |
| Lämpöpumpun COP                  |         | -     | -      | -      | -      | 3,54   |

Actifissa on päästy kohtuullisen hyviin energiansäästölukemiin. Kaukolämmön kulutus on pienentynyt vähintään 34 prosenttia lukuun ottamatta lokakuuta, jolloin järjestelmä otettiin käyttöön. Käyttöönotto oli kuun puolivälissä eli lokakuun lukemia ei voida pitää vielä täysin vertailukelpoisina. Vanha kaukolämmönkulutus on laskettu samalla tavalla kuin Murolessa.

Kohteessa on päästy noin 30 prosentin energiansäästöihin tarkasteltaessa energiankulutuksen kokonaismuutosta. Actifissa sekä energian kokonaiskulutus että kaukolämmön kulutus on vähentynyt joka kuukausi entistä enemmän. Helmikuussa on päästy selvästi parhaimpiin säästölukemiin. Trendi on siis sama kuin muissa tutkittavissa kohteissa. Lämpöpumpun lämpökerroin oli helmikuussa 3,54.

## 6 SÄÄSTÖJEN VERTAILU JA EROJEN SYYT

Kun vertaillaan kohteissa saavutettuja energiansäästöjä toisiinsa, on syytä kiinnittää huomiota suhteellisiin muutoksiin absoluuttisten muutosten sijaan. Näin kohteet tulevat vertailukelpoisiksi koosta ja asukasmäärästä riippumatta. Taulukossa 7 on esitetty kunkin kohteen kaukolämmön kulutuksen muutos, energian kokonaiskulutuksen muutos ja suhteellinen säästö rahassa. Tulokset on esitetty kuukausittain ja ensimmäisenä vertailukuukautena on lokakuu, koska tällöin jokaisessa vertailukohteessa pilp-järjestelmä oli jo käytössä.

TAULUKKO 7. Energiansäästö vertailu 2014-2015

|                            | Yksikkö | Loka | Marras | Joulu | Tammi | Helmi |
|----------------------------|---------|------|--------|-------|-------|-------|
| <b>Pohjolankatu</b>        |         |      |        |       |       |       |
| KL kulutuksen muutos       | %       | 71   | 72     | 77    | 74    | 82    |
| Energian kulutuksen muutos | %       | 51   | 52     | 62    | 60    | 69    |
| Säästö rahassa             | %       | 34,7 | 37,2   | 52,2  | 50,4  | 60,2  |
| <b>Murole</b>              |         |      |        |       |       |       |
| KL kulutuksen muutos       | %       | 42   | 57     | 54    | 52    | 60    |
| Energian kulutuksen muutos | %       | 28   | 43     | 43    | 42    | 51    |
| Säästö rahassa             | %       | 23,7 | 32,2   | 36    | 36    | 44    |
| <b>Actif</b>               |         |      |        |       |       |       |
| KL kulutuksen muutos       | %       | 17   | 34     | 36    | 36    | 44    |
| Energian kulutuksen muutos | %       | 11   | 24     | 29    | 30    | 37    |
| Säästö rahassa             | %       | 6,9  | 18     | 24,6  | 26,9  | 33,4  |

### 6.1 Kaukolämmön kulutus

Kaukolämmön kulutus on pienentynyt pilp-järjestelmän asennuksen jälkeen kaikissa kohteissa. Erot ovat kuitenkin muodostuneet melko suuriksi. Pohjolankadulla kulutus on pienentynyt keskimäärin 20 prosenttia enemmän kuin Murolessa ja Murolessa 20 prosenttia enemmän kuin Actifissa. On tärkeää huomata, että kaukolämmön kulutuksen pieneneminen ei välttämättä johdu pelkästään pilp-järjestelmän lisäyksestä, vaan pitää tutkia, onko lämmitystarve itsessään muuttunut.

Sää vaikuttaa oleellisesti rakennuksen lämmitystarpeeseen ja siten kaukolämmön kulutukseen. Koska vanhat kaukolämmön kulutukset on ilmoitettu aiempien vuosien kuu-

kausikeskiarvoina, kuten kappaleessa viisi todettiin, on syytä vertailla nykyisen kulutuksen aikaisten kuukausien keskilämpötiloja vertailuvuosien kuukausien keskilämpötiloihin. Vertailu on esitetty liitteessä 4. Liitteestä nähdään, että Pohjolankadun pilp-järjestelmän aikaiset ulkolämpötilat vastaavat parin asteen sisällä vertailuvuosia heinäkuusta joulukuuhun. Helmikuu oli kuitenkin peräti seitsemän astetta lämpimämpi kuin vertailuvuosina keskimäärin. Tällä on jo merkitystä energiankulutukseen, joten säällä on osittain selitystä Pohjolankadun korkeaan energiansäästölukemaan helmikuun osalta. Myös Murolessa ja Actifissa sää on ollut muutaman asteen leudompi vertailuvuosiin nähden. Ero on suurin joulun ja helmikuun välisenä aikana. Siksi säällä on pientä vaikutusta myös näiden kohteiden energiansäästölukuihin. Ulkolämpötilatarkastelun sijaan toinen vaihtoehto olisi esittää energiankulutukset sääkorjattuina eli normeerattuina. Normeerauksessa käytettävät lämmitystarveluvut perustuvat ulkolämpötiloihin, joten sillä päästäisiin samaan päätelmään kuin ulkolämpötilatarkastelulla.

Myös lämpimän käyttöveden kulutus vaikuttaa kaukolämmön kulutukseen, koska lämpöpumpun lämmittämän lämpimän käyttöveden lämpötila pitää nostaa kaukolämmöllä, mikäli lämpöpumpun tuottama lämpötilataso ei ole riittävä. Kussakin kohteessa on käyttöveden kulutustottumuksiltaan erilaiset käyttäjät ja siten erilaiset kulutukset. Mikäli lämpimän käyttöveden kulutus on pienentynyt suhteessa vertailuvuosiin, pienentää tämä kaukolämmön kulutusta pilp-järjestelmästä riippumatta.

Vakiopaineventtiilien asennus pienentää käyttöveden kulutusta, mikäli kohteessa on aiemmin ollut suuri verkostopaine ja siten isot virtaamat. Pohjolankadulla on asennettu vakiopaineventtiilit vuonna 2013 ja Muroleen vuonna 2010. Murolessa asennus on suoritettu kaukolämmön kulutuksen vertailuvuosien alussa, joten ne eivät osaltaan vaikuta vertailuun. Pohjolankadulla vedenkulutus on pienentynyt 15 prosenttia vakiopaineventtiilien asennuksien jälkeen. Näin ollen vakiopaineventtiilien asennus on osaselitys Pohjolankadun hyville energiansäästölukemille.

Muroleen on vuonna 2013 asennettu vedenkulutuksen seurantajärjestelmä. Se on toteutettu Fidelix-automaatiojärjestelmällä. Järjestelmä ei mittaa vedenkulutusta huoneistokohtaisesti, joten sillä ei ole vaikutusta ihmisten vedenkulutukseen. Lisäksi Muroleen on asennettu vuonna 2012 WISU energiansäästöjärjestelmä. WISU mittaa huoneistojen sisätilojen lämpötilaa ja kosteutta sekä säättää mittaustulosten perusteella rakennuskohdasta lämmityssäädintä. Lämmityssäädin hyödyntää automaattisesti myös paikkakunta-

kohtaista Forecan sääennustusdataa. (Kevox.) WISU on Murolessa sen verran uusi järjestelmä suhteessa vanhan kaukolämmön kulutuksen vertailuvuosiin, että se saattaa vääristää pilp-järjestelmän oletettua energiansäästöä. Actifissa käyttövedenkulutus on pysynyt ennallaan, joten siellä vedenkulutuksella ei ole vaikutusta energiasäästöihin.

Pilp-järjestelmä on suurin selittävä tekijä kaukolämmön kulutuksen pienenemiselle kaikissa kohteissa. Lämmöntalteenotto ei ole kuitenkaan ainoa selitys kulutuksen pienene-miseen, vaan pilp-järjestelmä tuo mukanaan myös muita energiatehokkuutta lisääviä ominaisuuksia. Tutkittavissa kohteissa kaikki LTO-huippuimurit ovat kierroslukuohjattavia matalaenergiapuhaltimia. Puhaltimia ohjataan lämpötilakäyrän mukaan niin, että kovilla pakkasilla puhaltimen kierrosnopeus laskee. Tämä johtaa ilmavirtojen pienene-miseen kovilla pakkasilla, jolloin kaukolämmön huipputehontarve laskee.

Kaukolämmön kulutus onkin pienentynyt kaikissa kohteissa selvästi eniten kylmimpinä kuukausina. Kun lasketaan yhteen uusi kaukolämmönkulutus ja lämpöpumpun tuottama lämpöenergia ja verrataan tulosta vanhaan kaukolämmönkulutukseen, huomataan läm-mitystarpeen vähentyneen selvästi talvikuukausina. Taulukossa 8 on esitetty lämmitys-tarpeen muutos Pohjolankadulla.

TAULUKKO 8. Lämmitystarpeen muutos Pohjolankadulla 2014-2015

|                                 | Yks. | Loka  | Marras | Joulu | Tammi | Helmi |
|---------------------------------|------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Vanha KL kulutus                | kWh  | 38495 | 44733  | 68509 | 73604 | 73140 |
| Uusi KL kulutus+LP:llä tuotettu | kWh  | 40053 | 44641  | 52040 | 56056 | 46369 |
| Kulutuksen pieneneminen         | %    | -4    | 0,2    | 24    | 24    | 37    |

Taulukosta nähdään lämmitystarpeen pysyneen loka- ja marraskuussa ennallaan. Niissä ilmavirtojen ohjauksen vaikutus ei näy leudon sään vuoksi. Joulu- ja tammikuussa lämmitystarve on vähentynyt neljänneksellä ja helmikuussa lähes 40 prosenttia. Näin uusi ilmavirtojen ohjaustapa muodostaa suuren osan säästöistä. Lämmitystarpeen piene-nemisessä vaikuttavat myös sää ja käyttöveden kulutuksen pieneneminen, joten ilmavir-tojen ohjaustavan merkitys on todellisuudessa hieman tätä pienempi.

Murolessa samanlainen vertailu ei ole mahdollista toteuttaa lämpöpumpun tuottoa mit-taavan mittausanturin virheen takia. Actifissa se on samasta syystä mahdollista tehdä vain helmikuun osalta. Samalla laskentaperiaatteella Actifissa on helmikuussa läm-mitystarve pienentynyt noin 20 prosenttia. Tarve on siis pienentynyt lähes puolet vähem-

män kuin Pohjolankadulla helmikuussa. Ero on selitettävissä Pohjolankadun kiinteistössä olevalla liiketilalla. Kulutuksen vertailuvuosina koneellinen poistoilmanvaihto on ollut käynnissä jatkuvasti. Nyt liiketilan LTO-huippuimuri on päällä ainoastaan liikkeen aukioloaikana ja muuten ilmanvaihto toimii painovoimaisesti. Liiketilan ilmanvaihdon ohjaustavan muutos näyttääkin muodostavan Pohjolankadulla merkittävän osan lämmitystarpeen pienenemisestä.

Ilmavirtojen ohjaustavan muutos ja leuto sää ovat aiheuttaneet kylminä kuukausina noin puolet kaukolämmön kulutuksen pienenemisestä. Varsinainen lämmöntalteenotto saa aikaan toisen puolen säästöistä. Ilmavirtojen ohjaustapaa muutettaessa on kuitenkin muistettava, että ilman on vaihduttava jatkuvasti eikä ilmavirtoja saa pudottaa liian alas kylminäkään päivinä. Määräyksien (Ympäristöministeriö. RakMK D2, 10) on täytyttävä kaikissa tilanteissa. Ilmanvaihdon riittävyttä Pohjolankadulla on tutkittu kappaleessa yhdeksän.

## **6.2 Energian kokonaiskulutus**

Energian kokonaiskulutus on pienentynyt kaikissa kohteissa vähemmän kuin kaukolämmön kulutus. Tämä on seurausta lämmitysjärjestelmän lisääntyneestä sähkönkulutuksesta. Pilp-järjestelmässä sähköä kuluttavat lämpöpumppu, kiertopumput ja automaatio ohjauslaitteineen. LTO-huippuimurit eivät lisää sähkönkulutusta, koska jokaisessa kohteessa oli koneellinen poistoilmanvaihto jo ennen saneerausta. Nykyaikaisten huippuimurien voi pikemminkin ajatella vähentävän sähkönkulutusta niiden parantuneen energiatehokkuuden takia.

Säästöt energian kokonaiskulutuksissa ovat verrannollisia säästöihin kaukolämmön kulutuksissa, joten pohjolankatu on tässäkin vertailussa paras. Ero Actifiin on keskimäärin peräti 30 prosenttia. Murole jää vertailussa näiden puoliväliin.

Jokaisen kohteen pilp-järjestelmät ovat laitteiltaan ja toimintaperiaatteiltaan vastaavia eli eroja ei voi näillä perustella. Keskeiseksi tekijäksi muodostuu optimoinnin onnistuminen ja automaation toimivuus. Lämpöpumppu on pilp-järjestelmässä eniten sähköä kuluttava laite, joten sen toimiminen parhaalla mahdollisella COP-luvulla muodostuu tärkeäksi.

## 6.3 Lämpöpumpun COP

### 6.3.1 COP-teoria

Kun tarkastellaan lämpöpumpun hyötysuhdetta ja energiatehokkuutta, on käytössä monia eri kertoimia. Yleisin on lämpökerroin eli COP-luku. Se kertoo kuinka paljon lämpöpumppu pystyy tuottamaan lämpöenergiaa kuluttamaansa sähköenergiaan nähden tietyllä aikavälillä. Esimerkiksi COP 3 kertoo lämpöpumpun tuottavan kolme kWh:a lämpöenergiaa kuluttamalla yhden kWh:n sähköenergiaa. Valmistajan ilmoittamiin lämpökertoimiin on syytä suhtautua varauksella, vaikka ne olisikin mitattu standardin SFS-EN 14511 mukaan. Todellisuudessa kompressorin ja lämpöpumpun muut laitteet toimivat vain harvoin täydellä hyötysuhteella. Ilmalämpöpumpuissa on huomioitava, että valmistajat ilmoittavat lämpökertoimen mitattuna seitsemän asteen ulkolämpötilassa. Alemmissa ulkolämpötiloissa lämpökerroin huononee, koska lämpötilaero sisäilmaan kasvaa. Hyödynnettävän energian lämpötilataso suhteessa lämpöpumpun tuottamaan lämpötilatasoon on keskeinen. Mitä suurempi lämpötilaero lämpöpumpun höyrystin- ja lauhdutinpuolen yli vaikuttaa sitä enemmän lämpöpumpun kompressorin on tehtävä työtä.

Lämmityskauden lämpökerroin SCOP lasketaan erikseen kullekin määrätylle lämmityskaudelle, joita on ulkolämpötilan mukaan neljä (Ilmalämpöpumput). Parhaiten lämpöpumpun hyötysuhdetta kuvaa SPF-luku. Se kertoo lämpöpumpun vuotuisen lämpökertoimen eli kuinka paljon energiaa tuotetaan vuodessa suhteessa vuodessa käytettyyn energiaan. Tällöin kaikkien eri sääolosuhteiden ja jäätymisenestön vaikutus tulee otettua huomioon. Lämpöpumpun kylmäntuottoa kuvataan kylmäkertoimilla EER ja SEER (Ilmalämpöpumput).

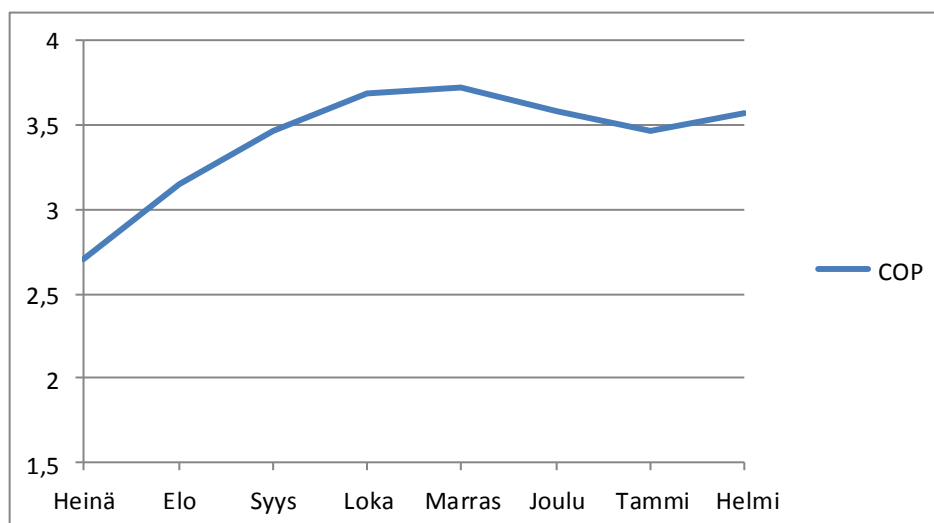
Ei riitä, että tietää, mitä edellä mainitut kertoimet tarkoittavat, vaan pitää myös tietää miten ne on tarkasteltavassa järjestelmässä mitattu. Liitteessä 5 (Fraunhofer) on esitetty tavallinen maalämpöjärjestelmä, joka on jaettu SPF-luvun laskemisen perusteella eri osiin. Ensimmäinen osa (SPF 0) sisältää vain lämpöpumpun kuluttaman sähköenergian, kun taas SPF 1 ottaa myös huomioon lämmönkeruupiirin kiertopumpun. SPF 2:ssa otetaan edeltävien lisäksi huomioon myös lämpöpumpun jälkeisen lämpötilan noston mahdollisesti kuluttama sähköenergia. SPF 3 ottaa puolestaan järjestelmän huomioon kokonaisuutena eli siinä on edeltävien lisäksi huomioitu myös lämpöpumpun ja varaajien

välissä olevien kiertopumppujen sähkönkulutus. Lämpöenergian tuoton mittausta pysyy luonnollisesti jokaisessa kohdassa samana.

Edellä kuvattuja mittausrajoja voidaan hyödyntää maalämpöpumpun lisäksi myös muihin lämpöpumppujärjestelmiin ja lämpökertoimiin. Enermix Oy mittaa pilp-järjestelmien COP-luvun ottaen huomioon järjestelmän kokonaisuutena eli sähköenergiankulutuksessa on huomioitu myös kiertopumput. Tässä työssä esitetyt lämpökertoimet kuuluvat siten Fraunhoferin esittämään mittausrajaan SPF 3.

### 6.3.2 Toteutuneet COP-luvut

Kappaleessa keskitytään pääosin Pohjolankadun COP-lukuun muiden kohteiden mittausvian vuoksi. Kuviossa 2 on esitetty Pohjolankadun toteutuneet COP-luvut kuukausittain.



KUVIO 2. Toteutuneet kuukausittaiset COP-luvut Pohjolankadulla 2014-2015

Pohjolankadulla lämpöpumpun COP-luku on heinä- ja elokuussa selvästi pienempi kuin muina vertailukuukausina. Ero johtuu lämpimän käyttöveden lämpötilapyyntistä. Heinä- ja elokuussa käyttövesivaraaja pyrittiin ajamaan niin kuumaksi kuin mahdollista. Kyseisellä Nibe F1345 lämpöpumpulla pystytään tuottamaan maksimissaan 65-asteista vettä (Nibe). Lämpötilapyyntiä laskettiin elo- syyskuun vaihteessa 45 asteeseen, jolloin COP-luku parani selvästi. Kun lämpöpumpulle tulevan LTO-nesteen ja lämpöpumpulta lähtevän lämmitysveden välinen lämpötilaero pienenee yhdellä asteella, paranee COP-luku noin kuudella prosentilla (Nibe). Luku on arvioitu lämpöpumpun teknisistä tiedoista.

ta. Näin ollen 20 asteen muutos lämpimän käyttöveden lämpötilapyyntissä parantaa COP-lukua noin 1,2:lla. Muutos on merkittävä. Lämpötilapyyntiä laskettaessa kuluu kaukolämpöä luonnollisesti enemmän, mutta lämpöpumppu toimii aiempaa tehokkaammin ja kompressorin käyttöikä pitenee.

Koska lämpöpumpun tekemä työ riippuu oleellisesti LTO-piirin ja lämmityspiirin eli lauhdutinpuolen lämpötiloista, laskettiin kyseisten lämpötilojen keskiarvot kuukauden ajalta Talotohtorin avulla. Tarkastelukuukaudeksi valittiin joulukuun. Koska kohteiden lämpöpumpuissa on erikseen kylmäyksiköt lämmitykselle ja käyttövedelle, ovat myös lämpötilat tarkasteltu erikseen. Taulukossa 9 on esitetty lämmityspuolen lämpötilatasot kohteittain. Lämpötilat on esitetty celsiusasteina.

TAULUKKO 9. Lämmityspuolen lämpötilatasot joulukuulta 2014

|              | LTO-piiri<br>Tulo | LTO-piiri<br>Meno | $\Delta T$ LTO | Lauhdutin<br>meno | Lauhdutin<br>paluu | $\Delta T$ Lauhdutin | $\Delta T$ |
|--------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|--------------------|----------------------|------------|
| Pohjolankatu | 4,9               | -0,4              | 5,3            | 40,5              | 31,6               | 8,9                  | 35,6       |
| Murole       | 6,5               | 1,7               | 4,8            | 42,7              | 35,4               | 7,3                  | 36,2       |
| Actif        | 10,3              | 6,8               | 3,5            | 41,6              | 33,8               | 7,8                  | 31,3       |

Saatujen arvojen mukaan lämpötilat vaihtelevat jonkin verran kohteittain. Actifissa lämpöpumpulle tuleva LTO-neste oli selvästi lämpimintä, mutta Pohjolankadulla tulevan ja menevän LTO-nesteen lämpötilaero oli suurin. Pohjolankadulla lämpöpumpun lämmityspuolen höyrystin otti siis tehokkaimmin energiaa talteen. Lämpöpumppu nostaa jokaisessa kohteessa lämmityksen menovedenlämpötilan reiluun 40 asteeseen. Lämpötilaero menevän ja palaavan veden välillä oli myös lämmityspuolella Pohjolankadulla suurin eli siellä lämpöpumpun lauhdutin toimi tehokkaimmin. COP-luvun kannalta oleellisin tieto eli LTO-piirin tulolämpötilan ja lauhduttimen eli lämmityksen menovedenlämpötilan välinen lämpötilaero ( $\Delta T$ ) oli Actifissa selvästi pienin. Actifissa se oli 31,3 astetta kun esimerkiksi Murolessa se oli viisi astetta enemmän.

Lämpimän käyttövesipuolen vastaavat lämpötilatasot on esitetty taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Lämpimän käyttövesipuolen lämpötilatasot joulukuulta 2014

|              | LTO-piiri<br>Tulo | LTO-piiri<br>Meno | $\Delta T$ LTO | Lauhdutin<br>meno | Lauhdutin<br>paluu | $\Delta T$ Lauh-<br>dutin | $\Delta T$ |
|--------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|--------------------|---------------------------|------------|
| Pohjolankatu | 4,5               | 0,7               | 3,1            | 44,1              | 35,4               | 8,7                       | 39,6       |
| Murole       | 6,6               | 2                 | 4,6            | 51,3              | 40,7               | 10,6                      | 44,7       |
| Actif        | 10,2              | 4,8               | 4,7            | 50,6              | 39,9               | 10,7                      | 40,4       |

LTO-piirien tulolämpötilat vastaavat lämmitys- ja käyttövesipuolella toisiaan, koska LTO-piiri haarautuu yksiköille samasta rungosta. Pohjolankadulla käyttöveden lämmityksen menovesi nostettiin joulukuussa keskimäärin 44 asteeseen, kun taas Murolessa ja Actifissa se nostettiin reiluun 50 asteeseen. Tästä johtuen Pohjolankadun lämpöpumppu, joutui nostamaan lämpötilaa vähiten eli lämpöpumpun höyrystimen ja lauhduttimen välillä oli pienin lämpötilaero ( $\Delta T$ ). Kaukolämpöä kului Pohjolankadulla vastaavasti enemmän, koska lämpötila on joka tapauksessa nostettava rakennusmääräysten (Ympäristöministeriö. RakMk D1, 8) edellyttämälle tasolle eli minimissään 55 asteeseen. Actifissa lämpöpumpun yli vaikuttava lämpötilaero oli lähes yhtä pieni kuin Pohjolankadulla LTO-piirin korkean tulolämpötilan ansiosta. Se on Actifissa korkein, koska siellä lämpöpumpun teho suhteessa poistoilmamääriin on pienempi kuin muissa kohteissa (Heinonen, sähköposti).

Pilp-järjestelmän toimintaa tarkasteltaessa on syytä kiinnittää huomiota poistoilman lämpötiloihin ennen ja jälkeen LTO:n. Poistoilman jäähtymä eli sieltä saatava talteenotettava teho vaikuttaa lämpöpumpun toimintaan ja COP-lukuun. Lämmöntalteenoton takia rakennuksessa ei kuitenkaan kannata pitää normaalia korkeampaa lämpötilaa, koska se lisää runsaasti energiankulutusta, vaikka talteenotettava energiamäärä näennäisesti suurenisi. Yhden asteen lämpötilan lasku 20 asteen kohdilla pienentää energiankulutusta peräti 5 prosenttia (Motiva). Taulukossa 11 on esitetty kohteittain poistoilman lämpötila ennen LTO:ta ja LTO:n jälkeen. Arvot ovat kohteissa olevien LTO-huippuimurien mittaustulosten keskiarvoja. Mittaustulokset on saatu Talotohtorista ja tulokset ovat joulukuun keskiarvoja.

TAULUKKO 11. Poistoilman lämpötilat joulukuussa 2014

|              | Lämpötila (°C)<br>ennen LTO:ta | Lämpötila (°C)<br>LTO:n jälkeen | $\Delta T$ |
|--------------|--------------------------------|---------------------------------|------------|
| Pohjolankatu | 21,6                           | 7,8                             | 13,8       |
| Murole       | 19,6                           | 3,8                             | 15,9       |
| Actif        | 22,1                           | 8,7                             | 13,4       |

Tarkasteltaessa poistoilman lämpötilaa, on huomioitava mittausanturin sijainnin vaikutus. Poistoilman lämpötilaa mitataan LTO-huippuimurin neulaputkipatterin molemmin puolin, joten huonelämpötila on jokaisessa kohteessa hieman tätä mittausta korkeampi, koska ilma ehtii jäähtyä kanavistossa tullessaan huippuimurille. Poistoilman lämpötilan mittausta LTO:n jälkeen on puolestaan hankalaa, koska ulkoilma on niin lähellä mittausanturia. Antureiden sijainnin vaikutusta on tutkittu enemmän kappaleessa kahdeksan. Pohjolankadun keskiarvoon ei ole huomioitu liiketilan LTO:ta, koska se ei ole käynnissä jatkuvasti eivätkä sen lämpötilat siten ole vertailukelpoisia.

Actifissa poistoilman lämpötila on korkein, mutta ero Pohjolankatuun ei ole merkittävä. Tulosten perusteella Actifissa voisi sisälämpötilaa laskea keskimäärin asteella, jotta ihannearvona pidetty 21 astetta saavutettaisiin. Actifin A-talon poistoilman lämpötila oli keskimäärin 24 astetta, joten siellä laskuvaraa olisi jopa kolme astetta. Murolessa poistoilman lämpötila oli hieman alle 20 astetta. Pohjolankadulla ja Actifissa poistoilman lämpötila laski vajaalla 14 asteella LTO-patterin läpi mennessään kun taas Murolessa laskua tuli peräti 16 astetta. Poistoilman jäähtymän suunnitteluvarvo mitoitusilanteessa on 17 astetta (Heinonen, haastattelu). Murolessa päästiin näin ollen lähimmäs optimitalannetta. Poistoilmaa ei voi mitoittaa jäähtymään alle nollan, koska poistoilman kosteudesta aiheutuu jäätymisvaara.

Edellä mainittujen lämpötilojen lisäksi COP-lukuun vaikuttavat käytettävien laitteiden ominaisuudet. Jokaisessa kohteessa laitteisto vastaa toisiaan, joten niistä ei eroja synny. Murolessa on kuitenkin 20 kilowattia pienempi lämpöpumppu kuin Pohjolankadulla ja Actifissa. Pohjolankatu ja Murole ovat rakennuksina kooltaan suunnilleen samankokoisia, mutta liiketilan takia Pohjolankadulle jouduttiin valitsemaan suurempi pumppu. Murolen lämpöpumpulle (F1345-40) ilmoitettu COP-luku on 4,34 ja Actifin sekä Pohjolankadun lämpöpumpulle (F1345-60) ilmoitettu COP-luku on 3,95 (Nibe). Lämpöpumpun kokoluokalla on siten pientä vaikutusta saavutettavaan COP-lukuun. Kyseiset COP-luvut on ilmoitettu standardin 14511 mukaan celsiusasteille 10/45.

Actifissa ja Murolessa olleesta anturiviasta johtuen ei edellä mainittujen tekijöiden vaikutusta COP-lukuun voi vertailla. Joulukuussa Pohjolankadulla COP-luku oli 3,58. Todennäköisesti muiden kohteiden COP-luku oli melko lähellä tätä, koska suuria eroja ei toimintalämpötiloissa ollut. LTO-nesteen tulolämpötilan ja lämmitysveden menolämpötilan välinen lämpötilaero oli maksimissaan viisi astetta kohteiden välillä sekä lämmitys että käyttövesipuolella. Mikäli oletetaan asteen vaikutuksen olevan kuusi prosenttia COP-lukuun, vaikuttaa viisi astetta vain 0,3 COP-yksikköä.

COP-luku on tärkeä mittari, jonka avulla voi nähdä lämpöpumpun toimivan optimaalisella tavalla. Joulukuun toimintalämpötilojen tarkastelu ja helmikuulta saatu todellinen lukema osoittavat Actifin lämpöpumpun COP-luvun olevan samalla tasolla kuin Pohjolankadulla. Silti Pohjolankadun säästöt lämmitysenergiassa ovat huomattavasti suuremmat. Tämä on selitettävissä lämmitystarpeen muutosten lisäksi lämpöpumppujen koolla suhteessa kiinteistön kokoon. Lämpöpumput ovat samankokoiset, mutta Actif on rakennuksena huomattavasti suurempi. Näin ollen lämpöpumpun tuottama energia jää Actifissa suhteellisesti pienemmäksi ja kaukolämpöä tarvitaan vastaavasti enemmän.

#### **6.4 Taloudelliset säästöt**

Rahallisen säästön suuruuteen vaikuttaa luonnollisesti säästetty energiamäärä ja kyseisen energian hinta. Koska pilp-järjestelmällä säästetään kaukolämpöä, mutta toisaalta sähkön kulutus lisääntyy, on oleellista tietää molempien hinnat. Mikäli sähkön hinta tulevaisuudessa kasvaa enemmän kuin kaukolämmön hinta, pienenee pilp-järjestelmällä saatava säästö rahassa mitattuna.

Kaikissa kohteissa käytettävien energioiden hinnat ovat samaa suuruusluokkaa. Pohjolankadulla sähkön hinta vertailukuukausina oli 111,35 €/MWh ja Murolessa sekä Actifissa kummassakin 110 €/MWh. Kaukolämmön hinta kaikissa kohteissa oli loka- ja marraskuussa 69,35 €/MWh ja joului- heinäkuussa 76,25 €/MWh.

Koska energian hinnoissa ei ole suurta eroa, muodostuu rahallisissa säästöissä ratkaisevaksi tekijäksi säästöt energiankulutuksessa. Jokaisessa kohteessa suurimmat säästöt on saavutettu joului-helmikuussa. Tämä on selitettävissä kyseisten kuukausien korkeammalla kaukolämmön hinnalla ja suhteellisesti suurilla energian säästöillä. Pohjolanka-

dulla on saavutettu peräti yli 50 prosentin säästöt ja Actifissakin 25 prosenttia. Lokamarraskuussa saavutetut säästöt ovat Pohjolankadulla noin 35 prosenttia. Murolessa ja Actifissa lokakuun eli käyttöönottovuoden huonommat energiansäästöt vaikuttavat myös rahallisiin säästöihin, mutta jo marraskuussa Murolessa on päästy yli 30 prosenttiin ja Actifissakin vajaaseen 20 prosenttiin. Yleisesti huomioitavaa on se, että suhteelliset säästöt energiamäärissä ovat suuremmat kuin suhteelliset säästöt rahassa, koska sähkö on selvästi kalliimpaa kuin kaukolämpö.

Absoluuttisissa säästöissä esimerkiksi Actifissa päästiin tammikuussa lähes 3800 euroon ja Pohjolankadulla 3000 euroon. Pilp-järjestelmän takaisinmaksuajan määrittämiseksi pitäisi mittaustietoja järjestelmästä kerätä koko vuoden ajalta. Enermix Oy:n mukaan takaisinmaksuaika on yleensä 5-10 vuotta (Talotohtori). Siihen vaikuttavat kuitenkin monet eri tekijät, joten täsmällistä yleistystä ei kannata tehdä. Esimerkiksi poistoilmavirroilla on suuri merkitys. Jos kohde on pieni, tulee järjestelmään investointi suhteellisesti kalliimmaksi.

Koska pilp-järjestelmä vähentää kaukolämmön tehontarvetta, pienenee myös kaukolämmön tilausteho. Kaukolämmön perusmaksu perustuu tilaustehoon, joten säästöjä saavutetaan myös pienentyneen perusmaksun myötä.

## **6.5 Ominaislämmönkulutus**

Kun vertaillaan rakennuksien energiatehokkuutta toisiinsa, on syytä suhteuttaa rakennuksien koko toisiinsa. Tällöin puhutaan ominaislämmönkulutuksesta, jolloin kohteen energiankulutus jaetaan rakennuksen pinta-alalla tai tilavuudella. Vertailu voidaan suorittaa myös esimerkiksi henkilömäärään perustuen. Taulukossa 12 on esitetty tutkittavien kohteiden vanhan lämmitystavan aikainen ominaislämmönkulutus rakennustilavuuteen perustuen. Uuden lämmitystavan aikainen ominaislämmönkulutus on esitetty sekä rakennustilavuuteen että henkilömäärään perustuen. Uudessa ominaislämmönkulutuksessa on huomioitu lämmityksessä kuluva sähköenergia.

TAULUKKO 12. Ominaislämmönkulutukset 2014-2015

|                     | Yksikkö            | Loka | Marras | Joulu | Tammi | Helmi |
|---------------------|--------------------|------|--------|-------|-------|-------|
| <b>Pohjolankatu</b> |                    |      |        |       |       |       |
| Vanha lämmitys      | kWh/m <sup>3</sup> | 2,69 | 3,12   | 4,78  | 5,13  | 5,1   |
| Uusi lämmitys       | kWh/m <sup>3</sup> | 1,32 | 1,49   | 1,82  | 2,07  | 1,57  |
| Uusi lämmitys       | kWh/hlö            | 228  | 257    | 314   | 357   | 271   |
| <b>Murole</b>       |                    |      |        |       |       |       |
| Vanha lämmitys      | kWh/m <sup>3</sup> | 3,11 | 3,99   | 5,15  | 5,84  | 5,28  |
| Uusi lämmitys       | kWh/m <sup>3</sup> | 2,23 | 2,28   | 2,94  | 3,4   | 2,62  |
| Uusi lämmitys       | kWh/hlö            | 373  | 383    | 493   | 569   | 438   |
| <b>Actif</b>        |                    |      |        |       |       |       |
| Vanha lämmitys      | kWh/m <sup>3</sup> | 3,94 | 4,98   | 6,73  | 7,6   | 6,8   |
| Uusi lämmitys       | kWh/m <sup>3</sup> | 3,51 | 3,77   | 4,8   | 5,29  | 4,26  |
| Uusi lämmitys       | kWh/hlö            | 662  | 713    | 907   | 999   | 805   |

Ominaislämmönkulutus on luonnollisesti huomattavasti suurempi tammi- kuin loka-kuussa kaikissa kohteissa suuremman lämmitysenergian tarpeen takia. Pohjolankadulla vanha ominaislämmönkulutus vertailukuukausina on keskimäärin 4 kWh/m<sup>3</sup>, Murolessa 4,5 kWh/m<sup>3</sup> ja Actifissa 6 kWh/m<sup>3</sup>. Pohjolankatu oli siis lämmitykseltään energiatehokkain kiinteistö ennen lämmöntalteenoton lisäystä. Pohjolankadulla ollaan oltu aktiivisia energiatehokkuus asioissa jo ennen vuoden 2014 energiaremonttia. Kappaleessa neljä mainittujen toimenpiteiden lisäksi kohteessa on tehty monia muita parannuksia esimerkiksi ulko-ovien ja ikkunoiden uusimista. Murolessa puolestaan WISU-järjestelmä vaikuttaa varmasti osaltaan hyvään ominaislämpöluukuun.

Koska Pohjolankadulla saavutettiin suhteellisesti suurimmat energiansäästöt pilp-järjestelmän lisäyksellä, on se myös sen jälkeen energiatehokkain kiinteistö. Uusi ominaislämmönkulutus on Pohjolankadulla keskimäärin 1,7 kWh/m<sup>3</sup>, Murolessa 2,7 kWh/m<sup>3</sup> ja Actifissa 4,3 kWh/m<sup>3</sup>. Vaikka erot kohteiden välillä jäävät suuriksi, on pilp-järjestelmän vaikutus ominaislämmönkulutukseen kaikissa kohteissa suuri.

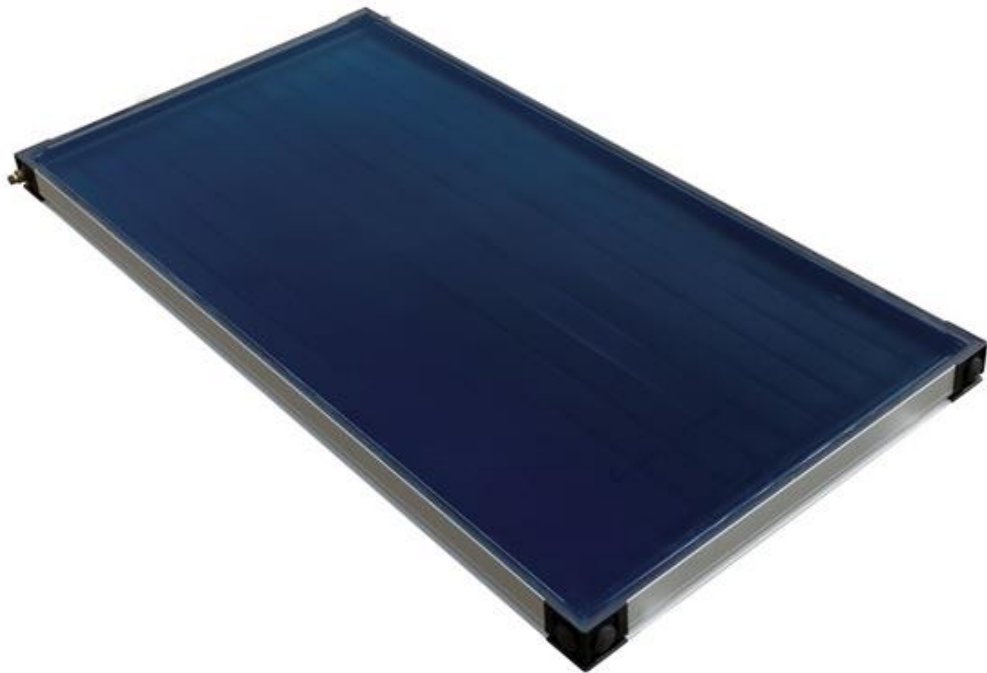
Energian kulutuksen suhteuttaminen rakennustilavuuteen ei välttämättä aina kerro koko totuutta rakennuksen ominaisuuksista. Käyttöveden kulutuksen mahdollinen vaikutus tulee esiin, kun energiankulutus suhteutetaan henkilömääriin. Henkilömääriin suhteutettuna Pohjolankadun ominaislämmönkulutus vertailukuukausina oli keskimäärin 285, Murolessa 450 ja Actifissa 820 kilowattituntia henkilöä kohden. Pohjolankadulla käyttövedenkulutus oli 112 litraa vuorokaudessa asukasta kohden vuonna 2014. Actifissa kyseinen kulutus oli noin 140 litraa.

Ero vedenkulutuksessa on kohteiden välillä suuri ja sillä onkin suuri vaikutus eroihin ominaslämmönkulutuksessa. Actifiin ehdotetaan vakiopaineventtiilien asentamista. Toinen merkittävä tekijä on Actifin korkea sisälämpötila. Erityisesti A-talon sisälämpötilaa olisi syytä laskea. Jopa kolmen asteen lasku olisi mahdollista. Myös muissa kiinteistön osissa lasku olisi mahdollista. Näin ollen patteriverkosto ehdotetaan tasapainotettavaksi. Näillä toimenpiteillä Actifissa päästäisiin lähemmäs muiden tutkittujen kohteiden ominaislämmönkulutusta.

## 7 AURINKOLÄMPÖ

### 7.1 Järjestelmä

Pohjolankadulla LTO-piiriin on liitetty kymmenen neliömetriä aurinkokeräimiä. Keräimet ovat mallia SF100-03-DS (Kuva 3) ja ne on valmistettu Suomessa Savosolar Oy:ssä. Kohteeseen ne on toimitettu Sundial Finland Oy:n toimesta.

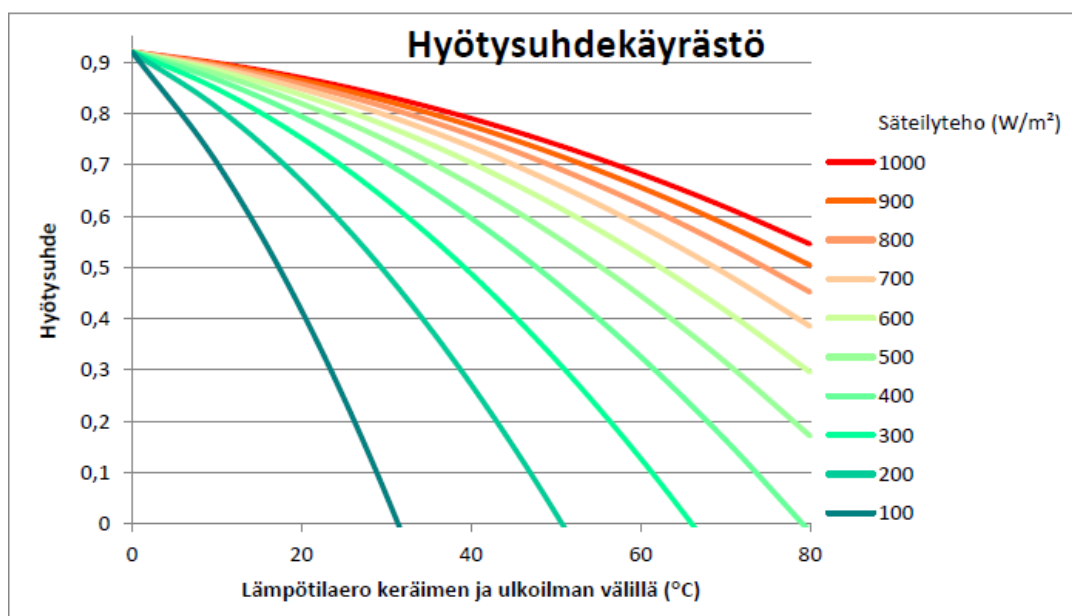


KUVA 3. SF100-03-DS aurinkokeräin (Kilgast)

Keräimen runko on valmistettu korroosionkestävästä anodisoidusta alumiiniprofiilista ja kulmapalat ovat muovia. Keräin on eristetty aurinko-sertifioidulla mineraalivillalla ja sen lasi on turvalasia. Keräin eroaa muista tasokeräimistä absorberinsa ansiosta. Siinä on monikanavainen suoravirtausabsorberi, joka on suulakepuristettua alumiinia. Absorberi on pinnoitettu selektiivisellä, optisella nanopinnoitteella. Keräimet on testattu EN 12975-standardin mukaisesti ja niille on myönnetty Solar Keymark-sertifikaatti. (Kilgast.) Keräimen piikkitehoksi on ilmoitettu  $0,9 \text{ kW/m}^2$ .

Aurinkopiirin ja LTO-piirin välinen lämmönsiirto tapahtuu levylämmönsiirtimellä. (LS3). LTO-piirissä on ennen levylämmönsiirrintä asennettu käsikäyttöiset linjasäätöventtiilit, jotta siirtimelle saadaan riittävä nestevirtaama (Koivukorpi). Aurinkopiirissä

kiertää propyleeniglykoli-vesiseos. Aurinkopiiri on varustettu omalla taajuusmuuttajakäyttöisellä pumpulla ja energiamittauksella. Pumpun käynti on lukittu lämpöpumpun käyntiin. Aurinkopiirin pumpun kierrosnopeutta muutetaan aurinkolämpöpiirin lämpötilojen mukaan. Keräimillä kiertävä liuos pyritään pitämään mahdollisimman matalassa lämpötilassa, mutta kuitenkin yli LTO-piirin lämpötilan, jotta energiaa siirtyisi. Keräimien hyötysuhde on sitä parempi mitä pienempi lämpötilaero vaikuttaa aurinkopiirin liuoksen ja ulkoilman välillä. (Koivukorpi.) Tämä näkyy myös kyseisen keräimen hyötysuhdekäyrästä (kuvio 3).

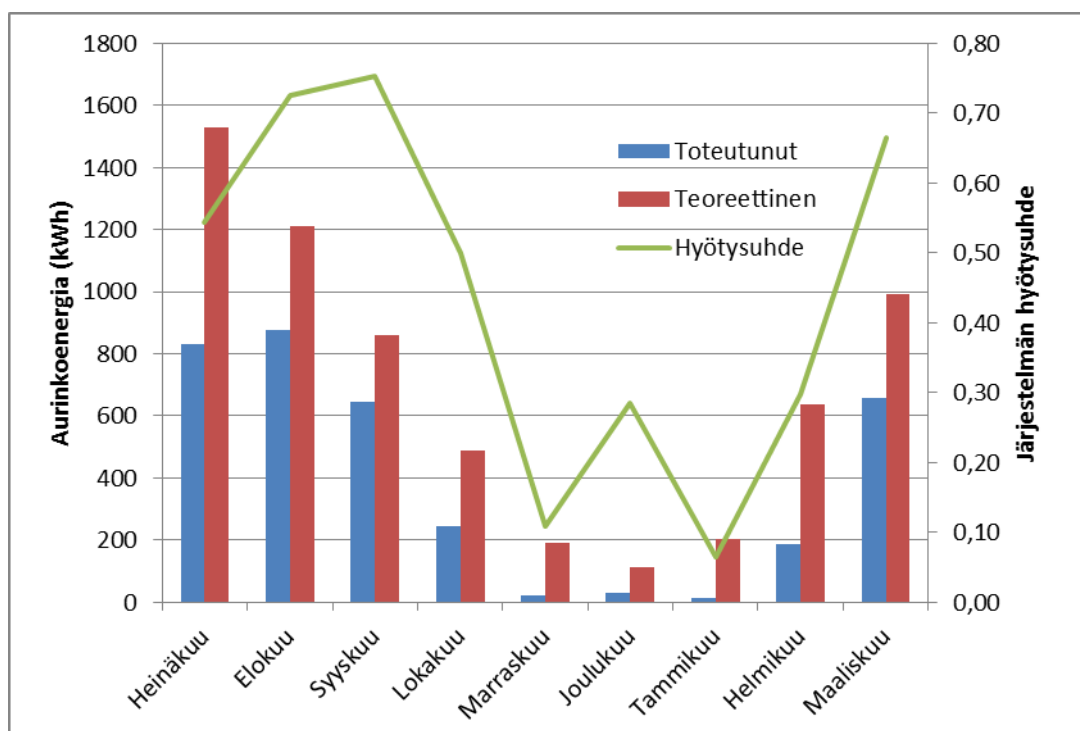


KUVIO 3. SF100-03 DS aurinkokeräimen hyötysuhdekäyrästä (Kilgast)

Kuten hyötysuhdekäyrästä nähdään, keräimen ja ulkoilman välisen lämpötilaeron lisäksi hyötysuhteeseen vaikuttaa voimakkaasti säteilyteho. Pieni lämpötilaero ja suuri säteilyteho takaavat parhaimman hyötysuhteen. Myös keräimen asennuskulma ja atsimuutti vaikuttavat hyödynnettävän lämpöenergian määrään. Asennuskulmalla ei kuitenkaan ole kovin suurta merkitystä, mikäli järjestelmä on mitoitettu oikein. Karkeasti arvioituna optimaalinen asennuskulma Suomessa on 45-60 astetta. (Kilgast.) Keräimet on pohjolankadulla asennettu 60 asteen kulmaan suoraan etelään. Muut rakennukset ja puusto eivät aiheuta varjostusta keräimille, joten varjostukset eivät heikennä hyötysuhdetta.

## 7.2 Tuotettu energia

Aurinkopiirissä olevan energiamittauksen ansiosta auringolla tuotetun energian määrästä saadaan todellista tietoa. Kuviossa 4 on esitetty kuukausittain tuotettu aurinkoenergia ja teoreettinen auringosta saatava maksimienergia kymmenen neliön järjestelmälle. Tuotetun aurinkoenergian määrä on saatu Talotohtori-palvelusta ja teoreettinen säteilyenergia on saatu PVGIS-laskentatyökalulla (PVGIS). Kuviossa on esitetty myös aurinkokeräinjärjestelmän toteutunut hyötysuhde, joka on saatu jakamalla tuotettu aurinkoenergia teoreettisella säteilyenergialla.



KUVIO 4. Tuotetun ja teoreettisen aurinkoenergian määrä kuukausittain 2014-2015

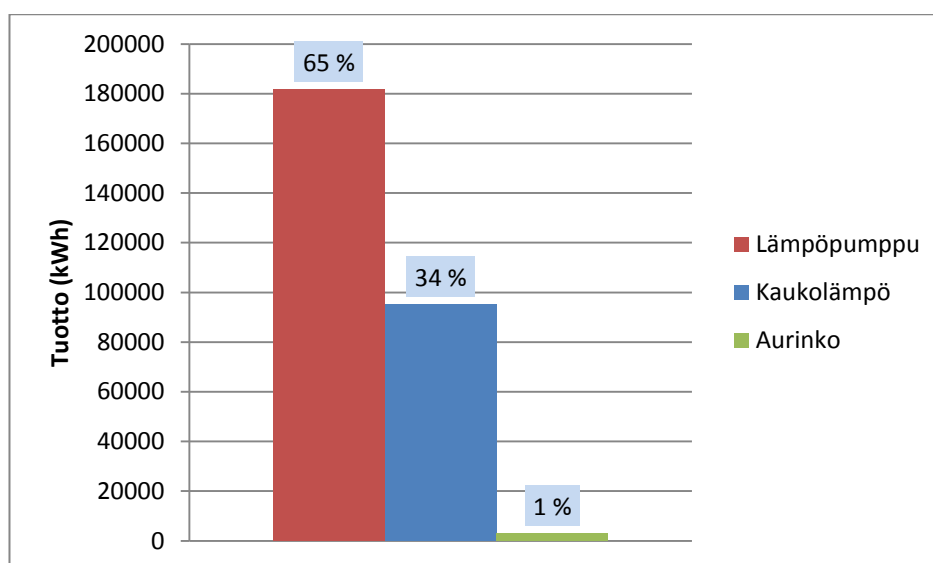
Kuten kuviosta nähdään, auringosta saatavan energian määrään vaikuttaa suuresti vuodenaika. Heinäkuussa kymmenen neliön järjestelmällä on mahdollista saada talteen aurinkoenergiaa yli 1500 kWh:a, kun taas joulukuussa jäädyään 100 kWh:iin. Tähän mennessä järjestelmällä on tuotettu eniten energiaa heinä- ja elokuussa, jolloin päästiin yli 800 kilowattituntiin.

Järjestelmän hyötysuhteen osalta parhaat kuukaudet ovat elo- ja syyskuu, jolloin päästiin yli 70 prosentin hyötysuhteeseen. Heinäkuussa tästä jäätii hieman, mikä on selitettävissä käyttöönoton jälkeisellä säädön optimoinnilla. Myös maaliskuussa päästiin lähelle 70 prosenttia. Loppusyksyn ja talven kuukausina hyötysuhde on ollut selvästi hei-

kompi. Keskimäärin tällöin on päästy 20 prosentin hyötysuhteeseen. Tämä on selitettävissä keräimen hyötysuhdekäyrästä (kuvio 3), jonka mukaan keräimien hyötysuhde pienenee säteilytehon pienentyessä. Keräimien ja ulkolämpötilan välisen lämpötilaeron vaikutus hyötysuhteeseen näkyy parhaiten kovimmilla pakkasilla ja helteillä. Lämpötilaeron vaikutuksen tarkka selvittäminen edellyttäisi päivittäistä tarkastelua.

Hyötysuhdekäyrästäön mukaisista hyötysuhteista jäädään yleisesti jonkin verran. Hyötysuhdekäyrästä kertoo vain yksittäisen keräimen hyötysuhteen kun tässä tarkastellaan koko aurinkopiirin hyötysuhdetta. Järjestelmän hyötysuhde on aina jonkin verran pienempi kuin yksittäisen keräimen hyötysuhde aurinkopiirin lämpöhäviöistä johtuen. Tässä tapauksessa hyötysuhdekäyrästä on myös vaikea hyödyntää, koska lämpötilaero keräimien ja ulkolämpötilan välillä on selvästi pienempi kuin kytkettäessä keräimet käyttövesivaraajaan, jolle käyrästä on luotu. Kytkettäessä keräimet suoraan käyttövesivaraajaan, järjestelmän tyypillinen hyötysuhde on noin 25-35 prosenttia (Kallioharju, Basics of solar heat). Pohjolankadun kytkennällä on päästy huomattavasti korkeampiin hyötysuhteisiin, joten aurinkokeräimien kytkentä pilp-järjestelmän LTO-piiriin on hyötysuhteeltaan hyvä ratkaisu.

Pohjolankadun aurinkokeräimet ovat tuottaneet heinäkuun 2014 alusta maaliskuun 2015 loppuun yhteensä 3514 kWh:a. Määrä on pieni, jos se suhteutetaan kokonaislämmöntarpeeseen. Kuviossa 5 on esitetty heinäkuun alusta maaliskuun loppuun tuotettu lämpöenergia lämpöpumpulla, kaukolämmöllä ja aurinkokeräimillä.



KUVIO 5. Pohjolankadulla tuotettu lämpöenergia heinäkuusta 2014 maaliskuun 2015 loppuun

Eniten lämpöenergiaa on tuotettu lämpöpumpulla, joka kattaa 65 prosenttia lämmöntarpeesta. Myös kaukolämmön osuus on huomattava. Kaukolämpö kattaa 34 prosenttia lämmöntarpeesta. Aurinkolämmön osuus jää noin prosenttiin.

Kymmenen neliön aurinkokeräinjärjestelmä on todella pieni verrattuna kiinteistön koon, mutta esimerkiksi keräinpinta-alan kasvattaminen kolmeenkymmeneen neliöön kattaisi silti vain noin 3 prosenttia lämmöntarpeesta. Aurinkolämpö toimii pilp-järjestelmän yhteydessä vain lisälämmönlähteenä. Suomessa auringon säteilyenergiaa saadaan keskimäärin 1 kWh neliömetriä kohden ja hyödynnettäviä auringonpaistetus- ja on vuodessa noin 1000 (Kallioharju, Basics of solar energy). Näin ollen auringosta on mahdollista saada energiaa talteen noin 1000 kWh:a neliömetriä kohden. Tämä muodostaa teoreettisen maksimin, joka auringosta on hyödynnettävissä. Vaikka keräimien oletettaisiin toimivan sadan prosentin hyötysuhteella, ei kymmenen neliön järjestelmän tuotto vuodessa riitä kattamaan Pohjolankadulla edes heinäkuun lämmöntarvetta (10857 kWh).

## 7.3 Kannattavuus

### 7.3.1 Nykyinen järjestelmä

Pohjolankadun aurinkokeräimet ovat tuottaneet lämmitysenergiaa yhteensä 3514 kilowattituntia yhdeksässä kuukaudessa (heinäkuu 2014-maaliskuu 2015). Tässä ajassa olisi säteilyenergian perusteella ollut maksimissaan hyödynnettävissä 6221 kilowattituntia. Järjestelmän keskimääräinen hyötysuhde on siten ollut 56 prosenttia. Maalis- heinä- ja elokuussa keskimääräinen hyötysuhde on ollut 65 prosenttia. Mikäli ajatellaan järjestelmän toimivan kesäaikana tällä hyötysuhteella, tuottaisi se huhtikuun alusta kesäkuun loppuun mennessä 2596 kilowattituntia. Näin ollen koko vuoden tuotto olisi 6110 kilowattituntia.

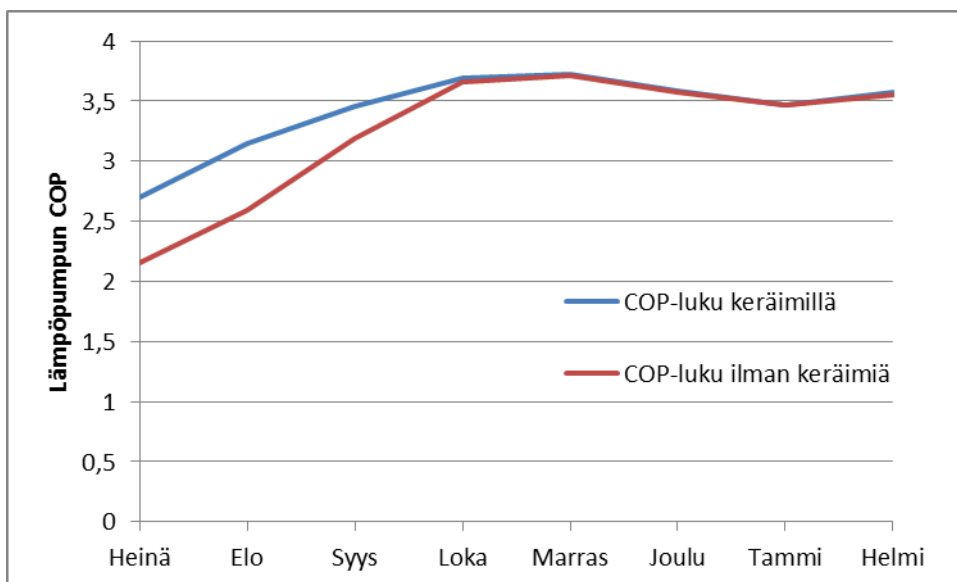
Kytettäessä aurinkokeräimet LTO-piiriin niistä saatava hyöty näkyy lämpöpumpun parantuneessa COP-luvussa. COP-luku paranee, koska keräimistä siirtyy siirtimen välityksellä LTO-nesteeseen lämpöenergiaa, joka on lämpöpumpun hyödynnettävissä. Näin ollen aurinkoenergia korvaa tässä tapauksessa sähköenergiaa. Aurinkokeräimien vaikutusta COP-lukuun on tarkasti hankala määrittää, koska pitäisi tutkia LTO-nesteen läm-

pötilaa ennen siirrintä ja siirtimen jälkeen. Näin tarkka tarkastelutapa vaatisi prosessin jatkuvaa simulointia.

Liitteessä 6 on esitetty Talotohtorista otetut kuvaajat, joista nähdään, miten aurinkokeräimet nostavat LTO-nesteen lämpötilaa. Kun aurinko alkaa paistaa, kytkeytyy aurinkopiirinpumppu päälle. Näin keräimissä lämmenyt neste alkaa luovuttaa lämpöä siirtimen välityksellä LTO-nesteeseen (Liitteen kuva 1), jonka lämpötila alkaa tasaisesti nousta. Ennen aurinkopiirinpumpun päälle kytkeytymistä LTO-nesteen tulolämpötila oli keskimäärin 10 astetta, kunnes se aurinkokeräimien vaikutuksesta nousi noin 20 asteeseen. Liitteen toisesta kuvasta nähdään keräimien vaikutus LTO-nesteeseen kesällä, jolloin vain käyttöveden esilämmitys on toiminnassa. Päivisin keräimet pitävät LTO-piirin tulolämpötilan keskimäärin 25 asteessa. Lämpötilaa ei voi nostaa kyseisessä lämpöpumpumallissa 25 asteen yli kylmäaineen höyrystymisominaisuuksien vuoksi (Väätänen). Öisin LTO-nesteen lämpötila nousee kohti aurinkokeräimien lämpötilaa, koska pilp-järjestelmä on pois päältä käyttöveden pienen kulutuksen vuoksi.

Yksinkertaistuksen vuoksi tässä työssä on ajateltu kaiken aurinkokeräimillä tuotetun energian siirtyvän lämpöpumpun tuottamaan energiaan energian häviämättömyyteen perustuen. Todellisuudessa saattaa aurinko- ja LTO-piirin välisessä siirtimessä sekä lämpöpumpun höyrystimessä ja lauhduttimessa syntyä pientä häviötä.

Jos aurinkokeräimien tuottaman energian ajatellaan siirtyvän kokonaisuudessaan lämpöpumpun tuottamaan energiaan ilman häviöitä, on COP-luku parantunut esimerkiksi heinäkuussa 0,55 COP-yksiköllä keräimien ansiosta. Kuviossa 6 on esitetty aurinkokeräimien vaikutus COP-lukuun kuukausittain heinäkuusta 2014 helmikuuhun 2015.



KUVIO 6. Aurinkokeräimien arvioitu vaikutus COP-lukuun 2014-2015

Aurinkokeräimien vaikutus COP-lukuun on kesäkuukausina suurempi, koska tällöin aurinkoenergiaa on enemmän saatavilla. Vielä syyskuussakin vaikutus on 0,27 yksikköä. Muina tarkastelukuukausina vaikutusta ei käytännössä ole. COP-luku heinäkuun ja helmikuun välisenä ajanjaksona on ollut 3,55. Kun lasketaan COP-luku ilman aurinkokeräimiä samana ajanjaksona, saadaan 3,48. Keräimien kokonaisvaikutus COP-lukuun jää talvikuukausien vuoksi pieneksi.

Aurinkokeräimien energiantuotto ja elinkaarianalyysi oletuksineen on esitetty liitteessä 7. Laskennan pohjana on käytetty edellä kuvatulla menetelmällä saatua arviota aurinkokeräimien hyödystä. Enermix Oy:n mukaan keräinjärjestelmän investointi oli yhteensä 10 000 euroa (verollinen hinta). Mikäli liitteessä mainitut oletukset toteutuvat, on investointi kannattamaton kyseisten aurinkokeräimien 25 vuoden tekniseen käyttöikänsä nähdessä. Tällöin investoinnin nykyarvo jää lähes 3400 euroa tappiolle ja takaisinmaksuajaksi tulee 34 vuotta. Pitää kuitenkin muistaa, että Pohjolankatu on saanut investointitukea EU-GUGLE -projektin ansiosta. Kun tämä otetaan huomioon, tulee järjestelmä maksamaan itsensä takaisin teknisen käyttöikänsä puitteissa. Esimerkiksi 50 prosentin investointituella takaisinmaksuajaksi tulee 20 vuotta.

### 7.3.2 Keräinpinta-alan lisäyksen kannattavuus

Pohjolankadulla on harkittu aurinkokeräinpinta-alan lisäystä katolle. Katolle mahtuisi vielä monta neliötä lisää, joten lisäys olisi mahdollista toteuttaa. Lisäksi nykyinen järjestelmä on mitoitettu putkikooltaan ja pumpultaan väljäksi. Näin ollen mahdollinen tuleva investointi tulisi halvemmaksi, koska keräimet voidaan liittää olemassa olevaan järjestelmään.

Nykyinen aurinkokeräinjärjestelmä on toiminut hyvällä hyötysuhteella ja energian tuotto on ollut hyvällä tasolla suhteessa järjestelmän kokoon. Elinkaarianalyysistä kuitenkin nähdään, ettei järjestelmän tuottavuus korvattavaan energiamuotoon nähden ole riittävää, jotta takaisinmaksuaika muodostuisi riittävän lyhyeksi. Ongelmana ei ole järjestelmän tuottavuus, vaan vertailtavan energialähteen edullisuus. Pilp-järjestelmä tuottaa energiaa hyvällä hyötysuhteella ja koska sähkönhintaa on toistaiseksi pidetty Suomessa verrattain kohtuullisella tasolla, ei aurinkoenergian tuottaminen ole riittävän edullista.

Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa kuitenkin monet eri tekijät ja mikäli esimerkiksi sähkön hinta kallistuu arvioitua nopeammin, takaisinmaksuaika lyhenee. Suomessa on myös mahdollista hakea uusiutuvan energian investointitukea, jolloin tilanne muuttuu oleellisesti ja kannattavuus on tarkasteltava uudelleen. Lisäksi on huomattava, että tässä työssä käytetty menetelmä arvioida aurinkokeräimien vaikutusta lämpöpumpun COP-lukuun on vain suuntaa antava. Ennen investointipäätöstä on syytä tutkia keräimien toimintaa pidemmällä aikavälillä. Merkittäviä ovat kesäkuukaudet, jotka käytännössä ratkaisevat järjestelmän tuottavuuden.

Investointipäätöstä tehdessä on myös muistettava muut kuin taloudelliset näkökulmat. Aurinkoenergian käyttöä puoltaa energialähteen ympäristöystävällisyys ja omavaraisuus.

## **8 TARKISTUSMITTAUS**

### **8.1 Tausta**

Lämpötila-antureiden sijainti laitteessa voi vaikuttaa jonkin verran mittaustulokseen. Vertailun vuoksi on hyvä tehdä omia mittauksia, jotta näkee eri mittaustapojen vaikutuksen tuloksiin.

Pohjolankadulla tehtiin lämpötilamittaus liiketilan LTO-huippuimurista (PF3). Tarkoituksena on vertailla omia mittaustuloksia Talotohtorista saataviin vastaaviin arvoihin. Oletuksena oli, että mittaustulokset vastaavat hyvin toisiaan.

### **8.2 Mittaus**

Poistoilman lämpötila mitattiin ennen LTO:ta ja LTO:n jälkeen. Mittalaitteena toimi Testo 175 T3. Mittalaitteen virhemarginaali on puoli astetta suuntaansa (Testolimited). Anturit olivat k-tyyppiä. Talotohtoriin tulee mittaustietoja minuutin välein, joten myös tarkistusmittaukseen valittiin mittausväliksi minuutti. Näin tulokset ovat helposti vertailtavissa. Mittaus aloitettiin 21.1.2015 klo 17:30 ja lopetettiin 26.1.2015 klo 18.00. Mittalaitteet näkyvät kuvassa 4 LTO-huippuimurin kannen ollessa auki.

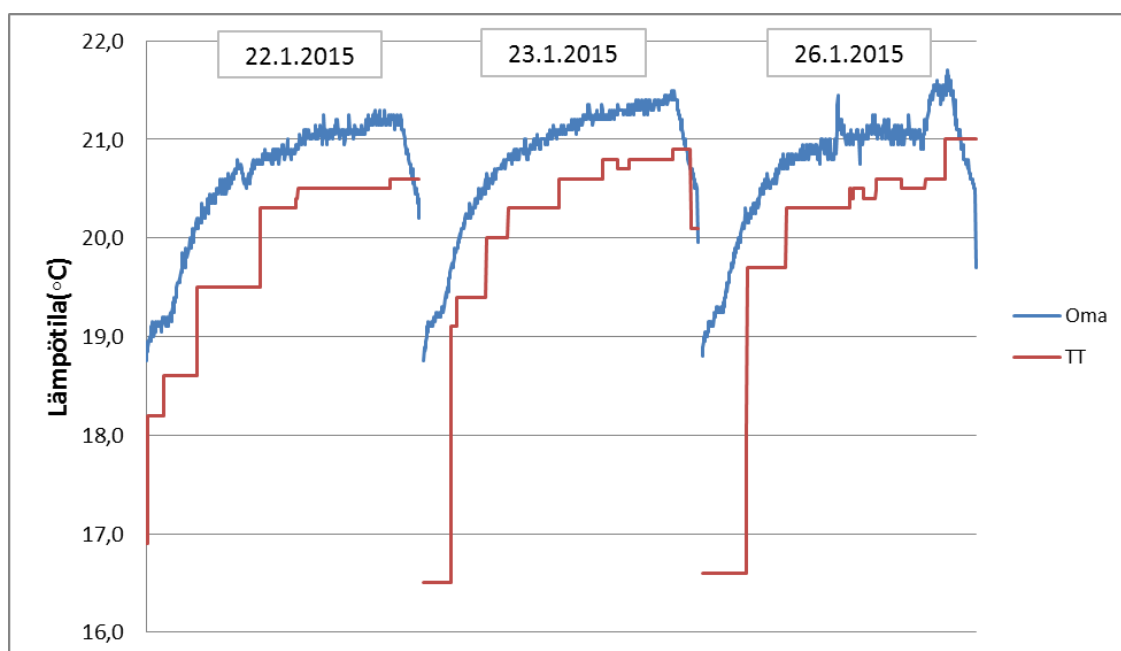


KUVA 4. Poistoilman lämpötilamittaus LTO-huippuimurista (Kuva: Mikael Lehtinen 2015)

### 8.3 Mittaustulokset ja vertailu Talotohtoriin

Tarkistusmittauksen tulokset ja talotohtorista (TT) saadut vastaavat arvot on esitetty kuvioissa 7 ja 8. Tulokset ovat kahden eri mittauspisteen keskiarvoja. Kuvioissa on esitetty mittaustulokset vain puhaltimen (PF3) ollessa käynnissä. Kyseinen puhallin toimii arkisin kello 7-17.

Kuviossa 7 on esitetty poistoilman lämpötila ennen lämmöntalteenottoa.

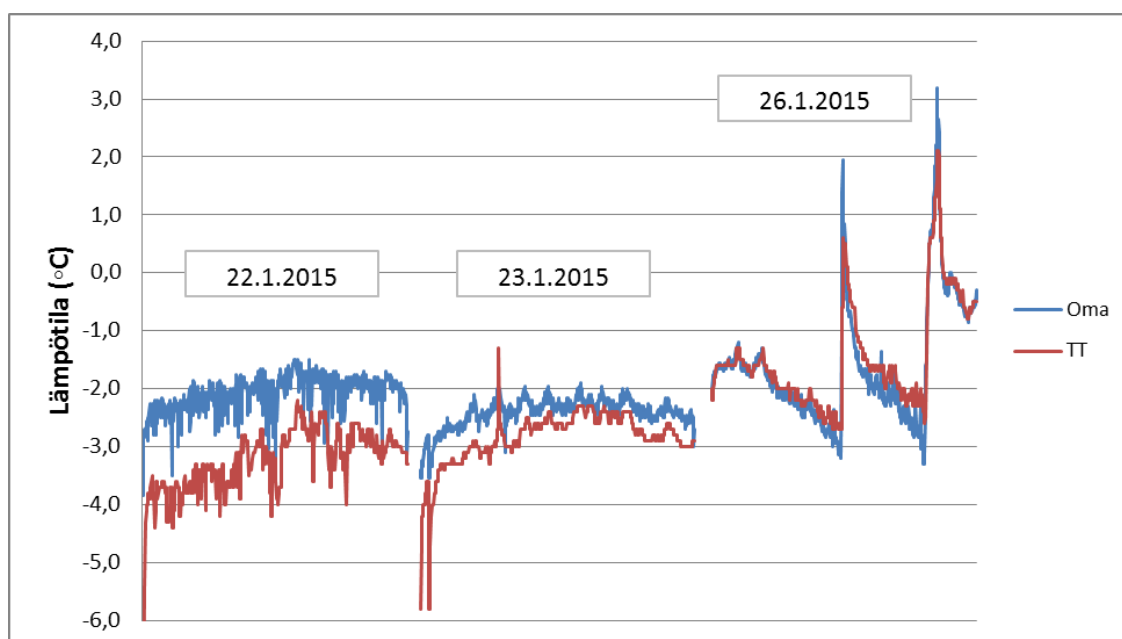


KUVIO 7. Poistoilman lämpötila ennen LTO:ta

Lämpötilakäyrät ovat jokaisena päivänä samanmuotoisia. Mitä kauemmin puhallin on ollut käynnissä sitä korkeammalle tasolle lämpötila asettuu. Tämä on selitettävissä liiketilan lämpötilan pienellä nousulla päivän mittaan sekä puhallinmoottorin lämpöhäviöllä.

Tarkistusmittauksessa poistoilman lämpötila ennen lämmöntalteenottoa saavuttaa noin 21,5 asteen lämpötilan, kunnes se alkaa jälleen laskea puhaltimen pysähtyttyä. Talotohtorin mukaan lämpötila nousee vajaaseen 21 asteeseen. Lämpötilaerot tarkistusmittauksen ja Talotohtorin mittauksen välillä pysyvät kokoajan noin puolessa asteessa lukuun ottamatta alkuhetkeä, jolloin anturin etäisyys puhaltimesta korostuu. Puhaltimen käynti tasoittaa lämpötilaeroa huomattavasti lämpimän ilman jakaantuessa tasaisemmin.

Kuviossa 8 on esitetty poistoilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen.



KUVIO 8. Poistoilman lämpötila LTO:n jälkeen

22.1 ja 23.1 tarkistusmittauksen lämpötila asettui keskimäärin -2,5 asteeseen ja Talotohtorin mukaan lämpötila oli keskimäärin -3 astetta. Viimeisenä mittauspäivänä mittauksien lämpötilaerot olivat erittäin pienet. Tämä on selitettävissä ulkoilman lämpötilalla. Mittausanturit lämmöntalteenoton jälkeen ovat erittäin lähellä ulkoilmaa. Mitä kylmempää ulkoilma on sitä enemmän se häiritsee mittaustulosta. Viimeinen mittauspäivä oli peräti yhdeksän astetta lämpimämpi kuin ensimmäinen (Accuweather). Se selittää lämpötilaerojen pienenemisen.

Tarkistusmittauksessa pyrittiin asettamaan anturit suunnilleen samalle etäisyydelle Talotohtorin anturien kanssa. Anturit asennettiin kuitenkin hieman eri paikkaan. Anturit asennettiin aina vastakkaisille puolille puhallinta, jotta mittauksen keskiarvosta tulisi mahdollisimman todenmukainen. Jo pelkästään tarkistusmittauksessa lämpötilaerot poikkesivat toisistaan puolesta asteesta asteeseen. Anturien etäisyydellä neulaputkeen tuntuisi olevan verrattain suuri merkitys erityisesti lämmöntalteenoton jälkeen. Näin ollen tarkistusmittauksen ja Talotohtorin lämpötilamittauksien lämpötilaeroa voi pitää erittäin pienenä, kun otetaan huomioon lisäksi mittalaitteesta ja mittaustavasta muodostuva virhemarginaali.

## 9 SISÄILMAN LAATU

### 9.1 Laatunäkökulma

Kun tehdään ilmanvaihtoon liittyvää saneerausta, on aina otettava huomioon sen vaikutus myös sisäilman laatuun. Energiatehokkuutta tavoiteltaessa sisäilman laatu ei saa koskaan kärsiä. Ilmanvaihdon toimivuudella on ensisijaisen tärkeä vaikutus rakennuksen sisäilmaan (Sisäilmayhdistys, Sisäilman tekijät). Hyvä sisäilma vähentää sairauksia, lisää viihtyisyyttä ja parantaa työtehoa (Sisäilmayhdistys, Sisäilman vaikutukset). Näiden asioiden vuoksi sisäilman tutkiminen on tärkeää.

Pilp-järjestelmän lisääminen ei sinällään liity sisäilman laatuun vaan lähinnä energiatehokkuuteen. Remontin yhteydessä ilmanvaihtojärjestelmää joudutaan kuitenkin jonkin verran muuttamaan. Kun koneelliseen poistoilmanvaihtoon lisätään lämmöntalteenotto, menevät poistoilmapuhaltimet usein vaihtoon. Puhaltimen vaihdon yhteydessä olisi hyvää tarkistaa ilmanvaihdon riittävyys muutamalla mittauksella, vaikka alkuperäistä ilmavirtaa ei muutettaisi. Näin sisäilman laatu tulee päivitettyä ja varmistettua. Tutkittavissa kohteissa poistoilmapuhaltimen kierrosnopeuden ohjaustapa muutettiin lämpötilakäyrään perustuvaksi. Kovilla pakkasilla kierrosnopeutta alennetaan, jolloin ilmavirta pienenee. Tällaisessa tapauksessa ilmanvaihdon riittävyys on varmistettava myös kylmällä säällä.

Ilmanvaihdon riittävyyttä voidaan tutkia muun muassa hiilidioksidipitoisuutta mittaamalla. Huoneilman korkea hiilidioksidipitoisuus kertoo liian pienestä ilmanvaihdosta. Vaikka hiilidioksidipitoisuus ei sellaisenaan olisikaan haitallisen korkea, voidaan sitä käyttää kuvaamaan ilman laatua, koska hengityksen ja ihon kautta vapautuvien epäpuhtauksien määrä on likimain verrannollinen hiilidioksidin tuottoon (Sandberg.) Sisäilman hiilidioksidipitoisuus tavanomaisissa sääoloissa ja huonetilan käyttöaikana on yleensä enintään  $2160 \text{ mg/m}^3$  (1200 ppm) (Ympäristöministeriö, SrakMK D2, 7). Sisäilmayhdistyksen mukaan tyydyttävänä sisäilmatasona pidetään pitoisuutta alle 1500 ppm (Sisäilmayhdistys, kemialliset epäpuhtaudet). Pohjolankadulla tehtiin mittauksia, jotta selviäisi, onko ilmanvaihto riittävää ja alittuvatko kyseiset maksimi-arvot.

## 9.2 Hiilidioksidimittaus

### 9.2.1 Toteutus

Hiilidioksidimittaukset tehtiin Netatmo weather station –mittausmenetelmällä. Menetelmä sisältää kaksi erillistä mittaria (kuva 5), joista toinen on tarkoitettu sisälle ja toinen ulos. Myös ulkomittaria voi käyttää sisällä. Kummallakin mittarilla mitataan lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Sisämittarilla voi lisäksi mitata hiilidioksidia, ilman painetta ja äänitasoa. Virhemarginaali hiilidioksidipitoisuudelle on 50 ppm:ää suuntaansa ja mittausväli on viisi minuuttia (Netatmo, Specifications). Mittalaite tallentaa mittaus-tiedot omaan pilvipalveluunsa langattoman verkon välityksellä.

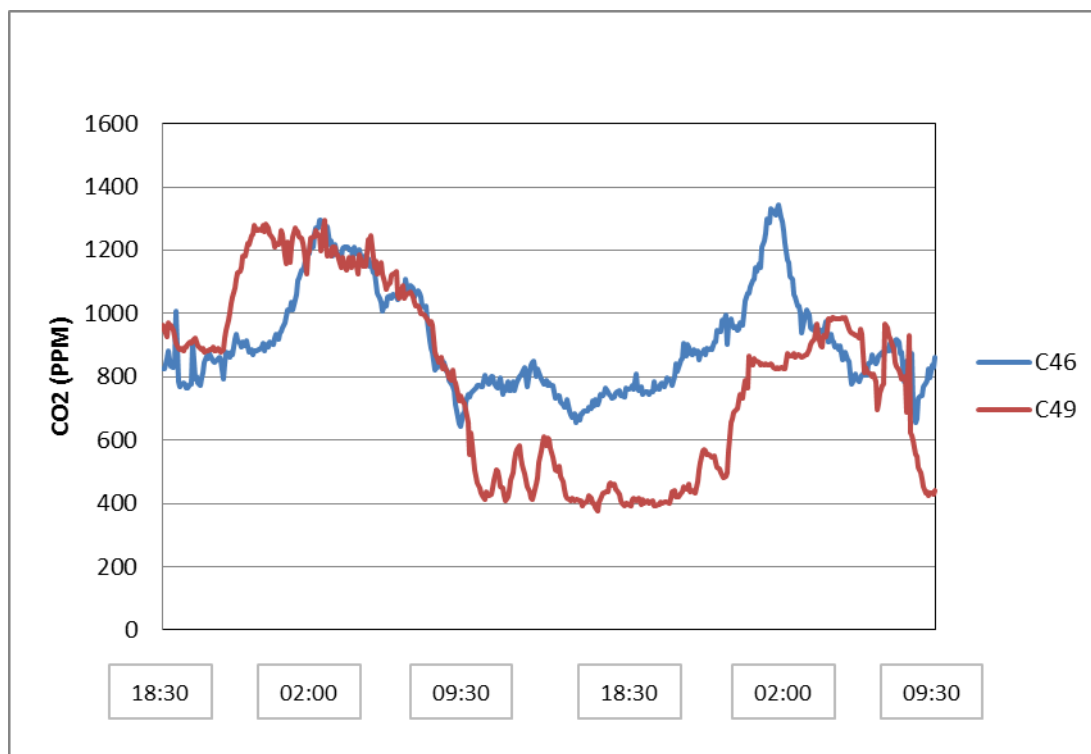


KUVA 5. Netatmo mittalaitteet (Netatmo, Product)

Hiilidioksidimittaukset toteutettiin Pohjolankadulla asunnoissa C46 ja C49. Mittauspaikaksi valittiin makuuhuone, koska siellä vietetään pitkä, yhtäjaksoinen aika. Mittaus tehtiin jatkuvalla loggauksella kahden vuorokauden ajalta. Näin hiilidioksidipitoisuuden vuorokautiset vaihtelut tulivat hyvin esille.

### 9.2.2 Tulokset

Kummankin huoneen mitatut hiilidioksidipitoisuudet on esitetty kuviossa 9 ajan funktiona. Mittaukset aloitettiin 26.1.2015 kello 18:30 ja lopetettiin 28.1.2015 klo 9:30.



KUVIO 9. Asuntojen hiilidioksidipitoisuudet

Muodostuneen kuvion mukaan hiilidioksidipitoisuus makuuhuoneessa on selvästi suurempi yöllä kuin päivällä. Tämä on luonnollista, koska yöllä makuuhuoneessa vietetään yhtäjaksoisesti pitkä aika. Asunnossa C46 pitoisuus nousee kumpanakin yönä korkeimmillaan noin 1300 ppm:ään. Myös asunnon C49 pitoisuus nousee ensimmäisenä yönä lähelle 1300 ppm:ää, mutta toisena yönä jäädyään 1000 ppm:ään. Päivällä pitoisuudet laskevat asunnossa C46 keskimäärin 800 ppm:ään ja asunnossa C49 keskimäärin 500 ppm:ään.

Makuuhuoneen hiilidioksidipitoisuuteen vaikuttaa luonnollisesti siellä vietettävä aika ja siellä nukkuvien määrä. Tarkasteltavissa huoneissa nukkui kummassakin kaksi henkilöä. Lisäksi pitää huomioida, pidetäänkö makuuhuoneen ovea auki vai kiinni. Oven ollessa auki pitoisuus tasoittuu jonkin verran muiden huoneiden kanssa. Myös tuuletuskunan avaaminen pienentää hiilidioksidipitoisuutta.

Edellä mainitut huoneen käyttötavat vaikuttavat siis huomattavasti hiilidioksidipitoisuuteen, mikä on otettava huomioon tulkittaessa ilmanvaihdon riittävyyttä. Kun otetaan huomioon sekä yö- että päiväaika ja lasketaan mitatuista tuloksista keskiarvo, saadaan asunnon C46 makuuhuoneelle tulokseksi 908 ppm:ää ja C49:lle 793 ppm:ää. Keskimääräiset arvot jäävät siis selvästi alle rakennusmääräyskokoelman suosituksen (Ympäristöministeriö, SrakMK D2, 7). Oleellisinta on tarkastella pitoisuuksia siltä ajalta, kun huoneessa ollaan. Tässä tapauksessa kyseinen aika on yöllä. Yöllä suositus (1200 ppm) ylitetään hetkellisesti, mutta jäädään kuitenkin selvästi alle Sisäilmayhdistyksen ilmoittaman välttävän tason (1500 ppm). Näin ollen ilmanvaihto on kyseisissä huoneissa riittävää. Mikäli asiaa haluaisi tutkia tarkemmin, mitattavien huoneiden määrää tulisi lisätä huomattavasti. Jo nyt on kuitenkin nähtävissä, ettei sisäilman laatua ole laiminlyöty. On kuitenkin syytä muistaa, että kyseinen mittaustulos pätee vain mittausajan ulkolämpötiloilla. Mittausten aikana ulkolämpötila oli suunnilleen nollassa asteessa, jolloin poistoilmapuhallin käy normaalilla kierrosnopeudellaan. Hiilidioksidipitoisuutta olisi hyvä tutkia myös kovilla pakkaskeleillä, jotta varmistutaan, ettei kierrosnopeuden ohjauskäyrä ole liian jyrkkä, pienentäen ilmavirtaa liiaksi.

## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

### 10.1 Johtopäätökset

Jokaisessa kohteessa on pilp-järjestelmän ansiosta päästy merkittäviin energiansäästöihin. Säästöt kuitenkin vaihtelevat kohteiden välillä samanlaisesta järjestelmästä riippumatta. Saavutetut suhteelliset säästöt vaihtelevat myös kuukausittain.

Oleellisinta on tutkia lämmitysenergian kokonaissäästöjä kaukolämmössä saavutettujen säästöjen sijaan. Tutkittavista kohteista Pohjolankadulla on päästy selvästi suurimpiin energiansäästöihin. Pohjolankadun säästöt vertailukuukausina (lokakuu 2014-helmikuu 2015) ovat keskimäärin peräti 60 prosenttia. Murole jää Pohjolankadusta keskimäärin 20 prosenttia ja Actif puolestaan Murolesta 10 prosenttia. Actifin keskiarvossa ei ole huomioitu lokakuuta, koska järjestelmän käyttöönotto oli kuun puolivälissä.

On tärkeää huomioda, että pilp-järjestelmässä lämmöntalteenotto ei ole ainoa säästöjä tuova tekijä. Talteenotetun energian hyödyntäminen nimenomaan lämpöpumpun välityksellä tekee energiantuotannosta tehokasta. Lisäksi suuri osuus säästöistä on ilmavirran ohjaustavan muutoksella. Kun poistoilmavirtaa ohjataan ulkolämpötilan mukaan pienentämällä puhaltimien kierrosnopeutta kylmällä säällä, pienenee lämmöntarve oleellisesti. Ilmavirran ohjauksesta saatavat säästöt näkyvätkin parhaiten kylmällä säällä, joten jokaisessa kohteessa suhteellisesti suurimmat säästöt on saavutettu tammi- ja helmikuussa. Tähän on pientä vaikutusta myös eri vuosien säällä, koska mittaustalvi oli muutaman asteen leudompi suhteessa vertailuvuosiin.

Vertailtaessa kohteiden pilp-järjestelmillä saavutettuja energiansäästöjä toisiinsa pitää ensin selvittää, onko lämmitystarve pysynyt samana suhteessa vanhan lämmitysjärjestelmän aikaiseen. Lämmitystarve on pienentynyt Pohjolankadulla erityisen paljon liiketilän uudistetun ilmavirran ohjauksen ansiosta. Nykyään poistoilmanvaihto toimii koneellisesti vain liikkeen auki ollessa. Tämä aiheuttaa suuret säästöt, koska lämmitettävää korvausilmaa tulee vuorokaudessa huomattavasti entistä vähemmän. Pohjolankadun lämmitystarve on pienentynyt myös käyttövedenkulutuksen pienenemisen seurauksena. Vuonna 2013 asennetut venttiilit ovat pienentäneet vedenkulutusta peräti 15 prosenttia. Lisäksi on huomioitava, että Pohjolankadun säästöjä verrataan erivuosiin kuin Muroles-

sa ja Actifissa. Tästä johtuen Pohjolankadun lukemat paranevat leudomman sään vuoksi enemmän kuin muissa kohteissa erityisesti helmikuussa (liite 4).

Kun lämmitystarpeen muutoksen vaikutukset energiansäästöihin ottaa pois, tasoittuvat säästöerot kohteiden välillä huomattavasti. Esimerkiksi helmikuussa Pohjolankadun lämmöntarve on pienentynyt lähes 40 prosenttia kun taas Actifissa vain 20 prosenttia. Lämmitystarpeen muutoksista huolimatta Actif jää muiden kohteiden energiansäästöistä. Tämän on selitettävissä pilp-järjestelmän koolla suhteessa rakennuksen kokoon ja sitä kautta poistoilmavirtoihin. Actifin lämpöpumppu on pienin suhteessa rakennuksen kokoon, joten siellä kaukolämmöllä joudutaan kattamaan suurempi osa lämmitystarpeesta.

Pohjolankadulla olevien aurinkokeräimien vaikutus Pohjolankadun parhaimpiin säästölukemiin jää verrattain vähäiseksi. Järjestelmä on toiminut kytkentätavan ansiosta hyvällä hyötysuhteella, mutta aurinkoenergian osuus lämmitystarpeen kattamisesta jää vain prosenttiin. Nykyinen keräinjärjestelmä on niin pieni suhteessa rakennuksen kokoon, ettei sen kapasiteetti riitä kuin lisälämmönlähteeksi. Nykyinen keräinjärjestelmä ei todennäköisesti tule maksamaan itseään takaisin teknisen käyttöiän puitteissa, mikäli ei oteta huomioon investointitukia. Keräinpinta-alan kasvattaminen voi silti olla kannattavaa investointikustannusten pienentyessä liitettäessä keräimiä olemassa olevaan järjestelmään.

Pilp-järjestelmän takaisinmaksuajan pystyy arvioimaan vasta, kun mittaustietoja on saatavilla koko vuoden ajalta. Enermix Oy:n mukaan järjestelmän tyypillinen takaisinmaksuaika on viidestä kymmeneen vuoteen. Kohteen koko on suurin yksittäinen vaikuttava tekijä takaisinmaksuaikaan. Kun kohde on iso, investointikustannus tulee suhteellisesti halvemmaksi poistoilmavirtojen ollessa suuret. Näin ollen Actifin pilp-järjestelmä tulee luultavasti maksamaan itsensä nopeimmin takaisin absoluuttisten energiansäästöjen ollessa suurimmat. Saavutetut suhteelliset energiansäästöt eivät suoraan kerro järjestelmän taloudellisesta kannattavuudesta ja takaisinmaksuajasta.

Kun energiaremonttia tehdään, on energiansäästöjen lisäksi varmistettava laadullisten näkökulmien toteutuminen. Koska pilp-järjestelmän myötä vaihdetaan vanhat poistoilmapuhaltimet uusiin, on ilmanvaihdon riittävyys varmistettava. Tämä on tehtävä, jos ilmavirtoja tai ilmavirtojen ohjaustapaa muutetaan. Vaikka kumpaakaan ei tehtäisi, on

sisäilmaolosuhteet hyvä tarkistaa. Pohjolankadulla tehtyjen hiilidioksidimittausten perusteella voidaan todeta, että siellä ilmanvaihdon riittävydestä on huolehdittu.

Jotta tutkittujen kohteiden kaltaisiin energiasäästöihin päästään, lähtökohtana on järjestelmän mitoituksen onnistuminen. Suuri merkitys on myös järjestelmän valvonnalla ja etäohjausmahdollisuudella. Järjestelmän jatkuvalla valvonnalla ja säädöllä voidaan varmistaa, että järjestelmä toimii jatkuvasti optimaalisella tavalla. Tällöin myös tilaaja saa jatkuvasti reaaliaikaista tietoa järjestelmänsä toimivuudesta. Jotta tässä onnistutaan, on järjestelmään suunniteltava riittävästi mittauspisteitä. Energiamittausten lisäksi on toimintalämpötiloista ja virtaamista saatava riittävästi tietoa, jotta järjestelmää pystytään säätämään. Lämpöpumppu on pilp-järjestelmän keskeinen osa, joten COP-luku on ehdottomasti pystyttävä määrittämään. Myös mittareiden laatuun on kiinnitettävä huomiota. Esimerkiksi Pohjolankadun COP-luvun energiamittauksessa käytetyt ultraäänimittarit ovat toimineet moitteettomasti.

Saavutettavien säästöjen lisäksi on huomioitava järjestelmän käyttöiän maksimoiminen. Lämpöpumpulla ei välttämättä kannata tuottaa maksimilämpöistä vettä kaukolämmön kulutuksen minimoimiseksi. Kun lämpöpumppua ei käytetä äärirajoilla, kompressorien käyttöikä pitenee ja järjestelmän tuottavuus sen koko elinkaarena paranee.

Mietittäessä ensisijaisia energiansäästötoimenpiteitä vanhoille kerrostaloille, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa, osoittautui pilp-järjestelmä vartenotettavaksi vaihtoehdoksi. Tutkittavissa kohteissa pilp-järjestelmällä on vertailukuukausina saatu kaukolämmön kulutus pienenemään keskimäärin 54 prosenttia ja kokonaislämmityksen energiankulutus 42 prosenttia. Lisäksi järjestelmä on verrattain helppo asentaa sellaisiin kohteisiin, joissa lämmönjakohuoneessa on lämpöpumpulle ja varaajille riittävästi tilaa. LTO-huippuimurit voidaan tyypillisesti asentaa katolle vanhojen huippuimurien tilalle ja LTO-putket voidaan viedä lämpöpumpulle rakenteellisesti helpointa reittiä hyödyntäen, esimerkiksi porraskäytävän kulmassa koteloituna.

## 10.2 Pohdinta

Mielestäni pilp-järjestelmän energiatehokkuuden käsittely onnistui kokonaisuudessaan hyvin. Toin esille toteutuneet energiasäästöt monella eri tavalla. Kolmen kohteen käsit-

tely oli kannattavaa vertailun kattavuuden vuoksi. Lisäksi oli hyvä, että jokainen tutkiman kohde sijaitsee Tampereella. Näin paikkakunnista aiheutuvien sääerojen vaikutus energiasäästöihin tuli minimoitua. Myös Talotohtori-palvelun käyttö tuo varmuutta tuloksiin, koska vertailuissa on käytetty todellisia mittaustuloksia arvioiden sijaan. Energiasäästöjen eroihin löysin syitä ja samalla energiatehokkuuteen keskeisesti vaikuttavat tekijät tulivat esille.

LTO-piiriin liitettyjen aurinkokeräimien mukaan otto tutkimukseen oli hyödyllistä. Aurinkokeräimien kytkeminen osaksi LTO-piiriä ei tähän mennessä ole ollut yleistä. Siksi järjestelmän energiatehokkuuden tutkiminen oli erityisen tärkeää. Tehty elinkaariaanalyysi perustuu suurimmaksi osaksi todellisiin energiamittauksiin. Energiantuoton kannalta sitä voi pitää luotettavana. Epävarmuutta tarkasteluun tuo sähköenergian hinnan kehityksen arvioiminen.

Omat mittaukset LTO-huippuimurista ja huoneiden hiilidioksidimittaukset lisäsivät opinnäytetyön monipuolisuutta. Tarkistusmittaukset eivät jääneet irrallisiksi kappaleiksi, vaan liittyivät kokonaisuuteen. Sisäilmaolosuhteet on aina hyvä ottaa esille tehtäessä LVI:hin liittyvää saneerausta. Hiilidioksidipitoisuus olisi kuitenkin kannattanut mitata toteutettua kylmemmällä säällä, jolloin LTO-huippuimuri olisi käynyt pienemmällä teholla. Tällöin ilmanvaihdon riittävyys olisi tullut varmistettua myös kovilla pakkasilla.

Pilp-järjestelmän energiatehokkuuden mittaaminen ja analysointi monilla eri keinoilla osoittautui järkeväksi. Lasketuista ominaislämmönkulutuksista paljastui erot kohteiden välisissä energiatehokkuuksissa. Ominaislämmönkulutukseen vaikuttavat monet asiat ja erityisesti Actifissa kannattaisi harkita vakiopaineventtiilien asennusta vedenkulutuksen pienentämiseksi. Myös huonelämpötilojen lasku patteriverkoston tasapainotuksen yhteydessä olisi perusteltua.

Tarkastelusta olisi tullut kattavampi, mikäli tutkittavissa kohteissa olisi ollut pilp-järjestelmä käytössä kauemmin. Nyt vertailu rajoittui talvikuukausiin 2014-2015 ja järjestelmien toimivuus kesällä jäi tarkastelematta. Koko vuoden tarkastelussa olisi lämpöpumpulle saanut laskettua SPF-luvun ja koko järjestelmän takaisinmaksuajan ennustuksen. Lisäksi olisi ollut hyvä, jos jossain kohteessa olisi ollut kytkentäperiaatteeltaan tai laitteistoltaan selkeästi erilainen ratkaisu. Näin myös kytkentöjen ja laitteistojen ero-

ja ja vaikutusta energiatehokkuuteen olisi tullut tutkittua. Tämä olisi tuonut myös uutta näkökulmaa kytkentöjen suunnitteluun.

Murolessa ja Actifissa ilmennyt anturivika aiheutti tutkimukseen hieman ongelmia. Mikäli lämpöpumpun tuottamaa energiaa olisi saatu mitattua, olisi voinut tehdä kattavammat laskennat lämmitystarpeen mahdollisista muutoksista suhteessa vertailuvuosiin. Se olisi tuonut varmuutta tehtyihin oletuksiin pilp-järjestelmällä saaduista säästöistä. Myös COP-lukujen vertailu muodostui samasta syystä hankalaksi. Mikäli kaikista kohteista olisi saanut COP-luvut joka kuukaudelta, olisi voinut tutkia käytettävien lämpötilatasojen prosentuaalista vaikutusta siihen.

Todennäköisesti pilp-järjestelmien lisäykset kaukolämmön rinnalle yleistyvät entisestään tulevaisuudessa. Saneerauskanta on laaja ja koneellisella poistoilmanvaihdon varustetut kerrostalot alkavat olla niin vanhoja, että niihin pitää todennäköisesti tehdä muitakin saneerauksia. Pilp-järjestelmän energiatehokkuutta onkin syytä tutkia myös jatkossa. Laitteiston tekninen käyttöikä on pitkä, joten laitteiston optimaalinen toiminta on varmistettava sen koko elinkaarena. Jo olemassa olevien, valvomoon kytkemättömien, järjestelmien oikea toiminta olisi syytä varmistaa tasaisin väliajoin. Tällöin säästöt saadaan maksimoitua.

## LÄHTEET

Accuweather. Tampere. Luettu 31.1.2015.

<http://www.accuweather.com/fi/fi/tampere/134771/january-weather/134771>

Enermix. Kerrostalon poistoilman lämmöntalteenotto. Tulostettu 8.1.2015.

<http://www.enermix.fi/kerrostalon-poistoilman-talteenotto>

Eu-gugle. Tampere: Ensimmäinen pilottikohde valmis. Luettu 9.1.2015.

<http://eu-gugle.eu/fi/tampere-ensimmainen-pilottikohde-valmis/>

Fraunhofer. ISE. Heat pump efficiency. Final report. Tulostettu 4.2.2015.

[http://wp-effizienz.ise.fraunhofer.de/download/final\\_report\\_wp\\_effizienz\\_en.pdf](http://wp-effizienz.ise.fraunhofer.de/download/final_report_wp_effizienz_en.pdf)

Heinonen, J. toimitusjohtaja, Enermix Oy. 2015. Haastattelu 10.3.2015. Haastattelija Lehtinen, M. Tampere.

Heinonen, J. toimitusjohtaja, insinööri. 2015. Opinnäytetyö. Sähköpostiviesti. janne.heinonen@enermix.fi. Luettu 31.1.2015.

Ilmalämpöpumput. Mikä ihmeen ilmalämpöpumppu. Energian säästö. Luettu 6.2.2015.

<http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/energian-saasto>

Jarmas, T. isännöitsijä. 2015. Opinnäytetyö. Sähköpostiviesti. tapani.jarmas@tamis.fi. Luettu 15.1.2015.

Kallioharju, K. lehtori. 2015. Basics of solar energy. Luento. 3.2.2015. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

Kallioharju, K. lehtori. 2015. Basics of solar heat and solar heat in domestic buildings. Luento. 10.2.2015. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

Kevox. Tuotteet. Wisepro. Luettu 24.2.2015.

<http://www.kevox.fi/tuotteet/wisepro/>

Kilgast, M. Sähköpostiviesti. miika.kilgast@savosolar.fi. Luettu 5.2.2015.

Koivukorpi, J. lvi-suunnittelija. 2015. Opinnäytetyö. Sähköpostiviesti. joni.koivukorpi@rejlers.fi. Luettu 13.1.2015.

Motiva. Lämpöä kotiin keskitetysti. Tulostettu 7.3.2015.

[http://www.motiva.fi/files/7963/Lampoa\\_kotiin\\_keskitetysti\\_Kaukolampo.pdf](http://www.motiva.fi/files/7963/Lampoa_kotiin_keskitetysti_Kaukolampo.pdf)

Netatmo. Product. Luettu 30.1.2015.

<https://www.netatmo.com/en-US/product/weather-station#view6>

Netatmo. Specifications. Station. Luettu 24.1.2015.

<https://www.netatmo.com/en-US/product/specifications/station>

Nibe. Nibe-tekniikka. Maalämpö. Tulostettu 26.3.2015.

<http://www.nibe.fi/upload/haato/Ohjeet/F1345%20opas%201243-2.PDF>

PVGIS. Laskentatyökalu.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. K1/2013. Tulostettu 14.4.2015.

[http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1\\_2013\\_20140509.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1_2013_20140509.pdf)

Retermia. Tuotetyypit. Lto-huippuimuri. Luettu 14.1.2015.

<http://www.retermia.fi/tuotetyypit/lto-huippuimuri-ltoh/>

Sandberg, E. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointiteknikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-julkaisut Oy.

Seppänen, O. 1996. Ilmastointiteknikka ja sisäilmasto. Helsinki: Suomen LVI-yhdistysten liitto.

Sisäilmayhdistys. Sisäilmasto. Kemialliset epäpuhtaudet. Luettu 30.1.2015.

<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/sisailmasto/kemialliset-epapuhauudet/>

Sisäilmayhdistys. Sisäilmasto. Sisäilman tekijät. Luettu 23.1.2015.

<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/sisailmasto/sisailman-tekijat/>

Sisäilmayhdistys. Sisäilmasto. Sisäilman vaikutukset. Luettu 23.1.2015.

<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/sisailmasto/sisailman-vaikutukset/>

Sähkönhinta. Hintatilastot. Luettu 7.3.2015.

<http://www.sahkonhinta.fi/summariesandgraphs>

Talotohtori. Talotohtori lämmöntalteenotto. Tulostettu 8.1.2015.

<http://www.medio.fi/asiakas/talotohtori/TaloTohtori-LTO-web-A4.pdf>

Tampere. Projektit. Keskustahanke. Eu-gugle. Luettu 9.1.2015.

<http://www.tampere.fi/tampereinfo/projektit/kaupunkiymparisto/keskustahanke/eu-gugle.html>

Testolimited. Testo 175T3. Luettu 30.1.2015.

<http://www.testolimited.com/testo-175-t3-2-channel-data-logger>

Vesterinen, Pertti. asunto oy Pohjolankatu 18-20:n hallituksen puheenjohtaja. 2015. Haastattelu 15.1.2015. Haastattelijä Lehtinen, M. Tampere.

Väätänen, J. projektimyöntipäällikkö. 2015. Opinnäytetyö. Sähköpostiviesti. jukka.vaatanen@nibe.fi. Luettu 26.3.2015.

Ympäristöministeriö. Maankäyttö ja rakentaminen. lainsäädäntö ja ohjeet. Luettu 31.1.2015.

<http://www.ym.fi/fi->

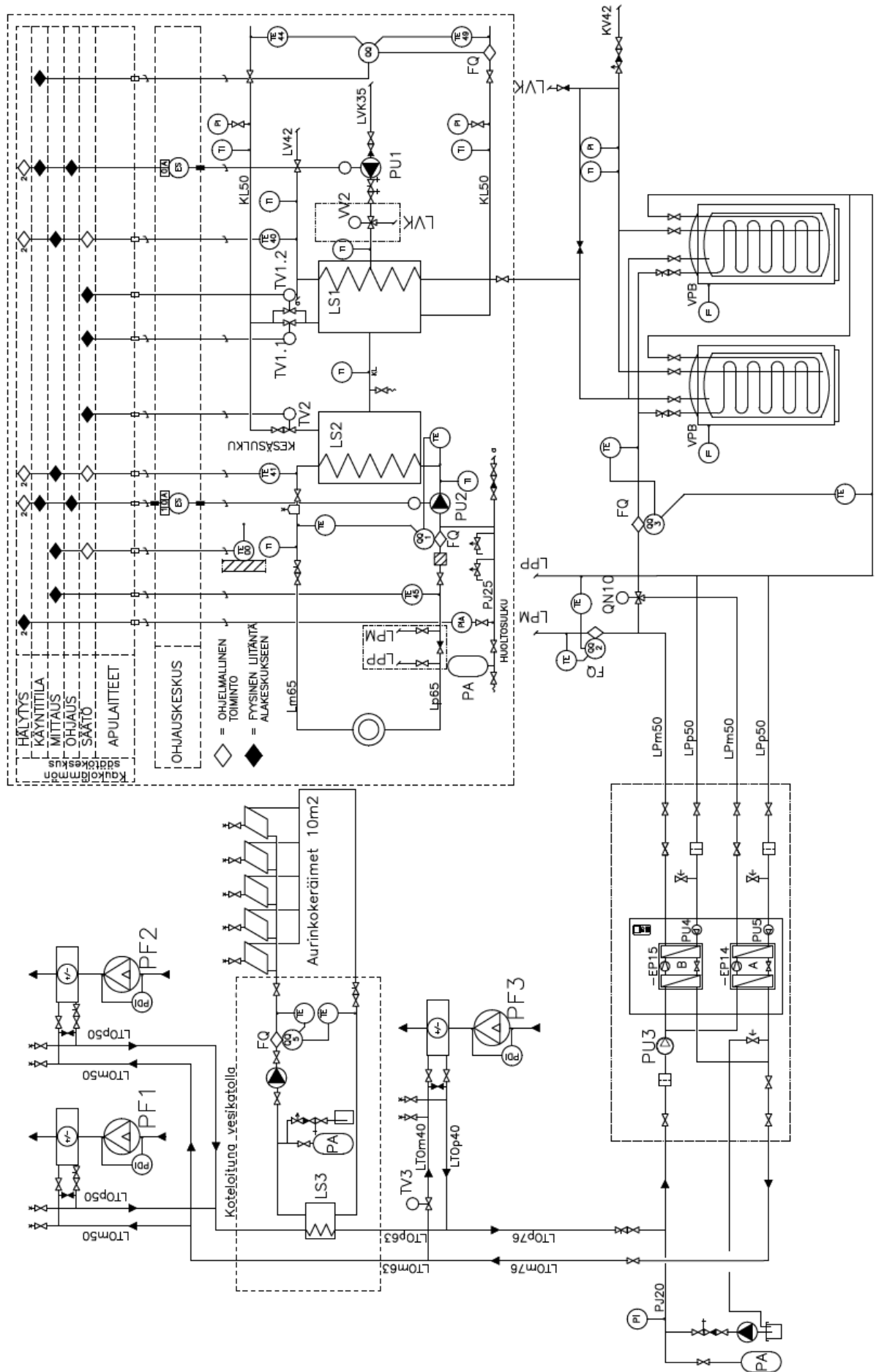
[fi/maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakennuksen\\_energiatehokkuutta\\_koskeva\\_lainsaadanto](http://www.ym.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennuksen_energiatehokkuutta_koskeva_lainsaadanto)

Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma. D1. 2007. Kiinteistöjen vesi- ja viemärilaitteistot: Määräykset ja ohjeet.

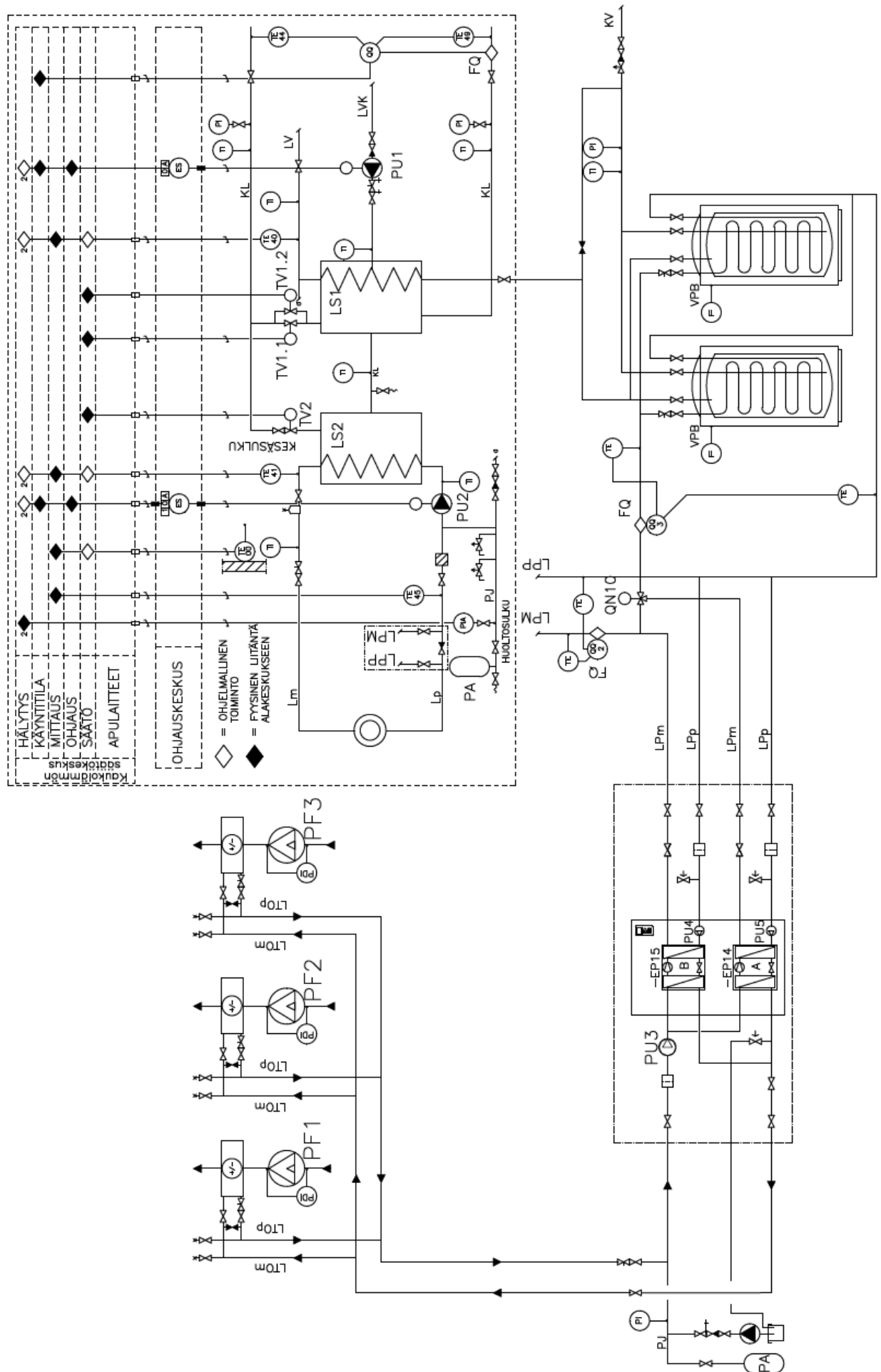
Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma. D2. 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto: Määräykset ja ohjeet.

## LIITTEET

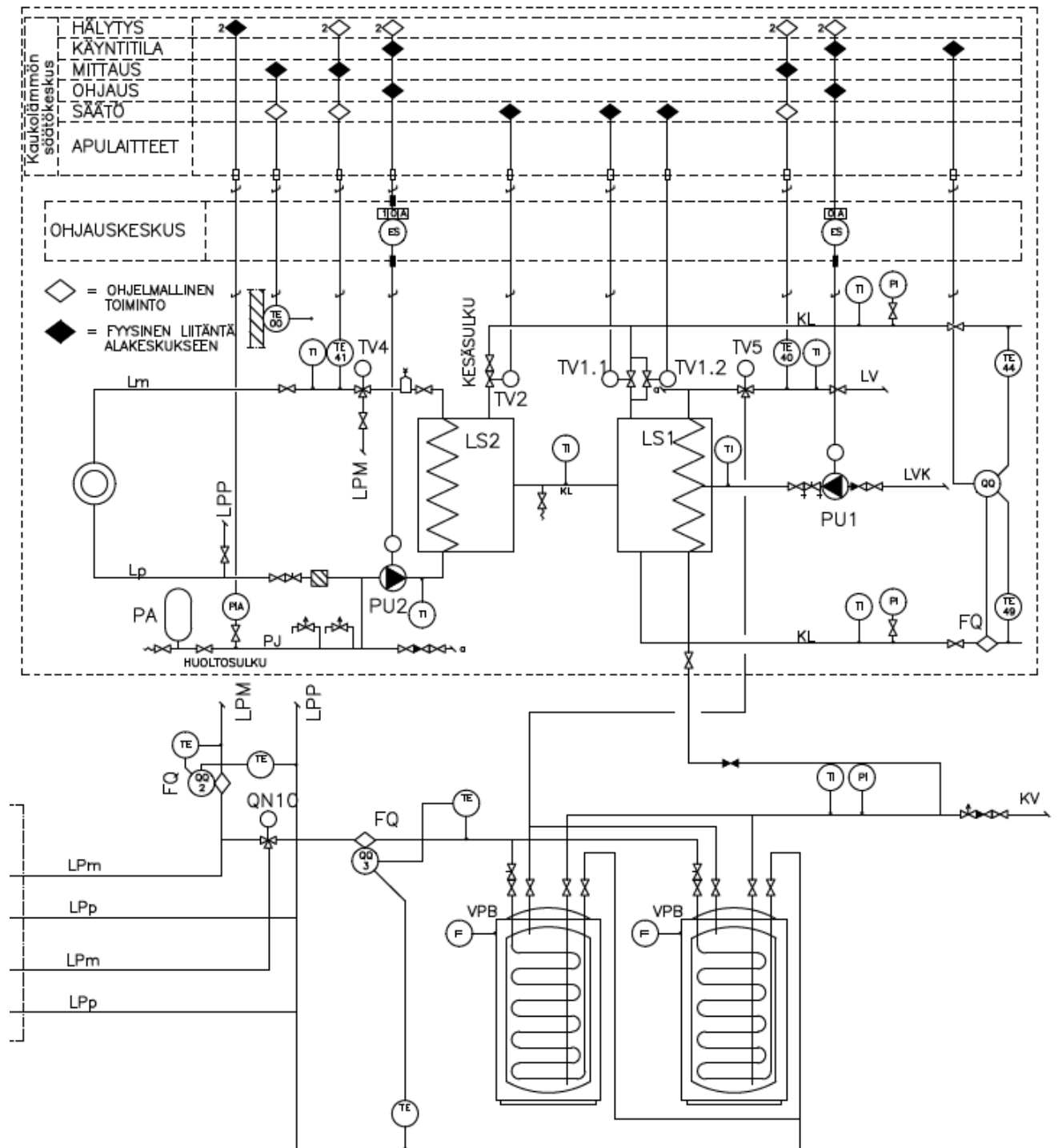
Liite 1. Pohjolankadun kytkentäkaavio



Liite 2. Murolen ja Actifin kytkentäkaavio



## Liite 3. Rinnankytkentä



## Liite 4. Ulkolämpötilat

### Pohjolankatu

Vertailu vuosien 2011-2013 ulkolämpötilojen keskiarvoon

|           | 2011  | 2012 | 2013 | KA   | Nyk  | $\Delta T$ |
|-----------|-------|------|------|------|------|------------|
| Heinäkuu  | 19,3  | 17,1 | 16,6 | 17,7 | 19,6 | 1,9        |
| Elokuu    | 15,7  | 14,7 | 15,6 | 15,3 | 16,2 | 0,9        |
| Syyskuu   | 12,2  | 10,4 | 10,8 | 11,1 | 10,9 | -0,2       |
| Lokakuu   | 6,4   | 4,4  | 5,3  | 5,4  | 5,2  | -0,2       |
| Marraskuu | 3,5   | 2,2  | 2,4  | 2,7  | 1,5  | -1,2       |
| Joulukuu  | 0,8   | -8,7 | 0,4  | -2,5 | -2   | 0,5        |
| Tammikuu  | -6,7  | -7,1 | -6,2 | -6,7 | -3,4 | 3,3        |
| Helmikuu  | -12,5 | -8,9 | -3   | -8,1 | -1,1 | <b>7,0</b> |

KA = Vuosien 2011-2013 ulkolämpötilojen keskiarvo kuukausittain

Nyk = Ulkolämpötila vuoden 2014 heinäkuusta vuoden 2015 helmikuuhun

$\Delta T$  = Lämpötilaero Nyk-KA

### Murole ja Actif

Vertailu vuosien 2009-9/2014 ulkolämpötilojen keskiarvoon

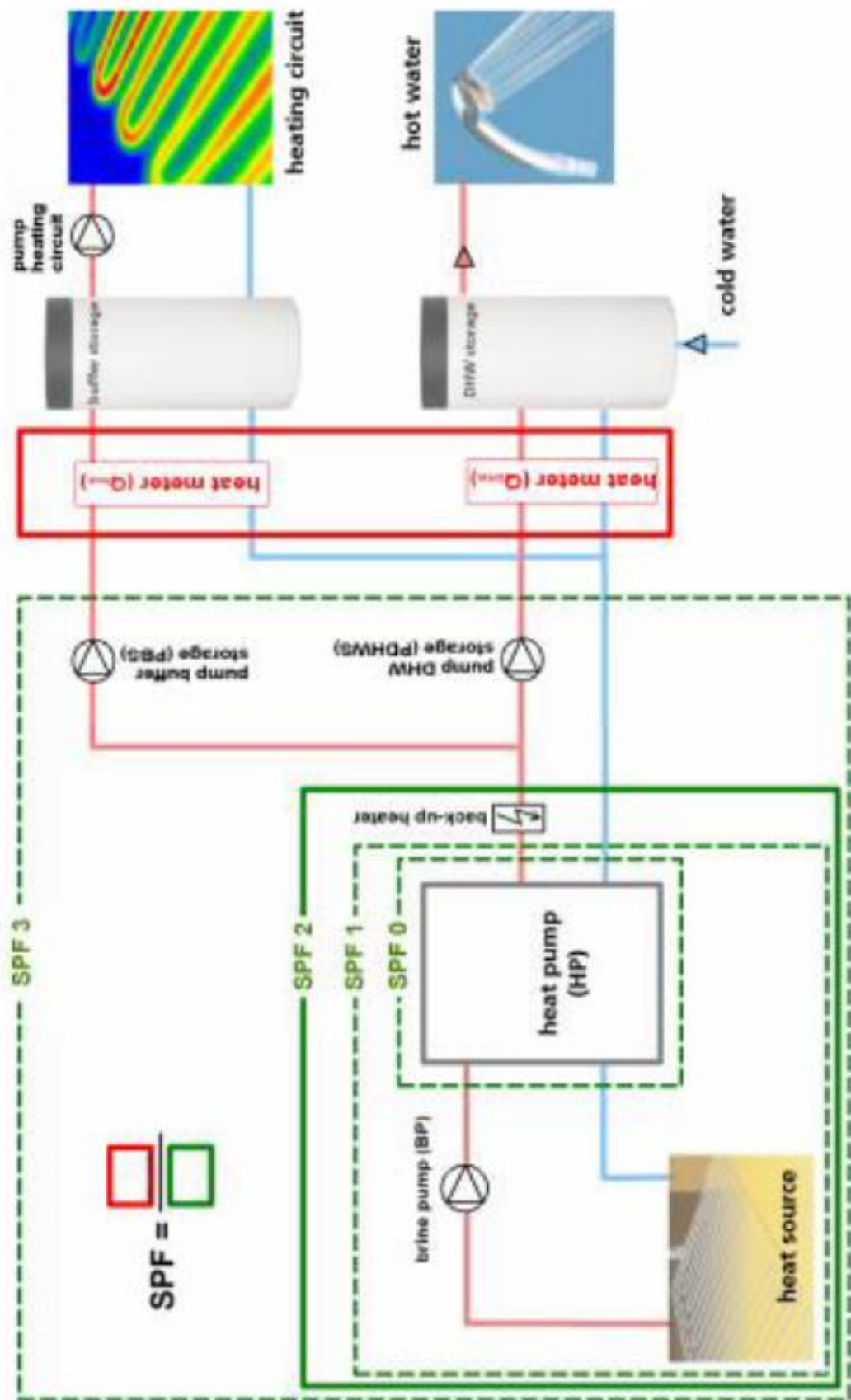
|           | 2009 | 2010  | 2011  | 2012 | 2013 | 2014 | KA   | Nyk  | $\Delta T$ |
|-----------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------------|
| Lokakuu   | 2,1  | 3,9   | 6,4   | 4,4  | 5,3  | -    | 4,4  | 5,2  | 0,8        |
| Marraskuu | 1,5  | -3,5  | 3,5   | 2,2  | 2,4  | -    | 1,2  | 1,5  | 0,3        |
| Joulukuu  | -6,9 | -11,7 | 0,8   | -8,7 | 0,4  | -    | -5,2 | -2   | 3,2        |
| Tammikuu  | -6   | -12,8 | -6,7  | -7,1 | -6,2 | -9,5 | -8,1 | -3,4 | <b>4,7</b> |
| Helmikuu  | -5,6 | -9,9  | -12,5 | -8,9 | -3   | -0,5 | -6,7 | -1,1 | <b>5,6</b> |

KA = Vuosien 2009-9/2014 ulkolämpötilojen keskiarvo kuukausittain

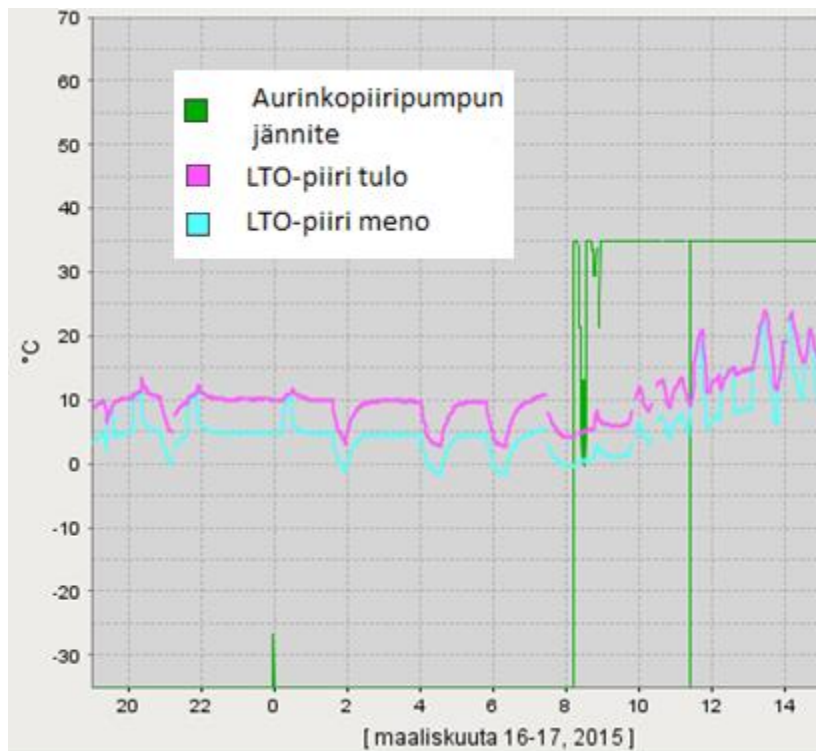
Nyk = Ulkolämpötila vuoden 2014 lokakuusta vuoden 2015 helmikuuhun

$\Delta T$  = Lämpötilaero Nyk-KA

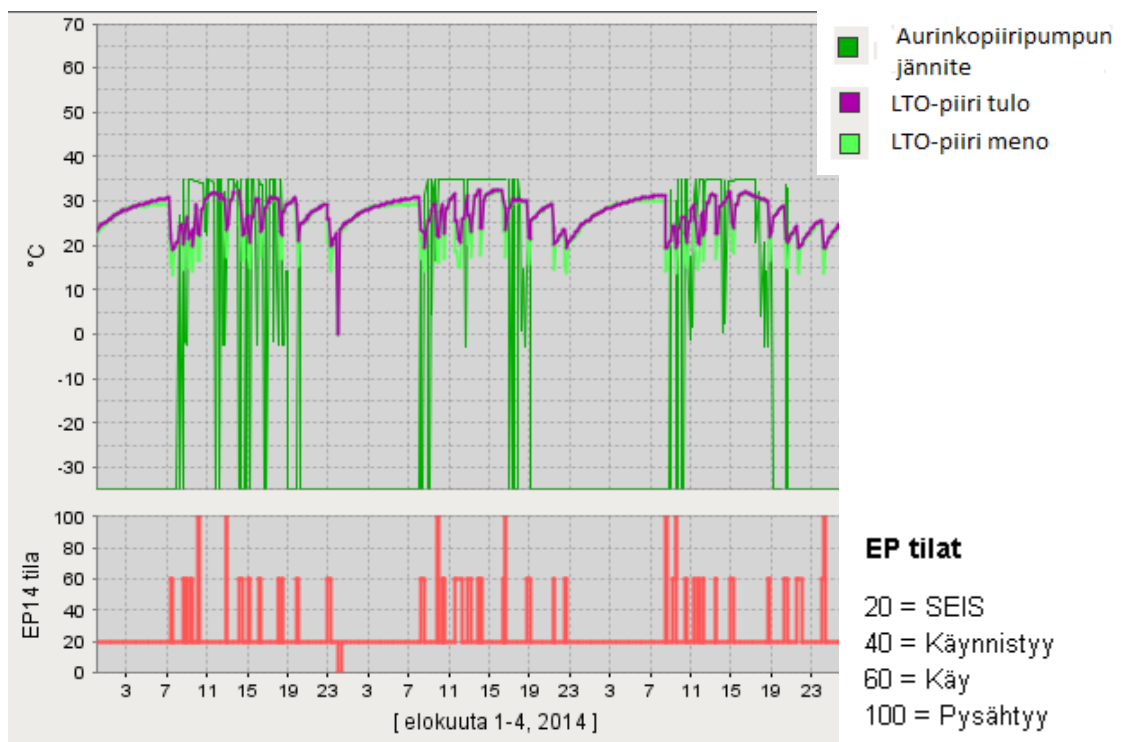
Liite 5. SPF-kuvio



Liite 6. Aurinkokeräimien vaikutus LTO-piirin lämpötiloihin



KUVA 1. LTO-piirin lämpötilat lämmitysyksikölle (EP 15)



KUVA 2. LTO-piirin lämpötilat käyttövesiyksikölle (EP 14)

## Liite 7. Aurinkokeräimien kannattavuuslaskelma

Aurinkokeräimien vuosittaisen energiatuoton arviointi

(1/2)

|                                                                                                          |                      |                      |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| <u>Pohjolankdun aurinkokeräinjärjestelmän elinkaarianalyysi</u>                                          |                      |                      |                     |
| <u>Energiantuotto vuodessa</u>                                                                           |                      |                      |                     |
|                                                                                                          |                      |                      |                     |
|                                                                                                          | Toteutunut           |                      |                     |
|                                                                                                          | energiantuotto (kWh) | Säteilyenergia (kWh) |                     |
| Heinäkuu                                                                                                 | 832                  | 1530                 |                     |
| Elokuu                                                                                                   | 877                  | 1210                 |                     |
| Syyskuu                                                                                                  | 646                  | 859                  |                     |
| Lokakuu                                                                                                  | 245                  | 490                  |                     |
| Marraskuu                                                                                                | 21                   | 192                  |                     |
| Joulukuu                                                                                                 | 32                   | 112                  |                     |
| Tammikuu                                                                                                 | 13                   | 202                  |                     |
| Helmikuu                                                                                                 | 189                  | 635                  |                     |
| Maaliskuu                                                                                                | 659                  | 991                  |                     |
| Yhteensä                                                                                                 | 3514                 | 6221                 |                     |
|                                                                                                          |                      |                      |                     |
| Keskimääräinen hyötysuhde                                                                                |                      | 0,56                 | (3514 kWh/6221 kWh) |
| Arvioitu kesäajan hyötysuhde                                                                             |                      | 0,65                 |                     |
|                                                                                                          |                      |                      |                     |
| Kesäajan arvioitu hyötysuhde perustuu maalis- heinä- ja elokuun toteutuneiden hyötysuhteiden keskiarvoon |                      |                      |                     |
|                                                                                                          |                      |                      |                     |
| Arvioidaan energiantuotto huhtikuusta kesäkuun loppuun kertomalla säteilyenergia kesäajan hyötysuhteella |                      |                      |                     |
|                                                                                                          |                      |                      |                     |
|                                                                                                          | Arvioitu             |                      |                     |
|                                                                                                          | energiantuotto (kWh) | Säteilyenergia (kWh) |                     |
| Huhtikuu                                                                                                 | 884                  | 1360                 |                     |
| Toukokuu                                                                                                 | 887                  | 1570                 |                     |
| Kesäkuu                                                                                                  | 825                  | 1460                 |                     |
| Yhteensä                                                                                                 | 2596                 |                      |                     |
|                                                                                                          |                      |                      |                     |
| Koko vuoden energiantuotto (3514 kWh+2596 kWh) =                                                         |                      |                      | 6110 kWh            |

## Aurinkokeräimien elinkaarianalyysi

(2/2)

| Nykyarvomenetelmä                |         |             | Nykyarvomenetelmä                                       |         |             |
|----------------------------------|---------|-------------|---------------------------------------------------------|---------|-------------|
| Takaisinmaksuaajan määrittäminen |         |             | Takaisinmaksuaajan määrittäminen (50 % investointituki) |         |             |
| Investointi                      | 10000   | €           | Investointi                                             | 5000    | €           |
| Jäännösarvo                      | 0       | €           | Jäännösarvo                                             | 0       | €           |
| Energiansäästö vuodessa          | 6110    | kWh         | Energiansäästö vuodessa                                 | 6110    | kWh         |
| Energian hinta                   | 0,11135 | €/kWh       | Energian hinta                                          | 0,11135 | €/kWh       |
| COP                              | 3,48    |             | COP                                                     | 3,48    |             |
| Säästö vuodessa                  | 195,5   | €           | Säästö vuodessa                                         | 195,5   | €           |
| Käyttökulut vuodessa             | 0       | €           | Käyttökulut vuodessa                                    | 0       | €           |
| Laskenta-aika                    | 25      | a           | Laskenta-aika                                           | 25      | a           |
| Nimelliskorko, i                 | 2,00    | %           | Nimelliskorko, i                                        | 2,00    | %           |
| Energian hinnan nousu, e         | 4,30    | %           | Energian hinnan nousu, e                                | 4,30    | %           |
| Reaalikorko, r                   | -2,21   | % (Kaava 1) | Reaalikorko, r                                          | -2,21   | % (Kaava 1) |
| Jaksollisten maksujen dis, d     | 33,8    | (Kaava 2)   | Jaksollisten maksujen dis, d                            | 33,8    | (Kaava 2)   |
| Energiasäästön nykyarvo          | 6616    | €           | Energiasäästön nykyarvo                                 | 6616    | €           |
| Käyttökulujen nykyarvo           | 0       | €           | Käyttökulujen nykyarvo                                  | 0       | €           |
| Nettotuotto                      | 6616    | €           | Nettotuotto                                             | 6616    | €           |
| Investoinnin nykyarvo            | -3384   | €           | Investoinnin nykyarvo                                   | 1616    | €           |
| Takaisinmaksuaika                | 34      | a           | Takaisinmaksuaika                                       | 20      | a           |

Kaava 1:

$$r_e = \frac{i - e}{(1 + e)}$$

Kaava 2:

$$d = \frac{(1 + r)^i - 1}{r(1 + r)^i}$$

i = laskenta-aika

Laskun kulku ja oletukset:

Aurinkokeräinten investointikustannus oli Enemix Oy:n mukaan 10 000 euroa (verollinen hinta). Jäännösarvo laskussa on oletettu nolaksi. Aurinkoenergian vuosittainen tuotto perustuu osittain mitattuun ja osittain arvioituun liitteen sivulla yksi oleviin taulukoihin perustuen. Sähkön hintana on käytetty Pohjolankadun sähkösovimuksen mukaista hintaa. Säästö vuodessa on laskettu keräimillä tuotetun energian ja korvattavan energian hinnan eli sähkön hinnan perusteella. Vuosittaisen säästön laskennassa on sähkön hinnassa huomioitu lämpöpumpun arvioitu COP-luku ilman aurinkokeräimiä jakamalla sähkön hinta ensin sillä, koska yhden kWh:n tuottamiseen kuluu COP-luvun verran vähemmän sähköä. Laskenta-aikana on käytetty keräinten teknistä käyttöikää, joka valmistajan mukaan on 25 vuotta. Nimelliskorkona (i) on käytetty kahta prosenttia, jotta inflaatio tulee huomioituksi. Energianhinnan nousun oletetaan olevan suurempi kuin inflaation, joten reaalikorko on laskettu eskalaation (e) avulla kaavalla 1. Energian hinnan nousu on arvioitu energiaviraston hintatilastojen perusteella. (Sähkön hinta). Jaksollisten maksujen diskonttaustekijä on laskettu kaavalla 2. Energiansäästön nykyarvo on saatu kertomalla laskettu vuosittainen säästö diskonttaustekijällä. Nettotuotto on tässä sama kuin energiansäästön nykyarvo, koska vuosittaisia käyttökuluja ei tässä oleteta olevan. Investoinnin nykyarvo eli investoinnin kannattavuus on saatu miinustamalla investointi nettotuotosta. Takaisinmaksuaika on saatu excelin tavoitehaulla asettamalla investoinnin nykyarvon tavoitteeksi nollan muuttamalla laskenta-aikaa. Näin takaisinmaksuajassa tulee huomioitua inflaatio ja energian hinnan arvioitu nousu.