

Energiätehokkuus teollisuusprosesseissa ja rakennusten energiankulutuksessa

TEKES-PROJEKTIN LOPPURAPORTTI

Kirjoittajat: Sami Siikanen, Yrjö Hiltunen, Timo Kauppinen, Sini Kivi, Veli-Juhani Möttönen, Kari Nissinen, Marko Kaarre, Pekka Teppola, Mikko Juuti

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Energiatehokkuus teollisuusprosesseissa ja rakennusten energiankulutuksessa	
Asiakkaan nimi, yhteystiedot ja yhteystiedot Yhteisrahoitteinen rinnakkaisprojekti, tutkimuskumppanit: Teknologian tutkimuskeskus VTT ja Itä-Suomen yliopisto (ISY) yksityiset ja julkiset kumppanit: Andritz Oy, Pieksämäen kaupunki, Rautavaaran kunta, Kuopion kaupunki, Valtavalo Oy, Putki-Masa Oy, FinnEnergia Oy, Insinööritoimisto Granlund Kuopio Oy, Motiva Oy ja Suomen Kuntaliitto	Asiakkaan viite -----
Projektin nimi Energiatehokkuus teollisuusprosesseissa ja rakennusten energiankulutuksessa	Projektin numero/lyhytnimi TEKES Dnro 1997/31/09 / ENEFIR
Raportin laatijat Sami Siikanen (VTT), Yrjö Hiltunen (ISY), Timo Kauppinen (VTT), Sini Kivi (VTT), Veli-Juhani Möttönen (VTT), Kari Nissinen (VTT), Marko Kaarre (VTT), Pekka Teppola (VTT), Mikko Juuti (VTT)	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 155/0
Avainsanat energiatehokkuus, teollisuusprosessit, rakennusten ilmatiiviysmittaus, lämpökuvaus, led-valaistus	Raportin numero VTT-R-08818-11
Tiivistelmä Tämä Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) rinnakkaisprojekti toteutettiin 4.1.2010-30.12.2011. Tutkimuskumppanit ja pääosa yksityisistä ja julkisista kumppaneista olivat Pohjois-Savosta. Tavoitteena oli rakennusten energiatehokkuuden osalta on kehittää uusia mittaus- ja instrumentointikonsepteja sekä analysointityökaluja kokonaisvaltaisen energiatehokkuuden parantamiseksi. Lisäksi tavoitteena oli prosessidataan liittyvien mallinnusmenetelmien hyödyntäminen tuotantoprosessien energiatehokkuudessa ja niiden kehittäminen offline- ja online-ohjelmistotyökaluiksi. Tämä raportti sisältää teollisuusprosessien ja maalämpöjärjestelmien energiatehokkuuden kehittämisen tulokset, rakennusten ilmatiiviysmittauksen, lämpökuvauksen ja katselmoinnin kehittämisen tulokset, LED-valaistuksen seurantamittausten tulokset sekä johtopäätöksiä siitä, millaisia välineitä tai instrumentteja näiden tulosten kaupallinen hyödyntäminen vaatisi tai millaisia jatkotutkimuksia aihepiirien ympäriltä olisi vielä hyödyllistä tehdä.	
Luottamuksellisuus	julkinen
Kuopio 19.3.2012 Laatija Sami Siikanen, projektipäällikkö	
VTT:n ja Itä-Suomen yliopiston yhteystiedot VTT Kuopio, Microkatu 1 Q, PL 1199, 70211 Kuopio Itä-Suomen yliopisto, Kuopion kampus, Yliopistonranta 1, PL 1627, 70211 Kuopio	
Jakelu (asiakkaat ja VTT sekä Itä-Suomen yliopisto) TEKES, Itä-Suomen yliopisto, VTT, projektin johtoryhmä	
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>	

Alkusanat

Tämän energiatehokkuuteen liittyvän projektin valmistelu aloitettiin Kuopiossa ja Oulussa vuonna 2008 ja saatiin moninaisten vaiheiden jälkeen päätökseen vuotta myöhemmin. Projekti valmisteltiin tekijöidensä verkostoitumisen, kiinnostuksen ja kokemuksen johdosta sekä siksi että ajan henki edellytti energiatehokkuuden parantamista teollisuusprosessien, julkisten rakennusten ja monien muiden alojen taholla. Projektin valmistelivat VTT:n optiset mittausteknologiat –tiimi, VTT:n ekotehokkaat yhdyskuntaratkaisut –tiimi ja Itä-Suomen Yliopiston ympäristötieteen laitos. Projektin johtoryhmässä toimivat Tekesin, Andritz Oy:n, Pieksämäen kaupungin, Rautavaaran kunnan, Kuopion kaupungin, Valtavalo Oy:n, Putki-Masa Oy:n, FinnEnergia Oy:n, Insinööritoimisto Granlund Kuopio Oy:n, Motiva Oy:n, Suomen Kuntaliiton, Itä-Suomen yliopiston ja VTT:n edustajat. Tekijät haluavat kiittää Tekesiä, Pohjois-Savon liittoa sekä yksityisiä ja julkisia kumppaneita rahoituksesta, työ- ja materiaalipanoksesta, sekä tuesta ja ohjauksesta. Tekijät haluavat lisäksi kiittää VTT:n asiakasjohtaja Juha Palvetta, joka alussa rohkaisi valmistelemaan tämän hankkeen.

Kuopio 19.3.2012

Sami Siikanen, Yrjö Hiltunen ja Timo Kauppinen



Sisällysluettelo

Alkusanat.....	2
1 Johdanto.....	5
2 Tavoitteet.....	5
3 Prosessiteollisuuden järjestelmien optimointi	6
3.1 Johdanto	6
3.2 Tavoite	7
3.3 Projektin toteutus	7
3.4 Selluprosessien mallinnus, Case -tapaukset.....	7
3.4.1 Case, valkaisun kustannusoptimointi	10
3.4.2 Haihduttamien likaantuminen.....	10
3.4.3 Keittimen kuiva-ainepitoisuuden mallintaminen	11
3.5 ppTool-ohjelmisto.....	12
3.5.1 Ohjelmiston rakenne	13
3.5.2 Ohjelmiston ominaisuudet.....	14
3.5.3 ppTool käyttäjäpäivät ja koulutus Andritzilla.....	20
3.6 Työpaketin 2 tulokset	20
3.7 Yhteenveto.....	21
4 Energiatehokkuus rakennusten energiankulutuksessa.....	21
4.1 Energiatehokkuuden kehittäminen - toimivuuden varmistusmenettelyt.....	21
4.1.1 Energiakatselmukset.....	21
4.1.2 Sähkön kulutusjakauman selvittäminen	38
4.2 Tiekartta kuntien rakennuskannan energiatehokkuuden analysointiin ja tehostamiseen – 10 kohdan ohjelma	44
4.3 Rakennusautomaation instrumentointi- ja raportointimalli.....	48
4.3.1 Johdanto	48
4.3.2 Keskeiset toiminnot ja toimivuustekijät.....	51
4.3.3 Instrumentoinnissa ja raportoinnissa huomioon otettavat asiat.....	56
4.3.4 Mittaustulosten käsittely ja tulkinta.....	58
4.3.5 Johtopäätökset.....	62
4.4 Energiatehokkuuden kehittäminen - esimerkkikohteet.....	64
4.4.1 Rautavaaran kunta.....	64
4.4.2 Pieksämäen kaupunki.....	80
5 Maalämpöenergian ja lämpimän kiertoilman talteenoton hyödyntäminen rakennuksissa.....	102
5.1 Johdanto	102
5.1.1 Projektin kuvaus lämpöpumppututkimuksen osalta	102
5.1.2 Tulokset	103
5.2 Web-pohjainen online analysointijärjestelmä energian kulutuksen seurantaan ja optimointiin	103
5.2.1 Tiedonsiirtoratkaisu.....	103

5.2.2	Ensimmäinen ohjelmistoversio.....	104
5.2.3	Lämpötilan pudotus etänä.....	106
5.2.4	Tiedonsiirtoratkaisun parantaminen	106
5.3	Pilottikohteet	106
5.3.1	Suonenjoki	106
5.3.2	Kallavesi, Kuopio	106
5.3.3	Taustaa mittauksista	107
5.3.4	Mittausten yhteenveto, Kuopio.....	107
5.3.5	Mittausten yhteenveto, Suonenjoki	107
5.4	Statistiikka.....	108
5.5	Yhteenveto.....	109
6	Rakennusten ilmatiiviysmittaus omia ilmanvaihtolaitteistoja hyväksikäyttäen.....	110
6.1	Rakennusten ilmanpitävyys	110
6.2	Mittaukset koekohteissa.....	113
6.2.1	Kuopion kohteet.....	115
6.2.2	Rautavaaran kohteet.....	117
6.2.3	Pieksämäen kohteet	117
6.2.4	Ilmanpitävyysmittausten tarkastelua	118
7	Rakennusten lämpökuvaus energiatehokkuuden edistämässä	127
7.1	Tuloksia koekohteista	127
7.1.1	Pieksämäki.....	127
7.1.2	Rautavaara	127
7.1.3	Kuopio.....	128
7.2	Lämpökameroiden tuottamien kuvaparien välistä vertailua	131
7.3	Lämpökuvausten johtopäätökset ja yhteenveto	135
8	LED-valaistuksen seurantatutkimukset.....	135
8.1	LED-valaistuksen seuranta laboratoriossa.....	135
8.2	LED-valaistuksen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen jäähdytetyissä ja jäähdyttämättömissä tiloissa	140
8.3	LED-valaistuksen seurantamittausten johtopäätökset	143
9	Muut energiatehokkuuden mittausmenetelmiin liittyvät tutkimukset	143
9.1	Seinäkosteuden mittaus lämpökuvauksella	143
9.2	Auton moottorin jäähtymisen tutkiminen lämpökuvauksella.....	149
10	ENEFIR-projektin yhteenveto ja johtopäätökset	153
	Lähdeviitteet	155

1 Johdanto

Energiatehokkuus tarkoittaa, että käytetään vähemmän energiaa tietynsuuruisen työn tai suoritteen tekemiseen. Siirtyminen yhä tehokkaampaan energiankäyttöön on nykyisin tärkeää johtuen kasvavista energiantuotantokustannuksista ja panostuksesta ympäristövaikutusten minimointiin. Julkiset tahot ja yritykset ovat solmineet energiatehokkuussopimuksia, jotka edellyttävät asetettujen tavoitteiden varmentamista ja osoittamista. Energiatehokkuusvaatimusten varmentaminen ja osoittaminen vaatii uusien mittausmenetelmien ja –laitteistojen sekä analysointityökalujen käyttöä. Esimerkiksi lämpökamerateknologialla on jo monia sovelluksia teollisuudessa ja rakennusteknologiassa. Energiatehokkuus ei välttämättä tarkoita energian käytön minimoimista, vaan ennemminkin sen optimoimista tuotantolaitosten tai kiinteistöjen elinkaaren aikana niin, että energiankäyttö on tasapainossa muiden tärkeiden muuttujien – kuten terveydellisten ja ympäristövaikutusten – kanssa. Energian käytön seurannalla ja vertailulla on saavutettavissa perusteet säästöille, joiden takaisinmaksuaika on varsin lyhyt. Myös energian käytön ohjauksella on saavutettavissa säästöjä. Energiatehokkuuden hallinta tarkoittaa sitä, että kiinteistön tai tuotantoprosessin energiankulutus on todennettavissa riittävän tarkasti ja lyhyellä aikavälillä, saatua tietoa voidaan verrata muihin samantyyppisiin kohteisiin, ja että energiankulutusindikaattorit ja –tunnusluvut vastaavat käyttäjien tarpeita ja tavoitteita.

2 Tavoitteet

Rakennusten energiatehokkuuden osalta tavoitteena oli kehittää uusia mittaus- ja instrumentointikonsepteja sekä analysointityökaluja kokonaisvaltaisen energiatehokkuuden parantamiseksi jakautuen neljään alatavoitteeseen:

1. ilmavuotojen paikantaminen lämpökuvauksella, menetelmän parantaminen ja menetelmän tuotteistus loppukäyttäjälle.
2. rakennuksen vaipan toimivuuden varmistus lämpökuvauksella ja sitä tukevia menetelmiä käyttäen, menetelmien parantaminen.
3. jatkuva toimivuuden varmistus (ToVa) -menetelmän tuotteistaminen loppukäyttäjille soveltuvin osin.
4. maalämpöpumppujen tuottaman mittaustiedon ja tarvittavien lisämittausten tehokas hyödyntäminen rakennusten energiatehokkuuden optimoinnissa ja tähän liittyvien palveluiden ja ohjelmistotyökalujen tuotteistaminen.

Prosessiteollisuuden järjestelmien energiatehokkuuden osalta tavoitteena oli:

1. prosessidataan liittyvien mallinnusmenetelmien hyödyntäminen tuotantoprosessien energiatehokkuudessa ja niiden kehittäminen offline- ja online-ohjelmistotyökaluiksi.

Lisäksi tavoitteena EI OLLUT energiatehokkuuden määritelmien ja käsitteistön kehittäminen. Energiatehokkuuden määritelmässä ja käsitteistöissä sovellettiin Työ- ja Elinkeinoministeriön energiatehokkuustoimikunnan mietintöä (2009).

3 Prosessiteollisuuden järjestelmien optimointi

3.1 Johdanto

Teollisuusprosesseja ohjataan ja hallitaan reaaliaikaisen mittaustiedon perusteella. Mittausinstrumentteja on lähes kaikkialla, missä tapahtuu jotain. Suuri määrä tallentunutta historiatietoa antaa hyvän lähtökohdan datakeskiselle tutkimukselle. Suurten ja moniulotteisten datamassojen hyödyntäminen ja kiinnostavien syy-yhteyksien löytäminen voi olla kuitenkin hankalaa ilman tehokkaita ohjelmistoja ja datankäsittelymenetelmiä.

Lähes jokainen prosessisuureta kuvaava mittaus sisältää mittausvirhettä – osa paljon, osa vähän. Virhe voi olla systemaattinen, satunnainen tai molempia. Mittausanturit voivat likaantua, kuluu, sokaistua, heilua jne. Mittareiden kalibroinnit aiheuttavat aikasarjaan epäjatkuvuuskohtia, jotka haittaavat niin prosessin ohjausta kuin historiatiedon tarkastelua. Lisäksi prosessidatalle tyypillisiä ovat ns. puuttuvat arvot, joita aiheuttavat mm. instrumenttien viat sekä huolto- ja kalibrointitauot. Tällaiset tilanteet on tunnistettava, jolloin ne voidaan huomioida datan jatkokäsittelyssä esimerkiksi käyttämällä tapaukseen sopivaa puuttuvien arvojen korvausmenetelmää. Toinen vaihtoehto on käyttää tiedonjalostamismenetelmiä, jotka eivät vaadi jatkuvaa aikasarjaa. Yhteenvetona voidaan sanoa, että prosessidataa on saatavilla yleensä runsaasti, mutta sen luonne voi olla moniulotteista, pirstaleista ja osittain vääristynyttäkin.

Aikasarjaluonteinen prosessidata muodostuu säännöllisin väliajoin tehtävistä mittauksista. Tiedon resoluutiolla tarkoitetaan mittauksen tai mittaustiedon tallennuksen taajuutta. Online-mittareilla tiedon resoluutio on yleensä suuri, kun taas laboratoriossa tehtävien mittauksien taajuus voi vaihdella esimerkiksi yhdestä tunnista viikkoon. Liian suuri tiedon resoluutio voi kadottaa arvokasta informaatiota, kun taas liian pieni resoluutio vie runsaasti tallennuskapasiteettia. Sopiva taajuus poistaa turhan kohinan ja säilyttää mittauksen informaation.

Jatkuvatoimista tiedon tallentamista voidaan täydentää tapahtumakohtaisella tiedon tallennuksella, johon tallennetaan merkintöjä tapahtumista (esim. hälytykset, tiettyjen toimilaitteiden säädöt, satsin teko). Tapahtumakohtaista tietoa voidaan pitää selkeänä esityksenä prosessin eri tapahtumista, mutta tiedon liittäminen aikasarja-analyyseihiin ei välttämättä ole yksiselitteistä. Esimerkiksi hälytyksen ja siihen johtaneen syyn linkittäminen toisiinsa voi olla haastavaa.

Prosessiteollisuudessa prosessin optimointi tarkoittaa on usein samalla myös energian kulutuksen optimointia. Esimerkiksi kemikaalien kulutuksen väheneminen yleensä johtaa energian säästöön. Lämmönsiirtopintojen likaantuminen nostaa energian kulutusta. Samoin prosessin epätasainen ajo voi tuoda ongelmia ja johtaa suurempaan energian kulutukseen. Energiatehokas prosessi on siis usein myös toiminnallisesti tehokas. Lähtökohtaisesti ENEFIR-projektin työpaketti 2:ssa tutkittiin osaprosesseja, jossa energian kulutus oli merkittävässä roolissa. Kuitenkin energian optimointiin liittyviä analysointimenetelmiä voidaan suoraan soveltaa myös muissakin optimointiin liittyvissä tapauksissa.

3.2 Tavoite

Työpaketin 2 tavoitteena oli kehittää teollisuusprosessien energiatehokkuuteen liittyviä analysointimenetelmiä, joilla voidaan analysoida prosessidatan perusteella energiatehokkaampia ratkaisuja. Lisäksi projektin tarkoituksena oli kehittää erityinen datan analysointi- ja mallinnusohjelmisto energian kulutuksen ja prosessin optimointiin. Mallinnusmenetelmien kehittämisen lisäksi projektin tarkoituksena oli siirtää datankäsittely- ja mallinnusosaamista Andritzin henkilökunnalle.

3.3 Projektin toteutus

Työpaketin pääasiallinen toiminta muodostui Andritz Oy:n sellunvalmistuksen liittyvistä osaprojekteista ("caset") ja niitä tukevasta ohjelmistokehityksestä. Ohjelmistokehitystä ohjattiin eri selluprosessien tutkimuskohteiden kautta, jolloin erilaiset datan käsittelyn erityispiirteet ja loppukäyttäjän toivomukset tulivat huomioituksi. Ohjelmistokehityksessä noudatettiin ns. prototyypimenetelmää, jossa rakennetun ulkoasun ympärille tehtiin uusia tarkempia toiminnallisia osuuksia. Kehitys eteni palautteen ja testauksen kautta kohti lopullista versiota.

Osaprojekteissa tehtiin prosessimallinnusta Andritzin sopimustehtaiden prosesseihin liittyvistä kehityskohteista. Erityisesti tutkittiin sellaisia kehityskohteita, joissa pyritään kehittämään energiatehokkuutta ja tuotantokykyä. Tuloksia käsiteltiin workshop tyyppisissä tapaamisissa, joissa myös ohjattiin tutkimusta sekä priorisoitiin kohteet ja case-tapaukset. Yleisesti pyrittiin keskittymään osaprosesseihin, jossa energian kulutus oli merkittävässä roolissa.

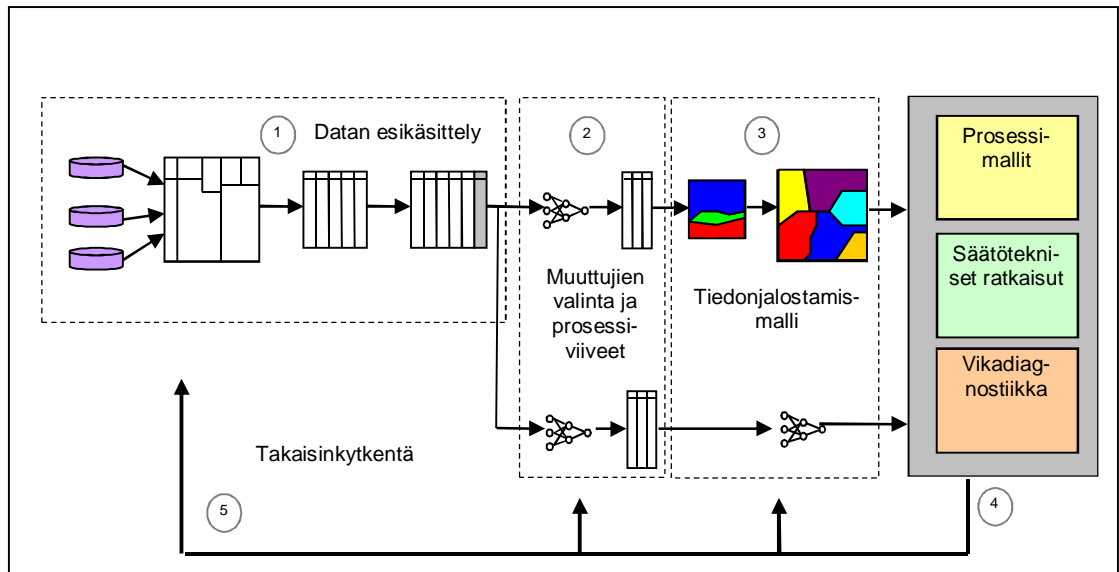
Työpaketti WP2:ssa kokoaikaisena tutkijana toimi Itä-Suomen yliopistolta Mikko Heikkinen. Ohjelmistokehityksessä mukana olivat myös Teri Hiltunen ja Olga Nippolainen. Mikko Heikkinen työskenteli kesäkuusta 2011 alkaen Andritzin toimitiloissa Kotkan Karhulassa, joka mahdollisti tiiviin vuorovaikutuksen Andritzin prosessi-insinöörien ja mallintajien kanssa.

3.4 Selluprosessien mallinnus, Case -tapaukset

Menetelmien kehitykseen ja testaukseen käytettiin Andritzin asiakastehtaiden eri osaprosesseista peräisin olevaa prosessidataa. Ongelman asettelut ja ongelman kentän rajaus tehtiin Andritzin prosessi-insinöörien kanssa lähtökohtana jokin todellinen optimointitehtävä tai syy-seuraussuhteen kartoittaminen. Ratkaisuihin pyrittiin siihen, että asiaa pystyisi käsittelemään projektissa kehitettävällä ppTool-ohjelmistolla, jolloin samantyyppisiä ongelmia voisi myöhemminkin tutkimaan. Taulukossa 1 on esitetty projektin aikana tehdyt case-tapaukset. Kappaleissa 4.1 - 4.3 on kerrottu muutamista caseista hieman tarkemmin, kuitenkin menemättä tehdastietojen yksityiskohtiin.

ENEFIR-projektissa testaukseen tarvittava raakadata oli saatavissa usein suoraan Andritzin järjestelmien kautta. Myös muita dataformaatteja käytettiin tapauskohtaisesti. Datakeskisten mallinnusmenetelmien hyödyntäminen vaatii koko ns. tiedonjalostusketjun menetelmien hallinnan. Kuvassa 1 on esitetty

pelkistetty kaavio tiedonjalostusketjusta. Lähtökohtana oli tutkimuskohteesta saatavat data-aineistot, jotka esikäsittelyn kautta käsiteltiin kunkin casen erityispiirteet huomioiden mallinnusmenetelmille sopivaan ehyeen muotoon. Tuloksena syntyneitä prosessimalleja, säätötekniisiä ratkaisuja ja vikadiagnostiikan menetelmiä voitiin hyödyntää suoraan esimerkiksi prosessien optimoinnissa ja energiatehokkaimpien menetelmien kehittämisessä. Tiedonjalostusketjun vaiheet yhdessä Andritzin toimintakentän erityispiirteiden ja tarpeiden kanssa olivat lähtökohtana myös projektissa tehdyille ohjelmistokehitykselle.



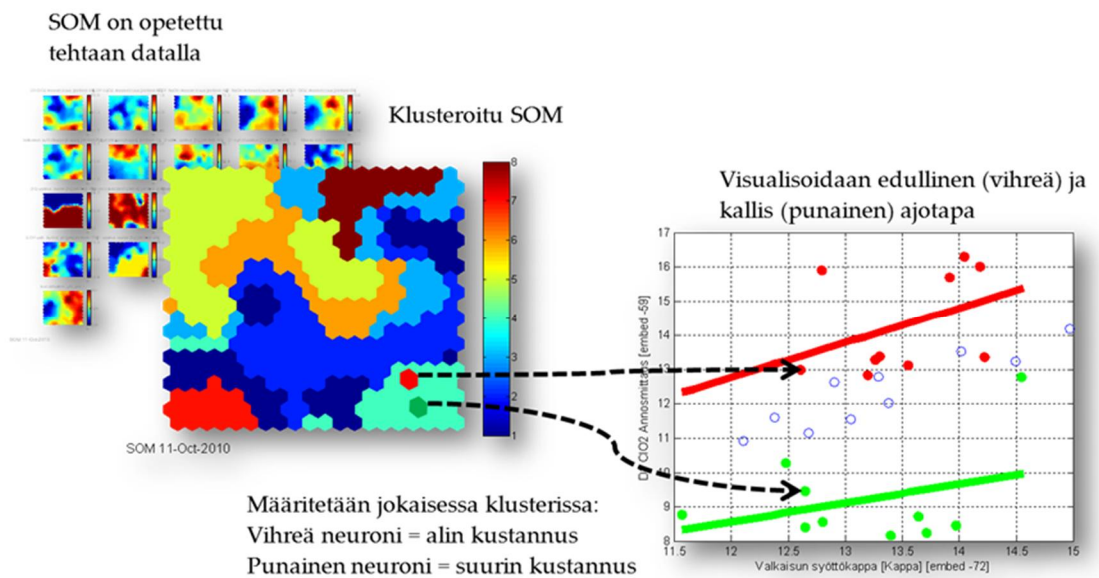
Kuva 1. Datapohjainen tiedonjalostusketju. Päävaiheet ovat esikäsittely, mallinnus ja jälkikäsittely.

Taulukko 1. Työpaketti 2:ssa projektin aikana käytyjä tutkimuskohteita.

Case
Alivaaleus ja kemikaalien kulutus
Valkaisun kustannusoptimointi
Kaustisoinnin mallinnus
Kaustistamon linjastojen erot
Meesauunin tukkeumat
Keiton ja pesurin toiminta
Meesauunien toiminta ja optimointi
Keittimen lipeäpintojen vaikutus
Haihduttimien likaantuminen
Keittimen puskun sakeus, data mining
Lipeän sameuden vaihtelut, kaustistamo
Lämpötilaerosäätimen optimointi
Keittimien purku, mallinnus
Voimalaitoksen tulistimien elinkaarimallinnus
Pudotusputkien heilunta

3.4.1 Case, valkaisun kustannusoptimointi

Tutkimuskohteessa pyrittiin kehittämään menetelmää, joka vastaisi kysymykseen; ”Miten saavutettaisiin määrätty sellun vaaleus mahdollisimman kustannus- ja energiatehokkaasti”. Kehitettiin ja testattiin menetelmää, joka perustui SOM-klusterointiin, jossa kartan opetusaineistona olivat yksikköprosessin säätömuuttujat, massan vaaleus ja kustannusfunktio. Klusterointi Kmeans-menetelmällä tehtiin niiden muuttujien perusteella, jotka voitiin määrittelevän prosessin tiloja. Jokaisen tilan paras (optimaalisin) ja heikoin piste määritettiin kartan referenssivektoreista kustannusfunktioimuuttujan perusteella. Jokaisen säätömuuttujan arvot luettiin näistä kyseisistä referenssivektoreista kussakin tilassa ja visualisoitiin XY-kuvassa Kapan ja vaaleuden funktiona. Kuvassa 2 on esitetty karkea periaate menetelmästä.

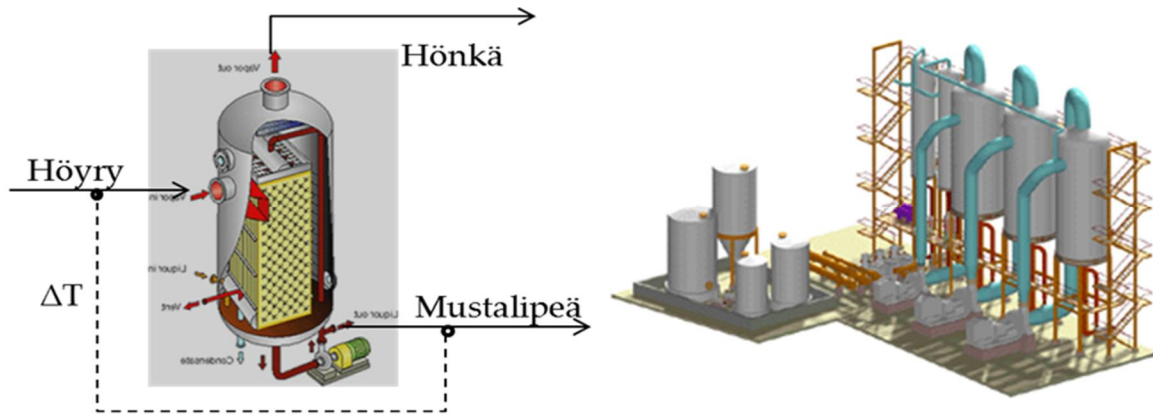


Kuva 2. Valkaisun kustannusoptimointia klusteroidun SOM-karttaa hyödyntäen. Kustannusfunktioita hyödyntäen optimaaliset säätöparametrit kussakin prosessin tilassa (klusterissa) voitiin lukea suoraan referenssivektoreista. Niiden arvot voitiin visualisoida esimerkiksi XY-kuvalla.

3.4.2 Haihuttamien likaantuminen

Haihuttimien likaantuessa energian (höyryn) kulutus kasvaa ja prosessin toiminta voi häiriintyä. Kun lämpötilaero (ΔT) kasvaa yli kynnyksarvon, seuraa pesu, joka kuluttaa energiaa ja kasvattaa käyttökustannuksia. Tapauksessa tutkittiin mahdollisia syitä äkillisiin haihuttimien likaantumisiin. Kuvassa 3 on esitetty haihдутin ja haihдутinyksikkö. Mallinnuksen työvaiheet olivat karkeasti:

1. Prosessidata ja laboratoriodatan hankkiminen
2. Datan esikäsittely ja viiveiden määrittäminen
3. Likaantumisasteen (ΔT) määrittäminen
4. Ajojaksojen hyvyyden määrittäminen
5. Mallinnus

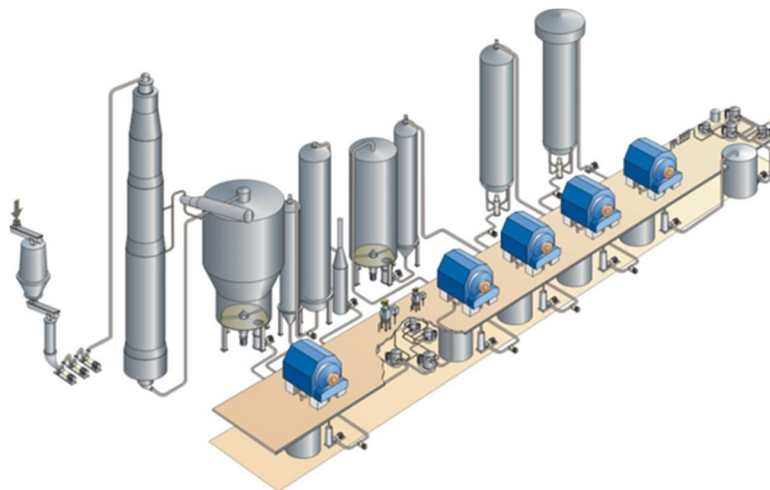


Kuva 3. Mustalipeän haihdutin ja haihdutinyksikkö

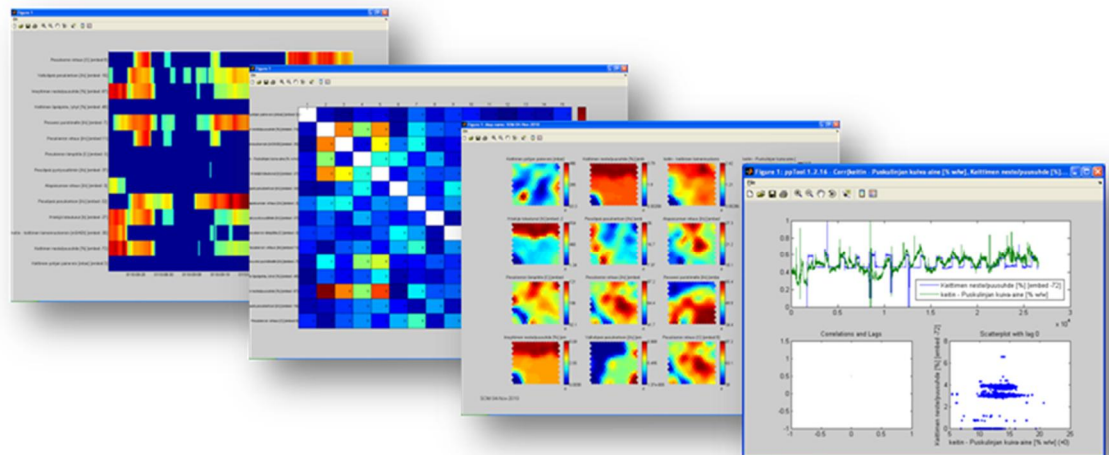
3.4.3 Keittimen kuiva-ainepitoisuuden mallintaminen

Keittimen toiminnan optimoinnilla on suora yhteys energian kulutukseen. Tapauksessa output-muuttujaksi valittiin keittimeltä lähtevä kuiva-ainepitoisuus. Tasainen kuiva-ainepitoisuus on helpompi hallita jatkoprosesseissa. Kuvassa 4 on esitetty keitin ja pesuprosessia. Mallinnuksessa käytettiin ppTool-ohjelmiston ominaisuuksia (kuva 5). Työvaiheet olivat:

1. Datan kerääminen tehtaan tietokannoista
2. Datan esikäsittely
3. Viiveiden määrittäminen
4. Mallinnusmenetelmien hyödyntäminen
5. Mallinnustuloksien tulkinta prosessiasiantuntijan kanssa



Kuva 4. Keitin ja kuivausprosessi.



Kuva 5. Mallinnuksessa käytettyjä ppToolin työkaluja.

3.5 ppTool-ohjelmisto

Projektin tavoitteena oli kehittää erityinen datan analysointi- ja mallinnusohjelmisto energian kulutuksen ja prosessin optimointiin. Lähtökohtana olivat suuret aikasarjaluonteiset datamassat, joiden käsittely ja analyysien teko ns. perinteisillä menetelmillä on vaikeaa ja rajoittunuttakin. Tuloksena syntyi ppTool-ohjelmisto, johon koodattiin tiedonjalostusketjuun olennaisesti liittyvät työkalut. Menetelmiä ja ohjelmistokehitystä tuki samaan aikaan tehdyt tutkimukset Andritzin eri selluprosesseihin liittyen. Käyttäjiltä (Andritzin prosessi-insinöörit) tulleet palautteet pyrittiin huomioimaan. Kehityksessä noudatettiin siis ns. prototyypimenetelmää, jossa rakennetun ulkoasun ympärille (tehty aikaisemmassa projektissa) rakennettiin uusia tarkempia ja toimivampia toiminnallisia osuuksia. Kehitys eteni palautteen ja testauksen kautta kohti lopullista versiota. Ohjelmistosta tehtiin myös tieteellinen julkaisu (Modeling Software For Advanced Industrial Diagnostics, SIMS Conference 2011: Mika Liukkonen, Mikko Heikkinen, Teri Hiltunen, Jari Kapanen, Yrjö Hiltunen).

ppTool-ohjelmisto integroitiin Andritzin tiedonhallintajärjestelmään, jolloin ohjelmiston käyttäminen oli helpompaa ja samalla suoraan prosessi-insinöörien testattavissa. Tällä järjestelyllä myös datan siirto ppTool-ohjelmistoon toimi sujuvasti. Kehitystyö aloitettiin heti projektin alkaessa tammikuussa 2010. Projektin aikana valmistui yhteensä 34 versiota, joista säännöllisin väliajoin asennettiin uusin versio Andritzin järjestelmään testikäyttöä varten (taulukko 2).

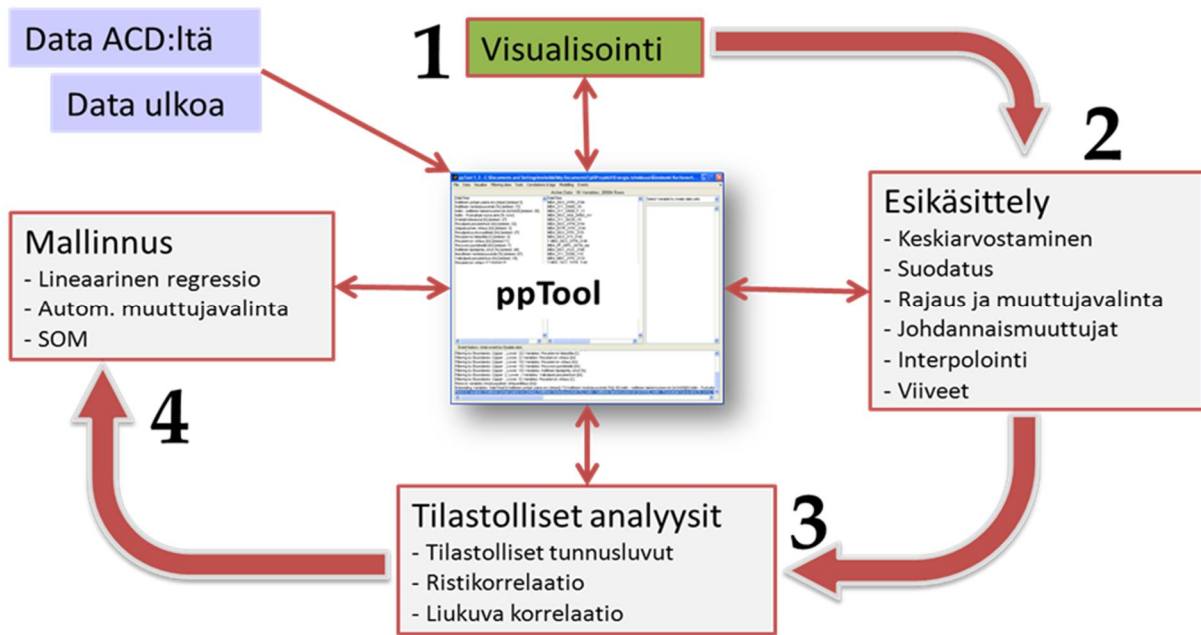
Taulukko 2. ppTool-ohjelmiston versiot ja päivitykset.

pvm	ppTool versio	pvm	ppTool versio
8.1.2010	ohjelmistokehitys aloitetaan	30.11.2010	v. 1.2.17
29.2.2010	v. 1.2.0	2.12.2010	v. 1.2.18
3.3.2010	v. 1.2.01	6.12.2010	v. 1.2.19
19.3.2010	v. 1.2.1	6.1.2011	v. 1.2.20
25.3.2010	v. 1.2.2	9.1.2011	v. 1.2.21
31.3.2010	v. 1.2.3	14.1.2011	v. 1.3.0 ACD-järjestelmään
8.4.2010	v. 1.2.4	21.3.2011	v. 1.3.1
11.4.2010	v. 1.2.5	5.4.2011	v. 1.3.2
25.4.2010	v. 1.2.6	2.5.2011	v. 1.3.3
26.4.2010	v. 1.2.7	5.5.2011	v. 1.3.4 ACD-järjestelmään
3.5.2010	v. 1.2.8	2.6.2011	v. 1.3.5
5.5.2010	v. 1.2.9	5.6.2011	v. 1.3.6
10.5.2010	v. 1.2.10	6.6.2011	v. 1.3.7
30.8.2010	v. 1.2.11 ACD-järjestelmään	22.8.2011	v. 1.3.8
19.10.2010	v. 1.2.12	23.8.2011	v. 1.3.9
21.10.2010	v. 1.2.13	24.8.2011	v. 1.3.10
28.10.2010	v. 1.2.15	25.8.2011	v. 1.3.11 ACD-järjestelmään
1.11.2010	v. 1.2.16 ACD-järjestelmään		

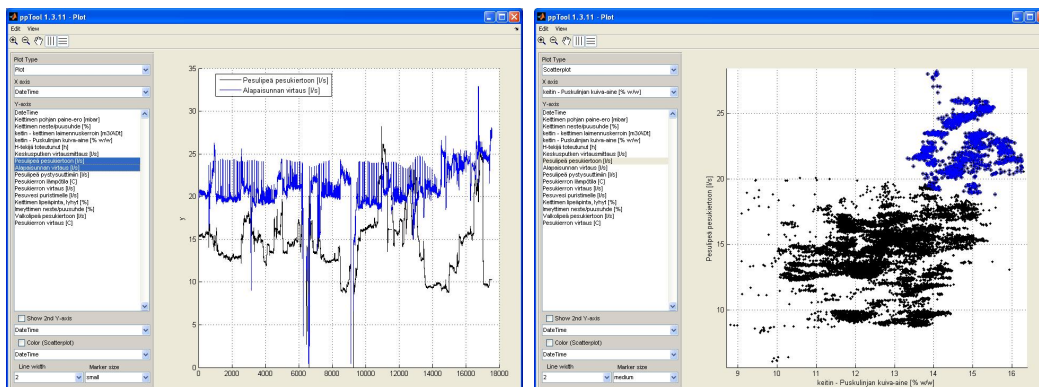
3.5.1 Ohjelmiston rakenne

Ohjelman päänäyttö esittää muuttujalistan ja mahdolliset positionumerot sekä tehtyjen tapahtumien listan (kuvassa 6). Data saatiin ladattua ppTool-ohjelmistoon suoraan Andritzin ACD-järjestelmästä tai ulkopuolelta erillisenä tiedostona. Pääikkunan kautta edetään eri toiminnallisuuksiin, kuten tilastollisiin analyyseihin tai mallinnukseen. Toistuvien rutiinien minimoimiseen ohjelmistoon tehtiin ominaisuus, jossa ns. makrotiedostoon voidaan tallentaa halutut ja toistuvat esikäsittelytoiminnot, joita voidaan kohdistaa ohjelmistoon tuotavaan uuteen datasettiin.

Ohjelmistoon tehtiin monipuoliset datan visualisointiominaisuudet, joka on olennainen osa tiedonjalostusketjun eri vaiheissa. Kuvassa 7 on esitetty käyttöliittymiä ohjelmiston visualisointimahdollisuuksista.



Kuva 6. ppTool-ohjelmiston perusrakenne. Datasetille tehdyt esikäsittelyt tai muut operaatiot tallentuvat ns. "Events history" -listalle, joka voidaan myös tallentaa. Tällöin samoja rutiinin omaisia operaatioita ei tarvitse tehdä uudelleen.

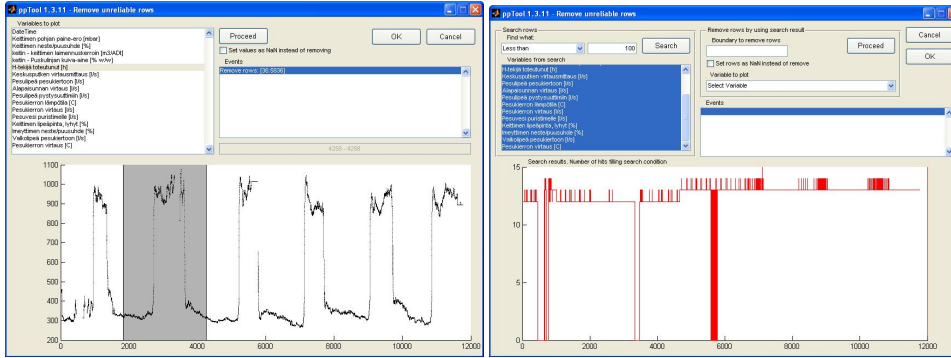


Kuva 7. Käyttöliittymäkuvia datan visualisoinnista.

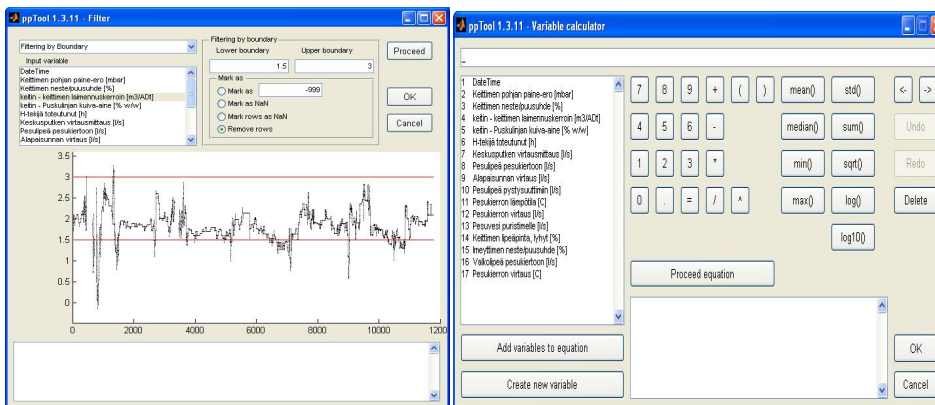
3.5.2 Ohjelmiston ominaisuudet

3.5.2.1 Esikäsittely

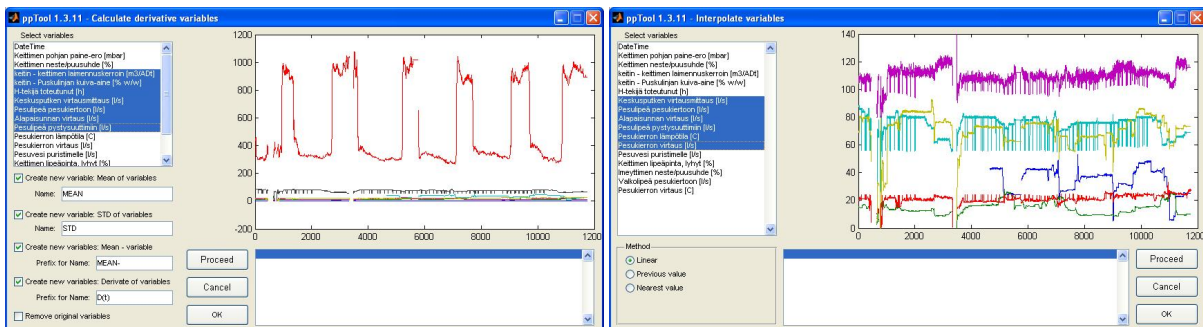
Tiedonjalostamisketjun ensimmäinen vaihe on yleensä raakadatan esikäsittely, joka sisältää rutiineja, jotka luovat edellytykset mallintamiselle ja analyyseille. Tyypillisiä esikäsittelyn vaiheita ovat mm. turhan tai harhaisen datan poistaminen, johdannaismuuttujien laskenta, suodattaminen ja ehjän datamatriisin muodostaminen. Esikäsittelyä on yleensä tapauskohtaista ja se on yleisesti ollut työlästä käsityötä. Kuvissa 8 - 10 on esitetty ppTool-ohjelmiston käyttöliittymiä esikäsittelytoiminnoista.



Kuva 8. Käyttöliittymien kuvia; rivien poisto (vasen kuva) ja epäluotettavien rivien automaattinen suodatus (oikea kuva).



Kuva 9. Käyttöliittymien kuvia; raja-arvoilla suodatus (vasen kuva) ja johdannaismuuttujien teko (oikea kuva)



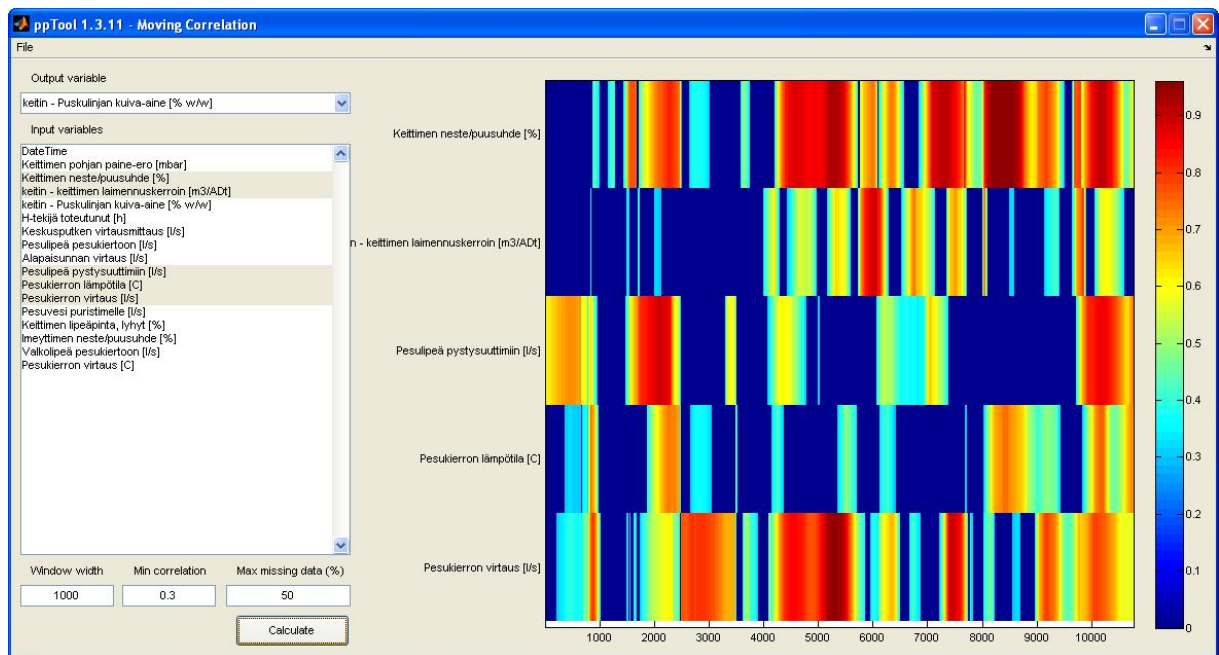
Kuva 10. Käyttöliittymien kuvia; johdannaismuuttujien teko (vasen kuva) ja puuttuvien arvojen korvaus (oikea kuva)

3.5.2.2 Tilastolliset analyysit ja viiveiden määrittäminen

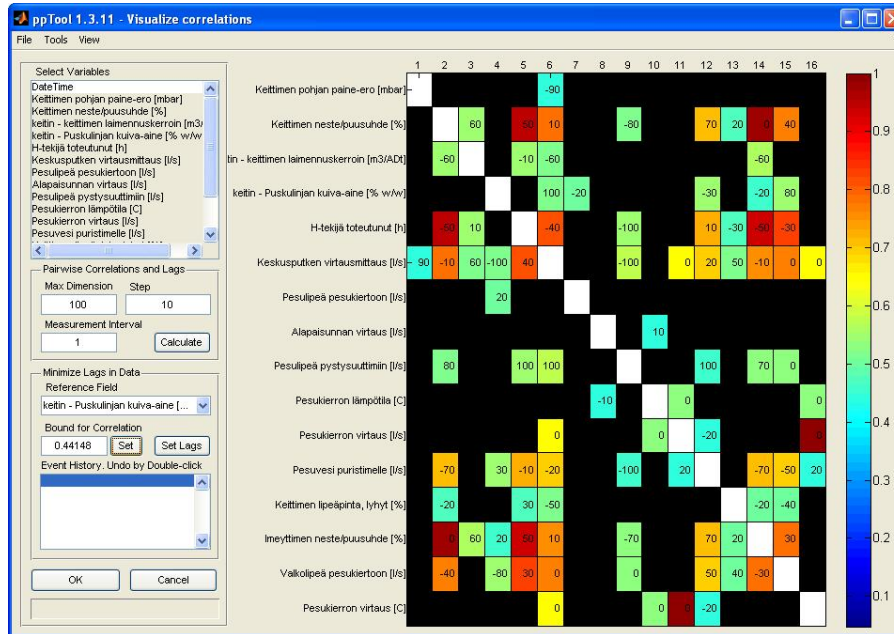
Tilastollisista menetelmistä ohjelmistoon tehtiin ristikorrelaatioon perustuva menetelmä ja liukuva korrelaatio. Kuvassa 11 on esitetty ohjelmiston käyttöliittymä liukuvalle korrelaatiolle, jossa valitulle output-muuttujalle määritetään ajanhetken mukaan määritetty korrelaatio suhteessa muihin muuttujiin.

Ristikorrelaation laskennan yhteyteen tehtiin lisäksi myös automaattinen viiveiden laskenta. Prosessiviiveet ovat olennainen tieto esimerkiksi prosessien

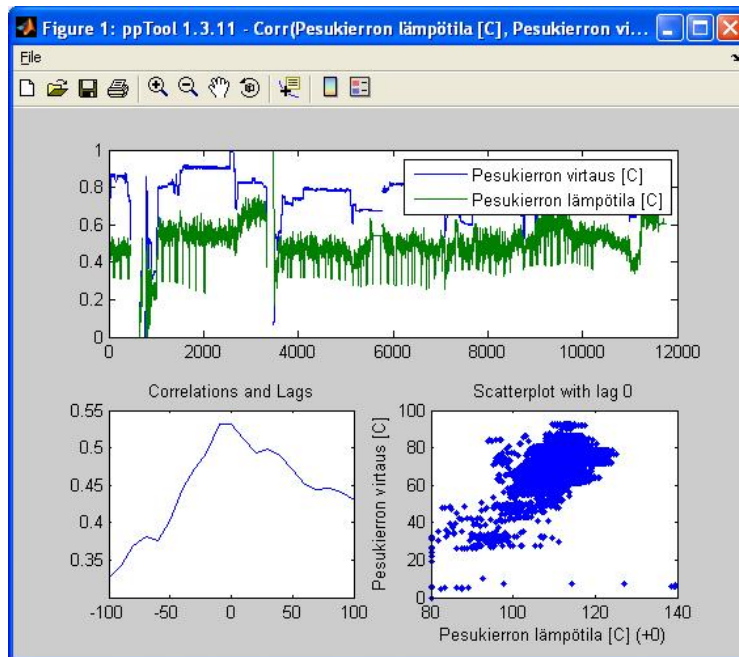
optimoinnissa. Myös syy-yhteyksien löytämisessä ja mallintamisessa viiveiden huomiointi on tärkeää, mutta usein myös hankala kokonaisuus. Selluprosesseissa viiveet voivat olla useita tunteja ja virtaukset vaihtelevat. Viiveen määrittämisessä hyödynnetään matriisia, joka syntyy ristikorrelaatiolaskennan tuloksena. Kun jokaisen muuttujan paras korrelaatio on laskettu tietyn aikaskaalan sisällä, voidaan tätä informaatiota käyttää viiveiden määrittämisessä. Menetelmä on esitetty tarkemmin projektin aikana tehdyssä julkaisussa (Modeling Software For Advanced Industrial Diagnostics, SIMS Conference 2011: Mika Liukkonen, Mikko Heikkinen, Teri Hiltunen, Jari Kapanen, Yrjö Hiltunen). Kuvissa 12 ja 13 on esitetty graafisia käyttöliittymiä ppTool-ohjelmiston ristikorrelaatiosta ja viivelaskennasta.



Kuva 11. ppTool-ohjelmiston graafinen käyttöliittymä "Moving Correlation".
Liukuvakorrelaatio esittää input-muuttujan korrelaation output-muuttujaan kullakin ajanhetkellä, kun laskentaan käytettävän ikkunan leveys on annettu. X-akselilla on esitetty aika.



Kuva 12. ppTool-ohjelmiston graafinen käyttöliittymä ristikorrelaatiosta. Jokaisen muuttujan korrelaatio jokaiseen muuttujaan on laskettu annetun aikaskaalan sisällä. Väri kertoo korrelaation suuruuden ja numero solun keskellä viiveen. Kun referenssimuuttuja on ankkuroitu (viive nollaksi), automaattinen viiveiden määrittäminen painottaa laskennassa korrelaation suuruutta, jolloin merkityksettömiä korrelaatioita ei huomioida. Lopputuloksena aineistoon muuttujat viivästetään referenssimuuttujan suhteen.

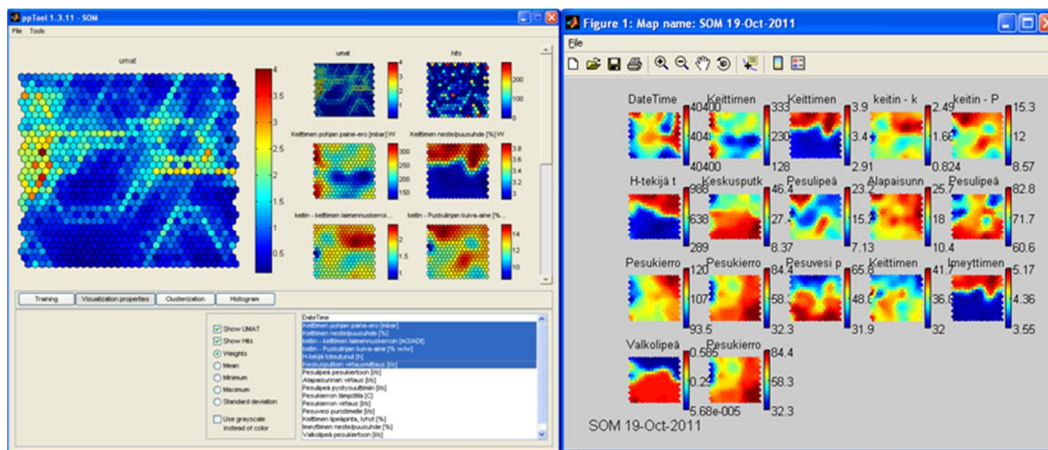


Kuva 13. Esimerkinä kahden muuttujan ristikorrelaatio ja viivetiedot. Ohjelmistossa kyseinen kuva saadaan hiirellä klikkaamalla kuvan 12 ristikorrelaatiomatriisista.

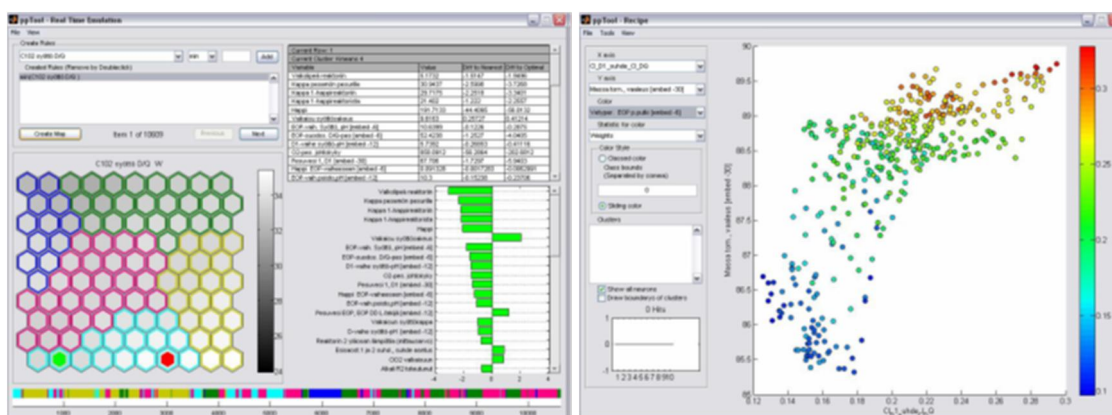
3.5.2.3 Mallinnusmenetelmät

Ohjelmiston mallinnustyökalut perustuvat Itse Organisoituvaan Karttaan (SOM) ja regressionanalyysiin. Kuvissa 14 ja 15 on esitetty ohjelmiston käyttöliittymiä liittyen SOM-mallinnukseen. Ohjelma sisältää SOM:n osalta seuraavat päätoiminnot:

- opetus
- kartan visualisointi
- SOM:n klusterointi Kmeans-algoritmeilla
- erilaisia klusterianalyyseja
- mallin validointi
- ns. reseptitoiminto
- soft-sensor-toiminto

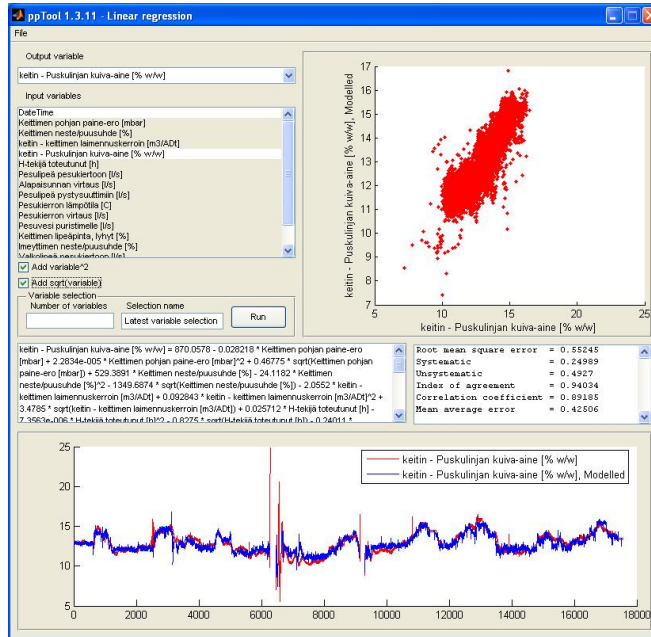


Kuva 14. ppTool-ohjelmiston SOM-mallinnuksen käyttöliittymiä.

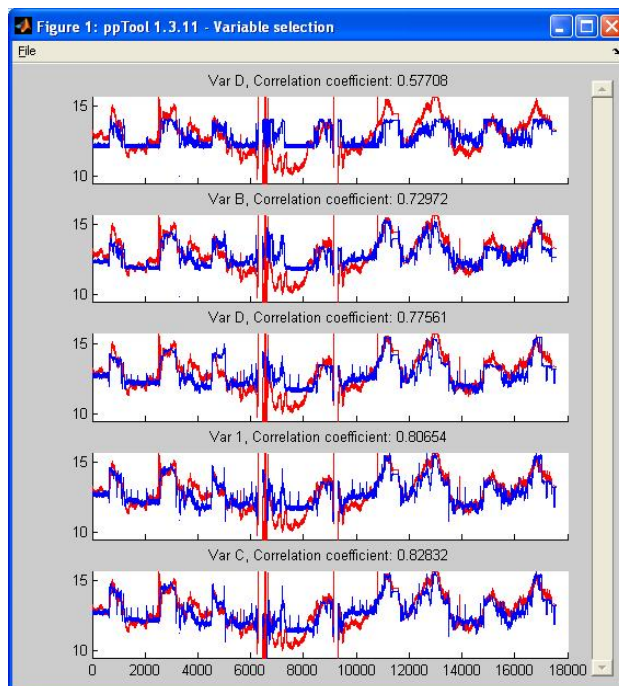


Kuva 15. ppTool-ohjelmiston SOM-mallinnuksen käyttöliittymiä.

Kuvissa 16 ja 17 on esitetty regressioanalyysiin perustuva mallinnusmenetelmän käyttöliittymiä. Automaattinen muuttujavalinnassa menetelmä etsii ensin parhaan yksittäisen muuttujan, jonka jälkeen malliin lisätään mallin hyvyttä eniten parantavat muuttujat. Menetelmä on esitetty tarkemmin projektin aikana tehdyssä julkaisussa (Modeling Software For Advanced Industrial Diagnostics, SIMS Conference 2011: Mika Liukkonen, Mikko Heikkinen, Teri Hiltunen, Jari Kapanen, Yrjö Hiltunen).



Kuva 16. Käyttöliittymä regressiomalliin perustuvasta menetelmästä, joka sisältää myös automaattisen muuttujavalinnan.



Kuva 17. Esimerkkinä erään muuttujanmallin tulokset aikasarjana kuvattuna. Automaattisen muuttujavalinta etsii ensin merkittävimmän yksittäisen muuttujan. Sen jälkeen malliin lisätään eniten mallin hyvyttä parantavat muuttujat.

3.5.3 ppTool käyttäjäpäivät ja koulutus Andritzilla

Datapohjaisten mallinnus- ja prosessien optimointimenetelmien tietämystä siirrettiin projektin aikana Andritzin henkilökunnalle myös erityisillä käyttäjäpäivillä. Niissä käytiin läpi kattavasti tiedonjalostamismenetelmän vaiheet käyttäen ppTool-ohjelmistoa ja prosessidata-aineistoa. Esimerkkeinä harjoituksissa olivat energian kulutukseen liittyvät osaprosessit. Tilaisuuksia oli kolme:

- 18.2.2011 Savonlinna
- 11.5.2011 Kotka
- 14.10.2011 Varkaus

3.6 Työpakettin 2 tulokset

Työpaketissa syntyneet tulokset voidaan jakaa neljään osaan:

1. ppTool, datan analysointi- ja mallinnusohjelmisto energian kulutuksen ja prosessin optimointiin
2. Uudet analysointimenetelmät energian kulutuksen ja prosessin optimointiin
3. Lisäinformaatiot esimerkkitapauksista
4. Osaamisen siirto Andritzille

Projektissa kehitetty ppTool-ohjelmisto on merkittävä apu prosessi-insinöörielle, joka haluaa käsitellä suuria repaleisia datamassoja, esikäsitellä, visualisoida, tehdä tilastollisia analyyseja ja mallintaa monipuolisesti esimerkiksi energiatehokkaampia ratkaisuja.

Uusia analysointimenetelmiä esitettiin Andritzin henkilökunnalle ja osa näistä menetelmistä koodattiin ppTool-ohjelmistoon käyttäjäystävälliseen muotoon. Merkittävimmät uudet sovellukset olivat; SOM-kustannusoptimointi, liukuvaan korrelaatioon perustuva sovellus, regressioanalyysi ja automaattinen muuttujavalinta.

Lukuisia hyödyllisiä johtopäätöksiä ja lisäinformaatioita syntyi projektin aikana eri prosessien kehityskohteista, joita käsiteltiin Andritzin prosessi-insinöörien kanssa. Lisäinformaatio saattoi olla jokin erityinen yksittäinen syy-yhteys tai tieto ongelmaan soveltuvasta mallinnusmenetelmästä. Kaikkea tätä tietämystä prosessi-insinöörit voivat hyödyntää työssään myös jatkossa.

Tiedonjalostusketjun osaamista siirtyi Andritzin henkilökunnalle eri tutkimuskohteiden ja esimerkkitapauksien käsittelyn kautta. Työskentely tapahtui tiiviissä vuorovaikutuksessa Andritzin henkilökunnan kanssa, jolloin mallinnus- ja prosessitietämys kohtasivat luontevalla tavalla. Lisäksi järjestettiin erillisiä ppTool-käyttäjäpäiviä, joissa annettiin mallinnuskoulutusta ja ppTool-ohjelmiston käyttöön liittyviä ohjeita.

3.7 Yhteenveto

Työpaketti 2:n (WP2) tavoitteet toteutuivat erittäin hyvin. ppTool-ohjelmiston kehitys energian kulutuksen ja prosessin mallintamiseen (ppTool-ohjelmisto) onnistui erinomaisesti ja lopputuloksena oli hyvin käyttökelpoinen ohjelmistoratkaisu. Tarkemmin ohjelmiston ominaisuuksista on kerrottu projektin aikana tehdyssä julkaisussa (liitteenä). Andritzin henkilökunnalta tullut palaute ohjelmistosta oli hyvin positiivista. Ohjelmistoa hyödynnettiin projektin aikana eri selluprosesseissa energiatehokkuuteen liittyvissä optimointikysymyksissä ja samalla tiedonjalostusketju mallinnusmenetelmiseen tulivat Andritzin käyttäjille tutuiksi ja konkreettisesti käden ulottuville. Jokainen ohjelmiston peruskäytön osaava voi sanoa olevansa mallintaja. Käyttökelpoiset datankäsittely- ja mallinnusmenetelmät antavat hyvän pohjan analysoida prosessidatan perusteella energiatehokkaampia ratkaisuja. Tiivistetysti voidaan ilmaista, että työpaketti 2 tuotti paljon menetelmiä, työkaluja ja tietämystä.

4 Energiatehokkuus rakennusten energiankulutuksessa

4.1 Energiatehokkuuden kehittäminen - toimivuuden varmistusmenettelyt

4.1.1 Energiakatselmukset

ENEFIR-projektin yhteydessä oli tarkoitus kokeilla ns. kevennetyn energiakatselmuksen käyttöä (walk-through-audit) rakennusten energiankulutuksen pienentämiseksi ja mahdollisen säästöpotentiaalin kartoittamiseksi. Energiakatselmuksessa selvitetään kohteen nykyinen energiankäyttö, sekä esitetään katselmuksessa havaitut kannattavat energiansäästömahdollisuudet. Motiva on laatinut ohjeet erityyppisille kohteille tarkoitetuille energiakatselmusmalleille, esimerkkinä rakennusten energiakatselmukset. Energiakatselmuksen avulla saadaan perusta kiinteistön energiankäytön tehostamiselle. Rakennusten energiatodistus tarvitaan, kun rakennus tai siihen kuuluvia tiloja myydään tai vuokrataan, poikkeuksena ennen vuotta 2008 valmistuneet pienet asuinrakennukset. Uusille rakennuksille energiatodistus laaditaan rakennuslupavaiheessa. Energiatodistus on uudisrakennushankkeissa yleensä osa laajempaa rakennuslupavaiheessa laadittavaa energiaselvitystä.

Energiakatselmukset on jaettu esimerkiksi USA:ssa (ASHRAE) kolmeen eri tasoon, riippuen katselmuksen laajuudesta. Taso I (kevennetty katselmus, walk through audit) sekä Taso II ja Taso III – nykyinen Motivan energiakatselmuksmalli vastaa lähinnä tasoa II, osittain myös tasoa III. Suomessa voidaan käyttää nykyisiä katselmuksmalleja lisättynä kevennetyllä katselmuksella.

Kevennetyissä katselmuksessa arvioidaan rakennuksen energiankulutusta ja energiatehokkuutta selvittämällä

- rakennuksen energiankulutustietoja vähintään edeltävän kolmen vuoden ajalta mikäli mahdollista
- energiankulutustietoja vastaavien rakennusten energiankulutukseen

- rakennuksen toimintaa yhden päivän pituisella rakenteiden ja talotekniikan läpikäymisellä

Kevennetyllä katselmuksella tulisi saada selville:

- ne energiansäästötoimenpiteet joiden takaisinmaksuaika on erittäin lyhyt tai jotka eivät vaadi suuria investointeja
- olennaisimmat ja merkittävimmät energian kuluttajat
- ne kohdat/asiat jotka vaativat yksityiskohtaisempaa selvittämistä

Kevennetyssä katselmuksessa voidaan tehdä myös mittauksia, mutta pääosin se perustuu kohteen ja kohteesta saatavan tiedon tarkasteluun.

Seuraavat asiat tulee käydä läpi ennen varsinaista katselmusta:

- Rakennuksen käytöstä ja kiinteistöhallinnasta vastaavien henkilöiden selvittäminen ja yhteydenotto
- Kulutustiedot (lämpö, sähkö, vesi edellisten 2-3 vuoden ajalta)
- säätiedot kuukausittain vastaavalta ajalta (lämmitystarveluvut)
- Kulutustietojen syöttö esim. Excel-taulukkoon ja ominaiskulutuksien sekä kulutustrendien kuvaajien valmistelu
- Rakennuksen ja taloteknisten järjestelmien tiedot etukäteen (rakenteet, lämmitysjärjestelmä, ilmanvaihtojärjestelmä, palvelualueet)

Katselmuksen kulku koostuu seuraavista osista:

- tulosten kerääminen ja seulonta (screening)
- kulutustietojen analysointi ja tasotestivertailu (benchmarking)
- kohteen nopea läpikäyminen ja sen aikana mahdollisesti tehtävät mittaukset (voidaan tehdä vain rajoitetusti)
- instrumentointitason selvittäminen, raportointiin myös ehdotus mittaroinnin lisäämisestä (jos tarpeen)
- henkilökunnan, käyttöhenkilökunnan ja kohteen energianhallinnasta vastaavien haastattelu (voidaan valmistella etukäteen)
- keskeisten energiankulutukseen vaikuttavien tekijöiden selvittäminen, ilmeisten suurten lämpöhäviöiden tai energiakuluttajien listaus
- kohteen talotekniikan, laitteiden ja järjestelmien käytön ja kunnan arviointi
- rakennusautomaation hyödyntäminen (mikäli voidaan kerätä talletettua pitemmän aikavälin tietoa)
- niiden kohteiden selvittäminen joissa yksityiskohtaisempi tarkastelu on tarpeen
- mikäli luotettavia kulutustietoja ei ole käytettävissä, tukeudutaan vastaavatyypisten rakennusten keskimääräisiin kulutustietoihin ja katselmoijan kokemukseen

Keven katselmuksen kokonaiskesto valmistelevine töineen, kohteessa käymiseen ja tulosten analysoimiseen raportoimiseen on luokkaa 2-5 henkilötyöpäivää (hpt). Katselmoinnin kattavuus ja luotettavuus riippuu suuressa määrin katselmoijien kokemukseen ja asiantuntemukseen (niin kuin kaikessa katselmointitoiminnassa), joka korostuu erityisesti jos kyseessä on suhteellisen paljon tekniikkaa sisältävä rakennus. Kevyttä katselmusta voi seurata varsinainen energiakatselmus, jos keven katselmuksen perusteella siihen on aihetta. Taulukossa 3 on lyhyesti vertailtu eri katselmustasoja.

Taulukko 3: Toiminnot eri katselmointitasoilla (perustana kv. malli), voidaan verrata myös kiinteistökatselmusmalliin

Toiminnot	Kevyt	Motiva
Mittaroinnin tarkistus, mahdollisesti puuttuvien mutta jatkossa tärkeiden mittareiden listaus, tietojen keruu katselmuksen aikana (esim. mittareiden luenta)	X	
Kulutus, laite- ja rakennetietojen selvittäminen	X	X
Talotekniikan ja rakenteiden tarkistus, käyttöhenkilökunnan haastattelu	X	X
Teknisten dokumenttien analysointi	(X)	X
Käyttäjähaastattelut	X	X
Mittaukset (perusmittaukset, vähimmäistaso)	(X)	
Mittaukset (laajemmat mittaukset)		X
Energiataseiden laskenta		X
Säästöpotentiaalın arviointi/analysointi	X	X
Säästöinvestoinnit (takaisinmaksuaikoinen)	(X)	X
Tarvittavat investoinnit (elinkaarikustannusten pohjalta)		X

Keveen katselmuksen aikana pyritään keskittymään vain suurimpiin ilmeneviin energiankulutuksen ongelmiin. Korjausehdotuksiin tulee sisältyä saatavat säästöt, asennus- tai korjauskustannukset sekä arvio takaisinmaksuajasta. Tyypillisesti kevennetyssä katselmuksessa pitäisi kiinnittää huomiota seuraaviin asioihin; Ilmavuodot, taloteknisten järjestelmien laatu ja kunto, kunnossapidon toiminta ja sen järjestely, säädöt, valaistuksen säätö ja ohjaus, ilmanvaihdon käyntiajat ja säädöt sekä niiden muutosmahdollisuudet sekä järjestelmien käyttö.

Rakennuksen eri osat ja järjestelmät käydään läpi tarkistuslistojen avulla. ENEFIR-projektissa kokeiltiin tarkistuslistojen käyttöä kahdessa kohteessa: Kaarenhovin päiväkotı sekä Taidemuseo. Kaarenhovin energiakatselmuksen tekivät FinnEnergia Oy ja VTT yhteistyössä ja Kaarenhovissa Insinööritoimisto Granlund Kuopio Oy sekä VTT yhteistyössä. Kummassakin kohteessa oli jo aikaisemmin tehty kaksivaiheinen lämpökuvaus ja tiiveysmittaus omia ilmanvaihtolaitteita käyttäen.

Kohde: Kaarenhovi

Kuva 18 A-G: Kevennety energiakatselmus



KATSELMUSRAPORTTI
Yhteenveto

Kohde: **Kaarenhovin päiväkot**
 Osoite: **Länsikatu 2, 70820 Kuopio**
 Katselmuspäivämäärä: **15.11.2011**
 Katselmoija: **Insinööritoimisto Granlund Kuopio Oy**
Jussi Korhonen (LVIA), Timo Oravainen (sähkö)

Rakennustilavuus (m³): **4300**

	Lämpö	Sähkö	Vesi	
Kulutus / edellinen vuosi (MWh, m ³):	181,1	56,19	631	
Rakennuksen ominaiskulutus (kWh/r-m ³ , l/r-m ³):	42,1	13,1	146,7	
Ominaiskulutuksen vertailuarvo (kWh/r-m ³ , l/r-m ³):	56,9	20,8	204,1	(Kuntaliiton tilasto 2009 / päiväkodit)
Energian keskihinta (€/MWh):	40	80	2,63	(arvio, tarkistettava)

	investointi €	säästöpotentiaali MWh, m ³	säästöpotentiaali €	säästöpotentiaali %	takaisinmaksuaik a vuotta
KOKONAISÄÄSTÖPOTENTIAALI					
Lämpöenergia	13 700 €	45,0	1 800 €	25 %	7,6
Vesi	1 300 €	40,0	105 €	6 %	12,4
Sähköenergia	858 €	3,7	298 €	7 %	2,9
YHTEENSA	15 858 €		2 203 €		7,2

KATSELMUSRAPORTTI
LVI- ja rakennusautomaatiotekniikka

 Kohde: Kaarenhovin päiväkotii
 Osoite: Linsinkatu 2, 70820 Kuopio
 Katselmuksen päivämäärä: 15.11.2011
 Katselmoija: Insinööritoimisto Granlund Kuopio Oy

 Energian keskihinta (€/MWh): 40 Lämpö Sähkö Vesi
 80 2,83

Sivun 2 (7)

Ilmennyjärjestelmä	ok	korjattavaa	ei kohteessa	investointi / €	Lämpöenergia säästöpotentiaali / MWh	Sähköenergia säästöpotentiaali / MWh	Vesi säästöpotentiaali / m ³	Yhteensä säästöpotentiaali / €	TMA / vuotta
Huoneilämpötilojen hallinta ilmastointijärjestelmällä								0 €	
- lämpötilatason, muutosmahdollisuudet	X							0 €	
- tilojen välisen lämpötilaerollaisten tasotilanteiden	X							0 €	
Termostaattiset tai muut patteriventtiilit								0 €	
- asetuksen, rajoitukset		X						0 €	
- toimivuus, puuttuvat term. osat, siotusosakka, yms.		X		600 €	3			120 €	5,0
Patteriventtiilien asennusolosuhteiden		X						0 €	
Linjastäätöventtiilien asennusolosuhteiden	X							0 €	
Patteriverkoston vesivirtojen säätöarvot	X							0 €	
Ilmastointiverkoston kesäsuojan käyttö	X							0 €	
Ilmastointiverkoston säätötoiminnan muutokset	X							0 €	
- asetusarvojen tarkoituksenmukaisuus		X						0 €	
- asetukselliset vs. mittaukselliset	X							0 €	
Ilmastointiverkoston säätöalgoritmin muutokset								0 €	
- vyöhyketoimittajien säätöalgoritmit	X							0 €	
- lämpötilapudotusten käyttö	X							0 €	
Ilmastointiverkoston jakaminen eri sekoitusryhmiin	X							0 €	
Pudotusten eritysten parantaminen	X							0 €	
Kierrotoimittajien	X							0 €	
- asetukselliset, toimivuus	X							0 €	

	ok	korjattavaa	ei kohteessa		investointi / €	Lämpöenergia säästöpotentiaali / MWh	Sähköenergia säästöpotentiaali / MWh	Vesi säästöpotentiaali / m ³	Yhteensä säästöpotentiaali / €	TMA / vuotta
Vesi ja viemärinjärjestelmä				Tilaaho, käyttöikäarvio:toimitus/säästönarvio:toimitus						
Lattiälämmitykset		X			200 €	2			80 €	2,5
Vesijohdoton painetaso alentaminen		X		Osasto Vilkkari WC, lattiälämmityspiirin TV:n lisääminen	600 €			30	79 €	7,6
Vesikalusteiden virtaaminen rajoittaminen		X		asennetaan paineen alennus (n:n 6,5 bar)					0 €	
- vierustalon liike, säätösuuntimet		X		hanojen virtaaminen rajoittaminen					0 €	
- vesikalusteiden uusiminen	X			paranteluun jälkeen joidenkin hanojen vivunliikettä joudutaan lisäämään					0 €	
WC-istuminen huuhelutuasään rajoittaminen	X				500 €			10	26 €	19,0
- 2-huuhelutuasään mekanismin tai situminen asennus		X		huuhelventiilin rajoituksen asennaminen					0 €	
Vettä kuluttavien koneiden ohjauksen parantaminen	X								0 €	
- esim. suuret astelapuskoneet			X		0 €				0 €	
Ilmanvaihtojärjestelmä										
Ilmanvaihtokoneiden käyttö ja ohjauksen muutokset									0 €	
- ilmanvaihtokoneen käyttötavan muutos		X		TK2 1/24:ääntä yhennetään modernista päistä 1 h	0 €	8			320 €	0,0
- lämsäköityksen asennus IV-ohjaukseen	X			TK1 1/24:ääntä jätetään niin että kone käynnistyy aamulla vasta klo 6:00	0 €	4			160 €	0,0
- lämpöenergian IV-esim. OQ2 ohjauksella, tms.	X								0 €	
- lisäkalusteet, lisäkalusteet	X								0 €	
- ilmanvaihdon muutokset	X								0 €	
- yöllä käyvä erillispöytä / ohjaus	X								0 €	
Ilmanvaihdon paljvelualueiden osittaminen	X								0 €	
Suukupletin asennus									0 €	
- ulkoilmapielin tiiveys		X		ulkoilmapielit eivät sulkeudu tiivisti	100 €	1			40 €	2,5
- painovoimaisille hormelle huipputiivite	X								0 €	
Tuloilman lämpötilan säädön toiminta ja muutokset									0 €	
- asetusarvojen tarkoituksenmukaisuus	X								0 €	
- asetukset vs mittaukset	X								0 €	
- tuloilman lämpötilan alentaminen lämmityskaudella	X								0 €	
- tuloilman lämpötilan nostaminen jäähdytyskaudella			X						0 €	
- LTO:n lämmityksen ja jäähdytyksen sähkösäädön toimivuus			X						0 €	
- seisontasäätö lämpötilan asetus	X								0 €	
- säätöalan muutos esim. postiloimatuotoksi	X								0 €	
- mittausalan toimivuus ja kalibrointiterve	X								0 €	
Lämmönvaihteen lisäasennus									0 €	
Lämmönvaihteenotto		X		keittiön tuloilmakoneelle lisätään nestekierroksen lämmönvaihteenotto	13 000 €				1 080 €	12,0
- lämmönvaihteenotto				kun säätösäätö vähenetään pumppausastamukset, niin nettosäästö on n. 620 €/a ja TMA 21 a					0 €	

	ok	korjattavaa	ei kohteessa	Tietäen: Käytökäytäntöjen toteutus- ja säätämätön	investointi / €	Lämpöenergia säästöpotentiaali / MWh	Sähköenergia säästöpotentiaali / MWh	Vesi säästöpotentiaali / m3	Yhteensä säästöpotentiaali / €	TMA / vuotta
Lämmöntalteenoton toiminnan parantaminen									0€	
- LTO-patterien puhdistaminen			X						0€	
- LTO:n huurtumisen asetuksen muutos	X								0€	
- LTO-kuitin ohjauksen toiminnan tarkistus	X								0€	
- LTO-järjestelmän iluositilauksen alennus / muutos			X						0€	
- LTO-jäsi, luovutuksen puhdistaminen tai linaaminen			X						0€	
- LTO-järjestelmän luovutuksen säätäminen			X						0€	
- LTO-järjestelmän pumppujen pysäytys kesäksi			X						0€	
- Palautusmoosuden muutos									0€	
Tuloisan kustutuksen toiminnan tarkistaminen									0€	
- tilien koosteen asetuksen muutos, koostustarve									0€	
Jäähdytjärjestelmä									0€	
- keittien kylmäsiiteit ja asetusarot	X		X						0€	
Katkojäähdytyksen toiminnan tarkistaminen			X						0€	
- lämpötilan tarkoituksenmukaisuus			X						0€	
- lämpötilan säätöön toimivuus			X						0€	
Vedenjäähdytyksen toiminnan tarkistaminen			X						0€	
- jäähdytyskoneiden ajoaika, jäähdytysveden lämpötila			X						0€	
- vapaajäähdytyksen ajoaika, lämpötilat ja käyttö			X						0€	
- vapaajäähdytyksen lisäminen			X						0€	
Jäähdytysverkoston toiminnan tarkistaminen			X						0€	
- eri verkostojen asetuksien tarkoituksenmukaisuus			X						0€	
- eri verkostojen asetukselliset vs. mitaukset			X						0€	
- pumppujen ohjauksia, taajuusmuuttajoih, lisäminen			X						0€	
- talvikäyttöaikaan erilliset pumput (pienempitöiset)			X						0€	
- pumppujen pysäytystarpeiden lisäminen lämmityskaudeksi			X						0€	
- puhdistus- ja säilytystarpeen parantaminen			X						0€	
Lauhdutuksen hyödyntäminen			X						0€	
- lauhdutuksen puhdistustarve			X						0€	
Huoneilämpötilojen hallinta jäähdytyskaudella			X						0€	
- lämpötila- ja muutosmahdollisuudet			X						0€	
- huoneilämpötilojen käyttö- ja ohjauksia, käyttöopas			X						0€	
- huoneilämpötilojen toimivuus, puhdistustarve			X						0€	
- pääleikkauksen jäähdytyksen ja lämmityksen välittämisen			X						0€	
- pienien jäähdytys yksiköiden käytön tarkistaminen			X						0€	
- esim. split-järjestelmien toimivuus			X						0€	
- tarkoituksenmukaiset lämpötilat			X						0€	

KATSELMUSRAPORTTI
Sähkötekniikka

 Kohde: Kaarenhovin päiväkotii
 Osoite: Lamskatu 2, 70820 Kuopio
 Katselmukspäivämäärä: 15.11.2011
 Katselmoija: Insinööritoimisto Granlund Kuopio Oy

Sähkög

Energian keskihinta (€/MWh): 80

Sisä- ja sisustusvalaistus	ok	korjattavaa	ei kohteessa	investointi / €	säästöpotentiaali / MWh	säästöpotentiaali / €	TMA / vuotta
Valaistustavan ja -tason tarkistus			Tilanne, käytäntökäytäntö/tehtävä/säästönmahdollisuus				
- yleisvalaistus	x			0 €		0 €	
- paikallivalaistus		x		0 €		0 €	
- kohteivalaistus		x		0 €		0 €	
- valaistusvoimakkuus	x		yleensä alle nykyolosuhteiden, keittiössä nykyisuus. Mukainen, johtajan huoneessa yll (mitattu 600 lx / suos. 500 lx)			0 €	
Lamppuyyppi		x	ryhmä- ja lepohuoneiden hehkulamput säädettäväksi energiansäästölamputiksi	378 €	1,2	93 €	4,1
Huoneilman vaihtaus						0 €	
Valaistuksen puhdistus	x					0 €	
Ohjaustapa ja ryhmittely						0 €	
- lämsälo-ohjaus		x	henkilökunnan pukuhuoneessa valaistus aina päällä -> liiketunnistinohjaus	80 €	0,2	17 €	4,6
- päivänvalon hyväksikäyttömahd.						0 €	
- tarpeettoman käytön rajoittam.	x					0 €	
- osatehon käyttömahd., säätö						0 €	
- poistumistehovalot LED		x	ovimerkkivalojen 5W hehkulamppujen vaihto 2W led-lamputiksi	100 €	0,5	42 €	2,4

	ok			Tilaus-, käyttöaikaveloitus/veloitus/säästömahdollisuus	investointi / €	säästöpotentiaali / MWh	säästöpotentiaali / €	TMA / vuotta
	ok	korjattavaa	ei kohteessa					
Ulkko- ja julkisivuvaistatus					0 €		0	
Valaistustason tarkistus					0 €	0,3	24 €	0,0
valaistusvoimakkuus		x		ulkoilman 2 valaisimesta lamppu pois, jätetään käyttöön vain epäsuorat valaisimet				
Lampputyyppi		x		eihooppelampujen tilalle korvaavat suurpainelinjalamput	300 €	0,8	65 €	4,8
Valaisinpuhdistus	x						0 €	
Ohjaustapa ja ryhmittyminen							0 €	
-alkaohjeiden tarkoituksenmukaisuus		x		rykyisin 4.45-23.45 -> lyhennetään aamusta 45 min pois (päälle klo 5.30, henkiökunta saapuu 5.45 aikaan	0 €	0,7	57 €	0,0
-hänäräkykimen asetusarvo		x					0 €	
-osaston käyttömahd., säätö			x				0 €	
Ulkovaistuksen ohjaus	x			julkisivuvaistus ei käytössä			0 €	
Tilojen sähkölämmitys							0 €	
							0 €	
Pistorasioihin kytketyt lämmittimet	x			ulkovaroissa sähkölämmittimet, eivät käytössä			0 €	
lämmittimien määrä, tarve							0 €	
Lattialämmitys			x				0 €	
varsinaisen lämmityksen ohjaukset							0 €	
käyttö, ohjaus ja säätö							0 €	
temmostaahin sijoitus, aseteluarvo							0 €	
käyttöselitys, -seurantia							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	
							0 €	

	ok	korjattavaa	ei kohteessa	Tilanne, käyttöikä/indotus/teutus/säästön mahdollisuus	investointi / €	säästöpotentiaali / MWh	säästöpotentiaali / €	TMA / vuotta
Ulkoalueen sähkölämpö							0 €	
Ulkoalueiden sulatus			X				0 €	
ohjautapa							0 €	
asetteluavot			X				0 €	
Saattolämmitys, kattokaivot							0 €	
ohjautapa	X			3 kpl kattokaivoja, käsiohjaus paikkastentun ajan, ei käytössä tarkasteleutkella; ulkoem.ohjaus ei kannata			0 €	
asetteluavot			X				0 €	
Saunat, sos.tilat							0 €	
- vuorojen tilaus			X				0 €	
- alkaohjelmat / ajoitus							0 €	
- kuvaukskaappien käyttö							0 €	
Keittolaitteet							0 €	
- esilämmitys			X				0 €	
- kyntöiden sulatusajat			X	2 krt / vrk a' 0,5 h			0 €	
Erttyislaitteet							0 €	
- kinnelstön laitteet	X			sis. muihin			0 €	
- käytäjien laitteet	X			sis. pistorasialajeisiin			0 €	
- taukokeititit	X						0 €	
- hissit, jne			X				0 €	
Pistorasialajeet							0 €	
- toimistolaitteet, PC:t, kopiokoneet	X						0 €	
- laitekannan energiatalokkuus	X						0 €	
- virransäästöomaisuudet	X						0 €	
- käyttötutkimukset	X			ei tarpeellonta valaistusta käytössä			0 €	
- viihde-elektronikka jne	X						0 €	

Kaarenhovin päiväkodin ongelmia olivat sisäilman laadusta johtuvat valitukset osassa rakennusta sekä vetohaitat. Rakenteiden tarkistuksessa havaittiin ikkunoissa ja erityisesti ovissa paikoittain tiivistepuutteita sekä myös kulmaikkunoiden kylmäsillat. Toimenpiteenä olisi ilmapuotojen vähentäminen ovia ja ikkunoita tiivistämällä. Kohteen erikseen mitattu ilmapuotoluku on luokkaa 3-4 1/h, ilmapuotoluvun puolittamisella arvoon 1,5 1/h saadaan luokkaa 5 % lämmitysenergian säästö. Ovien tiivistävä korjaus riippuu myös siitä, onko rakenteessa karmivuotoa. Jos karmitiivistys pitää korjata, voidaan suositella ovien uusimista. Tällöin myös mahdolliset mikrobivauriot voidaan havaita ja korjata.

Jos riittää pelkkä tiivisteiden vaihto, hinta on ovea kohden (kaksilehtinen ovi) luokkaa 150 €/kpl (alv = 0 %). Jos vuotoluku paranee neljän oven tiivistyksellä esimerkiksi 3,0 1/h → 2,0 1/h on teoreettinen säästö lämmönkulutuksessa tuhannen kuution päiväkodissa 1600 KWh, ja takaisinmaksuaika ilman korkoa on 4 – 6 vuotta eli hyvin kannattavaa. Jos karmivuotoa esiintyy, kannattaa harkita ovien vaihtoa.

Ulko-ovet ja tuulikaapin väliovet:

- ulko-ovet metallirakenteisia, tiivisteet kovettuneet, ilmapuotoa
- väliovet lähes kauttaaltaan avoinna (henkilökunnan mukaan talviaikana kiinni)
- Keittiön ulko-ovi erittäin vetoinen, väliovi avoinna (käytön kannalta ei tarpeen) ja voitaisiin tiivistää

Ikkunat:

Ikkunat:

- MSK-tyyppisten ikkunoiden tuuletusluukuissa osin tiivistepuutteita, samoin ikkunoissa maalivaurioita ja ilmapuodon merkkejä (likaa)
- Puukarmisten eristyslasi-ikkunoiden pintalämpötilat verrattavissa osin MSK-ikkunoiden pintalämpötiloihin, joissakin ikkunoissa matalia nurkkalämpötiloja joka on eristyslasi-ikkunoille tyyppillistä
- Metallirunkoisten eristyslasi-ikkunoiden lämpötekninen toimivuus heikko, erityisesti IV-konehuoneeseen johtavan portaikon ikkuna

Metallikarmisten isojen ikkunoiden osalta voidaan tehdä rakenneteknisistä syistä korjaustoimenpidevaihtoehtojen arviointi vaikka energiataloudellisista syistä ei ole kannattavaa. Ikkunat kondensoivat ja ovat jäässä talvella. Erityisesti uima-allashuoneen ikkuna joka pitäisi korvata toisentyyppisellä rakenteella kuntosyistä.

Rakennuksen päädyssä olevan varahuoneen sisäilmaongelmat tulee kartoittaa erillisillä mittauksilla, katselmuksen aikana lämpökuvien perusteella on mahdollista, että puuttuvien kallistuksien vuoksi ulkopuolinen kosteus (lumi, sade) on kulkeutunut ulkoseinä- ja lattiarakenteeseen. Kosteuspitoisuudet voidaan rakenteista joka tapauksessa tarkistaa mittauksin.

Kohde: Taidemuseo

Kevennetty energiakatselmus

Yhteenvedo ehdotetuista toimenpiteistä:

Peruskorjauksen yhteydessä tehtävät toimenpiteet:

- Aluskatteen asennus
- Näyttelytilojen yläpohjan lisäeristys
- Konttoriosan lämmitysjärjestelmän eriyttäminen omaksi piirikseen
- Lämpöön kondenssiiongelman tarkastelu eri vaihtoehtoja käyttäen



- ulkoseinien kunnon selvittäminen

Välittömästi toteutettavat toimenpiteet:

- selvitys siirtymisestä LED-valaistukseen aluksi näyttelytilojen osalta
- valaistuksen ohjauksen kuntoonsaattaminen
- yläpohjan lisäeristys
- ulko-ovien tiivistäminen

Taulukko 4: Kuopion taidemuseon katselmuksen tarkistuslista (seuraava sivu).

TARKISTUSLISTAT-RAKENTEET		
Järjestelmä ja sen osat	Tila ja kunto	Tila/teho, käyttöaika/ehdotus/toteutus/säästömahdollisuus
Perustukset		
lämpövuodot, pintalämpötilat, lisäeristysmahdollisuudet		
Kellari- ja maanalaiset tilat		
US: Rakenne, U-arvo		
kylmäsillat, pintalämpötilat		
ikkunat		
lisäeristysmahdollisuudet, liittyminen us-rakenteeseen		
ilmavuotokohdat		
Ulkoseinät		
US 1: tyyppi, rakenne, U-arvo		
pintalämpötilat		
kylmäsillat		
US2: tyyppi, rakenne, U-arvo		
US 3: tyyppi, rakenne, U-arvo		
rakenteen sisäiset putkitukset		
lisälämmöneristämismahdollisuus		
ilmatiivisyys/vuotokohdat		
sähköasennusten ilmapuodot		
lisäeristys, vaihtoehtoratkaisut		
Yläpohjarakenteet		
YP 1: tyyppi, rakenne, U-arvo		Vanhan osan YP-lisäeristys, puhallusvilla 500 mm -> U= 0,09 -> säästöä n. 6000 kWh / v. -> n. 600 € / v. Kustannusarvio n. 4700 € -> takaisinmaksuaika n. 8 v.
YP 2: tyyppi, rakenne, U-arvo		
iv-kanavat		
läpiviennit		
kosteusvauriomerkit		
tiiviyys (höyrynsulku/saumamat)		
lisäeristysratkaisut		
Katto		
tyyppi, rakenne, U-arvo (esim. pakettikatto)		
mahdolliset näkyvät vauriot		
Ulko-ovet		
määrä		
tyyppi: UO 1		
määrä, rakenne, U-arvo		
tiivisteet, käynti		
tyyppi: UO 2		
määrä, rakenne, U-arvo		
tiivisteet, käynti		
Ikkunat		
tyyppi (MSK, MSE jne), 2-l, 3-l...		Toimistotilojen ikkunat vetoisia -> uusiminen, ei tiedossa neliömääriä -> ei kustannusarviota
MEK-ikkunat, lämpio		U-arvo n. 1,4 W/m ² K, lisälasipaketin asennus -> U=0,9 W/m ² K, säästöä n. 7600 kWh / v. -> n. 760 € / v. Ikkunalasien kust.arvio n. 26 000 € Takaisinmaksuaika n. 34 v.
karmin ja US liitos		
ikkunapenkki/tuuletus/lämmitysmuoto		
Lämpöön ikkunapinta-alasta n. 80 %:a umpeen		Säästöä n. 10 000 kWh / v. -> n. 1000 €/v. Kustannusarvio 100 mm solupolystyreenieristeelle n. 9500 €. Takaisinmaksuaika n. 10 v.
Tyyppi (tuloilmaventtiili)		
Tyyppi (keittiön poisto)		
Tyyppi (poistoventtiili)		
Hormit		
Tiiviyys ja kunto		
Eritystilat		
Kellari		Kellarin lämpötila 22-23°C -> lämpötilan pudotus esim. 18°C:een. Yhden lämpöasteen pudotus pienentää energiankulutusta n. 5 %:a
Sauna		
Rakenteet, U-arvo		
Pesuhuone,		
Rakenteet, U-arvo		
Pesula, kuivaushuone		
Rakenteet, U-arvo		
Ulkovaipan tiiviyys		
Ilmavuotoluku n50, q50		
Muut havainnot		

	Tila/teho, käyttöaika/ehdotus/toteutus/säästömahdollisuus
Valaistus	
sisä-, ulko-, sisustus-, julkisivuvalaistus	
Valaistustavan ja -tason tarkistus	
yleisvalaistus	Energiansäästölamput ja halogen-lamput -> LED-valaistus
paikallisvalaistus	
kohdevalaistus	Seinänpesijät, halogen -> LED-valaistus
valaistusvoimakkuus	
Lampputyypit	
Elektroninen kuristin	
Huonetilan väriyty	
Valaisimen puhdistus	
Ohjaustapa ja ryhmittely	Rakennuksessa on valaistuksen ohjausjärjestelmä, joka ei ole käytössä, valaistuksen ohjaus tarpeenmukaiseksi.
- läsnäolo-ohjaus	
- päivänvalon hyväksikäyttömahd.	
- tarpeettoman käytön rajoittam.	
- osatehon käyttömahd., sääätö	
- poistumistievalot LED	
Ulkovalaistuksen ohjaus	
Tilojen sähkölämmitys	
- pistoras.kytkeytyt lämmittimet	
lämmittimien määrä, tarve	Toimistotiloissa vedontunnetta -> lisälämmittimien tarve -> ikkunat vetoisat, keskuslämmityksen patterit syvennyksissä, konvektiovirtaus ei riitä. Onko pattereiden mitoitus riittävä?, pattereiden pintalämpötilat ok -> Konvektiovirtauksen lisääminen ja ikkunoiden uusiminen / kunnostus.
- lattialämmitys	
varsinaisen lämmityksen ohjaukset	
käyttö, ohjaus ja sääätö	
termostaatin sijoitus, asetteluvarvo	
käyttöselvitys, -seuranta	
Ulkoalueen sähkölämpö	
- sulatus (portaat, ajoluiskat, räystäät)	
- autolämmitys	
ohjaustapa	
asetteluarvot	
Saunat, sos.tilat	
- vuorojen tilaus	
- aikaohjelmat / ajoitus	
- kuivauskaappien käyttö	
Keittiölaitteet	
-valmistus/kuumenn./jakelu	
- annosmäärä per vrk tai viikko	
- laittehokkuus, laitteiden energialuokka	
Erityislaitteet	
- kiinteistön laitteet	
- käyttäjien laitteet	
- taukokeittiöt	
- hissit, jne	
Pistorasiakojeet	
- toimistolaitteet, PC:t, kopiokoneet	
laitteikannan energiatehokkuus	
virransäästöominaisuudet	
käyttötottumukset	
- viihde-elektronikka jne	

Yhteenveto kevennetyn katselmuksen perusteella

Seuraavassa yhteenvedossa on esitetty myös toimenpiteitä, jotka eivät varsinaisesti kuulu kevennettyyn katselmukseen, mutta jotka voidaan ottaa huomioon pitkän tähtäimen kunnossapidon suunnittelussa.

Rakenteet

Seuraavassa on esitetty myös toimenpiteitä jotka osaksi kuuluvat seuraavan peruskorjauksen yhteyteen – ne eivät ole energiataloudellisesti välttämättä kannattavia, mutta nämä viat aiheuttavat rakenteellisia ongelmia ja alentavat lämpöviihtyvyyttä pitkällä tähtäimellä.

- Ikkunoiden tiivistys ja kunto heikko - > ikkunoiden uusiminen peruskorjauksen yhteydessä
- Vanhan osan yläpohjan eristävyys heikko - > lisäeristys esim. puhallusvillalla (selluvilla, mineraalivilla)
- Vesikatossa ei alusrakennetta, aluskate puuttuu - peruskorjauksen yhteydessä asennettava
- Toimistotilojen tiilirakenteinen ullakkotila voidaan yksinkertaisella tavalla lisäeristää rakentamalla kulkusillat IV-konehuoneeseen ja porrashuoneen päällä olevaan säilytystilaan ja puhaltaa 50 cm selluvillakerros kauttaaltaan, kokonaiskustannus luokkaa 4000 – 5000 € (ks. tarkistuslistat). Näyttelytilojen ullakko on jo lisäeristetty mutta samalla voitaisiin lisätä 10 cm selluvillakerros (villojen asennuksessa puutteita, vaikea asennusympäristö). Kattorakenteiden kunto osittain kysymyksiä herättävä ja aluskate puuttuu. Vaikka energiakatselmuksessa ei olekaan kysymys kuntoarviosta, on lukuisten kattovuotojen takia syytä kysyä eikö peltikatto voitaisi uusita kokonaan ja samalla asentaa sinne aluskate ja korjata vaurioituneita kattorakenteita toimistotilojen osalta. Samoin seinärakenteista silmämääräisesti on ongelmia – rakennuksen vaipan kuntotutkimus?
- Lämpö (siis pihalla lasiseinäinen näyttelykerroksia yhdistävä osa ja näyttelytilana toimiva osa) on suurin lämpöhäviöitä aiheuttava tila, koska kolminkertaisen eristyslasiseinän ml. kylmäsiltojen U-arvo on >> 1. Toisaalta sisätilojen suhteellinen kosteus (n. 40 %) ja sitä vastaava vesisisältö siirtyy suoraan lämpöön (näyttelyosan ovi auki 1. kerroksessa), joka kondensoituu lasirakenteisiin ja erityisesti metallisiin kylmäsiltoihin. Lämmitetyt lasit nostavat energiakustannuksia, joten olisi tutkittava mahdollisuudet asentaa ylimääräinen eristyslasipaketti sisäpintaan.
- Lämpö kondensoi talvella voimakkaasti - > Lisälasipaketin asentaminen ja lämpöön johtavien väliovien kiinni pitäminen lämmityskaudella, mahdollisuus eristää / levyttää n. 80 %:a esim. lämpöön ulkoseinien pinta-alasta?
- Lisälasipaketin asentaminen lämpöön ei ole taloudellisesti kannattavaa ellei rakenneteknisistä syistä ole tarpeen toteuttaa. Lämpöön lisäeristäminen esimerkiksi polyuretaanilevyillä on kannattavaa, mutta taidemuseon ulkonäkö muuttuu täysin, joten voidaanko toimenpidettä puolustaa jos arkkitehtoniset syyt eivät sitä tue?
- 120 m²:n PUR-asennus nykyisiin raameihin on n. 4000 € materiaalin osalta + työ = varovasti arvioituna 6000 – 7000 € yhteensä + mahdollinen pintojen käsittely esim. ulkopuolelle, kokonaiskustannukset luokkaa n.10 000 €

yhteensä. Todennäköisesti n. 20 % lasien lisäämisen kustannuksista (50 000 €) sekä U-arvo laskisi 0,2:n tasolle (ks. tarkistuslistat).

- Näyttelytiloissa oli kondensointia ikkunoissa sermien takana. Syynä ikkunoiden heikko kunto sekä lämmityspatterikonvektion estäminen. Näyttelytilan sermit estävät (ainakin osaksi) tehokkaan ilman kierron. Ratkaisuvaihtoehtona sermien lattian ja katon välisen raon kasvattaminen ja tuuletusaukot ikkunapenkkiin. Lisäratkaisuna ylimääräisen lasin asentaminen.
- Lämpöiden ovat eivät ole tiiviitä – sama koskee osin muitakin ulko-ovia. Sisääntulon yläosa voidaan peittää ja puhaltaa sinne puhallusvillaa.

LVI-järjestelmät

- Lämpöön kondensointi, pattereiden konvektiovirtaus riittämätön - > puhallinpattereiden asentaminen vaihtoehtona lisäeristämiseksi (ei vähennä energiankulutusta)
- Toimistotilojen lämmitysteho riittämätön, talvella käytetään lisälämmittämiä, patterit ikkunapenkkiä alla, konvektiovirtaus ei riitä - > Konvektiovirtauksen lisääminen ikkunapenkkejä rei'ittämällä, (onko pattereiden mitoitus riittävä?)
- Selvitettävä mahdollisuus erillisen lämmityspiirin järjestämiseksi toimistotilojen osalta (oma lämmönvaihdin)
- huhtikuusta toukokuuhun konttoritiloissa on käytetty n. 1000 W lisälämmittämiä/tstohuone.
- Kellaritilojen sisälämpötila on tarpeettoman korkea (22 - 23°C) - > Lämpötilan pudotustilojen käyttötarkoituksen mukaiseksi n. 18 °C:een.

Sähköjärjestelmä

- Valaistuksen ohjausjärjestelmä on olemassa, mutta ei ole käytössä - > ohjausjärjestelmän toimivuuden varmistus/käyttö. Valaistusteho on suuri (n. 10 kW), LED-valaistuksen kustannustehokkuus tulee erikseen selvittää (edellyttäen että sopiva värilämpötila löytyy)
- Vahtimestareiden mukaan valaistuksen ohjausohjelma ei toimi kunnolla, joten joka aamu ns. siivousvalot eivät ole päällä vaan käytössä on täysi valaistus.
- lamppuja joudutaan vaihtamaan suhteellisen usein
- Taidemuseon valaistukseen käyttämän sähkön kokonaisteho on n. 15 kW:n luokkaa josta näyttelytilojen osuus on n. 60 %, n. 10 kW
- Voidaan arvioida on, että sähkötehosta säästettäisiin niiltä osin n. 7 kW (10 kW → 3 kW) joka on luokkaa 45 % koko valaistustehosta. Jos aukioloaika/valaistuksen päälläoloaika on 48 h/viikko, saavutettava säästö on 7kW*48 h = 336 kWh/viikko*sähkön hinta
- Museon aukioloajan sähkönkulutus määräytyy on näyttelytiloilla, kellarin valot eivät ole aina päälläkään
- Pistekuormat (PC:t ja keittiö) eivät mukana edellä esitettyssä arviossa

Näyttelytilojen lämpötilat olivat katselmushetkellä 2-3 °C astetta korkeammat kuin suunnitteluarvo 19 °C. Jos nykyiset spotin ja ns. seinänpesuvalaisimet korvataan LEDeillä, sisäiset kuormat laskevat. Mitä tulee toimisto-osaan, LEDeihin siirtymistä voisi harkita, tosin täytyy ottaa huomioon nykyisten lamppujen vs LED lämmitykseen menevä osa. Kaukolämpö on joka tapauksessa sähkölämmitystä edullisempaa.

Taidemuseo on käyttötarkoitukseltaan luettava erikoisrakennuksiin. Sisälämpötilan tulee olla tietyissä rajoissa, samoin kuin suhteellisen kosteuden. Taidemuseo koostuu kahdesta eri-ikäisestä rakennuksesta, joiden lämpötekniinen toimivuus ja kunto poikkeavat toisistaan. Taidemuseon tapauksessa tulisikin suunnitella tulevan peruskorjauksen yhteydessä myös energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet, joista valaistuksen ohjauksen saattaminen asianmukaiselle tasolle sekä näyttelytilojen lamppujen uusiminen voidaan toteuttaa välittömästi.

Korkeasta suhteellisesta kosteudesta johtuva kondensoituminen on ollut ongelma myös joissakin muissa taidemuseoissa, joissa on vanhoja ikkunoita. Taidemuseot ovatkin erityisryhmä, joiden energiatehokkuuden parantamista pitäisi kehittää omalla suunnatulla ohjelmalla.

Kevennetty katselmus tarkistuslistojen perusteella sopii päiväkotitapauksessa erittäin hyvin energiatehokkuuden arviointiin. Eritysrakennuksissa voidaan huomio kiinnittää – kevennetyn katselmuksen useassa lähteessä esitetyn määritelmän mukaan – niihin kohteisiin jotka vaativat lähempää tarkastelua.

Kevennetty katselmus ei välttämättä edellytä mittauksia. Olisi kuitenkin hyvä, että käytettävissä olisi ”kenttämittauspaketti”, jossa tulisi olla:

- lämpömittari sisä- ja ulkoilman lämpötilan mittaamiseksi
- pintalämpötilamittari ja/tai pieni lämpökamera
- suhteellisen kosteuden mittari
- paine-eromittari ulko- ja sisätilan paine-eron mittaamiseksi (tärkeä)
- termooanometri virtausmittauksiin tarvittaessa (sisältää yleensä lämpömittarin)
- lasermitta sekä rullamitta
- ikkunan avaaja
- käsityökaluja

Kevennytyssäkin katselmuksessa tulisi mitata tilojen sisälämpötiloja ja painesuhteet. Lämmön talteenoton hyötysuhde tulisi myöskin voida määrittää, erityisesti jäteilman lämpötila. Nykyään on saatavana esim. USB-liittimellä varustettuja tietojenkeruulaitteita, jotka voidaan ohjelmoida etukäteen ja jotka voidaan tarvittaessa jättää kohteeseen 2-5 päivän ajaksi ja etälukea. Laajemmat mittaukset kuuluvat II- ja III-tason katselmuksiin.

Kevennytyssä katselmuksessa voidaan esittää myös instrumentoinnin lisäämistä tulevaisuutta varten. Tulevaisuudessa asianmukaisesti toimiva rakennusautomaatiojärjestelmä tulisi tuottaa mittaustietoa kiinteistöhallintajärjestelmään, joka käsittelee ja analysoisi valmiiksi trendianalyytit, ominaiskulutukset ja esimerkiksi johtumishäviöt (vrt. asianomainen ST-tietokortti ST 711.20) – jatkuva toimivuuden varmistus vähentäisi katselmoinnin tarvetta mutta ei tietenkään poista sitä kokonaan.

Johtopäätöksiä

Oleellinen tekijä kevennetyn katselmuksen laajemmassa käyttöönotossa on, että

- rakennuksen rakenne- ja järjestelmätiedot ovat ajanmukaiset ja saatavissa, myös tilavuus ja pinta-alatiedot
- kulutustiedot ja tilastot edeltäviltä vuosilta ovat käytettävissä, myös säätiedot ja lämmitystarveluvut
- vastaavien rakennusten vertailutietoja (ominaiskulutukset) ovat käytettävissä – riittävä dokumentaatio olemassa
- käytöstä vastaava henkilökunta on katselmuksen aikana paikalla
- rakennusautomaatiojärjestelmää ja kiinteistönhallintajärjestelmää (jos on) voidaan käyttää täysimittaisesti hyväksi katselmuksissa, samoin huoltokirjatietoja tarvittaessa
- käyttäjiä voidaan haastatella
- kustannustiedot (esim. tiivistäminen, ikkuna vaihto ym.) ovat kootut valmiiksi energiakatselmoijalle lähtötiedoksi
- energiatehokkuuden laskentaohjelmisto on käytettävissä
- katselmoijilla on riittävä kokemus ja asiantuntemus

Rakennusautomaation käytössä on myös vaaratekijöitä sellaisissa tapauksissa, jossa automaatiojärjestelmä ei toimikaan asianmukaisella tavalla – automaatiojärjestelmän puutteita on joissakin tapauksessa erittäin vaikea havaita. Automaatiojärjestelmän toimivuuden selvittäminen kuuluu laajempiin energiakatselmuksiin, mutta sen puutteellinen toiminta tai virheet ja puutteet asennuksessa voivat vaikuttaa merkittävästikin energiatehokkuuteen. Esimerkiksi joissakin asuinkerrostaloissa on havaittu, että joissakin tapauksissa asennus ei vastaa suunnittelua ja toimintaselostusta ja dokumentaatio on puutteellista.

Suurin ja samalla työläimmin parannettavissa oleva energiansäästöpotentiaali on olemassa olevissa rakennuksissa. Katselmuksen kehittäjä voitaisiin kehittää myös energiatehokkuusmääräysten muuttumisen jälkeen yleistyneen lämpökuvauksen ja tiiviysmittauksen tuloksia kevyellä katselmuksella täydentämällä.

4.1.2 Sähkön kulutusjakauman selvittäminen

Sähkön kulutusjakauman selvittäminen on välttämätöntä silloin, kun halutaan selvittää mihin sähköenergiaa kuluu, mikä on päivittäinen kuormitusjakauma ja tehonvaihtelu ja kun käytettävissä on vain yksi kulutusmittari. Paikallinen sähköntoimittaja voi mitata kulutusta tuntitehoina tavallisimmin viikon ajan. Kulutushuippujen, vaihtelun ja jakauman kannalta tuntikeskiarvo tai tunnin näytteenottoväli on liian harva; näytteenottovälin tulisi olla luokkaa 1 min jos analysoidaan vuorokauden sähkönkulutusta. Tarkempi sähkönkulutuksen mittaus antaa myös mahdollisuuden kulutuksen ohjaukseen ja optimitariffien käyttämiseen.

Jynkänlahden koulussa (A-rakennus) järjestettiin syysloman aikana maanantaina 17.10.2011 sähkönkulutuksen mittaus, jossa lähdettiin liikkeelle peruskuormasta jonka jälkeen lisättiin kuormitusta vaihteittain tunnin välein. Kulutus luettiin mittaritaulusta. Kuormitus ei jakaantunut täysin tunnin jaksoille, koska esimerkiksi valaistuksen ja pistekuormien kytkeminen katkaisijoista kesti useammin minuutin ajan (3 henkilöä oli mukana mittauksissa). koe aloitettiin kello 9:00 ja lopetettiin kello 14:00. Taulukossa 5 on esitetty kokeen tulokset.

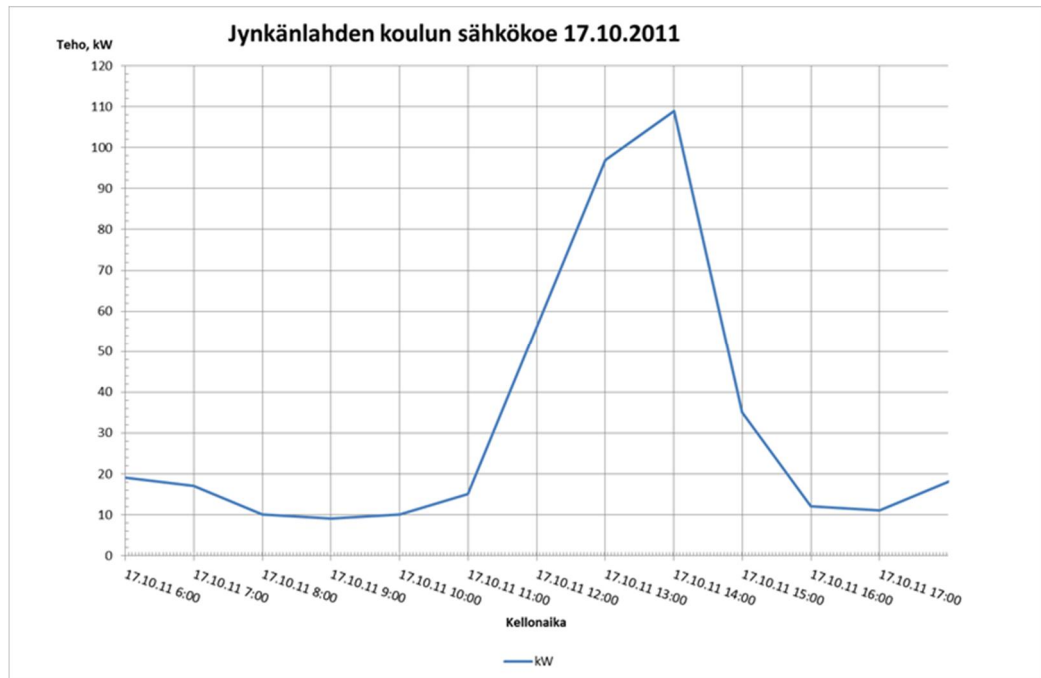
Taulukko 5. Sähkön kulutusmittauskoe

Koe	Teho, kW	Osatehot, kW	%	Kohde, jakso
1.jakso	9,4	9,4	8,7	Tyhjäkäynti ml B-talon ilmanvaihto, keittiökylmiöt ym.
2. jakso	13,6	4,3	3,9	Liikuntahalli
3. jakso	54,4	40,7	37,6	Keittiö+A-talon ilmanvaihto
4. jakso	89,0	34,6	31,9	Valaistus
5.jakso	108,4	19,4	17,9	Pistekuormat
yht.		108,4	100	

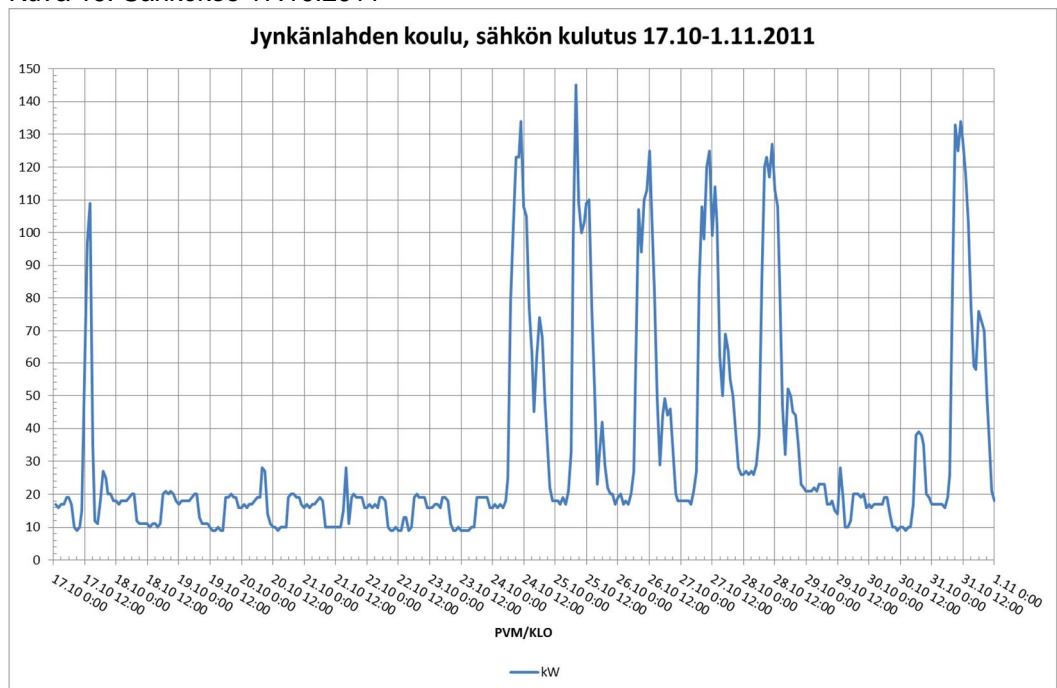
Koe aloitettiin perustilanteessa jolloin kuormituksena oli B-talon perusilmanvaihto sekä keittiökylmiöt. Tunnin kuluttua kytkettiin liikuntahallin ilmanvaihto, siitä tunnin päästä keittiö+A-talon ilmanvaihto, sitten valaistus ja lopuksi pistekuormat, kuten tietokoneet, projektorit, kirjoittimet, AV-laitteet ja muut luokkatiloissa olevat laitteet. Pistekuormaa aiheuttavat laitteet olivat käynnistyksen jälkeisessä perustilassaan. Ulkoalueiden valaistus, lämmityspistokkeet ym. eivät olleet päällä. Energian toimittajan mukaan kokeen aikainen huipputeho oli 109 kW, mittarilta luettuna 108,4 kW. Ero johtuu lukematarkkuudesta, ja kuormitusten käynnistymisen eriaikaisuudesta. Keittiötilojen normaalia kuormitusta tällä kokeella ei pystytty arvioimaan.

Tulosten perusteella keittiön ja A-talon ilmanvaihdon osuus oli kokonaistehosta lähes 40 % ja valaistuksen n. 30 %. Pistekuormat edustivat luokkaa 20 % kokonaistehosta. Tyhjäkäyntiteho näissä olosuhteissa oli n. 9 % maksimitehosta. Sähkäteho mittausten aikana on esitetty kuvassa 19. Kuvassa 20 on esitetty sähkön kulutus syyslomaviikolta (mittauspäivä 17.2 näkyy yksittäisenä kulutuspiikkinä) sekä seuraavalta työviikolta. Kuvassa 21 on esitetty työpäivän 24.10 sähkönkulutus vuorokauden ajalta.

Työviikon keskimääräinen sähkäteho ma-pe välillä oli 50 kW, maksimiteho 145 kW ja minimiteho 10 kW. Lomaviikon keskiteho oli 15 kW, maksimi 28 kW ja minimi 9 kW. Viikonlopun keskiteho oli n. 18 kW, maksimi 39 KW ja minimi 9 kW.

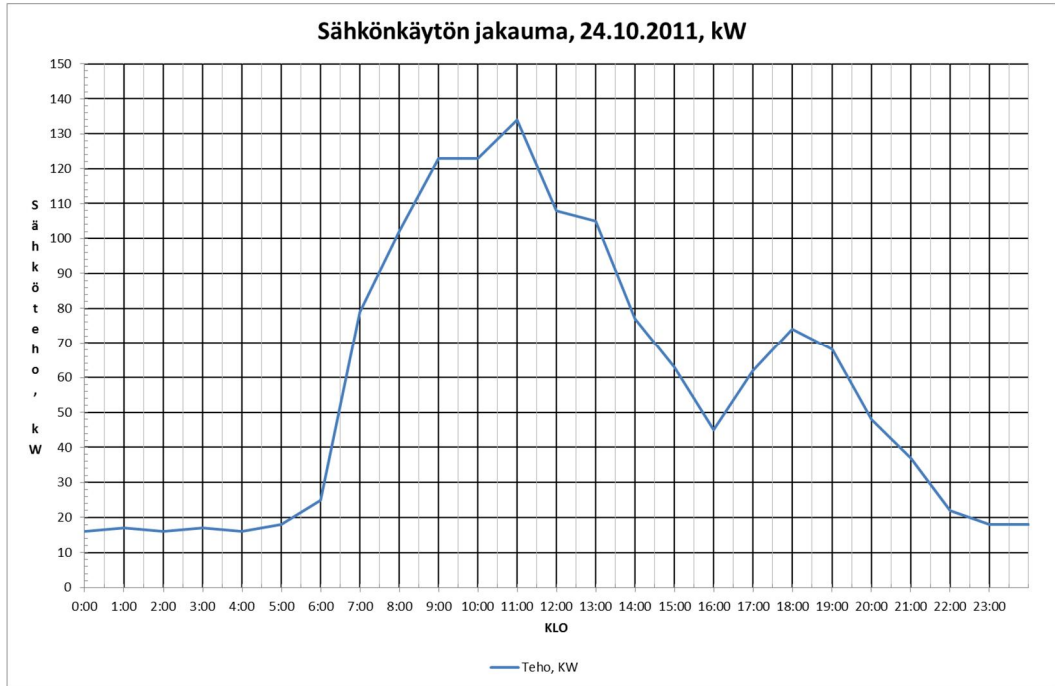


Kuva 19: Sähkökoe 17.10.2011

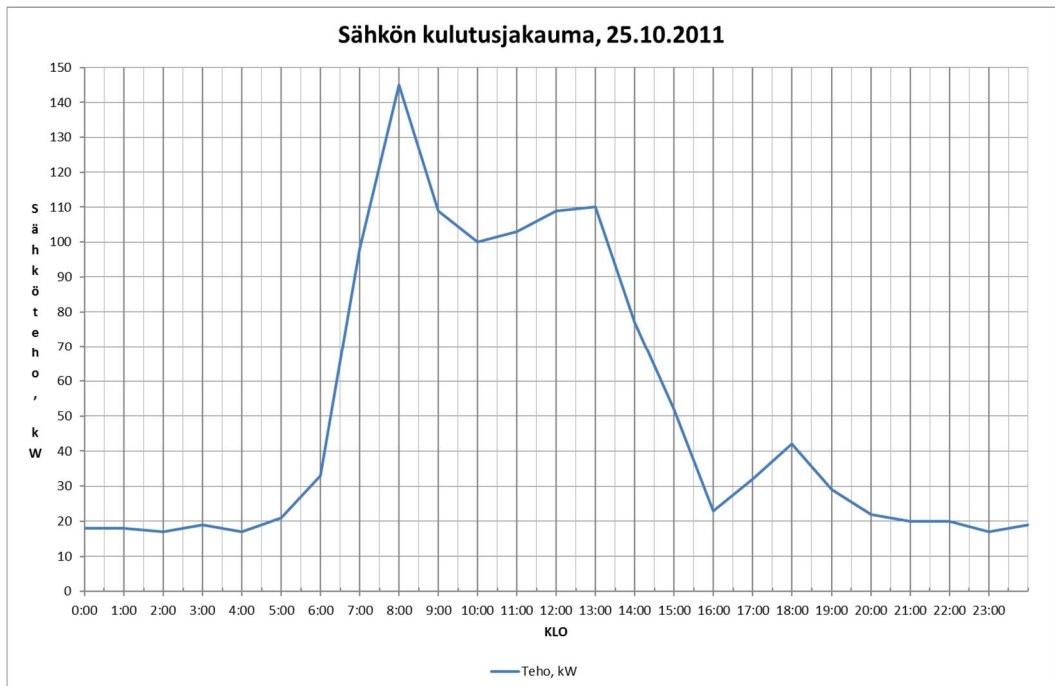


Kuva 20: Sähkönkulutus 17.210-1.11.2011 (loma- ja työviikko).

Kuvassa 19 on esitetty sähkön kulutusjakauma työviikon alussa (ma 24.10). Työviikon aikana voidaan erottaa kaksi – kolme kulutushuippua, ensimmäinen maanantaina n. kello 11 aikaan (todennäköisimmin keittiö) ja toinen koulupäivän jälkeen n. kello 18-19 (iltakäyttö?). Lisäksi maanantaita lukuun ottamatta kulutushuippu n. klo 8 aikaan (kuva 20) , n. klo 13 aikaan (keittiö) ja kello 18 (iltakäyttö).



Kuva 21: Sähkön käyttö 24.10.2011 (maanantai)



Kuva 22: Sähkön käyttö 25.10.2011 (tiistai)

Taulukossa 6 on esitetty työviikon 24.10.-1.11. sähkön kulutuksen keskiarvot, maksimit ja minimi sekä viikonpäivä.

Taulukko 6:

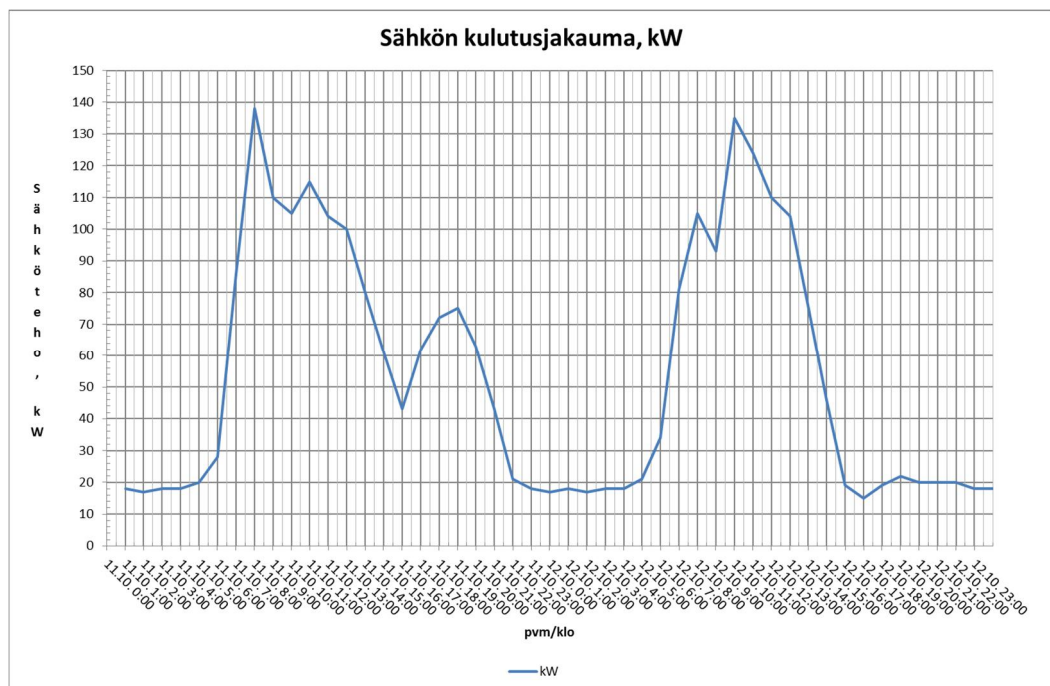
pvm	24.10.	25.10.	26.10.	27.10.	28.10.	29.10.	30.10.	31.10.
vp	ma	ti	ke	to	pe	la	su	ma
KA, kW	57	51	52	58	58	19	18	60
Max, kW	134	145	125	125	127	28	39	134
Min, kW	16	17	17	17	21	10	9	16

Huipputeho on saavutettu yleensä joko kello 12 tai kello 9. Taulukossa 7 on esitetty vastaava sähkönkulutus vuodelta 2010.

Taulukko 7:

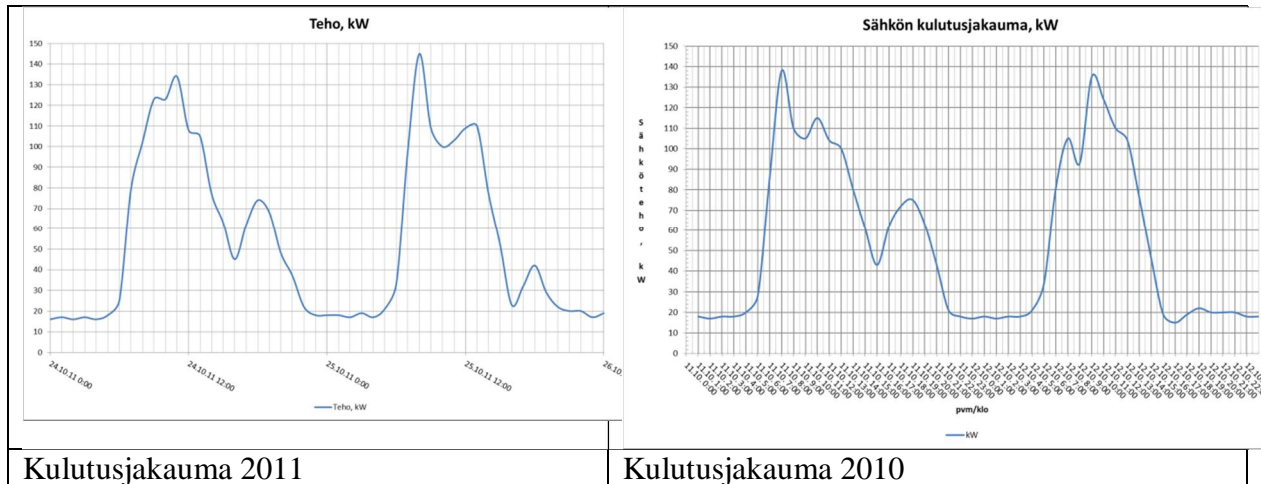
pvm	11.10.	12.10.	18.10.	19.10.
vp	ma	ti	ma	ti
KA, kW	60	48	17	14
Max, kW	138	135	29	17
Min, kW	17	15	10	9

Kuvissa 23 ja 24 on esitetty sähkön kulutusjakauma vastaavalta ajalta 2010.



Kuva 23: Sähkön kulutusjakauma 11-12.10.2010 (työpäivät)

Kuvassa 23B on esitetty vielä kulutusjakauma vuodelta 2010 ja vuodelta 2011 vastaavasta lomanjälkeisestä tilanteesta kahden päivän ajalta. Kulutusprofiili on hyvin samanlainen.



Kulutusjakauma 2011

Kulutusjakauma 2010

Kuva 23B: Kulutusjakauman vertailu 2011-2010.



Kuva 24: Sähkön kulutusjakauma 18-19.10.2010 (lomaviikko)

Työpäivien keskiteho on ollut mitattuina päivinä 51 – 60 kW ja maksimitehot 125-138 kW. Minimitehot ovat olleet työpäivinä 15-21 kW, viikonloppuisin ja lomapäivinä 9-16 kW. Viikonloppujen ja lomapäivien suurimmat tehot ovat vaihdelleet 17-39 kW välillä, todennäköisimmin ilta- tai muusta käytöstä johtuen.

Kuormitus- ja jakaumatestissä saavutettiin huipputeho n. 109 kW, kun taas työpäivinä on saavutettu 15-35 kW suurempi huipputeho, riippuen keittiön käytöstä ja ulkovalaistuksesta sekä B-rakennuksen käyttämästä sähköstä. Ilmanvaihdon kuluttaman sähkön osuus on luokkaa n. 50 kW (1/1 tehot), jolloin mukana ovat keittiön kylmiöiden sähkönkulutus joita ei voitu kokeen aika erottaa ilmanvaihdosta. A-talon valaistus vie n. 30 kW tehon silloin kun luokat ovat käytössä ja pistekuormien osuus on luokkaa 20 kW, koska testien aikana laitteet olivat käynnistetyt mutta eivät aktiivikäytössä. Keittiön, ulkovalaistuksen sekä muun kuormituksen osuus on siten luokkaa 25 – 45 kW, käyttötilanteesta riippuen. Päivän kulutusprofiili on luonnollisestikin suhteellisen jyrkkä, keski kulutus ml yöaika on luokkaa 50 – 60 kW.

Yksittäisen kokeen perusteella saatiin suuntaa antava kuva sähkönkulutuksen jakautumasta pimeänä ja suhteellisen kylmänä vuodenaikana. Mittausvälinä 1 h on liian pitkä, mikäli sähkönkulutusta haluttaisiin analysoida tarkemmin, näyttöväli tulisi olla mielellään 1 min. Vastaavanlainen kulutusjakauman mittaus on mahdollista tehdä keskusvalvomon avustuksella muissakin kohteissa, mikäli se katsotaan tarpeelliseksi. Kokeen suorittamiseen riittää työpäivä ja 2-3 henkilöä, kohteesta riippuen. Ilmanvaihtokojeet käynnistää myös keskusvalvomosta sekä osa valistuksen ohjauksesta voidaan hoitaa kohteen valvomosta.

Sähkön kulutuksen tarkempaan analysointiin ja säästökohteiden kartoittamiseen tarvittaisiin alamittauksia, esimerkiksi nyt mitatussa kohteessa ilmanvaihdon kuluttaman sähkön mittaus, keittolaitteiden sähkön mittaus (nyt sähkötilassa oleva mittari ei jostain syystä toiminut) sekä valaistuksen mittaus. Valaistuksen osuus on luokkaa 30 % huippukulutuksesta, joten valaistuksen ohjauksella, tarkoituksenmukaisella valaistuksella sekä esim. LED-valaisimiin siirtymisellä voidaan valaistuksen sähköenergiankulutusta pienentää. Toinen suuri kuluttaja on ilmanvaihto, joten ilmanvaihdon käyntiaikojen asetuksilla voidaan sähkönkulutusta pienentää (sisäilman laadusta ei kuitenkaan voida tinkiä energiansäästön kustannuksella). Ulkovaletuksiin ja mahdollisiin muihin ulkolämmityskohteisiin ei kokeen aikaan päästy käsiksi. Peruskulutuksen osuudessa on myös mukana valmiustilassa olevien laitteiden stand-by-tehot, joiden osuutta ei voitu tässä kokeessa arvioida. Työviikon aikana koulun sähköenergian kulutus on 55 kW:n keskiteholla 6600 kWh ja viikonlopun aikana n. 960 kWh mittausolosuhteissa, yhteensä luokkaa 7500 kWh. Sähkönkulutus vaihtelee valaistuksesta riippuen, voidaan karkeasti arvioida että lukuvuoden aikana 40 työviikon aikana 10 % sähkönsäästö merkitsisi luokkaa 4000 kWh kulutuksen vähenemistä.

Kaupungin kiinteistöjen sähkönkulutusta toisiinsa vertaamalla (esim. koulut, päiväkodit, hoitoalan rakennukset) päästään käsiksi suurimpiin kuluttajiin, joissa edellä kuvatun kaltainen testi voidaan tehdä, mikäli se katsotaan tarpeelliseksi. Kulutusjakauman analysoinnilla voidaan arvioida järkevästi saavutettavissa olevaa säästöpotentiaalia.

4.2 Tiekartta kuntien rakennuskannan energiatehokkuuden analysointiin ja tehostamiseen – 10 kohdan ohjelma

1. Kiinteistöjen perustiedot ovat hallinnassa

Kiinteistöjen hallinnan ja energiankulutusseurannan kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että kiinteistöjen keskeiset perustiedot ovat ajan tasalla ja tallessa. Markkinoilla on olemassa lukuisia hyviä kiinteistönhallintajärjestelmiä ja taltiointiin soveltuvia perustietolomakkeita.

Erityisesti energiankulutuksen seurannan kannalta tärkeitä perustietoja ovat muun muassa rakennusten laajuustiedot kuten rakennustilavuus, lämmin rakennustilavuus sekä vastaavat pinta-alatiedot.

2. Tiedetään luotettavasti kiinteistöjen ylläpitokustannukset ja kulutukset



Kiinteistöjen taloudellisen hallinnan kannalta on tärkeää tietää ylläpitokustannusten suuruus ja jakautuminen. Tällöin tiedetään myös energiakustannusten osuus kiinteistön koko ylläpitokustannuksista. Kun seuranta on jatkuvaa, tiedetään myös kustannuskehitys ajassa. Kiinteistöjen energian- ja veden kulutuksia kannattaa seurata vähintään kuukauden tarkkuudella. Kun seuranta on riittävän tiheää, mahdollisiin poikkeamiin voidaan reagoida nopeasti. Lämpöenergiankulutusta tulee seurata sääkorjattuna kulutuksena. Sääkorjaus suositellaan tehtäväksi Motivan ohjeiden mukaan.

3. Tiedetään kiinteistöjen kulutus- ja kustannustasot verrattuna vastaaventyypisiin muihin kiinteistöihin

Pelkästään yhden ja saman kiinteistön kustannusten ja kulutusten seuranta ajassa ei vielä kerro juuri mitään siitä, ylläpidetäänkö kiinteistöä taloudellisesti. Lisätietoa asiasta saadaan vertailuaineistojen avulla. Esimerkiksi Motivalla on hyvä rakennustyyppikohtainen vertailuaineisto lämmön, sähkön ja veden kulutusten osalta. Aineistossa kulutukset on esitetty tunnuslukuina rakennustilavuutta kohti rakennustyypeittäin ja luokiteltu rakennusten laajuuden mukaan. KTI Kiinteistötieto Oy tekee kiinteistöjen ylläpitokustannus- ja kulutusvertailuja jatkuvasti. Näihin vertailuihin voi liittyä mukaan korvausta vastaan. Hyvää vertailutietoa kiinteistöjen ylläpitokustannuksista ja kulutuksista löytyy myös Kuntaliitolta ja Rakennustieto Oy:n KH – kortistosta.

4. Kiinteistölle on laadittu energiatodistus

Energiatodistus vaaditaan kaikilta uudisrakennuksilta. Uudisrakennuksille todistuksen antaa pääsuunnittelija. Vuoden 2009 alusta lähtien todistus on vaadittu myös olemassa olevilta kiinteistöiltä silloin, kun kiinteistö tai sen tiloja myydään tai vuokrataan joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. Olemassa oleville rakennuksille energiatodistus voidaan laatia toteutuneen energiankulutuksen perusteella. Lisätietoja energiatodistuksesta on saatavissa ympäristöministeriön verkkosivuilta.

Energiatodistuksen avulla voidaan vertailla rakennusten energiatehokkuutta. Energiatodistuksessa ilmoitetaan se energiamäärä, joka tarvitaan rakennuksen tarkoitustaan vastaavaan käyttöön. Jotta energiatehokkuuden arviointi ja vertaaminen muihin vastaaviin rakennuksiin olisi mahdollista, energiatehokkuuden perusteella kiinteistölle määritellään energialuokka asteikolla A-G. Vähiten energiaa kuluttaa A-luokan kiinteistö, eniten G-luokan kiinteistö. Kiinteistön lämmitysmuoto ei vaikuta rakennuksen saamaan energialuokkaan.

5. Kiinteistöjen tavoitekulutusten laskenta

Kiinteistön energiankulutuksen suuruuteen vaikuttavat hyvin monet eri tekijät. On hyvän kiinteistönpitotavan mukaista, että kiinteistölle on määritetty lämmön, sähkön ja veden tavoitekulutustasot. Tavoitekulutusten laskenta suoritetaan Rakentamismääräyskokoelman osan D3 Rakennusten energiatehokkuus mukaisesti. Laskentaa varten on saatavilla hyviä ohjelmistoja kuten esimerkiksi Lamit Oy:n Energiapremier, jota käyttäen saadaan laadituksi myös

energiatodistus. Laskennan toteuttaminen myös lisää tietämystä kiinteistöjen energiankulutuksen muodostumisesta ja eroja aiheuttavista tekijöistä.

6. Energiatehokkuussopimukset

Energiatehokkuussopimukset (Motiva) ovat eräs keino kohti energiaa säästävää kiinteistöjen ylläpitoa. Useat kiinteistönomistajat – kunnat mukaan lukien – ovat viime vuosien aikana liittyneet energiatehokkuussopimuksiin. Sopimuksilla tähdätään tyypillisesti useiden prosenttien energiansäästöön sopimuksen solmimisen aikaiseen lähtötilanteeseen verrattuna. Käytäntö on osoittanut, että energiatehokkuussopimukset sitouttavat ja ohjaavat kiinteistönomistajia pitkäjänteiseen energiaa säästävään toimintaan.

7. Energiansäästötoimenpiteiden määrittäminen ja vertailu

Tilanteessa, jossa kiinteistön toteutunut kulutus ylittää tavoitekulutuksen, selvitetään syyt poikkeamiin. Selvityksessä voidaan hyödyntää laskentaohjelmistoja (esim. Motiva, Energiapremier jne.), joiden avulla voidaan arvioida eri tekijöiden vaikutuksia energiankulutukseen ja mahdollisen säästöpotentiaalin suuruutta.

8. Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus ja toteutus

Kun energiansäästöpotentiaali on selvitetty, tarkastellaan vaadittavia investointeja ja niiden kannattavuutta. Jotkut energiansäästötoimenpiteet voivat olla puhtaasti käyttöteknisiä ja ne tulisi toteuttaa välittömästi. Investointeja vaativien toimenpiteiden toteuttaminen puolestaan harkitaan tapauskohtaisesti.

Kannattavuustarkastelussa sovelletaan yleisiä investointilaskentamenettelyjä kuten esimerkiksi investoinnin takaisinmaksuajan määrittämistä. Yleisimmistä korjaus- ja perusparannustoimenpiteistä on saatavilla kustannustietoja esimerkiksi Haahtela – kehityksen Talonrakennuksen Kustannustieto - kirjasta.

9. Rakennusautomaation täysimääräinen hyödyntäminen

Rakennusautomaation tehokkaalla hyödyntämisellä voidaan vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen ja sisäilman laatuun. Paljon energiaa kuluttavien laitteiden ja järjestelmien (ilmanvaihto, jäähdytys, valaistus jne.) tarpeenmukaisella ohjauksella voidaan säästää merkittäviä summia vuositasolla. Useat rakennusautomaatiojärjestelmät sisältävät myös korkeatasoisia seuranta- ja raportointiominaisuuksia.

10. Kiinteistöjen teknisen hallinnan kehittäminen

Kiinteistöille tulee laatia huolto- ja kunnossapitosuunnitelmat, joiden mukaan toimitaan. Huollon ja kunnossapidon suunnittelua, toteuttamista ja seurantaan varten on markkinoilta saatavilla eritasoisia ja erihintaisia apuvälineitä ja ohjelmistoja.

Vuonna 2009 Rakennustieto Oy julkaisi Kiinteistöpalveluiden yleiset laatuvaatimukset (KiinteistöRYL 2009). Se on hyvän kiinteistönpitotavan



perusteos, joka sisältää yleiset laatuvaatimukset ja ohjeet kiinteistöjen hoitoon liittyville työtehtäville. Teos on hyödyllinen sekä kiinteistöpalveluiden tilaajille ja tuottajille – ja myös kiinteistön käyttäjille. Teosta voidaan hyödyntää kiinteistöjen teknisen hallinnan kehittämisessä sekä tarjouspyyntöjä laadittaessa, mikäli tarjouksia on tarkoitus arvottaa pelkän hinnan lisäksi myös laatuun liittyvillä tekijöillä.

4.3 Rakennusautomaation instrumentointi- ja raportointimalli

4.3.1 Johdanto

Suomen Automaatioseuran mukaan rakennusautomaatiojärjestelmä on työkalu, jolla vaikutetaan rakennusten sisäilmastoon ja valaistukseen sekä laajasti tulkiten myös rakennusten turvallisuuteen. Rakennusautomaatiolla ohjataan rakennuksen teknisiä laitteita ja pyritään minimoimaan energiankulutus, laitteiden kuluminen, melu ja muut laitteiden käytöstä aiheutuvat haitat.

Sähköisen talotekniikan lehtori Veijo Piikkilä (TAMK) on osuvasti todennut, että rakennusautomaatiota voidaan verrata talon sieluun – tai konkreettisemmin aivoihin, jotka ohjaavat, säätävät ja valvovat kaikkia toimintoja. Erilaiset anturit ja tunnistimet ovat taas tuntoelimiä, jotka hälyttävät. Tämä pitää käytännössä paikkansa vain jos ohjaus, säätö ja valvonta toimivat todella asianmukaisesti ja tuntoelimet mittaavat oikeita asioita oikealla tavalla ja välittävät tuloksen siten että mittausviesti ei vääristy. Esimerkkinä ilmanvaihtokojeen suodattimen paine-eromittaus, joka yhteen ollessa tukossa näyttää väärin ja jos vielä mittausviestin muunnoksessa on vikaa, suodattimen vaihdon tarpeellisuus ei välttämättä näy valvomossa. Toisen tyyppiesimerkkinä on väärin asennettu paine-eroon perustuva ilman virtausmittaus (häiriöetäisyyksiä ei ole huomioitu koska ei ole riittävän pitkiä suoria kanavanoja).

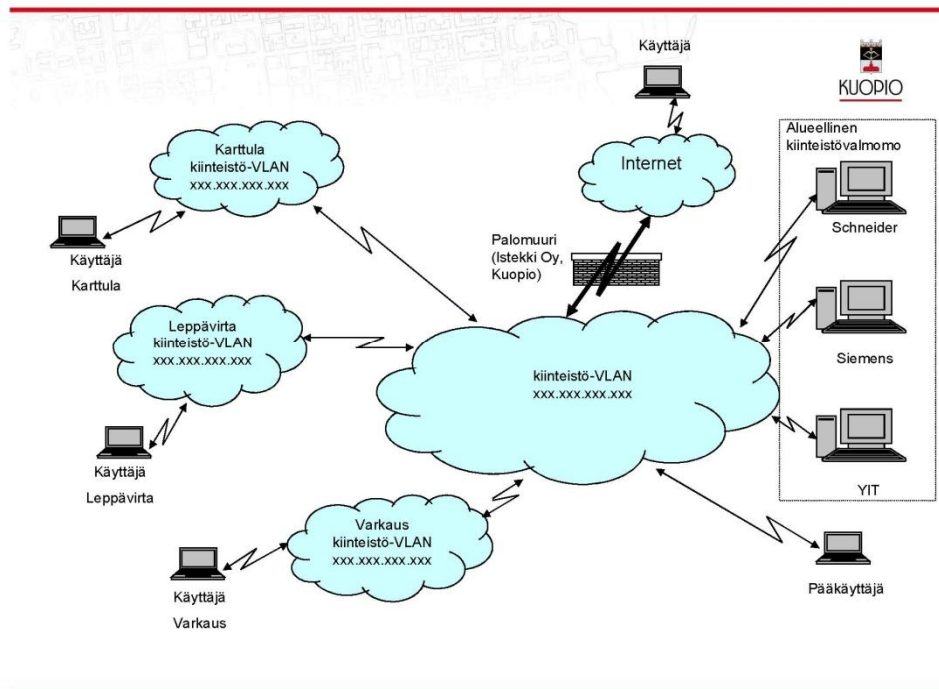
EU:n rakennusten energiatehokkuutta parantava direktiivi on tullut voimaan, joka aiheuttanut muutoksia Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa. Rakennusautomaation merkitys energiatehokkuuteen vaikuttavana tekijänä on monestakin eri syystä kasvamassa; rakennusten energiakulutus on >40 % koko maan energiankulutuksesta ja 30 % kasvihuonepäästöistä. Rakennusautomaatiolla voidaan tätä kuormitusta keventää, samalla kun normiohjaus avaa rakennusautomaatiolle uusia mahdollisuuksia.

Tärkeä kehitysaskel ovat eurooppalaiset standardit kuten, SFS-EN15232 (Rakennusten energiatehokkuus. Rakennusautomaation, säädön ja kiinteistönhoidon vaikutus energiatehokkuuteen) sekä muutamat käyttöön liittyvät standardit, kuten esimerkiksi SFS-EN 15239 (Rakennusten ilmanvaihto. Rakennusten energiatehokkuus. Ilmanvaihtojärjestelmien tarkastusohjeet) ja SFS-EN 15240 (Rakennusten ilmanvaihto. Rakennusten energiatehokkuus. Ilmastointijärjestelmien määräaikaistarkastusohjeet). Standardissa SFS-EN15232 määritellään rakennusautomaatio- ja energiatehokkuusluokitukset. Talotekniikka-RYL (Rakentamisen yleiset laatuvaatimukset) sisältää rakennusautomaatiojärjestelmien laatuvaatimukset, jotka tulisi olla täytetty kun järjestelmä otetaan käyttöön, muutamien esimerkkitapauksien perusteella näin ei ole aina toimittu.

Kansainväliset sijoittajat ja myös rakennusyhtiöt ovat entistä enemmän ryhtyneet käyttämään uusissa rakennuksissa kansainvälisiä ympäristöluokituksia, esimerkkinä yhdysvaltalaispohjaista LEED-sertifiointia (USA) tai brittiläispohjaista BREEAMia. Lisäksi Saksassa on kehitetty oma luokitusmenetelmä. LEED ja BREEAM eivät täysin sovellu Suomen

olosuhteisiin, mutta käytännössä niitä käytetään. Rakennusautomaatio ja sen suoritustaso parantaa luokitusta.

ENEFIR-projektiin osallistuneissa kunnissa rakennusautomaation käyttö ja sovellutukset ovat eritasoisia. Kuopiossa julkinen rakennuskanta on kytketty Seutuvalvomojärjestelmään (kuva 25). Pieksämäen julkisen rakennuskannan tiedot on koottu Ryhti™-kiinteistönhallintajärjestelmään, joka päivitettiin projektin aikana. Rautavaaralla osassa julkisissa rakennuksissa on eri valmistajien automaatiojärjestelmiä, mutta rakennuskannan tietoja ei ole vielä syötetty mihinkään seuranta- tai monitorointijärjestelmään.



Kuva 25: Kuopion seutuvalvomon periaate

Seuraavassa taulukossa (taulukko 8) on esitetty yleisiä kiinteistön ylläpitoon liittyviä rakennuksen toimivuuteen ja energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä, joista energiatehokkuutta suoraan koskevia tekijöitä voidaan mahdollisuuksien mukaan rakennusautomaatiolla ja kiinteistönhallintajärjestelmällä voidaan seurata (EcoProp).

Taulukko 8: Rakennuksen toimivuuteen vaikuttavia keskeisiä tunnuslukuja

Mittari	Kuvaus	Reaaliaikai - nen mittaus (BAS)	Jaksollinen mittaus (käsi / automaattinen)
Talousmittarit			
Liiketoimintakulut	Toimitilakustannusten osuus toiminnan kokonaiskustannuksista		X
Käytettävyys- ja kustannusmittarit (tilan käyttöä ja tilan käytön tehokkuutta kuvaavat mittarit)			
Käyttäjäkustannus (pinta-ala)	Käyttäjäkustannus/nettoala		X
Käyttäjäkustannus (kustannus)	Käyttökustannus/henkilö (kokaikaiseksi muutettuna)		X
Tila/käyttäjä	Nettoala/hlö		X
Ylläpitokulut (pinta-ala)	Kiinteistön ylläpitokulut/m ²		X
Energiakulut (pinta-ala)	Kiinteistön kokonaisenergiakustannus/m ²		X
Energiakulut pääluvun mukaan	Kiinteistön kokonaisenergiankustannus/hlö, käyttäjä		X
Energian kulutus (pinta-ala)	Kiinteistön kokonaisenergiankulutus/m ²		X
Energian kulutus käyttäjien mukaan	Kiinteistön kokonaisenergiankulutus/hlö, käyttäjä		X
Vesikustannukset/pinta-ala	Kiinteistön vedenkäyttökulut/m ²		X
Vesikustannukset/käyttäjät	Kiinteistön vedenkäyttökulut/hlö, käyttäjä		X
Vedenkulutus/pinta-ala	Kiinteistön vedenkulutus/m ²		X
Veden kulutus pääluvun mukaan	Veden kulutus/käyttäjä, hlö		X
Siiyouskustannukset (pinta-ala)	Siiyouskustannukset/m ²		X
Turvallisuuskustannukset (pinta-ala)	Turvallisuus- ja vartiointikustannukset/m ²		X
Asiakastyytyväisyys			
Sisäilman laatu	Hiilidioksidi- (CO ₂)tasot (ppm)	X	X
Puhtaus	Asiakkaan/käyttäjän arviointi		X
Sisälämpötila	Mittaukset, lämpötilat ° C	X	(X)
Valaistustaso	Asiakkaan/käyttäjän arviointi/mittaus, lx	(X)	X
Äänitaso	Asiakkaan/käyttäjän arviointi/mittaus dB(A)	(X)	X

Muuntojousto			
ei mittaristoa	käyttömuutosten mahdollisuus		(X)
mittaristo	joustava työntekomahdollisuus (toimisto- ja asuinrakennukset)		(X)
Asiakaslähtöisyys			
mittaristo	sosiaalinen/yhteiskunnallinen lisäarvo; vaatimusten ja toiveiden yhteensovittaminen		
ei mittaristoa	yksikkökoko/hyvä palvelutaso		
Elinkaarikustannukset			
Investointikustannukset			X
Käyttökustannukset			X
Korjaus- ja uusimiskustannukset			X
Purkukustannukset			X
Rakennusprosessi			
Laatustandardit ja -sertifikaatit			X

4.3.2 Keskeiset toiminnot ja toimivuustekijät

Taulukossa 9 (SFS-EN 15232, liite 1, Ilmanvaihdon säätö) on esitetty BACSin (Rakennusautomaatio- ja säätöjärjestelmien) rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavat toiminnot ilmanvaihtojärjestelmien osalta.

Ne on jaettu kolmeen ryhmään: automaattiset säätötoiminnot, kotiautomaatiojärjestelmä-/rakennusautomaatio ja säätöjärjestelmä sekä toiminnot kodin ja rakennuksen talotekniikan hallintaan. Neljä erilaista BAC (rakennusautomaatio ja -säätö) -toimintojen tehokkuusluokkaa (A, B, C, D) on määritelty joko asuinrakennuksille tai muille kuin rakennuksille.

- Luokka D vastaa energiatehotonta BAC-järjestelmää. Tällaisilla järjestelmillä varustettu rakennus tulee korjata. Uusia rakennuksia ei tule varustaa tällaisilla järjestelmillä.
- Luokka C vastaa tavanomaista BAC-järjestelmää.
- Luokka B vastaa kehittyneempää BAC-järjestelmää varustettuna muutamilla erityisillä TBM (tekninen kiinteistöhallinta)-toiminnoilla.
- Luokka A vastaa erittäin energiatehokasta BAC-järjestelmää varustettuna TBM-toiminnoilla.
- Nämä taulukot määrittelevät toimintoluettelon jokaista tasoa vastaavasti.

- Esimerkkinä luokan A vaatimuksista on tekninen kiinteistönhallintatoiminto sekä muutamia erityisiä taulukossa 1 määriteltyjä toimintoja tulee olla käytössä lisänä luokan B vaatimuksille. Huonesäätimien tulee pystyä tarpeenmukaiseen lämmityksen, ilmanvaihdon ja ilmastoinnin säätöön (esim. läsnäolotunnistimella varustettu mukautuva asetusarvo, ilmanlaatu jne.), mukaan lukien yhdistetyt lisätoiminnot jotka ottavat huomioon lämmityksen, ilmanvaihdon ja ilmastoinnin sekä muiden taloteknisten toimintojen (esim. sähkö, valaistus, aurinkovarjostus jne.) monitieteelliset riippuvuussuhteet.
- Vastaavat luokitukset ovat esitetty muille talotekniikan automaatiotoiminnoille

Taulukko 9: Rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavat toiminnot. Ilmanvaihdon ja ilmastoinnin säätö.

Taulukko 1 (jatkuu)

		Luokkien määrittely							
		Asuinrakennus				Muu kuin asuinrakennus			
		D	C	B	A	D	C	B	A
ILMANVAIHDON JA ILMASTOINNIN SÄÄTÖ									
Huoneen ilmvirran säätö									
0	Ei säätöä								
1	Manuaalinen säätö								
2	Aikasaätö								
3	Läsnäolosäätö								
4	Tarpeenmukainen säätö								
Ilmakäsittelykoneen ilmvirran säätö									
0	Ei säätöä								
1	Paalla/pois aikasaätö								
2	Automaattinen virtauksen tai paineen säätö paineen palautuksella tai ilman								
Lämmönsiirtimen sulatuksen säätö									
0	Ilman sulatuksen säätöä								
1	Sulatuksen säädöllä								
Lämmönsiirtimen ylikäynnistyksen säätö									
0	Ilman ylikäynnistys								
1	Ylikäynnistys								
Koneellinen vapaajaähdytys									
0	Ei säätöä								
1	Yöjäähdytys								
2	Vapajaähdytys								
3	H,x-ohjattu säätö								
Tuloilman lämpötilan säätö									
0	Ei säätöä								
1	Vakio asetusarvo								
2	Muuttuva ulkolämpötilan mukaan kompensoitu asetusarvo								
3	Muuttuva kuorman mukaan kompensoitu asetusarvo								
Kosteuden säätö									
0	Ei säätöä								
1	Tuloilman kosteuden rajoitus								
2	Tuloilman kosteuden säätö								
3	Huone- tai jäteilman kosteuden säätö								

Taulukossa 10 on esitetty vastaavat toiminnot lämmityksen säädön osalta. Standardista on vastaavanlaiset taulukot jäähdytyksen ja valaistuksen säädölle.

Taulukko 10: Automaattinen säätö ja lämmityksen säätö.

Taulukko 1 Toimintoluettelo ja BAC-tehokkuusluokat

		Luokkien määrittely							
		Asuinrakennus				Muu kuin asuinrakennus			
		D	C	B	A	D	C	B	A
AUTOMAATTINEN SÄÄTÖ									
LÄMMITYKSEN SÄÄTÖ									
Lämmönluovutuksen säätö									
	<i>Säätöjärjestelmä on asennettu lämmönluovuttimeen tai huoneeseen, tapauksessa 1 järjestelmä voi säätää useita huoneita</i>								
0	Ei automaattista säätöä								
1	Automaattinen keskussäätö								
2	Yksittäisen huoneen automaattinen säätö termostaattiventtiileillä tai sähköisellä säätimellä								
3	Yksittäisen huoneen säätö ja tiedonsiirto säätimien ja BAC-järjestelmän välillä								
4	Yhdistetty yksittäisen huoneen tarpeenmukainen säätö (läsnäolo, ilmanlaatu, jne.)								
Lämpimän käyttöveden jakeluverkoston lämpötilan säätö (meno tai paluu)									
	<i>Samanlaisia toimintoja voidaan käyttää suoran sähkölämmityksen verkkojen säätöön</i>								
0	Ei automaattista säätöä								
1	Ulkolämpötilan mukaan kompensoitu säätö								
2	Sisälämpötilasäätö								
Kiertopumppujen säätö									
	<i>Säädettävät pumput voidaan asentaa eri tasoille verkostossa</i>								
0	Ei säätöä								
1	Paalle / Pois säätö								
2	Pumpun pyörimisnopeussäätö vakio paine-erolla Δp								
3	Pumpun pyörimisnopeussäätö suhteellisella paine-erolla Δp								
Lämmönluovutuksen ja/tai jakelun jaksoittainen säätö									
	<i>Yksi säädin voi säätää useita huoneita/ryöhykkeitä, joissa on sama läsnäolotyyppi</i>								
0	Ei automaattista säätöä								
1	Automaattinen säätö jatkuvalla aikaohjelmalla								
2	Automaattinen optimi käynnistys/pysäytys-säätö								
Tuottolaitteen säätö									
0	Vakio lämpötila								
1	Muuttuva ulkolämpötilasta riippuva lämpötila								
2	Kuormituksesta riippuva muuttuva lämpötila								
Eri tuottolaitteiden käyttöjärjestys									
0	Järjestys ainoastaan kuormien perusteella								
1	Järjestys kuormien ja tuottotehojen mukaan								
2	Järjestys tuottotehon mukaan (tarkista muista standardeista)								

Keskeiset toimivuustekijät ovat niitä tunnuslukuja, jotka vaikuttavat, kuvaavat tai joilla on merkitystä rakennusten energiatehokkuutta määritettäessä. Omistajan tavoitteista riippuu, minkälainen paino ja merkitys energiatehokkuudelle asetetaan. Esimerkiksi hotelli- ja majoitusrakennuksissa siivous on suurin kiinteistöhallinnan menoerä. Lämmitys- ja sähköenergiakustannusten taso voi olla samaa luokkaa kuin muut kiinteistönhoitokulut., esimerkkinä kylpylä- ja kuntoutuskeskukset.

Omistajan on siis määritettävä energiatehokkuuteen liittyvät tavoitteet, ja rakennuksen mittaroinnilla, tietojen keräämisellä ja raportoinnilla on pystyttävä varmentamaan tavoitetasojen toteutuminen. Käytettävissä on useamman eri toimijan kiinteistön- ja energiahallintajärjestelmiä ja raportointipohjia, kuten RAUInfo, Ryhti, Promain-palvelut, Kulu (VTT) ym.

On määritettävä keskeiset toimivuuden tunnusluvut (KPI=Key Performance Indicators). Rakennuksen energiankulutus määräytyy pääosin jo hankesuunnittelu/suunnitteluvaiheessa, joten rakennusautomaation sensoreiden, mittaroinnin ja raportoinnin suunnittelu sekä energiatehokkuuteen vaikuttavien rakennedetaljien ja taloteknisten järjestelmien kehittäminen on toteutettava riittävän ajoissa. Peruskorjaustapauksissa hyvin harvoin korjauksen syynä on energiansäästö ja energiatehokkuuden parantaminen, vaan korjaukset johtuvat käyttötarkoituksen muutoksesta ja/tai rakenteellisista korjauksista joiden yhteydessä voidaan energiatehokkuuttakin parantaa.

Käytetty keskeisten toimivuustekijöiden mittaristo voidaan jakaa toimivuusmittareihin (suoraan mitattavissa oleviin tekijöihin, kuten esimerkiksi energian kulutus/kustannus/pinta-ala ja toimivuustekijöihin (esimerkiksi tilankäyttö/pinta-ala). Asiakas- tai käyttäjätyytyväisyyden pitäisi olla myös mitattavissa oleva tärkeä tekijä. Yleensä sitä mitataan käyttäjäkyselyillä tai palautteella, esim. huoltokirjaan. Asiakas- ja käyttäjätyytyväisyys riippuu teknisten tekijöiden lisäksi (jotka ovat useiden osatekijöiden summa) myös monista ei-teknisistä tekijöistä.

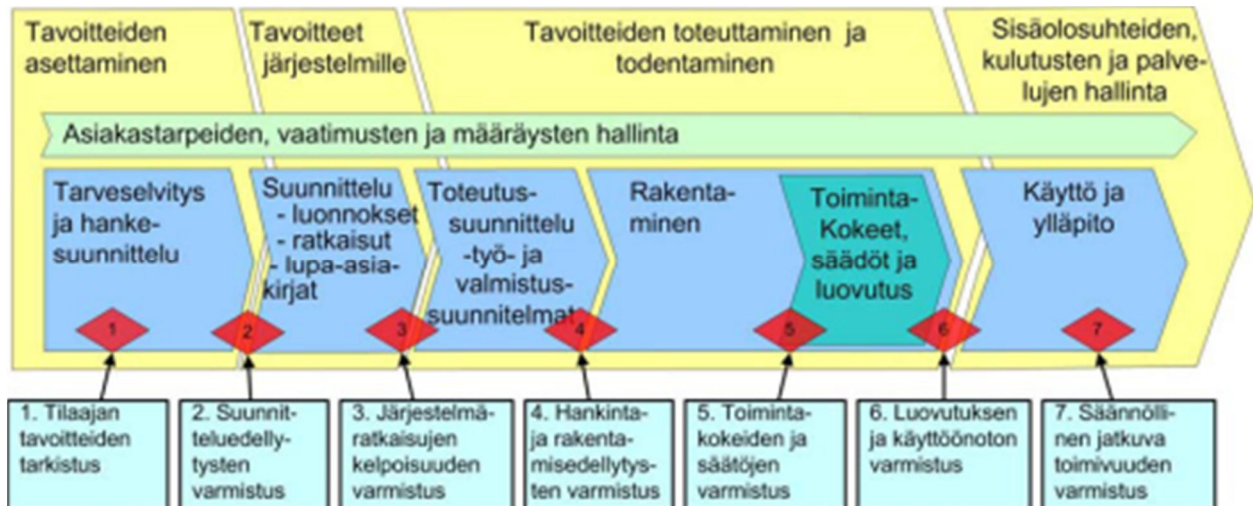
Useimmissa tapauksissa rakennuksen ja sen järjestelmien puutteellisen toiminnan selvittäminen vaatii erillisiä mittauksia. Ideaalitilanteessa olemassa oleva instrumentointi, rakennusautomaatiojärjestelmä ja kiinteistöhallintajärjestelmä voi raportoida kiinteistöstä ja energianhallinnasta vastaavalle rakennuksen senhetkisen tilan sekä vertailun historiatietoihin sekä muihin vastaaviin rakennuksiin.

Yleisesti käytetyt rakennuksen toimivuusmittarit ja -indikaattorit ovat:

- mittaristo joka ottaa huomioon käyttäjä- ja tilakustannukset
 - ylläpito- ja energiakustannukset
 - energian ja veden kulutus
 - asiakas/käyttäjätyytyväisyysmittarit
 - sisäilman laatu, lämpöviihtyvyys ja terveellisyys, puhtaus, valaistustasot

Sisäolosuhteilla on suuri vaikutus tuottavuuteen. Ongelmana on kuitenkin tuottavuuden luotettava mittaaminen. Jos energiansäästötoimilla heikennetään sisäolosuhteita, voivat saavutetut säästöt jäädä tuottavuuden alenemisesta aiheutuneita kustannuksia merkittävästi pienemmäksi. Kun sisäolosuhteet heikkenevät, sairauspoissaolot saattavat kasvaa ja henkilöstö/käyttäjät saattavat pahimmissa tapauksissa saada monentyppisiä oireita.

Keskeisten toimivuustavoitteiden saavuttaminen edellyttää toimivuudenvarmistusprosessia (ToVa), jossa rakentamis- tai korjausvaiheen aikana varmistetaan, että asetetut toimivuustavoitteet saavutetaan (kuva 26).



Kuva 26: Toimivuuden varmistus rakentamisprosessin aikana

4.3.3 Instrumentoinnissa ja raportoinnissa huomioon otettavat asiat

- Lämmönkulutus: Päämittauksen lisäksi alamittaroinnilla (mikäli tarpeen) erotetaan patteriverkoston, ilmanvaihtoverkoston sekä lämpimän käyttöveden kulutus
- Jäähdytys: Ilmanvaihtokojeet, jäähdytysteho sähkön alamittausten kautta
- Sähkönkulutus: Alamittaukset ovat tärkeitä – valaistus, jäähdytys, ulkolämmitysmaat ja vastaavat lämmitykset, iv-koneet + prosessit (jos merkittäviä kulutuskohteita on), esimerkkinä suurkeittiöt/valmistuskeittiöt, pesulat, vedenkäsittely uimahalleissa tai kiinteistössä ulkopuoliset toimijat.
- Veden kulutus
- Sisäolosuhteet ja ilman laadun mittaukset (hiilidioksidi, muut pitoisuudet ja suhteellinen kosteus tarvittaessa, sisälämpötilat)
- ilmanvaihdon lämmön talteenoton (LTO): hyötysuhde (tärkeä)
- ilmamäärän laskentaohje (paine-ero/kerroin), ilmanvaihdon pääilmavirrat ja lämpötilat
- mahdollisuus myös erillisiin kanavamittauksiin (standardoidut mittaelimet, kuten mittasiipi, annubaari ym. tai ainakin mittausyhteet)

Mittaustaajuus (pitäisi olla valittavissa), perusmittausväli voi sisäolosuhteiden osalta olla joko hetkellinen tai keskiarvoistava, jos näytteenotto on riittävän tiheä. Säätöjen tarkistamiseksi mittausväli on lyhyempi, 1s – 60 s.

Sähkö: 1 h jakso on liian pitkä, jopa 15 min jakso on liian pitkä huipputehojen analysoimiseksi, tarvitaan 1 min näytteenottoväli tietyillä jaksoilla haluttaessa

Olemassa olevat mittaukset ja anturit on pidettävä kunnossa ja merkattava tunnistamisen vuoksi. Anturit on säännöllisesti kalibroitava ja varmistettava että antureiden asennus on asianmukaisesti toteutettu, esimerkkinä ilmamäärien mittaaminen. Langattomat sensorit ovat nykyään yleistymässä. Viestien oikeellisuus ja lähettimien virittäminen on tarkistettava. Lisäksi esimerkiksi ilmanvaihtokoneella tulee olla myös paikalliset osoittavat mittarit.

Edellä esitetyt asiat ja toimenpiteet ovat osa ToVa (Toimivuuden varmistus)-ohjausta.

4.3.3.1 Käyttöliittymä ja sen käytettävyys

VTT:n tutkimusten ja havaintojen (Sami Karjalainen) mukaan eräs keskeinen rakennusautomaatiojärjestelmiin liittyvä kehitystarve koskee käyttöliittymiä. Korkeatasoiset rakennusautomaatiojärjestelmät mahdollistavat suuren määrän erilaisia etuja ja hyötyjä, mutta usein nämä potentiaaliset hyödyt jäävät realisoitumatta, koska käyttäjät eivät ymmärrä järjestelmiä tai kokevat ne hankaliksi käyttää. Rakennusautomaatiojärjestelmät ovat laajoja, mutta varsin usein niiden ominaisuudet ovat käytössä vain rajatusti. Monet järjestelmien käyttäjät hyödyntävät työssään vain pientä osaa valvomo-ohjelmistojen ominaisuuksista. Yleisimpiä syitä järjestelmien rajoitettuun hyödyntämiseen ovat:

- Jos toimintojen käyttäminen on vaivalloista, ei niitä käytetä, ellei ole aivan pakko.
- Opastuksen puute tai osaaminen rajoittaa käyttöä; pelko siitä, että käyttäjä voi aiheuttaa vahinkoa tekemällä jotain väärin.

Käytettävyys on tärkeä avainsana myös rakennusautomaatiojärjestelmästä saatavan informaation raportoinnissa. Keskeisiä kysymyksiä ovat:

- Kuinka selkeitä grafiikkakuvat ovat?
- Kuinka havainnollisia symbolit ovat, onko käytetty yleisesti käytössä olevia symboleita, vai joutuuko käyttäjä opettelemaan uusien symbolien merkityksen?
- Onko heti selvää, mitä tietynlaiset viivat tarkoittavat?
- Entä tietyt värit?
- Onko hankalaa terminologiaa?
- Onko liikaa erillisiä elementtejä eli näyttääkö sekavalta vai onko kokonaisuus helposti hahmotettava?
- Onko helposti ymmärrettävää, että mitkä ovat asetusarvoja ja mitkä mitta-arvoja?
- Selviääkö käyttäjälle helposti, että minkä arvojen muuttamiseen omat oikeudet riittävät?
- Onko selkeää kuvaa koko järjestelmästä, esim. iv-koneista ja niiden vaikutusalueista? Onko helppoa siirtyä iv-koneesta toiseen?
- Onko aikaohjelman tekeminen helppoa? Onko selkeää minkä koneen/koneiden käyttöön aikaohjelma vaikuttaa?
- Onko käyttöliittymä sisäisesti yhdenmukainen? Onko käyttöliittymä yhdenmukainen saman valmistajan eri kohteissa? Kuinka yhdenmukainen käyttöliittymä on muiden valmistajien kanssa?
- Jos käyttöliittymä toimii Windowsissa, niin noudattaako se samoja yleisiä periaatteita kuin muut Windows-ohjelmat?
- Millainen ohjeistus on? Onko siitä todellisessa käytössä oikeasti apua eli löytyykö sieltä helposti olennainen tieto?
- Tapahtuuko valvomo-ohjelmiston käytössä paljon virheitä? Kuinka vakavia virheiden seuraukset ovat? Tuleeko käyttöliittymän virheellisen käytön johdosta turhia hälytyksiä?

Rakennus on yleensä varsin monimutkainen laitos monine erillisine järjestelmineen. Nykytekniikalla mittaustietoa saadaan helposti kerättyä. Haaste onkin siinä, että osataan valita oleelliset seurattavat tekijät ja kuinka niistä saadut tiedot jalostetaan mahdollisimman hyödylliseen, havainnolliseen ja helposti ymmärrettävään muotoon.

4.3.4 Mittaustulosten käsittely ja tulkinta

Rakennusautomaatiojärjestelmä ja sen ohella olevakiinteistönhallintajärjestelmä eivät ole aina kytketty toimimaan yhdessä. Rakennusautomaatiojärjestelmä hoitaa talotekniikan ja kiinteistönhallintajärjestelmä sisältää yleensä perustiedot ja huoltokirjan

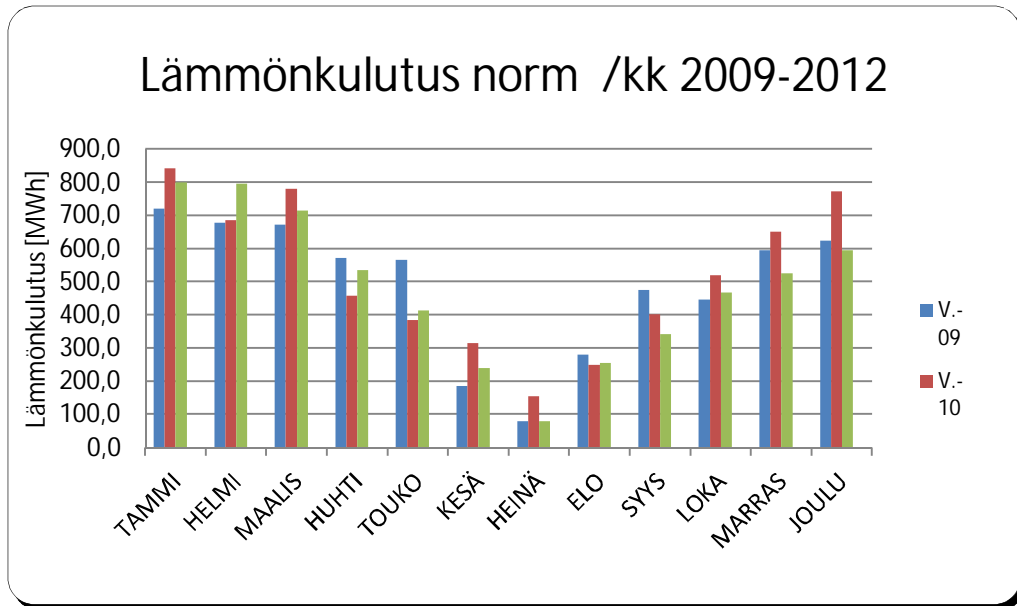
Kiinteistönhallintajärjestelmän ja rakennusautomaatiojärjestelmän tulee tuottaa sellaista tietoa että ylläpidosta vastaava ja/tai kiinteistöstä vastaava henkilö tai käyttäjä(t) saavat mahdollisimman selkokielisesti omien tarpeittensa mukaista käsiteltyä tietoa, vertailukohteena esimerkiksi teollisuuden tuotantoyksikön käyttöraportit. Jäljempänä on esimerkki erään uimahallin raporteista (kuvat 27 - 30).

Halutut suureet tulee myös olla trendiseurannassa, jolloin voidaan havaita pitkän jakson muutokset sekä säätöjen toimivuus. Raportoinnissa tulisi myös olla nykyhetken tietojen vertailu asetettuihin tavoitearvoihin sekä aikasarjat. Kulutustietoja tulisi myös verrata muihin vastaavantyyppisiin rakennuksiin (tasotestivertailu, benchmarking), jolloin voidaan osoittaa ne rakennukset joiden kulutus poikkeaa vertailurakennusten keskiarvokulutuksesta.

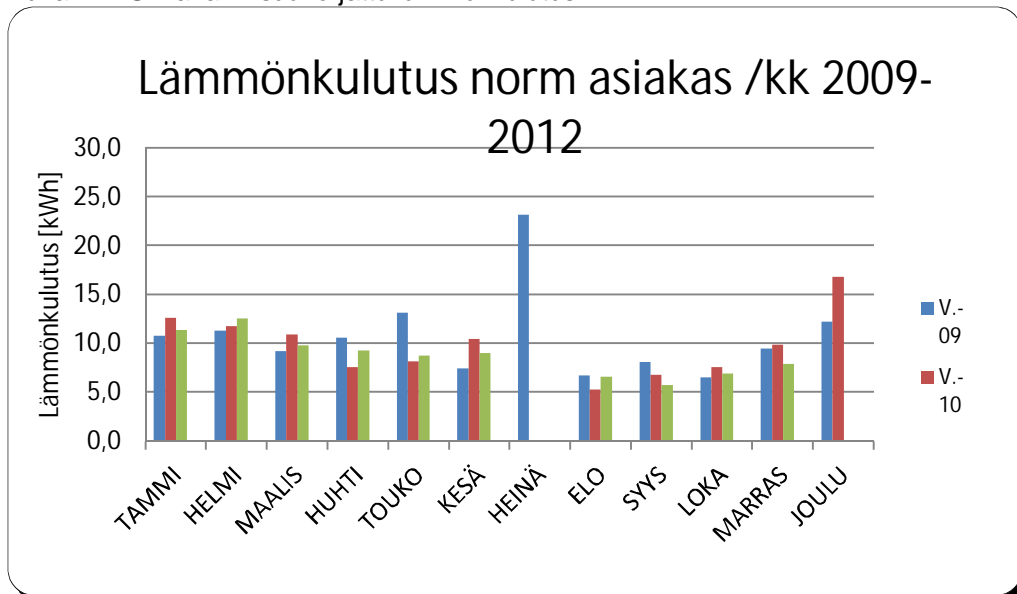
Kulutustietoja tulee voida verrata myös tavoitearvoihin. Laskennallisia tavoitearvoja voidaan tuottaa esim. IDA ICE, Riuska™, Energiapremier- tai muilla vastaavilla ohjelmistoilla.

Raportoinnin laajuus, kohteet ja taso riippuu myös siitä kenelle raporteja tulostetaan ja kuka niitä käyttää.

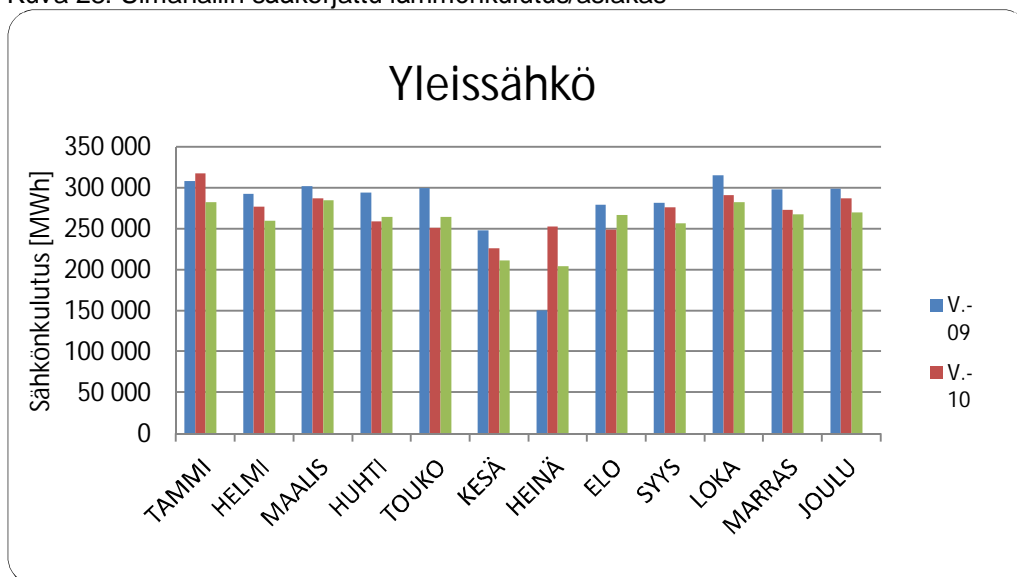
Kuvat 27 – 30: Esimerkkejä erään uimahallin käytössä olevista raportoinneista ja tulostuksista



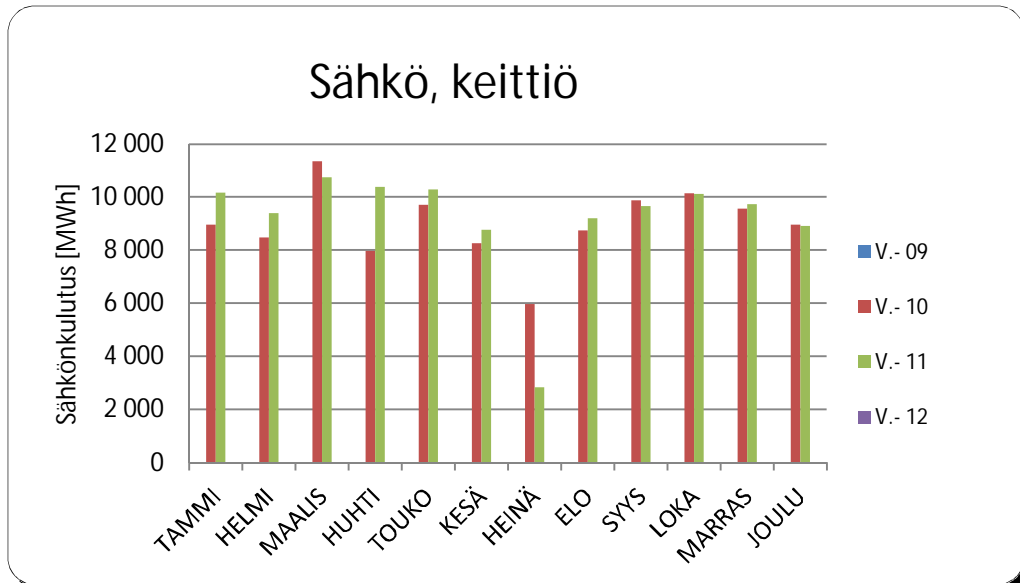
Kuva 27.: Uimahallin sääkorjattu lämmönkulutus



Kuva 28: Uimahallin sääkorjattu lämmönkulutus/asiakas

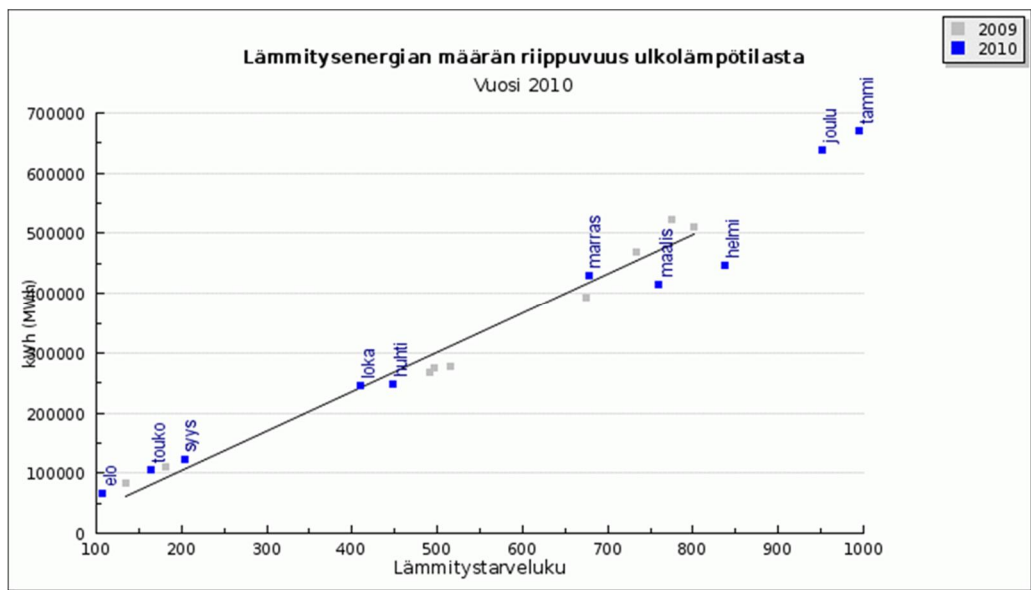


Kuva 29: Uimahallin yleissähkön kulutus

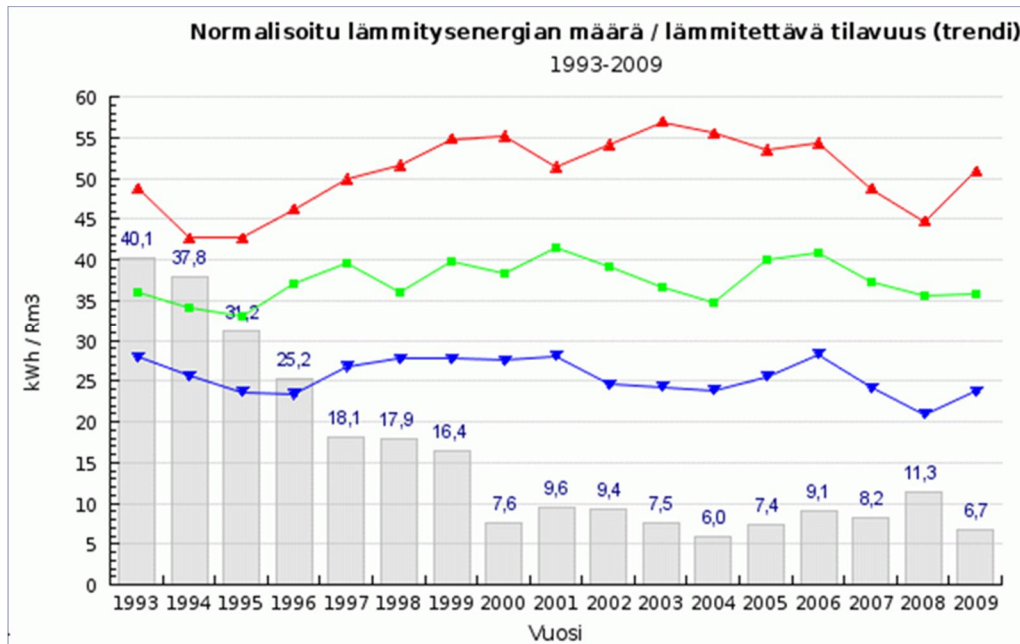


Kuva 30: Uimahallin keittiöosan sähkönkulutus

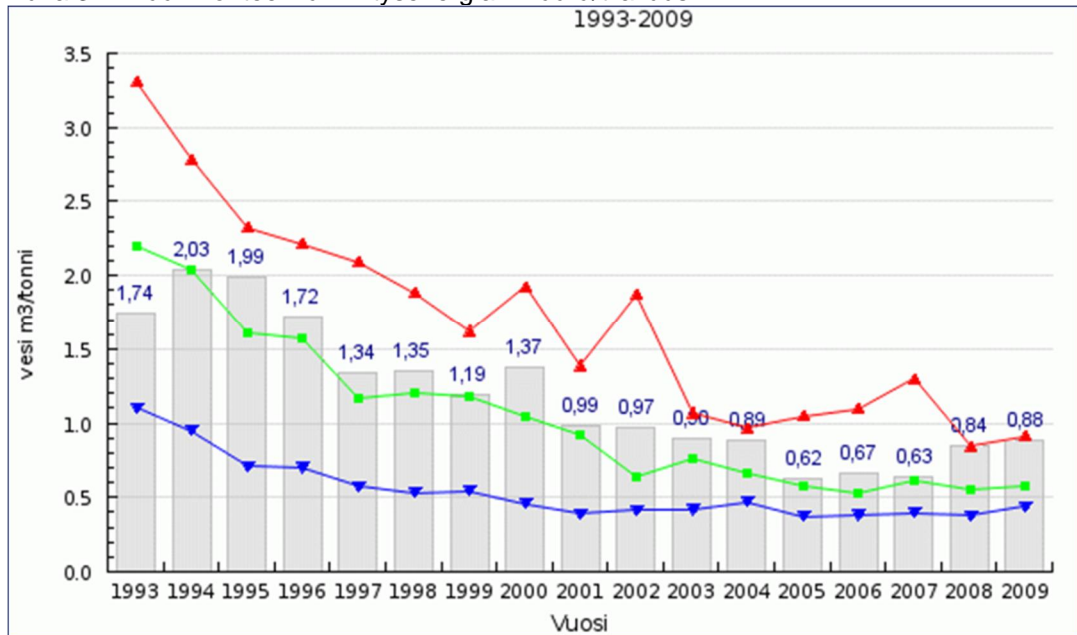
Kuvissa 31 - 33 on esitetty esimerkkejä erityyppisistä tulostuksista (Promain Service). Kohderyhmänä ovat kirjapainot. Kuva 31 esittää lämmitysenergian riippuvuutta ulkolämpötilasta. Regressiosuoran avulla voidaan kuukausikohtaisia kulutuksia verrata keskenään ja havaita heti poikkeavuudet, jolloin voidaan selvittää syyt poikkeamaan. Kuva 32 esittää erään kohteen normalisoidun (säädökorjatun) lämmitysenergian määrän muutoksen usean vuoden ajalta vertailuryhmään verrattuna. Lämmönkulutuksen yleisestä kehityksestä huolimatta tämäkin yksittäinen yritys (pylväät) on saanut merkittäviä muutoksia aikaan. Kuvassa 33 on esitetty yrityksen vedenkulutuksen muutosta usean vuoden seurantajakson aikana. Veden kulutuksessa on tapahtunut merkittävä muutos (mediaani on esitetty vihreällä viivalla).



Kuva 31: Erään kohteen lämmitysenergian määrän riippuvuus ulkolämpötilasta.



Kuva 32: Erään kohteen lämmitysenergian määrä/tilavuus



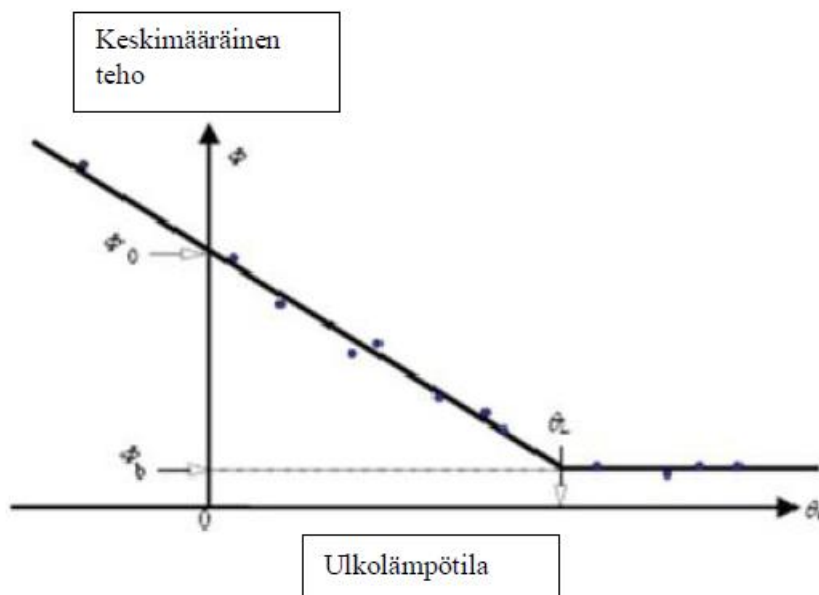
Kuva 33: Erään kohteen veden kulutus

Automaatiojärjestelmällä kerätyt tiedot voidaan jakaa myös seuraavalla tavalla (V.Lappalainen/VTT):

- 1) Energiatodistuksen mukainen tiedon keruu ja raportointi
 - soveltuu pidemmän jakson (kk, vuosi, ei dynamiikkaa) seurantaan ja raportointiin
 - tuloksena standardin ja määräysten mukaisten tunnuslukujen seuranta
 - tämä voi toimia olla lähtökohtatasona
 - malleja esim. Motivan Web-sivuilta

- 2) Energy signature / Energiatunniste (käännetty standardi)
 - on kuvattu standardissa SFS-EN 15603, Rakennusten energiatehokkuus. kokonaisenergiantarve ja energialuokitusten määrittely. 2008-10-13 Liite B s. 72

- alla olevan kuvan 33B mukainen signature-käyrä
 - x-akselina ulkolämpötila, y-akselina keskimääräinen teho
 - käyrä kuvaa referenssitilaa
 - monitoroidaan toteutuneen poikkeamaa referenssistä
 - myös tämä soveltuu staattisiin tapauksiin, jossa rakennuksen dynamiikka on suodattunut pois → kk-kulutusten monitorointi; myös viikkojakso voisi toimia
- 3) Dynaamiset mallit
- vuorokausitason seurantaan tarvittaisiin minimissään yksinkertainen dynaaminen malli, jolla huomioidaan lämmön varastointi rakennuksen massaan



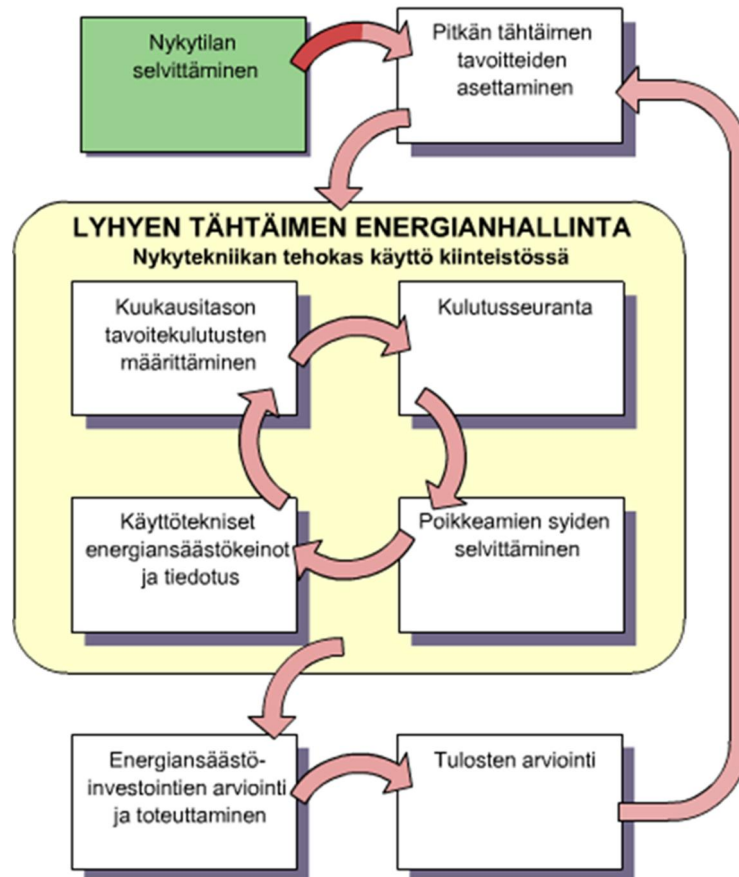
Kuva 33B: Esimerkki signature-käyrästä.

4.3.5 Johtopäätökset

Kuvassa 34 on esitetty kiinteistön energianhallinnan tasot kaaviokuvana.

Kiinteistön energianhallinnan tasot

PITKÄN TÄHTÄIMEN ENERGIANHALLINTA Kulutustason alentaminen uuteen tekniikkaan investoimalla



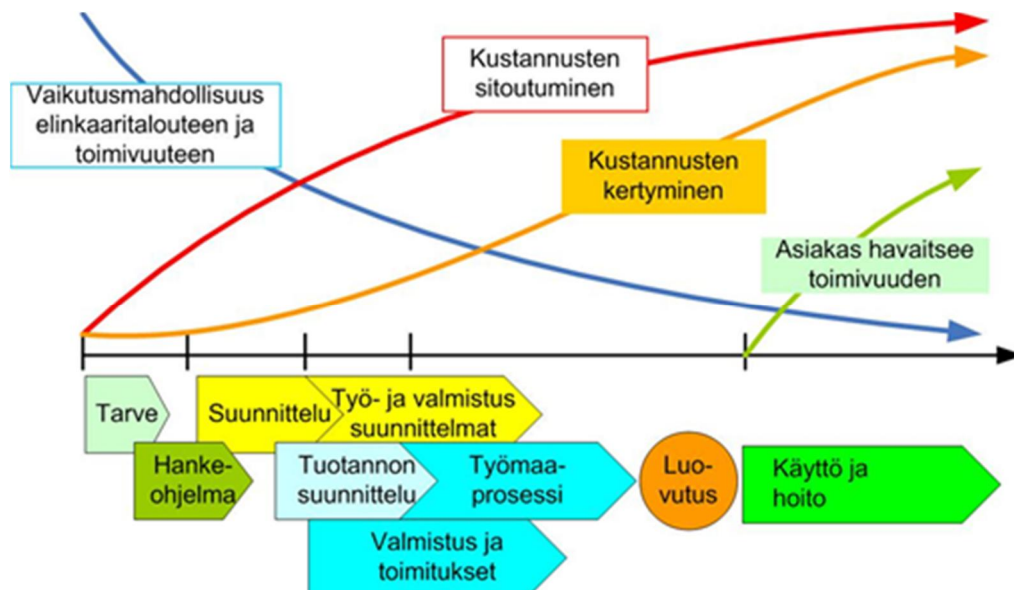
Kuva 34: Kiinteistön energiahallinnan hallinnan tasot

- Energiansäästö edellyttää tehokasta kulutus- ja olosuhdeseurantaa
- Seurannan avulla voidaan selvittää toimintatavan vaikutukset sekä puuttua ongelmakohtiin.
- Tavoitekulutuksen määrittäminen
- Laskennallinen tavoitekulutuksen määrittäminen
- Vertailuarvot - benchmarking
- Edellisten vuosien kulutus

Rakennusautomaation avulla voidaan vaikuttaa seuraaviin tekijöihin ja saavuttaa hyötyjä

1. Energian säästö ja hallinta kiinteistöissä
2. Parempi sisäilmasto
3. Huolto- ja kunnossapitotoiminta
4. Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje
5. Kustannusten säästö
6. Laitteiden oikea käyttö
7. Turvallisuuden lisääntyminen

8. Keskitetty valvonta- ja ohjauspaikka, valvonta, etäkäyttöyhteydet
9. Rakennuksen tietojärjestelmien yhdistäminen (Integrointi)
10. Projektointi ja ylläpito



Kuva 35: Missä vaiheessa energiatehokkuuteen ja elinkaaritalouteen voidaan vaikuttaa parhaiten

Rakennusautomaatiojärjestelmän hyödyntämisen olennainen asia on kuitenkin se, että järjestelmä sinänsä toimii asianmukaisella tavalla. Järjestelmän puutteita ei ole helppo havaita, jos niitä ei ole huomattu vastaanottotarkastuksessa. Puutteellisesti toimiva järjestelmä voi heikentää energiatehokkuutta tai vaikeuttaa energiatehokkuuden parantamista, joissakin tapauksissa jopa merkittävästi. Talotekniikan rakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa määritellään rakennusautomaatiojärjestelmältä vaadittavat ominaisuudet joita on syytä noudattaa.

4.4 Energiatehokkuuden kehittäminen - esimerkkikohteet

4.4.1 Rautavaaran kunta

4.4.1.1 Yleistä Rautavaaran kiinteistöjen hallinnasta

Rautavaaran kunnan kiinteistökannasta käsiteltiin lähemmin 23 kiinteistöä tai kiinteistökokonaisuutta, jotka ovat pääosin 1970- ja 1980-luvulta. Kiinteistöjen tilavuus on yhteensä 90 459 m³ ja bruttopinta-ala 27 316 m². Tutkittava kiinteistökanta koostuu rivi- ja kerrostaloista, muutamasta omakotitalosta ja paritalosta, paloasemista, oppilaitoksista, terveydenhoitorakennuksista, monitoimihallista, kirjastosta, varistorakennuksesta ja toimistorakennuksesta. Suurin osa tutkimuskohteista kuuluu aluelämmityksen piiriin. Kiinteistökannan energiansäästöpotentiaalia arvioitiin Motivan mediaanikulutuksiin verrattuna. Erikseen valituille kiinteistöille laskettiin erilaisten korjausinvestointien/-vaihtoehtojen takaisinmaksuaikoja. Lisäksi kolmelle valitulle kiinteistölle, Terveyskeskus, Yläaste ja lukio sekä Kivikumpu (asuinrakennus) tehtiin energiatehokkuuslaskelmat Lamit-ohjelmistolla. Yhden

vuokrakerrostalokiinteistön tiiveyttä pyrittiin mittaamaan omalla poistoilmanvaihtojärjestelmällä, mutta tällä järjestelmällä mittausta ei onnistuttu tekemään. Sama kiinteistö lämpökuvattiin ennen suoritettua ikkunakorjausta sekä korjauksen jälkeen. Lämpökuvausten tulokset esitetään omissa kappaleissaan. Projektin yhtenä tavoitteena oli selvittää rakennusautomaatiovaihtoehtoja. Rautavaaran kunnassa kiinteistöautomaatiojärjestelmä oli kahdessa kiinteistössä, yläasteen ja lukion kiinteistössä sekä terveyskeskuksessa. Yläasteen ja lukion järjestelmänä oli kymmenen vuotta vanha järjestelmä ja terveyskeskuksessa yhden vuoden ikäinen järjestelmä. Näiden lisäksi tulossa on uuteen Lepolan kiinteistöön uusi järjestelmä. Kaikki kolme järjestelmää ovat alkujaan eri valmistajan toimittamia. Isommista kiinteistöistä virastotalon ja monitoimitalon ilmanvaihtokoneet ovat kello-ohjattuja. Automaatiojärjestelmien yhteensovittaminen ja mahdollinen myöhempi laajentaminen vaativat kehitystyötä.

Koko kiinteistökannasta (tilavuus 90 500 m³) lämpöenergian kulutustietoja oli käytettävissä 73 % koko rakennuskannasta (66268 m³), joiden lämpöenergian kulutus oli yhteensä 3330 MWh (kolmen vuoden sääkorjattu keskiarvo). Kaukolämmön hinnalla 51 €/MWh lämmitysenergian kustannus on n. 170 000 € vuodessa.

Sähköenergian kulutustietoja oli käytettävissä noin 93 % koko rakennuskannasta (84 443 m³) yhteensä 1 020 MWh. Sähköenergian hinnalla 75 €/MWh sähköenergian kustannus on noin 90 500 €vuodessa.

Veden kulutustietoja saatiin samoista kiinteistöistä kuin sähköenergian kulutustietoja noin 93 % koko rakennuskannasta, veden kokonaiskulutus oli 14 680 m³. Veden hinnalla 2,8 €/m³ kokonaiskustannus on noin 41 000 €vuodessa. Tästä rakennuskannasta laskettuna (ei koko kunnan omistama rakennuskanta) energia ja vesikustannukset ovat yhteensä n. 288 000 €. Voidaan arvioida, että esimerkiksi 9 % säästötavoite (esim. energiatehokkuussopimukset) merkitsisi noin 26 000 €vuosittaista säästöä.

Projektin yhteydessä on Rautavaaran kunnassa otettu käyttöön Facility info ohjelmisto - sähköinen kiinteistöjen huoltokirja 2011. Vuoden 2012 aikana on tavoitteena saada kulutusseuranta sähköiseen muotoon. Kiinteistön hoitajilla on käytössään Iphone-älypuhelimet, joiden avulla he esim. kuittaavat huoltokirjan ja palvelupyyntöjen tehtävät. jatkossa myös energiankulutus saadaan sähköiseen seurantaan, kun löydetään tarkoitukseen soveltuva älypuhelimella toimiva ohjelmisto. Automaatiota on tarkoitus yhtenäistää ja laajentaa vuoden 2012 aikana.

Tehtyjen vertailujen jälkeen on Monitoimitalon, koulujen ja virastotalon valaistus vaihdettu LED valaisimiin. Terveysthuolto kiinteistössä tehdään parhaillaan remonttia ja osilta rakennus uusitaan kokonaan, joten näiltä osin kulutuksia saadaan kuriin ilman erillistä lisäeristys remonttia. Vuokra-asuntoihin uusitaan ovia ja ikkunoita sen mukaan kun varat antaa mahdollisuuden.

4.4.1.2 Rautavaaran rakennuskannan kulutusvertailu



Hankkeessa on saatu lämmitysenergiankulutustietoja 21 kiinteistöstä vuosilta 2005 – 2009. Rakennusten lämmön, sähkön ja veden toteutuneita ominaiskulutuksia (vuosien 2007 – 2009 keskiarvot) verrattiin Motivan kulutusvertailuaineiston mediaaniarvoihin.

4.4.1.2.1 Asuinrakennukset

Vertailun perusteella voidaan todeta seuraavaa:

Kulutusvertailussa olevien kiinteistöjen lukumäärä vaihtelee eri kulutusten osalta, koska kaikista kiinteistöistä ei ollut kaikkia kulutustietoja käytettävissä.

- Kuuden asuinrakennuksen toteutunut lämpöenergian kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon. Kuntaliiton 2008 tilaston mukaan alle 10 000 asukkaan kuntien asuinrakennusten keskimääräinen ominaiskulutus oli 59,1 kWh/m³.
- Mikäli näiden kohteiden lämpöenergian kulutukset saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 173 MWh vuosittaista säästöä vastaten lämpöenergian hinnalla 51 €/MWh noin 8 800 €/vuosittaista säästöä.

Taulukko 11:

RAUTAVAARA LÄMPÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominaiskulutus*	Motivan vertailuarvo ****	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
						MWh/a	€/a
ASUINRAKENNUKSET:	r-m3	kWh/r-m3,a	kWh/r-m3,a	kWh/r-m3,a	%		
Rautarinne	1 000	44,6	56,1	-11,5	-21 %	-11,5	-587
Yläasteen opettaja-asuntola	3 000	42,6	46,3	-3,7	-8 %	-11,0	-560
Rautaharju 1 & 2	10 020	52,1	46,3	5,8	13 %	58,2	2 969
Oppilasasuntola	4 900	54,8	46,3	8,5	18 %	41,5	2 114
Kotitien rivitalot	1 814	67,6	56,1	11,5	20 %	20,9	1 064
Ensola	1 440	70,2	56,1	14,1	25 %	20,3	1 033
Vanha paloasema	850	71,0	56,1	14,9	27 %	12,7	647
Kivikumpu	1 024	75,4	56,1	19,3	34 %	19,8	1 008

- Kahdeksan asuinrakennuksen toteutunut sähköenergian kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli näiden kohteiden sähköenergian kulutukset saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 65 MWh vuosittaista säästöä vastaten sähköenergian hinnalla 75 €/MWh noin 4 800 €/vuosittaista säästöä. Merkittävin säästö saataisiin tehostamalla Kotitien rivitalojen, Kivikummun ja vanhan paloaseman käyttöä.

Taulukko 12:

RAUTAVAARA SÄHKÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
						MWh/a	€/a
ASUINRAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
Yläasteen opettaja-asuntola	3 000	9,4	16,5	-7,1	-43 %	-21,3	-1 595
Oppilasarvontola	4 900	12,4	16,5	-4,1	-25 %	-20,0	-1 502
Rautaharju 1 & 2	10 020	3,7	4,6	-0,9	-19 %	-8,8	-661
Rautala	540	4,3	4,4	-0,1	-2 %	0,0	-4
Kiviharju	840	5,0	4,4	0,6	14 %	0,5	38
Mäntylä 1 & 2	3 200	6,9	4,4	2,5	58 %	8,1	610
Palola	1 070	8,8	4,4	4,4	99 %	4,7	349
Rautarinne	1 000	9,7	4,4	5,3	120 %	5,3	397
Ensola	1 440	10,5	4,4	6,1	138 %	8,7	656
Kotitien rivitalot	1 814	13,5	4,4	9,1	207 %	16,5	1 237
Kivikumpu	1 024	14,6	4,4	10,2	231 %	10,4	780
Vanha paloasema	850	17,3	4,4	12,9	294 %	11,0	823

- Viiden asuinrakennuksen toteutunut veden kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli näiden kohteiden veden kulutukset saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 1 100 m³ vuosittaista säästöä vastaten veden hinnalla 2,8 €/m³ noin 3 100 €/vuosittaista säästöä.

Taulukko 13:

RAUTAVAARA VESI	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
						m ³ /a	€/a
ASUINRAKENNUKSET:	r-m ³	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	%	m ³ /a	€/a
Rautala	540	20,4	490,9	-470,5	-96 %	-254,1	-711
Rautarinne	1 000	159,0	490,9	-331,9	-68 %	-331,9	-929
Oppilasarvontola	4 900	132,7	225,0	-92,4	-41 %	-452,5	-1 267
Rautaharju 1 & 2	10 020	265,4	410,3	-144,9	-35 %	-1 452,2	-4 066
Yläasteen opettaja-asuntola	3 000	166,7	225,0	-58,3	-26 %	-175,0	-490
Vanha paloasema	850	374,1	490,9	-116,8	-24 %	-99,3	11 604
Mäntylä 1 & 2	3 200	385,6	490,9	-105,3	-21 %	-336,9	-943
Kotitien rivitalot	1 814	440,5	490,9	-50,4	-10 %	-91,5	-256
Suojala 1 & 2	366	527,3	490,9	36,4	7 %	13,3	37
Kiviharju	840	600,0	490,9	109,1	22 %	91,6	257
Palola	1 070	645,8	490,9	154,9	32 %	165,7	464
Kivikumpu	1 024	633,8	410,3	223,5	54 %	228,9	641
Ensola	1 440	931,9	490,9	441,0	90 %	635,1	1 778

4.4.1.2.2 Opetusrakennukset

Opetusrakennuksia oli vertailussa kolme.



- Kahden opetusrakennuksen toteutunut lämpöenergian kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli näiden kohteiden lämpöenergian kulutukset saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 28 MWh vuosittaista säästöä vastaten lämpöenergian hinnalla 51 €/MWh noin 1 400 € vuosittaista säästöä. Kuntaliiton tilaston 2008 mukaan alle 10000 hengen kuntien opetusrakennusten keskimääräinen ominaiskulutus oli 48,4 kWh/m³.

Taulukko 14:

RAUTAVAARA LÄMPÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominaiskulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailu- arvoon	Ero-% Motivan vertailu- arvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
						MWh/a	€/a
OPETUSRAKENNUKSET:	r-m3	kWh/r-m3,a	kWh/r-m3,a	kWh/r-m3,a	%	MWh/a	€/a
Ala-aste	8 380	54,5	56,5	-2,0	-4 %	-17,1	-872
Yläaste ja lukio	8 105	57,7	56,5	1,2	2 %	9,7	496
Yläasteen paja	1 740	66,8	56,5	10,3	18 %	18,0	917

- Kahden opetusrakennuksen toteutunut sähköenergian kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli näiden kohteiden sähköenergian kulutukset saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 20 MWh vuosittaista säästöä vastaten sähköenergian hinnalla 75 €/MWh noin 1 500 € vuosittaista säästöä.

Taulukko 15:

RAUTAVAARA SÄHKÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominaiskulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailu- arvoon	Ero-% Motivan vertailu- arvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
						MWh/a	€/a
OPETUSRAKENNUKSET:	r-m3	kWh/r-m3,a	kWh/r-m3,a	kWh/r-m3,a	%	MWh/a	€/a
Ala-aste	8 380	6,3	11,0	-4,7	-43 %	-39,4	-2 956
Yläaste ja lukio	8 105	11,3	11,0	0,3	2 %	2,1	156
Yläasteen paja	1 740	21,2	11,0	10,2	93 %	17,8	1 335

- Kaikkien opetusrakennusten toteutunut veden alitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.

Taulukko 16:

RAUTAVAARA VESI	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominaiskulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailu- arvoon	Ero-% Motivan vertailu- arvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
						m3/a	€/a
OPETUSRAKENNUKSET:	r-m3	dm3/r-m3,a	dm3/r-m3,a	dm3/r-m3,a	%	m3/a	€/a
Yläasteen paja	1 740	16,1	98,0	-81,9	-84 %	-142,5	-399
Yläaste ja lukio	8 105	41,3	98,0	-56,7	-58 %	-459,3	-1 286
Ala-aste	8 380	53,5	98,0	-44,5	-45 %	-373,2	-1 045

4.4.1.2.3 Hoitoalan rakennukset

Hoitoalan rakennuksia oli vertailussa kaksi.



- Toisen rakennuksen (terveyskeskus) toteutunut lämpöenergian kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli terveyskeskuksen lämpöenergian kulutus saadaan pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsee tämä 110 MWh vuosittaista säästöä vastaten lämpöenergian hinnalla 51 €/MWh noin 5 700 €/vuosittaista säästöä.

Taulukko 17:

RAUTAVAARA LÄMPÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailu-arvoon	Ero-% Motivan vertailu-arvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
						MWh/a	€/a
HOITOALAN RAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
Vanhainkoti	3 030	30,25	66,6	-36,4	-55 %	-110,1	-5 617
Terveyskeskus	6 630	66,51	49,6	16,9	34 %	112,1	5 718

- Terveyskeskuksen toteutunut sähköenergian kulutus ylitti hieman Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli terveyskeskuksen sähköenergian kulutus saadaan pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 5 MWh vuosittaista säästöä vastaten sähköenergian hinnalla 75 €/MWh noin 350 €/vuosittaista säästöä.

Taulukko 18:

RAUTAVAARA SÄHKÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailu-arvoon	Ero-% Motivan vertailu-arvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
						MWh/a	€/a
HOITOALAN RAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
Vanhainkoti	3 030	13,6	22,0	-8,4	-38 %	-25,6	-1 919
Terveyskeskus	6 630	24,9	24,2	0,7	3 %	4,8	361

- Molempien kiinteistöjen vedenkulutus ylitti Motivan vertailutason.
- Jos vedenkulutus olisi Motivan keskimääräistä tasoa, vastaa tämä 1450 €/vuosittaista säästöä veden hinnalla 2,8 €/m³.

Taulukko 19:

RAUTAVAARA VESI	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailu-arvoon	Ero-% Motivan vertailu-arvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
						m ³ /a	€/a
HOITOALAN RAKENNUKSET:	r-m ³	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	%	m ³ /a	€/a
Terveyskeskus	6 630	266,4	232,0	34,4	15 %	227,9	638
Vanhainkoti	3 030	439,6	344,0	95,6	28 %	289,7	811

4.4.1.2.4 Toimistorakennukset

Toimistorakennuksia käsiteltiin yksi (Virastotalo).

- lämpöenergian kulustietoja ei ollut raportin kirjoittamishetkellä käytettävissä
- Virastotalon toteutunut sähköenergian kulutus alitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.

Taulukko 20:

RAUTAVAARA SÄHKÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
TOIMISTORAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
Virastotalo	13 890	9,7	16,2	-6,5	-40 %	-90,0	-6 751

- Kiinteistön vedenkulutus alitti Motivan vertailutason.

Taulukko 21:

RAUTAVAARA VESI	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
TOIMISTORAKENNUKSET:	r-m ³	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	%	m ³ /a	€/a
Virastotalo	13 890	44,8	57,0	-12,2	-21 %	-169,7	-475

Kokoontumisrakennukset

Kokoontumisrakennuksia oli vertailussa kaksi.

- Toisen rakennuksen (kirjasto) toteutunut lämpöenergian kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli kirjaston lämpöenergian kulutus laskisi Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsee tämä 17 MWh vuosittaista säästöä vastaten lämpöenergian hinnalla 51 €/MWh noin 870 €/vuosittaista säästöä.

Taulukko 22:

RAUTAVAARA LÄMPÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
KOKOONTUMISRAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
Monitoimitalo	12 000	28,2	44,7	-16,5	-37 %	-197,8	-10 086
Kirjasto	2 335	41,5	34,2	7,3	21 %	17,1	872

- Monitoimitalon sähköenergian kulutus ylitti Motivan aineiston keskimääräisen tason.
- Sähköenergiainnalla 75 €/MWh noin 47 MWh:n säästö merkitsee noin 3 500 € vuodessa.

Taulukko 23:

RAUTAVAARA SÄHKÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
KOKOONTUMISRAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
Kirjasto	2 335	8,9	19,7	-10,8	-55 %	-25,1	-1 883
Monitoimitalo	12 000	14,7	10,8	3,9	36 %	46,6	3 495

- Molempien kiinteistöjen veden kulutus alitti Motivan vertailutason.

Taulukko 24:

RAUTAVAARA VESI	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
KOKOONTUMISRAKENNUKSET:	r-m ³	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	%	m ³ /a	€/a
Monitoimitalo	12 000	19,8	75,0	-55,3	-74 %	-663,0	-1 856
Kirjasto	2 335	53,1	71,0	-17,9	-25 %	-41,8	-117

4.4.1.2.5 Muut rakennukset

- Lämpöenergian kulustietoja ei ollut käytettävissä.
- Teknisen toimen varaston sähköenergian kulutus ylitti Motivan vertailuarvon. Rakennus on sähkölämmitteinen.
- Molempien rakennusten veden kulutus alitti Motivan vertailuarvon.

Taulukko 25:

RAUTAVAARA SÄHKÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
MUUT RAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
Uusi paloasema	3 480	7,3	11,1	-3,8	-34 %	-13,3	-994
Teknisen toimen varasto	805	22,2	15,5	6,7	43 %	5,4	404

Taulukko 26:

RAUTAVAARA VESI	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
MUUT RAKENNUKSET:	r-m ³	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	%	m ³ /a	€/a
Teknisen toimen varasto	805	17,4	29,0	-11,6	-40 %	-9,3	-26
Uusi paloasema	3 480	19,3	25,0	-5,8	-23 %	-20,0	-56

4.4.1.3 Energiatehokkuuslaskelmat

4.4.1.3.1 Yleistä

Valittujen kiinteistöjen energiatehokkuuslaskelmat tehtiin samalla Lamit Oy:n kehittämällä energiatehokkuuden laskentaohjelmistolla (www.lamit.fi) kuin Pieksämäen kaupungin valitut kohteet. Tarkastelun kohteiksi valittiin terveyskeskus, yläaste ja lukio sekä Kivikumpu. Energiatehokkuuslaskelmat on tehty nykytilanteen pohjalta ja niitä on verrattu kohteittain valittujen korjaustoimenpiteiden avulla saatuihin säästöihin ja takaisinmaksuaikoihin.

4.4.1.3.2 Terveyskeskus

Terveyskeskuksen normeerattu (Jyväskylä) keskimääräinen lämmönkulutus vuosina 2007 - 2009 oli 441 MWh ja ominaislämmönkulutus 66,5 kWh/rm³. Lamit-ohjelmalla laskettuna lämmönkulutukseksi saadaan 295,5 MWh ja ominaislämmönkulutukseksi 44,6 kWh/m³, kun laskennassa käytetään vuoden 1985 rakentamismääräysten mukaisia rakenteiden U-arvoja, suunnitelman mukaisia ilmamääriä ja ilmanvaihdon lämmön talteenoton vuosihyötysuhteena 30 %. Lamit-laskennan tulos on esitetty alla olevassa taulukossa. Toteutunut kulutus on 145 MWh (noin 30 %) suurempi kuin Lamit-ohjelmalla laskettu kulutus. Laskelmissa on käytetty lämpöenergian hintana 55 €/MWh. Edellisissä rakennuskannan kulutusvertailuissa lämpöenergian hintana käytettiin 51 €/MWh.

Taulukko 27: Pääterveysaseman Energiapremier – ohjelmalla laskettu lämpöenergiankulutus.

Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia	67 128	30,3	10,1	23 %
Kv-järjestelmän lämpöhäviöenergia	33 199	15,0	5,0	11 %
Rakennuksen vaipan lämpöhäviöenergia	291 014	131,5	43,9	98 %
Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia	54 846	24,8	8,3	19 %
Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia	126 979	57,4	19,2	43 %
Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia	39 834	18,0	6,0	13 %
Rakennuksen hyödynnetty lämpökuormaenergia	-317 453	-143,4	-47,9	-107 %
Rakennuksen lämmitysenergia yhteensä	295 547	133,6	44,6	100 %
Lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde	1,00			
Rakennuksen lämmitysenergiankulutus yhteensä	295 547	133,6	44,6	

Terveyskeskuksen mahdollista säästöpotentiaalia on arvioitu seuraavissa taulukoissa esitetyillä tavoilla. Terveyskeskuksen lämpöenergian kulutus oli lähes kolmanneksen suurempi kuin laskennallinen kulutus ja kolmanneksen suurempi kuin Motivan tilastojen vertailuarvo. Toisaalta Kuntaliiton 96 kunnan terveydenhuoltorakennusten keskimääräinen sääkorjattu ominaiskulutus oli vuonna 2008 71 kWh/m³. Motivan aineiston ja laskelman mukaan terveyskeskuksessa on merkittävää lämpöenergian säästöpotentiaalia.

Taulukko 28: Ulkoseinärakenteiden U-arvon muutoksen vaikutus Terveyskeskuksen lämpöenergiankulutukseen, kun U-arvo muuttuu arvosta 0,28 W/m²K arvoon 0,17 W/m²K. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 3040 € (n. 7,2 €/ulkoseinä-m²).

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier-laskelma)	295 547	133,6	44,6
Kulutus korjauksen jälkeen	286 132	129,3	43,2
Ero	-9 415	-4,3	-1,4
Ero-%	-3,2 %	-3,2 %	-3,2 %

Taulukko 29: Yläpohjarakenteiden U-arvon muutoksen vaikutus Terveyskeskuksen lämpöenergiankulutukseen, kun U-arvo muuttuu arvosta 0,22 W/m²K arvoon 0,09 W/m²K. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 17 450 € (n. 8 €/yläpohja-m²).

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier-laskelma)	295 547	133,6	44,6
Kulutus korjauksen jälkeen	268 338	121,3	40,5
Ero	-27 209	-12,3	-4,1
Ero-%	-9,2 %	-9,2 %	-9,2 %

Taulukko 30: Ikkunoiden U-arvon muutoksen vaikutus Terveyskeskuksen lämpöenergiankulutukseen, kun U-arvo muuttuu arvosta 2,1 W/m²K arvoon 1,0 W/m²K. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 20 250 € (n. 65 €/ikkuna-m²).

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier-laskelma)	295 547	133,6	44,6
Kulutus korjauksen jälkeen	263 980	119,3	39,8
Ero	-31567	-14,3	-4,8
Ero-%	-10,7 %	-10,7 %	-10,7 %

Taulukko 31: Ilmavuotoluvun muutoksen vaikutus Terveyskeskuksen lämpöenergiankulutukseen, kun ilmavuotoluku muuttuu arvosta 4,0 1/h arvoon 2,0 1/h (arvo voisi olla luokkaa 1,0 1/h). Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 10 950 €

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier-laskelma)	295 547	133,6	44,6
Kulutus korjauksen jälkeen	278 468	125,8	42,0
Ero	-17 079	-7,7	-2,6
Ero-%	-5,8 %	-5,8 %	-5,8 %

Taulukko 32: Ilmanvaihdon lämmön talteenoton hyötysuhteen muutoksen vaikutus Terveyskeskuksen lämpöenergiankulutukseen, kun vuosihyötysuhde muuttuu arvosta 30 % arvoon 60 %. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 34200 €

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier-laskelma)	295 547	133,6	44,6
Kulutus korjauksen jälkeen	242 244	109,5	36,5
Ero	-53 303	-24,1	-8,0
Ero-%	-18,0 %	-18,0 %	-18,0 %

4.4.1.3.3 Yläaste ja lukio

Yläaste- ja lukiorakennuksen normeerattu (Jyväskylä) keskimääräinen lämmönkulutus vuosina 2007 - 2009 oli 468 MWh ja ominaislämmönkulutus 57,7 kWh/m³. Lamit-ohjelmalla laskettuna lämmönkulutukseksi saadaan 461 MWh ja ominaislämmönkulutukseksi 56,9 kWh/rm³. Energiapremier-laskennan tulos on esitetty alla olevassa taulukossa. Toteutunut kulutus on samaa luokkaa kuin Energiapremier-ohjelmalla laskettu kulutus. Alla esitetyissä säästölaskelmissa on käytetty lämpöenergian hintana 55 €/MWh. Edellisissä rakennuskannan kulutusvertailuissa lämpöenergian hintana käytettiin 51 €/MWh.

Taulukko 33: Yläaste- ja lukiorakennuksen Energiapremier – ohjelmalla laskettu lämpöenergiankulutus.

	kWh/a	kWh/m ² a	kWh/m ³ a	%
Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia	28 035	10,5	3,5	6 %
Käyttöveden lämmitysjärj. lämpöhäviöenergia	18 685	7,0	2,3	4 %
Rakennuksen vaipan lämpöhäviöenergia	414 647	155,3	51,2	90 %
Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia	84 378	31,6	10,4	18 %
Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia	200 703	75,2	24,8	44 %
Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia	48 060	18,0	5,9	10 %
Rakennuksen hyödynnetty lämpökuormaenergia	-333 503	-124,9	-41,1	-72 %
Rakennuksen lämmitysenergia yhteensä	461 005	172,7	56,9	100 %
Lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde (1,0)				
Rakennuksen lämmitysenergiankulutus yhteensä	461 005	172,7	56,9	

Taulukko 34: Ulkoseinärakenteiden U-arvon muutoksen vaikutus Yläaste- ja lukiorakennuksen lämpöenergiankulutukseen, kun U-arvo muuttuu arvosta 0,40 W/m²K arvoon 0,17 W/m²K. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 21700 € (n. 22 €/ulkoseinä-m²).

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier-laskelma)	461 005	172,7	56,9
Kulutus korjauksen jälkeen	427 180	160,0	52,7
Ero	-33 825	-12,7	-4,2
Ero- %	-7,3 %	-7,3 %	-7,3 %

Taulukko 35: Yläpohjarakenteiden U-arvon muutoksen vaikutus Yläaste- ja lukiorakennuksen lämpöenergiankulutukseen, kun U-arvo muuttuu arvosta 0,28 W/m²K arvoon 0,09 W/m²K. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 47 300 € (n. 18 €/yläpohja-m²).

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier-laskelma)	461 005	172,7	56,9
Kulutus korjauksen jälkeen	387 287	145,1	47,8
Ero	-73 718	-27,6	-9,1
Ero- %	-16,0 %	-16,0 %	-16,0 %

Taulukko 36: Ikkunoiden U-arvon muutoksen vaikutus Yläaste- ja lukiorakennuksen lämpöenergiankulutukseen, kun U-arvo muuttuu arvosta 2,1 W/m²K arvoon 1,0 W/m²K. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 43 900€ (n. 103 €/ikkuna-m²).

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier-laskelma)	461 005	172,7	56,9
Kulutus korjauksen jälkeen	392 615	147,0	48,4
Ero	-68 390	-25,6	-8,4
Ero- %	-14,8 %	-14,8 %	-14,8 %

Taulukko 37: Ilmavuotoluvun muutoksen vaikutus Yläaste- ja lukiorakennuksen lämpöenergiankulutukseen, kun ilmavuotoluku muuttuu arvosta 5,0 1/h arvoon 3,0 1/h. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 20 100 €

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier-laskelma)	461 005	172,7	56,9
Kulutus korjauksen jälkeen	429 661	160,9	53,0
Ero	-31 344	-11,7	-3,9
Ero- %	-6,8 %	-6,8 %	-6,8 %

Taulukko 38: Ilmanvaihdon lämmön talteenoton hyötysuhteen muutoksen vaikutus Yläaste- ja lukiorakennuksen lämpöenergiakulutukseen, kun vuosihyötysuhde muuttuu arvosta 60 % arvoon 70 %. Lämpöenergiainhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 31 000 €

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier-laskelma)	461 005	172,7	56,9
Kulutus korjauksen jälkeen	412 593	154,5	50,9
Ero	-48 412	-18,1	-6,0
Ero- %	-10,5 %	-10,5 %	-10,5 %

4.4.1.3.4 Kivikumpu

Kivikummun normeerattu (Jyväskylä) keskimääräinen lämmönkulutus vuosina 2007 - 2009 oli 77,2 MWh ja ominaislämmönkulutus 75,4 kWh/m³. Lämmitohjelmalla laskettuna lämmönkulutukseksi saadaan 79,6 MWh ja ominaislämmönkulutukseksi 77,8 kWh/m³. Lämmit-laskennan tulos on esitetty alla olevassa taulukossa. Toteutunut kulutus on pienempi kuin Energiapremier-ohjelmalla laskettu kulutus. Säästöpotentiaalia on arvioitu alla olevien laskelmien mukaisesti. Laskelmissa on käytetty lämpöenergian hintana 55 €/MWh. Edellä olleissa rakennuskannan kulutusvertailuissa lämpöenergian hintana käytettiin 51 €/MWh.

Taulukko 39: Kivikummun Energiapremier – ohjelmalla laskettu lämpöenergiakulutus.

	kWh/a	kWh/m ² a	kWh/m ³ a	%
Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia	25 550	73,0	25,0	32 %
Käyttöveden lämmitysjärj. lämpöhäviöenergia	5 253	15,0	5,1	7 %
Rakennuksen vaipan lämpöhäviöenergia	67 383	192,5	65,8	85 %
Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia	12 340	35,3	12,1	15 %
Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia				
Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia	7 600	21,7	7,4	10 %
Rakennuksen hyödynnetty lämpökuormaenergia	-38 481	-109,9	-37,6	-48 %
Rakennuksen lämmitysenergia yhteensä	79 645	227,6	77,8	100 %
Lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde (1,0)				
Rakennuksen lämmitysenergiakulutus yhteensä	79 645	227,6	77,8	

Taulukko 40: Ulkoseinärakenteiden U-arvon muutoksen vaikutus Kivikummun lämpöenergiankulutukseen, kun U-arvo muuttuu arvosta 0,29 W/m²K arvoon 0,17 W/m²K. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 6500 € (n. 16 €/ulkoseinä-m²).

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier-laskelma)	79 645	227,6	77,8
Kulutus korjauksen jälkeen	72 192	206,3,8	70,5
Ero	-7 453	-21,3	-7,3
Ero- %	-9,4 %	-9,4 %	-9,4 %

Taulukko 41: Yläpohjarakenteiden U-arvon muutoksen vaikutus Kivikummun lämpöenergiankulutukseen, kun U-arvo muuttuu arvosta 0,23 W/m²K arvoon 0,09 W/m²K. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 6350 € (n. 18 €/yläpohja-m²).

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier-laskelma)	79 645	227,6	77,8
Kulutus korjauksen jälkeen	72 400	206,9	70,7
Ero	-7 245	-20,7	-7,1
Ero- %	-9,1 %	-9,1 %	-9,1 %

Taulukko 42: Ikkunoiden U-arvon muutoksen vaikutus Kivikummun lämpöenergiankulutukseen, kun U-arvo muuttuu arvosta 2,1 W/m²K arvoon 1,0 W/m²K. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 6970 € (n. 142 €/ikkuna-m²).

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier-laskelma)	79 645	227,6	77,8
Kulutus korjauksen jälkeen	71 691	204,8	70,0
Ero	-7 954	-22,7	-7,8
Ero- %	-10,0 %	-10,0 %	-10,0 %

Taulukko 43: Ilmavuotoluvun muutoksen vaikutus Kivikummun lämpöenergiankulutukseen, kun ilmavuotoluku muuttuu arvosta 6,0 1/h arvoon 3,0 1/h. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 5050 €

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier-laskelma)	79 645	227,6	77,8
Kulutus korjauksen jälkeen	73 872	211,1	72,1
Ero	-5 767	-16,5	-5,6
Ero- %	-7,2 %	-7,2 %	-7,2 %

4.4.1.4 Yhteenveto

Rautavaaran kunnan rakennuskannassa on säästöpotentiaalia. Mikäli tavoitteeksi asetetaan 9 % säästötavoite 2012–2016 ajanjakso, tulisi kunnan rakennuskannan kulutustilastot saattaa tasolle, että rakennusten kulutuksia voitaisiin verrata



luotettavasti keskenään sekä aikaisempiin vuosiin että muihin käytettävissä oleviin tilastoaineistoihin (Motiva, Kuntaliitto, KTI). Alustavasti suunnitteilla oleva rakennusautomaatiojärjestelmien yhteensovittaminen ja kehittäminen antavat siihen hyvän mahdollisuuden. Samassa yhteydessä voidaan harkita mittaroinnin lisäämistä.

Kulutuksen seuraaminen sinänsä ei säästä energiaa, mutta kulutustietojen analysoinnin pohjalta voidaan tarvittavat energiansäästötoimenpiteet ja investoinnit kohdentaa ja suunnitella asianmukaisella tavalla.

Kunnan energiansäästö tavoitteiden peruslähtökohta on se, että kiinteistökannan lämpöenergian, sähkön ja veden kulutukset ovat mitattu mahdollisimman luotettavasti sekä kulutustiedot on käsitelty siten, että energian- ja kiinteistönhallinnasta vastaavilla henkilöillä on käytössään reaaliaikaiset kulutustiedot rakennuksittain ja rakennustyypeittäin.

Seuraavassa taulukossa on esitetty kooste rakennuskannan säästöpotentiaalista Motivan vastaavanlaisten rakennusten mediaanikulutukseen verrattuna:

Taulukko 44:

Rakennustyyppi	Lämpö (MWh/a)	Lämpö (€/a)	Sähkö (MWh/a)	Sähkö (€/a)	Vesi (m ³ /a)	Vesi (€/a)	Yhteensä (€/a)
Asuinrakennukset	173	8 840	65	4 890	1 135	3 180	16 910
Opetusrakennukset	28	1 410	20	1 490			2 900
Hoitoalan rakennukset	112	5 720	5	360	520	1 450	7 530
Toimistorakennukset	n/a						
Kokoontumisrakennukset	17	870	45	3 500			4 370
Muut rakennukset			5	400			400
YHTEENSÄ	330	16 840	140	10 640	1 655	4 630	32 110

Edellä esitetyn laskelman perusteella rakennuksissa on luokkaa 32 000 € vuosittainen säästöpotentiaali. On kuitenkin huomattava, että esimerkiksi kunnan virastotalon lämmitysenergia puuttuu vertailulaskelmista. Yksittäisten rakennusten ja rakennustyyppien kohdalla säästöpotentiaali riippuu rakennusten tämän hetkisestä käytöstä, rakenteista ja taloteknisistä järjestelmistä. Tavoitteiden saavuttaminen riippuu siitä, minkälaiset investoinnit tarvitaan ja paljonko on käytettävissä.

Kymmenen vuoden takaisinmaksuajalla ja 5 % korolla tämä vastaa noin 0,5 M€ investointia.

Rakennusryhmistä voidaan osoittaa selkeästi suurimmat kuluttajat, joiden säästömahdollisuudet ovat määrällisesti suurimmat. Tämä ei poissulje sitä, että vähemmän kuluttavissa rakennuksissa voidaan löytää suhteellisesti suurempia säästöjä. Ensisijaiset toimenpiteet kannattaa keskittää suurimpiin kuluttajiin, koska saatavat rahalliset säästöt ovat näissä suurimmat.

Esitetyt säästömahdollisuudet perustuvat Motivan tilastojen mediaanikulutuksiin, jotka poikkeavat jonkin verran Kuntaliiton tilastoimista keskiarvokulutuksista. Kun kyseessä on suhteellisen pieni rakennuskanta, voi yksittäisen rakennuksen kohdalla todellinen energiansäästöpotentiaali poiketa edellä esitetyistä laskelmista. Rakennuskohtaiset energiansäästömahdollisuudet saadaan tarkemmin energiakatselmuksen avulla. Helpoimmin toteutettavat investoinnit ovat ns. nollainvestointeja tai lähes nollainvestointeja, kuten ilmanvaihdon käyntiajat, sisälämpötilojen alentaminen, valaistuksen tarpeen mukainen käyttö jne.

Kulutustietojen perusteella ja niitä vertailemalla muihin vastaaviin rakennuksiin voidaan energiakatselmuksella kohdistaa oikein ja tulosten perusteella suunnitella lyhyen ja pitkän aikavälin toimenpiteet.

Rautavaaran kunnan tulisi laatia energiansäästöohjelma esim. seuraavalle viidelle vuodelle. Tehtyjen selvitysten perusteella rakennuskannassa on energiansäästöpotentiaalia. Koska pienen kunnan resurssit ovat rajalliset, on tärkeää, että toimenpiteet toteutetaan muutoinkin tarvittavien peruskorjausten yhteydessä. Toimenpideohjelman tulee sisältää seuraavat osatekijät (lyhyen ja pitkän aikavälin energiansäästötoimenpiteiden suunnittelu):

- mittaroinnin täydentäminen ja tietojen keruu
- kerättyjen tietojen analysointi hankittavan kiinteistönhallintaohjelmiston avulla
- katselmuksella ja kuntoarviot erikseen valituissa rakennuksissa
- mahdollisten investointivaihtoehtojen selvittäminen ja laskelmat
- rakennusten asianmukainen käyttö (koulutus, tiedottaminen ja ohjeistus)

Rautavaaran kunnassa kiinteistöautomaation tilannetta voitaisiin ensimmäisenä toimenpiteenä parantaa saattamalla suurimmat kiinteistöt saman järjestelmän piiriin taikka yhden hallintajärjestelmän alle. Keskusvalvomo voisi sijaita esimerkiksi virastotalolla.

Kokemuksen mukaan energiansäästö on järjestelmällistä ja johdonmukaista ”pienien askelten” toimintaa, jossa lopputavoite täytyy olla selkeä. Kunnissa on olemassa suuri korjausvelka, jonka suuruus tietenkin vaihtelee kunnittain. Kosteus ja niistä johtuvat homevauriot muodostavat tällä hetkellä suuremman ajankohtaisen ongelman. Kuntoarviot ja energiakatselmuksella on usein pidetty erillään, pelkästään energiatalouteen liittyviä korjauksia toteutetaan harvoin. Pienissä kunnissa on olennaista, että kunnan hallinnassa olevaa kiinteistöä pyritään pitämään yllä ja kehittämään kokonaisvaltaisesti. Kunnan rakennusten energiankulutuksille tulee asettaa konkreettiset ja realistiset toteutettavissa olevat tavoitteet. Tulossa oleva kuntauudistus voi antaa yhden mahdollisuuden hallita ja kehittää tehokkaammin olemassa olevaa rakennuskantaa, mutta samaan lopputulokseen on mahdollista päästä myös yhteistyössä useamman pienen kunnan rakennus- ja kiinteistöpuolen resursseja käyttäen. Yhtenä esimerkkinä on Kuopion alueen seutuvalvomo. Konseptia voidaan soveltaa myös muille

alueille, joilla on riittävä väestöpohja. On mahdollista, että tekniikan kehittyessä toiminta voidaan saada kannattavaksi myös pienemmällä väestöpohjalla.

Tässä hankkeessa oli tavoitteena

1. Rautavaaran kunnan kiinteistöjen energiansäästöpotentiaalin arvioiminen
2. Valitun kohteen vaipparakenteen lämpöteknisen toimivuuden selvittäminen ennen ja jälkeen ikkunoiden korjauksen
3. Valittujen kohteiden energiatehokkuuden selvittäminen laskennallisesti
4. Kiinteistöautomaatiojärjestelmien selvittäminen ja vertailu referenssikohteena Kiuruveden kaupunki

Projektille asetetut tavoitteet voidaan katsoa keskeisiltä osin saavutetuksi. Tämän hankkeen yhteydessä ei ollut mahdollista tutkia Rautavaaran kunnan koko rakennuskantaa vaan työssä on keskitytty esimerkkirakennuksiin.

4.4.2 Pieksämäen kaupunki

4.4.2.1 Yleistä Pieksämäen kaupungin kiinteistöjen hallinnasta

Pieksämäen kaupungin omistama kiinteistökanta käsittää kaiken kaikkiaan noin 140 kiinteistöä, joista julkisten rakennusten osuus on noin 75 % rakennuskannasta. Julkisia rakennuksia ovat mm. koulut, päiväkodit, hoitoalanrakennukset, toimistot sekä erityyppiset kokoontumisrakennukset. Pieksämäen kaupungin julkisista rakennuksista 87,9 % kuului vuonna 2009 kaukolämmön piiriin. Suurin osa ilmanvaihtojärjestelmistä on toteutettu koneellisella tulolla ja poistolla, joihin on lisäksi liitetty tarpeenmukaisesti lämmön talteenotto.

Pieksämäen kaupunki on viime vuosina ryhtynyt toimiin energiatehokkuuden parantamiseksi omistamissaan kiinteistöissä. Pieksämäen kaupunki on solminut Työ- ja elinkeinoministeriön laatiman energiatehokkuussopimuksen, jonka tavoitteena on vuoteen 2016 mennessä säästää eri toimenpiteillä kaupungin kokonaisenergiankulutuksesta 9 %. Koko kiinteistökannan (tilavuus 457 000 m³) toteutunut lämpöenergiankulutus vuonna 2010 oli 21 028 MWh vastaten sääkorjattuna ominaiskulutusta 44 kWh/m³. Koko kiinteistökannan sähkönkulutus oli vuonna 2010 8 380 MWh vastaten ominaiskulutusta 18,3 kWh/m³. Mikäli käytetään jäljempänä laskelmissa käytettyä kaukolämmön (51 €/MWh) ja sähköenergian (75 €/MWh) hintaa, kaupungin 9 % säästötavoite merkitsisi noin 153 000 €/vuosittaista säästöä.

Yhtenä energiansäästötoimenpiteenä on ollut Pieksämäen kaupungin kiinteistönpidon kehittäminen. Projektin kuluessa on mm. keskitytty huoltojen tehostamiseen ja kiinteistöjen sähköisen huoltokirjan laatimiseen sekä päivittämiseen LVI-tekniisten järjestelmien osalta. Pieksämäen kaupungilla on käytössä Insinööritoimisto Granlund Oy:n kehittämä RYHTI™ – ohjelmisto, jota päivitettiin ja muokattiin kaupungin tarpeiden mukaisesti. Energiankulutukseltaan keskeisille kiinteistöille (44 kpl) on laadittu ajantasaiset huoltosuunnitelmat sähköiseen muotoon sekä kerätty tietoa LVI-järjestelmistä ja niiden teknisestä kunnosta. Päivitetty RYHTI™ huoltokirja on otettu käyttöön, ja huoltohenkilökunnalle on annettu koulutusta huoltokirjan käytöstä.



Kahdelle valitulle kiinteistölle, Uimahallille ja Pääterveysasemalle, tehtiin energiatehokkuuslaskelmat Lamit- ohjelmistolla. Terveysaseman yhden kerroksen tiiveys mitattiin terveyskeskuksen omalla iv-järjestelmällä samalla kun kohde lämpökuvattiin kaksivaiheisesti ilmapuotojen sekä mahdollisten rakennuksen ulkovaipan puutteiden paikallistamiseksi. Lisäksi Uimahalli ja Urheilutalo lämpökuvattiin sisä- ja ulkopuolelta. Tiiviysmittauksen ja lämpökuvausten tulokset esitetään omissa kappaleissaan.

Sairaala-/pääterveysasemarakennuksen sähkön kulutuksen seurannan ja rakennuksessa toimivien yksiköiden sähkönkulutuksen laskutuksen tarkentamiseksi asennettiin vuoden 2011 - 2012 aikana pääkulutuskohteille erilliset alamittaukset. Järjestelmä on saatu käyttöön lopullisesti vuoden 2011 lopussa, joten tässä esitetään syksyltä 2011 valituilta jaksoilta käytettävissä olevat tulokset.

4.4.2.2 Pieksämäen rakennuskannan kulutusvertailu

Hankkeessa verrattiin Pieksämäen rakennuskannan lämmön, sähkön ja veden toteutuneita ominaiskulutuksia (vuosien 2007 – 2009 keskiarvot) Motivan kulutusvertailuaineiston mediaaniarvoihin. Vertailu tehtiin yhteensä 44 Pieksämäen rakennukselle.

4.4.2.2.1 Opetusrakennukset

Vertailun perusteella voidaan todeta seuraavaa:

- Opetusrakennuksia oli vertailussa viisitoista.
- Viiden kohteen toteutunut lämpöenergian kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli näiden kohteiden lämpöenergian kulutukset saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 790 MWh vuosittaista säästöä vastaten lämpöenergian hinnalla 51 €/MWh noin 40 000 €/vuosittaista säästöä.

Merkittävin säästö saataisiin tehostamalla Meriluodon ja Siilin koulujen lämpöenergian käyttöä. Näiden kahden kohteen lämpöenergiankulutus edustaa yli 75 % kaikkien opetusrakennusten lämpöenergian kulutuksesta ja laskennallinen säästöpotentiaali on noin 90 % koko säästöpotentiaalista. Säästöjä on tässä verrattu Motivan keskikulutukseen rakennuksen koko huomioon ottaen. Koska Kuntaliiton tilastojen mukaan (2008) opetusrakennusten keskikulutus on 46,2 kWh/m³ (Motiva 36 – 56,5 kWh/m³), näiden kahden koulun keskikulutus on lähellä Kuntaliiton tilaston arvoja ylittäen ne kuitenkin hieman. Koulujen osalta tarvitaan tarkempi lämpöenergian kulutuksen analysointi, mikäli energiansäästötoimenpiteitä toteutetaan.

Taulukko 45:

PIEKSÄMÄKI LÄMPÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
OPETUSRAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
NENONPELLON KOULU	3 175	30,1	56,5	-26,4	-47 %	-83,8	-4 274
JÄPPILÄN KK:N KOULU	1 430	32,2	56,5	-24,3	-43 %	-34,7	-1 769
HARJUN KOULU	17 072	27,5	41,8	-14,3	-34 %	-243,9	-12 441
PEIPOSJÄRVEN KOULU	2 149	37,3	56,5	-19,2	-34 %	-41,2	-2 103
VEHMASKYLÄN KOULU	2 385	38,3	56,5	-18,2	-32 %	-43,4	-2 212
MONITOIMITALO, JÄPPILÄ	8 050	49,6	56,5	-6,9	-12 %	-55,2	-2 814
TAHINIEMEN KOULU	3 540	49,8	56,5	-6,7	-12 %	-23,8	-1 214
LUKIO, KESKUSKATU 32	13 155	34,7	41,8	-7,1	-17 %	-92,8	-4 731
SEUTUOPISTO, LAAKSOTIE 47	8 310	52,9	56,5	-3,6	-6 %	-29,9	-1 524
KONTIOPUISTON KOULU	12 000	35,9	41,8	-5,9	-14 %	-70,6	-3 602
MONTOLAN KOULU	2 185	58,8	56,5	2,3	4 %	4,9	251
VIRTASALMEN KK:N KOULU	3 296	61,8	56,5	5,3	9 %	17,5	891
MAASELÄN KOULU	12 250	45,4	41,8	3,6	9 %	44,6	2 273
MERILUODON KOULU	27 645	47,5	36,0	11,5	32 %	317,1	16 174
SIILIN KOULU	22 027	54,8	36,0	18,8	52 %	414,8	21 153

- Viiden opetusrakennuksen toteutunut sähköenergian kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli näiden kohteiden sähköenergian kulutukset saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 90 MWh vuosittaista säästöä vastaten sähköenergian hinnalla 75 €/MWh noin 6 500 € vuosittaista säästöä. Merkittävin säästö saataisiin tehostamalla Jäppilän monitoimitalon ja Virtasalmen koulun sähköenergian käyttöä.

Taulukko 46:

PIEKSÄMÄKI SÄHKÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
OPETUSRAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
KONTIOPUISTON KOULU	12 000	4,3	12,4	-8,1	-65 %	-97,1	-7 285
NENONPELLON KOULU	3 175	6,7	11,0	-4,3	-39 %	-13,5	-1 016
MERILUODON KOULU	27 645	7,9	12,1	-4,2	-35 %	-115,6	-8 667
PEIPOSJÄRVEN KOULU	2 149	8,4	11,0	-2,6	-23 %	-5,5	-416
SEUTUOPISTO, LAAKSOTIE 47	8 310	8,5	11,0	-2,5	-23 %	-20,6	-1 548
SIILIN KOULU	22 027	9,4	12,1	-2,7	-22 %	-59,6	-4 470
HARJUN KOULU	17 072	10,0	12,4	-2,4	-20 %	-41,6	-3 122
VEHMASKYLÄN KOULU	2 385	9,7	11,0	-1,3	-12 %	-3,0	-227
MAASELÄN KOULU	12 250	11,2	12,4	-1,2	-9 %	-14,1	-1 061
LUKIO, KESKUSKATU 32	13 155	12,0	12,4	-0,4	-3 %	-5,7	-427
TAHINIEMEN KOULU	3 540	12,7	11,0	1,7	16 %	6,1	461
MONTOLAN KOULU	2 185	13,8	11,0	2,8	25 %	6,1	458
JÄPPILÄN KK:N KOULU	1 430	15,7	11,0	4,7	43 %	6,7	506
MONITOIMITALO, JÄPPILÄ	8 050	16,2	11,0	5,2	48 %	42,1	3 158
VIRTASALMEN KK:N KOULU	3 296	19,3	11,0	8,3	76 %	27,4	2 054

- Kolmen opetusrakennuksen toteutunut veden kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.

- Mikäli näiden kohteiden veden kulutukset saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 1 500 m³ vuosittaista säästöä vastaten veden hinnalla 2,8 €/m³ noin 4 000 €/vuosittaista säästöä.
- Säästöjä olisi saavutettavissa Harjun ja Siilin kouluissa edellyttäen, että kulutustiedot pitävät paikkansa.

Taulukko 47:

PIEKSÄMÄKI VESI	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero	Ero-%	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
				Motivan vertailuarvoon	Motivan vertailuarvoon	m ³ /a	€/a
OPETUSRAKENNUKSET:	r-m ³	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	%	m ³ /a	€/a
SEUTUOPISTO, LAAKSOTIE 47	8 310	25,6	98,0	-72,4	-74%	-601,4	-1 684
NENONPELLON KOULU	3 175	43,0	98,0	-55,0	-56%	-174,7	-489
JÄPPILÄN KK:N KOULU	1 430	46,9	98,0	-51,1	-52%	-73,1	-205
TAHINIEMEN KOULU	3 540	64,8	98,0	-33,2	-34%	-117,4	-329
MERILUODON KOULU	27 645	53,9	80,0	-26,1	-33%	-722,6	-2 023
MAASELÄN KOULU	12 250	58,2	87,0	-28,8	-33%	-352,8	-988
KONTIOPUISTON KOULU	12 000	60,7	87,0	-26,3	-30%	-316,0	-885
MONITOIMITALO, JÄPPILÄ	8 050	75,3	98,0	-22,7	-23%	-182,9	-512
LUKIO, KESKUSKATU 32	13 155	74,0	87,0	-13,0	-15%	-170,5	-477
VIRTASALMEN KK:N KOULU	3 296	125,3	98,0	27,3	28%	90,0	252
HARJUN KOULU	17 072	120,5	87,0	33,5	39%	572,2	1 602
SIILIN KOULU	22 027	118,8	80,0	38,8	49%	855,3	2 395

4.4.2.2.2 Hoitoalan rakennukset

Vertailun perusteella voidaan todeta seuraavaa:

- Hoitoalan rakennuksia oli vertailussa seitsemän.
- Neljän kohteen toteutunut lämpöenergian kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli näiden kohteiden lämpöenergian kulutukset saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 920 MWh vuosittaista säästöä vastaten lämpöenergian hinnalla 51 €/MWh noin 47 000 €/vuosittaista säästöä.
- Merkittävin säästö saataisiin tehostamalla sairaalan lämpöenergian käyttöä. Sairaalan lämpöenergiankulutus edustaa lähes puolta kaikkien hoitoalan rakennusten lämpöenergian kulutuksesta ja laskennallinen säästöpotentiaali on noin 85 % koko säästöpotentiaalista. Säästöjä on tässä verrattu Motivan keskikulutukseen. Koska Kuntaliiton tilastojen mukaan (2008) terveydenhoitoalan rakennusten keskikulutus on 71 kWh/m³ (Motiva 56 kWh/m³) ja kulutus vaihtelee kohteesta riippuen, tarvitaan tarkempi lämpöenergian kulutuksen analysointi, mikäli energiansäästötoimenpiteitä toteutetaan.

Taulukko 48:

PIEKSÄMÄKI LÄMPÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
HOITOALAN RAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
PSYKIATRIAN POLIKLINIKKA	4 100	39,3	66,6	-27,3	-41 %	-112,1	-5 717
JÄPPILÄN TERVEYSASEMA	2 030	49,6	66,6	-17,0	-26 %	-34,6	-1 764
PÄÄTERVEYSASEMA	24 705	43,5	55,9	-12,4	-22 %	-306,6	-15 637
VANHAINKOTI KERTTULA	10 600	53,0	49,6	3,4	7 %	36,3	1 853
KIVITASKU, VIRTASALMI	4 150	74,3	66,6	7,7	12 %	31,8	1 621
SAIRAALA ***	23 035	90,2	55,9	34,3	61 %	790,5	40 313
PELTOKARTANO, PALV.KESKUS JÄPPILÄ	1 179	118,1	66,6	51,5	77 %	60,7	3 098

- Viiden rakennuksen toteutunut sähköenergian kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli näiden kohteiden sähköenergian kulutukset saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 452 MWh vuosittaista säästöä vastaten sähköenergian hinnalla 75 €/MWh noin 34 000 €vuosittaista säästöä. Merkittävin säästö saataisiin tehostamalla sairaalan sähköenergian käyttöä.
- Sairaalan osalta sähkön käyttöä voidaan seurata aikaisempaa merkittävästi paremmin projektin kuluessa asennettujen alamittausten avulla. Alamittaukset ovat kokonaisuudessaan käytössä vuoden 2012 alusta alkaen. Alustavat mittaukset on esitetty erikseen. Sairaalan sähkön käytön tehostaminen voidaan toteuttaa, kun alamittauksista on kerätty riittävästi tietoa.

Taulukko 49:

PIEKSÄMÄKI SÄHKÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
HOITOALAN RAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
JÄPPILÄN TERVEYSASEMA	2 030	13,3	22,0	-8,7	-39 %	-17,6	-1 322
PELTOKARTANO, PALV.KESKUS JÄPPILÄ	1 179	21,1	22,0	-0,9	-4 %	-1,0	-78
VANHAINKOTI KERTTULA	10 600	26,6	24,2	2,4	10 %	25,5	1 910
HAMMASHOITOLA, KESKUSKATU 34	922	30,9	22,0	8,9	41 %	8,2	617
SAIRAALA ***	23 035	36,3	27,2	9,1	33 %	208,9	15 667
KIVITASKU, VIRTASALMI	4 150	51,2	22,0	29,2	133 %	121,3	9 096
KI OY NAARANPORTTI****	1 602	77,3	22,0	55,3	251 %	88,5	6 640

- Kahden rakennuksen toteutunut veden kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli näiden kohteiden veden kulutukset saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 2 900 m³ vuosittaista säästöä vastaten veden hinnalla 2,8 €/m³ noin 8 000 €vuosittaista säästöä.
- Säästöjä olisi saavutettavissa Palvelukoti Kivitaskussa sekä Peltokartanon palvelukeskuksessa. Rakennustyyppi ja kulutustiedot huomioon ottaen kulutukseen vaikuttavat tekijät täytyy tarkistaa. (Esimerkiksi Kivitaskussa on mattopesula, jonka veden kulutus on saman mittauksen alla).

Taulukko 50:

PIEKSÄMÄKI VESI	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailu-arvoon	Ero-% Motivan vertailu-arvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
HOITOALAN RAKENNUKSET:	r-m ³	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	%	m ³ /a	€/a
JÄPPILÄN TERVEYSASEMA	2 030	63,1	166,0	-102,9	-62 %	-209,0	-585
KI OY NAARANPORTTI	1 602	64,9	166,0	-101,1	-61 %	-161,9	-453
PÄÄTERVEYSASEMA	24 705	163,7	273,0	-109,3	-40 %	-2 700,0	-7 560
PSYKIATRIAN POLIKLINIKKA	4 100	110,0	166,0	-56,0	-34 %	-229,6	-643
VANHAINKOTI KERTTULA*)	10 600	175,8	232,0	-56,2	-24 %	-595,7	-1 668
SAIRAALA *)	23 035	249,0	273,0	-24,0	-9 %	-553,9	-1 551
PELTOKARTANO, PALV.KESKUS JÄPPILÄ	1 179	639,9	166,0	473,9	286 %	558,8	1 565
KIVITASKU, VIRTASALMI	4 150	729,4	166,0	563,4	339 %	2 338,1	6 547

4.4.2.2.3 Päiväkotirakennukset

Vertailun perusteella voidaan todeta seuraavaa:

- Päiväkotirakennuksia oli vertailussa seitsemän.
- Neljän kohteen toteutunut lämpöenergian kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli näiden kohteiden lämpöenergian kulutukset saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 150 MWh vuosittaista säästöä vastaten lämpöenergian hinnalla 51 €/MWh noin 7 700 €/vuosittaista säästöä.
- Merkittävin säästö saataisiin tehostamalla Kalevalan ja Harjun päiväkotien lämpöenergian käyttöä.

Taulukko 51:

PIEKSÄMÄKI LÄMPÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailu-arvoon	Ero-% Motivan vertailu-arvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
PÄIVÄKOTIRAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
MAASELÄN PÄIVÄKOTI	1 700	32,5	70,6	-38,1	-54 %	-64,7	-3 300
SIILIN PÄIVÄKOTI	1 915	50,5	70,6	-20,1	-28 %	-38,5	-1 961
NENONPELLON PÄIVÄKOTI	1 750	63,1	70,6	-7,5	-11 %	-13,1	-669
JÄPPILÄN RYHMIS	560	71,9	70,6	1,3	2 %	0,7	37
TAHINIEMEN PÄIVÄKOTI	2 075	69,0	57,9	11,1	19 %	22,9	1 169
KALEVALAN PÄIVÄKOTI	3 354	80,9	60,2	20,7	34 %	69,5	3 546
HARJUN PÄIVÄKOTI (SIS. HUOLTOLA)	2 904	78,0	57,9	20,1	35 %	58,4	2 977

- Kolmen rakennuksen toteutunut sähköenergian kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli näiden kohteiden sähköenergian kulutukset saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 4 MWh vuosittaista säästöä vastaten sähköenergian hinnalla 75 €/MWh noin 300 €/vuosittaista säästöä.

Taulukko 52:

PIEKSÄMÄKI SÄHKÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominaiskutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
						MWh/a	€/a
PÄIVÄKOTIRAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
MAASELÄN PÄIVÄKOTI	1 700	10,0	16,5	-6,5	-39 %	-11,1	-829
TAHINIEMEN PÄIVÄKOTI	2 075	15,8	21,4	-5,6	-26 %	-11,7	-876
HARJUN PÄIVÄKOTI (SIS. HUOLTOLA)	2 904	16,8	21,4	-4,6	-21 %	-13,3	-999
NENONPELLON PÄIVÄKOTI	1 750	14,0	16,5	-2,5	-15 %	-4,4	-331
SIILIN PÄIVÄKOTI	1 915	16,4	16,5	-0,1	0 %	-0,1	-8
KALEVALAN PÄIVÄKOTI	3 354	20,5	19,7	0,8	4 %	2,7	201
JÄPPILÄN RYHMIS	560	18,5	16,5	2,0	12 %	1,1	84

- Kolmen rakennuksen toteutunut veden kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli näiden kohteiden veden kulutukset saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 300 m³ vuosittaista säästöä vastaten veden hinnalla 2,8 €/m³ noin 850 €/vuosittaista säästöä.

Taulukko 53:

PIEKSÄMÄKI VESI	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominaiskutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
						m ³ /a	€/a
PÄIVÄKOTIRAKENNUKSET:	r-m ³	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	%	m ³ /a	€/a
TAHINIEMEN PÄIVÄKOTI	2 075	138,5	252,0	-113,5	-45 %	-235,5	-660
SIILIN PÄIVÄKOTI	1 915	138,9	211,0	-72,1	-34 %	-138,1	-387
JÄPPILÄN RYHMIS	560	140,2	211,0	-70,8	-34 %	-39,7	-111
KONTIOPUISTON PÄIVÄKOTI	2 476	171,6	252,0	-80,4	-32 %	-199,1	-558
KALEVALAN PÄIVÄKOTI	3 354	177,7	244,0	-66,3	-27 %	-222,4	-623
HARJUN PÄIVÄKOTI (SIS. HUOLTOLA)	2 904	268,1	252,0	16,1	6 %	46,7	131
NENONPELLON PÄIVÄKOTI	1 750	242,4	211,0	31,4	15 %	55,0	154
MAASELÄN PÄIVÄKOTI	1 700	329,9	211,0	118,9	56 %	202,1	566

4.4.2.2.4 Toimistorakennukset

Vertailun perusteella voidaan todeta seuraavaa:

- Toimistorakennuksia oli vertailussa kolme.
- Yhden kohteen toteutunut lämpöenergian kulutus ylitti hieman Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.

Taulukko 54:

PIEKSÄMÄKI LÄMPÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominaiskutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
						MWh/a	€/a
TOIMISTO- JA HALLINTORAKENNUKSET	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
KUNNANTALO KANTTILA	18 834	36,1	43,8	-7,7	-18 %	-145,8	-7 437
KUNNANVIRASTO VIRTASALMI	6 770	43,5	45,4	-1,9	-4 %	-12,9	-659
KAUPUNGINTALO, PERTINKUJA 1	12 831	43,9	43,8	0,1	0 %	1,7	86

- Kahden rakennuksen toteutunut sähköenergian kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli näiden kahden kohteen sähköenergian kulutukset saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 290 MWh vuosittaista säästöä vastaten sähköenergian hinnalla 75 €/MWh noin 22 000 € vuosittaista säästöä. Kaupungintalon sähkönkulutus poikkeaa merkittävästi muista rakennuksista ja Motivan vertailuarvosta. Näiden tietojen mukaan kaupungintalon kulutus on puolet toimistorakennusten kulutuksesta ja osuus on 85 % säästöpotentiaalista.

Taulukko 55:

PIEKSÄMÄKI SÄHKÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
TOIMISTORAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
KUNNANVIRASTO VIRTASALMI	6 770	9,2	13,8	-4,6	-33 %	-31,3	-2 347
KUNNANTALO KANTTILA	18 834	18,4	16,2	2,2	14 %	42,2	3 163
KAUPUNGINTALO, PERTINKUJA 1	12 831	35,5	16,2	19,3	119 %	248,1	18 607

- Yhden rakennuksen toteutunut veden kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli tämän kohteen veden kulutus saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 400 m³ vuosittaista säästöä vastaten veden hinnalla 2,8 €/m³ noin 1 100 € vuosittaista säästöä. Koska ominaiskulutus poikkeaa merkittävästi muista kohteista ja Motivan vertailuarvosta, kulustietojen oikeellisuus tulisi tarkistaa.

Taulukko 56:

PIEKSÄMÄKI VESI	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
TOIMISTORAKENNUKSET:	r-m ³	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	%	m ³ /a	€/a
KAUPUNGINTALO, PERTINKUJA 1	12 831	25,8	87,0	-61,2	-70 %	-785,3	-2 199
KUNNANTALO KANTTILA	18 834	36,4	87,0	-50,6	-58 %	-953,1	-2 669
KUNNANVIRASTO VIRTASALMI	6 770	129,3	69,0	60,3	87 %	408,4	1 143

4.4.2.2.5 Kokoontumisrakennukset

Vertailun perusteella voidaan todeta seuraavaa:

- Kokoontumisrakennuksia oli vertailussa kahdeksan.
- Yhden kohteen toteutunut lämpöenergian kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli tämän kohteen lämpöenergian kulutus saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä noin 250 MWh vuosittaista säästöä vastaten lämpöenergian hinnalla 51 €/MWh noin 13 000 € vuosittaista säästöä. Kohde on lämpökuvattu ja ulkoseinärakenteiden osalta tulokset on esitetty jäljempänä. Kohteeseen tarvittaisiin peruskorjaus.

Taulukko 57:

PIEKSÄMÄKI LÄMPÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
KOKOONTUMISRAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
KONTIOPIUSTON LIIKUNTAHALLI	9 635	16,4	34,4	-18,0	-52 %	-173,7	-8 859
KULTTUURIKESKUS POLEENI	32 968	19,6	34,2	-14,6	-43 %	-480,4	-24 499
UIMAHALLI	15 330	66,6	93,9	-27,3	-29 %	-419,1	-21 375
OJINTALO-LIIKUNTAHALLI, VIRTASALMI	5 064	27,7	34,4	-6,7	-19 %	-33,8	-1 724
JÄPPILÄTALO	2 350	37,4	44,7	-7,3	-16 %	-17,1	-873
JÄPPILÄN KIRJASTO	1 090	28,8	34,2	-5,4	-16 %	-5,9	-302
JÄRJESTÖTALO, PIEKSÄMÄKI	5 900	42,3	44,7	-2,4	-5 %	-14,4	-733
URHEILUTALO, OPINTIE	17 850	48,2	34,4	13,8	40 %	246,7	12 582

- Kaikkien rakennusten toteutunut sähköenergian kulutus alitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.

Taulukko 58:

PIEKSÄMÄKI SÄHKÖ	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
KOKOONTUMISRAKENNUKSET:	r-m ³	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	kWh/r-m ³ ,a	%	MWh/a	€/a
URHEILUTALO, OPINTIE	17 850	1,9	15,4	-13,5	-88 %	-240,6	-18 046
JÄPPILÄN KIRJASTO	1 090	6,1	19,7	-13,6	-69 %	-14,9	-1 115
OJINTALO-LIIKUNTAHALLI, VIRTASALMI	5 064	6,9	15,4	-8,5	-55 %	-42,9	-3 218
JÄRJESTÖTALO, PIEKSÄMÄKI	5 900	4,9	10,8	-5,9	-54 %	-34,7	-2 601
JÄPPILÄTALO	2 350	5,2	10,8	-5,6	-52 %	-13,2	-993
UIMAHALLI	15 330	19,1	39,9	-20,8	-52 %	-318,8	-23 906
KULTTUURIKESKUS POLEENI	32 968	10,1	19,7	-9,6	-49 %	-318,0	-23 847
KONTIOPIUSTON LIIKUNTAHALLI	9 635	7,9	15,4	-7,5	-48 %	-71,9	-5 395

- Yhden rakennuksen toteutunut veden kulutus ylitti Motivan vertailuaineiston mediaaniarvon.
- Mikäli tämän kohteen veden kulutus saataisiin pudotettua Motivan aineiston osoittamalle keskimääräiselle tasolle, merkitsisi tämä 100 m³ vuosittaista säästöä vastaten veden hinnalla 2,8 €/m³ noin 280 €/vuosittaista säästöä.

Taulukko 59:

PIEKSÄMÄKI VESI	Rakennuksen tilavuus	Rakennuksen ominais-kulutus*	Motivan vertailuarvo	Ero Motivan vertailuarvoon	Ero-% Motivan vertailuarvoon	Säästöpotentiaali vertailun perusteella	
KOKOONTUMISRAKENNUKSET:	r-m ³	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	dm ³ /r-m ³ ,a	%	m ³ /a	€/a
JÄPPILÄTALO	2 350	9,6	75,0	-65,4	-87 %	-153,8	-431
JÄPPILÄN KIRJASTO	1 090	17,9	71,0	-53,1	-75 %	-57,9	-162
URHEILUTALO, OPINTIE	17 850	23,7	78,0	-54,3	-70 %	-969,8	-2 715
KONTIOPIUSTON LIIKUNTAHALLI	9 635	26,0	78,0	-52,0	-67 %	-501,0	-1 403
UIMAHALLI	15 330	266,8	769,0	-502,2	-65 %	-7 698,8	-21 557
JÄRJESTÖTALO, PIEKSÄMÄKI	5 900	33,4	75,0	-41,6	-55 %	-245,5	-687
KULTTUURIKESKUS POLEENI	32 968	38,3	71,0	-32,7	-46 %	-1 078,7	-3 020
OJINTALO-LIIKUNTAHALLI, VIRTASALMI	5 064	99,9	78,0	21,9	28 %	111,0	311

4.4.2.3 Energiatehokkuuslaskelmat

4.4.2.3.1 Yleistä

Tässä projektissa on Pieksämäen kaupungin edustajan yhteistyössä valittujen kiinteistöjen energiatehokkuuslaskelmat toteutettu Lamit Oy:n kehittämällä energiatehokkuuden laskentaohjelmistolla (www.lamit.fi). Ohjelmiston nykyinen tuotenimi on Energiapremier. Laskelmat on tehty vuoden 2010 energiatehokkuusmääräysten mukaisesti. Energiapremier -ohjelmisto soveltuu hyvin rakennusten lämpöenergiankulutuksen tarkempaan analysointiin. Järjestelmästä saadaan suoraan myös energiatodistusmuotoinen raportti. Järjestelmä todettiin pienen alkuopetteluun jälkeen helppokäyttöiseksi. Laskelmia on helppo varioida sen jälkeen kun rakennuksen perustiedot on saatu kerätyksi. Tarkastelun kohteiksi valittiin pääterveysasema ja uimahalli. Energiatehokkuuslaskelmat on tehty nykytilanteen pohjalta ja niitä on verrattu kohteittain valittujen korjaustoimenpiteiden avulla saatuihin säästöihin ja takaisinmaksuaikoihin.

4.4.2.3.2 Pääterveysasema

Pääterveysaseman normeerattu (Jyväskylä) lämmönkulutus vuonna 2009 oli 1056,19 MWh ja ominaislämmönkulutus 42,8 kWh/rm³. Lamit-ohjelmalla laskettuna lämmönkulutukseksi saadaan 1154,6 MWh ja ominaislämmönkulutukseksi 46,7 kWh/rm³, kun laskennassa käytetään vuoden 1985 rakentamismääräysten mukaisia rakenteiden U-arvoja, suunnitelman mukaisia ilmamääriä ja ilmanvaihdon lämmön talteenoton vuosihyötysuhteena 30 % (nestekiertoinen LTO). Lamit-laskennan tulos on esitetty alla olevassa taulukossa. Laskelmissa on käytetty lämpöenergian hintana 55 €/MWh. Edellisissä rakennuskannan kulutusvertailuissa lämpöenergian hintana käytettiin 51 €/MWh. Toteutunut kulutus on 98,4 MWh (8,5 %) pienempi kuin Lamit-ohjelmalla laskettu kulutus. Tarkastelun perusteella ei voitu havaita merkittäviä lämpöenergian kulutusvuotoja. Pääterveysaseman nykyinen käyttö ja ylläpito on lämmitysenergian osalta taloudellista.

Taulukko 60: Pääterveysaseman Energiapremier – ohjelmalla laskettu lämpöenergiankulutus.

	kWh/a	kWh/m ² a	kWh/m ³ a	%
Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia	166 712	30,3	6,7	14 %
Kv-järjestelmän lämpöhäviöenergia	82 440	15,0	3,3	7 %
Rakennuksen vaipan lämpöhäviöenergia	366 438	66,7	14,8	32 %
Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia	107 784	19,6	4,4	9 %
Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia	1 113 653	202,6	45,1	96 %
Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia	98 928	18,0	4,0	9 %
Rakennuksen hyödynnetty lämpökuormaenergia	-781 391	-142,2	-31,6	-68 %
Rakennuksen lämmitysenergia yhteensä	1 154 564	210,1	46,7	100 %
Lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde (1,0)				
Rakennuksen lämmitysenergiankulutus yhteensä	1 154 564	210,1	46,7	

Vaikka pääterveysaseman tämän hetkinen lämmitysenergian kulutus on rakennuksen käyttöajat, rakenteet ja tekniset järjestelmät huomioiden normaalilla tasolla, voidaan mahdollista säästöpotentiaalia arvioida seuraavissa taulukoissa esitetyillä tavoilla.

Taulukko 61: Ulkoseinärakenteiden U-arvon muutoksen vaikutus Pääterveysaseman lämpöenergiankulutukseen, kun U-arvo muuttuu nykyisestä arvosta 0,24 W/m²K arvoon 0,17 W/m²K. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 5700€ (n. 4,5 €/ulkoseinä-m²).

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier -laskelma)	1 154 564	210,1	46,7
Kulutus korjauksen jälkeen	1 146 286	208,6	46,4
Ero	-8 278	-1,5	-0,3
Ero-%	-0,7 %	-0,7 %	-0,7 %

Taulukko 62: Yläpohjarakenteiden U-arvon muutoksen vaikutus Pääterveysaseman lämpöenergiankulutukseen, kun U-arvo muuttuu nykyisestä arvosta 0,15 W/m²K arvoon 0,09 W/m²K. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 7200 € (n. 3,7 €/yläpohja-m²).

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier -laskelma)	1 154 564	210,1	46,7
Kulutus korjauksen jälkeen	1 144 119	208,2	46,3
Ero	-10 445	-1,9	-0,4
Ero-%	-0,9 %	-0,9 %	-0,9 %

Taulukko 63: Ikkunoiden U-arvon muutoksen vaikutus Pääterveysaseman lämpöenergiankulutukseen, kun U-arvo muuttuu nykyisestä arvosta 1,8 W/m²K arvoon 1,0 W/m²K. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 29 700 € (n. 42,5 €/ikkuna-m²).

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier -laskelma)	1 154 564	210,1	46,7
Kulutus korjauksen jälkeen	1 111 567	202,3	45,0
Ero	-42 997	-7,8	-1,7
Ero-%	-3,7 %	-3,7 %	-3,7 %

Taulukko 64: Ilmavuotoluvun muutoksen vaikutus Pääterveysaseman lämpöenergiankulutukseen, kun ilmavuotoluku muuttuu nykyisestä arvosta 2,0 1/h arvoon 1,0 1/h. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 18 500 €

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier -laskelma)	1 154 564	210,1	46,7
Kulutus korjauksen jälkeen	1 127 837	205,2	45,7
Ero	-26 727	-4,9	-1,1
Ero-%	-2,3 %	-2,3 %	-2,3 %

Taulukko 65: Ilmanvaihdon lämmön talteenoton hyötysuhteen muutoksen vaikutus Pääterveysaseman lämpöenergiankulutukseen, kun vuosihyötysuhde muuttuu nykyisestä arvosta 40 % arvoon 50 %. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 123 000 €

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier -laskelma)	1 154 564	210,1	46,7
Kulutus korjauksen jälkeen	976 605	177,7	39,5
Ero	-177 959	-32,4	-7,2
Ero-%	-15,4 %	-15,4 %	-15,4 %

4.4.2.3.3 Uimahalli

Uimahallin normeerattu (Jyväskylä) lämmönkulutus vuonna 2010 oli 1145,39 MWh ja ominaislämmönkulutus 74,4kWh/rm³.

Lamit-ohjelmalla laskettuna lämmönkulutukseksi saadaan 1294,1 MWh ja ominaislämmönkulutukseksi 84,4 kWh/rm³, kun laskennassa käytetään vuoden 2007 rakentamismääräysten mukaisia rakenteiden U-arvoja. Ilmamäärinä on käytetty 0,75 % ilmoitetuista ilmamääristä (CO₂- ja kosteusohjaus) ja käyntiaikoina konekohtaisesti ilmoitettuja aikoja. Ilmanvaihdon lämmön talteenoton vuosihyötysuhteena 50 %. Lamit-laskennan tulos on esitetty alla olevassa taulukossa.

Toteutunut kulutus on 149 MWh (13 %) pienempi kuin Lamit-ohjelmalla laskettu kulutus. Tarkastelun perusteella ei voitu havaita merkittäviä lämpöenergian kulutusvuotoja. Uimahallin nykyinen käyttö ja ylläpito on lämmitysenergian osalta taloudellista.

Taulukko 66: Uimahallin Energiapremier – ohjelmalla laskettu lämpöenergiankulutus.

	kWh/a	kWh/m ² a	kWh/m ³ a	%
Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia	299 780	115,5	19,6	23 %
Kv-järjestelmän lämpöhäviöenergia	18 171	7,0	1,2	1 %
Rakennuksen vaipan lämpöhäviöenergia	337 404	130,0	22,0	26 %
Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia	48 808	18,8	3,2	4 %
Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia	966 767	372,5	63,1	75 %
Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia	46 719	18,0	3,0	4 %
Rakennuksen hyödynnetty lämpökuormaenergia	-423 526	-163,2	-27,6	-33 %
Rakennuksen lämmitysenergia yhteensä	1 294 123	498,6	84,4	100 %
Lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde (1,0)				
Rakennuksen lämmitysenergiankulutus yhteensä	1 294 123	498,6	84,4	

Vaikka uimahallin tämän hetkinen lämmitysenergian kulutus on rakennuksen käyttäjät, rakenteet ja tekniset järjestelmät huomioiden normaalilla tasolla, voidaan mahdollista säästöpotentiaalia arvioida seuraavissa taulukoissa esitetyillä tavoilla.

Taulukko 67: Ulkoseinärakenteiden U-arvon muutoksen vaikutus Uimahallin lämpöenergiankulutukseen, kun U-arvo muuttuu nykyisestä arvosta 0,24 W/m²K arvoon 0,17 W/m²K. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 20500€ (n. 9 €/ulkoseinä-m²).

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier -laskelma)	1 294 123	498,6	84,4
Kulutus korjauksen jälkeen	1 264 413	487,2	82,5
Ero	-29 710	-11,4	-1,9
Ero-%	-2,3 %	-2,3 %	-2,3 %

Taulukko 68: Yläpohjarakenteiden U-arvon muutoksen vaikutus Uimahallin lämpöenergiankulutukseen, kun U-arvo muuttuu nykyisestä arvosta 0,15 W/m²K arvoon 0,09 W/m²K. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 14700€ (n. 8 €/yläpohja-m²).

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier -laskelma)	1 294 123	498,6	84,4
Kulutus korjauksen jälkeen	1 272 826	490,4	83,0
Ero	-21 297	-8,2	-1,4
Ero-%	-1,6 %	-1,6 %	-1,6 %

Taulukko 69: Ikkunoiden U-arvon muutoksen vaikutus Uimahallin lämpöenergiankulutukseen, kun U-arvo muuttuu nykyisestä arvosta 1,4 W/m²K arvoon 1,0 W/m²K. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 20 800 € (n. 53 €/ikkunam²).

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier -laskelma)	1 294 123	498,6	84,4
Kulutus korjauksen jälkeen	1 264 010	487,0	82,5
Ero	-30 113	-11,6	-2,0
Ero-%	-2,3 %	-2,3 %	-2,3 %

Taulukko 70: Ilmavuotoluvun muutoksen vaikutus Uimahallin lämpöenergiankulutukseen, kun ilmavuotoluku muuttuu nykyisestä arvosta 2,0 1/h arvoon 1,0 1/h. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 9450 €.

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier -laskelma)	1 294 123	498,6	84,4
Kulutus korjauksen jälkeen	1 280 459	493,3	83,5
Ero	-13 664	-5,3	-0,9
Ero-%	-1,1 %	-1,1 %	-1,1 %

Taulukko 71: Ilmanvaihdon lämmön talteenoton hyötysuhteen muutoksen vaikutus Uimahallin lämpöenergiankulutukseen, kun vuosihyötysuhde muuttuu nykyisestä arvosta 50 % arvoon 60 %. Lämpöenergianhinnalla 55€/MWh ja takaisinmaksuajalla 10 vuotta korjausinvestointi saisi maksaa korkeintaan n. 113800 €.

	kWh/a	kWh/brm ² ,a	kWh/m ³ ,a
Nykyinen kulutus (Energiapremier -laskelma)	1 294 123	498,6	84,4
Kulutus korjauksen jälkeen	1 129 570	435,2	73,7
Ero	-164 553	-63,4	-10,7
Ero-%	-12,7 %	-12,7 %	-12,7 %

4.4.2.4 Sähkön kulutusjakauman selvittäminen

4.4.2.4.1 Sairaala / pääterveysasema

Sairaala-pääterveysasemarakennukseen on asennettu vuoden 2011 aikana sähkön alamittausjärjestelmä. Alamittausjärjestelmä käsittää 35 analysaattoria, joiden avulla sähkön kulutusjakauma sairaalan, pääterveysaseman ja talous- ja muiden rakennusten välillä pystytään tulevaisuudessa selvittämään muun muassa tiloissa toimivien yritysten sähkönkulutuksen laskuttamiseksi. Järjestelmästä on saatu lähes täydeltä laajuudeltaan kulutustietoja syksyiltä 2011, erityisesti joulukuun toiselta puoliskolta lähtien. Sähkönkulutus mitataan tuntikulutuksina.

Sairaalan sähkönkulutus vuonna 2010 oli 2 260 MWh, sisältäen myös pääterveysaseman, talousrakennuksen sekä muita yksiköitä. Kun käytetään aikaisemmissa laskelmissa käytettyä sähkön hintaa (75 €/MWh), sähköenergian kustannus on n. 170 000 €. Sähköenergian jakaumaa voidaan arvioida vasta kun alamittauksista on saatu riittävästi tietoa. Sairaalan sähköenergiankulutus



joulukuussa 2011 (29.11.2011-2.1.2012) oli n. 97 718 kWh (97,7 MWh). Talousrakennuksen (mukana keskuskeittiö) vastaava kulutus oli n. 27 416 kWh (27,4 MWh). Pääterveysaseman kulutus ei sisälly näihin lukemiin.

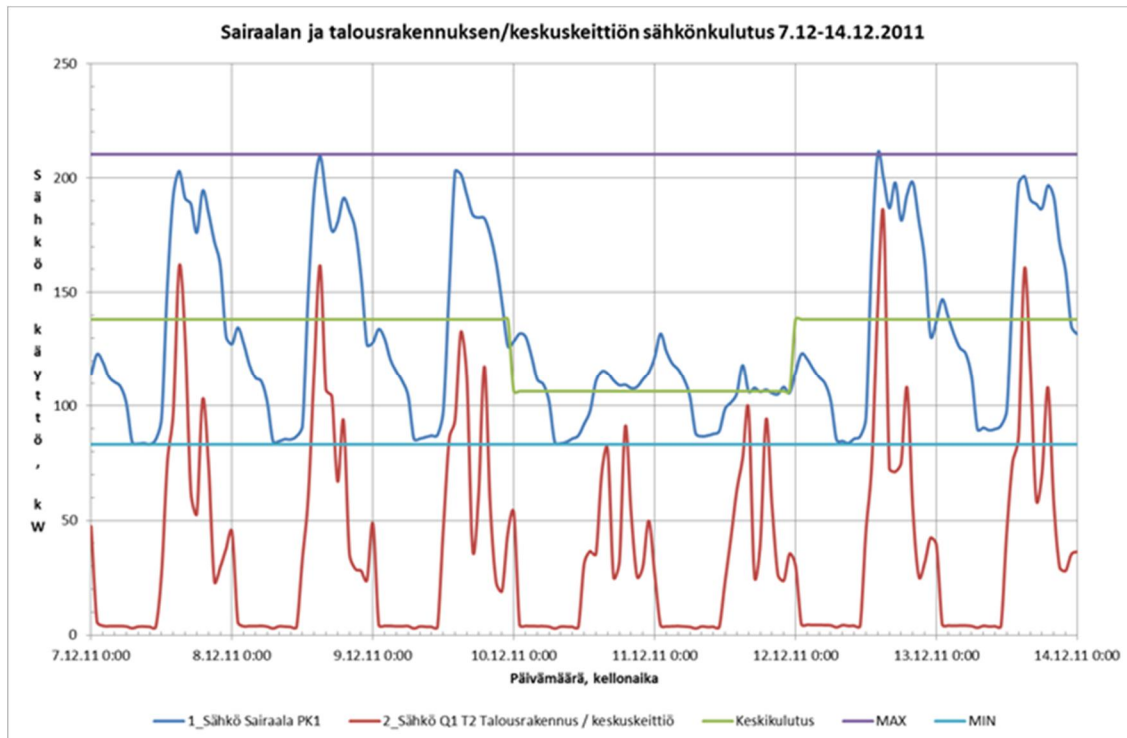
Seuraavissa taulukoissa ja kuvissa on esitetty sairaalan ja terveysaseman sekä keskuskeittiön sähköenergian kulutukset joulukuulta kolmen lyhyen jakson ajalta: Viikolta 49-50 (7.12-14.12.2011, ei pääterveysasemaa), viikolta 51, 20-23.12.2011 (ei pääterveysasemaa) ja viikolta 52, 27-30.12. Viikkojen 51 ja 52 kulutus edustaa arkipäivien aikaista kulutusta. Taulukossa 72. on esitetty ajanjaksojen keskikulutukset (kWh), maksimi- ja minimiarvot (kWh) sekä kumulatiiviset kulutukset, kWh. Taulukossa 73. ja kuvassa 36. on esitetty pääkuluttajien (sairaala, pääterveysasema, keskuskeittiö, sairaalan ja pääterveysaseman yhteinen kulutus joulukuun lopusta (20.12.2011-2.1.2012), ajalta jolloin mittaukset olivat lähes täydessä laajuudessaan käytettävissä.

Taulukko 72: Sairaalan ja talousrakennuksen sähkönkulutus 7.12.2011 0:00 -14.12.2011 24:00 jaksolta

Jakso 7.12-14.12.2011	Sairaala	Talousrakennus / keskuskeittiö
Kumulatiivinen kulutus, kWh	77469	6168
Keskiteho, kW	129	36
Keskiteho, arkip., kW	138	40
Keskiteho, vl, kW	106	28
Max teho, kW	210	184
Min teho, kW	83	3

Jakso sisältää yhden viikonlopun (la, su) ja 5 arkipäivää. Jakson kulutus on esitetty kuvassa .

Tulosten perusteella voidaan arvioida että sairaalan ja pääterveysaseman kuluttama keskiteho on luokkaa 160 – 170 kW. Sairaalaosan käyttämä keskiteho on n. 120 - 130 kW ja terveysaseman n. 35 kW. Talousrakennuksen keskiteho on n. 35 kW. Talousrakennuksen sähkönkulutus koostuu lähes täysin keskuskeittiön kulutuksesta. Keittiön kulutusvaihtelu on suurempaa kuin terveyskeskuksen kulutuksen vuorokausivaihtelu. Talousrakennuksen kulutuksessa on kolme huippua (ruoanvalmistus), ja kulutus on suurimmillaan > 150 kW. Yöaikaan pohjakulutus on 3 – 5 kW. Sairaalaosan pohjakulutus on luokkaa 80 kW ja maksimissaan luokkaa 200 kW. Terveyskeskusosan pohjakulutus on n. 25 - 30 kW ja huippukulutus n. 70 – 80 kW. Mittauksen piirissä olevien kuluttajien keskimääräinen teho on n. 200 kW, josta sairaalan osuus on noin 65 % eli n. 2/3, talousrakennuksen (keittiö) osuus n. 17 % (1/6) ja terveyskeskuksen n. 18 % (1/6). Kulutuksen vaihtelu etenkin arkipäivinä on suurta, luokkaa ± 100 kW keskiarvoon verrattuna.



Kuva 36 . Sairaalaosan ja talousrakennus/keskuskeittiön sähkönkulutus 7.12-14.2.2011

Taulukko 73: Sairaalan ja talousrakennuksen sähkönkulutus 20.12.2011 0:00 -23.12.2011 24:00 jaksolta

Jakso 20.12-23.12.2011	Sairaala	Talousrakennus / keskuskeittiö
Kumulatiivinen kulutus, kWh	13488	3628
Keskiteho, kW	139	37
Max teho, kW	242	153
Min teho KW	81	3

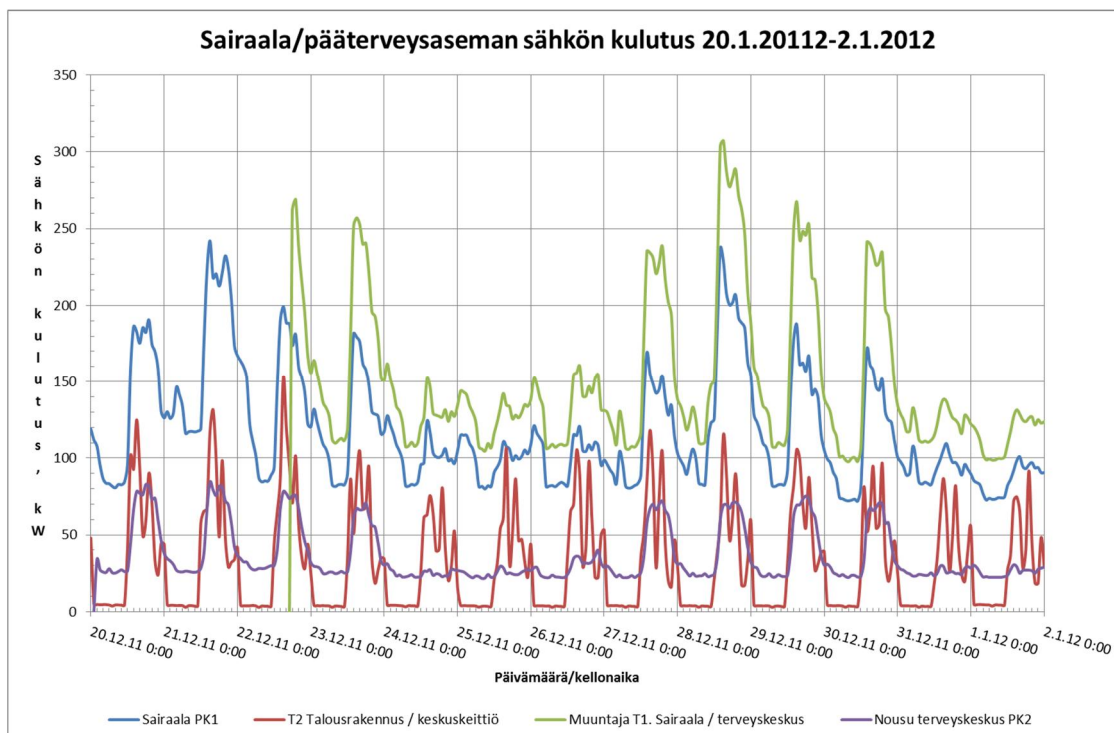
Taulukko 74: Sairaalan ja talousrakennuksen sähkönkulutus 27.12.2011 0:00 -30.12.2011 24:00 jaksolta

Jakso 27.12-30.12.2011	Sairaala +terveyskeskus	Talousrakennus / keskuskeittiö	Sairaala PK1	Nousu terveyskeskus PK2
Kumulatiivinen kulutus, kWh	16506	3139	11983*	3960*
Keskiteho, kW	170	32	124*	41*
Max teho, kW	307	118	237*	75*
Min teho KW	98	3	72*	22*

*ei sisällä kaikkea kulutusta

Taulukko 75: Sairaalan ja talousrakennuksen sähkönkulutus 22.12.2011 0:00 -01.01.2012 24:00 jaksolta

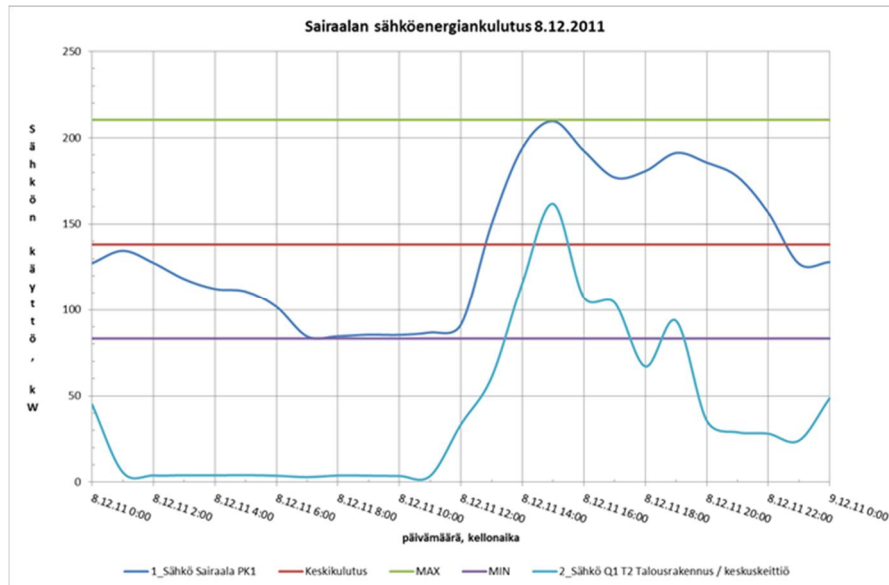
Jakso 22.12-02.1.2012	Sairaala +terveyskeskus	Talousrakennus/keskuskeittiö	Sairaala PK1	Nousu terveyskeskus PK2
Kumulatiivinen kulutus, kWh	36949	7636	27415*	8406*
Keskiteho, kW	150	31	111*	34*
Max teho, kW	307	118	237*	76*
Min teho kW	98	3	72*	22*



Kuva 37. Sairaalan, pääterveysaseman ja talousrakennuksen sähkönkulutus 20.12.2011-2.1.2012

Sairaaloitten ja terveyskeskusten sähkönkulutuksen jakautumasta ei ole saatu yksityiskohtaisia tietoja, mutta on arvioitu että ison sairaalarakennuksen sähkönkulutuksesta valaistuksen osuus voisi olla luokkaa n. 40 % ja vuodeosastoilla > 40 %. Jos käytetään joulukuulta sairaalan ja terveyskeskuksen keskimääräisenä yhteiskulutuksena 160 kW, se tarkoittaisi esim. syksyn aikana 3 kk:n jaksolla n. 350 MWh. Todennäköisesti keskimääräinen vuosittainen kulutus on tätä pienempi (keskimääräinen teho pienempi). Kolmen kuukauden sairaalan+terveyskeskuksen (pl. talousrakennus) sähköenergiakustannus olisi laskennassa käytetyllä sähkön hinnalla n. 26 000 €/3 kk. Valaistuksen osuus (40 %) olisi tällöin luokkaa 10 000 € Mikäli valaistuksen ohjauksella ja siirtymällä vähiten energiaa kuluttaviin lampuihin, säästöpotentiaali/3 kk > 5000 € (vähintään 50 %:n säästö). Kun alamittaukset otetaan tehokkaasti käyttöön ja eri kulutuskohteiden sähkön käyttöä voidaan seurata, pystytään arvioimaan tarkemmin myös sähkön säästöpotentiaalia. Todennäköisesti alamittauksen asennuskustannukset, n. 20 000 € pystytään saamaan suhteellisen lyhyellä ajalla takaisin.

Kuvassa 38. on vielä esitetty sairaalan ja talousrakennuksen kulutus viikolla 49, 8.12.2011.



Kuva 38. Sairaalan ja talousrakennuksen päiväkohtainen kulutus 8.12.2011

4.4.2.5 Yhteenveto

Kaupungin asettama 9 % säästötavoite vuoteen 2016 mennessä on mahdollista saavuttaa. Energiansäästötavoitteiden peruslähtökohta on se, että kaupungin kiinteistökannan lämpöenergian, sähkön ja veden kulutukset ovat mitattu mahdollisimman luotettavasti sekä kulutustiedot on käsitelty siten, että energian- ja kiinteistönhallinnasta vastaavilla henkilöillä on käytössään reaaliaikaiset kulutustiedot rakennuksittain ja rakennustyypeittäin. Sairaalasta ja pääterveysasemalta aloitettua sähkön alamittauksia tulee mahdollisuuksien mukaan laajentaa koskemaan myös muita kulutuksen kannalta keskeisiä kiinteistöjä.

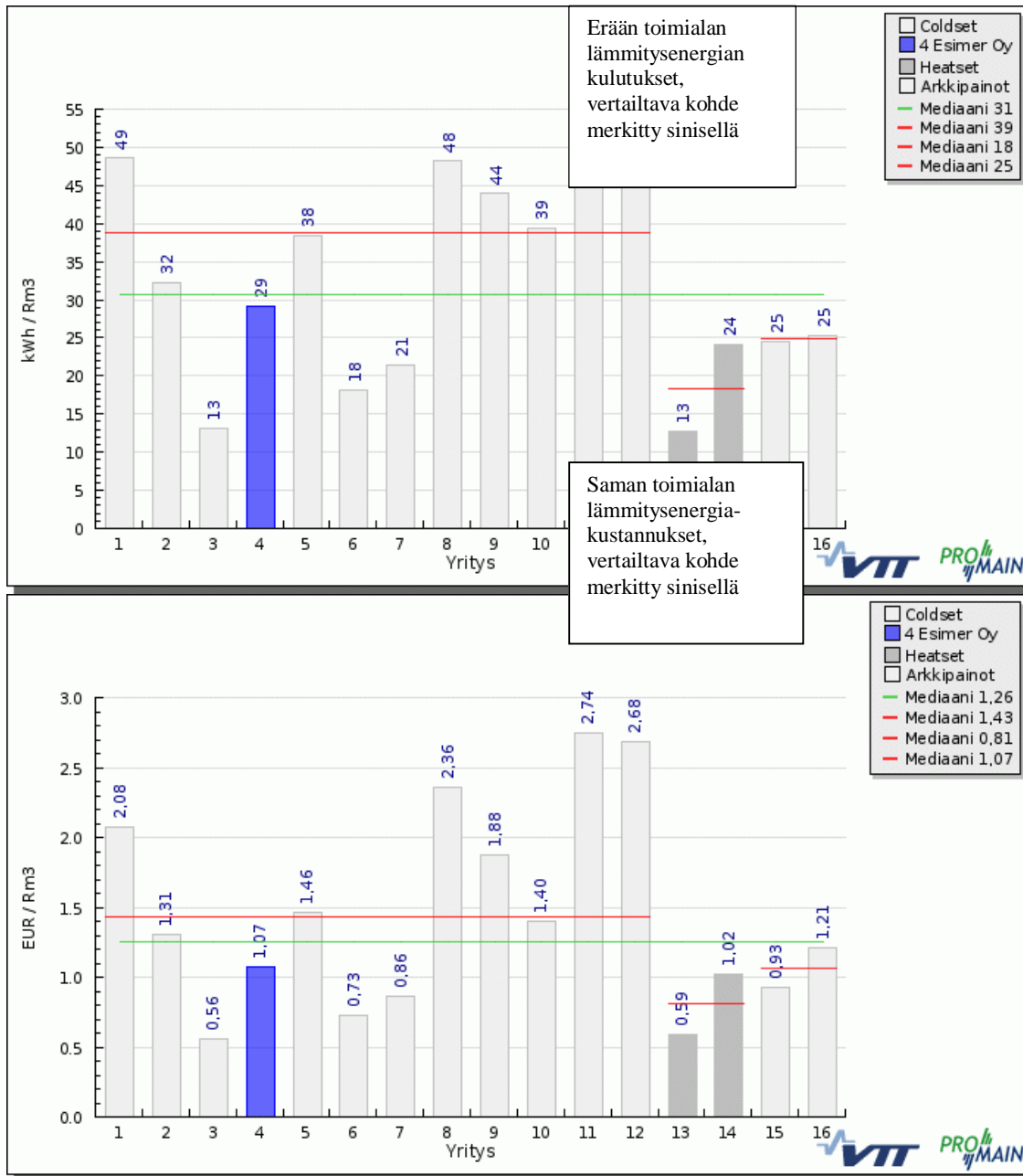
Seuraavassa taulukossa on esitetty kooste rakennuskannan säästöpotentiaalista Motivan vastaavanlaisten rakennusten mediaanikulutukseen verrattuna:

Taulukko 76:

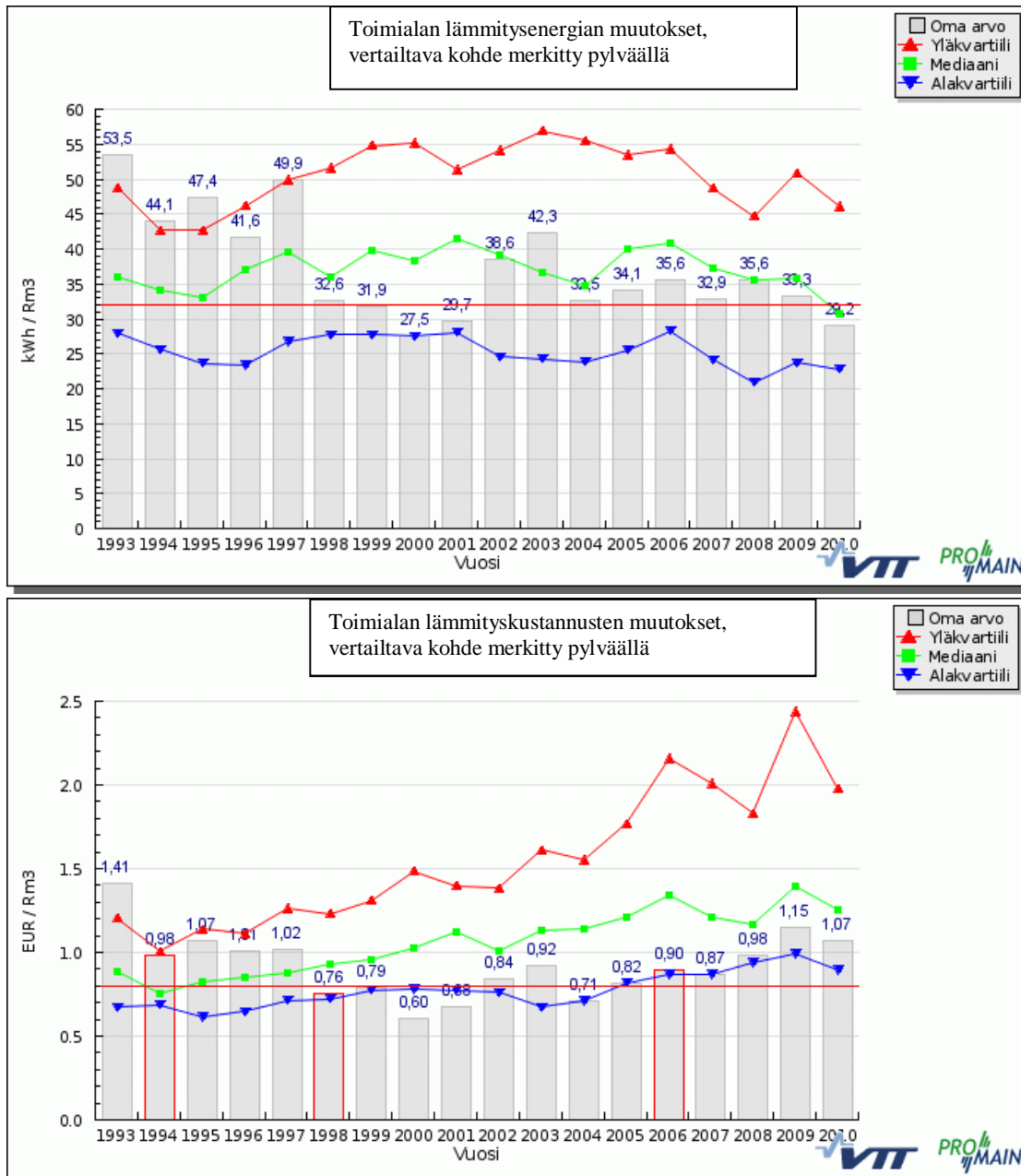
Rakennustyyppi	Lämpö (MWh/a)	Lämpö (€/a)	Sähkö (MWh/a)	Sähkö (€/a)	Vesi (m ³ /a)	Vesi (€/a)	Yhteensä (€/a)
Opetusrakennukset	790	40 000	90	6 500	1 500	4 000	50 500
Hoitoalan rakennukset	920	47 000	450	34 000	2 900	8 000	89 000
Päiväkotirakennukset	150	7 700	4	300	300	850	8 850
Toimistorakennukset	-	-	290	22 000	400	1 100	23 100
Kokoontumisrakennukset	250	13 000	-	-	100	280	13 280
YHTEENSÄ	2 110	107 700	834	62 800	5 200	14 230	184 730

Edellä esitetyn laskelman perusteella rakennuksissa on luokkaa 185 000 € vuosittainen säästöpotentiaali. Yksittäisten rakennusten ja rakennustyyppien kohdalla säästöpotentiaali riippuu tietenkin siitä, miten tehokkaasti rakennusta käytetään tällä hetkellä ja toisaalta siitä, minkälaiset investoinnit ovat käytettävissä asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Kymmenen vuoden takaisinmaksuajalla ja 5 % korolla tämä vastaa noin 2,3 M€ investointia. Kaikissa rakennusryhmissä voidaan osoittaa selkeästi suurimmat kuluttajat, joissa on määrällisesti suurimmat säästömahdollisuudet. Silti vähemmän kuluttavissa rakennuksissa voidaan löytää suhteellisesti suurempia säästöjä. Ensisijaiset toimenpiteet kannattaa keskittää suurimpiin kuluttajiin, koska saatavat rahalliset säästöt ovat näissä suurimmat. Edellä esitetyn suuntaa antavan koosteen perusteella säästöpotentiaali on samaa luokkaa, jopa suurempi kuin kaupungin asettama tavoite. Edellä esitetyt säästömahdollisuudet perustuvat Motivan tilastojen mediaanikulutuksiin, jotka poikkeavat jonkin verran Kuntaliiton tilastoimista keskiarvokulutuksista. Yksittäisten rakennusten kohdalla energiansäästö voi poiketa edellä esitetystä laskelmista. Rakennuskohtaiset energiansäästömahdollisuudet saadaan tarkemmin energiakatselmuksen avulla. Helpoimmin toteutettavat investoinnit ovat ns. nollainvestointeja/lähes nollainvestointeja: ilmanvaihdon käyntiajat, sisälämpötilojen alentaminen, valaistuksen tarpeen mukainen käyttö jne.

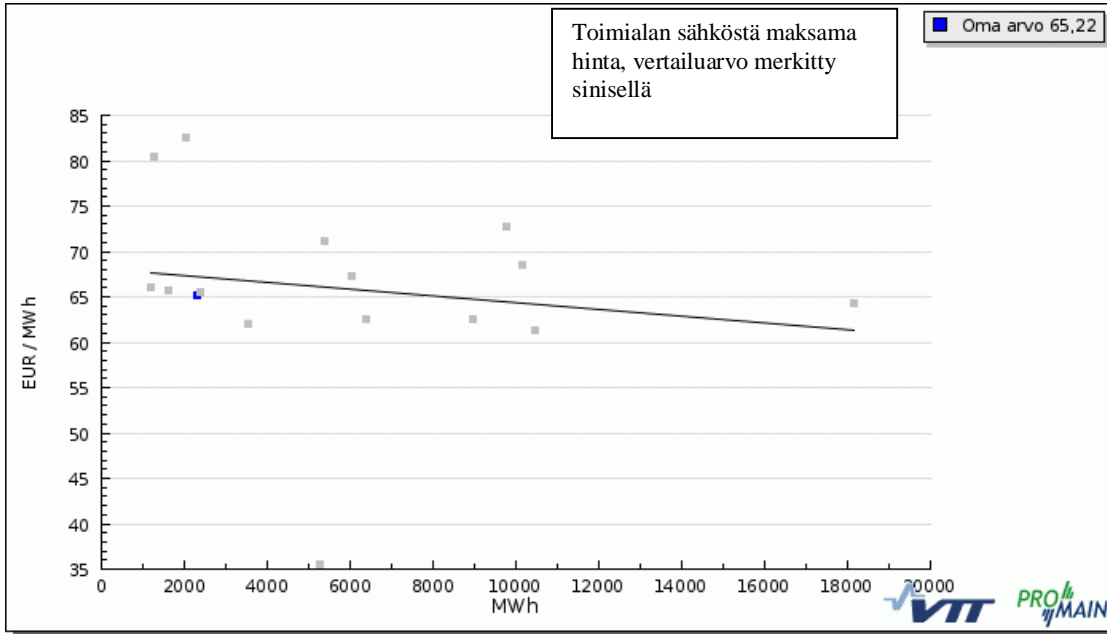
Kulutustietojen perusteella ja niitä vertailemalla muihin vastaaviin rakennuksiin voidaan energiakatselmuksen kohdistaa oikein ja tulosten perusteella suunnitella lyhyen ja pitkän aikavälin toimenpiteet. Päivitetyn RYHTITM -ohjelmiston avulla voidaan rakennusten käyttöä ja huoltoa suunnitella ja toteuttaa tulevaisuudessa paremmin kuin ennen. Seuraavissa kuvissa 39 - 42 on esitetty esimerkkejä siitä, miten erään teollisuudenhaaran yritysten lämmitys- ja sähköenergiankulutusta voidaan vertailla keskenään tasotestivertailun eli benchmarkkauksen avulla (Promain Oy).



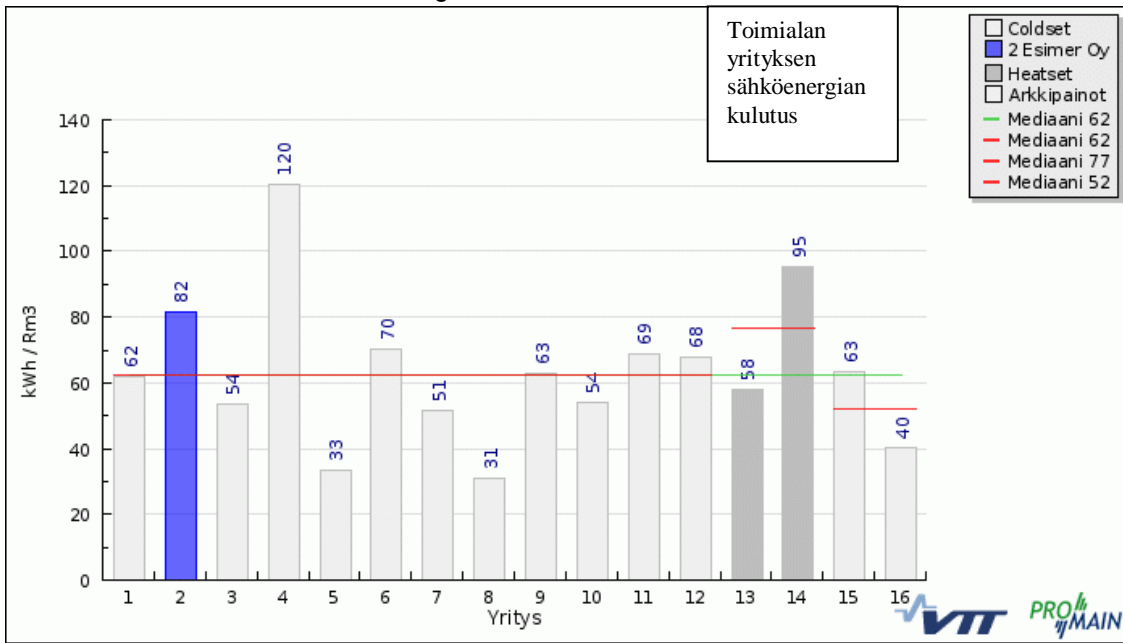
Kuva 39 A-B: Erään toimialan/yrityksen lämmitysenergian kulutus ja -kustannukset



Kuva 40 A-B: Erään toimialan/yrityksen lämmitysenergian ja kustannusten muutokset



Kuva 41. Erään toimialan sähköenergian hinta/kulutus



Kuva 42. Erään toimialan sähköenergian kulutus

Samantyyppisellä systematiikalla, mikäli rakennuksista kerätty tieto saadaan siihen muotoon että tuloksia voidaan käsitellä ja tulostaa raporteja voidaan energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä analysoida.

Seuraavalle viidelle vuodelle tehty energiatehokkuussopimus ja säästötavoitteiden saavuttaminen edellyttää, että seuraavat alla mainitut osatekijät ovat osana määrätietoisesti toteutettavaa toimenpideohjelmaa.

- monitorointi (tietojen kerääminen) ja tarvittavan instrumentoinnin täydentäminen (investoinnit)
- kerättyjen tietojen analysointi esim. olemassa olevan kiinteistönhallintaohjelmiston pohjalla

- katselmukset ja kuntoarviot rakennuksissa
- lyhyen ja pitkän aikavälin energiansäästötoimenpiteiden suunnittelu
- mahdollisten investointivaihtoehtojen selvittäminen ja laskelmat
- rakennusten asianmukainen käyttö

Tässä hankkeessa oli tavoitteena

5. Pieksämäen kaupungilla käytössä olevan kiinteistönhallintaohjelmiston täydentäminen, tietojen ajan tasalle saattaminen ja käyttökoulutus
6. Sähkön alamittausten kehittäminen ja kokeilu
7. Erikseen valittujen kohteiden vaipparakenteiden lämpöteknisen toimivuuden ja energiatehokkuuden selvittäminen
8. Tulosten perusteella tehtävät suositukset jatkotoimenpiteiksi

Projektille asetetut tavoitteet voidaan katsoa pääosin saavutetuksi. Tämän hankkeen yhteydessä ei ollut mahdollista tutkia Pieksämäen kaupungin koko rakennuskantaa vaan työssä on keskitytty muutamaasi esimerkkirakennuksiin.

5 Maalämpöenergian ja lämpimän kiertoilman talteenoton hyödyntäminen rakennuksissa

5.1 Johdanto

Tämä loppuraportti tarkentaa ENEFIR-hankkeen projektisuunnitelmassa esitettyjä kuvauksia ja tuloksia työpaketin WP4 osalta. Tehtävänä oli tutkia energian talteenottoa erillisellä etämittaajajärjestelmän avulla maalämpöpumpusta. Tässä työpaketissa tutkittiin muun muassa maalämpöpumpun energiatasojen vaihtelua vuoden pituisella mittausjaksolla. Optimoitiin ja analysoitiin lämpöpumppujen tuottamaa mittausdataa eri vuodenaikoina. Tehtiin lämpökäyriin ns. kriittisiä muutoksia ja seurattiin vaikutusta energian kulutukseen. Samalla selvitettiin etäohjausjärjestelmien vaikutusta energiankulutukseen (lähinnä sähkövastuksen ja kompressorin käyttöasteen tutkimus kun ohjattu lämpötilanpudotus -toiminto päälle ja pois). Tämä on ollut ongelmana lähinnä vanhemmissa ohjausyksiköissä, joissa ei ole epälineaarista lämpökäyrän asetusta.

5.1.1 Projektin kuvaus lämpöpumppututkimuksen osalta

Itä-Suomen yliopisto on tutkinut Tekes-rahoitteisessa ENEFIR-hankkeessa maalämpöpumppujen energiatehokkuutta sekä niiden etäohjausta sekä monitorointia. Pääasiallinen kohde sijaitsi omakotitalossa Suonenjoella. Kuopion kohde ei kuulunut ENEFIR-hankkeeseen sillä tutkimukset siellä on käynnistetty huomattavasti aiemmin. Ko. kohdetta käytettiin kuitenkin hankkeen aikana referenssijärjestelmänä muun muassa mittauksen ja analyysien osalta. Kuopion kohteen asuinpinta-ala 258 neliötä ja Suonenjoen kohteen 170 neliötä. Molemmissa kohteissa oli saman valmistajan lämpöpumput, mutta Suonenjoen kohteessa oli käytössä uuden tyyppinen inverter – tekniikalla toimiva pumppu. Tässä mallissa kompressorin ja kiertovesipumppu toimivat portaattomasti eli siinä säädetään kierroslukunopeutta. Pumppujen asennuksen hoiti hankkeen virallinen

yhteistyökumppani, Varkauden IVT Center. Kuopion kohteessa käytetään IVT Greenline E15 mallia (15 kW) ja Suonenjoella IVT Premiumline X11 (11 kWh).

Tutkimuksessa on verrattu maalämmön energiatehokkuutta suoraan sähkölämmitykseen. Lisäksi tutkimuksessa on analysoitu etäohjaus- ja monitorointijärjestelmän hyödyllisyyttä sekä tehty mahdollisia optimointeja pumpun säätöihin. Suonenjoen kohteen etäohjaus – ja monitorointijärjestelmä on Itä-Suomen yliopiston kehittämä ja Kuopion kohteen silloisen erikoistutkijan (Jouni Huhtinen, TkT) itse kehittämä IVT:n Rego6xx sarjan lämpöpumpun kontrolleriin.

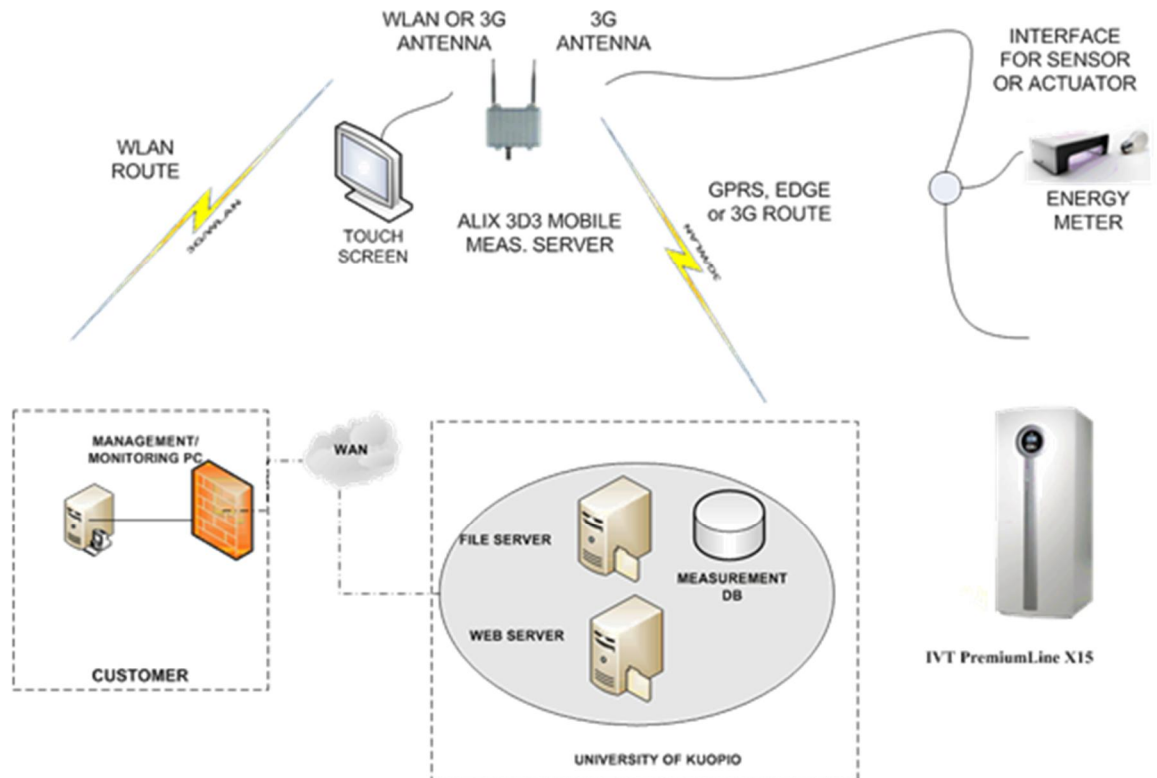
5.1.2 Tulokset

- Malli, joiden mukaisesti energiaa on säästetty vuoden mittausjakson aikana.
- Ohjelmisto, jolla seurataan reaaliaikaisesti lämpöpumpun toimintaa.
- Ohjelmisto, joka raportoi mittauksia erilaisilla energiatrendeillä halutuilta mittausjaksoilta.
- Sähkövastuksen ja kompressorin käyttöasteisiin vaikuttavat säädöt ja tekijät.

5.2 Web-pohjainen online analysointijärjestelmä energian kulutuksen seurantaan ja optimointiin

5.2.1 Tiedonsiirtoratkaisu

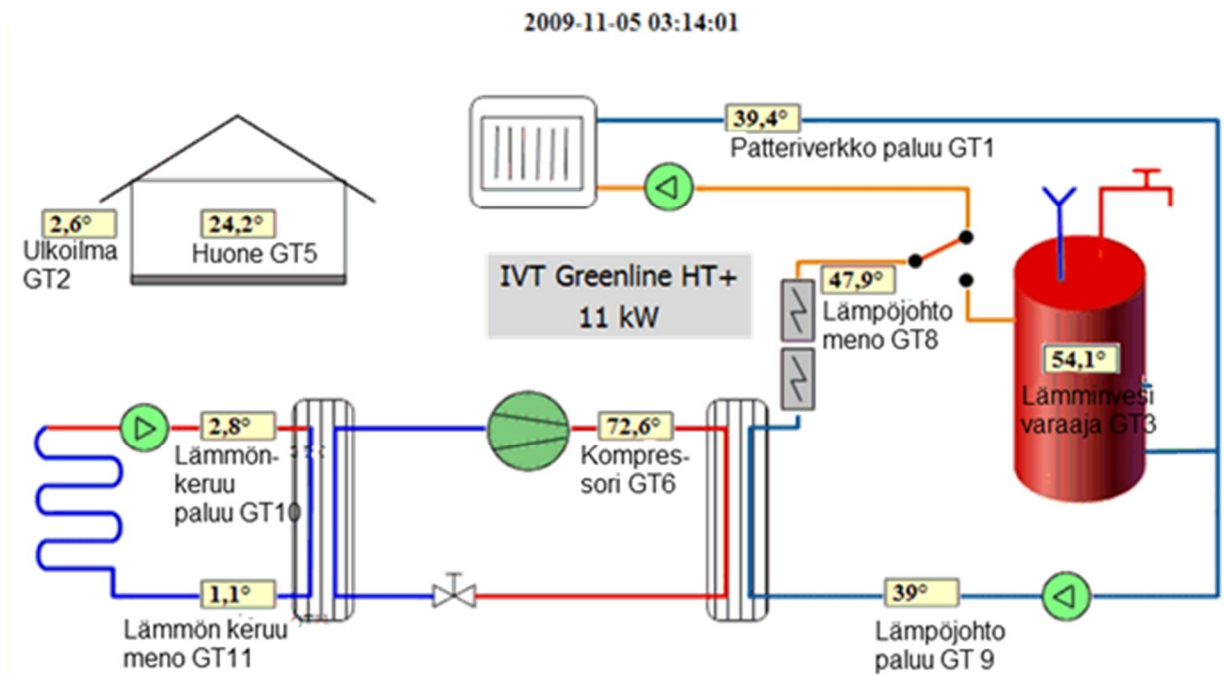
Tiedonsiirto ja laitteistoarkkitehtuuri perustuivat allaolevaan kuvaan (Kuva 43). Tieto siirrettiin etäkohteesta 3G verkossa (tai 2G Edge) palvelimelle, jonne kerättiin historiatietoa tietokantaan. Analysointi tehtiin suoraan etäkoneella Alix – mittauksietokoneella. Näin ollen säästettiin palvelinlaitteiston resursointia. Alix – mittauksietokoneeseen voidaan tallentaa useampi Gigatavu dataa, jos yhteydet eivät jostain syystä täysin toimi. Käyttöliittymästä voidaan ottaa suora yhteys joko palvelimeen tai Alix – mittauksietokoneelle. Näin ollen kohteesta saadaan reaaliaikaista informaatiota. Järjestelmään oli kytketty myös 3 – vaihe energiamittari, jolla voitiin mitata kokonaisenergiaa sekä sitten eri laitteiden kuluttamaa sähköenergiaa.



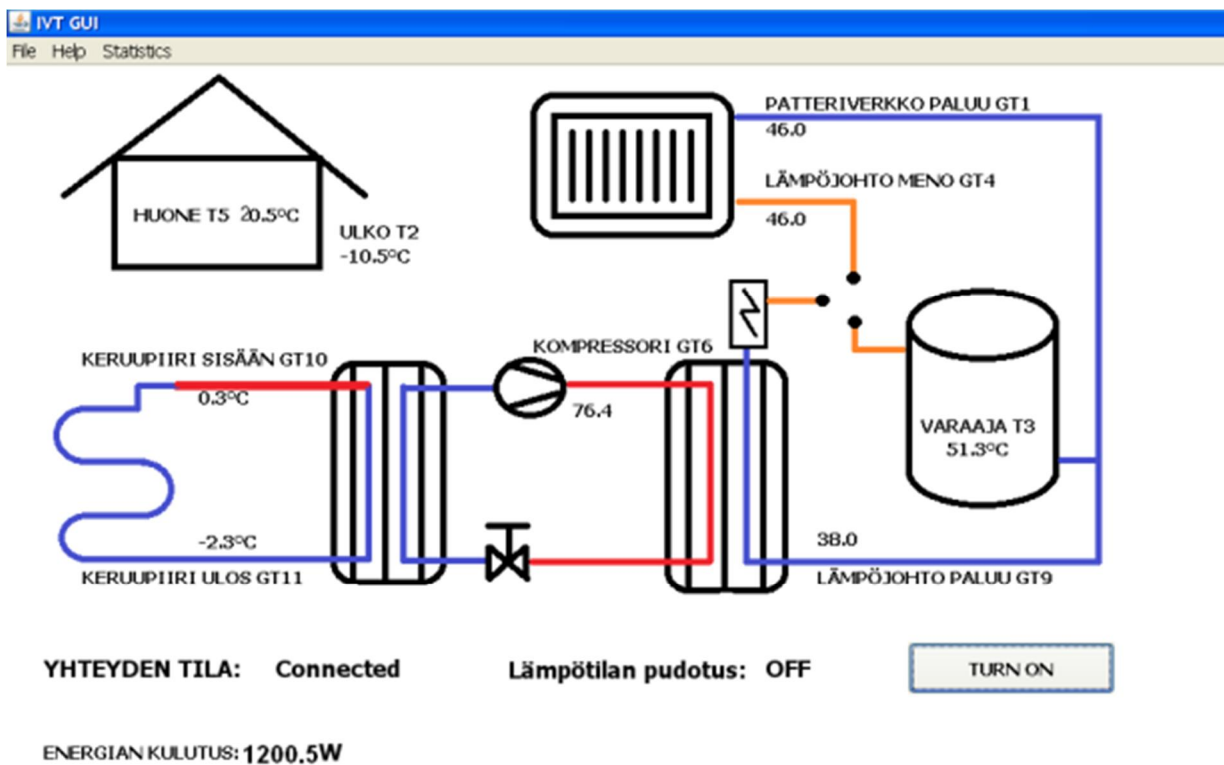
Kuva 43. Tiedonsiirto- ja laitteistoratkaisu.

5.2.2 Ensimmäinen ohjelmistoversio

Ensimmäinen versio ohjelmistosta valmistui IVT Rego635 kontrollerille. Toisen version kehitys tehtiin Rego800 mallille. Molemmissa käyttöliittymissä on mukana prosessikaavio kotitalouden lämmityksestä. Käyttöliittymiin voidaan lisätä myös energian laskentamoduuli (siitä voi seurata energiaa kulutusta halutulta jaksolta).



Kuva 44. IVT Rego600 mallin käyttöliittymä.



Kuva 45. IVT Rego800 mallin käyttöliittymä.

5.2.3 Lämpötilan pudotus etänä

Lämpötilanpudotus -yksikkö oli testissä Suonenjoen kohteessa (voitiin tiputtaa lämmöt etänä halutulle lämpökäyrälle, jota ajettiin kun asukkaat poissa kotoa). Ylemmässä kuvan (Kuva 45) käyttöliittymässä näkyy Lämpötilan pudotus – painike. Ylemmässä kohteessa (Kuva 44) lämpötilan pudotus hoidetaan erillisellä GSM – yksiköllä (ohjataan tekstiviestillä päälle ja pois). Kuvan 3 kohteen lämpötilan pudotus ei sisältynyt tähän projektiin.

5.2.4 Tiedonsiirtoratkaisun parantaminen

Suonenjoen kohteeseen lisättiin myös tehokkaampi 3G suunta-antenni, jotta tiedonsiirto kohteesta asiakkaalle oli mahdollisimman stabiili. Etäyksikköön tulee päästä kiinni kaikkina aikoina. Sähkökatkoksen aikana tulisi käyttää varasähköjärjestelmää (UPS). Tämä kuuluu yleensä asiakkaalle hankittavaan laitteistoon.

5.3 Pilottikohteet

Pilottikohteina toimivat Suonenjoella sijaitseva omakotitalo, noin 150 neliötä (1960 luvulla rakennettu) sekä Kallaveden rannalla sijaitseva omakotitalo, noin 300 neliötä (1970 rakennettu, täydellinen remontti 2007-2009).

5.3.1 Suonenjoki

Suonenjoen kohteessa toimi IVT PremiumLine X15 (<http://www.ivt.fi/products.asp?lngID=596&lngLangID=1>) invertteri – maalämpöpumppu, joka säätää lämpöä portaattomasti. Tämä on täysin uudentyyppinen IVT:n patentoima ratkaisu. Keruupiiriratkaisuna on peltoon upotettu maapiiri, jonka pituus 350 metriä. Energian hyötykerroin on suoraan sähköjärjestelmään verrattuna 3-4. Tässä kohteessa ei ole tehty vielä todellisia energiansäästölaskelmia.

5.3.2 Kallavesi, Kuopio

Kuopion kohteessa toimi IVT GreenLine E15. Tämä pumppu on vanhempaa tekniikkaa, mutta siihen on lisätty pumpun ohjaama lisävaraaja, joka parantaa hyötykerrointa. Keruupiiriratkaisuna on järviapiiri, joka on ylivoimaisesti tehokkain stabiilin talvilämpötilan vuoksi (noin 4 astetta 3-5 metrin syvyydessä). Keruupiirin pituus 1000 metriä. Hyötykerroin on noin 3-3.5. Kovalla pakkasella jopa 4 kun käytetään järviapiiriä. Tässä kohteessa on mitattu myös talon kokonaisenergian kulutusta sekä suoralla sähkölämmityksellä että maalämmöllä lämmittäessä (lämmitys ja käyttövesi). Energian kulutus suoralla sähkölämmityksellä oli noin 45–47 000 kWh per vuosi. Maalämpöpumpulla energian kulutus putosi 18 000 kWh:n vaikka vuoden keskilämpötila oli huomattavasti kylmempi kuin sähkölämmityksen aikaan. Energian kulutus laski siis noin 2.6-kertaisesti. Todellinen lämmityksen kautta tuleva hyötykerroin oli noin 3.2, sillä kokonaiskulutuksesta tulee vähentää ei lämmitykseen kuuluva osuus (valaistus, jääkaappi, pakastin, pesukoneet, yms.).

5.3.3 Taustaa mittauksista

Kuopion kohteesta dataa on kerätty hieman yli 7 vuotta, talon lattiapinta-ala ~300 neliötä. Tämä järjestelmä on siis kehitetty ennen projektin alkua eikä kuulu siis projektin omistukseen. Mittaustulokset on annettu projektin käyttöön omistajan toimesta. Suonenjoella datan kerääminen käynnistyi 2010. Lämmitettävä lattiapinta-ala ~170 neliötä. Lämpöpumpun hyötysuhde on pääasiallisesti riippuvainen lämmön keruupiirin sijoituksesta (maaperä, porakaivo tai vesistö), asuinrakennuksen eristyksistä, lämpötilan vaihteluista sekä pumpun säädöistä ja lisäksi vielä asennusliikkeen ammattitaidoista.

5.3.4 Mittausten yhteenveto, Kuopio

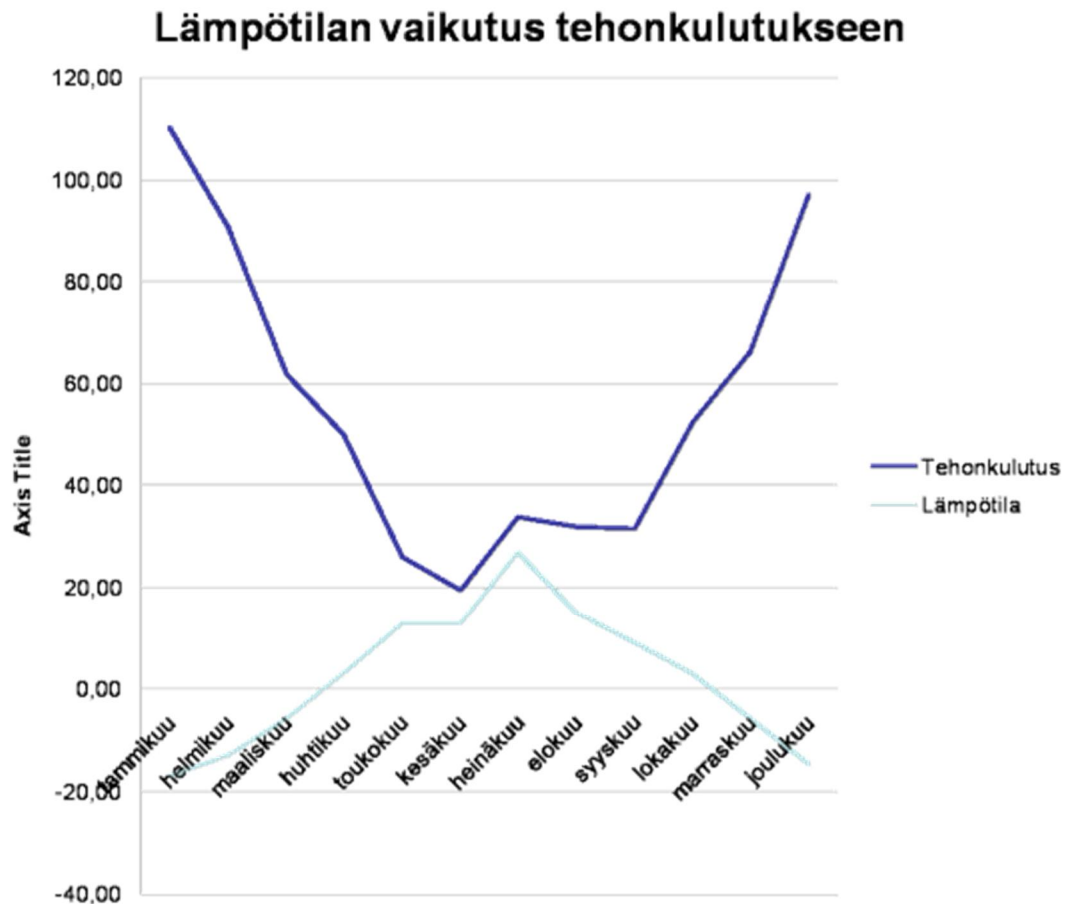
- Keruupiiri ~1000 m, upotettuna ~ 3m syvyyteen Kallaveteen
- Lämpöpumpun malli IVT Greenline E15 (15 kW)
- On aiemmin ollut suora sähkölämmitys
- Kohteesta on 7 vuoden aikana pystytty mittaamaan laajalti erilaisia sään vaihteluita ja muun muassa eristyksen merkitystä
- Suoran sähkölämmityksen aikaan kokonaissähkön kulutus oli välillä 45 000–49 000 kWh per vuosi.
- Maalämpöpumpun asennuksen jälkeen on valittu referenssivuosi, jolloin sään vaihtelut ovat olleet lähes vastaavat kuin suoran sähkölämmityksen aikaan. Maalämpöpumpun lämmittäessä taloa ja lämmintä käyttöväettä sähkön kokonaiskulutus on ollut vain 16 500–18 000 kWh.
- Parhaimmillaan hyötysuhde on ollut lähes 4
- Huonoimpina vuosinakin hyötysuhde on ollut 2.5.
- Energiaa säästävien ikkunoiden ja lisäeristeiden merkitys oli noin 9 % kun valittiin vastaavat kylmät kaudet

5.3.5 Mittausten yhteenveto, Suonenjoki

- Keruupiiri ~450 m, upotettuna ~ 1.25 syvyyteen maahan
- Lämpöpumpun malli IVT Premiumline X11 (11 kW), toimii uudella Inverter – tekniikalla.
- On aiemmin ollut suora sähkölämmitys
- Kohteesta kerätty mittaustietoa yli vuoden ajan
- Suoran sähkölämmityksen aikaan kokonaissähkön kulutus oli noin 36 000 kWh per vuosi
- Maalämpöpumpun asennuksen jälkeen kulutus noin 13 500 kWh
- Parhaimmillaan hyötysuhde on ollut siis 2.67
- 20 asteen pakkasella maapiiri siirtää noin 0-0.5 asteista nestettä pumpulle kun taas järviin siirtämän nesteen lämpötila pumpulla on 2.5-3 astetta.
- Huonompi hyötysuhde, johtuu siis pääasiassa lämmön keruupiiristä

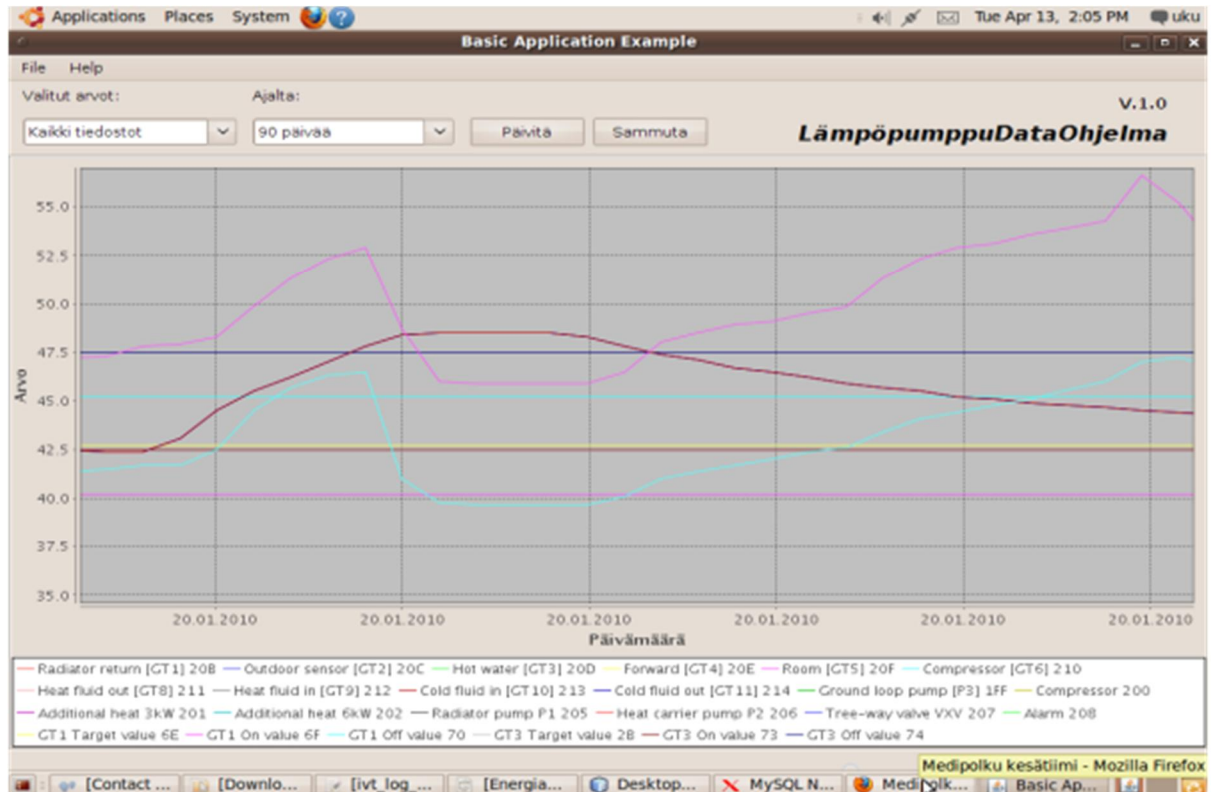
5.4 Statistiikkaa

Alla olevassa kuvaajassa on esitetty lämpötilan vaikutusta tehonkulutukseen eri kuukausina. Tehonkulutus huiput ovat tammi-helmikuussa sekä marraskuussa. Mittausjakson aikana oli hyvin kylmä talvi ja soveltui näin hyvin tarkempaan analyysiin suhteessa lämpötilan vaihteluun.



Kuva 46. Lämpötilan vaikutus tehonkulutukseen.

Alla olevassa kuvassa on käyttöliittymä, jolla voidaan seurata tarkasti lämpöpumpun eri parametrien käyttäytymistä halutulta ajalta. Tämä on oivallinen työkalu lämpöpumpun ennalta ohjelmoituun optimointiin. Keskimääräisesti samanlaisille vuosille tai vuodenajoille voidaan ennalta asettaa optimoidut lämpökäyrät.



Kuva 47. Lämpöpumpun parametrien seuranta erillisellä käyttöliittymällä.

5.5 Yhteenveto

Yhteenvetona voidaan todeta että maalämpöpumpun tuoma hyöty varsinkin suoraan sähkölämmitykseen verrattuna on hyvin selkeä ja on kannattava investointi. Jatkoprojekteissa on tarkoitus testata myös muita lämpöpumppumerkkejä ja etäohjaus- ja monitorointijärjestelmää niihin. Kaikki pumpun valmistajat eivät tarjoa niitä tai sitten ne ovat hyvin kalliita.

On huomattava, että lämmönkeruupiirillä on erittäin suuri merkitys hyötysuhteeseen, kuten edellä esitetyistä tuloksista ilmenee. Lämmönkeruupiirin asennuspaikka, itse fyysinen asennus ja sen pituus ovat hyvin merkittäviä. Kuopion kohteessa keruupiiri on asennettu Kallaveteen ja sen pituus noin 1000 metriä. Suonenjoella keruupiiri on asennettu maaperään vanhaan peltoon. Parhaimpia asennuspaikkoja keruupiirille ovat vesistö ja porakaivo. Vesistöön asennettaessa on huomioitava upotussyvyys ja tekniikka. Järvipiirin upotussyvyydeksi riittää noin 3 metriä, jossa vesi on talvella vakiolämpöistä +4 °C. Putkisto tulee upottaa rannan läheisyydessä, jottei ahtojää nosta putkistoa ylös. Suonenjoella on noin 1.25 metrin syvyyteen asennettu maapiiri ja sen pituus on 460 metriä (ojapituus 230m ja leveys 1.4m). Piirin pituus lasketaan käyttökohteesta riippuen lämpöpumpun valmistajan mitoitusohjelmalla ja siihen vaikuttaa oleellisesti asuinrakennuksen tilavuus. Esimerkiksi noin 20 asteen pakkasella maapiiri siirtää noin 0-0.5 asteista nestettä pumpulle kun taas järvipiiriin siirtämän nesteen lämpötila pumpulla on 2.5-3 astetta. Yhden asteen menetys kyseessä olevassa järvipiirissä johtuu siirtoputkesta järvestä pumpulle menevällä osuudella, joka on noin 60 metriä. Porakaivosta tuotettua lämpöenergiaa ei ole tässä tutkimuksessa mukana, mutta lämpötilat ovat lähellä järvipiiriä.

Tutkimuksessa on analysoitu myös lämpötilan pudotuksen aiheuttamaa energiankulutusta lämpöpumpuissa. Lämpötila pudotetaan usein tapauksissa, jolloin asunto ei ole väliaikaisesti käytössä. Lämpötilaa ei kannata pudottaa liian alas sillä tässä tapauksessa rakenteisiin muodostuu kosteutta ja lisäksi lämpöpumppu käyttää tällaisessa tapauksessa lisälämmitykseen sähkövastuksia. Alle 10 asteen lämpötilaan ei kannata pudottaa. Suositeltava lämpötila on noin 15 astetta. Lisäksi on huomioitava pumpun optimointi, etteivät sähkövastukset kytkeydy päälle turhaan. Tämän voi hoitaa esimerkiksi epälineaarilla lämpökäyräsäädöllä tai erilaisilla pumpun ajastuksilla.

Molemmista kohteissa on käytössä pumpun etäohjaus- ja monitorointijärjestelmä. Ohjelmistolla voidaan seurata kaikkia lämpöpumpun parametreja, jotka ovat nähtävissä lämpöpumpun omalla näytöllä. Lisäksi pumppua voidaan ohjata erillisellä huoltoliittymällä, joka on tarkoitettu lähinnä asennus- ja huoltoliikkeelle. Etäliittymä pumppuun on oivallinen varsinkin silloin kun kohde sijaitsee kaukana ja halutaan seurata sekä ohjata pumpun toimintaa. Hälytykset ovat varsinkin hyvin tärkeitä sekä lämpötilan pudotus. Mökin lämpötila voidaan siis nostaa normaalille tasolle vuorokautta ennen kuin saapuu itse paikalle.

Kuluttajat ovat varmasti myös kiinnostuneet maalämpöpumppujen takaisinmaksuajasta eli siitä ajasta, jolloin maalämpöpumppu on maksanut itsensä takaisin ja varsinaiset säästöt alkavat. Kuopion kohteen kokonaisinvestointi (maalämpöpumppu tarvikkeineen + asennus, patteriverkosto ja lattiaverkosto tarvikkeineen + asennus, maapiirin tarvikkeet + asennus) oli noin 20 000 euroa. Pumpun hinta on tästä selvästi alle puolet. Takaisinmaksuaika oli hieman alle 7 vuotta, joten investoinnit on Kuopion kohteessa maksettu. Huoltokustannukset ovat olleet tähän saakka 0 euroa ja ylläpitoa ei ole ollut juuri lainkaan. Suonenjoen kohteen kustannukset ovat olleet kaikkiaan hieman alle 13 000 euroa. Hintaaero johtuu lähinnä asuntojen tilavuuserosta sekä siitä, että Suonenjoen kohteeseen oli jo asennettu patteri- ja lattialämmitysverkosto ja se oli valmiiksi mitoitettu maalämpöä varten.

6 Rakennusten ilmatiiviysmittaus omia ilmanvaihtolaitteistoja hyväksikäyttäen

6.1 Rakennusten ilmanpitävyys

Rakennuksen ulkovaipan ja taloteknisten järjestelmien tehtävänä on saavuttaa ja ylläpitää rakennukselle asetetut sisäilma- ja toimivuustavoitteet. Rakennuksen tiiviydellä tarkoitetaan ulkoseinärakenteiden ilmanpitävyyttä, miten hallitsemattomat ilmavuodot rakenteiden läpi ovat estetty. Rakennuksen ulkoseinärakenteiden ilmanpitävyydellä on tärkeä vaikutus lämpöviihtyvyyteen, ja jos rakennus on riittävän epätiivis, myös energiankulutukseen. Rakennuksen ulkovaipan läpi kulkeutuvat hallitsemattomat ilmavuodot voivat aiheuttaa myös terveyshaittoja, esimerkiksi haitallisten pitoisuuksien kulkeutuminen ulkoilmasta, ulkoseinä- ja yläpohjarakenteista tai alapohjarakenteista. Ilmavuodot voivat edistää rakennevaurioita, mikäli ulkoilman kosteus kulkeutuu rakenteisiin tai sisäilman sisältämä kosteus tiivistyy eli kondensoituu rakenteisiin

Vuotoilmavirta syntyy lämpötilaerojen ja tuulen aiheuttamista paine-eroista sekä myös ilmanvaihtojärjestelmän puutteellisesta toiminnasta (esimerkiksi väärin

tasapainotetusta järjestelmästä), ja vuotoilmavirtoihin vaikuttavat myös rakennuksen sijainti, korkeus ja ulkovaipan kuntoja vuotopaikkojen sijainti.

Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä tasapainotetaan yleensä hieman alipaineiseksi (poistoilmavirta > tuloilmavirta), tyypillisesti < 10 Pa (Pascal). Alipaine tarkoittaa sitä että ilmapuototapauksessa ulkoilma kulkeutuu vuotoreittien kautta sisälle. Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä on luonnostaan alipaineinen, joissakin tapauksessa alipaine voi olla tuloilmaelinten puuttuessa ja rakenteiden tiivistämisen jälkeen verrattain suuri, jopa luokkaa 30 Pa. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa rakennuksen alaosa on alipaineinen ja yläosa ylipaineinen, muuten ilmanvaihtojärjestelmä ei toimi oikein päin. Nollataso on yksikerroksisessa rakennuksessa ikkunalinjan keskivaiheilla. Jotkin erikoisrakennukset voidaan tasapainottaa ylipaineiseksi, kuten tietyt erikoistilat ja teollisuustiloissa tuotantotiloihin yhteydessä olevat tilat.

Rakennusten painesuhteiden määrittäminen on rakennusten toimivuusmittauksessa erittäin olennainen toimenpide. Ongelmatilanteissa tulisikin aina ensin mitata rakennuksen painesuhteet. Painesuhteiden kannalta vaikeimpia ovat korkeat rakennukset, joissa on ylös asti ulottuva vapaa tila, erityisesti kosteuskuormitetut tilat kuten uimahallit ja korkeat varastot.

Rakennusten ulkovaipan ilmanpitävyyttä mitataan tiiviysmittauksella. Siinä ulko- ja sisätilan välille aiheutetaan 50 Pa:n (Pascal) ali- ja ylipaine ja mitataan paineeron ylläpitämiseen tarvittava ilmamäärä. Rakennusten tiivyyttä kuvataan ns. ilmapuotoluvulla q_{50} , joka kuvaa mitatun ilmapuodon määrää 50 Pa:n ali- ja ylipaineen keskiarvona. Ilmapuotoluku määritetään vaipan pinta-alan suhteen, aikaisemmin se määritettiin rakennuksen ilmatilavuuden suhteen (n_{50} , 1/h). Ilmapuotoluku määritellään

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{\text{vaippa}}} V$$

q_{50}	rakennusvaipan ilmapuotoluku, $m^3/(h \cdot m^2)$
n_{50}	rakennuksen ilmapuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h
V	rakennuksen ilmatilavuus, m^3
A_{vaippa}	rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m^2

Vuonna 2012 voimaan tulevien määräysten mukaan (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten energiatehokkuus määräykset ja ohjeet, kohta 2.3 Rakennusvaipan ilmanpitävyys):

”Rakennusvaipan ilmapuotoluku q_{50} saa olla enintään $4 (m^3/(h \cdot m^2))$. Ilmapuotoluku voi ylittää arvon $4 (m^3/(h \cdot m^2))$, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.

Pienempi ilmanpitävyys voidaan osoittaa mittaamalla tai muulla menettelyllä. Asuinkerrostaloissa ilmanpitävyys voidaan osoittaa mittaamalla vähintään 20 % huoneistoista. **Ilmanpitävyyden mittaus voidaan suorittaa myös rakennuksen omilla ilmanvaihtokoneilla, jolloin enintään 25 % rakennuksen tilojen lämmitetystä netto-alasta voidaan rajata pois mittauksesta** (vahvennus

kirjoittajan). Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään $4 \text{ (m}^3\text{/(h}\cdot\text{m}^2\text{))}$ ”. Edelleen ”Selostus: Ilmanpitävyyden osoittaminen muulla menettelyllä voi olla esimerkiksi teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyä, jolla ilmanpitävyys voidaan luotettavasti arvioida ennakoita. Tasauslaskennassa ilmanvuotoluvun vertailuarvo on $2 \text{ (m}^3\text{/(hm}^2\text{))}$. Kohta 2.3.2.1: **Muiden kuin käyttötarkoitukseluokan 1 ja 2 ilmanvaihtojärjestelmä varustetaan rakennuksen ilmanpitävyyden mittausvalmiudella** (vahvennus kirjoittajan). Selostus: Rakennuksen ilmanpitävyyden mittaaminen painekoemenetelmällä on esitetty standardissa SFS-EN 13829.”

Käyttötarkoitukseluokka rakentamismääräyskokoelman asianomaisessa kohdassa on yhdeksän:

- Luokka 1: Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot
- Luokka 2: Asuinkerrostalot
- Luokka 3: Toimistorakennukset
- Luokka 4: Liikerakennukset
- Luokka 5: Majoitusliikerakennukset
- Luokka 6: Opetusrakennukset ja päiväkodit
- Luokka 7: Liikuntahallit pois lukien uima- ja jäähallit
- Luokka 8: Sairaalat
- Luokka 9: Muut rakennukset

Rakentamismääräyskokoelman ao. kohdassa sanotaan ilmanpitävyydestä seuraavaa: ”Sekä rakennusvaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku”.

Saman kohdan selostusosassa mainitaan myös ”Rakennusvaipan alhainen ilmanvuotoluku ei kuitenkaan takaa vaipparakenteiden moitteetonta toimintaa ilmatiiviuden osalta, koska vaipassa voi silti esiintyä paikallisesti merkittäviä ilmanvuotokohtia. Siksi ilmansulun kaikkien liitosten ja reikien huolellinen tiivistäminen on tärkeitä”.

D 3 Rakentamismääräyskokoelman mukaan (Kohta 3. Energialaskennan lähtötiedot, kappaleen 3.5 Rakennuksen ilmanpitävyys) sanotaan lisäksi ”Rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään E-luvun laskennassa suunnitteluarvoa. Rakennuksen vuotoilmavirta lasketaan ilmanvuotoluvusta kohdan (4.3.3) mukaisesti.

Vuotoilmavirta $q_{\text{vuotoilma}}$ ($\text{m}^3\text{/s}$) lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$q_{\text{v, vuotoilma}} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{\text{vaippa}}$$

q_{50} rakennusvaipan ilmanvuotoluku $\text{m}^3\text{/(h}\cdot\text{m}^2\text{)}$
 A_{vaippa} rakennusvaipan pinta-ala m^2

- x kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille korkeimmille rakennuksille 15
3600 kerroin, joka muuttaa ilmavirran m³/h yksiköstä m³/s yksikköön.”

Suomessa ei ennen energiatehokkuusmääräyksiä (2008, 2010) ole aikaisemmin ollut määräyksiä rakennuksen tiivyydestä. Rakentamismääräyskokoelman osassa D5 (2007), Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet 2007, taulukossa 4.3. on esitetty tyypillisiä vaipan ilmapuotolukuja

Taulukko 77:

Taulukko 4.3.		Tyypillisiä vaipan ilmapuotolukuja (n_{50}) erilaisille rakennuksille riippuen rakentamis- ja toteutustavasta.
Tavoiteilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset n_{50} -luvut, 1/h
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1 ... 3 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5 ... 1,5
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3 ... 5 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5 ... 3,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 5 ... 10 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3 ... 7

Uusiutuvalle D5:ssä (luonnos) tullaan lisäksi esittämään vastaavasti q_{50} -arvot:

Hyvä ilmanpitävyys	Pientalot 1,0 ... 3,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,0 ... 4,0
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Pientalot 3,0 ... 5,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 4,0 ... 8,0
Heikko ilmanpitävyys	Pientalot 5,0 ... 10 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 8,0 ... 20,0

6.2 Mittaukset koekohteissa

Kuopion kohteiksi valittiin 2 koulua, Vehmersalmen yläkoulu sekä Jynkänlahden koulu. Lisäksi valittiin 2 päiväkotia, Kaarenhovi ja Rauhanlahti sekä Taidemuseo. Kohteeksi pyrittiin löytämään samantasoisia ja – ikäisiä kohteita, joiden energiankulutus poikkesi ratkaisevasti toisistaan. Taidemuseon energiankulutus on ollut korkeahko, ja siellä on esiintynyt sisäolosuhdeongelmia.

Kohteissa suoritettiin tiiviysmittaus rakennusten omalla ilmanvaihtojärjestelmällä, kaksivaiheinen lämpökuvaus normaalissa käyttötilanteessa sekä 50 Pa:n tai vaihtoehtoisesti suurimmassa saavutetussa alipaineessa. Lämpökuvaus suoritettiin kohteissa käyttäen kolmea erityyppistä lämpötilaresoluutioltaan ja paikkaresoluutioltaan erilaista lämpökameraa. Taidemuseossa ja Kaarenhovin päiväkodissa kokeiltiin myös ns. kevennettyä energiakatselmusta (walk-through-katselmus).

Mittausten tavoitteena oli selvittää mistä energiankulutuserot/korkea energiankulutus kohteissa johtui ja samalla kehittää omaan ilmanvaihtojärjestelmään perustuvaa rakennusten ilmanpitävyysmittausta sekä lämpökuvauksen käyttöä rakennusten toimivuuden määrittämisessä. Kuopion kaupungin kohteet ovat liitetty seutuvalvomojärjestelmään, jonka avulla voidaan tiiviysmittaus suorittaa valvomosta käsin. Kaikki tiiviysmittaukset tässä hankkeessa toteutettiin säätämällä iv-järjestelmää seutuvalvomosta. Tiiviysmittauksen periaate on seuraava: Valitaan kohteesta yleensä teholtaan suurin poistoilmanvaihtokone, jota käytetään mittauksessa. Muut koneet suljetaan tulo- ja poistopuolelta, samoin mittausta palvelevan koneen ulkoilmakanava. Ulkoilmakanavat voidaan sulkua raitisilmakammioista tai koneelta suodatinkammioista. Myös muiden koneiden poistoilmakanavat suljetaan, samoin huippuimurit joko katolta tai sitten poistoveniileistä. Käytettävän poistopuhaltimen tehoa säädetään taajuusmuuttajalla (tässä tapauksessa seutuvalvomosta) koneen tehoalueella, tavallisesti 10 Hz – 60 Hz välillä esimerkiksi 10 Hz portain. Poistoilmakone aiheuttaa rakennuksessa alipaineen, jonka suuruus mitataan esimerkiksi kahdelta vastakkaiselta julkisivulta rakennuksen keskikorkeudelta (ulko- ja sisätilan välinen paine-ero muuttuu rakennuksen korkeussuunnassa). Paine-ero puhaltimen yli luetaan kalibroidulla paine-eromittarilla ja/tai osoittavalta paine-erolähtetimeltä (useissa koneissa varusteena) sekä osoittavalta mittarilta (yleensä varusteena). Paine-ero muutetaan virtaukseksi puhaltimen ominaiskäyrätietojen perusteella.

Koekohteissa suoritettiin vain alipainekoe. Koe toistettiin vähintään 2 kertaa ajamalla taajuutta pienimmästä suurimpaan ja takaisin. Mikäli 50 Pa paine-eroa ei saavutettu, ilmavuotoluku n_{50} määritettiin saadusta vuotokäyrästä interpoloimalla. Joka kokeessa pyrittiin ajamaan vähintään 4 mittauspistettä. Mitattujen kohteiden/tilojen rakenteet lämpökuvattiin ennen mittauksia ns. normaalissa käyttötilanteessa. Samalla mitattiin painesuhteet ulko- ja sisätilan välillä. Lämpökuvaus toistettiin 50 Pa alipaineessa tai suurimmassa saavutetussa alipaineessa, jos paine-ero jäi pienemmäksi kuin 50 Pa. Ylipainemittauksia ei tehty. Yleensä yli- ja alipaineessa tehtyjen mittausten tulokset poikkeavat jonkin verran toisistaan. Tarkempi menetelmäkuvaus on erillisenä liitteenä.

Tiiviysmittaus voidaan suorittaa myös erillisellä tiiviyskoepuhaltimella/puhaltimilla (blower-door). Yksittäisissä kohteissa on havaittu, että tiiviyskoepuhaltimella saadut tulokset poikkeavat tyypillisesti n. +15 % omalla ilmanvaihtojärjestelmällä saadusta tuloksesta – ero johtuu todennäköisesti siitä, että koetilanteessa puhaltimen todellinen kapasiteetti poikkeaa siitä mitä puhaltimien tehdasmittauksissa on saatu.

Projektin yhteydessä on valmisteltu yhteistyössä Kuopion kaupungin edustajien kanssa Rakennusten lämpökuvausohje sekä Rakennusten tiiviysmittausohje, jotka

ovat projektin loppuraportin liitteenä. Lisäksi tarkoituksena oli kokeilla kevennetyn energiakatselmuksen käytettävyyttä. Lämpökuvaus ja tiiviysmittaus voidaan yhdistää osaksi kevennettyä katselmusta.

Tavoitteena onkin, että Kuopion kaupunki ja tulevaisuudessa myös muut isot kiinteistönomistajat pystyvät kehittämään käyttökelpoisia ja riittävän yksinkertaisia rakennusten toimivuuden varmistamismenetelmiä energia- ja kiinteistöhallinnan tueksi. Tämän projektin tulokset voidaan yhdistää osaksi toimivuuden laadunvarmistusohjetta.

6.2.1 Kuopion kohteet

Vehmersalmen yläkoulun sähkön ja lämmönkulutuslukemat ovat olleet kaupungin edustajan mukaan korkeat. Vuonna 2009 Vehmersalmen koulun ominaiskulutukset olivat lämpö: 43,0 kWh/m³ ja sähkö: 21,8 kWh/m³. Jynkänlahden ominaiskulutukset olivat lämmön osalta: 25,6 kWh/m³ ja sähkön 10,87 kWh/m³. Jynkänlahden koulun tilavuus on 30 012 m³ ja Vehmersalmen 13 210 m³. Jynkänlahti on peruskorjattu vuonna 2005 ja Vehmersalmi on peruskorjattu ja laajennettu v. 2007. Syitä Vehmersalmen koulun Jynkänlahtea huomattavasti suurempaan ominaiskulutukseen ei ennen projektia ollut saatu vielä selville.

Kaarenhovin päiväkotia (rakennusvuosi 1991, 3400 m³) valittiin mm. sisäilman laatu- ja sisäolosuhteiden vuoksi. Rauhalahden päiväkotia, ei valituksia (rakennusvuosi 2001, 5929 m³) valittiin Kaarenhovin vastinpariksi sen vuoksi, että lämpö- tai sisäolosuhteista ei ole valitettu.

Taidemuseossa ovat vaativat sisäilmaolosuhteet taiteen säilytyksen vuoksi. Museon näyttelytiloissa tulee olla vakio- ja suhteellinen kosteus. Sähkön ja lämmönkulutus kesälläkin on ollut suuri ja rakenteiden kestävyys on ollut kondenssin vuoksi koetuksella. Taidemuseon vanha osa on rakennettu vuonna 1904 ja uudempi osa 1920-luvulla. Rakennus on peruskorjattu vuonna 2004 ja tilavuus 8 374 m³. Vuoden 2009 kulutukset: sähköenergia 33,2 kWh/m³ ja lämpö 25,4 kWh/m³.

Kuntaliiton v. 2008 tilaston mukaan opetusrakennusten lämmitysenergian normeerattu keskimääräinen kulutus oli 46,2 kWh/m³. Kuopiossa v. 2008 peruskoulujen ja lukioiden normeerattu lämmitysenergian keskimääräinen kulutus oli 30,4 kWh/m³. Motivan tilaston mukaan yli 10 000 m³:n yleissivistävien oppilaitosten keskimääräinen kulutus oli ennen katselmusta 41,8 kWh/m³, yli 30 000 m³:n koulurakennusten 35,3 kWh/m³. Kuntaliiton tilaston mukaan päiväkotien sääkorjattu kulutus v. 2008 oli keskimäärin 69,0 kWh/m³ ja Kuopiossa 48,2 kWh/m³.

6.2.1.1 Tulokset kohteittain

6.2.1.1.1 Vehmersalmen koulu

Vehmersalmen yläkoulun kirjasto-osaa, kuntosalia ja ruokalaa palveleva kone toimi mittauspuhaltimena. Mittauskohteena oli kirjasto, jossa oli tarvittu

ylimääräisiä lämmittimiä pakkasjakson aikana. Lämmittimistä huolimatta sisälämpötila oli suhteellisen matala, n. 18 - 19 °C. Ensimmäinen tiiviysmittaus tehtiin 19.3.2010.

- Kirjasto-ruokailutilat olivat saman iv-koneen palvelualueella
- Kirjaston painesuhteet olivat asianmukaisella tasolla – ruokailutila voimakkaasti alipaineinen
- Syynä oli välissä olevan keittiötilan voimakas alipaineisuus (40 Pa) josta avoin yhteys ruokailutilaan
- Myös kuntosali oli voimakkaasti alipaineinen
- Kirjaston sisälämpötila n. 19 °C, tuloilman sisäänpuhalluslämpötila n. 8 °C, matalimmillaan rakenteet lähellä 0 °C
- Tiiviysmittaus onnistui valvomosta käsin, kohteessa oli 2 henkilöä, joista toinen luki paine-eroja sisä- ja ulkoilman välillä ja toinen virtausta konehuoneesta poistoilmakoneelta

Kirjastotilaan saatiin n. 30 Pa alipaine, kun ilmamäärä oli n. 9360 m³/h. Laskennallisesti määritettiin alipaine 50 Pa:ssa joka vastaa n. 10835 m³/h virtausta. Ilmavuotoluvun tarkka määrittäminen on epävarmaa, koska ei oltu täysin varmoja siitä vaikuttiko alipaine myös ruokailutilaan ja kuntosaliin. Mikäli ilmavuotoluku n₅₀ lasketaan vain kirjaston tilavuuden perusteella, se on luokkaa 13 l/h, mikäli otetaan huomioon ruokailutila ja kuntosali, ilmavuotoluku on luokkaa 8 l/h. Joka tapauksessa kirjaston rakenteissa esiintyi niin suuria puutteita, että koulun energiakulutus selittyy kirjasto-osan ilmavuodoilla sekä keittiöosan voimakkaan alipaineen johdosta.

Koulun kirjasto-osaan tehtiin kesällä 2010 laaja remonti, jonka jälkeen tiiviys mitattiin uudestaan. 50 Pa alipaine saavutettiin (max > 70 Pa), ja ilmavuotoluku oli parantunut noin kolmanneksen – vaihteluväli oli 5 l/h (ml ruokala ja kuntosali)- 9 l/h (kirjasto). Lisälämmittimiä ei oltu tarvittu, ja sisälämpötila oli korkeampi. Ilmavuotoluku on edelleen liian korkea. Se pitäisi saada tasolle < 2 l/h. Hallitsemattomilla ilmavuodoilla on edelleen suuri vaikutus lämmitysenergian kulutukseen.

6.2.1.1.2 Jynkänlahden koulu

Jynkänlahden koulussa vuotoilmamäärä 50 Pa alipaineessa oli n. 9570 m³/h. Tutkitun koulun osan ilmavuotoluvuksi saadaan n. 1,4 l/h. Lämpökamerakuvauksen tulokset on esitetty lämpökuvauskappaleessa. Jynkänlahden koulusta mitattiin A-rakennuksen TK1:n ja TK2:n palvelualueet (liikuntasali, keittiö- ja ruokailutilat sekä erilliset rakennukset eivät kuuluneet mitattavaan tilavuuteen).

6.2.1.1.3 Kaarenhovin päiväkotiki

Kaarenhovin päiväkodissa on kaksivaiheinen poistopuhallin, ja maksimivirtauksella saavutettiin 20 Pa alipaine, ilmamäärän ollessa 3990 m³/h. Käytettävissä on vain kaksi mittauspistettä, jonka vuoksi ilmavuotoluvun arviointi on vain suuntaa antava, ilmavuotoluvuksi n₅₀ voidaan arvioida n. 3 - 4 l/h. Mittaukset suoritettiin pääkanavasta sekä Pitot-putkella että termoanemometrillä.

Mittaukset poikkesivat toisistaan $\frac{1}{2}$ teholla n. 1 %:n verran ja 1/1-teholla 5 %, joten keskenään tulokset ovat vertailukelpoisia, mutta molempien menetelmien mittaustoleranssi on paljon suurempi (käytännössä 10 - 20 %).

Kaarenhovin lämpökuvaustulosten perusteella rakenteissa on ilmapuotokehtia ja kylmäsiltoja. Merkittävimmät ilmapuotokehtet olivat keittiötilojen ulko- ja väliovet, ulko-ovet yleensä sekä monitoimitilan portaikon kaari-ikkuna sekä osin ikkunarakenteet. Tilojen kulmaikkunoissa oli kylmäsiltoarakenteita. Mahdollisesti heikentyneet sisäolosuhteet johtuvat rakennuksen päässä olevan tilan rakenteista, joissa tulosten perusteella voidaan epäillä olevan piileviä kosteushaittoja ja niistä johtuvia pitoisuuksia.

6.2.1.1.4 Rauhalahden päiväkoti

Rauhalahden päiväkodissa saavutettiin 50 Pa alipaine, vastaava virtaus oli 4430 m³/h ja ilmapuotoluku 0,7 1/h. Lämpökuvauksen tulokset on esitetty omissa kappaleissaan.

6.2.1.1.5 Taidemuseo

Taidemuseossa saavutettiin 50 Pa alipaine, ilmamäärä oli 11 090 m³/h ja ilmapuotoluku n. 2 1/h. Taidemuseon ilmapuotokehtina olivat pääosin ikkuna- ja ovirakenteet. Lämpökuvauksen tulokset on esitetty omissa kappaleissaan.

6.2.2 Rautavaaran kohteet

6.2.2.1.1 Rautaharju, kunnan vuokrakerrostalo

Rautaharjun asuinkerrostalossa kokeiltiin tiiviysmittauksen suorittamista poistoilmanvaihtojärjestelmää käyttäen (2-vaiheinen puhallin). Kohteena olivat asuinkerrostalon yhden porrashuoneen asunnot. Kohde lämpökuvattiin ennen mittauksia sekä saavutetussa alipaineessa. Tulosten perusteella ei voitu tässä kohteessa arvioida kahden pisteen perusteella luotettavasti ilmapuotolukua. Tällaisessa tapauksessa tulee tehdä huoneistokohtainen ilmapuotomittaus erillisillä tiiviyskoepuhaltimella (blower-door) ja valita mittava huoneistomäärä esim. käytettävissä olevien ohjeiden perusteella sekä tarvittaessa myös erillinen porraskäytävän ilmanpitävyyden määrittäminen. Mikäli käytettävissä on riittävän tehokas laitteisto, voidaan tiiviyskoepuhaltimella/puhaltimilla mitata koko rakennus tai mitattavana oleva rakennuksen osa (esim. yhden portaan kaikki asunnot).

6.2.3 Pieksämäen kohteet

6.2.3.1 Pääterveysasema

Pääterveysasemalta mitattiin kaksi toisen kerroksen vuodeosastoa. Kohteen tilavuus oli n. 5790 m³ ja ilmamäärä 10940 m³/h 50 Pa alipaineessa. Ilmapuotoluku oli 1,9 1/h.



Pääterveysaseman lämpökuvauksen tulokset ovat esitetty omassa kappaleessa. Vuotokohtina olivat lähinnä ikkunarakenteet.

6.2.4 Ilmanpitävyysmittausten tarkastelua

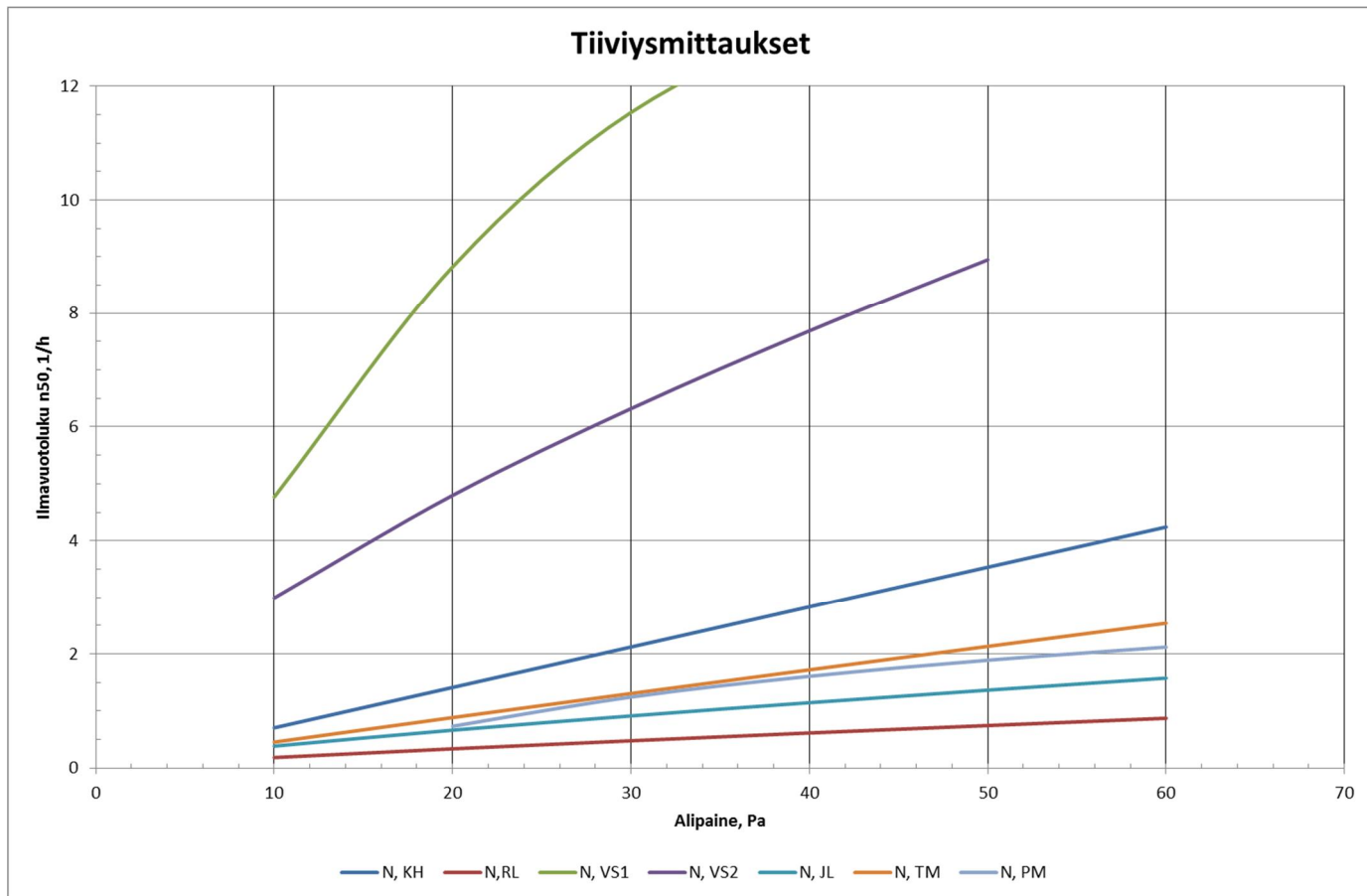
Seuraavassa taulukossa on esitetty yhteenveto tiiviysmittauksista.

Taulukko 78: Tiiviysmittausten tulokset

Kohde	Ilmamäärät	Tilavuus (mitattu)	n ₅₀	Huom.
	m ³ /h	m ³	1/h	
Jynkänlahti	9570	7000	1,4	
Taidemuseo	11090	5200	2,1	
Vehmersalmi 1	10385	800	13,0	*
Vehmersalmi 2	7185	800	9,0	*
Kaarenhovi	11010	3000	3,5	*
Rauhalampi	4430	5930	0,7	
Pieksämäki	10940	5790	1,9	

*= vuotoilmamäärät arvioitu vuotokäyrästä laskennallisesti

Ilmavuotokäyrät on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 48: Ilmavuotokäyrät eri koekohteille. Lyhenteet: KH=Kaarenhovi, VS, Vehmersalmi, JL=Jynkänlahti, TM=Taidemuseo, PM=Pieksämäki

Ilmavuotoluvun määrittämisessä rakennuksen omaa ilmanvaihtojärjestelmää käyttäen on seuraavia osin rajoittavia ja mittauksia huomioon otettavia tekijöitä:

- Kun mitataan osaa rakennusta, on pyrittävä varmistamaan että rakennuksen muista osista ei pääse virtaamaan siirtoilmaa mitattavalle alueelle
- Erityisesti käytävien alaslaskut ym. vastaavat kohdat joissa kulkee putkistoja ovat vaikeasti tiivistettäviä
- Eri koneiden palvelualueet eivät aina ole erotettu toisistaan
- Mittaukset tulee suunnitella siten, että mitattavassa tilassa ei ole tilaa erottavia porraskäytäviä sekä hissikuiluja
- Kun rakennus on U:n tai L:n muotoinen tai rakennus ympäröi sisäpihaa, on usein välttämätöntä mitata vain osa rakennuksesta tai jakaa mittaus useampaan osaan. Voidaan käyttää myös useampaa konetta.
- Mittaukset tulisi rajata rakennuksen osan mittauksessa yhden iv-koneen palvelualueelle (yleensä tehokkain kone)

Kun mittaus kohdistuu yhteen rakennukseen, voidaan silti osa rakennuksesta jättää mittaukseen, kuten kellarikerroksessa olevat autotalli, kellari- ja varastotilat,

väestönsuojat ja muut vastaavat tilat. On hyvä kuitenkin varmistaa että ilmavirtaukset niistä rakennuksen osista jotka eivät kuulu mittauksen piiriin, on estetty.

- Erilliset kohdepoistot on pyrittävä sulkemaan jo katolta, tai jos se ei ole mahdollista, niin venttiilikohtaisesti
- Muiden iv-koneiden teippaukset on tehtävä erittäin huolellisesti koska jos jonkun koneen teippaukset irtoavat kesken mittauksen (näkyvä paine-eron laskuna) joudun mittaukset aloittamaan uudestaan
- Yleensä koneelta saatava puhaltimen yli oleva paine-ero, josta ilmamäärä lasketaan, voidaan mitata mittausyhteistä. Mittaukseen on syytä käyttää kalibroitua paine-eromittaria, koska koneen osoittavan mittarin lukematarkkuus voi olla riittämätön ja mahdollisesti paine-erolähtetimen näyttö/viesti voi olla myös virheellinen.
- Puhaltimen ominaiskäyrästä saatava virtaustieto tulee tarvittaessa lämpötilakorjata (ominaiskäyrät on laskettu $T=20$ °C:ssa)
- Mikäli puhaltimen paine-eroon perustuvaa mittausta ei voida suorittaa, ja pääilmakanavassa ei ole muuta mittausta (esim. mittasiipi, annubaari tai vastaava) voidaan virtaus mitata Pitot-putkella tai termoaanemometrillä mittausstandardien mukaisesti. Kaikissa iv-konehuoneissa ei välttämättä saada riittävä häiriöetäisyyttä, jolloin tulokseen sisältyy virhettä
- Kaksivaiheisen poistopuhaltimen ilmamääristä voidaan arvioida ilmavuotolukua, jos saavutettu alipaine 1/1-teholla on lähellä 50 Pa ja ½-teholla riittävän suuri.
- Jos rakennus on epätiivis tai puhaltimen kapasiteetti on pieni, kaksitehopuhaltimella ei saavuteta kuin suuntaa antava tulos (vrt. Kaarenhovi)
- Paine-eromittauksessa pitää pyrkiä mittaamaan ulko- ja sisätilan välinen paine-ero rakennuksen keskikorkeudelta vastakkaisilta julkisivuilta. Korkeissa rakennuksissa pohjakerroksessa on suurempia yläkerroksissa pienempi paine-ero keskikorkeuteen verrattuna
- Tiiviyskoe sinänsä ei kestä kuin 30 min – 1 h, isoin osa ajasta menee valmistelutyöhön

Ilmavuotoluvun tarkkuuteen vaikuttavat myös käytetty ilmatilavuus ja vaippapinta-ala. Tilavuuden ja vaippapinta-alan määrittäminen voi olla vaikeaa jos käytettävissä ei ole asianmukaisia rakennekuvia tai jos mittoja ei ole tarkistettu paikan päällä esim. laser-etäisyysmittarilla. Tilavuuden määrittämisessä voi tulla

luokkaa 5-10 %:n virhe joka suurimmillaan on lähes samaa luokkaa kuin virtausmittauksen epätarkkuus.

Puhaltimen ominaiskäyrään perustuva virtausmittaus sisältää virhelähteen, koska mittaustilanteessa käyttöolosuhteet poikkeavat puhaltimen ominaisuuksien määrittelytilanteesta. Tämän tutkimushankkeen mittauksissa ei tehty ylipainemittauksia, joka teknisesti olisi ollut myös mahdollista. Ilmavuotoluku tulee määrittää ali- ja ylipaineen keskiarvona. Hyvin usein ylipaineessa mitatut arvot ovat olleet tapauskohtaisesti jonkin verran alipaineessa mitattuja arvoja suurempia, mutta sitä ei voi välttämättä yleistää.

Nyt mitattujen kohteiden ilmatilavuudet olivat osin rakennekuvista määritettyjä, osin paikan päällä mitattuja (Pieksämäki), osin rakennuksen edustajan antamia. Tulosten tarkkuus siis vaihtelee kohteesta riippuen. Kuitenkin mittaustulosten perusteella voidaan esittää seuraavaa:

- Jynkänlahden koulun ilmanpitävyys ja erityisesti Rauhalahden päiväkodin ilmanpitävyys ovat hyvää tasoa, tiiviiden parantaminen ei enää merkittävästi vähennä energiankulutusta
- Taidemuseon ja Pieksämäen pääterveysaseman mitatun osan ilmanpitävyys on keskimääräistä tasoa
- Kaarenhovin päiväkodin ilmanpitävyys on rakennuksen käyttötarkoitus ja rakentamisajankohta huomioon ottaen keskimääräistä heikompi
- Vehmersalmen koulun kirjasto-osan ilmanpitävyys on vielä korjausten jälkeenkin erittäin heikko ja vaatii lisätoimenpiteitä

Vastinparien energiankulutusta verrattaessa tiiviystasolla on selvästi merkitystä, erityisesti Vehmersalmen koulun ja Jynkänlahden koulun välillä mutta myös Kaarenhovin ja Rauhalahden välillä. Vuotoilmanvaihdosta aiheutuvan ylimääräisen energiankulutuksen lisäksi ilmavuodot aiheuttavat (riippuen vuotokohtien sijainnista) vetoa, jota usein kompensoidaan sisälämpötilan nostolla – nyrkkisääntönä on, että yhden asteen sisälämpötilan nosto lisää lämmitysenergiankulutusta n. 5 %. Ilmavuodot voivat vaikuttaa myös välillisesti lämmitysenergian kulutuksen nousuun.

Energiapremier-ohjelmistolla ja muilla vastaavilla työkaluilla voidaan laskea ilmanpitävyyden vaikutusta energiankulutukseen – oheisen esimerkin laskennassa on käytetty Vehmersalmen koulun kirjasto-osaa. Koska kaikki rakenteellisia yksityiskohtia ei ollut käytettävissä eikä esim. ilmamäärästä ollut tarkkaa tietoa, käytettiin laskennassa rakentamismääräyskokoelman kirjastojen ja lukusalien mitoitussilmämääriä. Tulokset ovat lähinnä suuntaa antavia ja

antavat lähinnä kuvan siitä, miten ilmavuodot vaikuttavat ominaiskulutuksen arvoon. Tulokset on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 79: Ilmanpitävyyden vaikutus energiankulutukseen

Ilmavuotoluku n50, kirjasto-osa	Ominaisenergian- kulutus (Jkl:n taso)	Muutos
1/h	kwh/m ³	%
13	65	
6	55,4	15
3	51,5	7
1	49	5

Muutos tasolta 6 1/h tasolle 1/h vaikuttaa edellä esitetyn laskelman mukaan n. 12 % lämmitysenergiankulutusta alentavasti. Muutos tasolta 3 1/h tasolle 1/h vaikuttaa enää 5 %. Seuraavassa taulukossa on esitetty miten pientalon ilmanpitävyys vaikuttaa lämmitysenergiankulutukseen kun vertailukohtana on n50 = 4 1/h ja 2 1/h. Laskelmissa on oletettu rakenteiden olevan RakMk C3 2010:n vertailutasoa. Laskelmat suoritettu Energiajunior-ohjelmistolla

Taulukko 80: Energiankulutuksen vertailulaskelmat

Ilmanvuotoluku, n_{50} , 1/h	Energiankulutus, % suhteessa vertailutasoon	Huom.
2,0	vertailutaso	
4,0	+ 9	
1,5	0	
1,0	- 4	Matalaenergiatalo
0,6	- 6	Passiivitalo
0,3	- 7	Suosituks tavoite, passiivitalo
0,1	- 8	Paras mitattu kohde
4,0	0	LTO:n vuosihyötysuhde 45 % → 61 %
4,0	vertailutaso	
2,0	- 9	
1,5	- 11	
1,0	- 13	
0,6	- 14	Passiivitalo
0,3	- 16 %	Suosituks tavoite, passiivitalo
0,1	- 16 %	Paras mitattu kohde

Kun ilmanvuotoluku on alle 1 1/h, säästö ei ole pientalon tapauksessa kovin merkittävä, mutta hyvä tiiveys eliminoi tehokkaasti kosteusriskejä. Jos ilmanvuotoluku on 4 1/h ja parannetaan talon ilmanvaihtojärjestelmän vuosihyötysuhdetta arvosta 45 % arvoon 61 % (16 % - yksikköä), saadaan sama tulos kun ilmanvuotoluvulla 2 1/h (tiiveyden kompensointi). Mikäli ilmanpitävyys on vertailutasoa 4 1/h, saadaan ilmanvuotoluvulla 2,0 1/h 9 %:n säästö. Jos talon ilmanvuotoluku on > 4 1/h, on energiankulutuksessa, viihtyisyydessä ja mahdollisissa kosteusriskeissä merkittäviä eroja tiiviiseen taloon verrattuna.

Seuraavassa taulukossa on esitetty miten eri toimenpiteet laskennallisesti vaikuttavat suhteellisen vähän lämmitysenergiaa kuluttavan koulun kulutukseen. Kohde on vuonna 2008 valmistunut koulurakennus pääkaupunkiseudulla.

Taulukko 81: Eri toimenpiteiden ja ilmanpitävyyden vaikutus energiankulutukseen

<p>Koulurakennuksen laskennallinen lämmitysenergiankulutus on 26,3 kWh/m³.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kun ilmanvaihdon käyntiaikoja muutetaan 12 tunnista 10 tuntiin vuorokaudessa • kaukolämmitysenergian kulutus on 23,1 kWh/m³ <p>Ilmanvaihdon lämmön talteenoton parantamisella voidaan ilmanvaihdon lämpöhäviöihin vaikuttaa edelleen pienentävästi.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lämmön talteenoton hyötysuhdetta muutetaan 50 %:a 60 %:iin • Kaukolämmitysenergian kulutus on tämän arvion mukaan 20,1 kWh/m³ <p>Rakennuksen ilmanpitävyyttä parantamalla voidaan yleensä parantaa sekä sisäilmastoa että energiatehokkuutta.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Esimerkkikoulun rakenneyksityiskohtien huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella tavoitellaan ilmanvuotokertoimen pienentämistä arvosta 0,1 1/h arvoon 0,05 1/h (ei pidä sekoittaa n50-arvoon, 0,1 1/h vastaa tasoa n50 = n. 2,5 1/h) • Kaukolämmitysenergian kulutus on tämän neljännen vaiheen arvion mukaan 18,1 kWh/m³ <p>Esimerkkikoulun kaukolämmitysenergian ensimmäinen kulutusarvio 26,3 kWh/m³ saatiin yksinkertaisin tarkennuksin pienentymään yli 30 % arvoon 18,1 kWh/m³</p> <p>Tavoitteen toteutuminen edellyttää huolellista toteutusta, oletusten mukaista käyttöä ja asiantuntevaa ToVa (toimivuudenvarmistus)-toimintaa rakennuksen suunnitellun käyttöään ajan.</p>
--

Edellä esitetystä esimerkissä käytetyssä laskennassa ilmavuotojen puolittuminen alensi energiankulutusta n. 9 % (vähän lämmitysenergiaa kuluttava rakennus).

Rakennuksen ilmanpitävyydelle tulee asettaa tavoite, jonka toteutuminen varmistetaan mittauksin. Tyypillisesti uusissa toimisto- ja liikerakennuksissa on lähtötavoitteena ollut n50 = 1,0 1/h. Vuoden 2011 aikana suoritetuissa mittauksissa on 28 000 m³:n (ilmatilavuus) virastotalon ilmavuotoluviaksi n50 on saatu n. 0,4 1/h eli passiivitalon vaatimukset alittava arvo.

Ilmanpitävyyden parantamisen lopullinen vaikutus selviää vasta lämmitysenergian seurannan ja vertailun perusteella. Rakennuksen tiiviys määräytyy rakennusvaiheen aikana, rakennuksen valmistuttua tiiviyttä on erittäin vaikea parantaa. Olemassa olevan rakennuskannan ilmanpitävyyden parantaminen vaatii useissa tapauksissa perusteellisia korjauksia, kuten Vehmersalmen kirjaston esimerkki osoittaa. Mikäli ilmavuodot keskittyvät oviin ja ikkunarakenteisiin, voidaan asianmukaisella ikkuna- ja ovirakenteiden tiivistämisellä parantaa ilmanpitävyyttä jopa merkittävästi, ja korjausten takaisinmaksuaika, toisin kun esimerkiksi lisäeristystapauksissa on lyhyt. Myöskään korjauskustannukset ovat tällaisissa tapauksissa kohtuulliset.

Peruskorjaus- ja uudisrakennusten energianhallinta ja energiatehokkuus edellyttääkin hankesuunnitteluvaiheessa energiatehokkuus – ja olosuhdetavoitteiden tavoitteiden asettamista ja suunnitteluvaiheessa nykyistä tarkemman ohjeistuksen työmaatasolle. Tavoitteiden toteutuminen varmennetaan eri rakentamisprosessin vaiheiden aikana toimivuuden varmistusmenettelyllä, joihin tiiviysmittaukset ja lämpökuvaukset voidaan laskea kuuluvaksi. Uudisrakentamisessa voidaan ilmapuotolukutavoitteeksi asettaa $n50 < 1.0$ l/h ja q50 vastaavalle tasolle.

Rakennuksen ilmanpitävyyden parantaminen vaatii sen, että ilmanvaihtojärjestelmän täytyy toimia suunnitellulla tavalla (niin kuin iv-järjestelmän tulee joka tapauksessa tehdä). Mikäli ilmamäärät jäävät vajaaksi, voi erityisesti tiloissa joissa kosteuskuormitus on joko hetkittäin tai jatkuvasti normaalia suurempi seurata ongelmia. Rakennuksen painesuhteisiin tulee kiinnittää myös huomiota, Ilmanvaihtojärjestelmä tulee olla asianmukaisesti tasapainotettu. Mikäli sinänsä hyvin rakennetussa rakennuksessa on paikallisia ilmapuotoikohtia jotka sijaitsevat oleskelutilojen läheisyydessä, voi liian suuresta alipaineesta johtuva rakenteiden läpi tuleva jäähdyttävä ilmavirtaus aiheuttaa lämpöviihtyvyyso ongelmia ja vetoa.

Myös ulkopuolisen kosteuden ja pitoisuuksien joutuminen rakenteisiin ja sisäilmaan voi aiheuttaa ongelmia ja pahimmassa tapauksessa rakennusvaurioita ja terveyshaittoja. On tapauksia, jossa ilmanvaihtojärjestelmän uusiminen on aiheuttanut sisäilmaongelmia. Syynä on ollut ulkoseinärakenteisiin vuosien saatossa kontaminoituneiden pitoisuuksien kulkeutuminen ilmanvaihdon tehostuessa takaisin sisätiloihin.

Rakennuksen tiiviyteen kuuluu myös rakennusten eri osien välinen tiiviys (esimerkiksi kerrosten väliset ilmapuodot ja puodot maaperästä). Mikäli rakennusta palvelee useita eri ilmanvaihtokoneita joilla on omat palvelualueet, ja joiden käyntiajat poikkeavat toisistaan, voi tulla tilanteita jossa jotkin tilat olla ajoittain voimakkaasti ali- tai jopa ylipaineisia ulkoilmaan nähden – joka voi aiheuttaa ajan mittaan rakenne- ja sisäilmaongelmia mikäli rakenteissa on puotopaikkoja. Palvelualueet tulisi molla myös riittävän eristettyjä toisistaan.

Rakennuksen ilmanpitävyys on vain yksi rakennuksen toimivuuteen ja sisäolosuhteisiin vaikuttava tekijä – rakennuksen sisäolosuhteet, lämpötekkinen toimivuus ja energiatehokkuus ovat usean eri tekijöiden summa, ja yhtä tekijää ei ole syytä korostaa muiden osatekijöiden kustannuksella.

7 Rakennusten lämpökuvaus energiatehokkuuden edistämässä

Lämpökuvaus on ainetta rikkomaton menetelmä, jolla voidaan arvioida rakennusten, rakenteiden ja rakennusmateriaalien toimivuutta, laatua ja kuntoa [5]. Lämpökuvauksista on käytetty vuosikymmeniä kiinteistöjen kunnonarvioinnissa ja rakennusten lämpöteknisen toimivuuden selvittämisessä. Tässä projektissa lämpökuvauksen käyttöä tutkittiin ja kehitettiin eri lämpökameroilla (mm. FLIR P640 ja E300) useissa pilottirakennuksissa VTT:n ja FinnEnergia Oy:n toimesta ja yhteistyössä Pieksämäen kaupungin, Rautavaaran kunnan ja Kuopion kaupungin kanssa. Tutkimukseen osallistui Sami Siikanen, Timo Kauppinen, Marko Kaarre, Sini Kivi ja Erkki Vähäsöyrinki VTT:ltä sekä Hannu Partanen ja Juhon Rissanen FinnEnergia Oy:ltä.

7.1 Tuloksia koekohteista

7.1.1 Pieksämäki

Pieksämäen sairaala/terveyskeskus, lämpökuvaukset 9.3.2010:

Pieksämäen sairaalassa oli tavoitteena kuvata ikkunoita niiden peruskorjauksen jälkeen ja toistaa toisessa toimeksiannossa vuonna 2007 tehty lämpökuvaus, joka oli tehty ennen ikkunoiden peruskorjausta. Vallitsevissa sääolosuhteissa oli melko hyvä yhtäpitävyys omien havaintojen ja Ilmatieteen laitoksen havaintoaseman välillä. Aurinko paistoi kuitenkin koko mittausjakson ajan ja saattoi vaikuttaa ikkunamittaustuloksiin lämpötilaa kasvattavasti. Sisälämpötilan mittaukset olivat yhtäpitäviä omien havaintojen ja sairaalan antureiden lukemien välillä noin 1°C tarkkuudella. Hälytysrajat ylittäviä kylmiä kohtia löytyi runsaasti ikkunoiden rakenteista peruskorjauksesta huolimatta. Kaihtimet olivat alhaalla kaikissa mittauskohteissa ja osassa ne nostettiin ylös mittausten ajaksi. Tällä ei näyttänyt olevan merkitystä mittaustuloksiin. Kappaverhot olivat myös paikallaan mittausten aikana ja niitä nostettiin harjalla pois tieltä mittausten ajaksi. Niiden kohtien lämpölukemat kuvissa, jotka olivat ikkunalasien kohdalla, eivät olleet luotettavia, koska ikkunan heijastavuus oli suuri. Todettiin, että jatkossa täytyy kuvata myös huoneiden seinien ja lattian sekä seinien ja katon rajapinnat ulkoseinien kohdalla. Painemittaukset täytyy myös tehdä lämpökuvauksen yhteydessä ali- tai ylipaineen toteamiseksi. Emissiivisyyden oikeellisuuden varmistamiseksi täytyy mitata myös pintalämpötilamittarilla vertailulukemia ikkunoista.

7.1.2 Rautavaara

Rautavaaran kunnan vuokratalo, lämpökuvaukset, osa 1, 16.2.2010:

Tavoitteena oli kuvata Rautavaaran kunnan vuokratalon ikkunat kolmesta asunnosta – juuri ennen kuin ikkunat vaihdetaan uusiin remontin yhteydessä. Vallitsevissa sääolosuhteissa oli selkeä ero omien havaintojen ja Ilmatieteen laitoksen havaintoaseman välillä, koska pilvisuus vaihtui juuri mittausten alussa täysin pilvisestä täysin aurinkoiseksi! Aurinko alkoi paistaa lämpötilakosteusanturiin 15 minuutin ulkomittausjakson aikana ja todennäköisesti vaikutti tulokseen lämpötilaa kasvattavasti ja suhteellista kosteutta laskevasti. Hälytysrajat ylittäviä kylmiä kohtia löytyi sekä uusien että vanhojen ikkunoiden

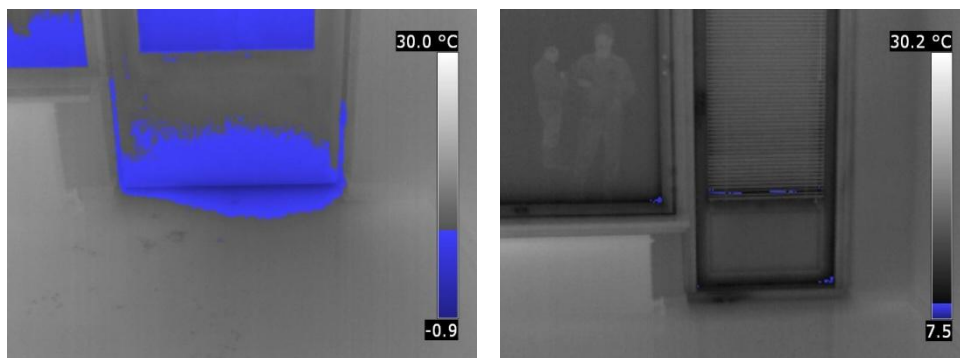
rakenteista. Välillä kylmimmät kohdat kuvassa olivat ikkunalasin kohdalla, mutta nämä lukemat eivät ole luotettavia, koska ikkunan heijastavuus on suuri. Todettiin, että jatkossa täytyy kuvata rakennus myös ulkoapäin.

Rautavaaran kunnan vuokratalo, lämpökuvaukset, osa 2, 17.1.2011:

Tavoitteena oli toistaa lämpökuvaukset asunnoissa, joiden ikkunat oli uusittu. Ensimmäiset lämpökuvaukset tehtiin siis 16.2.2010, jolloin ikkunoita ei ollut vielä uusittu. Sisälämpökuvissa näkyi eroja vuoden 2010 ja vuoden 2011 kuvien välillä: lämpö- ja ilmapuodot olivat vähentyneet merkittävästi ikkunoiden uusimisen johdosta. Värillisen eristeindeksihälytyksen käyttö mustavalkoisesta Grey-väripaletin kanssa havainnollistaa hyvin liian kylmiä lämpötiloja kuvissa. Värillisen Rain-väripaletin käyttö auttoi havaitsemaan yksityiskohtia kuvissa paremmin. Kohteeseen ei pystytty luomaan ilmantiiviysmittaukseen riittävää alipainetta, vaikka tuloilma-aukot teipattiin ja poistoilmavirtaus asetettiin maksimiinsa. Kosketuslämpötilamittaus osoitti, että lämpökuvien lukemien tarkkuus oli erittäin hyvä - referenssimittauksen lukemat erosivat lämpökameran lukemista vain 0...0,5°C. Huomattiin myös, että kosketuslämpötila-anturin käyttö muutti kohdepinnan lämpötilaa hetkellisesti. Ulkolämpökuvista ei nähty merkittäviä ilma- eikä lämpövuotoja.

Taulukko 82: lämpökameralukemien tarkkuus, emissiivisyys = 0,93

lämpökuvaukohde	FLIR-lämpökameralla mitattu lämpötila, °C	Fluke kosketuslämpötila, °C	erotus FLIR-Fluke, °C
ikkunan karmi	19,8	20,3	-0,5
seinäpinta	21,2	21,3	-0,1
ovi-ikkunapaneeli	15,0	14,9	0,1
lämpöpatteri	23,9	23,9	0,0
ikkunalasi	20,7	21,0	-0,3



Kuva 49 A-B: olohuoneen vanha ovi-ikkuna 2010 (vas.) ja uusi ovi-ikkuna 2011 (oik.). Sininen 61% eristeindeksihälytys mustavalkoisessa lämpökuvassa näyttää liian kylmät alueet.

7.1.3 Kuopio

Kuopion Vehmersalmen koulu, lämpökuvaukset, osa 1, 18.-19.3.2010

Tavoitteena oli lämpökuvauksella selvittää, mistä johtuu Vehmersalmen koulukeskuksen korkea neliömetrikohtainen lämmön- ja sähkönkulutus. Tavoitteena oli myös kokeilla ilmantiiviysmittauksen järjestämistä koulun omien ilmanvaihtolaitteistojen avulla. Vallitsevissa sääolosuhteissa oli jonkin verran

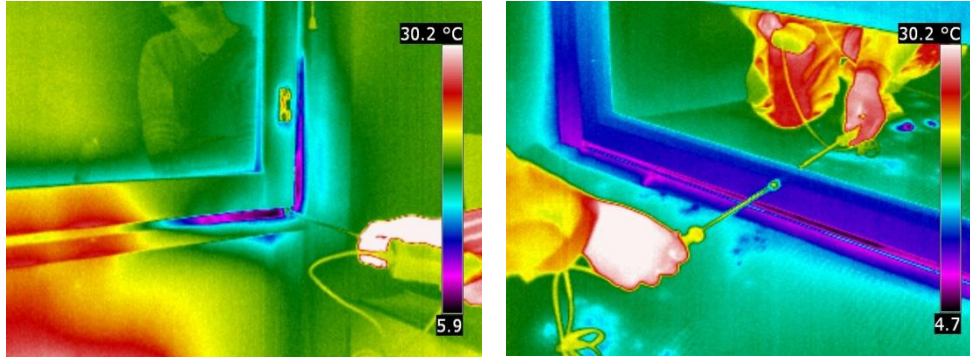
eroja omien havaintojen ja Ilmatieteen laitoksen havaintoaseman välillä. Tämä saattaa johtua kuvauspaikan ja Ritoniemen sääaseman välisestä fyysisestä etäisyydestä. Aurinko paistoi koko ensimmäisen päivän ajan, toisena päivänä oli pilvistä. Tämä saattoi vaikuttaa mittaustulosten vertailukelpoisuuteen negatiivisesti. Hälytysrajat ylittäviä kylmiä kohtia löytyi runsaasti erityisesti kirjaston katon rakenteista ilmanvaihtokanavan kohdalta. Tällä kertaa tehtiin myös painemittaukset lämpökuvausten yhteydessä. Ilmantiivysmittauksen aikana korostetussa alipaineessa ilmavuodot näkyivät rakenteista hyvin. Huhtikuun lopussa tehtiin lisäksi mittauksia Hantekno Oy:ltä koekäytössä olevalla vaihtoehtoisella tekniikalla: Belgialaisyritys SDT:n uusi ultraäänen kuunteluun/peilaukseen perustuva laitteisto paljasti ikkunoista ilmavuotokohtia samoissa paikoissa kuin maaliskuussa lämpökameralla todetuissa kohdissa. Ultraäänitekniikan käyttö yhdessä lämpökameratekniikan kanssa saattaisi antaa luotettavampia tuloksia mm. ikkunoiden tiiviyden mittauksessa.



Kuva 50 A-B: ultraäänen kuunteluun/peilaukseen perustuvan laitteiston koekäyttöä Kuopion Vehmersalmen koululla 29.4.2010.

Kuopion Vehmersalmen koulu, lämpökuvaukset, osa 2, 11.1.2011

Tavoitteena oli toistaa ilmantiivysmittaus ja lämpökuvaukset sen jälkeen kun rakennukseen oli tehty kattorakenteen parannuskorjauksia tämän ja edellisen ilmantiivysmittauksen välissä. Korostetussa alipaineessa ilmavuodot näkyivät jälleen rakenteista hyvin, kun kuvia vertaa normaalissa alipaineessa otettuihin kuviin. Kosketuslämpötilamittauksien tulokset olivat 0 – 1 °C tarkkuudella yhtäpitävät lämpökameralla mitattujen pintalämpötilojen kanssa, vaikka mittauksia tehtiin erityyppisiltä pinnoilta. Kirjastoon saatiin nyt luotua suurempi alipaine kuin vuosi sitten tehdyissä mittauksissa. Tämä viittaa siihen, että katon korjaustyöllä on saatu parannettua tilan ilmantiivyyttä. Ei ole täysin varmaa, että ilmantiivyyden mittausjärjestelystä saatiin tehtyä täysin samanlainen kuin vuosi sitten, koska samaan IV-palvelualueeseen kuuluu kirjaston lisäksi myös ravintola ja keittiö. Tulokset ovat kuitenkin suurella todennäköisyydellä vertailukelpoiset.



Kuva 51 A-B: kosketuslämpömittaus lämpökuvassa nähtynä, vasemmalla ikkunan karmista tehty mittaus ja oikealla ulko-oven alareunasta tehty mittaus.

Kuopion Kaarenhovin päiväkotii, lämpökuvaukset, osa 1, 10.12.2010

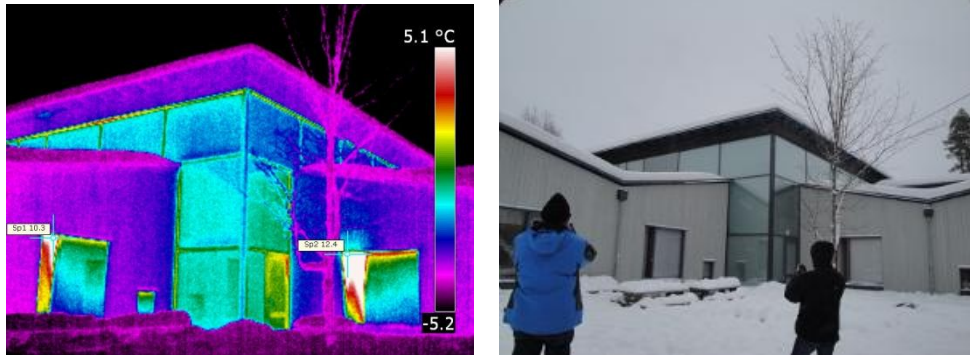
Tavoitteena oli kokeilla ilmantiiviysmittauksen järjestämistä päiväkodin omien ilmanvaihtolaitteistojen avulla sekä ilmavuotojen havainnointia lämpökuvauksella. Kohteessa oli suuri lämpöenergiankulutus per rakennuskuutiometri ja korostetussa alipaineessa nähtiin jälleen ilmavuotoja rakenteista. Näissä mittauksissa huomattiin, että paine-eromittaus kannattaa tehdä vasta lämpökuvauksen ja ilman lämpötilan mittauksen jälkeen, ettei tuuletusikkunan tms. avaaminen vaikuta tuloksiin. Mittaustulosten käsittely on jälkikäteen nopeampaa, jos lämpökamerassa lämpökuvaan pystyy jo kuvausvaiheessa liittämään ulkolämpötilan sekä kunkin mitattavan huoneen numeron/tunnisteen sekä ilman lämpötilan ja kosteuden. Täytyy myös kiinnittää huomiota siihen, että kun aloitetaan mittaukset, niin laitteet eivät ole olleet pitkään kylmässä tilassa, esim. auton takakontissa.

Kuopion Kaarenhovin päiväkotii, lämpökuvaukset, osa 2, 12.1.2011

Tavoitteena oli tehdä ulkolämpökuvaukset, jotka olivat jääneet tekemättä joulukuun pilottimittauksissa. Kaarenhovin päiväkodin ulko-ovien puitteissa nähtiin paljon kohtia, joiden lämpötila oli noin $+7^{\circ}\text{C}$, mikä viittaa ilmavuotoihin ko. kohdissa. Jatkossa ulkolämpökuvienkin tarkkuutta voisi varmentaa kosketuslämpötilamittauksella. Ulkolämpökuvauksessa kuvausetaisyysdellä on suurempi merkitys kuin sisälämpökuvauksessa, koska kuvattavat kohteet ovat etäämmällä ja etäisyyttä on vaikea arvioida tarkasti. Etäisyyksimittauksen tarkkuutta voisi parantaa käyttämällä laser-etäisyysmittaria. Rakennusten seinien summittaisia ilmansuuntia määritettiin piirustusten lisäksi myös Google Maps Street View -ohjelmiston avulla.

Kuopion Rauhalahden päiväkotii, lämpökuvaukset, osa 1, 13.1.2011

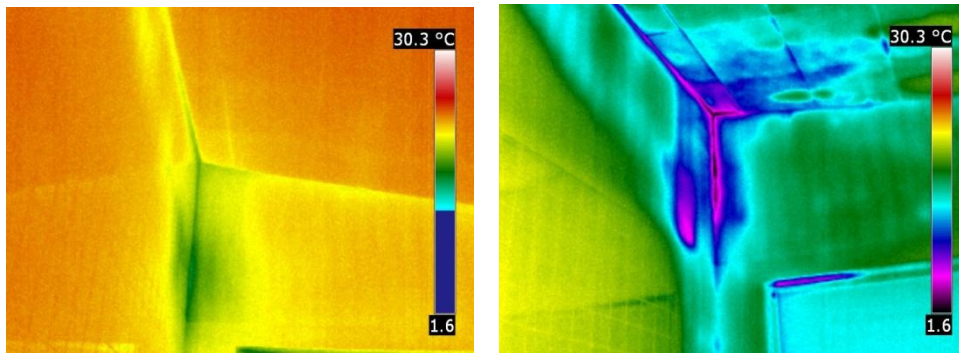
Tavoitteena oli tehdä sisälämpökuvaus verokkikohteessa, jonka energiankulutuslukemat rakennuskuutiometriä kohden olivat pienet. Sisälämpökuvissa näkyi vain vähän lämpö- ja ilmavuotoja - mikä oli ennakkoletuksen mukaista, koska kyseessä oli verokkikohde Kaarenhovin päiväkodille. Värillisen eristeindeksihälytyksen käyttö harmaapaletin kanssa havainnollistaa hyvin liian kylmiä lämpötiloja kuvissa. Kohteessa pidettiin joitakin tuuletusluukkuja auki mittausten aikana, mikä aiheutti harhaanjohtavia tuloksia sekä sisä- ja ulkolämpökuviin. Kohteessa oli yleinen käytäntö, että nukkumahuoneissa pidettiin tuuletusluukkuja auki päivittäin noin 15 minuuttia ennen ja jälkeen lasten nukkumisen. Ulkokuvauksissa, jotka tehtiin sisäkuvausten lisäksi, nähtiin auki olevia tuuletusluukkuja hyvin erottuvina kohteina.



Kuva 52 A-B: Vasemmalla ulkolämpökuvaa Rauhalahden päiväkodin eteläfasadista. Lämpökuvassa erottuvat hyvin lämpiminä kohtina auki olevat tuuletusluukut. Oikealla kuva lämpökuvaustilanteesta.

Kuopion Rauhalahden päiväkoti, lämpökuvaukset, osa 2, 9.2.2011

Tavoitteena oli tehdä ilmatiiviysmittaus rakennuksen omien ilmanvaihtokoneiden avulla ja lämpökuvaukset korostetussa alipaineessa. Lämpökuvaukset normaalissa alipaineessa oli tehty 13.1.2011. Lämpökuvaukset normaalissa ja korostetussa alipaineessa tehtiin siis nyt eri päivinä. Ulkolämpötila normaalin alipaineen mittauspäivänä oli noin 7°C korkeampi kuin korostetun alipaineen mittauspäivänä. Vallitsevat sääolosuhteet olivat muutoin melko samankaltaiset molempina päivinä. Korostetussa alipaineessa ilmavuodot näkyivät rakenteista hyvin, vaikka kyseessä oli verokkikohde, jonka energiankulutus per rakennuskuutiometri oli pieni. Tämä saattaa myös osittain johtua siitä, että korostetun alipaineen mittauspäivänä sää oli kylmempi. Tämän takia on tärkeää mitata ja laskea myös rakennuksen ilmatiiviyslukema, eikä luottaa pelkästään lämpökuvauksen tuloksiin. Joidenkin lämpökuvien tapauksessa huomattiin vasta jälkikäteen, että huoneen tuuletusluukku oli osittain lukitsematta mittausten aikana, mikä aiheutti harhaanjohtavia tuloksia lämpökuvuihin.

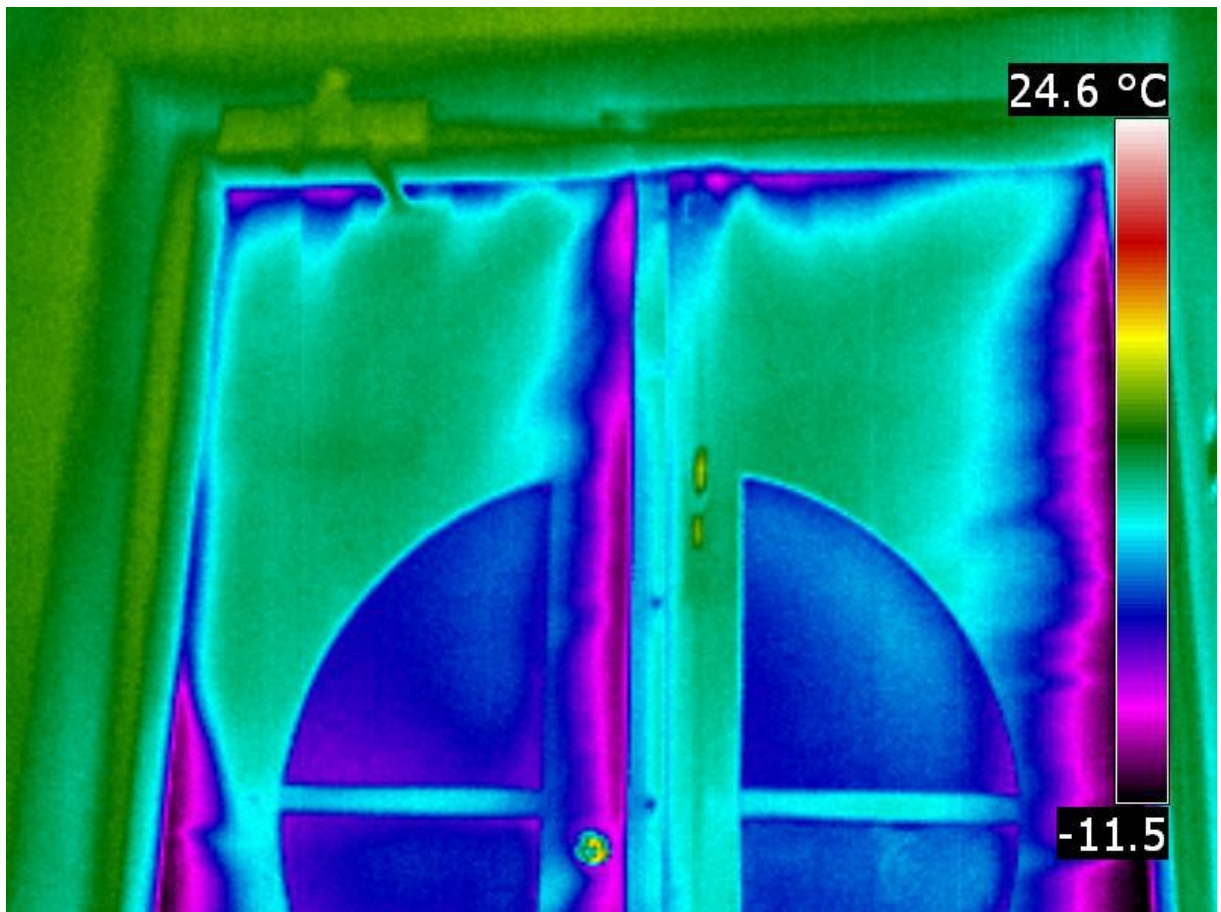
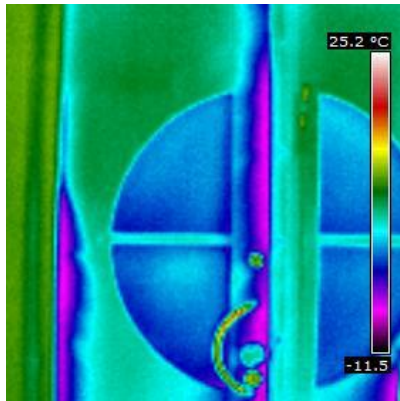


Kuva 53 A-B: Rauhalahden päiväkodin vesileikkihuoneen ylänurkka normaalissa alipaineessa (vas.) ja korostetussa alipaineessa (oik.).

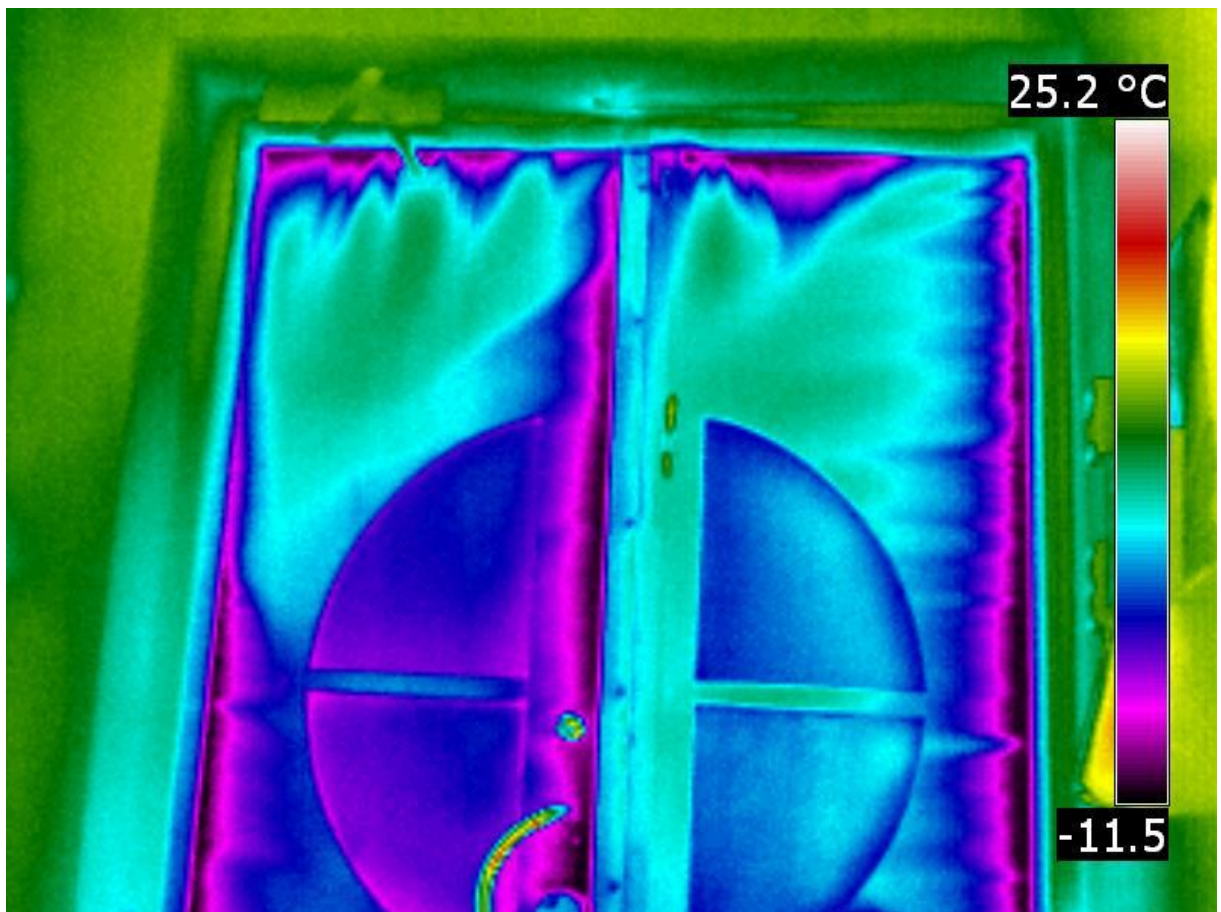
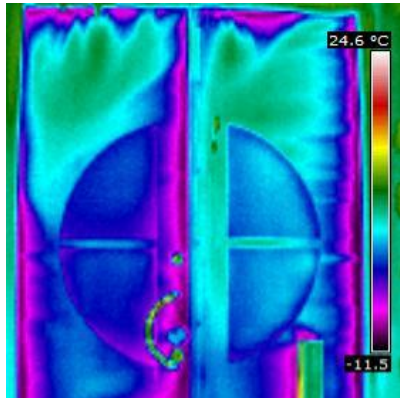
7.2 Lämpökameroiden tuottamien kuvaparien välistä vertailua

Tässä projektissa lämpökuvauksen käyttöä tutkittiin ja kehitettiin eri lämpökameroilla useissa pilottirakennuksissa VTT:n ja FinnEnergi Oy:n toimesta. Projektissa tutkittiin lämpökuvauksta myös siitä näkökulmasta, millaisia lämpökuvia minkäkin hintaluokan kameroilla voi tuottaa ja onko edullisemman hintaluokan kameroiden käytöstä jotain haittaa kalliimman hintaluokan

kameroiden käyttöön nähden. Vertailumittauksissa oli käytössä 3 eri kameraa: FLIR P640 (kennon pikselimäärä 640 x 480 pikseliä) oli kalliin hintaluokan kamera, FLIR E300 (kennon pikselimäärä 320 x 240 pikseliä) oli keskihintaluokan kamera ja FLIR b50 (kennon pikselimäärä 140 x 140 pikseliä) oli edullisen hintaluokan kamera.



Kuva 54 A-B: Normaalissa alipaineessa FLIR b50 edullisen hintaluokan kameran lämpökuva eräästä ulko-ovesta (ylhäällä) ja FLIR E300 keskihintaluokan kameran lämpökuva samasta kohdasta (alhaalla).



Kuva 55 A-B: Korostetussa alipaineessa FLIR b50 edullisen hintaluokan kameran lämpökuva samasta ulko-ovesta kuin edellisessä kuvaparissa (ylhällä) ja FLIR E300 keskihintaluokan kameran lämpökuva samasta kohdasta (alhaalla).

Ylläolevat lämpökuvaparit kuvattiin hankkeen ilmatiivysmittauskokeiden aikana. Ensimmäiset lämpökuvat otettiin ennen ilmatiivysmittauksen aloittamista rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tuottamassa normaalissa alipaineessa (tyypillisesti 5-10 Pascalia). Toiset lämpökuvat otettiin ilmatiivysmittauksen jälkeen, jolloin rakennuksen ilmanvaihtokoneilla luotu korostettu alipaine oli jätetty päälle. Lämpökuvapareista nähdään, että sekä edullisen hintaluokan että keskihintaluokan kameroilla nähdään selvä ero lämpötilagradienteissa normaalin alipaineen ja korostetun alipaineen tapauksissa. Korostetussa alipaineessa lämpötilagradientit ovat syvempiä. Pinta-lämpötilat ovat matalampia ja kuvissa näkyy ilmavuodoille tyypillinen viuhkamainen kuvia ilmavuotokohdissa.

Edullisen hintaluokan kameroissa kennon pikselimäärä on yleensä pienempi, mikä vaikuttaa negatiivisesti kuvan erottelukykyyneen, mutta tämän voi kompensoida kuvaamalla kohdetta lähempää kuin keskihintaluokan ja kalliin hintaluokan kameroilla. Yhteenvedona voidaan sanoa, että edullisen hintaluokan kameran käytöstä ilmatiiivysmittauksen ja muiden mittausten yhteydessä ei ole suurta haittaa lopputuloksia ajatellen.

7.3 Lämpökuvausten johtopäätökset ja yhteenvedo

Näissä pilottimittauksissa lämpökuvausta tutkittiin ja kehitettiin hakemalla käytännön kokemuksia iteratiivisesti toistamalla. Todettiin, että lämpökuvausta on periaatteessa helppoa tehdä, mutta virheiden ja virhetulkintojen todennäköisyys on suuri. Esimerkiksi oikea emissiivisyys on erittäin tärkeä parametri tulosten luotettavuuden kannalta. Myöskin taustan/ympäristön säteilyn lämpötila (ambient temperature) on tärkeää mitata ja asettaa kameran parametreihin, jos lämpökuvaajan takana (!) on hyvin kuumia tai kylmiä kohtia. Muutoin heijastuksista aiheutuvat virheet tulevat hyvin suuriksi. Kuvaajalta ja kuvien tulkitsijalta vaaditaan sekä rakennusfysiikan ja rakenteiden että lämpökameran ja sen sovellusohjelmien riittävää tuntemista. Rakennusteollisuuden koulutuskeskus (RATEKO, kotisivut www.rateko.fi) järjestää kiinteistökurssin pohjalta henkilösertifiointiin tähtäävää rakennuksen lämpökuvaajien koulutusta. Sertifiointiin myöntää VTT ja sen tarkoituksena on varmistaa niiden henkilöiden osaaminen, jotka myyvät suoraan tai välillisesti lämpökuvauspalveluita rakennusalailla. Lisäksi kansainvälinen lämpökuvauskoulutus Level-1 vastaa ASNT:n (The American Society for Non-Destructive Testing) suosituksia, joka kattaa perustiedot ja -taidot lämpöfysiikasta, lämpösäteilystä, lämpökameroista ja raportointiohjelmistoista.

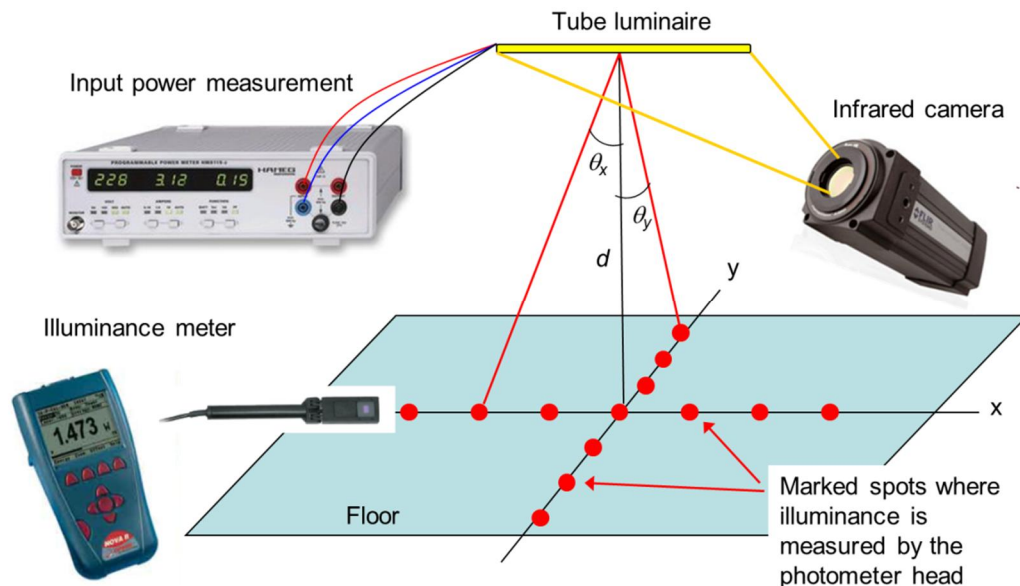
8 LED-valaistuksen seurantatutkimukset

8.1 LED-valaistuksen seuranta laboratoriossa

Viime aikoina markkinoille on tullut LED-valoputkia, jotka voidaan suoraan asentaa olemassa oleviin magneettisella kuristimella varustettuihin loisteputkivalaisimiin T8-loisteputkien tilalle. LED-valaisimien odotetaan tuottavan merkittävää energiansäästöä erilaisissa rakennuksissa, erityisesti kylmätiloissa tai ulkona (LEDien sisäinen hyötysuhde on kylmässä parempi). Tässä työpaketissa selvitettiin Valtavalo Oy:n ja muiden valmistajien LED-valoputkien energiatehokkuutta useilla erilaisilla menetelmillä, käyttäen vertailukohtana tavallisia T8-loisteputkia. Hukkalämmön muodostusta tutkittiin sekä lämpökuvausten että kosketuslämpötilamittausten avulla. Valaistusominaisuuksia tutkittiin fotometrisillä mittauksilla, ja valotehoa verrattiin sähkötehon kulutukseen hyötysuhteen selvittämiseksi sekä laboratoriossa että todellisessa käyttöympäristössä viileässä varastossa. Sähköisiä ominaisuuksia, kuten harmonista kokonaissäröä, tutkittiin lisäksi laboratorio-mittauksin. Tutkimuksen suorittivat Sini Kivi, Sami Siikanen, Marko Kaarre, Csaba Finta, Lauri Väätäinen, Timo Kauppinen ja Mikko Juuti VTT:ltä.

Lamppujen pintalämpötiloja tutkittiin lämpökuvauksella pimennetyssä optiikkalaboratoriossa 24 tunnin jaksoissa. Lämpökuvauksessa käytettiin FLIR A300 lämpökameraa, jonka lämpötilaherkkyys on $< 0.05^{\circ}\text{C} + 30^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. Kulutettavaa sähkötehoa mitattiin ohjelmoitavalla Hameg HM8115-2 vaihtovirtatehomittarilla. LED-sirujen tuottaman lämmön johtumisen selvittämiseksi LED-valoputkia kuvattiin myös putken sivuilta korkean resoluution Cedip Titanium 560M -lämpökameralla. Lämpökuvaukset kalibroitiin aina kosketuslämpömittarilla (Fluke 53 II varustettuna Fluke 80PK-27 mittapäällä), koska eri pintamateriaalien toisistaan poikkeavat emissiivisyydet saattavat aiheuttaa virhettä lämpökameran näyttämiin lämpötilalukemiin.

Lamppujen tuottamaa illuminanssia mitattiin lattiatasoon sijoitetulla Ophir Nova II illuminanssimittarilla, joka oli varustettu silmän herkkyyssäätöön sovitetulla PD300-CIE mittapäällä. 24 tunnin mittauksissa illuminanssia mitattiin vain keskeltä kohtisuoraan lampun alta, mutta valokeilan kulmajakauman selvittämiseksi tehtiin erillisiä lyhyitä mittauksia laajemmalla pinta-alalla (Kuva 56).

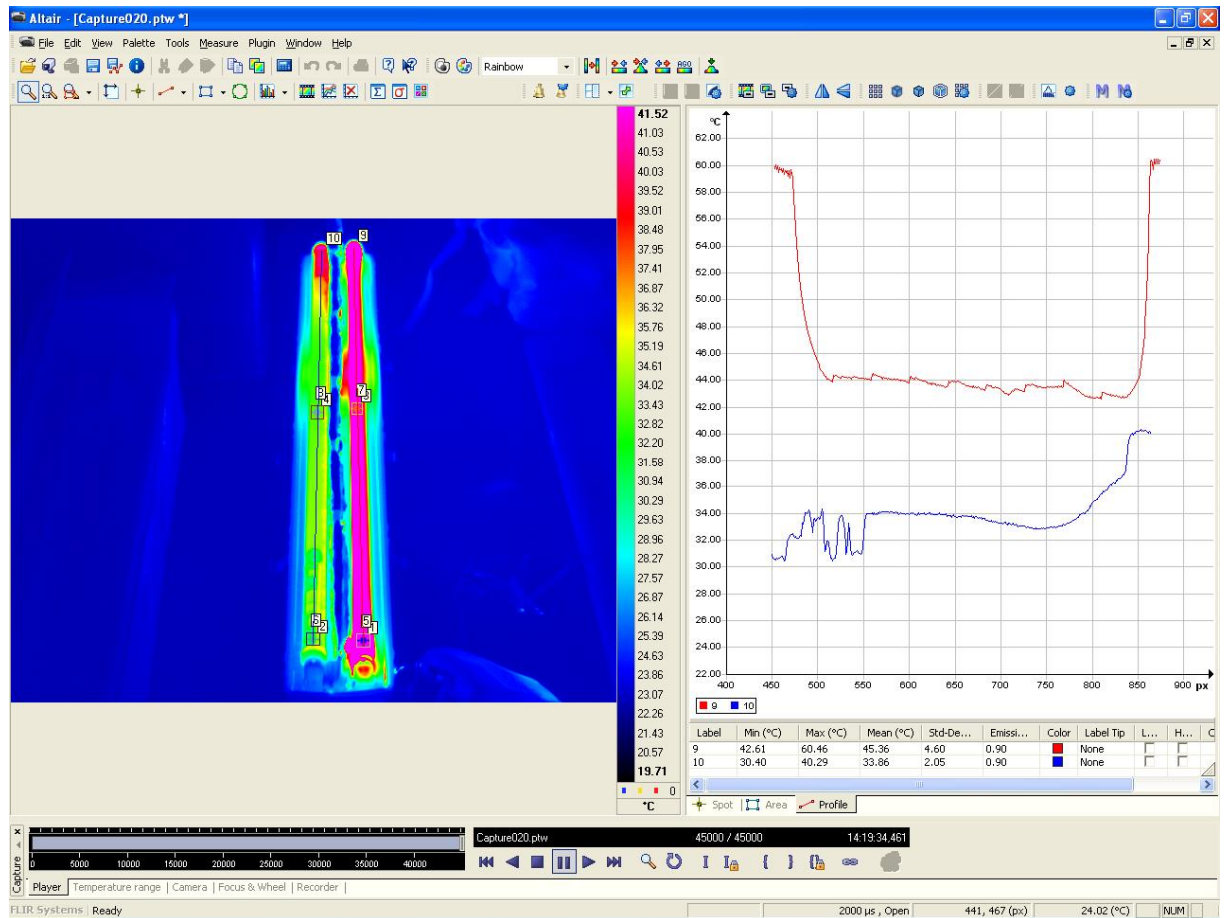


Kuva 56: Mittalaitteet ja mittausjärjestely fotometrisiin, sähköisiin sekä lämpökuvauksmittauksiin.

LED-putkien ja T8-loisteputkien valovuota ja spektraalisia ominaisuuksia mitattiin Aalto-yliopiston Valaistuslaboratoriossa suuressa integroivassa pallossa. LED-putkia mitattiin sekä magneettisella kuristimella varustettuna että ilman.

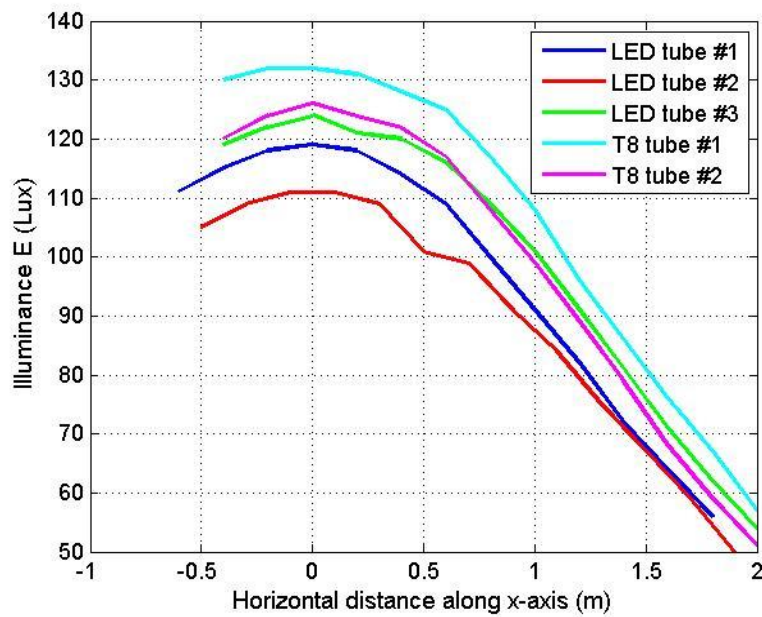
Mittauksissa todettiin, että LED-valoputkien pintalämpötila oli matalampi kuin T8-loisteputkien pintalämpötila heti virran kytkemisestä alkaen. Tämä saattaa johtua siitä, että T8-loisteputki luo myös enemmän infrapunasäteilyä korkeamman pintalämpötilan lisäksi. T8-loisteputkien tapauksessa erityisesti putkien päät olivat hyvin kuumia. LED-putkien pohjan ja sivuosan pintalämpötilat olivat noin $5\text{--}12^{\circ}\text{C}$ korkeampia kuin yläpinnan pintalämpötila. Tämä voi olla seurausta LED-komponenttien lämmöntuotannosta. LED-valoputkien toinen pää oli noin 5°C lämpimämpi kuin toinen pää, mikä johtuu todennäköisesti ohjauselektronikan tuottamasta lämmöstä. Lämpökameran lukemat olivat yhtäpitävät

kosketuslämpötila-anturilla mitattujen referenssilukemien kanssa noin 0-3°C tarkkuudella.



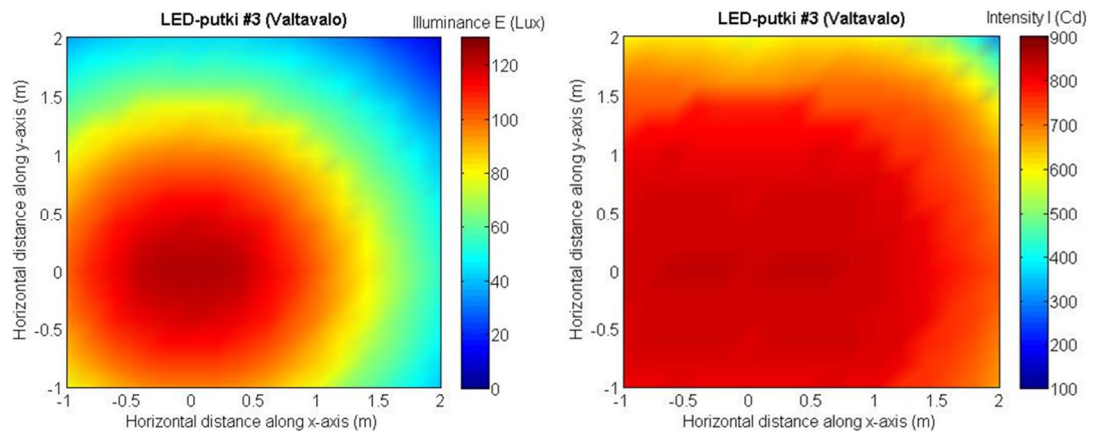
Kuva 57: Lämpökuvaa LED-valoputkesta (vas.) ja perinteisestä T8-loisteputkesta (oik.). LED-valoputken lämpötilaprofiili: sininen käyrä ja T8-loisteputken lämpötilaprofiili: punainen käyrä.

Seuraavissa kuvissa esitetään LED- ja loisteputkien illuminanssituloksia, mitattuna 2.6 m etäisyydeltä kattoon kiinnitettyjen valoputkien alta. Kohtisuoraan lampun keskikohdan alta mitatut illuminanssit vaihtelivat välillä 111 ... 124 lux LED-putkille ja 125 ... 131 lux T8-putkille (Kuva 58).

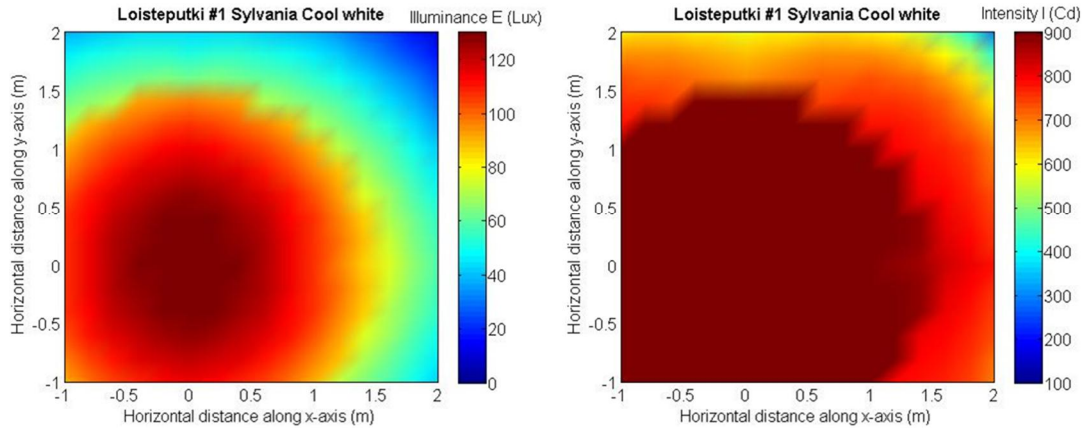


Kuva 58: Lampun pituussuuntaan mitatut illuminanssiarvot lattiatasolla.

Yhden LED-putken ja yhden loisteputken lattiatasolle interpoloidut illuminanssi-jakaumat sekä niistä johdetut intensiteettijakaumat on esitetty seuraavissa kuvissa. Kuvaajissa on käytetty identtisiä skaaloja vertailun helpottamiseksi. Lampujen kuluttamat ottotehot on merkitty kuvateksteihin.



Kuva 59 A-B: Illuminanssi- (vasemmalla) ja intensiteettijakauma (oikealla) LED-putkelle #3, jonka ottoteho oli **19,0 W**.



Kuva 60 A-B: Illuminanssi- (vasemmalla) ja intensiteettijakauma (oikealla) Cool white 4000K T8-putkelle, jonka ottoteho oli **42,9 W**.

24 tunnin seurantamittauksessa tutkittiin kuutta eri LED-valoputkea kolmelta eri valmistajalta ja seitsemää T8-loisteputkea neljältä eri valmistajalta. LED-putkien keskimääräinen mitattu illuminanssi suoraan lampun keskikohdan alapuolella oli vain 8% pienempi kuin vastaava T8-putkien illuminanssi. Samalla LED-putkien kuluttama sähköteho oli 52% pienempi kuin T8-putkien kuluttama [3]. LED-valoputkien kuluttaman sähkön keskimääräinen tehokerroin (power factor) oli 0,86 kun taas T8-loisteputkien keskimääräinen tehokerroin oli 0,47. Tämä tarkoittaa sitä, että LED-valoputket luovat merkittävässä määrin vähemmän loistehoa ja ovat siten suotuisampia valaisimia sähkönjakeluverkon kannalta. Eri LED-putkien kulmajakaumat vaihtelivat jonkin verran, ollen kahdella lampulla kolmesta mitatusta hieman kapeampi kuin T8-putkien, ts. illuminanssi laskee voimakkaammin keilan reunoja kohti (Kuva). Ero ei kuitenkaan ole kovin suuri.

Absoluuttiset fotometriset mittaukset suoritettiin integroivassa pallossa, kuten edellä on kuvattu. Tulokset on esitetty alla (Taulukko 83).

Taulukko 83: Mitatut fotometriset ja sähköiset arvot LED-putkille ja T8-loisteputkille.

	Magneettinen kuristin	Väriämpötila (K)	Värintoistoindeksi (CRI)	Sähköinen ottoteho (W)	Valovuo (Lm)	Valotehokkuus (Lm/W)
LEDtube #1	Kyllä	5233	76	17.7	1396	78.9
LEDtube #1	Ei	5233	76	17.1	1395	81.6
LEDtube #2	Kyllä	5254	76	18.0	1506	83.7
LEDtube #2	Ei	5253	76	17.4	1504	86.4
LEDtube #3	Kyllä	5741	70	19.0	1626	85.6
LEDtube #3	Ei	5751	70	18.4	1625	88.3
T8tube #1	Kyllä	4056	82	45.5	3344	73.5
T8tube #2	Kyllä	2977	85	46.1	3100	67.3

Kaikkien mitattujen LED-putkien valotehokkuus oli parempi kuin T8-loisteputkilla. Korkein mitattu valotehokkuus oli 88.3 Lm/W, joka mitattiin LED-putkelle #3 ilman magneettista kuristinta.

8.2 LED-valaistuksen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen jäähdytetyissä ja jäähdyttämättömissä tiloissa

Tässä alityöpaketissa tavoitteena oli tutkia LED-valaistuksen käytön vaikutusta jäähdytettyjen ja jäähdyttämättömien tilojen kokonaisenergiankulutukseen. Sopivien pilottikohteiden etsimiseen kului paljon aikaa. Jäähdytetyn tilan osalta pilottikohteeksi saatiin SOK Hämeenmaan Lahden Launeen Prisman liha/eineskylmiö. Jäähdyttämättömän tilan mittauksia ei ehditty tehdä projektin puitteissa.

Lahti SOK Hämeenmaa, mittaukset 16.9.-26.10.2011

Launeen Prisman liha/eineskylmiössä tutkittiin LED-valaistuksen käytön vaikutusta jäähdytettyjen ja jäähdyttämättömien tilojen kokonaisenergiankulutukseen VTT:n Petri Hakulisen, Sami Siikasen ja Timo Kauppisen toimesta. Tutkimus tehtiin keräämällä lämpötila-, sähkönkulutus- ja valaistusvoimakkuusdataa. Liha/eineskylmiössä oli alun perin valaistuksena 12 kappaletta T8-loisteputkia. Mittaukset ja datankeruu tehtiin 16.9.-26.10.2011. T5-loisteputkia ei tutkittu tässä hankkeessa, koska jos ne korvataan LED-valoputkilla, niin koko valaisin pitää uusia samalla.

Mittauslaitteisto:

- 12 kappaletta LED-valoputkia (Valtavallo VV18E120)
- valaistusvoimakkuusanturi Ophir PD300-CIE + näyttölaite Ophir Nova II + laptop-PC, jossa Ophir Starlab –datankeruuohjelmisto
- sähköteholaskuri TGPR-1201 + dataloggeri
- kosteusantureita Tinytag + dataloggereita
- lämpötila-antureita Tinytag -40/75(125°C) + dataloggereita

12 kappaletta T8-loisteputkia oli alun perin valaistuksena kattovalaisimissa.

Seuraavat datat kerättiin 20:n päivän aikana:

- liha/eineskylmiön valaistuksen sähkönkulutus
- valaistusvoimakkuus liha/eineskylmiössä
- liha/eineskylmiön ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus
- varaston (liha/eineskylmiön ulkopuolella) ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus
- ulkoilman (parkkipaikan) lämpötila ja suhteellinen kosteus
- kylmälaitteiston kylmäaineen lämpötilat (sisääntuleva ja ulosmenevä) liha/eineskylmiön alalaitteistojen osalta
- kylmälaitteiston kylmäaineen lämpötila pääimuputkessa

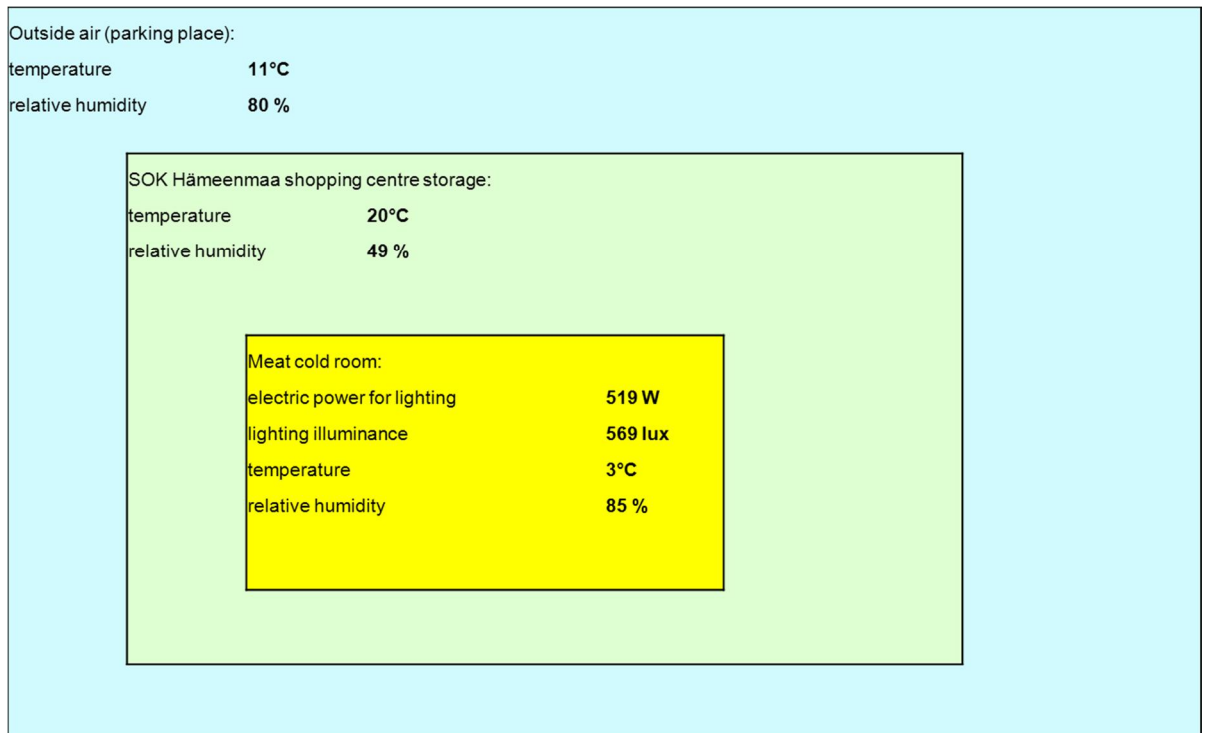
Mittausjakson jälkeen T8-loisteputket poistettiin valaisimista ja LED-valoputket asennettiin niiden tilalle. Samanlainen datankeruu suoritettiin LED-valoputkille 20:n päivän ajan kuin aikaisemmin T8-loisteputkille.



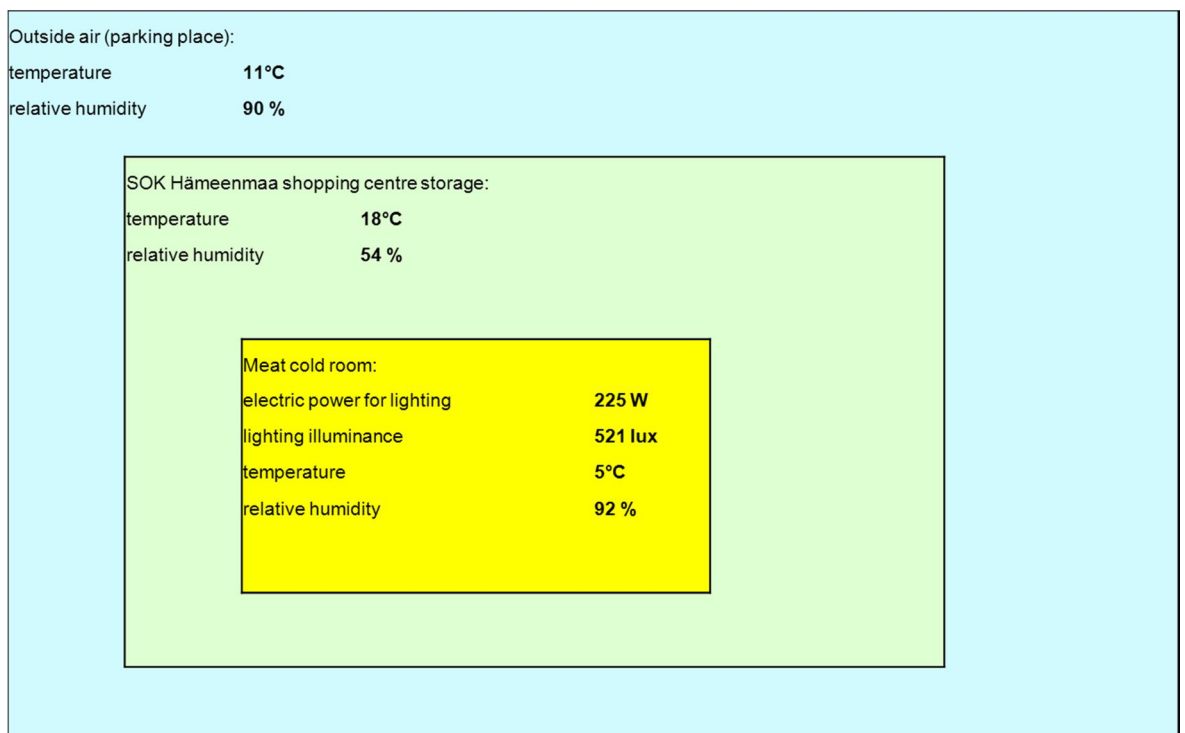
Kuva 61: SOK Hämeenmaan Lahden Prisman liha/eineskylmiö. Katossa T8-loisteputket ja kylmlaitteiston alayksiköt.



Kuva 62: VTT:n Timo Kauppinen (vas.), Petri Hakulinen (oik.) ja Sami Siikanen (kameran takana) tekemässä mittauksia Lahden Prisman liha/eineskylmiössä.



Kuva 63: keskimääräiset mittaustulokset T8-loisteputkia käytettäessä.



Kuva 64: keskimääräiset mittaustulokset LED-valoputkia käytettäessä.

Johtopäätökset valaistuksen energiamittauksista:

Keskiarvoissa ilmaistuna:

- LED-valoputkien kuluttama sähköenergia oli 57% pienempi kuin T8-loisteputkien kuluttama sähköenergia.
- Samaan aikaan LED-valoputkien luoma pöytätason valaistusvoimakkuus oli vain 8% pienempi kuin T8-loisteputkien luoma valaistusvoimakkuus.
- SOK Hämeenmaan varaston olosuhteet olivat samankaltaiset koko mittausjakson ajan.
- Ulkoilman lämpötila ja sääolosuhteet olivat samankaltaiset koko mittausjakson ajan. Omat havainnot tuplavarmistettiin Ilmatieteen laitoksen keräämän säämittausdatan (Lahti Launeen havaintoasema) avulla.

Valaistusvoimakkuusanturi oli sijoitettu pöydälle liha/eineskylmiön seinän viereen. Sijoituspaikka ei ollut ideaalinen mittauksen kannalta, mikä voi vaikuttaa negatiivisesti tulosten vertailukelpoisuuteen. Näin piti kuitenkin menetellä, koska liha/eineskylmiö oli normaalissa käytössä koko mittausjakson ajan.

**LED-valaistuksen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen
jäähdyttämättömissä tiloissa**

Jäähdyttämättömän tilan mittauksia ei ehditty tehdä projektin puitteissa. On kuitenkin todennäköistä, että jäähdyttämättömissä tiloissa LED-valaistuksen tuottamasta vähemmästä lämmöstä ei ole samanlaista hyötyä kuin jäähdytettyjen tilojen tapauksessa. Kuitenkin esimerkiksi kesäisin paljon suuria muutoin jäähdyttämättömiä tiloja pitää viilentää ilmastoinnilla. Ilmastoinnilla täytyy kompensoida sekä ulkoilmasta sisään johtuvaa lämpöä että T8-loisteputkivalaistuksen tuottamaa lämpöä. LED-valoputkien käyttö on tällöin jälleen edullista, koska ilmastointiin käytettävää sähköenergiaa voidaan vähentää LED-valaistuksen tuottaman vähemmän lämmön ansiosta.

8.3 LED-valaistuksen seurantamittausten johtopäätökset

LED-valoputkien seurantatutkimuksissa todettiin niiden käytöllä olevan useita etuja T8-loisteputkien käyttöön nähden. LED-valoputkien sähkönkulutus on pienempi ja valotehokkuus parempi. LED-valoputkien tuottama hukkalämpö on pienempi, mikä jäähdytettyjen tilojen tapauksessa säästää jäähdytykseen kulutettavaa sähköenergiaa. Jatkotutkimuksessa pitäisi jatkaa kylmätilojen kokonaisenergiankulutuksen tutkimista ja LED-valoputkien käytön vaikutusta siihen. Myös suurien ilmastoinnilla jäähdytettävien tilojen kokonaisenergiankulutusta pitäisi tutkia samalla menetelmällä.

9 Muut energiatehokkuuden mittausmenetelmiin liittyvät tutkimukset

9.1 Seinäkosteuden mittaus lämpökuvauksella

Tässä mittauksessa testattiin espanjalaisten menetelmää [6], jossa seinän kosteusvaurioita mitataan lämpökuvauksella. Keskeinen hypoteesi on siinä, että lämpötilamuutokset näkyvät kuvattavan kohteen pinnassa veden suuren lämpötilakapasiteetin vuoksi hitaammin kosteissa kohdissa kuin kuivissa

kohdissa. Mittauksen ja data-analyysin suorittivat Pekka Teppola, Sami Siikanen ja Marko Kaarre VTT:ltä.

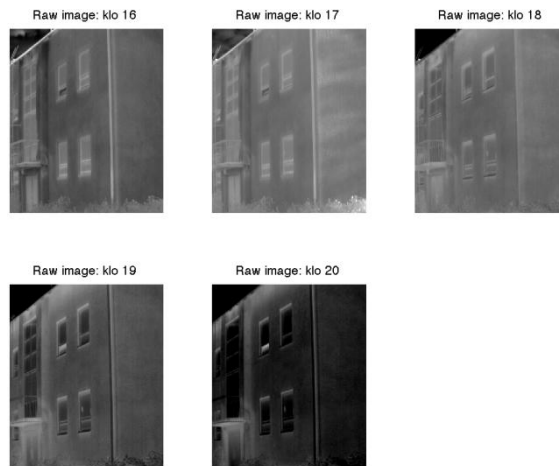
Pilottikohteena oli Rautavaaran vanha opettajien asuntola, joka on ollut kylmillään yli 10 vuotta ja jonka ulkoseinissä oletettiin olevan kosteutta, mutta tästä ei ollut tarkkaa tietoa käytettävissä määrän eikä paikankaan osalta. Mittaukset tehtiin 27.9.2011.

Mittauksessa käytettiin korkean suorituskyvyn Cedip Titanium –lämpökameraa, jonka aallonpituusalue oli 1.5-5.1 mikronia (MWIR-aallonpituusalue).

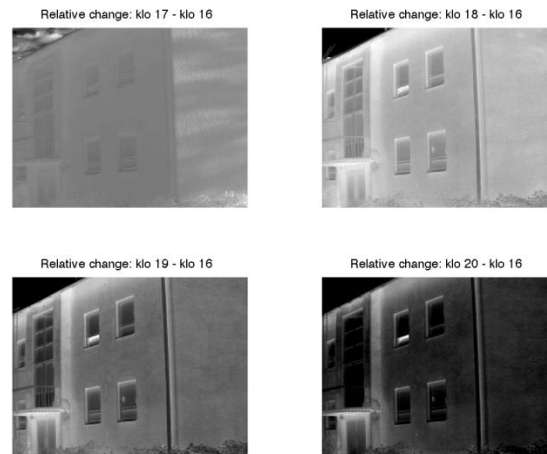
Kuvausjärjestelyn mukaisesti kuvattiin 10 s pituinen lämpökuvavideo tunnin välein neljän tunnin aikana (yht. 5 mittauspistettä). Säätila oli valittu siten, että ilman lämpötila muuttuisi mahdollisimman paljon mittausjakson aikana. Tästä syystä mittaus tehtiin päivän vaihtuessa iltaan.

Analyytit. Mittauksia tehtiin alkaen klo 16 joka tunti klo 20 asti. Tasatunnein mitatut lämpökuvasarjat keskiarvoistettiin kohinan pienentämiseksi. Kuvat analysoitiin pääkomponenttianalyysin (PCA) avulla. Analyysiä varten tasatunnein keskiarvoistetut kuvat normalisoitiin klo 16 tehtyyn mittaukseen, koska meitä kiinnosti nimenomaan suhteellinen muutos lähtöhetkeen nähden (vrt. yllä esitetty työhypoteesi). Kuvassa 1a on esitetty tasatunneilla mitatut keskiarvoistetut lämpökuvat (mitä vaaleampi kohta sitä korkeampi lämpötila). Kuvassa 1b on lähtöhetkeen nähden suhteelliset muutokset neljälle jälkimmäiselle mittaukselle (mitä vaaleampi sitä suurempi lämpötilamuutos) ja kuvassa 1c suhteellisista muutoksista lasketut pääkomponenttianalyysin kuvat (vaaleudella/tummuudella on vain kontrastimerkitys ts. suunnalla ei ole merkitystä tässä annetun informaation perusteella; tarkemmat analyysit ovat toki mahdollisia, mutta niissä tulee lähinnä esille päivän kääntyminen kohti iltaa).

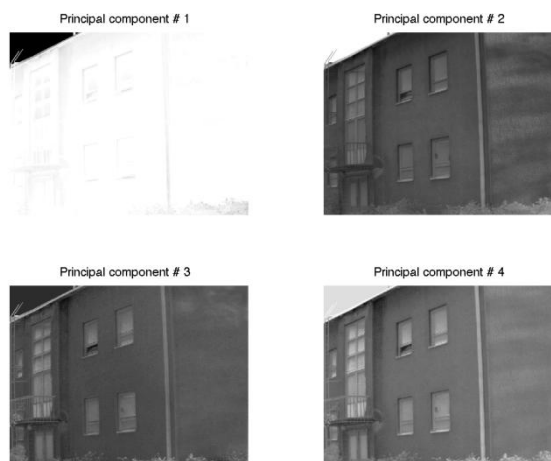
1a



1b

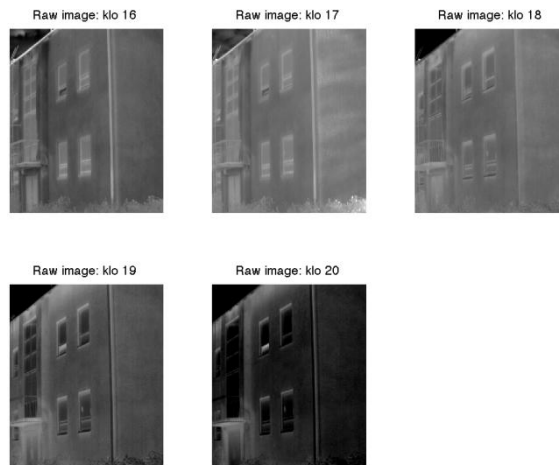


1c

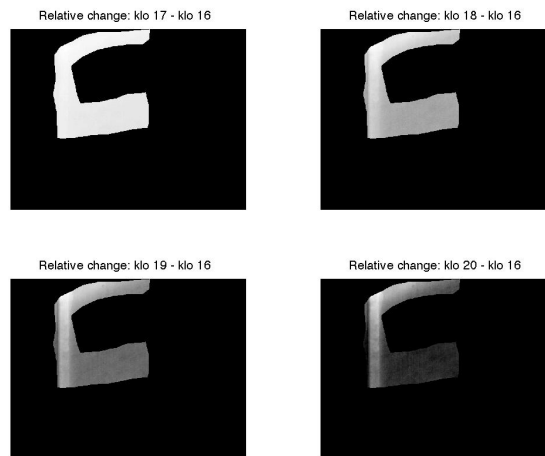


Kuva 65. (a) Tasatunnein mitatut keskiarvoistetut lämpökuvat (mitä vaaleampi kohta sitä korkeampi lämpötila). (b) Lähtöhetkeen nähden suhteelliset muutokset neljälle jälkimmäiselle mittaukselle (mitä vaaleampi sitä suurempi lämpötilamuutos). (c) Suhteellisista muutoksista lasketut pääkomponenttianalyysin kuvat (vaaleudella/tummuudella on vain kontrastimerkitys).

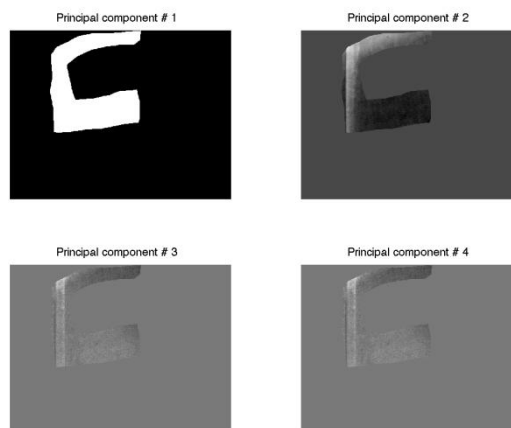
2a



2b

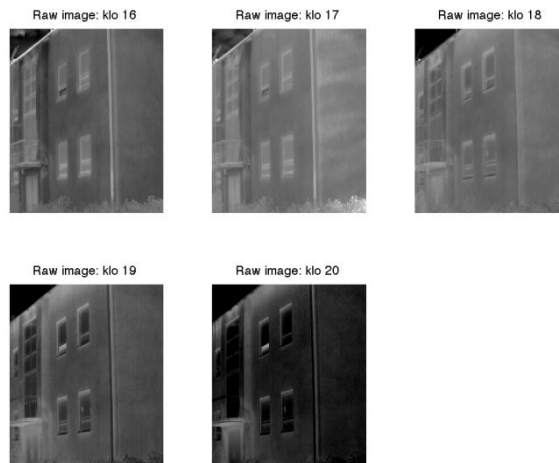


2c

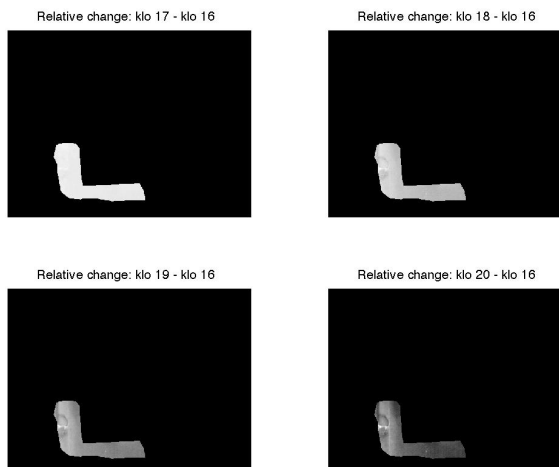


Kuva 66. (a) Tasatunnein mitatut keskiarvoistetut lämpökuvat (mitä vaaleampi kohta sitä korkeampi lämpötila). (b) Lähtöhetkeen nähden suhteelliset muutokset neljälle jälkimmäiselle mittaukselle (mitä vaaleampi sitä suurempi lämpötilamuutos). (c) Suhteellisista muutoksista lasketut pääkomponenttianalyysin kuvat (vaaleudella/tummuudella on vain kontrastimerkitys).

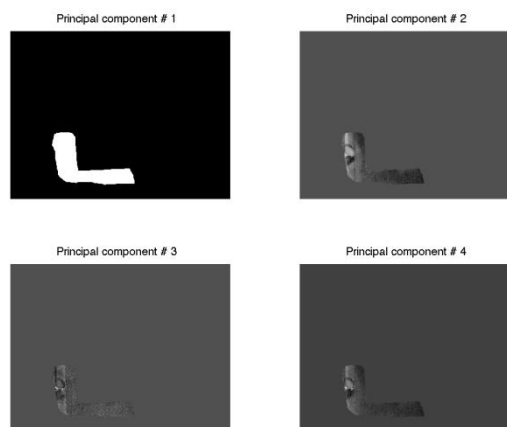
3a



3b



3c



Kuva 67. (a) Tasatunnein mitatut keskiarvoistetut lämpökuvat (mitä vaaleampi kohta sitä korkeampi lämpötila). (b) Lähtöhetkeen nähden suhteelliset muutokset neljälle jälkimmäiselle mittaukselle (mitä vaaleampi sitä suurempi lämpötilamuutos). (c) Suhteellisista muutoksista lasketut pääkomponenttianalyysin kuvat (vaaleudella/tummuudella on vain kontrastimerkitys).

Pääkomponenttianalyysissä 1. pääkomponentti hakee maksimivaihtelun suunnan ja seuraavat pääkomponentit hakevat jäännösvaihtelusta vastaavasti maksimivaihtelun suunnan siten, että ko. pääkomponentit ovat lineaarisesti korreloimattomia keskenään. Toiveena on, että maksimivaihtelu kuvaa maksimaalista lämpötilamuutosta ja näin onkin, koska kuvat ovat lämpötilakuvia ja käytämme PCA:n syötteenä suhteellisia muutoksia lähtöhetkeen (klo 16) nähden. Aivan toinen asia näyttäisi olevan se, että mistä tämä maksimivaihtelu syntyy. Esim. kuvan 1b oikeassa yläkulmassa talon päädyssä näkyy selvästi auringonpaisteen ja päätyä osittain varjostavan puun summavaikutus. Edellä mainituista seikoista johtuen rajasimme tutkittavaa aluetta pariin potentiaaliseen ongelma-kohtaan ja näiden tulokset on esitetty kuvissa 2 ja 3. Tuloksia tulkittaessa yleensä ensimmäinen pääkomponentti selittää hyvin ns. intensiteettitasoa ja se onkin paras estimaatti kuvan keskiarvolle. Koska 1. pääkomponentti kuvaa yleensä yleistä keskiarvotasoa, on 2. pääkomponentti usein merkityksellisempi, koska se kuvaa kontrastia kuvan eri kohtien välillä. Muut komponentit ovat jo kohinaisempia ja kuvaavat yhä pienempiä eroja. Huom! Kuvissa 2 ja 3 kuvien väriasteikkoon vaikuttavat myös rajaukset. Kuvia pitää tulkita yksittäin ja unohtaa ulosrajattu yksivärinen alue kokonaan. Tämä ”värjäysongelma” on Matlabin rajoitus ja sitä olisi voitu kompensoida hieman, mutta ei kuitenkaan poistaa aivan kokonaan.

Tulokset. Kuten jo edellisessä kappaleessa on mainittu kuvia on syytä rajata. Kuvassa 2 on rajattu analyysia varten seinäpintaa 2. kerroksen ikkunoiden ympäriltä. Tässä analyysissa tulee esille eroja kulmauksen ja katteen osalta, mutta ilman referenssianalyysia on vaikea vetää mitään johtopäätöksiä. Onko esimerkiksi räystään ja kulmauksen seinämät kuivempia, koska ne ovat suojaisimmat vaikeita, missä on syy? Toinen esimerkki on esitetty kuvassa 3 ja siinä kyseinen seinän kohta on selvästi korjattu. Analyysi osoittaa, että korjausrakentaminen näkyy selvästi lämpökuvassa, mutta jälleen on täysin eri asia, onko kuvassa kosteusongelmaa vai ei? Kuvien 1...3 tulokset ennemminkin osoittavat, että pelkistä lämpökuvista on hyvin vaikea vetää mitään johtopäätöksiä kosteusongelmista. Näyttäisi siltä, että ulkoiset häiriö- ja ympäristötekijät vaikuttavat lämpökuvuihin huomattavan paljon.

Johtopäätökset. Ilman tarkkaa referenssitietoa menetelmä ei anna luotettavaa tietoa kosteuden esiintymisestä. Kokemusten perusteella menetelmää tulisi soveltaa vain pinnoille, joiden emissiivisyys on suuri ja jotka eivät heijasta lämpösäteilyä. Toisekseen menetelmän käyttöönotto vaatii tunnetun referenssin, jolla menetelmä opetetaan huomaamaan kosteusvaurio(t). Referenssipintana tulisi olla tunnettu kosteusvaurio. Kvantitatiivisuuden saaminen voi olla silti vaikeata, koska lämpökuvamenetelmään vaikuttavat voimakkaasti monet tekijät sen lisäksi että erityiset pintakosteudella on suuri merkitys tuloksiin. Tämä johtopäätös on menetelmästä itsestään johtuva (vrt. IR-säteilyn tunkeutumissyvyyteen) eikä niinkään edellä mainituissa testeissä esille tullut.

Virhe- ja häiriölähteitä on siis monia ja niiden poissulkeminen on hankalaa. Ulkoiset häiriöt (auringon paiste, tuuli, sade, varjo jne.), huokoisuus- ja materiaalierot sekä seinän rakenteelliset erot vaikuttavat varmasti kuvattavan pinnan emissiivisyyteen sekä pintakosteuden että rakenteellisen kosteuden lisäksi.

Pikaisissa laboratoriotesteissä (ei esitetty tässä) havaittiin lisäksi, että kosteat rakenteet ja etenkin pinnat ovat matalammassa lämpötilassa ainakin haihtumisen osalta ja mikä tärkeätä, ne reagoivat ulkoisiin lämpötilamuutoksiin hitaammin kuin kuiva materiaali. Tämä havainto koskee ainakin pintakosteutta. Rakenteellinen kosteus saattaa näkyä samalla tavalla, mutta voi vaatia suurempaa lämpötilagradienttia sisä- ja ulkopintojen välille. Kuvauksjärjestely perustuu siihen, että verrataan ajan ja siis lämpötilan funktiona tapahtuvia muutoksia suhteessa 1. mittausajankohtaan. Ilman tietoa kosteusvaurion paikasta ja suuruudesta on hyvin vaikea sanoa, onko kuvissa havaittavat erot kosteudesta, rakenteellisista eroista vaiko materiaalista ja materiaalipaksuuksista johtuvia. Osa pysyy vakiona ja käyttämämme suhteuttaminen kompensoi tasoeron, mutta ei eroa lämmönsiirron nopeuksissa. Jatkossa olisi syytä mitata enemmän lämpimiä kohteita ja aloittaa kohteista, joissa tiedetään olevan kosteusvaurio ja sen paikka ja suuruus.

Yhteenveto. Etenkin laboratoriotestien perusteella todettiin, että espanjalaisten esittämä hypoteesi [6] pätee, mutta kenttäkokeiden perusteella esille tuli myös useita merkittäviä häiriötekijöitä, jotka vaikuttavat tuloksiin. Tulokset ovat mielenkiintoisia, mutta toimivan ja yleispätevän mittausjärjestelmän toteutus tuntuisi olevan vielä aika haasteellista.

9.2 Auton moottorin jäähtymisen tutkiminen lämpökuvauksella

Tavoitteena oli kokeilla auton moottorin jäähtymisen tutkimista lämpökuvauksella. Tutkimus liittyy kysymykseen siitä, missä vaiheessa moottoria kannattaa esilämmittää sen jälkeen kun autolla on ajettu ja moottori on lämmin. Autojen moottoreita suositellaan esilämmitettävän moottorilämmittimellä ennen ajoa, jos ulkoilman lämpötila on alle +5°C [Motiva Oy]. Mittaajina toimivat Sami Siikanen, Maunu Toiviainen ja Pasi Hyttinen (VTT). Mittauspaikka oli Kuopion Technopoliksen Microtowerin pääoven edessä sijaitseva parkkipaikka. Mitattu auto: Renault Megane –henkilöauto, käyttövoima bensiini, käyttöönottovuosi 2010, ajettu noin 22 000 km. Lisäksi mitattiin: Seat Toledo –henkilöauto, käyttövoima diesel, käyttöönottovuosi 2004, ajettu noin 170 000 km. Mutta Seat Toledon mittauspäivänä vallitsi -29...-20°C pakkas ja on epävarmaa ovatko tulokset luotettavia.

Mittauslaitteisto:

- 'Keskiluokan' lämpökamera FLIR E300
- Digikamera Sony Cyber-shot
- Ilman kosteus&lämpötila-anturi HM34
- Kosketuslämpötila-anturi Fluke 80PK-27 + näyttö Fluke 53 II
- PC + lämpökuvien analysointiohjelmisto FLIR QuickReport 1.2 SP1

Omat havainnot,
Microtowerin parkkipaikka:

Ilmatieteen laitos,
Kuopio Savilahti:

<p>8.12. noin klo 10: lämpötila -4°C, kosteus 81%, pilvistä, tyyntä, heikkoa lumisadetta</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tuorein säähavainto:</th> <th colspan="2">8.12.2010 9:10 Suomen aikaa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lämpötila</td> <td>$-4,9^{\circ}\text{C}$</td> <td>Kosteus</td> <td>97 %</td> </tr> <tr> <td>Kastepiste</td> <td>$-5,3^{\circ}\text{C}$</td> <td>Etelätuulta</td> <td>3 m/s</td> </tr> <tr> <td>Puuska</td> <td>6 m/s</td> <td>Paine</td> <td>1001,5 hPa</td> </tr> <tr> <td>Tunnin sadekertymä</td> <td>0,1 mm (9:00)</td> <td>Lumensyvyys</td> <td>19 cm</td> </tr> <tr> <td>Pilvistä</td> <td>(8/8)</td> <td>Näkyvyys</td> <td>6 km</td> </tr> </tbody> </table>	Tuorein säähavainto:		8.12.2010 9:10 Suomen aikaa		Lämpötila	$-4,9^{\circ}\text{C}$	Kosteus	97 %	Kastepiste	$-5,3^{\circ}\text{C}$	Etelätuulta	3 m/s	Puuska	6 m/s	Paine	1001,5 hPa	Tunnin sadekertymä	0,1 mm (9:00)	Lumensyvyys	19 cm	Pilvistä	(8/8)	Näkyvyys	6 km
Tuorein säähavainto:		8.12.2010 9:10 Suomen aikaa																							
Lämpötila	$-4,9^{\circ}\text{C}$	Kosteus	97 %																						
Kastepiste	$-5,3^{\circ}\text{C}$	Etelätuulta	3 m/s																						
Puuska	6 m/s	Paine	1001,5 hPa																						
Tunnin sadekertymä	0,1 mm (9:00)	Lumensyvyys	19 cm																						
Pilvistä	(8/8)	Näkyvyys	6 km																						
<p>9.12. noin klo 9:15: lämpötila -5°C, kosteus 76%, pilvistä, heikkoa tuulta, ei sadetta</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tuorein säähavainto:</th> <th colspan="2">9.12.2010 8:40 Suomen aikaa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lämpötila</td> <td>$-4,7^{\circ}\text{C}$</td> <td>Kosteus</td> <td>90 %</td> </tr> <tr> <td>Kastepiste</td> <td>$-6,1^{\circ}\text{C}$</td> <td>Etelätuulta</td> <td>2 m/s</td> </tr> <tr> <td>Puuska</td> <td>3 m/s</td> <td>Paine</td> <td>1007,0 hPa</td> </tr> <tr> <td>Tunnin sadekertymä</td> <td>0,0 mm (9:00)</td> <td>Lumensyvyys</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pilvistä</td> <td>(8/8)</td> <td>Näkyvyys</td> <td>yli 20 km</td> </tr> </tbody> </table>	Tuorein säähavainto:		9.12.2010 8:40 Suomen aikaa		Lämpötila	$-4,7^{\circ}\text{C}$	Kosteus	90 %	Kastepiste	$-6,1^{\circ}\text{C}$	Etelätuulta	2 m/s	Puuska	3 m/s	Paine	1007,0 hPa	Tunnin sadekertymä	0,0 mm (9:00)	Lumensyvyys		Pilvistä	(8/8)	Näkyvyys	yli 20 km
Tuorein säähavainto:		9.12.2010 8:40 Suomen aikaa																							
Lämpötila	$-4,7^{\circ}\text{C}$	Kosteus	90 %																						
Kastepiste	$-6,1^{\circ}\text{C}$	Etelätuulta	2 m/s																						
Puuska	3 m/s	Paine	1007,0 hPa																						
Tunnin sadekertymä	0,0 mm (9:00)	Lumensyvyys																							
Pilvistä	(8/8)	Näkyvyys	yli 20 km																						
<p>14.12. noin klo 9: lämpötila -19°C, kosteus 80%, pilvistä, tyyntä, lumisadetta</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tuorein säähavainto:</th> <th colspan="2">14.12.2010 9:10 Suomen aikaa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lämpötila</td> <td>$-18,8^{\circ}\text{C}$</td> <td>Kosteus</td> <td>88 %</td> </tr> <tr> <td>Kastepiste</td> <td>$-20,4^{\circ}\text{C}$</td> <td>Luoteistuulta</td> <td>2 m/s</td> </tr> <tr> <td>Puuska</td> <td>4 m/s</td> <td>Paine</td> <td>1030,5 hPa</td> </tr> <tr> <td>Tunnin sadekertymä</td> <td>0,0 mm (9:00)</td> <td>Lumensyvyys</td> <td>18 cm</td> </tr> <tr> <td>Pilvistä</td> <td>(8/8)</td> <td>Näkyvyys</td> <td>0,8 km</td> </tr> </tbody> </table>	Tuorein säähavainto:		14.12.2010 9:10 Suomen aikaa		Lämpötila	$-18,8^{\circ}\text{C}$	Kosteus	88 %	Kastepiste	$-20,4^{\circ}\text{C}$	Luoteistuulta	2 m/s	Puuska	4 m/s	Paine	1030,5 hPa	Tunnin sadekertymä	0,0 mm (9:00)	Lumensyvyys	18 cm	Pilvistä	(8/8)	Näkyvyys	0,8 km
Tuorein säähavainto:		14.12.2010 9:10 Suomen aikaa																							
Lämpötila	$-18,8^{\circ}\text{C}$	Kosteus	88 %																						
Kastepiste	$-20,4^{\circ}\text{C}$	Luoteistuulta	2 m/s																						
Puuska	4 m/s	Paine	1030,5 hPa																						
Tunnin sadekertymä	0,0 mm (9:00)	Lumensyvyys	18 cm																						
Pilvistä	(8/8)	Näkyvyys	0,8 km																						

Kuva 68 A-B: Kuopion sääolosuhteet auton moottorin jäähtymisen tutkimuksissa.

Autolla ajettiin aamulla (8.12. noin 10 km, 9.12. noin 20 km, 14.12. noin 10 km ja 14.1. noin 30 km) moottoritietä pitkin ja pysäköitiin Technopolis Kuopion parkkipaikalle. Auton moottoria ei ollut lämmitetty lohkolämmittimellä ennen ajoon lähtöä. Konepelti avattiin, otettiin lämpökuvaa ja kosketuslämpötilalukema ja suljettiin konepelti. Mittaukset toistettiin 1-2 tunnin välein mittauspäivän aikana. FLIR E300 lämpökameran asetukset olivat:

- Mitt.tila: piste
- Automaattinen säätö
- Emissiivisyys: 0.90
- Paletti: Sateenkaari
- Alue: $-20\dots+120\text{C}$

Kameraa pidettiin kädessä, ei jalustalla. Kuva fokuoitiin ennen kuvanottoa mahdollisimman teräväksi.

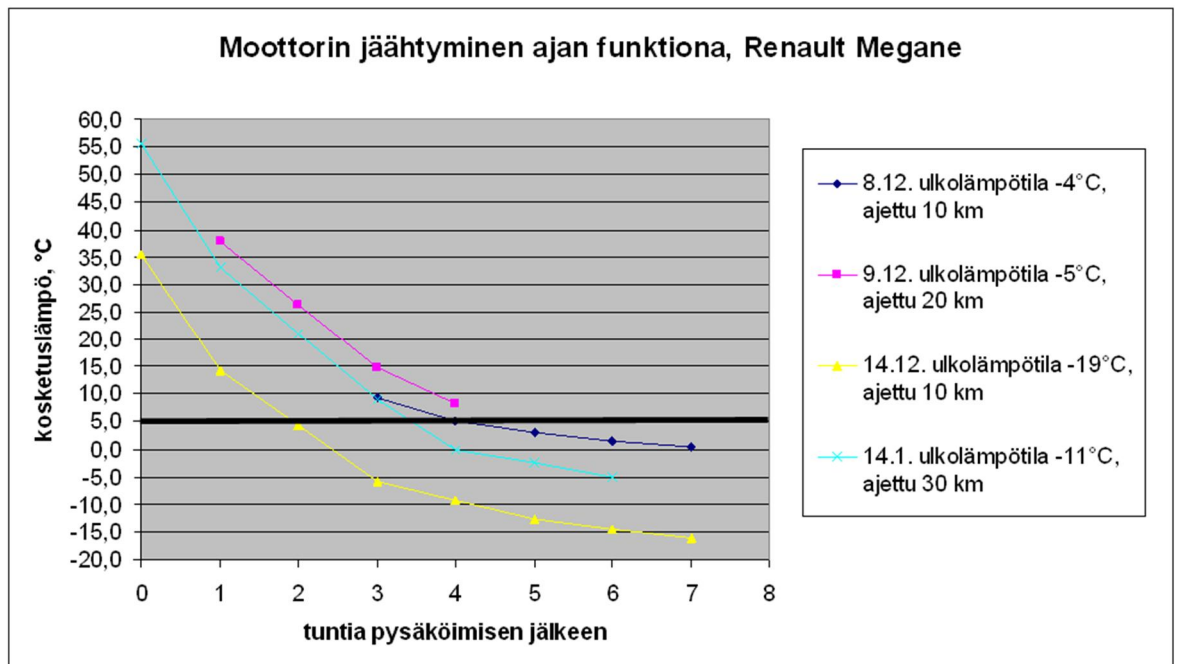
Lämpökuvat siirrettiin kameran muistista PC:lle. Lämpökuvat nimettiin uudelleen muotoon "nro_pvm_klo.jpg". Lämpökuviin päivitettiin

- Ilman lämpötila (= heijastuva lämpötila)
- Suhteellinen kosteus
- Kuvausetäisyys (arvio metrin tarkkuudella)

Päivitettiin lämpökuviin sopiva väripaletti (Rain) ja tehtiin säädöt parhaan kontrastin esiin saamiseksi. Tehtiin vertailutaulukko lämpökameran ja kosketuslämpömittarin lukemista. Säädettiin emissiivisyys uudelleen siten, että vertailutaulukon lämpötilaerot muuttuivat mahdollisimman pieniksi ($e = 0,83$). Koostettiin kuvista raportit 8.12., 9.12., 14.12. ja 14.1. (sekä 18.2. Seat Toledo, käyttövoima diesel, päivä oli erittäin kylmä, lämpökuvan ja kosketuslämpötila-anturin lukemat erosivat paljon toisistaan).

Taulukko 84: lämpökameran lukemien tarkkuus, emissiivisyys = 0,83

	FLIR	fluke	lukemaero
mittauspiste ja -ajankohta	kameralämpö, °C	kosketuslämpö, °C	FLIR-fluke, °C
8.12.			
toinen 'jäähdytyspinta' vasemmalta klo 10	14,7	6,0	8,7
jakohihnan suojan päältä klo 12	8,0	9,2	-1,2
jakohihnan suojan päältä klo 13	3,3	5,0	-1,7
jakohihnan suojan päältä klo 14	1,4	3,1	-1,7
jakohihnan suojan päältä klo 15	0,3	1,4	-1,1
jakohihnan suojan päältä klo 16	0,2	0,5	-0,3
9.12.			
jakohihnan suojan päältä klo 10	39,8	37,8	2,0
jakohihnan suojan päältä klo 12	14,9	14,8	0,1
jakohihnan suojan päältä klo 13	8,3	8,2	0,1
14.12.			
jakohihnan suojan päältä klo 9	34,1	35,3	-1,2
jakohihnan suojan päältä klo 10	16,8	14,3	2,5
jakohihnan suojan päältä klo 12	-4,3	-5,8	1,5
jakohihnan suojan päältä klo 14	-12,4	-12,8	0,4
jakohihnan suojan päältä klo 16	-17,7	-16,0	-1,7

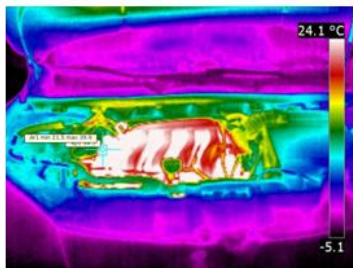


Kuva 69: henkilöauton moottorin jäähtyminen ajan funktiona eri olosuhteissa, mittauskohhta jakohihnan suojan päältä.

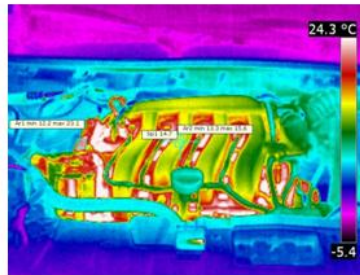


Kuva 70 A-B: mitattu henkilöauto Kuopion Technopoliksen parkkipaikalla 8.12.2010.
Vasemmalla lämpökuvaa samalla sommittelulla.

Klo 9:



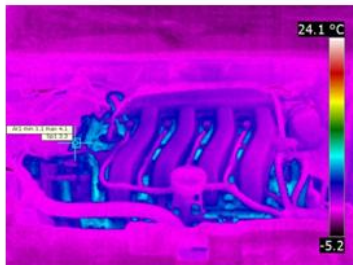
Klo 10:



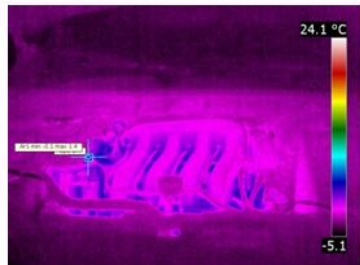
Klo 12:



Klo 13:



Klo 14:



Klo 16:



Kuva 71 A-F: auton moottorin jäähtymisen havainnollistavat lämpökuvat klo 9-16.

Johtopäätöksinä voidaan sanoa, että vallitsevissa sääolosuhteissa oli melko hyvä yhtäpitävyys omien havaintojen ja Ilmatieteen laitoksen havaintoaseman välillä. Lämpökuvasarjoissa näkyi hyvin moottorin jäähtyminen ajan funktiona sekä mitkä osat säilyivät pidempään lämpiminä ajon jälkeen. Emissiivisyyden säädön jälkeen Renault Meganen jakohihnan suojan päältä mitatut lämpökuvauslukemat olivat yhtäpitäviä kosketuslämpötila-anturin lukemien kanssa 0 – 3 °C tarkkuudella. Toisaalta 'jäähtytyspinnan' päältä mitatut lukemat erosivat jopa 9°C toisistaan. Tämä saattaa johtua siitä, että 'jäähtytyspinnan' muovin emissiivisyys on suurempi kuin jakohihnan suojan metallipinnan. Myös on epävarmaa, onko lämpötila moottorin sisällä sama kuin moottorin pinnalla. Auton moottorin jäähtyminen -kuvaajan perusteella Renault Meganen moottorin lämpötila näyttää jäähtyvän alle +5°C tason noin 2-5 tunnin kuluttua pysäköinnistä riippuen ulkoilman lämpötilasta ja ajomatkan pituudesta ennen pysäköintiä. Jatkossa olisi tärkeää tutkia enemmän erityyppisiä autoja eri sääolosuhteissa.

10 ENEFIR-projektin yhteenveto ja johtopäätökset

Teollisuusprosessien osalta hankkeessa kehitettiin mallinnusmenetelmiä, mutta jatkossa tulisi syvemmin lähteä käymään prosessien energiatehokkuutta läpi. Tällaisen tutkimuksen avulla voitaisiin esimerkiksi luoda teollisuusprosesseille energiatehokkuusindeksejä, joissa loppukäyttäjät olisivat asiakkaina ja laitetoimittajat palveluntarjoajina.

Maalämpöjärjestelmien mittausten osalta voitaisiin edelleen pohtia, miten laitteistojen ohjauksen pitäisi toimia. Järjestelmien säädössä voisi huomioida ennakoivia asioita, eli näin tutkimuksissa edettäisiin säädön tutkimisen puolelle. Jatkossa pitäisi tutkia myös laitteistojen koon mitoittamista. Kun tehon kulutusta tarkastellaan, pitäisi selvittää mitkä ovat kustannustekijät mitoittamiseen. Eli olisiko mitoitus esimerkiksi parempi tehdä kulutushuippujen mukaan vai jollain muulla tavalla.

Rakennusten energiankulutuksen energiatehokkuuteen liittyen uudet rakennussäädökset ovat tulleet voimaan 2012. Rakennussäännöksessä D3 sanotaan ilmanpitävyydestä, että kaikissa rakennuksissa – pois lukien karkeasti asuintalot - pitää olla ilmanpitävyyden mittausvalmius olemassa. Sitä, mitä mittausvalmiuksia pitää olla valmiina, ei tarkenneta. Tärkeää olisi edelleen kehittää sitä, miten tiiviysmittaus rakennuksen omilla koneilla tehdään ja miten mittauksen tulos pitää tulkita. Mittausvalmiuden ollessa olemassa, tarvittavat parametrit - kuten rakennuksen ilmatilavuus - pitäisi kirjata rakentamisasiakirjoihin ja kuvailla, miten saadaan suoraan omilla järjestelmillä ilmatiiviyttä mitattua ja laskettua välittömästi, sekä miten tietoa voidaan käyttää energiatehokkuuden laskentaan. Yleisellä tasolla pitäisi kehittää sitä, miten päästään mitatuista ilmapuololuista päästään laskemaan energiankulutusarvoja (kWh) lämmitykselle, mitkä asiat vaikuttavat ilmatiivyyteen, sekä miten tehdään riskipaikkojen kartoitus etukäteen suunnitteluvaiheessa. Suunnittelijoiden tekemissä rakennusasiakirjoissa pitäisi olla vaippa- ja ilmatilavuustiedot kirjattuna. Myös pitäisi saada selvyys siihen, miten rakentamismääräyskokoelman

kohtia pitäisi tulkita ja mikä on ilmatiivyyden vaikutus kokonaisenergiakulutukseen.

LED-valaistukseen liittyen jatkotutkimuksessa pitäisi jatkaa kylmätilojen kokonaisenergiankulutuksen tutkimista ja LED-valoputkien käytön vaikutusta siihen. Myös lämmitettävien mutta ilmastoinnilla jäähdytettävien tilojen kokonaisenergiankulutusta pitäisi tutkia samalla menetelmällä. ENEFIR-projektin johtopäätöksenä voidaan todeta, että LED-teknologia on kypsä laajaan käyttöönottoon rakennusten valaistuksessa.

Lähdeviitteet

ENEFIR-PROJEKTISSA TUOTETUT JULKAISUT:

[1] "Modeling Software For Advanced Industrial Diagnostics", SIMS Conference 2011: Mika Liukkonen, Mikko Heikkinen, Teri Hiltunen, Jari Kapanen, Yrjö Hiltunen (2011)

[2] Kauppinen T., Siikanen S., "Improvement of energy efficiency – the use of thermography and air-tightness test in verification of thermal performance of school buildings", Proc. of SPIE Vol. 8013 (2011)

[3] Siikanen S., Kivi S., Kauppinen T., Juuti M., "Infrared imaging of LED lighting tubes and fluorescent tubes", Proc. of SPIE Vol. 8013 (2011)

[4] Kauppinen T., Siikanen S., "Ilmanpitävyyden määrittäminen rakennuksen omalla ilmanvaihtojärjestelmällä", Talotekniikka 2/2011, ss. 48-49 (2011)

MUUT LÄHDEVIITTEET:

[5] Paloniitty S., Kauppinen T., "Rakennusten lämpökuvaus", Rakennusteollisuuden kustannus RTK Oy, Gummerus Kirjapaino Oy, s. 11 (2006)

[6] Lerma J.L. et.al. "Multitemporal thermal analysis to detect moisture on a building facade", Constr Build Mater (2010)