



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# LÄMPÖENERGIA- JA VESIMITTAUKSET CASE-KOhteissa

COMBI-hanke

Matias Pekkanen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2017  
Talotekniikan koulutus  
LVI-talotekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutus  
LVI-talotekniikka

PEKKANEN, MATIAS:  
Lämpöenergia- ja vesimittaukset Case-kohteissa  
COMBI-hanke

Opinnäytetyö 47 sivua, joista liitteitä 10 sivua  
Huhtikuu 2017

---

Tämä työ tehtiin osaksi COMBI-hankkeen (Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service buildings) työpaketti neljää. Tarkoituksena oli selvittää muutamman COMBI-hankkeen Case-kohteen lämpöenergia- ja vesimittausten seurantojen nykytila sekä parannusmahdollisuudet. Tavoitteena oli tuoda hyödyllistä tietoa rakennushankkeiden tilaajille lämpöenergia- ja vesimittauksista helpottamaan mittauksien valintaa hankesuunnitteluvaiheessa. Työn ohessa tehtiin tilaajan ohje ja työkalu lämpöenergiaseurantojen valitsemiseksi ja tiedon välittämiseksi tilaajan ja suunnittelijoiden välille.

Työssä tutkittiin Case-kohteiden toteutussuunnitelmien perusteella, mitä mittauksia kohteissa nykyisellään on ja miten mittauksia hyödynnetään veden ja lämpöenergian kulutuksien seurannassa. Kerätyn tiedon perusteella tutkittiin, mitä lisäyksiä kohteet vaativat, jotta rakennusten lämpöenergiatasetta pystytään seuraamaan. Lisäyksille laskettiin kustannusarviot uudisrakentamisen näkökulmasta. Lisäksi tutkittiin lämpöenergia- ja vesimittauksiin liittyviä olemassa olevia ohjeita.

Kaikissa kohteissa seurataan lämpimän ja kylmän käyttöveden kulutuksia. Lämpöenergian kokonaiskulutusta seurataan kaikissa kohteissa. Lämmitysverkostojen, lämpimän käyttöveden ja tulo- ja poistoilmanvaihtokoneiden lämpöenergian kulutuksia seurataan osassa kohteista. Mahdollisena lisäyksenä nykyisiin seurantoihin havaittiin erillispoistoilmanvaihtokoneiden lämpöhäviöiden, oviverhohuuhaltimien lämpöenergian kulutuksen, tilalämmityksen lämpöenergian kulutuksen ja rakennusvaipan lämpöhäviöiden seurannat, jotka ovat osassa kohteista jo nykyisten mittauksien avulla laskennallisesti mahdollisia.

Jokaisessa kohteessa olemassa olevia mittauksia voitaisiin hyödyntää lämpöenergiaseurannoissa monipuolisemmin kuin nykyisellään hyödynnetään. Uudisrakentamisen kannalta kattavien energiaseurantojen osuus rakennushankkeen kokonaiskustannuksista vaikeuttaa pieneltä, kun lisäysten kustannusarviot vaihtelivat kohteittain välillä tuhannesta kolmeentuhanteen euroa.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
HVAC Building Services Engineering

PEKKANEN, MATIAS:  
Thermal Energy and Water Measurements in Case Facilities  
COMBI Project

Bachelor's thesis 47 pages, appendices 10 pages  
April 2017

---

This thesis was made a part of the COMBI project (Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service buildings) Working Packet four. The purpose was to examine the thermal energy and water measurements in number of Case facilities. The main goal of this thesis was to provide information about the energy and water measurements for the buyer of building project. The other goal was to make a buyer's tool for selecting the right measurements for the facility.

Data for the study was collected from technical documents of the Case facilities. The documents were investigated to find out what is measured and how these measurements are utilized. After charting the existing measurements, the next phase was to see what other measurements were needed for monitoring the heat balance of facilities. Cost estimates on the potential additions were given from the viewpoint of new building. Furthermore, the existing instructions about the designing of the energy and water measuring systems were examined.

Water measurements are done properly in all Case facilities. Also the overall thermal energy usage is measured in all Case facilities. Heating networks, warm water and air conditioning machine's thermal energy usage is measured in some of the Case facilities. Some viable additions to the heat balance monitoring were found. These were as follows: measuring heat loss of exhaust air machines, thermal energy usage of hallway fan coils, thermal energy usage of space heating and the heat loss of structures. These additions are possible without attaching any measuring equipment in some of the Case facilities.

The existing measurements can be utilized more versatilely than they currently are in all of the Case facilities examined in this study. As regards new building the costs of comprehensive heat balance monitoring seem to be quite cheap compared to the overall costs of a building project.

---

Key words: thermal energy, measuring, energy monitoring, municipal service building, COMBI-project

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	NYKYINEN LÄMPÖENERGIA- JA VESIMITTAUKSIEN OHJEISTUS ...	7
2.1	RakMK D3 määräykset ja ohjeistus .....	7
2.2	TAPRE-mittarointiohje.....	7
2.3	Tampereen kaupungin Rakennusautomaatiojärjestelmä suunnitteluohje..	8
2.4	SYK mittarointiohje.....	9
3	KIINTEISTÖN LÄMPÖTASE.....	10
3.1	Rakennuksen lämpötase.....	10
3.2	Tontin muut lämpöhäviöt.....	11
4	LÄMPÖENERGIAMITTAUKSET KIINTEISTÖISSÄ.....	12
4.1	Lämmitysverkostojen energiamittaukset .....	12
4.1.1	Kaukolämmön ensiöpuolen energiamittaus .....	12
4.1.2	Toisiopuolen energiamittaus kiertovesipumpulla .....	14
4.2	Järjestelmien prosessien mittauksilla toteutettavat lämpöenergiaseurannat .....	15
4.2.1	Lämmin käyttövesi.....	16
4.2.2	Tulo- ja poistoilmanvaihtokoneet .....	18
4.2.3	Erillispoistoilmakoneet .....	20
4.2.4	Kiertoilmakoneet.....	21
4.2.5	Tilalämmitys ja rakennusvaipan lämpöhäviöt .....	23
5	CASE-KOHTEIDEN LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN ESITTELY .....	26
5.1	Luhtaan päiväkotia .....	26
5.2	Koivurinteen päiväkotia .....	26
5.3	Jukola Impivaaran vanhusten ryhmäkoti .....	27
5.4	Otsonmäen päiväkotia .....	27
5.5	Vehmaisten alakoulu.....	27
6	LÄMPÖENERGIA – JA VESIMITTAUKSET CASE-KOHTEISSA.....	29
6.1	Case-kohteiden koonti .....	29
6.2	Luhtaan päiväkotia .....	30
6.3	Koivurinteen päiväkotia .....	31
6.4	Jukola Impivaaran vanhusten ryhmäkoti .....	32
6.5	Otsonmäen päiväkotia .....	32
6.6	Vehmaisten alakoulu.....	33
6.7	Parannusehdotusten ja kustannusarvioiden koonti .....	34
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	35
	LÄHTEET.....	37

LIITTEET .....	38
Liite 1. Energiamittausten valintalomake tilaajalle .....	38
Liite 2. Periaatekuva lämpimän käyttöveden energiamittauksesta ja toimintaselostus .....	39
Liite 3. Periaatekuva ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin energiamittauksesta ja toimintaselostus.....	40
Liite 4. Periaatekuva erillisen poistoilmakoneen lämpöhäviön mittauksesta ja toimintaselostus .....	41
Liite 5. Periaatekuva kiertoilmakoneen energiamittauksesta ja toimintaselostus .....	42
Liite 6. Luhtaan päiväkodin parannusehdotusten kustannusarvio.....	43
Liite 7. Koivurinteen päiväkodin parannusehdotusten kustannusarvio.....	44
Liite 8. Impivaara vanhusten ryhmäkodin parannusehdotusten kustannusarvio .....	45
Liite 9. Otsonmäen päiväkodin parannusehdotusten kustannusarvio .....	46
Liite 10. Vehmaisten alakoulun parannusehdotusten kustannusarvio.....	47

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty COMBI-hankkeen (Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service buildings) työpaketti neljää varten. Työn aiheena ovat lämpöenergia- ja vesimittaukset Case-kohteissa, joita olivat Luhtaan päiväkotit, Koivurinteen päiväkotit, Jukola Impivaaran vanhusten ryhmäkoti, Otsonmäen päiväkotit ja Vehmaisten alakoulu. Tarkoituksena oli selvittää lämpöenergia- ja vesimittausten sekä niiden seurantojen nykytila. Tutkimuksessa selvitettiin, mitä mitataan ja mihin mittauksia käytetään, sekä tutkittiin mahdollisia parannusmahdollisuuksia ja niiden kustannusvaikutuksia. Työn ohessa tehtiin tilaajan ohje ja työkalu lämpöenergiaseurantojen valitsemiseksi ja tarpeen viestittämiseksi tilaajan ja suunnittelijoiden välille (Liite 1.).

Energiamääräysten tiukentuessa ja energian säästön ollessa trendi nykypäivänä, aihe on tärkeä. Energian kulutuksen seurannalla havaitaan muutoksia energiankulutuksessa, järjestelmien ja rakenteiden vikoja, sekä löydetään mahdollisia turhia energian kuluttajia. Seuranta mahdollistaa myös tavoitteellisen energiankulutuksen.

Työssä tuodaan esiin, miten paljon paremmin voidaan kohteissa jo olevia mittauksia hyödyntää lämpöenergiankulutuksen ja lämpöenergiataseen seurantojen kannalta, kun järjestelmien prosessit itsessään vaativat kattavia mittauksia. Täten erityisen tärkeää on saattaa rakennushankkeiden tilaajien tietoisuuteen lämpöenergian seurantojen hyötyjä ja toteuttamismahdollisuuksia, jotta tilaajat pystyvät paremmin valitsemaan oikeita mittauksia ja seurantoja.

Tutkimusta tehtiin pääasiassa Case-kohteiden teknisten dokumenttien perusteella. Lämmitys- ja säätökaavioista kerättiin Excel-taulukon kohteiden olemassa olevia energia- ja vesimittareita, sekä energiaseurannan kannalta hyödyllisiä mittauksia. Järjestelmien toimintaselostuksista selvitettiin, mitä mittauksia kohteissa nykyisellään hyödynnetään lämpöenergiaseurannassa ja nykyisten seurantojen pohjalta selvitettiin parannusmahdollisuuksia. Parannusmahdollisuuksien kustannusvaikutuksia arvioitiin LVI-töiden osalta LVI-toimialalla vuosina 2014 - 2016 voimassa olleen työehtosopimuksen mukaisilla normityötunneilla. Automaatiotöiden osalta haluan kiittää Ouman Oy:n tuotepäällikkö Jari Karpista lähtötiedoista kustannusarvioihin.

## 2 NYKYINEN LÄMPÖENERGIA- JA VESIMITTAUKSIEN OHJEISTUS

### 2.1 RakMK D3 määräykset ja ohjeistus

Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 määrätään, että rakennukseen on asennettava mittarointi tai mittausvalmius, jolla eri energiamuotojen käyttö on mitattavissa, mutta mittauksista voidaan luopua, jos mittausvalmiuden rakentaminen voidaan osoittaa epä-tarkoituksenmukaiseksi. Lämpöenergiankulutuksista ohjeistetaan, että rakennukset varustetaan ostoenergiankulutuksen mittauksella, sekä kaikkien muiden käyttötarkoituksiluokkien rakennukset paitsi erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot varustetaan lämpimän käyttöveden kulutuksen mittauksella ja tarvittaessa lämpimän käyttöveden kiertojohdon paluun vesivirran ja lämpötilan mittauksella. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, D3 2012, 16)

Käytännössä D3:n määräykset ovat tulkittavissa lämpöenergian osalta siten, että on pakollista mitata vain rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutusta, mikä ei kannusta tarkempiin energiaseurantoihin. Uudet ympäristöministeriön asetukset energiatehokkuudesta ovat tällä hetkellä lausuntokierroksella, joten energiatehokkuusmääräyksiin on odotettavissa lähiaikoina muutoksia.

### 2.2 TAPRE-mittarointiohje

TAPRE-mittarointiohje on osana TAPRE-hanketta (Tampereen alueen palvelurakennukset energiatehokkaiksi) rakennushankkeeseen ryhtyvälle ja suunnittelijalle tehty ohje, jota voidaan käyttää apuvälineenä määriteltäessä uudis- ja korjausrakennuskohteen mittarointeja ja seurantoja (TAPRE-tuote, Mittarointiohje 2014, 1). Kuvassa 1. on esitetty TAPRE-mittarointiohjeen ohjeistus lämpöenergian mittaroinneille ja kuvassa 2. käyttöveden mittaroinneille.

Mitattava suure	Selvennys / Hyödynnettävyys
<b>Lämpö</b>	
Lämmitysjärjestelmän energian päämittaus	D3 (2012) ohjeistus
Ilmanvaihdon lämmitysenergian mittaus	Kulutusjakauman tarkentaminen
Lämmitysverkoston energian mittaus	Laskennallinen
Tuloilmakoneen tuloilman	
- LTO:n jälkeinen lämpötila	LTO:n hyötysuhdevalvonta
- Sisäänpuhalluslämpötila	Tuloilmakoneen laskennallinen lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutus yhdessä tuloilmakoneen ilmavirran kanssa, kulutusjakauman tarkentaminen
- Lämmityspatterin jälkeinen lämpötila	Ilmanvaihtokoneen energiankulutuksen laskenta yhdessä käyntiaikojen kanssa, sekä ilmanvaihtokoneen energiankulutuksen ennustaminen
- Lauhdelämmityspatterin jälkeinen lämpötila	
- Jäähdytyspatterin jälkeinen lämpötila	
Tuloilmakoneen poistoilman	
- Lämpötila	
Tilan lämmitysenergian mittaus	Laskutusperuste

KUVA 1. Lämpöenergiaseurannat (TAPRE-tuote, Mittarointiohje 2014, 3)

Mitattava suure	Selvennys / Hyödynnettävyys
<b>Vesi</b>	
Veden kulutuksen päämittaus	Jatkuvatoiminen riskienhallintaa varten
Lämpimän käyttöveden kulutuksen mittaus	D3 (2012) ohjeistus, kulutusjakauman tarkentaminen
Suuret kuluttajat	
- Keittio	Kulutusjakauman tarkentaminen, laskutusperuste
- Hätäjäähdytykset	Laskutusperuste

KUVA 2. Veden kulutuksen seurannat (TAPRE-tuote, Mittarointiohje 2014, 4)

### 2.3 Tampereen kaupungin Rakennusautomaatiojärjestelmä suunnitteluohje

Tampereen kaupungin rakennusautomaatiojärjestelmän suunnitteluohjeen tarkoituksena on ohjata kohteiden suunnittelua ja toteutusta yhdenmukaiseksi säätö- ohjaus- ja valvontatoimintojen osalta. Yhdenmukainen suunnittelu ja toteutus helpottavat käyttökäytökunnan työtä ja auttaa kiinteistöjen olosuhteiden ja energiankäytön hallinnassa. Tampereen kaupunki hyödyntää ohjetta tarjouskilpailuissa ja toteutuksessa, mikä tekee kilpailijoista vertailukelpoisempia, sekä selkeyttää suunnittelijoiden työtä. (Tampereen kaupunki, Rakennusautomaatiojärjestelmä 2013, 6)

Lämpöenergian osalta ohjeessa ohjeistetaan mittaamaan kaukolämmön kokonaiskulutusta, lämpöpumppujen lämmöntuotantoa ja lämmitysverkostojen kulutuksia väyläliitäntäisillä lämpöenergiamittareilla. Erilaisten lämpökattiloiden poltintehot ohjeistetaan liitettäväksi automaatiojärjestelmään käyntitilatietona. (Tampereen kaupunki, Rakennusautomaatiojärjestelmä, 16-19) Tuloilmakonekohtaisia lämmitys- ja jäähdytystehoja ohjeistetaan laskemaan järjestelmästä saatavien mittausten perusteella (Tampereen kaupunki, Rakennusautomaatiojärjestelmä 2013, 35)



Käyttöveden mittauksesta ohjeistetaan, että päävesimittaus liitetään automaatiojärjestelmään vain, jos veden myyjä on muu kuin Tampereen Vesi. Käyttöveden alamittaukset, kuten lämpimän käyttöveden tai keittiön tuotantotilojen käyttöveden mittaus, ohjeistetaan toimitettavaksi väyläliitännäisinä. (Tampereen kaupunki, Rakennusautomaatiojärjestelmä 2013, 25)

## 2.4 SYK mittarointiohje

Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:n mittarointiohje on tehty selkeyttämään rakennusten kulusmittausten ja niiden etäluennan suunnittelua. (Suomen Yliopistokiinteistöt Oy, Mittarointiohje 2016, 3) Mittarointiohjeessa on seurantojen osalta esitetty mittausmahdollisuuksia määrätason mukaisien mittauksien lisäksi tavoitteiden asettamista helpottamaan (TAULUKKO 1.).

TAULUKKO 1. Lisämittarointimahdollisuudet (Suomen Yliopistokiinteistöt Oy, Mittarointiohje 2016, 4)

Sähkö	Lämpö	Jäähdytys	Vesi
Suurkuluttajakohdainen sähkönkulutus	Verkostokohtainen lämmönkulutus	Kaukokylmän päämittaus	Suurkuluttajakohdainen vedenkulutus
Sähkön laatumittaukset		Verkostokohtainen kylmäkulutus	
	Iv-kojekohtainen lämmönkulutus	Iv-kojekohtainen kylmäkulutus	
Vjk-kohtainen sähkönkulutus		Vjk-kohtainen kylmäntuotto	
Kylmäntuottojärjestelmäkohtainen sähkönkulutus		Kylmäntuottojärjestelmäkohtainen kylmäntuotto	
Vuokrattavien tilojen sähkönkulutus	Vuokrattavien tilojen lämmönkulutus	Vuokrattavien tilojen kylmäkulutus	Vuokrattavien tilojen vedenkulutus
Vuokralaisten yhteistilojen sähkönkulutus	Vuokralaisten yhteistilojen lämmönkulutus	Vuokralaisten yhteistilojen kylmäkulutus	Vuokralaisten yhteistilojen vedenkulutus
Maa- ja ilmalämpöpumppujen sähkönkulutus	Maa- ja ilmalämpöpumppujen lämmöntuotto	Maa- ja ilmalämpöpumppujen kylmäntuotto	
Muun uusiutuvan energialähteen sähkönkulutus ja -tuotto	Muun uusiutuvan energialähteen lämmöntuotto	Muun uusiutuvan energialähteen kylmäntuotto	

### 3 KIINTEISTÖN LÄMPÖTASE

#### 3.1 Rakennuksen lämpötase

Rakennuksen lämpötase muodostuu rakennukseen tulevista ja rakennuksesta poistuvista lämpövirroista. Tulevia lämpövirtoja ovat eri lämmöntuotantomuotojen lämpöenergiavirrat ja poistuvia lämpöhäviöt. Lämpöhäviöihin sisältyy rakenteiden lämpöhäviöt, ilmanvaihdon aiheuttamat lämpöhäviöt ja viemäriin johdetun lämpimän käyttöveden mukana kulkeutuva lämpö. (Motiva, Energiakatselmoijan käsikirja, 5)

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (2012) mukaan rakennuksen energiantarve koostuu tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmitystarpeesta, tilojen ja ilmanvaihdon jäähdytystarpeesta sekä valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergiantarpeesta. Rakennuksen ostoenergian kulutuksen taseraja ja sen muodostuminen näkyvät kuvasta 3. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, D5 2012, 12)



KUVA 3. Ostoenergian kulutuksen taseraja (Suomen rakentamismääräyskokoelma, D5 2012, 13)

### **3.2 Tontin muut lämpöhäviöt**

Tontilla on usein rakennuksen lisäksi myös muita lämpöenergiankuluttajia kuin rakennus. Tällaisia ovat esimerkiksi sulanapitolämmitykset, jotka voivat kuluttaa merkittäviä määriä lämpöenergiaa itse rakennuksen ulkopuolella. Tällaiset kuluttajat on hyvä ottaa huomioon mietittäessä koko kiinteistön lämpötasetta. Esimerkiksi Otsonmäen päiväkodissa on nestekiertoinen sulanapitolämmitys.

## 4 LÄMPÖENERGIAMITTAUKSET KIINTEISTÖISSÄ

Osiossa käsitellään lämmitysverkostojen ja kiinteistöissä olevien lämpöenergiaa kuluttavien laitteiden lämpöenergiamittauksien ja laskentojen toteutusvaihtoehtoja. Tarkoitus ei ole käsitellä kaikkia mahdollisia toteutusvaihtoehtoja, vaan antaa esimerkkejä olemassa olevista vaihtoehtoista. Osiossa esitellään vain vaihtoehtoja, jotka on mahdollista kytkeä kiinteistöautomaatiojärjestelmään.

### 4.1 Lämmitysverkostojen energiamittaukset

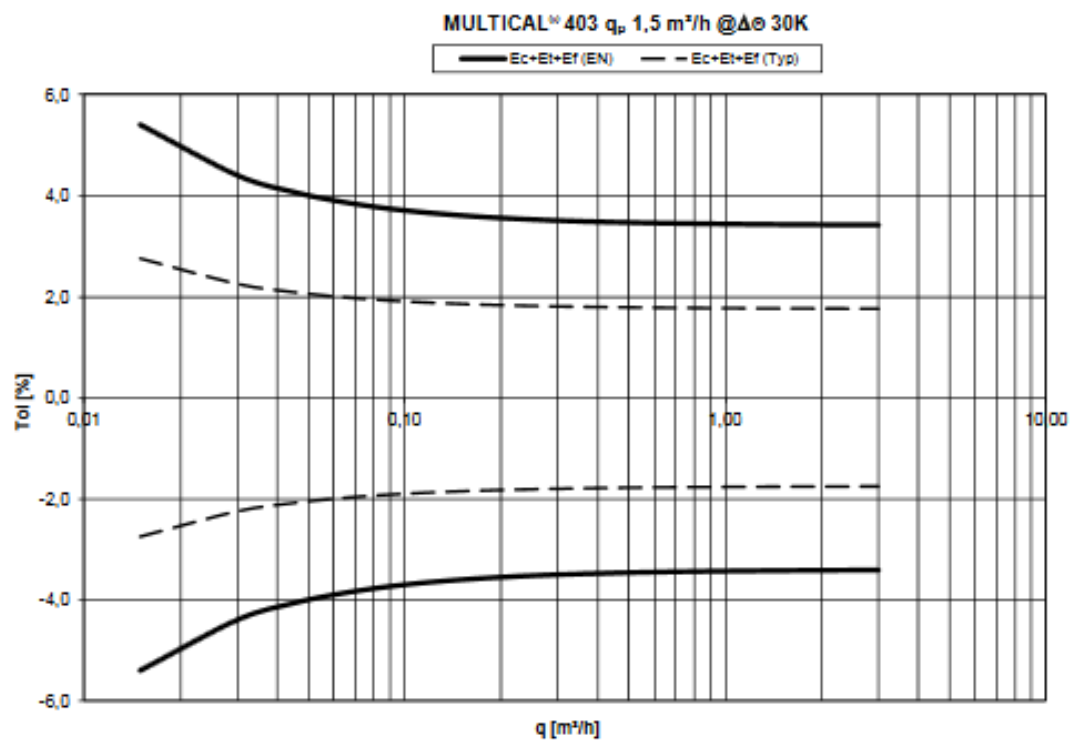
Lämmitysverkostojen energiankulutuksia seuraamalla saadaan tarkempaa tietoa järjestelmien toiminnasta kuin seuraamalla vain laskutettavaa energiankulutusta. Jos huomataan lämpöenergian kulutuksen kasvaneen, päästään lämmitysverkostojen mittauksilla käsiksi heti siihen verkostoon, jossa ongelma on. Mittaamalla lämmitysverkostojen energiankulutuksia erikseen saadaan näkyviin, kuinka paljon energiansäästöpotentiaalia kussakin verkostossa on, jolloin ei välttämättä tarvita kalliita energiakatselmoitteja tilanteen selvittämiseksi.

#### 4.1.1 Kaukolämmön ensiöpuolen energiamittaus

Yleisesti käytössä oleva tapa hoitaa lämmitysverkostojen energiamittaukset ensiöpuolelta on etäluettavan energiamittarin käyttö. Energiamittarit ovat tarkkoja ja siksi niitä voidaan käyttää myös energian laskutuksessa. Esimerkiksi Kamstrup-valmistajan MULTICAL 403-mittarille (KUVA 4) luvataan virtausmittauksen epätarkkuudeksi toiminta-alueella enintään  $\pm 5\%$  (Kamstrup, MULTICAL 403 2016, 13). Kuviossa 1. esitetään Kamstrup MULTICAL 403-mittarin yhteenlaskettu tarkkuus standardin EN 1434-1-mukaisesti, sekä mittarin tyypillinen tarkkuus. Tarkkuudet on esitetty 30 K meno- ja paluuveden lämpötilaerolla.



KUVA 4. Kamstrup energiamittari (Kamstrup, MULTICAL 403 2016, 1)



KUVIO 1. Kamstrup MULTICAL 403 tarkkuus (Kamstrup, MULTICAL 403 2016, 13)

Järjestelmiä suunniteltaessa ja vanhaan kohteeseen mittaria lisättäessä on huomioitava energiamittarin aiheuttama painehäviö verkostossa, mikä vaikuttaa esimerkiksi säätöventtiilien mitoitukseen. Uusien ultraäänivirtausmittarien aiheuttama painehäviö on kohdalaisen pieni. Erikokoisten Kamstrup MULTICAL 403- mittarien painehäviöt nimellisvirtaamalla vaihtelevat välillä 0,03–0,14 bar (Kamstrup, MULTICAL 403 2016, 14).

Etäluettavista energiamittareista saa monipuolisesti tietoa automaatiojärjestelmään. Niiden etuna on, että laskenta tapahtuu mittarissa, jolloin laskentaa ei tarvitse erikseen ohjelmoida automaatiojärjestelmään. Kamstrup MULTICAL 403-mittari kerää trendiseurantana vakioasetuksilla energiankulutustietoja ja tilavuusvirtatietoja vuositasolla 20 v, kuukausitasolla 36 kk, päivätasolla 460 vrk ja tuntitasolla 1400 h ajalta (Kamstrup, MULTICAL 403 2016, 8).

#### **4.1.2 Toisiopuolen energiamittaus kiertovesipumpulla**

Toisiopuolen energiamittaus voidaan toteuttaa kohdassa 4.1.1 esitetyllä tavalla, mutta markkinoilla on myös kiertovesipumppuja, jotka hoitavat verkoston energiankulutuksen mittaamisen. Esimerkiksi Grundfos MAGNA3-kiertovesipumpussa (Kuva 5) on sisäinen paine-eromittaus sekä menoveden lämpötilamittaus, joiden perusteella pumppu arvioi laskennallisesti energiankulutusta, sekä lisävarusteena pumppuun saa paluueden lämpötilamittauksen, mikä tarkoittaa tulosta (Grundfos MAGNA3 2015, 2).



KUVA 5. MAGNA3 kiertovesipumppu (Grundfos MAGNA3 2015, 1)

Tarkkuudeltaan kiertovesipumpun energiamittaus ei ole yhtä tarkka kuin energiamittarilla hoidettu, joten se ei sovellu yhtä hyvin laskutusmittariksi, mutta soveltuu silti hyvin energiankulutuksien seurantaan. Grundfos MAGNA3:n lämpöenergiamittauksen epätarkkuus on suurimmillaan 10 % (Grundfos MAGNA3 2015, 2). Kiertovesipumpussa olevan energiamittauksen etuna voidaan todeta esimerkiksi se, että erillistä energiamittaria ei tarvita, joten verkoston painehäviö on pienempi, jolloin myös pumppaukseen kuluu vähemmän energiaa.

#### 4.2 Järjestelmien prosessien mittauksilla toteutettavat lämpöenergiaseurannat

Lämmitysjärjestelmien mittauksia hyödyntämällä laskennallisesti lämpöenergian kulutuksien seurannassa saadaan näkyviin järjestelmien pienempien osien kuten yksittäisten ilmanvaihtokoneiden lämpöenergian kulutuksia. Järjestelmien pienempien osien energian kulutuksien seurannoilla voidaan saada tietoa esimerkiksi kojeiden vikatilanteista tai toimintahäiriöistä. Kun seurataan energiankulutuksia riittävän monelta järjestelmän osalta kiinteistön lämpöenergiataseen kannalta, päästään laskennallisesti käsiksi jopa kiinteistöjen rakenteiden lämpöteknisen toimivuuden seurantaan.

### 4.2.1 Lämmin käyttövesi

Lämpimän käyttöveden energiankulutuksen mittaus voidaan toteuttaa kohdassa 4.1.1 esitetyllä tavalla, mutta se on toteutettavissa myös laskennallisesti automaatiojärjestelmässä, jos järjestelmään on liitettyä tarvittavat lämpötila-anturit. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (2012, 64) mukaan lämpimän käyttöveden lämpötehtarve laskeaan kaavalla 1,

$$\phi_{lkv} = \rho_v c_{pv} q_{v,lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) + \phi_{lkv,kiertohäviö} \quad (1)$$

jossa

$\phi_{lkv}$  = käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve (kW)

$\rho_v$  = veden tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$c_{pv}$  = veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/(kgK))

$q_{v,lkv}$  = lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama (m<sup>3</sup>/s)

$T_{lkv}$  = lämpimän käyttöveden lämpötila (°C)

$T_{kv}$  = kylmän käyttöveden lämpötila (°C)

$\phi_{lkv,kiertohäviö}$  = lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt (kW)

Jättämällä kaavasta 1 lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt pois, saadaan laskevaa lämpimän käyttöveden käytön viemä teho. Samalla tavalla voidaan laskea myös kiertojohdon häviöt käyttämällä tilavuusvirtana kiertojohdon tilavuusvirtaa ja lämpötilaerotuksessa lämpimän käyttöveden lämpötilan ja kiertojohdon paluulämpötilan erotusta.

Kun oletetaan veden tiheys ja ominaislämpökapasiteetti vakioiksi, kaavan 1 käyttö edellyttää vähintään lämpimän käyttöveden vesimäärän, lämpötilan ja kiertojohdon paluuvien lämpötilan mittausta, jotta saadaan eriteltyä lämpimän käyttöveden käytön ja kiertojohdon häviöiden lämpötehot. Kylmän käyttöveden lämpötilan mittaaminen tarkoittaa tulosta, mutta se voidaan kohtalaisella tarkkuudella myös arvata. Kiertojohdon virtaamana voidaan käyttää kiertojohdon kiertovesipumpulta kerran mitattua virtaamaa, koska lämpimän käyttöveden kiertojohtojen pumput ovat yksinopeuksisia. Periaatteellinen kaavio lämpimän käyttöveden energiankulutuksen mittauksista ja mittauksien toimintaselostus löytyvät liitteestä 2.



Kaavan 1 tarkkuuteen vaikuttaa vesivirtojen sekä lämpötilaerotuksien suuruudet. Mitä suurempia vesivirrat ja lämpötilaerot ovat, sitä tarkempaa laskenta on. Esimerkiksi Kamstrupin flowIQ® 3100-vesimäärämittarin (KUVA 6) epätarkkuus minimivirtaamalla on enintään  $\pm 5\%$  ja nimellisvirtaamalla enintään  $\pm 2\%$  (Kamstrup, flowIQ® 3100 2016, 5). Proidual käyttöveden lämpötila-anturin TENA PT 100 (KUVA 7) epätarkkuudeksi ilmoitetaan  $\pm 0,3\text{ °C}$  (Proidual, TENA PT 100 2013). Tavanomaisella  $50\text{ °C}$  käyttöveden lämpötilankorotuksella tämä tarkoittaa lämpötilaerotukselle noin  $\pm 1,2\%$  suhteellista virhettä ja  $5\text{ °C}$  lämpötilan korotuksella lämpimän käyttöveden kiertojohtossa noin  $\pm 12\%$  suhteellista virhettä.



KUVA 6. Kamstrup vesimittari (Kamstrup, flowIQ® 3100 2016, 1)



KUVA 7. Käyttöveden lämpötila-anturi (Produal, TENA PT 100 2013)

#### 4.2.2 Tulo- ja poistoilmanvaihtokoneet

Tulo- ja poistoilmanvaihtokoneiden ilmavirtojen lämmitykseen ja lämpöhäviöihin kuluvat energiavirrat ovat usein laskennallisesti arvioitavissa ilmanvaihtokoneissa olevien mittauksien perusteella. Esimerkiksi kaikissa tämän opinnäytetyön Case-kohteissa vaadittavat mittaukset ovat olemassa.

Tuloilmakoneen ilmavirran lämmittämiseen tarvittava teho voidaan laskea kaavalla 2 (Sandberg, Ilmastointilaitoksen mitoitus 2014, 131),

$$\phi_{ilma} = \rho_i q_{vi} c_{pi} (T_{tulo} - T_{ulko}) \quad (2)$$

jossa

$\phi_{ilma}$  = lämmitysteho (kW)

$\rho_i$  = ilman tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$q_{vi}$  = ilman tilavuusvirta (m<sup>3</sup>/s)

$c_{pi}$  = ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/(kgK))

$T_{tulo}$  = tuloilman lämpötila (°C)

$T_{ulko}$  = ulkoilman lämpötila (°C)

Kaavaa 2 voidaan hyödyntää ilmanvaihtokoneen yksittäisen lämmittimen, esimerkiksi lämmöntalteenoton ja lämmityspatterin lämmitystehojen laskentaan, kun lämpötiloina käytetään lämmittimen yli olevia lämpötiloja. Kun ilman tiheys ja ominaislämpökapasiteetti oletetaan pysyvän vakioina, laskenta vaatii ainoastaan ilmavirran ja lämmittimen yli olevien lämpötilojen mittaukset. Jos ilmanvaihtokone on vakioilmavirtainen, voidaan laskennassa käyttää kerran mitattua ilmavirtaa, jolloin automaatioon liitettynä tarvitsee olla vain laskennan vaatimat lämpötilamittaukset. Periaatteellinen toimintakaavio ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin energiankulutuksen mittauksista ja mittausten toimintaselostus löytyvät liitteestä 3.

Kaavan 2 tarkkuus vaihtelee suuresti riippuen ilmavirran lämpötilankorotuksen ja ilmavirran suuruudesta. Mitä pienempi ilmavirta tai lämpötilan korotus on, sitä suurempi on suhteellinen virhe. Esimerkiksi yhden Produalin TEK KP-10 lämpötila-anturin (KUVA 8) virhe on  $\pm 0,5$  °C (Produal, Kanavalämpötila-anturi TEK KP-10 2012). Tämä tarkoittaa 5 °C:n lämpötilakorotuksessa 20 % suhteellista virhettä ja 20 °C:n lämpötilakorotuksessa 5 % suhteellista virhettä. Ilmavirtaa mitataan usein paine-eron perusteella, esimerkiksi Produal IML-ilmamäärälähettimellä (KUVA 9). Kyseisen anturin virheeksi ilmoitetaan  $\pm 1$  Pa  $\pm 1$  % ja luotettavan mittaustuloksen aikaansaamiseksi tarvittavaksi vähimmäispaine-eroksi ilmoitetaan 15 Pa (Produal, Ilmamäärälähetin / -säädin 2013). Vähimmäispaine-erolla suhteelliseksi virheeksi saadaan paine-erolle noin 8 % suhteellista virhettä. Suuremmilla paine-eroilla virhe jää pieneksi. Esimerkiksi 100 Pa paine-erolla suhteellinen virhe on vain noin 2 %. Edellä mainittujen asioiden perusteella voidaan todeta, että anturien toimiessa hyvällä mittausalueella, saadaan kaavalla 2 kohtalaisen tarkkoja tuloksia. Käytännössä tämä tarkoittaa lämpötilojen osalta sitä, että kylmällä ulkoilmalla saadaan tarkempia tuloksia kuin lämpimällä, eli tarkimmat tulokset saadaan silloin, kun lämpöenergiaa kuluu eniten. Myös ilmavirtojen osalta saadaan tarkimmat tulokset silloin, kun energiaa kuluu eniten, eli silloin kun ilmavirrat ovat suuria.



KUVA 8. Kanavaan asennettava lämpötila-anturi (Produal, Kanavalämpötila-anturi TEK KP-10 2012)



KUVA 9. Ilmamäärälähetin (Produal, Ilmamäärälähetin / -säädin 2013)

#### 4.2.3 Erillispoistoilmakoneet

Poistoilmakoneiden, joissa ei ole lämmöntalteenottoa, aiheuttamaa lämpöhäviötä voidaan arvioida kaavalla 2, kun lämpötilaerotuksessa käytetään sisä- ja ulkolämpötiloja. Vakioilmavirtaisissa poistoilmakoneissa laskennassa käytettävänä ilmavirtana voidaan käyttää

kerran mitattua puhaltimen ilmavirtaa. Jos puhallin on muuttuvilmavirtainen, tarvitaan laskentaan ilmavirran mittaus tai arvio. Periaatteellinen toimintakaavio erillispoistoilmakoneen lämpöhäviön mittauksista ja mittauksien toimintaselostus löytyvät liitteestä 4.

Ilmavirran arviointi onnistuu kerran mitatusta ilmavirrasta puhaltimen pyörimisnopeuden perusteella affiniteetilakien avulla, jos verkosto säilyy vakiona, eli verkostossa ei ole toimimooottoripeltejä. Affiniteetilakien mukaan puhaltimen pyörimisnopeus on suoraan verrannollinen tilavuusvirtaan (Seppänen, Rakennusten lämmitys 2001, 234). Affiniteetilakien mukainen verranto nähdään kaavasta 3 (Seppänen, Rakennusten lämmitys 2001, 234),

$$\frac{q_{v1}}{q_{v2}} = \frac{n_1}{n_2} \quad (3)$$

jossa

$q_{v1}$  = ilmavirta tilanteessa 1 (m<sup>3</sup>/s)

$q_{v2}$  = ilmavirta tilanteessa 2 (m<sup>3</sup>/s)

$n_1$  = pyörimisnopeus tilanteessa 1 (1/min)

$n_2$  = pyörimisnopeus tilanteessa 2 (1/min)

#### 4.2.4 Kiertoilmakoneet

Kiertoilmakoneiden kuluttamaa lämpötehoa voidaan arvioida kaavalla 2, kun lämpötilaerotuksessa käytetään sisäilman lämpötilaa ja kiertoilmakoneen puhalluslämpötilaa. Tämä vaatii vähintään kiertoilmakoneen puhalluslämpötilan mittauksen. Muuttuvilmavirtaisen kiertoilmakoneen ilmavirtaa voidaan arvioida affiniteetilakien mukaisesti.

Rekuperatiivisen lämmonsirtimen lämpökapasiteettivirtojen pysyessä vakiona, myös lämmonsirtimen rekuperaatioaste, eli lämmonsirtimen lämpötilahyötysuhde, pysyy vakiona, mikä voidaan päätellä esimerkiksi lämmonsirtimien mitoituskäyrästä (Seppänen, Rakennusten lämmitys 2001, 227). Lämmonsirtimen rekuperaatioaste lasketaan kaavalla 4 (Seppänen, Rakennusten lämmitys 2001, 224),

$$\varepsilon = \frac{T_2'' - T_2'}{T_1' - T_2'} \quad (4)$$

jossa

$\varepsilon$  = lämmönsiirtimen rekuperaatioaste

$T_2''$  = toisiopuolen ainevirran lämpötila lämmönsiirtimen jälkeen (°C)

$T_2'$  = toisiopuolen ainevirran lämpötila ennen lämmönsiirintä (°C)

$T_1'$  = ensiöpuolen ainevirran lämpötila ennen lämmönsiirintä (°C)

Lämmönsiirtimen teho voidaan laskea kaavalla 5 (Seppänen, Rakennusten lämmitys 2001, 224),

$$\phi = \dot{C}_1(T_1' - T_1'') = \dot{C}_2(T_2'' - T_2') \quad (5)$$

jossa

$\phi$  = lämmönsiirtimen teho (W)

$\dot{C}_1$  = lämmönsiirtimen ensiöpuolen lämpökapasiteettivirta (W/°C)

$\dot{C}_2$  = lämmönsiirtimen toisiopuolen lämpökapasiteettivirta (W/°C)

$T_1'$  = ensiöpuolen ainevirran lämpötila ennen lämmönsiirintä (°C)

$T_2'$  = toisiopuolen ainevirran lämpötila ennen lämmönsiirintä (°C)

$T_1''$  = ensiöpuolen ainevirran lämpötila lämmönsiirtimen jälkeen (°C)

$T_2''$  = toisiopuolen aineen lämpötila lämmönsiirtimen jälkeen (°C)

Kaavoista 4 ja 5 voidaan päätellä seuraavaa. Kun lämmönsiirtimen lämpökapasiteettivirrat ja rekuperaatioaste pysyvät vakioina, lämmönsiirtimen teho muuttuu suoraan verrannollisesti ensiö- ja toisiopuolen ennen siirintä olevien lämpötilojen erotukseen. Jos kiertoilmakone on vakioilmavirtainen ja vesivirraltaan päälle/pois säädöllä varustettu, voidaan olettaa kiertoilmakoneen lämpökapasiteettivirtojen pysyvän lähes vakioina. Tällöin voidaan laitteen lämmitystehoa arvioida esimerkiksi suhteuttamalla laitteen mitoitusteho vallitseviin olosuhteisiin kaavalla 6,

$$\phi_{kk} = \phi_{mit.} \frac{T_{meno} - T_{sisä}}{\Delta T_{mit.}} \quad (6)$$

jossa

$\phi_{kk}$  = kiertoilmakoneen lämmitysteho (kW)

$\phi_{mit.}$  = kiertoilmakoneen mitoituslämmitysteho (kW)

$T_{meno}$  = kiertoilmakoneen lämmityspatterin menoveden lämpötila (°C)

$T_{sisä}$  = sisäilman lämpötila (°C)

$\Delta T_{mit.}$  = menoveden ja sisälämpötilan mitoituslämpötilaero (°C)

Mittausten osalta kaavan 6 mukainen laskenta vaatii vähintään lämmitysverkoston menoveden lämpötilan mittauksen. Oviverhohuhaltimekset ovat säätövaltaaan usein sopivia kaavan 6 mukaiseen laskentaan. Esimerkiksi kaikkien tämän opinnäytetyön Case-kohteiden oviverhohuhaltimekset ovat tyypiltään tällaisia. Periaatteellinen toimintakaavio kiertoilmakoneen energiankulutuksen mittauksista ja mittauksien toimintaselostus löytyvät liitteestä 5.

Kaavassa 6 epätarkkuutta voivat aiheuttaa esimerkiksi lämpökapasiteettivirtojen muutokset lämmitysverkostossa lämmityskaudella. Epätarkkuuden suuruutta on erittäin vaikea arvioida, koska lämmitysverkoston toiminta täytyisi tunkea erittäin tarkasti, jotta voitaisiin arvioida lämpökapasiteettivirtojen muutoksien suuruutta. Voidaan kuitenkin todeta, että mitä paremmin verkosto on tasapainotettu, sitä vähemmän lämmityskaudella verkoston lämpökapasiteettivirrat muuttuvat ja sitä tarkempaa arviointi on. Epätarkkuudesta huolimatta menetelmällä pystytään seuraamaan muutoksia energian kulutuksessa, joten epätarkkuus ei tee seurannasta hyödytöntä.

#### 4.2.5 Tilalämmitys ja rakennusvaipan lämpöhäviöt

Luvussa 4 aiemmin esitettyjä seurantoja voidaan hyödyntää myös rakennuksen tilalämmityksen energiankulutuksen ja rakennusvaipan lämpöhäviöiden arviointiin, kun tunnetaan rakennuksen lämmitysjärjestelmät riittävän tarkasti. Esimerkiksi tämän opinnäytetyön osan 6 kuvioista 3 nähdään, että Luhtaan päiväkodin tilalämmitykseen käytetään lämmitysenergiaa kahdesta verkostosta, ilmanvaihto- ja patteriverkostosta sekä lattialämmitysverkostosta. Ilmanvaihto- ja patteriverkostosta kuluu energiaa tilalämmityksen lisäksi tuloilmakoneiden sekä oviverhohuhaltimekset lämmitysenergiaksi. Tällöin Luhtaan päivä-

kodin tilalämmityksen tehon osuudeksi jää ilmavaihto- ja patteriverkoston ja lattialämmitysverkoston tehojen summan ja tuloilmakoneiden ja oviverhopuhaltimien tehojen summien erotus kaava 7,

$$\phi_{tila} = (\phi_{IP} + \phi_{LL}) - (\phi_{IV} + \phi_{OP}) \quad (7)$$

jossa

$\phi_{tila}$  = tilalämmitykseen lämmitysverkostosta kuluva teho (W)

$\phi_{IP}$  = ilmanvaihto- ja patteriverkoston teho (W)

$\phi_{LL}$  = lattialämmitysverkoston teho (W)

$\phi_{IV}$  = tuloilmakoneiden lämmityspatterien yhteenlaskettu lämmitysteho (W)

$\phi_{OP}$  = oviverhopuhaltimien yhteenlaskettu lämmitysteho (W)

Kaavassa 7 oviverhopuhaltimien ei ole ajateltu sisältyvän tilalämmitykseen, koska niiden varsinainen käyttötarkoitus on estää ja osaltaan myös kattaa oven avauksesta johtuvaa lämpöhäviötä.

Rakennuskohtaiset lämmitysjärjestelmät voivat erota toisistaan huomattavasti, joten tilalämmityksen osuuden arviointiin tarvitaan aina rakennuksen lämmityksen jakauman mukainen arviointi. Esimerkiksi Otsonmäen päiväkodissa tilalämmitykseen osallistuu vain lattialämmitysverkosto, eikä lattialämmitysverkosta käytetä muuhun kuin tilalämmitykseen, joten Otsonmäen päiväkodin tilalämmityksen teho on sama kuin lattialämmitysverkoston teho. Tämä näkyy myös osan 6 kuvioista 6.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (2012, 60) mukaisesti tilalämmitys lasketaan kaavalla 8,

$$\phi_{tila} = \phi_{joht} + \phi_{vuotoilma} + \phi_{tuloilma} + \phi_{korvausilma} \quad (8)$$

jossa

$\phi_{tila}$  = tilojen lämmitysjärjestelmän lämmitystehontarve (W)

$\phi_{joht}$  = johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi (W)

$\phi_{vuotoilma}$  = teho vuotoilman lämmittämiseen tilassa (W)

$\phi_{tuloilma}$  = teho tuloilman lämmittämiseen tilassa (W)

$\phi_{korvausilma}$  = teho korvausilman lämmittämiseen tilassa (W)



Kaavan 8 avulla voidaan laskennallisesti arvioida rakennusvaipan lämpöhäviöitä, kun tiedetään tilalämmityksen, tuloilman lämmityksen tilassa ja korvausilman lämmityksen tehot. Tuloilman tilalämmityksen teho voidaan laskea ilmanvaihtokonekohtaisesti kaavalla 2, kun käytetään lämpötilaerotuksessa rakennuksen sisäilman ja tuloilman lämpötilojen erotusta. Korvausilman lämmityksen teho voidaan laskea kaavalla 2, kun lämpötilaerotuksessa käytetään sisä- ja ulkolämpötilojen erotusta, sekä korvausilmavirtana rakennuksen yhteenlaskettujen poistoilmavirtojen ja tuloilmavirtojen erotusta. Ratkaisemalla kaavasta 8 johtumisen ja vuotoilman lämpöhäviöiden summa saadaan kaava 8 muotoon

$$\phi_{joht} + \phi_{vuotoilma} = \phi_{tila} - (\phi_{tuloilma} + \phi_{korvausilma})$$

Seuraamalla rakennusvaipan johtumislämpöhäviön ja vuotoilman lämpöhäviön summaa saadaan arvokasta tietoa rakennusvaipan eristyksen kunnosta ja rakenteen ilmatiiveydestä.

Virhettä kaavan 8 mukaisessa energiankulutuksen seurannassa aiheutuu monista tekijöistä, esimerkiksi sisäisistä lämpökuormista, auringon aiheuttamasta lämpökuormasta ja laskennassa käytettyjen mittausten ja arvioiden virheistä. Tämän takia seuranta ei voida pitää kovin tarkkana. Lämmitysjärjestelmien toimiessa suurilla tehoilla ja yöaikaan, tulos tarkentuu, koska järjestelmien lämpötilamittausten suhteellinen virhe on pienempi suurilla lämpötilaeroilla ja lämpökuormien vaikutus pienenee yöaikaan. Seurannasta saataisiinkin parhaiten vuositasolla vertailukelpoisia tuloksia seuraamalla rakenteiden lämpöhäviöitä vuoden kovimpien pakkasjaksojen yöaikoina.

## 5 CASE-KOYTEIDEN LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN ESITTELY

### 5.1 Luhtaan päiväkoti

Luhtaan päiväkoti käyttää lämmönlähteenään kaukolämpöä. Kaukolämpöä käytetään tilojen, tuloilman ja käyttöveden lämmittämiseen. Lämpö jaetaan kahteen lämmitysverkostoon: lattialämmitys- sekä ilmanvaihto- ja patteriverkostoon. Lämpö luovutetaan tiloihin pääasiassa vesikiertoisella lattialämmityksellä. Teknisten tilojen lämmitykseen käytetään vesikiertoisia lämmityspattereita. Rakennuksen tuulikaapeissa on ilmanvaihto- ja patteriverkostoon kytketyt oviverhopuhaltimet, jotka estävät ja kattavat ovien avauksen aiheuttamaa lämpöhäviötä. Poistoilmasta otetaan lämpöä talteen pyörivällä lämmöntalteenotto-laitteella kiinteistön muiden tilojen osalta, paitsi keittiön poistoilmasta lämpöä otetaan talteen vesikiertoisella lämmöntalteenottopatterilla.

### 5.2 Koivurinteen päiväkoti

Koivurinteen päiväkodin päälämmönlähteenä toimii läheisten Ruutanan koulun ja Ruusutarhan päiväkodin kanssa yhteinen pellettilämmitys, jonka lämmityskattila sijaitsee Ruutanan koulun entisessä varastotilassa. Lämpö jaetaan kolmeen lämmitysverkostoon: ilmanvaihtoverkostoon ja kahteen lattialämmitysverkostoon sekä lämpimään käyttöveeteen. Lisäksi yhdessä ilmanvaihtokoneessa on poistoilmalämpöpumppu, jonka tuottamaa lämpöenergiaa hyödynnetään lämpimän käyttöveden esilämmitykseen ja kohteen toiseen lattialämmitysverkostoon. Kohteen tuulikaapeissa on ilmanvaihtoverkostoon liitetyt oviverhopuhaltimet, joilla estetään ja katetaan ovien avauksen aiheuttamaa lämpöhäviötä. Kohteessa on kaksi tulo- ja poistoilmanvaihtokonetta joiden poistoilmasta otetaan lämpöä talteen toisessa koneessa pyörivällä lämmöntalteenottolaitteella ja toisessa poistoilmalämpöpumpulla.

### **5.3 Jukola Impivaaran vanhusten ryhmäkoti**

Impivaaran vanhusten ryhmäkodin päälämmönlähteenä toimii kaukolämpö, jonka lämpöenergia jaetaan kolmeen lämmitysverkostoon: ilmanvaihtoverkostoon, patteriverkostoon ja lattialämmitysverkostoon sekä lämpimään käyttöveteen. Lisäksi kohteessa hyödynnetään läheisestä järvestä saatavaa lämpöenergiaa ilmanvaihtokoneiden esilämmityspattereissa. Tilojen lämmitys hoidetaan pääasiassa ilmanvaihdon huonekohtaisilla jälkilämmityspattereilla. Teknisen tilan ja joidenkin muiden tilojen lämmitys on hoidettu vesikiertoisilla lämmityspattereilla ja märkätilojen lämmitys on hoidettu vesikiertoisella lattialämmityksellä. Kiinteistön tuulikaapeissa on ilmanvaihtoverkostoon liitetyt oviverhopuhaltimet, jotka estävät ja kattavat ovien avauksesta johtuvaa lämpöhäviötä. Kohteessa otetaan poistoilmasta lämpöä talteen kohteen kaikissa tulo- ja poistoilmanvaihtokoneissa levylämmönsiirtimillä.

### **5.4 Otsonmäen päiväkot**

Otsonmäen päiväkodissa käytetään lämmönlähteenä kaukolämpöä, jonka lämpöenergia jaetaan kolmeen lämmitysverkostoon: sulanapitoverkostoon, ilmanvaihtoverkostoon ja lattialämmitysverkostoon sekä lämpimään käyttöveteen. Tilojen lämmitys on hoidettu vesikiertoisella lattialämmityksellä. Kohteen tuulikaapeissa on ilmanvaihtoverkostoon liitetyt oviverhopuhaltimet, joilla estetään ja katetaan ovien avauksesta johtuvaa lämpöhäviötä. Kohteessa on kolme tulo- ja poistoilmanvaihtokonetta, joiden poistoilmasta otetaan lämpöä talteen yleisistä tiloista levylämmönsiirtimellä, keittiöstä nestekiertoisella lämmöntalteenotolla ja ryhmätilojen osalta pyörivällä lämmöntalteenottolaitteella.

### **5.5 Vehmaisten alakoulu**

Vehmaisten alakoulun lämmönlähteenä käytetään kaukolämpöä, jonka lämpöenergia jaetaan kolmeen lämmitysverkostoon: ilmanvaihtoverkostoon, lattialämmitysverkostoon ja patteriverkostoon sekä lämpimään käyttöveteen. Tilojen lämmitys on hoidettu osassa tiloista vesikiertoisella lattialämmityksellä ja osassa vesikiertoisilla lämmityspattereilla. Kohteen tuulikaapeissa on ilmanvaihtoverkostoon liitetyt oviverhopuhaltimet, joilla este-

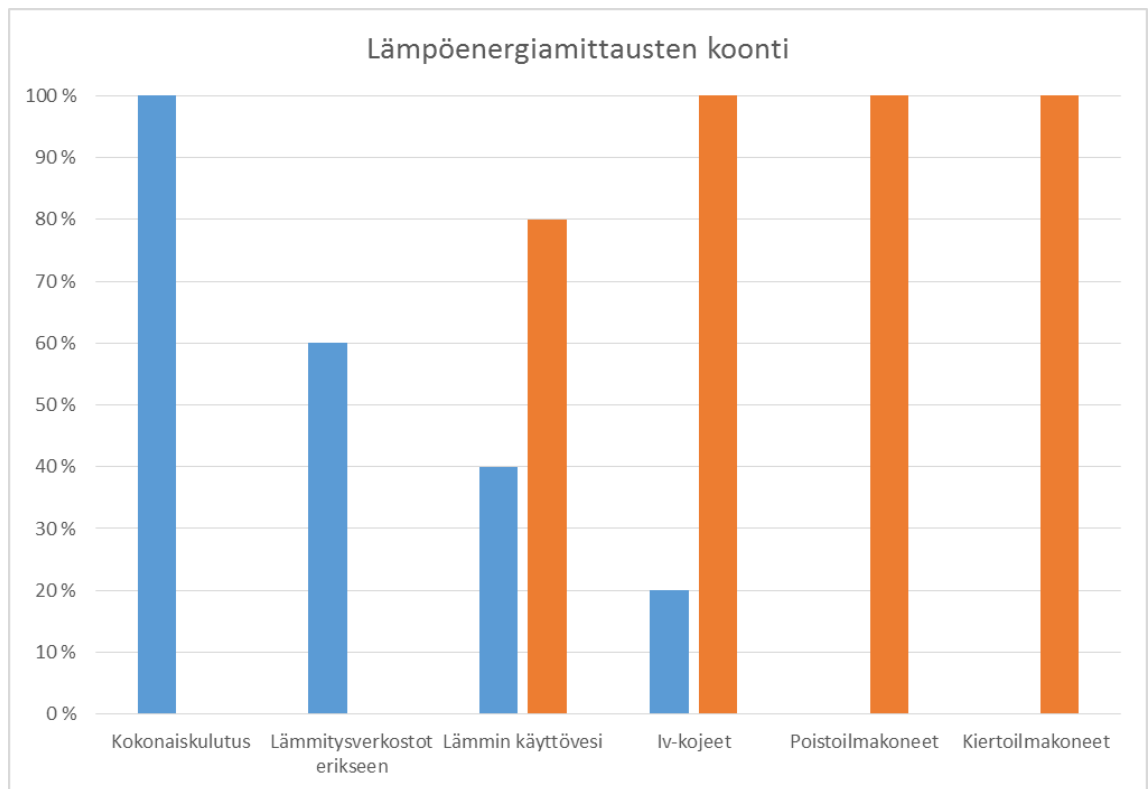
tään ja katetaan ovien avauksesta johtuvaa lämpöhäviötä. Kohteessa on 12 tulo- ja poistoilmanvaihtokonetta, joiden poistoilmasta otetaan lämpöä talteen pääasiassa pyörivällä lämmöntalteenottolaitteella. Keittiön ja teknisen työn tilojen poistoilman lämmöntalteenoton osalta käytetään nestekiertoista lämmöntalteenottoa ja sosiaalityötilojen osalta levylämmönsiirintä.

## 6 LÄMPÖENERGIA – JA VESIMITTAUKSET CASE-KOhteissa

Tässä osiossa esitellään tutkimuksessa havaitut olemassa olevat vesimittaukset, lämpöenergiamittaukset ja niiden parannusmahdollisuudet. Lisäksi parannusmahdollisuuksien vaatimien lisäysten kustannusarviot esitetään uudisrakentamisen kannalta (liitteet 6.-10.). Kustannusarvioita ei tehty korjausrakentamisen kannalta, koska kohteiden liian vähäisen tuntemuksen vuoksi toimenpiteiden vaatimien töiden arviointi olisi ollut arvailua. Tulokset perustuvat kohteiden toteutussuunnitelmiin, joten todelliset järjestelmät voivat poiketa tämän työn tuloksista. Parannusmahdollisuuksiin on huomioitu rakennuksen lämpötaseen seurannan kannalta oleelliset mittaukset. Tarkastelussa ei ole huomioitu olemassa olevan rakennusautomaatio-ohjelmiston soveltuvuutta seurantoihin.

### 6.1 Case-kohteiden koonti

Mukana olleiden Case-kohteiden lämpöenergiamittausten määrät suhteessa kohteiden määrään näkyvät kuviossa 2. Kuviossa 2 siniset pylväät kertovat olemassa olevien seurantojen osuudet ja oranssit nykyisellä mittaroinnilla toteutettavissa olevien seurantojen osuudet, eli tarvittavat mittarit lämpöenergiankulutuksen laskennalliseen arviointiin on olemassa.



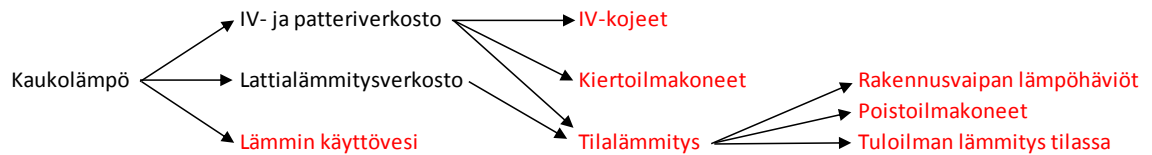
KUVIO 2. Lämpöenergiamittausten koonti

Kuvioissa 2-7 kiertoilmakoneiden osalta on huomioitu vain oviverhopuhaltimet. Muut kiertoilmalämmittimet sisältyvät tilalämmitykseen.

Kaikissa kohteissa mitataan kylmän ja lämpimän käyttöveden vesimääriä. Kaikissa muissa kohteissa paitsi Luhtaan päiväkodissa kylmän- sekä lämpimän käyttöveden mittarit ovat kytkettynä automaatiojärjestelmään. Luhtaan päiväkodissa kylmän käyttöveden vesimäärä ei ole, mutta lämpimän käyttöveden vesimäärä on liitetty automaatiojärjestelmään.

## 6.2 Luhtaan päiväkoti

Luhtaan päiväkodin lämpöenergiamittausten nykytila ja parannusmahdollisuudet näkyvät kuvioista 3. Kuvioista nähdään nykyiset seurannat ja nykyisen mittaroinnin mahdollistamat seurannat lämpötaseen kannalta. Kaikki kuviossa näkyviin mittauksiin liittyvät mittarit ja anturit on liitetty automaatiojärjestelmään.



mustalla = olemassa olevat seurannat

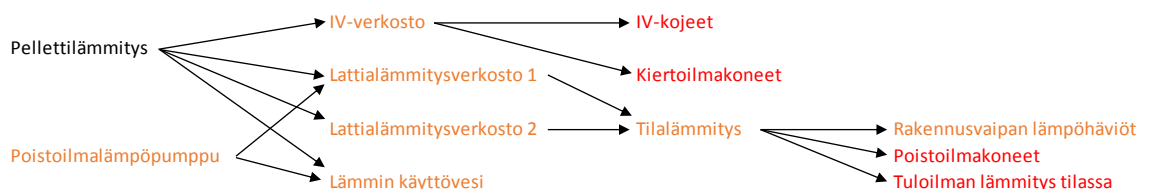
punaisella = nykyisen mittaroinnin mahdollistamat laskennalliset seurannat

KUVIO 3. Luhtaan päiväkodin lämpöenergiamittausten jakauma ja energian kulku-  
suunta

Kuviosta 3 voidaan havaita, että Luhtaan päiväkotiki on mittaroinniltaan riittävä rakennuk-  
sen lämpötaseen seuraamiseksi. Tarvittavien laskentojen ohjelmoinnille saatiin kustan-  
nusarvioksi noin 1700 € alv. 0 %.

### 6.3 Koivurinteen päiväkotiki

Koivurinteen päiväkodin lämpöenergiamittausten nykytila ja parannusmahdollisuudet  
näkyvät kuviosta 4. Kuviosta nähdään nykyiset seurannat, nykyisen mittaroinnin mahdol-  
listamat seurannat lämpötaseen kannalta ja lämpötaseen osat, joiden seuranta vaatii kat-  
tavampaa mittarointia.



mustalla = olemassa olevat seurannat

punaisella = nykyisen mittaroinnin mahdollistamat laskennalliset seurannat

oranssilla = kattavampaa mittarointia vaativat seurannat

KUVIO 4. Koivurinteen päiväkodin lämpöenergiamittausten jakauma ja energian kul-  
kusuunta

Rakennuksen lämpötaseen seurantaan tarvitaan nykyisen mittaroinnin lisäksi vähintään  
poistoilmalämpöpumpun tuottaman energian mittaus, lämpöenergiamittaukset erikseen  
lämmitysverkostoille ja lämpimän käyttöveden energiankulutuksen laskentaa varten läm-  
minvesikierron paluuvien lämpötilamittaus. Tarvittavien mittarien asennukselle ja tar-  
vittavien laskentojen ohjelmoinnille saatiin kustannusarvioksi yhteensä noin 3000 € alv.  
0 %.

## 6.4 Jukola Impivaaran vanhusten ryhmäkoti

Jukola Impivaaran vanhusten ryhmäkodin lämpöenergiamittausten nykytila ja parannusmahdollisuudet näkyvät kuviosta 4. Kuviosta nähdään nykyiset seurannat, nykyisen mittaroinnin mahdollistamat seurannat lämpötaseen kannalta ja lämpötaseen osat, joiden seuranta vaatii kattavampaa mittarointia.



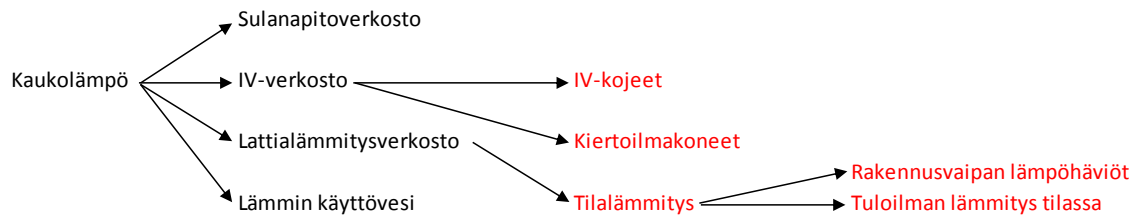
KUVIO 5. Jukola Impivaaran vanhusten ryhmäkodin lämpöenergiamittauksien jakauma ja energian kulkusuunta

Kuviosta 5 voidaan havaita, että rakennuksen lämpötaseen seurantaan tarvitaan mittaroinnin osalta nykyisen mittaroinnin lisäksi vähintään lämmitysverkostojen energiamittaukset erikseen. Tarvittavien mittarien asennukselle ja tarvittavien laskentojen ohjelmoinneille saatiin kustannusarvioksi yhteensä noin 2800 € alv. 0 %.

## 6.5 Otsonmäen päiväkotia

Otsonmäen päiväkodin lämpöenergiamittausten nykytila ja parannusmahdollisuudet näkyvät kuviosta 6. Kuviosta nähdään nykyiset seurannat ja nykyisen mittaroinnin mahdollistamat seurannat lämpötaseen kannalta. Kaikki kuviossa näkyviin mittauksiin liittyvät mittarit ja anturit on liitetty automaatiojärjestelmään.





mustalla = olemassa olevat seurannat

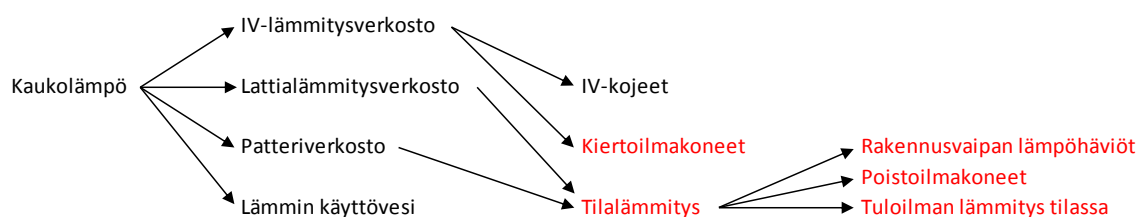
punaisella = nykyisen mittaroinnin mahdollistamat laskennalliset seurannat

**KUVIO 6.** Otsonmäen päiväkodin lämpöenergiamittausten jakauma ja energian kulkusuunta

Kuviosta 6 voidaan havaita, että Otsonmäen päiväkodin mittarointi on riittävä rakennuksen lämpötaseen seuraamiseksi. Tarvittavien laskentojen ohjelmoinnille saatiin kustannusarvioksi noin 1300 € alv. 0 %.

## 6.6 Vehmaisten alakoulu

Vehmaisten alakoulun lämpöenergiamittausten nykytila ja parannusmahdollisuudet näkyvät kuviosta 7. Mustalla tekstillä on näkyvissä nykyiset seurannat ja punaisella nykyisen mittaroinnin mahdollistamat seurannat lämpötaseen kannalta. Kaikki kuviossa näkyviin mittauksiin liittyvät mittarit ja anturit on liitetty automaatiojärjestelmään.



mustalla = olemassa olevat seurannat

punaisella = nykyisen mittaroinnin mahdollistamat laskennalliset seurannat

**KUVIO 7.** Vehmaisten alakoulun lämpöenergiamittausten jakauma ja energian kulkusuunta

Kuviosta 7 voidaan havaita, että Vehmaisten alakoulun mittarointi on riittävä rakennuksen lämpötaseen seuraamiseksi. Tarvittavien laskentojen ohjelmoinnille saatiin kustannusarvioksi noin 2500 € alv. 0 %.

## 6.7 Parannusehdotusten ja kustannusarvioiden koonti

Case-kohteiden parannusehdotusten koonti ja kustannusarviot ovat esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Parannusehdotusten ja kustannusarvioiden koonti

Kohde	Toimenpiteet	Hinta (€) ALV 0 %
Luhtaan päiväkot	Lisättävien seurantojen ohjelmointi	1680
Koivurinteen päiväkot	4 x energiamittarin asennus, 1 x lämpötila-anturin asennus ja lisättävien seurantojen ohjelmointi	2953
Impivaara vanhusten ryhmäkoti	3 x energiamittarin asennus ja lisättävien seurantojen ohjelmointi	2800
Otsonmäen päiväkot	Lisättävien seurantojen ohjelmointi	1330
Vehmaisten alakoulu	Lisättävien seurantojen ohjelmointi	2520

Kohteiden parannusehdotusten kustannusarviot vaihtelivat välillä 1000 € - 3000 €. Taulukkoa tarkastellessa on hyvä ottaa huomioon, että kustannusarviot ovat laskettu uudisrakentamisen näkökulmasta, joten mittauksien lisääminen jälkikäteen voi olla huomattavasti kalliimpaa.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tutkimuksessa havaittiin, että kaikissa tutkituissa Case-kohteissa olemassa olevia mittauksia voidaan hyödyntää lämpöenergiaseurannassa enemmän, kuin tällä hetkellä hyödynnetään. Kaikissa kohteissa veden kulutuksien seuranta oli toteutettu hyvin. Lämpöenergian kokonaiskulutusta seurataan jokaisessa kohteessa, lämmitysverkostojen lämpöenergiankulutuksia erikseen seurataan kolmessa viidestä, lämpimän käyttöveden kuluttamaa lämpöenergiaa kahdessa viidestä ja tulo- ja poistoilmanvaihtokoneiden lämmitysenergian kulutusta yhdessä viidestä kohteesta. Lämpimän käyttöveden energiankulutuksen laskennallinen seuranta olisi mahdollista nykyisellä mittaroinnilla neljässä viidestä kohteesta. Tulo- ja poistoilmanvaihtokoneiden, erillispoistoilmanvaihtokoneiden ja ovi-verhopuhaltimien kuluttaman lämpöenergian seuranta olisi mahdollista nykyisellä mittaroinnilla kaikissa kohteissa. Kohteiden parannusehdotusten kustannusarviot uudisrakentamisen näkökulmasta vaihtelivat välillä 1000 € - 3000 €, mikä vaikuttaa pieneltä summalta verrattuna rakennushankkeiden kokonaiskustannuksiin.

Kohteiden mittauksien nykytilan perusteella vaikuttaa siltä, että kiinteistöjen haltijat ovat kiinnostuneita lämmitysverkostojen energiankulutuksista, mutta eivät ole kiinnostuneita seuraamaan järjestelmien pienempien osasten kuten yksittäisen ilmanvaihtokojeen energiavirtoja, mikä on ymmärrettävää, kun näitä pidetään yksittäin pieninä kuluttajina. Toisaalta kyse voi olla myös siitä, että halu seurata kulutuksia ei välity tilaajalta suunnittelijoille.

Väärin toimiessaan pienestäkin kuluttajasta voi tulla merkittäviä kustannuksia ja seurannoilla pystytään hyvin havaitsemaan, jos yhtäkkiä kulutus kasvaa. Hyvä esimerkki oikein toimiessaan pienestä kuluttajasta on oviverhopuhaltimet, joiden tehot ovat suuria, mutta pieni kulutus perustuu vähäiseen käyttöasteeseen. Käyntijaksojen pidentyessä oviverhopuhaltimilla onkin suuri energiankulutuspotentiaali. Pidentyneet käyntijaksot voivat indikoida esimerkiksi huonokuntoisista ovista, hajonneesta ovipumpusta tai ovien väärästä käytöstä.

Ainakin ilmanvaihtokoneiden lämpöenergiavirtojen seurannan osalta kiinnostus on lisääntynyt lähiaikoina. Esimerkiksi vuonna 2013 julkaistussa Tampereen Tilakeskuksen

automaatiojärjestelmän suunnitteluohjeessa ohjeistetaan käyttämään automaatiojärjestelmästä saatavia mittauksia tuloilmakoneiden lämmitys- ja jäähdytystehojen laskemiseksi. Tämä näkyy jo muun muassa Vehmaisten alakoulun ilmanvaihtojärjestelmässä, jossa toteutussuunnitelmien mukaan on kyseisen suunnitteluohjeen mukainen järjestelmä.

Yhdessäkään tässä työssä käsitellyssä ohjeistuksessa ei mainittu lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöenergian kulutusta, poistoilmapuhaltimien tuomaa lämpöhäviötä eikä oviverhopuhaltimien lämpöenergian kulutusta. Seuraamalla kokonaislämmitysenergian lisäksi lämmitysverkostojen, lämpimän käyttöveden kiertojohtoon, tulo- ja poistoilmanvaihtokoneiden, erillispoistojen ja oviverhopuhaltimien energian kulutusta, pystytään tavanomaisten päiväkotijärjestelmien ja koulurakennusten lämpöenergiatasea seuraamaan reaaliaikaisesti, mikä mahdollistaa myös rakennuksen rakenteiden lämpötekniikan seurannan. Tutkituista viidestä kohteesta kolmessa tämä on mahdollista jo nykyisillä mittaroinneilla.

Lisää tutkimusta kaivataan lämpöenergiaseurantojen sovittamiseksi automaatiojärjestelmiin tai vastaaviin erillisiin energiaseurantaohjelmistoihin. Kun kattavia energiaseurantoja tulevaisuudessa tehdään, seurantadatan analysointiin ja hyödyntämiseen tarvitaan työkaluja, jotta seurannoista saadaan paras mahdollinen hyöty. Lisäksi on syytä tutkia, kuinka sovitetaan energiaseurannat ja olosuhdeseurannat siten, että saataisiin näkyviin energiankulutus suhteessa olosuhteisiin.

## LÄHTEET

Suomen rakentamismääräyskokoelma. D3. 2012. Luettu 1.3.2017

Tapre. Mittarointiohje. 2014. Luettu 30.1.2017

[http://www.tampere.fi/tilakeskus/material/uusikansio/BkpOGus9W/Ohje\\_13\\_Mittarointiohje.pdf](http://www.tampere.fi/tilakeskus/material/uusikansio/BkpOGus9W/Ohje_13_Mittarointiohje.pdf)

Tampereen kaupunki. Rakennusautomaatiojärjestelmä suunnitteluohje. 2013. Luettu 30.1.2017

[http://www.tampere.fi/tilakeskus/material/JZx7LP7ys/Rakennusautomaatiojarjestelma\\_suunnitteluohje\\_200813.pdf](http://www.tampere.fi/tilakeskus/material/JZx7LP7ys/Rakennusautomaatiojarjestelma_suunnitteluohje_200813.pdf)

Suomen Yliopistokiinteistöt Oy. Mittarointiohje. 2016. Luettu 30.1.2017

[http://sykoy.fi/wp-content/uploads/syk\\_tate-jrjestelmohje-v2-1\\_1-3-2016-liitteineen.pdf](http://sykoy.fi/wp-content/uploads/syk_tate-jrjestelmohje-v2-1_1-3-2016-liitteineen.pdf)

Motiva. Energiakatselmoijan käsikirja osa 2.2. Luettu 13.2.2017

<https://www.motiva.fi/files/1694/kat-energiakatselmoijan-kasikirja-osa-2-luku-2-2-A.pdf>

Suomen rakentamismääräyskokoelma. D5. 2012. Luettu 2.3.2017

Kamstrup. Data sheet. MULTICAL 403. 2016. Luettu 20.2.2017

<http://products.kamstrup.com/index.php#>

Grundfos MAGNA3. Vie pumppusi älykkyys uudelle tasolle. 2015. Luettu 20.2.2017

[http://fi.grundfos.com/content/dam/finnish/brochures/gsf\\_magna3\\_leaflet.pdf](http://fi.grundfos.com/content/dam/finnish/brochures/gsf_magna3_leaflet.pdf)

Kamstrup. Datalehti. flowIQ® 3100. 2016. Luettu 2.3.2017

<http://products.kamstrup.com/index.php#>

Produal. Käyttöveden lämpötila-anturi TENA PT 100. 2013. Luettu 2.3.2017

[http://www.produal.com/fi/shop/web\\_pt\\_100\\_sensors/sku-1173050#dataSheet](http://www.produal.com/fi/shop/web_pt_100_sensors/sku-1173050#dataSheet)

Sandberg. Ilmastointilaitoksen mitoitus. 2014. Luettu 20.2.2017

Produal. Kanavalämpötila-anturi TEK KP-10. 2012. Luettu 1.3.2017

[http://www.produal.com/fi/shop/web\\_kp\\_10\\_sensors/sku-117J040#dataSheet](http://www.produal.com/fi/shop/web_kp_10_sensors/sku-117J040#dataSheet)

Produal. Ilmamäärälähetin / -säädin IML. 2013. Luettu 1.3.2017

[http://www.produal.com/fi/shop/web\\_air\\_flow\\_transmitters/sku-1131600#dataSheet](http://www.produal.com/fi/shop/web_air_flow_transmitters/sku-1131600#dataSheet)

Seppänen. Rakennusten lämmitys. 2001. Luettu 20.2.2017

## Lämpöenergiamittausten valintalomake tilaajalle

Mittaus	Hyöty	Selvitys	Vaatii vähintään	Valinta	Huom.
Lämmitysjärjestelmän kokonaislämpöenergia	Määräykset veloitavat/laskutusperuste	Energiamittaus	Energiamittari		
Lämmitysverkostojen lämpöenergiankulutus	Lämmitysenergian kulutusjaksuun tarkentaminen (opinnäytetyön kohta 4.1)	Energiamittaus/Laskenta järjestelmästä saadusta mittauksista	Energiamittari	Verkoston virtaaman ja meno- ja paluuviesien lämpötilojen mittaukset	
Lämpimän käyttöveden lämpöenergiankulutus	Lämmitysenergian kulutusjaksuun tarkentaminen (opinnäytetyön kohta 4.2)	Energiamittaus/Laskenta järjestelmästä saadusta mittauksista	Lämpimän käyttöveden vesimäärämittaus, lämpimän käyttöveden lämpötilan mittaus, lämmönvesikierron paluulämpötilamittaus ja lämmönvesikierron virtaama 1)		
Tulo- ja poistoilmanvaihtokoneiden lämpöenergiankulutus	Lämmitysenergian kulutusjaksuun tarkentaminen (opinnäytetyön kohta 4.2)	Laskenta järjestelmästä saadusta mittauksista	Ilmavirtamittaus, lämmöntalteenoton hyötysuhdemittaus, tuloilman lämpötilamittaus 2)		
Erillispoistojen lämpöhäviöt	Lämmitysenergian kulutusjaksuun tarkentaminen (opinnäytetyön kohta 4.2)	Laskenta järjestelmästä saadusta mittauksista	Ilmavirta sekä sisä- ja ulkoilämpötilat 3)		
Oviverhohuhtaimet	Rakennuksen lämpötaseen seuranta (opinnäytetyön kohta 4.2)	Laskenta järjestelmästä saadusta mittauksista	Sisäilmpötila, ilmavirta ja puhalluslämpötilan mittaus 4)		
Tilalämmitys	Rakennuksen lämpötaseen seuranta (opinnäytetyön kohta 4.2)	Laskenta järjestelmästä saadusta mittauksista	Kaikki ylläolevat 5)		
Rakenteiden lämpöhäviöt	Rakennuksen lämpötaseen seuranta (opinnäytetyön kohta 4.2)	Laskenta järjestelmästä saadusta mittauksista	Kaikki ylläolevat 6)		
Tilan lämmitysenergian kulutus	Laskutusperuste	Energiamittaus	Energiamittari		

1) Mittauksien perusteella voidaan eritellä lämpimän käyttöveden kulutuksen ja lämmönvesikierron energiankulutukset.

2) Esitettyinä on tyyppillisen ilmanvaihtokoneen vaativat mittaukset. Tapauskohtaiset mittaukset tulee valita valittuun ilmanvaihtokoneen kokoonpanon perusteella.

3) Muuttuvaimavirtaiset poistoilmapuhaltimet tarvitsevat lisäksi ilmavirtamittauksen tai -arvon.

4) Jos kiertoilmakoneesta on vakioilmavirtainen puhallin sekä magneettiventtiilillä toteutettu ON/OFF-säättö, ei puhalluslämpötilan mittausta tarvita.

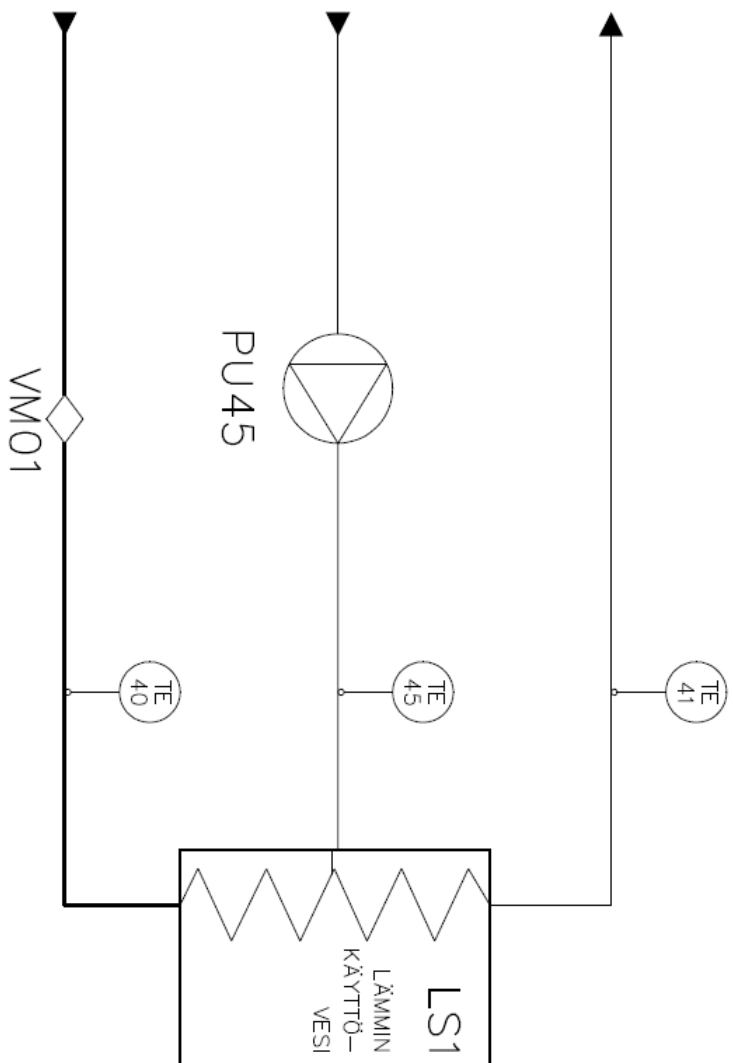
5) Jos tilalämmityksen lämpöenergia otetaan verkostosta/verkostoista, joiden tehtävänä on hoitaa pelkästään tilalämmitystä, voidaan tilalämmitykseen kuuluvaksi lämpöenergiaksi laskea kyseisten verkostojen lämmitysenergiankulutus.

6) Laskennallisesti saadaan lämmitysjärjestelmästä rakenteiden lämpöhäviöiden kattamiseen kuluva osuus, eli rakennuksen sisäiset lämpökuormat täytyy arvioida erikseen.

## LIITTEET

## Liite 1. Energiamittausten valintalomake tilaajalle

## Liite 2. Periaatekuva lämpimän käyttöveden energiamittauksesta ja toimintaselostus



Lämpimän käyttöveden kulutuksen lämpötehoa lasketaan lämpötila-antureiden TE40 ja TE41 sekä lämpimän käyttöveden vesimittarin VM01 lukeman perusteella kaavalla 1. Kulunut lämpöenergia lasketaan keskimääräisen tehon ja käyttöajan mukaan kaavalla 2.

Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviötä lasketaan lämpötila-antureiden TE41 ja TE45 sekä pumpulta PU45 kerran mitatun virtaaman perusteella kaavalla 1. Kulunut lämpöenergia lasketaan keskimääräisen tehon ja käyttöajan mukaan kaavalla 2.

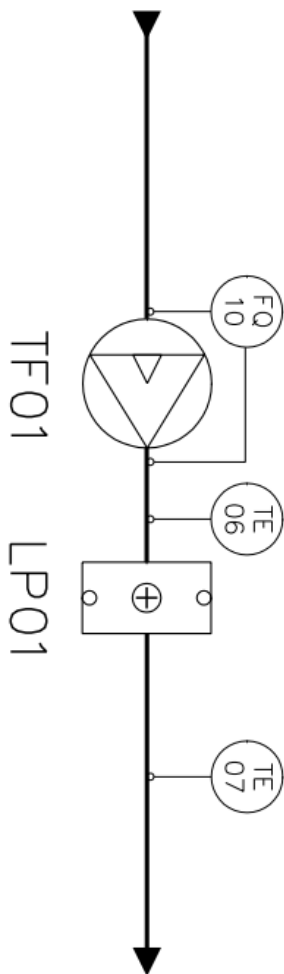
Kaava 1. lämmitysteho (kW)

=  $1000 \text{ kg/m}^3 * \text{virtaama (m}^3/\text{s)} * 4,2 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{C)} * (\text{veden lämpötila lämmittimen jälkeen (}^\circ\text{C)} - \text{veden lämpötila ennen lämmittintä (}^\circ\text{C)})$

Kaava 2. energiankulutus (kWh)

= keskimääräinen teho (kW) \* käyttöaika (h)

Liite 3. Periaatekuva ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin energiamittauksesta ja toimintaselostus



Tulolämpöpatterin LP01 lämmitysteho lasketaan lämpötila-antureiden TE06 ja TE07, sekä ilmavirtamittauksen FQ10 perusteella kaavalla 1. Tehon perusteella lasketaan lämmittimen energiankulutusta kaavalla 2.

Kaava 1. lämmitysteho (kW)

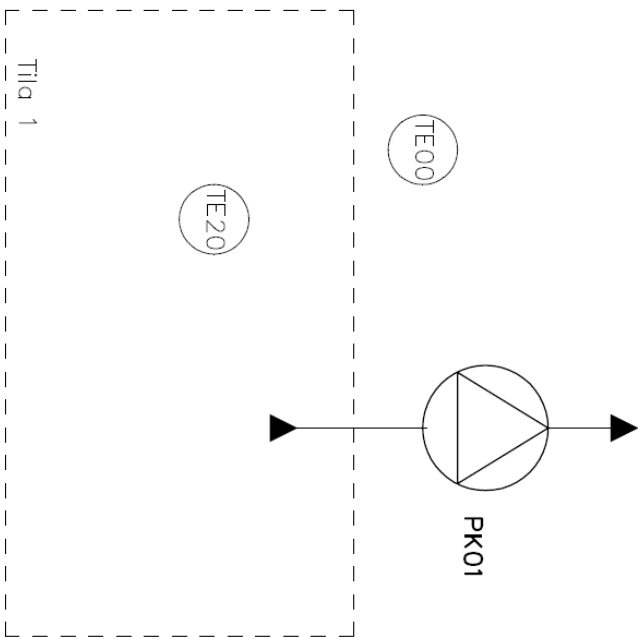
$= 1,2 \text{ kg/m}^3 * \text{ilmavirta (m}^3/\text{s)} * 1 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C}) * (\text{ilman lämpötila patterin jälkeen (}^\circ\text{C)} - \text{ilman lämpötila ennen patteria (}^\circ\text{C)})$

Kaava 2. energiankulutus (kWh)

$= \text{keskimääräinen lämmitysteho (kW)} * \text{käyntiaika (h)}$



#### Liite 4. Periaatekuva erillisen poistoilmakoneen lämpöhäviön mittauksesta ja toimintaselostus

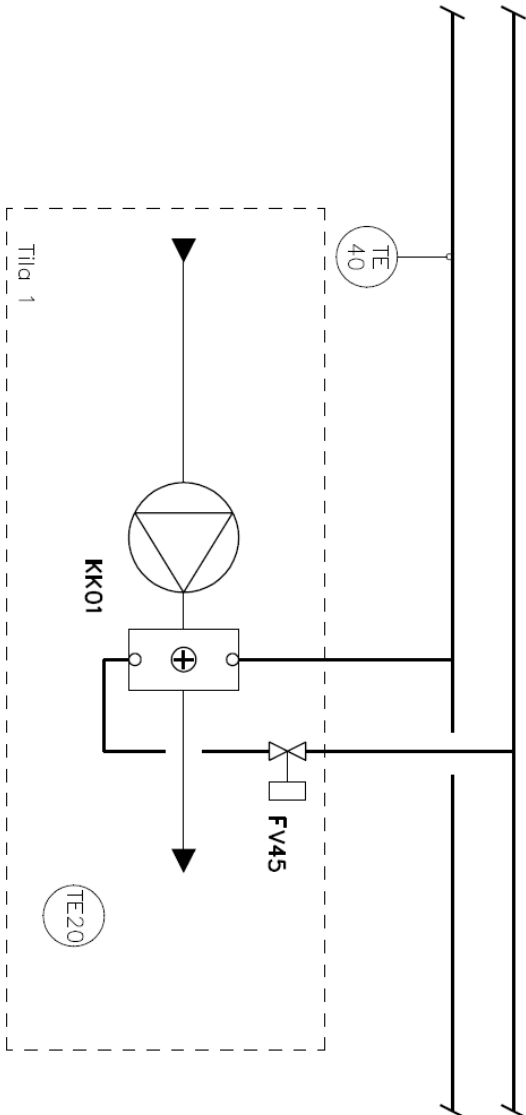


Yksinopeuksisen erillispoistoilmakoneen käyttä aikana lämpöhäviöteho lasketaan kerran mitatun ilmavirran sekä ulko- ja sisäilämpötila-anturien TE00 ja TE20 perusteella kaavalla 1. Tehon perusteella lasketaan lämpöhäviön energiankulutus kaavalla 2.

Kaava 1. lämpöhäviöteho (kW)  
 $= 1,2 \text{ kg/m}^3 * \text{ilmavirta (m}^3/\text{s)} * 1 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C}) * (\text{sisäilman lämpötila (}^\circ\text{C)} - \text{ulkolilman lämpötila (}^\circ\text{C)})$

Kaava 2. energiankulutus (kWh)  
 $= \text{keskimääräinen lämpöhäviöteho (kW)} * \text{käyntiaika (h)}$

## Liite 5. Periaatekuva kiertoilmakoneen energiamittauksesta ja toimintaselostus



Kiertoilmakoneen lämmitystehoa lasketaan käyttäjällä lämpötila-anturien TE40 ja TE20 mukaan kaavalla 1. Tehon perusteella lasketaan lämpöenergian kulutusta kaavalla 2.

Kaava 1. lämmitysteho (kW)

= mitoituslämmitysteho (kW) \* ((lämmitysverkoston menoveden lämpötila (°C) – tilan lämpötila (°C)) / menoveden ja tilan mitoituslämpötilaero (°C))

Kaava 2. energiankulutus (kWh)

= keskimääräinen lämmitysteho (kW) \* käyttöaika (h)

## Liite 6. Luhtaan päiväkodin parannusehdotusten kustannusarvio

Tehtävä työ	Määrä	Laitteen yksikköhinta (€)	LVI-työt/kpl (h)	Tuntihinta LVI (€/h)	Työn hinta LVI (€)	Automaatio työt /kpl (h)	Tuntihinta automaatio (€/h)	Työn hinta automaatio (€)	Yhteensä (€)
Energiaraportin ohjelmointi	1	0	0	50	0	2	70	140	140
Laskentaohjelma lämpimälle käyttövedelle	1	0	0	50	0	1	70	70	70
Laskentaohjelmat IV-koneille	9	0	0	50	0	1	70	630	630
Laskentaohjelma oviverhohaltimille	3	0	0	50	0	1	70	210	210
Laskentaohjelma poistoilmakoneille	7	0	0	50	0	1	70	490	490
Tilalämmityksen laskentaohjelma	1	0	0	50	0	1	70	70	70
Rakennusvaiipan lämpöhäviöiden laskentaohjelma	1	0	0	50	0	1	70	70	70
Yhteensä ALV. 0%					0			1680	1680

## Liite 7. Koivurinteen päiväkodin parannusehdotusten kustannusarvio

Tehävä työ	Määrä	Laitteen yksikköhinta (€)	LVI-työt/kpl (h)	Tuntihinta LVI (€/h)	Työn hinta LVI (€)	Automaatiotyöt /kpl (h)	Tuntihinta automaatio (€/h)	Työn hinta automaatio (€)	Yhteensä (€)
Energiaraportin ohjelmointi	1	0	0	50	0	2	70	140	140
Energiaraportin asennus	4	500	0,5	50	100	0,5	70	140	2240
LKV-paluuveden lämpötilamittauksen asennus	1	40	0,5	50	25	0,25	70	18	83
Laskentaohjelma lämpimälle käyttövedelle	1	0	0	50	0	1	70	70	70
Laskentaohjelmat IV-koneille	2	0	0	50	0	1	70	140	140
Laskentaohjelma oviverhohuuhattimille	2	0	0	50	0	1	70	140	140
Tilalämmityksen laskentaohjelma	1	0	0	50	0	1	70	70	70
Rakennusvaiipan lämpöhäviöiden laskentaohjelma	1	0	0	50	0	1	70	70	70
Yhteensä ALV: 0%					125			788	2953

## Liite 8. Impivaara vanhusten ryhmäkodin parannusehdotusten kustannusarvio

Tehtävä työ	Määrä	Laitteen yksikköhinta (€)	LVI-työt/kpl (h)	Tuntihinta LVI (€/h)	Työn hinta LVI (€)	Automaatiotyöt /kpl (h)	Tuntihinta automaatio (€/h)	Työn hinta automaatio (€)	Yhteensä (€)
Energiaraportin ohjelmointi	1	0	0	50	0	2	70	140	140
Energiamittarin asennus	3	500	0,5	50	75	0,5	70	105	1680
Järjestä saatavan lämmön laskentaohjelma	1	0	0	50	0	1	70	70	70
Laskentaohjelma lämpimälle käyttövedelle	1	0	0	50	0	1	70	70	70
Laskentaohjelmat IV-koneille	9	0	0	50	0	1	70	630	630
Laskentaohjelma oviverhoppuhaltimelle	1	0	0	50	0	1	70	70	70
Tilalämmityksen laskentaohjelma	1	0	0	50	0	1	70	70	70
Rakennusvaipan lämpöhäviöiden laskentaohjelma	1	0	0	50	0	1	70	70	70
Yhteensä ALV. 0 %					75			1225	2800

## Liite 9. Otsomäen päiväkodin parannusehdotusten kustannusarvio

Tehtävä työ	Määrä	Laitteen yksikköhinta (€)	LVI-työt/kpl (h)	Tuntihinta LVI (€/h)	Työn hinta LVI (€)	Automaatiotyöt /kpl (h)	Tuntihinta automaatio (€/h)	Työn hinta automaatio (€)	Yhteensä (€)
Energiaraportin ohjelmointi	1	0	0	50	0	2	70	140	140
Laskentaohjelma IV-koneille	9	0	0	50	0	1	70	630	630
Laskentaohjelmat oviverhohuuhattimille	6	0	0	50	0	1	70	420	420
Tilalämmityksen laskentaohjelma	1	0	0	50	0	1	70	70	70
Rakennusvaiipan lämpöhäviöiden laskentaohjelma	1	0	0	50	0	1	70	70	70
Yhteensä ALV. 0 %					0			1330	1330

## Liite 10. Vehmaisten alakoulun parannusehdotusten kustannusarvio

Tehtävä työ	Määrä	Laitteen yksikköhinta (€)	LVI-työt/kpl (h)	Tuntihinta LVI (€/h)	Työn hinta LVI (€)	Automaatiotyöt /kpl (h)	Tuntihinta automaatio (€/h)	Työn hinta automaatio (€)	Yhteensä (€)
Energiaraportin ohjelmointi	1	0	0	50	0	2	70	140	140
Laskentaohjelma oviverhohopuhaltimille	12	0	0	50	0	1	70	840	840
Laskentaohjelma poistoilmakoneille	8	0	0	50	0	1	70	560	560
Tuolilman tilalämmityksen laskentaohjelma	12	0	0	50	0	1	70	840	840
Tilalämmityksen laskentaohjelma	1	0	0	50	0	1	70	70	70
Rakennusvaipan lämpöhäviöiden laskentaohjelma	1	0	0	50	0	1	70	70	70
Yhteensä ALV. 0 %					0			2520	2520