

Juha Jukkala

Harjun kiinteistön
kokonaisenergiakulutus
ja
mittausjärjestelmät

Opinnäytetyö

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Toukokuu 2014




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>	<p>Opinnäytetyön päivämäärä</p> <p>11.5.2014</p>
<p>Tekijä(t) Juha Jukkala</p>	<p>Koulutusohjelma ja suuntautuminen Ympäristötekniikan koulutusohjelma (YAMK), Kestävä energiatalous</p>
<p>Nimeke</p> <p>Harjun kiinteistön kokonaisenergiakulutus ja mittausjärjestelmät</p>	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Harjun kampusalueen rakennusten kokonaisenergian kulutusmittauksia ja sitä, millaisilla mittauslaitteilla kulutustietoja saadaan nykyisistä järjestelmistä. Työni tavoitteena oli myös esittää taloteknisiä peruseräparannuskeinoja siitä, miten kokonaisenergian kulutusta voidaan vähentää Harjun kampusalueen kiinteistöissä sekä kuinka kokonaisenergian kulutusta mitataan.</p> <p>Tutkimustyön tiedon hankinta tapahtui tutustumalla kohteen taloteknisiin järjestelmiin sekä haastattelemalla kiinteistöliikelaitoksen talotekniikan asiantuntijoita.</p> <p>Tutkimuskohteessa sovelsin Suomen Rakentamiskokoelman osan D3 -määräyksiä mitattavista energiankulutuksista. Tutkimustyössäni tuon esille kahden esimerkkikohteen energiankulutuksen mittausjärjestelmät sekä käsittelen esimerkkikohteiden energiatehokkaita ratkaisuja kokonaisenergian säästämiseksi.</p> <p>Nykyiset olemassa olevat rakennukset eivät ole ikänsä puolesta energiatehokkaita, joten kiinteistöt ovat peruseräparannuksen tarpeessa. Kiinteistön kokonaisenergian kulutuksen mittausjärjestelmillä ei saada nykyisistä rakennuksista uusien D3-määräysten mukaisia eriteltyjä energiakulutustietoja. Jotta energian kulutusta voidaan seurata energiamuodotain, tulisi Harjun kampusalueen peruseräparannuskohteissa kiinteistön talotekniset järjestelmät varustaa tarkoituksen mukaisilla mittareilla. Työssäni ehdotan lämmitys-, jäähdytys- ja sähköenergian sekä veden kulutuksen määrän mittaamiseen sopivia mittalaitteita.</p> <p>Tutkimuksen tulokset ovat hyödynnettävissä Harjun kampusalueen rakennusten peruseräparannusten yhteydessä. Tutkimuksessa annetaan käytettäviin mittalaitteisiin ehdotuksia, jotka tulisi ottaa huomioon rakennushankkeiden hankesuunnitteluvaiheessa.</p>	
<p>Asiasanat (avainsanat) Energiatehokkuus, mittalaitteet, talotekniikka</p>	
<p>Sivumäärä 49+3</p>	<p>Kieli Suomi</p>
<p>Huomautus (huomautukset liitteistä)</p>	
<p>Ohjaavan opettajan nimi Heikki Salomaa</p>	<p>Opinnäytetyön toimeksiantaja Jyväskylän koulutuskuntayhtymä, Kiinteistöliikelaitos</p>

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 11.5.2014
Author(s) Juha Jukkala	Degree programme and option Master programme of environmental technology, sustainable energy	
Name of the bachelor's thesis The total energy consumption and measurement system of the Harju campus buildings.		
Abstract <p>The purpose of this study was to examine the total energy consumption of the Harju -campus buildings and what kind of measuring devices are used to collect consumption data from current systems. My goal was also to present how it is possible to decrease total energy consumption on Harju -campus buildings and how the total energy consumption is measured.</p> <p>The data was collected by visiting on the campus and interviewing the house technology experts.</p> <p>In the research I applied the National Building Code of Finland's part D3 -regulation and guidelines for energy consumption for new buildings. I have two examples from buildings, which have energy efficient systems to decrease total energy consumption.</p> <p>Existing buildings are not very energy efficient. They are quite old and are in need of renovation. Today it is not possible to get exact data from the total energy consumption according the D3-regulation. In order to monitor the energy consumption, should house technical systems equipped with appropriate indicators. In the research I suggest what kind of heating-, cooling-, electric energy and water consumption indicators it is possible to use on Harju -campus buildings to get exact information from different kind of energy consumption.</p> <p>The result of this research can be utilized on Harju -campus building's renovations. This study provides suggestions for measuring equipment, which should be taken into account when designing the renovation projects.</p>		
Subject headings, (keywords) Energy efficiency, measuring devices, building services		
Pages 49 + 3	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Heikki Salomaa	Bachelor's thesis assigned by Jyväskylän koulutuskuntayhtymä, Kiinteistöliikelaitos	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	1
2	TUTKIMUSTYÖN ONGELMA JA TAVOITTEET	3
3	TUTKIMUSKOHDE	3
3.1	Tutkimuskohde.....	4
3.2	Saneerauksien vaiheistus.....	5
3.3	Tutkimusmenetelmä Harjun kiinteistön nykyisistä energiamittauksista.....	6
3.4	Nykytilanne rakennusten energiamittauksista ja niiden ongelmista	6
3.5	Harjun kiinteistöjen tämän hetkisten perusparannusten vaikutus kokonaisenergian kulutukseen	11
4	TUTKIMUSTEHTÄVÄN DIREKTIIVI JA MÄÄRÄYKSET.....	12
4.1	Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.....	12
4.1.1	Rakennusten energiatehokkuusvaatimukset rakennuksille Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan	16
4.1.2	Rakennuksen kokonaisenergian kulutus	16
4.1.3	Kesäajan huonetilan hallinta	17
4.1.4	Rakennusvaipan ilmanpitävyys.....	18
4.1.5	Rakennuksen lämpöhäviöt	19
4.1.6	Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuus.....	20
4.1.7	Energiankäytön mittaus.....	20
4.2	Rakennusten energiakulutuksen vaatimukset rakennuksille Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan	21
4.2.1	Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta	21
4.2.2	Laskennan kulku	22
5	POHJOISMAIDEN ENERGIAMÄÄRÄYSTEN VAATIMUKSIA ENERGIATEHOKKUUDELLE	24
5.1	Ruotsin energiamääräykset	24
5.2	Norjan energiamääräykset.....	25
6	ESIMERKKIKOHDE LÄHES NOLLAENERGIA -RAKENNUKSEN SUUNNITTELURATKAISUSTA	25
6.1	Viikki -ympäristötalon nollaenergiasuunnitteluratkaisu	25

6.2	Energiatehokkuus	26
6.3	Ilmastointijärjestelmän suunnitteluratkaisut	27
6.4	Valaistus	28
7	VALTIONEUVON ASETUS (212/2012) MITTAUSLAITTEIDEN OLENNAISISTA VAATIMUKSISTA, VAATIMUSTENMUKAISUUDEN OSOITTAMISESTA JA TEKNISISTÄ ERITYISVAATIMUKSISTA	28
7.1	Lämpöenergiamittarit	29
7.2	Sähköenergiamittarit	30
7.3	Vesimittarit.....	33
8	EHDOTUS LÄMMITYS- JA JÄÄDYTYSENERGIAMITTAREIKSI	35
8.1	Ehdotus kylmän ja lämpimän veden mittariksi	35
8.2	Ehdotuksia sähköenergian mittausjärjestelmistä.....	36
9	EUROOPPALAISEN STANDARDIN MUKAINEN OHJE VALAISTUKSEN ENERGIAN KULUTUKSEN MITTAUKSESTA.....	37
10	VIITANIEMEN D-RAKENNUKSEN MITTAUSJÄRJESTELMÄT	38
11	TUTKIMUSTYÖNI EHDOTUKSIA ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEKSI	40
11.1	Parannusehdotuksia ilmanvaihtoon ja jäähdytykseen	40
11.2	Parannusehdotuksia lämmitysjärjestelmiin	42
11.3	Parannusehdotuksia käyttövesijärjestelmiin	43
11.4	Parannusehdotuksia valaistukseen	44
12	POHDINTA	45
13	LÄHTEET	49

LIITTEET

Liite 1. D-rakennuksen sähkönjakelu ja mittaukset, vaihe 2

Liite 2. Säättö- ja ohjauskaavio, lämmityslaitteet

Liite 3. Mittareiden tyyppihyväksynät ja tarkastusluokat

1 JOHDANTO

Kansainväliset sekä eurooppalaiset ilmastotavoitteet edellyttävät maassamme ja muualla huomattavia päästövähennyksiä ilmastonmuutoksen pysäyttämiseksi. Rakennusten energiankulutuksella on merkittävä vaikutus päästöihin. On laskettu, että rakennusten käyttö kuluttaa noin 40 % Suomen primäärienergiasta.

Euroopan parlamentin asettaman direktiivin johdosta rakennusten energiatehokkuutta on siis parannettava. Rakennusten energiaa seurataan kokonaisenergian kulutuksena, joka muuttaa rakentamisen energiatehokkuuden ohjausta historiallisella tavalla (Rakennusmaailma 2012). Direktiivi muuttaa rakentamista merkittävästi koko EU-alueella. Uusien rakennusten tulisi olla lähes nollaenergiarakennuksia vuoteen 2020 mennessä.

Ympäristöministeriö on laatinut asetuksen rakennusten energiatehokkuudesta. Suomen määräyskokoelman osa D3 edellyttää, että rakennusten energiaa kuluttavat järjestelmät varustetaan energiankäytön mittauksella tai mittausvalmiudella siten, että rakennuksen eri energiamuotojen käyttö on helposti selvitettävissä. Määräys antaa myös ohjeita eri järjestelmille.

Rakennusten ja varsinkin suurten kiinteistöjen sähkönkulutus on kasvanut merkittävästi. Sähkön kulutustietojen selvittäminen on ollut hankalaa ja jopa mahdotonta. Uusi määräys edellyttää, että rakennuksen sähkön kokonaisenergian kulutustiedot pitää selvittää. Ainoa tapa selvittää sähkön kokonaiskulutusta on, että rakennukseen asennetaan sellainen sähkömittauslaitteisto, joka kertoo tiedon koko sähköenergian kulutuksesta. Huomioitavaa on myös, että lämmitysjärjestelmän käyttämä ostoenergian määrän kulutus on mitattava.

Lämpöisen käyttöveden kulutus on lisääntynyt merkittävästi nykyisessä yhteiskunnassa ja on näin kasvattanut osaltaan energiakustannuksia. Rakennusten muiden energiatehokkuuksien parantuessa on tärkeää myös seurata lämpimän veden kulutuksen määrää, joten järjestelmä on varusteltava mittalaittein, joista on helposti luettavissa veden kulutustiedot.

Rakennusten ilmanvaihto näyttelee suurta osaa kokonaissähkön kulutuksessa. Merkilepantavaa on ilmanvaihtojärjestelmien puhaltimien sekä niiden tehonsäätölaitteiden kuluttama sähköenergia. Tästä johtuen ilmanvaihtojärjestelmät on varusteltava sähkömittauslaittein, joista saadaan tarkka kulutustieto esim. puhaltimien kuluttamasta sähköstä. Myös ilman lämmittämiseen käytetty sähköenergian määrä tulee olla mitattavissa. Suurten viihtyvyyksivaatimusten myötä on jäähdytyksen osuus rakennuksissa lisääntynyt merkittävästi. Tätä taustaa vasten sähköenergian kulutus tulee kasvamaan tulevaisuudessa.

Tutkimustyössäni tutkin koulurakennuksia, jotka kuuluvat määräysten mukaan käyttötarkoitukseluokan 1. rakennuksiin. Pääsääntöisesti koulurakennusten sisällä on tiloja (esimerkiksi atk-luokat), joita joudutaan jäähdyttämään. Myös tutkittavassa kohteessa on jäähdytettäviä tiloja. Määräysten mukaan näiden jäähdytysjärjestelmien sähkön kulutus on pystyttävä mittamaan. Tämän vuoksi jäähdytysjärjestelmiin asennetaan sähkönkulutuksen mittausvalmius. Kun järjestelmä tuottaa jäähdytysenergiaa, täytyy tuotettu energiamäärä olla myös helposti mitattavissa. Poikkeuksena on vapaajäähdytyksellä toteutettu järjestelmä, jossa sähköenergiaa kuluu vain liuospumppujen sekä automatiikan ohjaamien puhaltimien käyttöön. Tällöin sähkönkulutusta ei tarvitse mitata pienen kulutuksen vuoksi.

Isoissa kiinteistöissä, kuten tutkimuskohteeni kiinteistöissäkin, on paljon tiloja, joita joudutaan valaisemaan tehokkaasti ja hyvin. Voidaan siis otaksua, että valaistuksen sähköenergian kulutuksen osuus on melko merkittävä kokonaisenergian kulutuksesta. On todella perusteltua, että valaistukseen käytettävä sähköenergia mitataan järjestelmiin asennettavilla mittalaitteilla. Mittaustietojen perusteella voidaan vaikuttaa tehokkaasti valaistusjärjestelmien ohjaukseen, niiden säätämiseen sekä energiaa säästäviin käyttötapoihin. (SRakMK D3 2012.)

Jotta energiatehokkuutta saadaan merkittävästi parannettua, ei riitä, että eri järjestelmien energiakulutuksia pelkästään mitataan, vaan luotettavien mittaustietojen perusteella voidaan vaikuttaa rakennusautomaation kautta korjaaviin toimenpiteisiin energiankulutusten lisääntyessä.

2 TUTKIMUSTYÖN ONGELMA JA TAVOITTEET

Tässä tutkimuksessa selvitetään, miten Jyväskylän koulutuskuntayhtymän Harjun kiinteistöjen kokonaisenergian kulutuksen mittaus toteutetaan tällä hetkellä. Työssä selvitetään, mitä energiamuotoja ja missä laajuudessa nykyisillä mittalaitteilla mitataan. Lisäksi selvitetään, onko nykyisissä korjaamattomissa kiinteistöissä huomioitu kokonaisenergian kulutuksen mittauksia siten, että kokonaisenergian kulutusta pystytäisiin seuraamaan yksityiskohtaisemmin, vuonna 2012 voimaan tulleen Suomen määräyskokoelman osan D3 mukaisesti. Tutkimustyön selvitys aloitetaan tutustumalla Jyväskylän koulutuskuntayhtymän kiinteistöihin ja tämän hetkisiin kokonaisenergian seurantaratkaisuihin ja menetelmiin.

Tutkimuksen tavoitteena on tuoda esille energiatehokkuuteen vaikuttavia parannusehdotuksia, joiden avulla voidaan vähentää lämmitys-, käyttövesi-, ilmanvaihtojärjestelmien sekä sähköenergian kulutusta. Tavoitteena on myös löytää uusia ratkaisuja energian kulutuksen mittaukseen sekä esitellä esimerkkejä energian kulutuksen mittaukseen käyttävistä mittalaitteista sekä mistä paikoista mittaukset kannattaa tehdä. Tutkimustyön tulosten oletetaan antavan uusia ohjeistuksia mittaroinista ja kokonaisenergian seurannasta tulevaisuudessa.

3 TUTKIMUSKOHDDE

Tutkimustyön tilaajana on Jyväskylän koulutuskuntayhtymän kiinteistöliikelaitos. Kiinteistöliikelaitoksen keskeisemmät palvelut ovat kiinteistönhoito, siivous, vuosikorjaukset, peruskorjaukset sekä kiinteistöjen isännöinti. Kiinteistöliikelaitos työllistää tällä hetkellä n. 63 henkilöä ja ennuste henkilöstön määrästä vuoteen 2015 on n. 71.

Vuoden 2013 alussa kiinteistöliikelaitos omistaa toimitiloja yhteensä 144000 hum² (huoneisto-m²). Jyväskylässä ammatillisen koulutuksen käytössä opetus- ja asuntolatiloja on n. 91500 hum². Lukiokoulutuksen opetustilaa on n. 16500 hum². Jämsässä sijaitsevassa toimipisteessä opetus- ja asuntolatiloja on n. 36000 hum². Kiinteistöliikelaitoksen rakennuskannasta suurin osa on rakennettu 1950 - 1960-luvuilla, joten rakennuskanta on voimakkaassa peruskorjaustarpeessa. Rakennusten tekninen nykyarvo

on yhteensä n. 167 milj. euroa, josta Jyväskylän ammatillisen opetuksen käytössä olevien rakennusten osuus on n.105 milj. euroa, lukiorakennusten n. 17 milj. euroa ja Jämsän rakennusten osuus n. 45 milj. euroa. Rakennusten todellista nykyarvoa määrittäessä on otettu huomioon rakennusten ikä sekä kulumisen johdosta tapahtunut arvon alennus.

Kuntayhtymän investointiohjelmassa suurin merkitys on uusilla peruskorjaushankkeilla koskevilla energiadirektiivin soveltamisohjeilla. Ne ohjaavat erityisesti energian säästöä, kun tehdään perusparannuskorjauksia kiinteistöissä. Niiden vaikutus tulee ulottumaan myös investointien kustannuksiin. Energiasäästötavoitteiden varmistamiseksi kuntayhtymä on mukana vuodet 2009 - 2017 kattavassa kuntien energiasäästöohjelmassa.

Peruskorjaushankkeissa rakennusten ympäristökuormitusta pyritään vähentämään tarkalla energian ja veden kulutuksen seurannalla. Lisäksi pyritään parantamaan lämmön talteenottojärjestelmiä ja hyödyntämään uusiutuvia energiamuotoja.

Kiinteistöjen ja tilojen käyttöasteita seurataan. Tilankäytön tavoitteena on vähintään 30 tunnin käyttöaste viikoittain.

3.1 Tutkimuskohde

Tutkimuskohde (kuva 1) sijaitsee Jyväskylän kaupungissa, osoitteessa Sepänkatu 3, 40700 Jyväskylä. Rakennukset omistaa Jyväskylän koulutuskuntayhtymä. Alueella on voimassa oleva asemakaava. Tontin pinta-ala on n. 21370 m². Tutkimuskohteena on A1- ja A2 -rakennusten pohja- ja kellaritilat sekä A3-rakennus.



KUVA 1. Harjun kampusalue

Kampusalueen rakennukset:

- A1 (Juhla- ja tanssisali)
- A2 (Sepän lukio)
- A3 (Sähköala, toimistotiloja, kirjasto, kahden tutkinnon tilat ja opiskelija-asiointiin liittyvät tilat)
- A4 (Laboratorioala, painoviestintä, yhteisten aineiden tilat ja hallinto)
- B-rakennukset (oppilasasuntola)
- C (Mediapaja)

3.2 Saneerauksien vaiheistus

Kampusalueen rakennuksista A1 ja A2 on saneerattu vuosien 2010 – 2013 aikana. Loppujen rakennusten saneeraukset on suunniteltu toteutettaviksi kahdessa vaiheessa vuosien 2014 – 2017 aikana. Rakennusten A1 ja A2 pohja- ja kellaritilojen sekä A3-rakennuksen saneeraus aloitetaan syksyllä 2014. Toisessa vaiheessa saneerataan A4

ja C-rakennukset vuosien 2015 – 2017 aikana. B-rakennusten saneerausaikataulua ei ole vielä suunniteltu.

3.3 Tutkimusmenetelmä Harjun kiinteistön nykyisistä energiamittauksista

Tutkimustyössäni käytin kvalitatiivista eli laadullista tutkimusmenetelmää. Kvalitatiivista tutkimusta käytetään silloin, kun ilmiöstä ei tiedetä kovinkaan paljoa ja siitä halutaan saada syvälinen näkemys. Laadullisella tutkimuksella pyritään myös lisäämään ymmärrystä ilmiöstä. (Kananen 2010, s. 41.)

Laadullinen tutkimus toteutetaan yksinkertaisimmillaan siten, että kysytään asiantuntijoilta ilmiöstä, joka tässä tutkimuksessa oli nykyisten Harjun rakennusten kokonaisenergian (sähkö- ja kaukolämpöenergian) kulutuksen mittausjärjestelmät sekä käyttöveden kulutus. Tämän tutkimuksen parhaita asiantuntijoita olivat kiinteistöliikelaitoksen LVIS- asiantuntijat. Heiltä sain teemahaastattelujen avulla selkeän kokonaiskuvan kokonaisenergian kulutuksen mittausmenetelmistä sekä järjestelmistä. Jotta pystyin pitämään teemahaastattelut asiantuntijoille, oli minun perehdyttävä kohteen LVIS-järjestelmiin perusteellisesti.

3.4 Nykytilanne rakennusten energiamittauksista ja niiden ongelmista

Kampusalueella sijaitsevat rakennukset on rakennettu pääosin 1950 - 1960 -luvulla, joten talotekniset järjestelmät ovat pääsääntöisesti alkuperäisiä. Suurin syy rakennusten peruskorjaukseen on niiden energiatehottomuus sekä taloteknisten järjestelmien keuhno kunto.

Tutkimustyössä tutkitaan saneeraamattomien rakennusten energiankulutusta ja sen mittaamista. Rakennukset on liitetty Jyväskylän Energia Oy:n vesi- ja viemäriverkostoihin sekä kaukolämpöverkkoon. Nykyiset lämmönjakolaitteet sijaitsevat rakennuksen kellarikerroksissa. Runkolinjat (lämmitys- ja iv-verkostot) eri rakennusosiin kulkevat kellareiden katoissa. Muutostöitä on tehty monessa rakennusvaiheessa ja lämmönjakolaitteet on uusittu noin 15 vuotta sitten vanhalle paikalle. Lämmönjakolaitteiden uusimisen yhteydessä ei ole huomioitu erillisiä alamittauksia (lämmitys/iv), joten

tällä hetkellä pystytään lämmitysenergian mittaus suorittamaan ainoastaan kuvan 2 mukaisella mittalaitteella kaukolämmön päämittauksena.



KUVA 2. Kaukolämmön päämittaus (kaukolämmön päämittari)

Rakennuksen sähkönjakelu koostuu kellarikerrokseen sijoitetusta muuntamosta 20kV kojeistoineen ja 400V pääkeskuksesta sekä rakennuksen eri osa alueiden nousukeskuksista. Jakelu nousukeskuksilta eri alueiden jakokeskuksille on toteutettu perinteisin nousujohdoin.

Rakennuksen sähköpääkeskus on nimellisvirraltaan 1600A. Jakokeskuksia on uusittu ja lisätty eri aikakausina, vanhimmat käytössä olevat keskuksset ovat rakennuksen alkuperäisiä. Pääjohtoreitteinä toimivat rakennuksen eri osa-alueilla olevat kaapelikanavat kellarikerroksissa ja kaapelihyllyt kellari- ja pohjakerroksissa. Eri aikakausina on kaapelihyllyille tehty monenmoisia kaapelilisäyksiä.

Tällä hetkellä nykyisten määräysten mukaisia alamittauksia ei voida sähkön kulutuksen osalta suorittaa, vaan sähkön kokonaisenergian mittaus tehdään kuvassa 3 olevalla sähköenergiamittarilla yhtenä kokonaisuutena sähköpääkeskukselta.



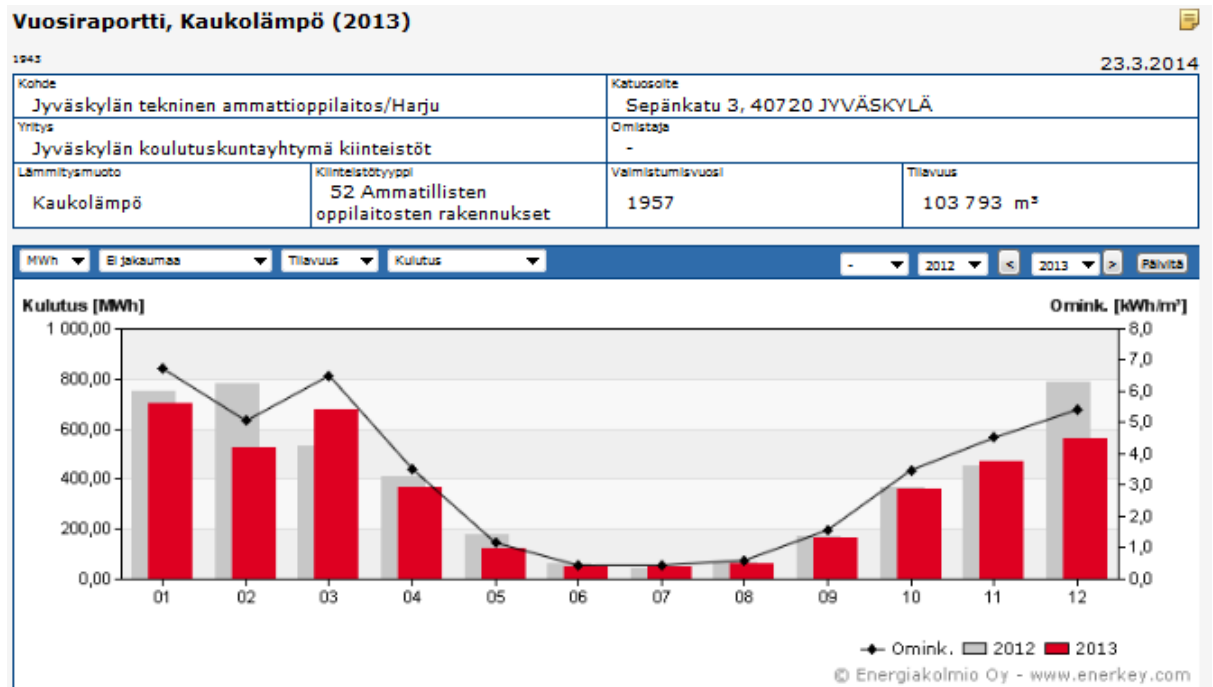
KUVA 3. Sähkön kokonaisenergian mittaus (sähköpäämittari)

Käyttöveden kokonaiskulutuksen mittaus tapahtuu ainoastaan päävesimittarilta (kuva 4).



KUVA 4. Käyttöveden kokonaiskulutuksen mittaus (päävesimittari)

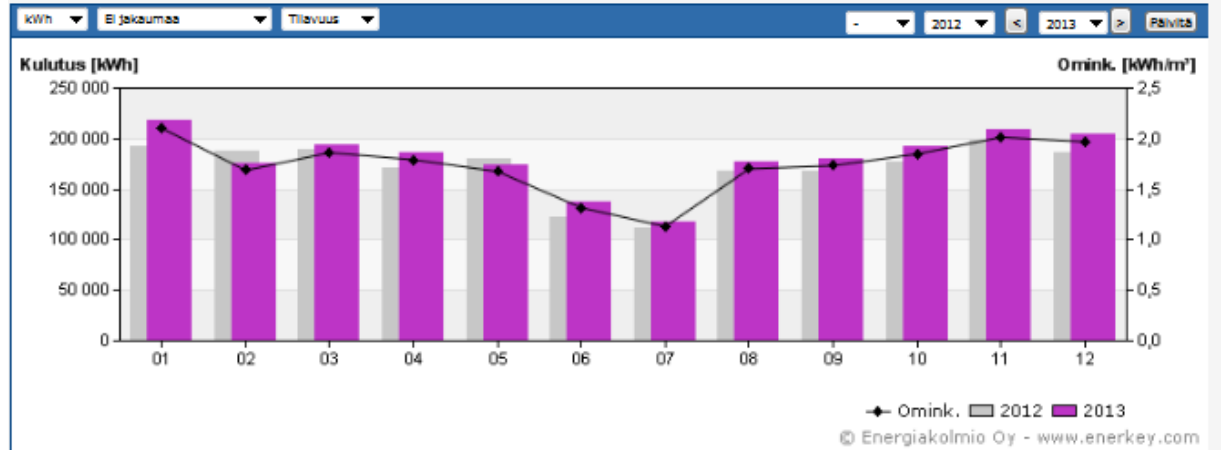
Kampusalueen rakennukset ovat liitettyinä Energiakolmio Oy:n valvontajärjestelmään, josta saadaan vuositasolla energiankulutusraportit kaukolämmön, sähkön ja käyttöveden kulutuksesta. Raporteilla oleva tilavuus (103793 m³) on koko Harjun kampusalueella sijaitsevien lämmitettyjen tilojen yhteistilavuus.



KUVA 5. Harjun kampusalueen rakennusten kaukolämmön kulutuksen vuosiraportti kuukausittain vuodelta 2013, Energiakolmion valvontajärjestelmä

Vuosiraportti, Sähkö (2013)

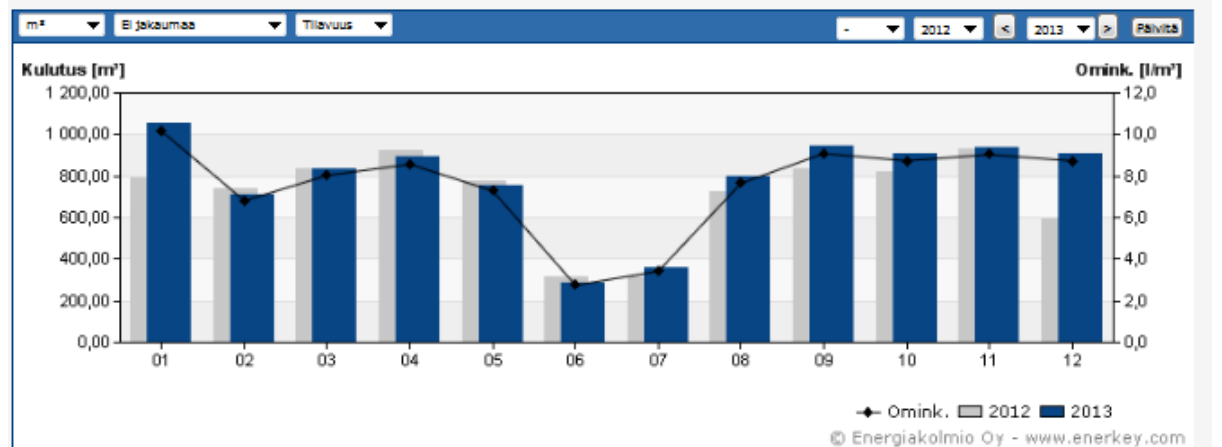
1943		23.3.2014	
Kohde	Jyväskylän tekninen ammattioppilaitos/Harju	Katuosoite	Sepänkatu 3, 40720 JYVÄSKYLÄ
Yritys	Jyväskylän koulutuskuntayhtymä kiinteistöt	Omistaja	-
Lämmitysmuoto	Kaukolämpö	Kiinteistötyyppi	52 Ammatillisten oppilaitosten rakennukset
		Valmistumisvuosi	1957
		Tilavuus	103 793 m ³



KUVA 6. Harjun kampusalueen sähkön kulutuksen vuosiraportti kuukausittain vuodelta 2013, Energiakolmion valvontajärjestelmä

Vuosiraportti, Käyttövesi (2013)

1943		23.3.2014	
Kohde	Jyväskylän tekninen ammattioppilaitos/Harju	Katuosoite	Sepänkatu 3, 40720 JYVÄSKYLÄ
Yritys	Jyväskylän koulutuskuntayhtymä kiinteistöt	Omistaja	-
Lämmitysmuoto	Kaukolämpö	Kiinteistötyyppi	52 Ammatillisten oppilaitosten rakennukset
		Valmistumisvuosi	1957
		Tilavuus	103 793 m ³



KUVA 7. Harjun kampusalueen käyttöveden kulutuksen vuosiraportti kuukausittain vuodelta 2013, Energiakolmion valvontajärjestelmä

3.5 Harjun kiinteistöjen tämän hetkisten perusparannusten vaikutus kokonaisenergian kulutukseen

Jyväskylän koulutuskuntayhtymän liikelaitos on sitoutunut olemaan mukana kuntien kattavassa energiansäästöohjelmassa vuosina 2009 - 2017. Kiinteistöliikelaitoksen selkeänä tavoitteena on peruskorjata kiinteistöjen tilat moderneiksi sekä energiaa säästäviksi. Peruskorjaukset tullaan toteuttamaan siten, että rakennusten ympäristökuormitusta pyritään vähentämään tarkalla energian ja veden kulutuksen seurannalla. Tehokkaalla mittaus- ja seurantajärjestelmällä on erittäin suuri merkitys energian käytön sekä kulutuksen parantamisessa. Energian säästäminen ja energiatehokkuuden parantaminen ovat paras tapa säästää luonnonvaroja ja energiakustannuksia.

Kiinteistöliikelaitoksen Harjun toimipisteen tiloja on peruskorjattu viimevuosien aikana ahkerasti, mutta peruskorjattavaakin löytyy vielä. Harjun peruskorjattujen sekä korjaamattomien tilojen kokonaisenergian kulutusta voidaan seurata Energiakolmio Oy:n tuottaman järjestelmän avulla sähkön, kaukolämmön sekä vedenkulutuksen osalta. Energiakolmio Oy:n raporteista on selvästi nähtävissä Harjun toimipisteiden säästö jo peruskorjattujen sekä korjaamattomien tilojen osalta. Tämänhetkisillä mittalaitteilla ei voida eritellä kokonaisenergian kulutuksen mittausta peruskorjattujen ja korjaamattomien rakennusten osalta. Esimerkkinä voidaan pitää esim. sähkön kulutusta vuosien 2011 sekä 2012 aikana, jolloin sähkön kulutus väheni n. 15 %. Harjun kiinteistöjen sähkön kokonaiskulutus vuonna 2011 oli 2398249 kWh ja vuonna 2012 kulutus laski 2048123 kWh:iin.

Yhteensä [kWh]					
Kuukausi	2011	2012	Muutos	Maksimi [kW]	Loishulppu [kVar]
Tammikuu	207 638	191 787	-7,6 %	583	130
Helmi	180 317	188 054	4,3 %	563	130
Maalis	211 740	189 784	-10,4 %	555	130
Huhtik	200 797	170 204	-15,2 %	537	130
Toukok	206 847	180 341	-12,8 %	520	130
Kesäku	184 603	121 279	-34,3 %	393	100
Heinäk	190 990	111 174	-41,8 %	409	90
Elokuu	207 168	167 227	-19,3 %	556	130
Syyskuu	205 338	168 419	-18,0 %	546	120
Lokakuu	196 245	176 137	-10,2 %	564	130
Marrask	210 331	198 005	-5,9 %	587	120
Jouluku	196 235	185 712	-5,4 %	593	130
Yhteensä	2 398 249	2 048 123	-14,6 %	593	130

KUVA 8. Harjun kampusalueen sähkön kulutuksen vuosiraportti 2011- 2012, Energiakolmion valvontajärjestelmä

Mitä toimenpiteitä kiinteistössä on sitten tehty, että näinkin suuria säästöjä on jo saatu aikaiseksi? Teemahaastatteluissa esille tulleiden näkemysten mukaan suurin sähköenergian säästö on saatu ilmanvaihdon osalta. Ilmanvaihdon käyntiaikojen tarkistaminen on ollut keskeisin toimenpide vähennettäessä ilmanvaihdon sähköenergian kulutusta. Myös vanhojen ilmanvaihtokoneiden moottoreiden vaihdot ovat osaltaan vähentäneet sähköenergian kulutusta.

Teemahaastatteluissa ilmeni, että jäähdytysjärjestelmien asetusarvojen optimoinnilla on saavutettu huomattavia säästöjä. Muutokset ovat kohdistuneet jäähdytyslaitteiston toiminnan muutoksiin öisin sekä viikonloppuisin. Jäähdytysjärjestelmien toimintaa on muutettu siten, että yöaikaan sekä viikonloppulla huonelämpötilojen on tietoisesti annettu nousta muutama aste korkeammaksi. Jäähdytystarpeen mukaan vedenjäähdytyskoneen menoveden lämpötilaa on myös muutettu siten, että silloin, kun ilmanvaihtokoneet eivät tarvitse ”kylmää” jäähdytykseen, on menoveden lämpötilaa nostettu korkeammaksi. Pyrkimyksenä on ollut myös, että jäähdytyskoneet sammutetaan talven ajaksi. Jäähdytyksen ulkolämpötilarajan asetusarvoa on muutettu nostamalla sitä yhdellä asteella ylöspäin 13 °C:een.

Valaistuksen osalta kiinteistössä on saatu säästöä sähköenergian kulutuksessa esim. porraskäytävien päivävalo-ohjauksella, joka on toteutettu hämäräkytkimet sisältävillä lux-antureilla. Myös pohja- ja kellaritilojen valo-ohjauksen muutoksilla on ollut huomattava säästö sähköenergian kulutuksessa. Valo-ohjaus on muutettu liiketunnistimilla toimiviksi ja valaistuksen hämäräkytkin -ohjauksia on lisätty. Portaikkojen valaistusjärjestelmiin on asennettu lux-mittauksia, jotka ohjaavat valaistusta siten, että päivisin valot ovat pois käytöstä.

4 TUTKIMUSTEHTÄVÄN DIREKTIIVI JA MÄÄRÄYKSET

4.1 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU

Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto on laatinut EU-maille direktiivin rakennusten energiatehokkuudesta, jossa sitoudutaan vähentämään kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärää vuoteen 2020 mennessä vähintään 20 prosenttia vuoden 1990 tasosta. Lisäksi Euroopan neuvosto vahvisti tavoitteen, jonka mukaan uusiutu-

vista lähteistä peräisin olevan energian osuus on 20 prosenttia vuoteen 2020 mennessä. Rakennukset aiheuttavat 40 prosenttia unionin kokonaisenergian kulutuksesta. Energiankulutuksen vähentäminen ja uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käyttö rakennusalalla ovat näin ollen tärkeitä toimenpiteitä, joita tarvitaan unionin energiariippuvuuden ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Rakennusten energiatehokkuuden parantamisessa lisätoimenpiteissä on kuitenkin otettava huomioon ilmasto-olosuhteet, paikalliset olosuhteet sekä kustannustehokkuus. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.)

Suurimpia hiilidioksidipäästöjä aiheuttavat kiinteät polttoaineet, öljy ja maakaasu. Näihin energialähteisiin sovelletaan energian tehokkaampaa sekä kestävämpää ja järkevämpää käyttöä. Tärkeänä välineenä pidetään energian kysynnän hallintaa. Tämän avulla unioni voi vaikuttaa maailmanlaajuisesti energiamarkkinoihin sekä energian toimintavarmuuteen pitkällä aikavälillä. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.)

Rakennuksen energiatehokkuutta laskettaessa on käytettävä menetelmää, joka ottaa huomioon nykyiset eurooppalaiset standardit. Laskentamenetelmässä otetaan huomioon lämpöominaisuuksien lisäksi muut yhä merkittävämmiksi käyvät tekijät, kuten lämmitys- ja ilmastointijärjestelmät, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käyttö, passiiviset lämmitys- ja jäähdytys-elementit, varjostaminen, sisäilman laatu, riittävä luonnonvalo ja rakennuksen suunnittelu. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.)

Olemassa olevien rakennusten laajamittaiset korjaukset tarjoavat rakennuksen koosta riippumatta mahdollisuuden toteuttaa kustannustehokkaita toimenpiteitä energiatehokkuuden parantamiseksi. Kustannustehokkuuden takia energiatehokkuutta koskevien vähimmäisvaatimusten soveltaminen tulee rajoittaa vain niihin osiin korjattaviin osiin, joilla on merkittävä vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.)

On myös rakennuksia, jotka ovat energiatehokkuudeltaan asetettuja vähimmäisvaatimuksia parempia ja näin ollen vähentävät merkittävästi sekä energiakulutusta että hiilidioksidipäästöjä. Jotta tällaisten ns. lähes nollaenergiarakennusten lukumäärää pystytään kasvattamaan, pitää jäsenvaltioiden laatia tästä kansalliset suunnitelmat. Suunni-

telmat eivät täyttäisi ainoastaan nykyistä energiatehokkuutta koskevaa vähimmäisvaatimuksia, vaan rakennukset olisivat myös tätäkin energiatehokkaampia, jolloin vähennettäisiin sekä energiankulutusta että hiilidioksidipäästöjä. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.)

Rakennukset vaikuttavat energiankulutukseen pitkällä aikavälillä. Koska olemassa olevien rakennusten korjausten välinen aika on pitkä, uusien rakennusten ja laajamittaiseen korjaukseen joutuvien olemassa olevien rakennusten olisi tästä syystä täytettävä energiatehokkuutta koskevat, paikallisen ilmaston mukaan asetetut vähimmäisvaatimukset. Koska kaikkia vaihtoehtoisten energiahuoltojärjestelmien tarjoamia mahdollisuuksia ei yleensä täysin tutkita, vaihtoehtoisia energiahuoltojärjestelmiä olisi tarkasteltava uusien rakennusten osalta näiden koosta riippumatta sen periaatteen mukaisesti, että ensin varmistetaan lämmitykseen ja jäähdytykseen tarvittavan energian vähentäminen kustannusoptimaaliselle vähimmäistasolle. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.)

On väistämättä selvää, että jo olemassa olevien rakennusten energiatehokkuutta on lisättävä. Keinoina tähän toimenpiteisiin voisivat olla ilmainen tai tuettu apu ja neuvonta, suorat tuet sekä tuetut lainajärjestelmät tai halpakorkoiset lainat, avustusjärjestelmät ja lainatakuujärjestelmät. Euroopan unionilla on erilaisia rahoitusvälineitä, joita voidaan pitää kannustimina rakennusten tehokkuuden toimenpiteiden lisäämiseksi. Unionin sisällä toimii esim. Euroopan aluekehitysrahasto. Toisena voidaan mainita Euroopan energia, ilmastomuutos- ja infrastruktuurirahasto. Myös Euroopan jälleerakennus- ja kehitys pankki tarjoaa rahoitusta energiatehokkuuteen liittyvien toimenpiteiden lisäämiseksi. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.)

Energiatehokkuustodistuksessa pitää olla paikkansa pitävää tietoa rakennuksen energiatehokkuudesta. Todistuksessa pitäisi ilmetä myös tieto siitä, miten lämmitys ja jäähdytys vaikuttavat rakennuksen energiatarpeeseen, primäärienergian kulutukseen ja sen hiilidioksidipäästöihin. Tärkeää on myös rakennuksen käyttäjän osuus siitä, miten energiatehokkuutta parannetaan. Heille täytyisi antaa selkeitä ohjeita siitä, mikä energiatehokkuuteen vaikuttaa ja kuinka he voivat toimillaan sitä parantaa. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.)

Suurille rakennuksille, kuten kauppakeskuksille, ravintoloille, teattereille, pankeille ja hotelleille, olisi suoritettava energiasertifiointi säännöllisin väliajoin. Sertifiointissa ilmenisi kuinka ympäristö- ja energianäkökohdat otetaan huomioon. Energiatehokkuutta koskevien tietojen levittämistä kansalaisille olisi myös tehostettava asettamalla rakennusten energiatehokkuustodistukset selvästi näkyville. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.)

Euroopan maissa ilmastointilaitteiden käyttö on lisääntynyt voimakkaasti, mikä on osaltaan lisännyt sähköenergian kulutusta. Rakennusten kesäaikaista ylikuumenemista estäviä toimenpiteitä pitäisi parantaa. Talonrakennustuotannossa olisi kehitettävä ns. passiivisia jäähdytystekniikoita, joilla parannetaan sisäilmasto-olosuhteita sekä rakennusta ympäröivää mikroilmastoa. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.)

Lämmitys- ja ilmastointijärjestelmien säännöllisellä huollolla ja tarkastuksella voidaan vaikuttaa merkittävästi energiatehokkuuteen. Direktiivi ehdottaa, että lämmitys- ja ilmastointijärjestelmästä olisi tehtävä riippumaton arviointi säännöllisin väliajoin järjestelmän elinkaaren aikana, erityisesti ennen järjestelmän vaihtamista tai parantamista. Jotta energiatehokkuustodistusten ja lämmitys- ja ilmastointijärjestelmien tarkastusten laatu voitaisiin varmistaa kaikkialla unionissa, jäsenvaltioissa olisi perustettava riippumaton valvontajärjestelmä. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.)

Jotta tämän direktiivin ehdotukset onnistuvat, on paikallisilla ja alueellisilla viranomaisilla keskeinen asema. Heidän täytyisi antaa asianmukaista ohjausta energiatehokkuudesta paikallisille suunnittelijoille sekä rakennustarkastajille. Tärkeää olisi myös, että jäsenvaltiot antaisivat arkkitehdeille ja suunnittelijoille mahdollisuuden harkita vapaasti energiantehokkaita ratkaisuja. Heitä pitäisi rohkaista käyttämään energiatehokkuuden parannusten, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön sekä kaukolämmityksen ja -jäähdytyksen käytön optimaalista yhdistelmää kaavoitettaessa, suunniteltaessa, rakennettaessa ja kunnostettaessa teollisuus- tai asuinalueita. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.)

Vaikka rakennukset suunniteltaisiin kuinka energiatehokkaiksi ja energiaa säästäviksi, se ei yksin riitä, vaan ne täytyy myös rakentaa sellaisiksi. On tärkeää kouluttaa raken-

tajat sekä asentajat osaaviksi tekijöiksi, jotka ottavat huomioon energiatehokkuuden sekä uusiutuvia energialähteitä käyttävän teknologian asentamisessa ja soveltamisessa. Tämä voitaisiin todentaa pätevyystodistuksella. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU.)

4.1.1 Rakennusten energiatehokkuusvaatimukset rakennuksille Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan

Asetus rakennuksen energiatehokkuudesta tuli voimaan 1.7.2012. Määräykset ja ohjeet koskevat uusia rakennuksia, jotka käyttävät energiaa tilojen ja ilmanvaihdon lämmitykseen. Rakennukset ja tilat jaetaan eriasteisiin käyttöluokkiin. Tässä opinnäytetyössäni tutkin Jyväskylän koulutuskuntayhtymän kiinteistölaitoksen rakennuksia, jotka kuuluvat tämän määräyksen käyttöluokkaan 6: opetusrakennukset ja päiväkodit.

4.1.2 Rakennuksen kokonaisenergian kulutus

Rakentamiskokoelma D3 määräyksen mukaan on opetusrakennuksen ostoenergiakulutus laskettava. Kokonaisenergian kulutus ilmaistaan E-lukuna. E-luku on eri energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergian kulutus. E-luku saadaan, kun lasketaan yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot. E-luvulle annetaan myös näissä määräyksissä eri rakennustyyppien mukaiset raja-arvot, joita ei saa ylittää. Käyttöluokkaan 6 kuuluvalla opetusrakennuksella raja-arvo on 170 kWh/m² vuodessa. Huomioitavaa kuitenkin E-luvun laskennassa on, että se on täysin teoreettinen luku rakennuksen ostoenergian määrästä sekä kokonaisenergian kulutuksesta. On tärkeää muistaa, että E-luku ei anna todellista kuvaa energiankulutuksesta, vaan sillä osoitetaan rakennuksen määräysten mukainen kulutusarvo. E-luku antaa kyllä mahdollisuuden vertailla rakennuksia, teknisiä järjestelmiä sekä erilaisia energiamuotoja.

TAULUKKO 1. Energiamuotokertoimet

Sähkö	Kaukolämpö	Kaukojäähdytys	Fossiiliset polttoaineet	Uusiutuvat polttoaineet
1,7	0,7	0,4	1,0	0,5

Laskennassa käytetään Jyväskylän ulkoilman sääarvoa -32 °C.

Kokonaisenergian kulutuksen laskennassa otetaan huomioon myös sisäilmastotekijät. Opetusrakennuksen energialaskennassa käytetään seuraavia asetusarvoja: ulkoilmavirta on lämmitettyä nettoalaa kohti 3 l/s, lämmitysrajana käytetään +21 °C ja jäähdytysraja on +25 °C. Rakennuksen suunnitteluasiakirjoista löytyvät energialaskentaa varten kaikki muut tarvittavat lähtöarvot.

Opetusrakennuksen standardikäyttö sekä energialaskennan sisäiset lämpökuormat lasketaan lämmitettyä nettoalaa kohti. Rakennuksen standardikäytöllä tarkoitetaan ilmanvaihdon käyntiaikaa tunteina, valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähkönkulutusta (W/m²) sekä ihmisistä tulevaa lämpökuormaa (W/m²). Arvot löytyvät alla olevasta taulukosta.

TAULUKKO 2. Opetusrakennus ja päiväkodit

Kellonaika	Käyttöaika	Käyttöaste	Valaistus	Kuluttajalaitteet	Ihmiset
	h/24h d7/d		W/m ²	W/m ²	W/m ²
08.00-16.00	8 5	0,6	18	8	14

4.1.3 Kesäajan huonetilan hallinta

D3 määräyskokoelman mukaan rakennusten tilat on suunniteltava sekä rakennettava siten, että niissä ei ilmene haitallista lämpenemistä. Tilojen yllilämpeneminen voidaan estää rakenteellisin keinoin esim. rakentamalla ns. passiivisia suojia, kuten aurin-

kosuojia ja markiiseja. Ilmanvaihdon tehostetulla yökäytöllä estetään myös tilojen yllilämpenemistä.

Opetustiloille on annettu kesäajan huonelämpötilan jäähditysrajaksi $+25\text{ C}^\circ$. Tätä arvoa ei saa ylittää 1.6 - 31.8 välisenä aikana 150 tuntia enempää, niillä säätiedoilla, lämpökuormilla ja ilmamäärillä, joilla laskenta on suoritettu. Opetustilojen kohdalla kesäaikaisten lämpötilojen pitäminen asetusarvoissa vaatii jäähdytysjärjestelmän rakentamista. Silloin kokonaisenergiankulutukseen on myös laskettava jäähdytysjärjestelmän energiakulutus.

4.1.4 Rakennusvaipan ilmanpitävyys

Rakennusvaipan ilmanpitävyydellä on erittäin suuri merkitys energiatehokkuuteen. Määräysten mukaan rakennusvaipan sekä tilojen välisten rakenteiden pitää olla ilmanpitäviä. Vuotokohtien läpi virtaama ilmavirta ei saa aiheuttaa haittoja käyttäjille, rakenteiden liitoksille eikä rakennuksen energiatehokkuudelle. Rakennusvaiheessa tulee kiinnittää erityistä huolellisuutta rakenteiden liitoksiin, läpivienteihin rakenteissa sekä ennen kaikkea rakennustöiden huolellisuuteen. (Paloniitty 2012, s. 21.)

Suomen rakennusmääräykset antavat rakennusvaipalle ns. ilmanvuotoluvun. Ilmanvuotoluku ilmaisee, kuinka paljon rakenne saa ns. ”vuotaa” läpi. Rakennusvaipan ilmavuotolukuna käytetään q_{50} , joka saa olla enimmillään neliötä (m^2) kohti $4\text{ m}^3/\text{h}$. Jos halutaan päästä pienempään ilmanvuotolukuun, osoitetaan se mittaamalla tai jollain muulla menettelyllä. Rakennuksen tiiveys voidaan suorittaa mittaamalla, eli ns. paine-eromenetelmällä. Tämä tarkoittaa sitä, että tutkittavaan tilaan aiheutetaan paine-ero ulkoilmaan nähden. Paine-ero saadaan aikaiseksi siihen tarkoitetulla puhaltimella. Paine-eron ylläpitämiseksi mitataan tarvittava ilmamäärä. Kun pidetään yllä $\Delta p=50\text{ Pa}$:n paine-eroa tunnin ajan ja tarvittava ilmamäärä jaetaan vaipan alalla, saadaan tulokseksi ilmavuotoluku q_{50} . Ilmanpitävyyden mittaus voidaan myös suorittaa rakennuksen omalla ilmanvaihtokoneella. Omalla ilmanvaihtokoneella suoritettu ilmanpitävyyden mittaus edellyttää, että enintään 25 % rakennuksen lämmitetyistä nettotiloista voidaan rajata mittauksen ulkopuolelle. Kun rakennuksen vaipan tiiveys mitataan, saadaan siitä ilmanvuotoluku, jota tarvitaan laskettaessa rakennuksen lämmöntarvetta. Vanhojen rakennusten osalta lämmöntarvetta tarkastellaan energiakatselmuksen sekä

mahdollisen energiatodistuksen laatimisen yhteydessä. Tiiveysmittausten etuna on, että mittausten avulla voidaan helposti paikallistaa rakennuksen vaipan ilmavuodot. Ilmavuodoilla on merkittävä vaikutus rakenteiden kosteustekniseen toimintaan. Jos lämmin sisäilma pääsee kulkeutumaan ulos, aiheuttaa se sisäilman kondensoitumisriskin rakenteiden kylmiin osiin. Tämä taas aiheuttaa kosteus- ja homevaurioita. (Paloniitty 2012, s. 21.)

Rakennuksen tiiveysmittaukset ovat erittäin luotettavia. Mittaukset antavat selkeän kuvan rakennuksen vaipan ilmanpitävyydestä. Mittaukset olisi hyvä tehdä jo rakennusvaiheessa. Jos tässä yhteydessä ilmavuotoja löytyisi, olisivat vuodot helpointa ja halvinta korjata tässä vaiheessa. Suurten rakennusten mittaus pyritään tekemään aina kalibroituilla laitteilla. Tällä estetään se, että mittausvirheitä pääsee syntymään. Jos tiiveysmittaus suoritetaan rakennuksen omalla ilmavaihtojärjestelmällä, sisältävät mitaustulokset enemmän mittausepävarmuutta. Kehitysnäkymänä voisi kuitenkin olla, että suurempien rakennusten ilmanvaihtojärjestelmät varustettaisiin lisäantureilla sekä ohjausyksiköillä, jolloin rakennusten tiiveysmittaus olisi helppo toteuttaa. (Paloniitty 2012, s. 86.)

Ilmanpitävyys on yksi tärkeä energiatehokkuuteen vaikuttava tekijä. Rakennuksen energiatehokkaaseen toimivuuteen vaikuttavat myös rakennuksen vaippa, talotekniset järjestelmät, sääolosuhteet sekä kaikkien näiden käytön yhteisvaikutus. Ilmanpitävyydellä on myös suuri vaikutus hyvään asumisviihtyvyyteen. Vaipan hyvä ilmanpitävyys parantaa merkittävästi sisäilman laatua, koska vedontunne sekä haitallisten aiheiden kulkeutuminen rakennuksen rakenteista, maaperästä ja ulkoilmasta sisälle vähenee. (Paloniitty 2012, s. 20.)

4.1.5 Rakennuksen lämpöhäviöt

Jotta päästäisiin mahdollisimman hyvään energiatehokkuuteen, on rakennuksen lämpöhäviöt laskettava rakennusvaipan, vuotoilman sekä ilmanvaihdon osalta. Esimerkiksi rakennuksen seinärakennetta laskettaessa annetaan rakennusosalle lämmönläpäisykerroin U-arvo ($0,17 \text{ W/m}^2 \text{ K}$). Tätä arvoa käytetään vertailuarvona vaipan lämpöhäviö laskennassa. Jokaiselle vaippaan kuuluvalla rakenneosalla löytyy D3-määräyksistä omat lämmönläpäisykertoimet.

Rakennuksen ilmanvaihdon lämpöhäviöitä laskettaessa on tarvittaessa jokaiselle ilmanvaihtokoneelle tehtävä laskenta erikseen. Oppilaitosten ilmavirtoina käytetään laskennassa D2-rakennuskokoelman määräysten mukaisia arvoja (SRakMK D2 2012). Ilmanvaihdon käyntiaikoina käytetään Suomen rakentamiskokoelman D3 taulukossa 3 sivulla 19 olevia arvoja.

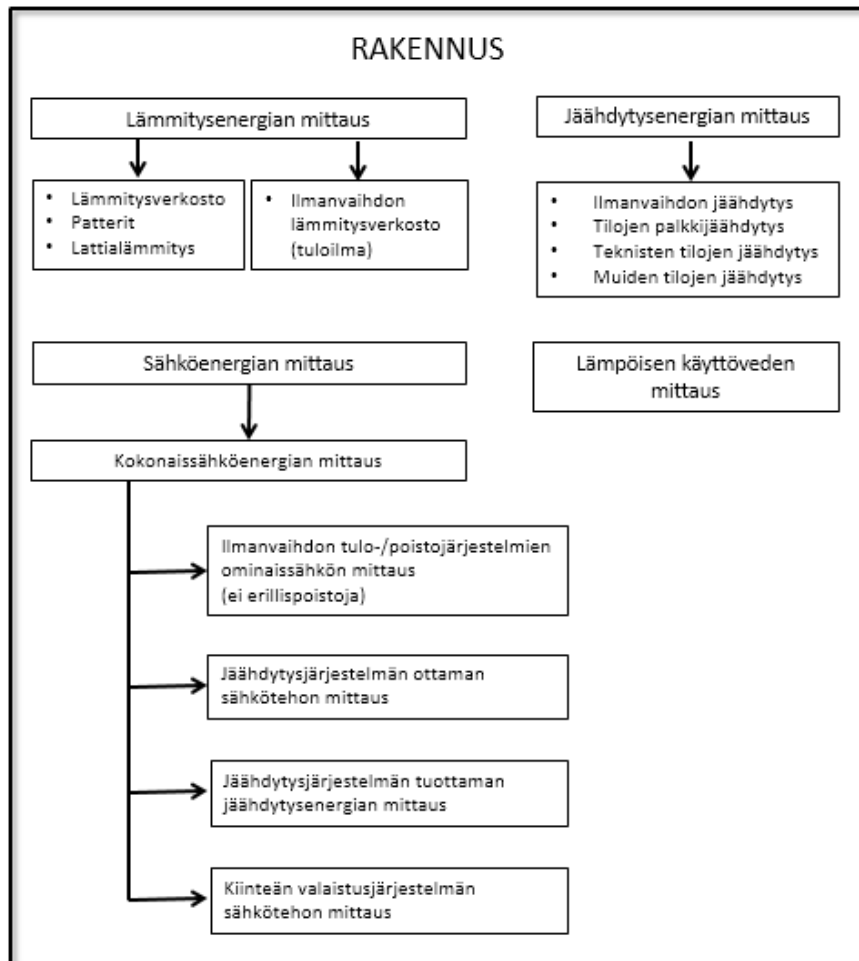
4.1.6 Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuus

Nykyiset ilmanvaihtojärjestelmät aiheuttavat merkittävän osan rakennusten sähköenergiakuluista. Tästä johtuen ilmanvaihtojärjestelmien energiatehokkuuteen on alettu kiinnittämään suurempaa huomiota. Ilmanvaihdon energiatehokkuus ei kuitenkaan saa aiheuttaa rakennuksille eikä käyttäjille haittoja. Terveellinen ja turvallinen sisäilmasto täytyy pystyä säilyttämään. Ilmanvaihtojärjestelmät on varusteltava sellaisin poistoilmanenergian talteenottojärjestelmin, että vuosihyötysuhde 45 % toteutuu. Vaihtoehtoisesti vastaava lämpöenergian tarve voidaan pienentää näiden määräysten mukaan rakennuksen vaipan lämmöneristystä parantamalla, rakennuksen ilmanpitävyyttä parantamalla tai vähentämällä ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaa energiaa muulla tavalla kuin poistoilman talteenotolla. Tällaisia muita keinoja olisi esim. maapiiristä otettava lämmitysenergia.

4.1.7 Energiankäytön mittaus

D3-määräyksen voimaan tulon johdosta rakennusten energiakulutuksen mittaus pitää pystyä todentamaan. Rakennukset varustetaan energiakäytön mittareilla tai mittavalmiuksilla siten, että rakennuksen eri energiamuotojen käyttö voidaan selvittää. Rakennuksen koko sähköenergian kulutus on pystyttävä mittaamaan. Lisäksi rakennukset varustellaan sellaisin mittarein, että lämmitysjärjestelmän ostoenergian kulutus pystytään mittaamaan. Opetusrakennukset sekä päiväkodit kuuluvat käyttöluokkaan 6, joten lämpimän käyttöveden kulutus on pystyttävä mittaamaan. Ilmanvaihtojärjestelmät varustellaan sellaisin mittarein, joista ilmenee järjestelmän sähkönkulutus. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään 2,0 kW/(m³/s). Järjestelmä on suunniteltava siten, että tämä teho saadaan mitattua. Koska oppilaitos-

ten tilat on suunniteltava jäähdytysjärjestelmin, on järjestelmän ottama sähköteho ja sen tuottama jäähdytysenergia voitava mitata. Myös rakennusten kiinteän valaistusjärjestelmän sähkönkulutus on voitava mitata.



KUVA 9: Uudisrakennuskohteen mitattavat energiamäärät D3-rakennusmääräyskokoelman mukaisesti

4.2 Rakennusten energiakulutuksen vaatimukset rakennuksille Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan

4.2.1 Rakennusten energiakulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta

Perehdyn tässä omassa opinnäytetyössäni rakennuksiin, jotka ovat rakennustyyppiltään koulurakennuksia ja näin kuuluvat käyttöluokan mukaan opetusrakennuksiin ja päiväkoteihin. Laskettaessa opetusrakennusten kuukausitason energiakulutuksia sekä tehotarpeita pitää määräyskokoelman D5 mukaan laskentatyökalun olla dynaaminen.

Dynaamisen laskentatyökalun täytyy olla laskentaan soveltuva ja käyttökelpoinen sekä SFS-EN:n, CIBSE:n tai ASHRAE:n standardien mukainen. Tällä hetkellä markkinoilta löytyy muutamia laskentatyökaluja esim. Riuska (Insinööritoimisto Olof Granlund) sekä IDA Ice (Equa Simulation). Jotta dynaamista laskentatyökalua voidaan käyttää laskennassa, tarvitsee ohjelma simuloitavasta rakennuksesta BIM-tietomallin (Building Information Model, digitaalisessa muodossa oleva rakennuksen tai rakennusprosessin koko elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuus). Tämä tietomalli sisältää rakennuksen tilan rakenne- sekä geometriatiedot. Tietomallit rakennusten tiloista voidaan luoda arkkitehtitoimistojen sekä LVI-suunnittelijoiden käyttämällä ohjelmilla esim. ACAD tai MagiCAD:in Magiroom.

Dynaamisella laskentatyökalulla voidaan laskea lämmitys- ja jäähdytysenergian tarpeet tuntitasolla. Esimerkiksi jäähdytystehon tarvetta laskettaessa otetaan huomioon tilakohtaisesti jokaiselle vuoden tunnille erikseen tilaan kohdistuvat lämpökuormat (ihmiset, valaistus, laitteet ja auringon säteily) sekä rakenteisiin varastoitunut lämpö.

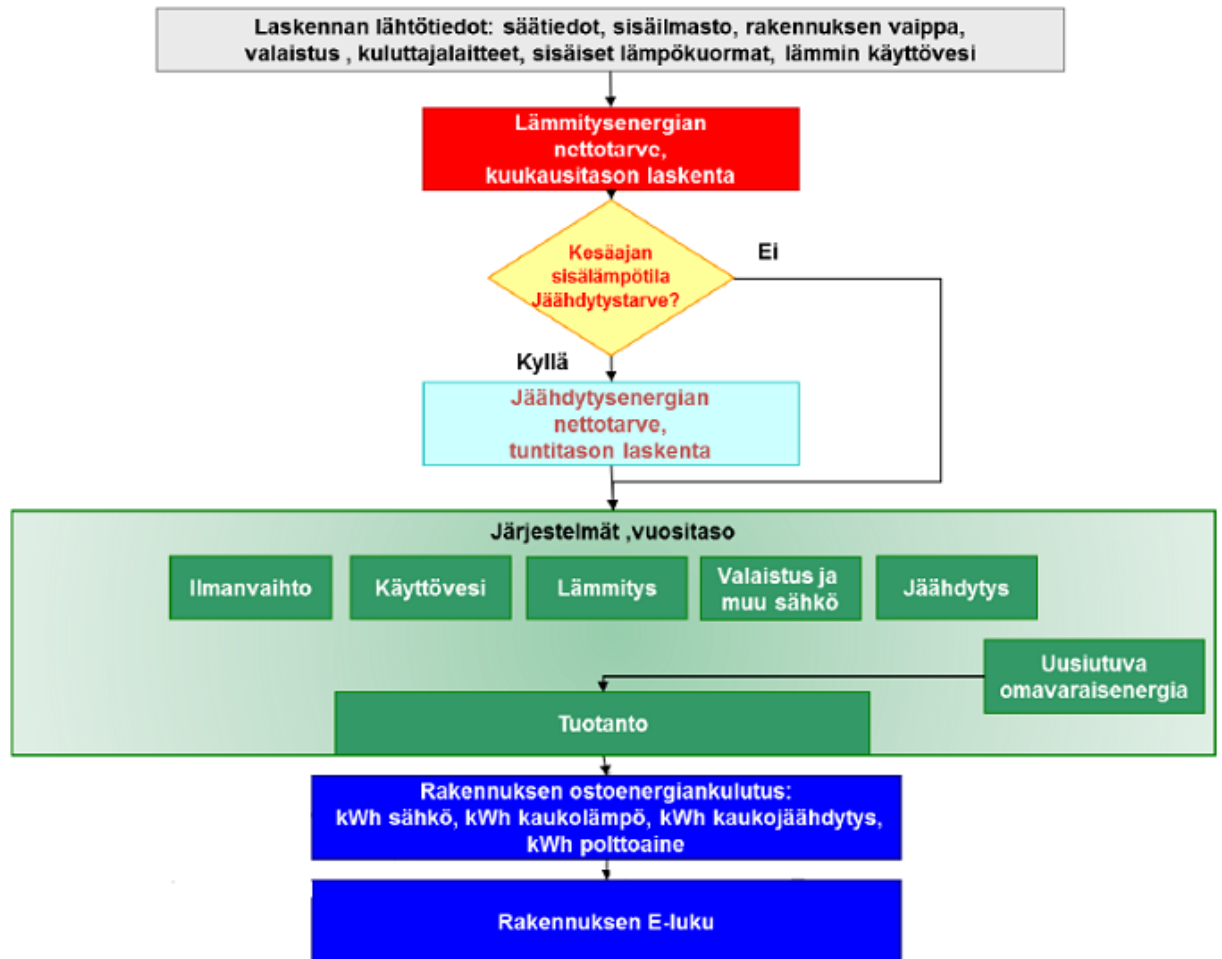
Dynaamisella laskentatyökalulla laskettaessa jaetaan esim. rakennus, joka sisältää opetustiloja tai siihen rinnastettavia tiloja, käyttötarkoitusta tai käyttöaikoja vastaaviin laskentavyöhykkeisiin.

4.2.2 Laskennan kulku

Kuukausitason laskentamenetelmässä rakennuksen ostoenergiankulutus lasketaan kuvan 10 mukaisesti. Rakennuksen kokonaisenergiantarve koostuu tilojen ja ilmanvaihdon lämmitystarpeesta, käyttöveden lämmitystarpeesta, tilojen ja ilmanvaihdon jäähdytystarpeesta sekä valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergiantarpeesta. Lämmitysenergian nettotarve saadaan lämmitysenergian tarpeen sekä rakennukseen tulevan auringon säteilyn, poistoilmasta talteen otetun energian ja sisäisten lämpökuormien erotuksena. Lämmitysenergian nettotarvetta vastaava energia tuodaan lämmitysjärjestelmällä tiloihin, tuloilmaan ja käyttöveteen. Jäähdytysenergian nettotarvetta vastaava energia tuodaan jäähdytysjärjestelmällä tiloihin ja tuloilmaan. Lämmitysjärjestelmän energiankulutus lasketaan lämmitysenergian nettotarpeesta ottamalla huomioon järjestelmähäviöt, jotka muodostuvat lämmitysenergian luovutuksen, jakelun ja varastoinnin häviöistä, sekä ottamalla huomioon hyötysuhteet ja lämmitysjärjestelmään tuotettu

omavaraisenergia. Lämmitysjärjestelmän energia eritellään sähkö- ja lämpöenergian osalta.

Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus lasketaan jäähdytyksen nettotarpeesta ottamalla huomioon järjestelmähäviöt, jotka muodostuvat jäähdytysenergian luovutuksen, jakelun ja varastoinnin häviöistä. (SRakMK D5 2012.)



KUVA 10. Rakennuksen energiankulutuksen laskennan vaiheet, Suomen rakennusmääräyskokoelma D5

Energiankulutuksen laskenta vaiheittain:

1. Tilojen lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve
2. Käyttöveden lämmityksen nettotarve
3. Tilojen ja ilmanvaihdon jäähdytysenergian nettotarve
4. Laitteiden ja valaistuksen energiankulutus
5. Lämmitysjärjestelmän energiankulutus

6. Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus
7. Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus
8. Uusiutuvan omavaraisenergian tuotto
9. Rakennuksen ostoenergian kulutus
10. Muualle viety energia
11. Rakennuksen netto-ostoenergiankulutus
12. Energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen netto-ostoenergiankulutus eli E-luku (rakennukseen ostettu energia * energiamuotokerroin)

5 POHJOISMAIDEN ENERGIAMÄÄRÄYSTEN VAATIMUKSIA ENERGIATEHOKKUUDELLE

5.1 Ruotsin energiamääräykset

Ruotsissa rakennusten energiamääräykset perustuvat lakiin ja asetukseen (Plan- och bygglag, PBL SFS 2010:900). Asetusten ja rakennusmääräysten mukaan Ruotsin energian kulutusta tarkastellaan kokonaisenergian määränä. Tärkeimmät energiamääräysvaatimukset asetetaan kiinteistöjen ulkovaipoille sekä muille rakennusosille, kuten ikkunoille, oville, yläpohjalle jne. Ruotsalaiset rakennusmääräykset velvoittavat järjestelmiin mittalaitteita, joilla voidaan seurata energiankulutusta, esim. tehokasta sähkön käyttöä. (Boverkets byggregler 2011.)

Mittausjärjestelmien tulisi toimia siten, että niiden avulla voidaan laskea energian kulutus halutulta aikaväliltä. Rakennuksen energian kulutus saadaan lämmitykseen, jäähdytykseen, käyttöveden lämmitykseen ja rakennuksen ominaisenergiaan käytetyn energiamäärän (kWh) yhteissummasta. Rakennuksessa, jossa on muu lämmitysmuoto kuin sähkölämmitys mutta jossa on sähköinen jäähdytysjärjestelmä, pitää olla mahdollista mitata erikseen kylmälaitteiden sähkön kulutus. Energian kulutuksen mittaaminen täytyy olla tilaajalle helppoa silloin, kun rakennukseen on liitetty mittalaitteet. Energiamuotojen, joita ei voida suoraan esittää kilowattitunneissa, kuten esim. öljy ja biopolttoaineet, määrä on mitattava ja muunnettava kilowattitunneiksi polttoaineen lämpöarvoa käyttäen. (Energiateollisuus 2014.)

5.2 Norjan energiamääräykset

Norjassa energiankäytön tarkasteluun on myös kiinnitetty huomiota kiristyvien säästösten myötä. Energiatehokkuussäädökset tarkastettiin ensin vuonna 2007 ja sitten kolme vuotta myöhemmin vuonna 2010, jolloin uudet määräykset astuivat voimaan (Forskrift om tekniske krav til byggverk, FOR 2010:489 TEK 10). Määräykset vaikuttivat siten, että vaatimustasot kiristyivät ja kokonaisenergian nettokulutusta tarkastellaan kokonaisvaltaisesti. Uusi määräys vaikutti korjausrakentamiseen siten, että lähes kaikki korjaus- ja muutostyöt vaativat kohteilta rakentamisluvan. Jotta energiatehokkuuden parantaminen huomioitaisiin korjausrakentamisessa, pyritään sitä kannustamaan. Yhtenä merkittävänä kannusteena on taloudellinen tuki Norjan asuntopankin sekä Enovan (norjalainen energiarahoitusyhtiö) kautta.

Norjan energiatehokkuusmääräysten uudistaminen ei kuitenkaan edellytä eri energiamuotojen mittausta, kuten Suomessa joudutaan uusien määräysten myötä tekemään. Norjassa on kuitenkin huomattu, että laskennallinen energian käyttö eroaa mitatusta energian kokonaiskulutuksesta. Tästä johtuen on alettu miettiä laskennallisen kulutuksen rinnalle rakennuskohtaisen energian kulutuksen mittausta. Tärkeäksi on havaittu se, että kokonaisenergian kulutuksen seuranta johtaa todelliseen energiankäytön tehostamiseen (Sitra 2010).

6 ESIMERKKIKOHDE LÄHES NOLLAENERGIA -RAKENNUKSEN SUUNNITTELURATKAISUSTA

6.1 Viikki -ympäristötalon nollaenergiasuunnitteluratkaisu

Viikin ympäristötaloa pidetään Suomen vähiten energiaa kuluttavana toimistorakennuksena. Toimiston suunnitteluratkaisuissa on pyritty pääsemään energian kulutuksessa lähes nollassoon. Rakennuksen suunnittelussa hyödynnetään uusiutuvien energioiden tuottoa aurinkosähkön sekä kalliojäähdetyksen osalta, joka vastaa noin 20 % rakennuksen kokonaiskulutuksesta. Rakennuksen jäähdytys toteutetaan kokonaan kallioperästä tulevalla jäähdytysvedellä. Sähkön tuotantoon on asennettu aurinkopanee-

leita julkisivuihin sekä katolle. Tehokkaalla lämmön talteenotolla varustetut ilmanvaihtokoneet osaltaan vähentävät energiankulutusta. Rakenteellisesti energiatehokkuutta on pyritty parantamaan valitsemalla ikkunat energialaseiksi. Rakennuksen ilmatiiveydessä on päästy passiivienergiatasolle. Ulkoseinien lämmöneristävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota. Toimistorakennuksen valaistus on toteutettu valokuiduilla, jossa hyödynnetään luonnonvaloa. Lähes kaikkien tilojen valistus toteutetaan T5-loisteputkin.

Oma tutkimustyöni käsittelee koulurakennuksia, joissa pätevät toimistorakennusten suunnitteluperiaatteet, koska opetustiloja voidaan käytön osalta verrata neuvottelutiloihin. Merkille pantavaa koulurakennusten suunnittelun osalta on, että rakennusten jäähdytysjärjestelmät jätetään yleensä rakentamatta. Koulurakennuksiin ei tule jäähdytysverkostoja tai ilmastointipalkkeja. Nykyajan kouluissa jäähdytyksen tarve kasvaa, koska luokkatilat varustellaan tietokonepääteillä ja nämä nostavat tilojen lämpökuormia. Kun opetustilat ovat ns. normaalikäytöllä, eikä atk-laitteita luokissa ole, niin lämpökuormat tulevat pelkästään henkilöistä. Tällöin RakMK D3:n standardikäytön mukaiset lämpökuormat ovat hyvin pieniä atk-luokkahuoneiden mitoitustilanteeseen verrattuna. D3:n määräykset lämpökuormien osalta täyttyvät, kun käytetään asianmukaisia aurinkosuojauksia tai on mahdollisuus yötuuletukselle eikä koneellista jäähdytystä tarvitse suunnitella. (Kurnitski 2012, s. 93.)

6.2 Energiatehokkuus

Kohteen rakennusvaippaan on kiinnitetty erityistä huomiota lämpöeristämällä vaipan osat todella hyvin. Eteläpuoleiset julkisivut on rakennettu ns. kaksoisjulkisivuina. Kaksoisjulkisivu on alhaalta avoin, mutta ikkunoiden yläosassa on moottorilla toimivat avausjärjestelmät. Ikkunoita voidaan säädellä valvomosta esim. silloin jos yllilämpöä ilmenee. Ikkunat toimivat myös savunpoistoina. Huomioitavaa on, että julkisivuihin on integroitu aurinkosähköpaneelit. Paneeleja voidaan käyttää myös auringonsuojaukseen. Sähköenergian lisätuottamiseen on asennettu aurinkosähköpaneeleja 570 m², jotka sijaitsevat rakennuksen katolla.

Sisäilmanlaatu on säilytetty hyvänä, vaikka energiatehokkuuteen on kiinnitetty erityistä huomiota ilmanvaihtojärjestelmissä. Lähes koko rakennus on ilmastoitu erittäin

tehokkaalla koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihto- sekä vapaajäähdytysjärjestelmällä. Kaikkien tilojen jäähdyttämiseen on käytetty sekä aktiivi- että passiivijäähdytyspalkkeja. Jäähdytys on toteutettu aivan uudella tekniikalla ns. vapaajäähdytyksellä. Tämän kohteen vapaajäähdytys on toteutettu siten, että viileävesi pumpataan pumpulla suoraan ilmankäsittelykoneiden pattereille ja jäähdytyspalkeille maaperässä olevista porakaivoista (25 kpl). Sähköenergiaa kuluu tässä maaperästä toteutetussa jäähdytysjärjestelmässä ainoastaan kiertovesipumpulla.

Hyvään energiatehokkuuteen on päästy ilmanvaihtojärjestelmien osalta siten, että ilmakäsittelykoneet sekä kanavistot on suunniteltu väljiksi. Näitä suunnitteluratkaisuja on toteutettu tässä kohteessa ja näin päästään tehokkaaseen lämmön talteenottoon sekä pieniin puhaltimien ominaissähkötehoihin. Valaistuksen osalta energiatehokkuuteen on kiinnitetty huomiota siten, että rakennuksen valaistusjärjestelmissä (T5-loisteputki) on aika- ja läsnäolo-ohjaus. Rakennuksen toimistotilojen pistorasioiden ohjauksessa on myös huomioitu läsnäolo-ohjaus.

Energian kulutuksen seurantaan varten kohteen rakennusautomaatiojärjestelmään on suunniteltu n. 60 alamittauspistettä, joista voidaan todeta sähkön kulutus. Sähkön kulutuksen kasvaessa voidaan asiaan puuttua nopeasti ja näin päästä energiatehokkaaseen toimintaan. (Kurnitski 2012, s. 86.)

6.3 Ilmastointijärjestelmän suunnitteluratkaisut

Rakennukseen on suunniteltu koneellinen tulo- ja poistoilmastointijärjestelmä jäähdytyspalkein. Kohteessa on kolme pääilmankäsittelykonetta sekä neljä roiloa, joissa kanavat kulkevat. Ilmanvaihdon säätö tapahtuu kerroskohtaisilla säätöpelleillä. WC-ryhmien poistot hoidetaan $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ilmankäsittelykoneella. Lämmön talteenotto tapahtuu koneeseen sijoitetulla pyörivällä kennolla. Tällä pyörivällä lämmönsiirtimellä saavutetaan n. 80 % lämmön talteenotto. Kohteessa kaikkien kerrosten ilmanvaihtojärjestelmät ovat täysin tasapainossa eli tuloilmavirta on yhtä suuri kuin poistoilmavirta. Tällä ratkaisulla on pyritty siihen, että ilmanvaihtokoneiden vuosihyötysuhteet saadaan korkeaksi (Kurnitski 2012, s. 89).

Ilmastointipalkit on suunniteltu toimistoihin, ja ne toimivat vakioilmavirralla. Muihin kuin toimistotiloihin on suunniteltu passiivipalkit. Passiivipalkit mahdollistavat jäähdytyksen käytön öisin sekä viikonloppuisin, vaikka ilmanvaihto on pysäytetty. Suurempien tilojen, kuten neuvottelutilojen ilmanvaihtoa, säädellään hiilidioksidi- ja lämpötilaohjatuin anturein (Kurnitski 2012, s. 91).

6.4 Valaistus

Valaistus on merkittävä tekijä energiankulutuksen kannalta suurissa kohteissa. Viikin kohteen valaisimina on käytetty T5-loisteputkia, joissa on valaistuksen tason säätö ja valaistusteho on 7 W/m². Tiloissa, jotka ovat suuria, käytetään päivänvalo- ja läsnäolo-ohjausta eli ns. vakiovalosäätöä. Säädön merkittävä etu tulee siitä, että se hyödyntää ensin päivänvalon. Jos päivänvalo ei riitä, kytkee säätö loisteputket päälle ja tarvittaessa kasvattaa valaistustehoa. Toimistotilojen valaistusta ohjataan siis läsnäolo-ohjauksella, mutta valaisimissa on myös valaistustason käsisäätömahdollisuus. Valaistuksen energiankulutusta voidaan seurata tarkasti rakennusautomaatiojärjestelmän kautta. Kun rakennuksessa ei ole toimintaa, ohjataan valaistusta aikaohjelmalla, mutta tarvittaessa se kytkeytyy päälle läsnäoloanturein. Led-valaisimet on suunniteltu poistumistievaloiksi. (Kurnitski 2012, s. 92.)

7 VALTIONEUVON ASETUS (212/2012) MITTAUSLAITTEIDEN OLENNAISISTA VAATIMUKSISTA, VAATIMUSTENMUKAISUUDEN OSOITTAMISESTA JA TEKNISISTÄ ERITYISVAATIMUKSISTA

Valtioneuvosto on päätöksellään asettanut mittalaitteille oleellisia vaatimuksia. Mittauslaitelaki (707/2011) asettaa 2 §:n 1 momentin mukaan mittaamiseen tarkoitetuille mittalaitteille oleellisia erityisvaatimuksia. Lain tarkoituksena on turvata mittalaitteiden toiminta sekä mittausmenetelmien ja mittaustulosten luotettavuus. Mittalaitteet tulee valmistaa siten, että ne toimivat luotettavasti käyttötarkoituksen mukaisessa käytössä ja ennakoitavissa olevissa käyttötilanteissa.

Valtioneuvoston asetusta (121/2012) mittauslaitteiden olennaisista vaatimuksista, vaatimustenmukaisuuden osoittamisesta ja teknisistä erityisvaatimuksista sovelletaan mittauslaitelain mukaiseen käyttöön tarkoitettuihin mittauslaitteisiin.

7.1 Lämpöenergiamittarit

Lämpöenergiamittareilla mitataan lämmönvaihtopiirissä virtaavan lämmönsiirtonesteen luovuttavaa lämpöenergiaa. Lämpöenergiamittari on itsenäinen tai yhdistetty laite, joka koostuu joko virtausanturista tai lämpöanturiparista tai laskimesta tai niiden yhdistelmästä.

Valmistajan on määriteltävä nimelliset käyttöedellytykset nesteen lämpötilalle, lämpötilaeroille, lämpöteholle ja nesteen virtaamalle. Lisäksi valmistajan on määriteltävä nesteen paine eli mikä on lämpöenergiamittarin suurin sisäinen paine, jonka se voi kestää jatkuvasti lämpötilan ylärajalla. Staattiset magneettikentät ja verkkotaajuuden sähkömagneettiset kentät eivät saa vaikuttaa laitteeseen.

Valmistajan on määriteltävä lämpöenergiamittareille myös tarkkuusluokat:

- Luokka 1: $E_f = (1 + 0,01 qp/q)$, mutta enintään 5 %
- Luokka 2: $E_f = (2 + 0,02 qp/q)$, mutta enintään 5 %
- Luokka 3: $E_f = (3 + 0,05 qp/q)$, mutta enintään 5 %

E_f = virhe, joka liittyy ilmoitetun arvon virtausanturin antosignaalin ja massan tai tilavuuden suhteen oikeaan arvoon.

q = lämmönsiirtonesteen virtaama.

qp = q :n suurin arvo, joka on sallittu pysyvästi lämpöenergiamittarin toimiessa vielä oikein.

Harjun kampusalueen rakennuksissa lämpöenergian mittaus on suoritettava luokkaan 1 tai 2 kuuluvilla mittareilla.

Lämpömittareiden lämpötila-antureille ja virtausantureille suoritetaan kestävyystesti. Lämpötila-anturin kestävyystestin jälkeinen mittaustuloksen poikkeama alkuperäisestä mittaustuloksesta ei saa olla yli 0,1 °C. Virtausanturin mittaustuloksen poikkeama alkuperäisestä mittaustuloksesta ei saa ylittää kriittistä muutosarvoa, joka on kokonaisen lämpöenergiamittarin osalta yhtä suuri kuin kyseiseen lämpöenergiamittariin sovellettavan suuriman sallitun virheen absoluuttinen arvo.

Valmistajan on ilmoitettava lämpöenergiamittareille seuraavat merkinnät:

- Tarkkuusluokka
- Tilavuusvirtauksen rajat
- Lämpötilan rajat
- Lämpötilaerojen rajat
- Virtausanturin asennuspaikka - tulo tai paluu
- Virtauksen suunnan osoitin.

7.2 Sähköenergiamittarit

Sähköenergiamittarilla mitataan virtapiirissä kulutettua sähköenergiaa. Käytetystä mittaustekniikasta riippuen niitä voidaan käyttää yhdessä ulkoisten mittamuuntajien kanssa.

Valmistajan on määritettävä mittarin indeksiluokka. Indeksiluokat ovat luokka A, luokka B ja luokka C.

Mittarien on täytettävä taulukossa 3 esitetyt ehdot määriteltyjen virta-arvojen osalta.

TAULUKKO 3. Sähköenergiamittarin virta-arvot

	Luokka A	Luokka B	Luokka C
Suoraan kytketyt mittarit			
Ist	$\leq 0,05 \cdot I_{tr}$	$\leq 0,04 \cdot I_{tr}$	$\leq 0,04 \cdot I_{tr}$
I _{min}	$\leq 0,5 \cdot I_{tr}$	$\leq 0,5 \cdot I_{tr}$	$\leq 0,3 \cdot I_{tr}$
I _{max}	$\geq 50 \cdot I_{tr}$	$\geq 50 \cdot I_{tr}$	$\geq 50 \cdot I_{tr}$
Muuntajaliitännäiset mittarit			
Ist	$\leq 0,06 \cdot I_{tr}$	$\leq 0,04 \cdot I_{tr}$	$\leq 0,02 \cdot I_{tr}$
I _{min}	$\leq 0,4 \cdot I_{tr}$	$\leq 0,4 \cdot I_{tr} *$	$\leq 0,2 \cdot I_{tr}$
I _n	$= 20 \cdot I_{tr}$	$= 20 \cdot I_{tr}$	$= 20 \cdot I_{tr}$
I _{max}	$\geq 1,2 \cdot I_n$	$\geq 1,2 \cdot I_n$	$\geq 1,2 \cdot I_n$

*) Luokassa B sovelletaan sähkömekaanisissa mittareissa $I_{min} \leq 0,4 \cdot I_{tr}$.

I_n = virran määritelty viitearvo, jolle muuntajaliitännäinen mittari on suunniteltu

Ist = pienin ilmoitettu virran arvo, jolla mittari rekisteröi sähköenergiaa (monivaihemittarit symmetrisellä kuormalla)

I_{min} = virran arvo, jonka yläpuolella virhe ei ylitä suurimpia sallittuja virherajoja (monivaihemittarit symmetrisellä kuormalla)

I_{tr} = virran arvo, jonka yläpuolella virhe ei ylitä mittarin indeksiluokkaa vastaavia pienimpiä sallittuja virherajoja

I_{max} = suurin virran arvo, jolla virhe ei ylitä suurimpia sallittuja virherajoja

Sähkömittarin toimiessa eri virta-alueilla prosentuaaliset virheet eivät saa ylittää taulukossa 4 esitettyjä arvoja.

TAULUKKO 4. Suurimmat sallitut virheet prosentteina nimellisissä käyttöedellytyksissä sekä määritellyt kuormitusvirta-alueet ja toimintalämpötila

	Toiminta- lämpötila-alue			Toiminta- lämpötila-alue			Toiminta- lämpötila-alue			Toiminta- lämpötila-alue		
	+5°C ... +30 °C			-10°C ... +5 °C tai +30°C ... +40 °C			-25°C ... -10 °C tai +40°C ... +55 °C			-40°C ... -25 °C tai +55°C ... +70 °C		
Mittariluokka	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Yksivaihemittari; Monivaihemittari symmetrisellä kuormalla												
$I_{min} \leq I < I_{tr}$	3,5	2	1	5	2,5	1,3	7	3,5	1,7	9	4	2
$I_{tr} \leq I \leq I_{max}$	3,5	2	0,7	4,5	2,5	1	7	5,3	1,3	9	4	1,5
Yksivaihekuormalla käytettävä monivaihemittari												
$I_{tr} \leq I \leq I_{max}$, katso jäljempänä määritely poikkeus	4	2,5	1	5	3	1,3	7	4	1,7	9	4,5	2

Koska sähkömittarit kytketään suoraan verkkojännitteeseen, saattaa mittari mittaustilanteessa altistua erilaisille häiriöille. Erilaisia häiriöitä voivat olla epäsymmetrinen jännite, magneettikentät, käänteinen vaihesekvenssi jne. Näiden pitkä- ja lyhytkestoisten häiriöiden ei saa vaikuttaa mittatarkkuuteen. Väliaikaiset häiriöt saattavat aiheuttaa kuitenkin joskus mittauslaitteen väliaikaista heikentymistä, mutta hyvä mittari palautuu näistä häiriöistä vaikuttamatta mittaustarkkuuteen.

Sähköenergiamittareiden kokonaisenergiaa osoittavassa näytössä on oltava riittävästi numeroita, jotta lukema ei palaa alkuarvoonsa eikä mittalaitetta voida nollata käytön aikana, kun mittaria käytetään 4000 tunnin ajan täydellä teholla. Vaikka virtapiirin sähkön saanti katkeaisi, on sähköenergian määrä pystyttävä lukemaan vähintään neljän kuukauden ajalta. Sähköenergian mitattu arvo ilmoitetaan yleensä kilowattitunteina (kWh) tai megawattitunteina (MWh).

Harjun kampusalueen rakennuksissa energiamittaus voidaan suorittaa sisätiloissa luokkaan B tai C kuuluvilla mittareilla. Sähköenergiamittaria asentaessa on tärkeää huomioida, että virta-alue määritellään mittarille sopivaksi, jotta mittalaite mittaa kulutuksen tarkasti.

7.3 Vesimittarit

Vesimittarilla mitataan, tallennetaan ja näytetään mittaolosuhteissa virtaavan veden tilavuus. Mitattu tilavuus ilmoitetaan kuutiometreinä (m³).

Vesimittarilla pystytään mittaamaan alla mainittuja tilavuusvirtoja:

- Pienin tilavuusvirta (Q1)
 - Tilavuusvirta, jolla vesimittarin näyttämät ovat suurinta sallittua virhetä koskevien vaatimusten mukaisia.
- Välimittajan tilavuusvirta (Q2)
 - Jatkuvan ja pienimmän tilavuusvirran välillä oleva tilavuusvirran arvo, jossa tilavuusvirta-alue jakautuu kahdeksi alueeksi eli "yläalueeksi" ja "ala-alueeksi". Kummallakin alueella on oma suurin sallittu virheensä.
- Suurin tilavuusvirta (Q3)
 - Tilavuusvirta, jolla vesimittari toimii tyydyttävästi tavanomaisten käyttöedellytysten vallitessa, eli tasaisissa tai katkonaisissa virtausolosuhteissa.
- Ylikuormitustilavuusvirta (Q4)
 - Suurin tilavuusvirta, jolla mittari toimii tyydyttävästi lyhyen ajan toiminnan heikentymättä.

Valmistajan on määritettävä laitteen nimelliset käyttöedellytykset, erityisesti veden tilavuusvirta-alueet, lämpötila-alueet, suhteellinen painealue ja virtalähde.

Veden tilavuusvirta-alueen (Q) arvojen on täytettävä seuraavat vaatimukset:

$$Q3/Q1 \geq 10$$

$$Q2/Q1 = 1,6$$

$$Q4/Q3 = 1,25$$

Viiden vuoden ajan tämän direktiivin voimaantulemisesta suhde Q2/Q1 voi olla: 1,5; 2,5; 4 tai 6,3.

Veden lämpötila-alueen arvojen on täytettävä seuraavat vaatimukset:

- 0,1 °C lämpötilasta vähintään 30 °C lämpötilaan, tai
- 30 °C lämpötilasta vähintään 90 °C lämpötilaan.

Mittari voidaan suunnitella molemmilla alueilla toimivaksi.

Veden suhteellinen painealueen on oltava 0,3 baarista vähintään 10 baariin tilavuusvirralla Q3.

Virtalähteelle on määriteltävä vaihtosähköjännitteen nimellisarvo ja/tai tasasähköjännitteen vaihtelurajat.

Pienimmän tilavuusvirran (Q1) virhepoikkeama voi olla +/- 5 % vedelle, jonka lämpötila voi olla mikä hyvänsä.

Välirajan tilavuusvirran (Q2) ja ylikuormitustilavuusvirran (Q4) välisillä tilavuusvirta-arvoilla toimitettujen tilavuuksien suurin sallittu positiivinen tai negatiivinen virhe on:

- 2 % vedelle, jonka lämpötila on ≤ 30 °C,
- 3 % vedelle, jonka lämpötila on > 30 °C.

Sähkömagneettisen häiriön sattuessa mittaustuloksen näyttämän on oltava sellainen, ettei sitä voida tulkita hyväksyttäväksi tulokseksi. Häiriön jälkeen vesimittarin on toimittava jälleen suurimman sallitun virheen rajoissa ja sen on suojattava kaikki mittaustoiminnot ja mahdollistettava kaikkien juuri ennen häiriötä mitattujen mittaustietojen palauttaminen.

Vesimittari on voitava asentaa siten, että se toimii missä asennossa tahansa, jollei mittarin varmistaja ole toisin ilmoittanut. Valmistajan on määritettävä, jos mittari on tarkoitettu mittaamaan vastavirtausta. Vesimittareissa, joita ei ole suunniteltu mittaamaan vastavirtausta, on joko estettävä vastavirtaus tai kestettävä satunnaista vastavirtausta metrologisten ominaisuuksien heikentymättä tai muuttumatta.

Mittarin asennuksessa on huomioitava veden tilavuusvirta-alue, veden lämpötila-alue ja suhteellinen painealue, jotta mittari on sopiva ennakoitun tai ennakoitavissa olevan kulutuksen tarkkaan mittaukseen.

8 EHDOTUS LÄMMITYS- JA JÄÄDYTYSENERGIAMITTAREIKSI

Lämmitysenergian sekä jäähdytysenergian mittaamiseen markkinoilta löytyy laaja valikoima erilaisia mittalaitteita. Mittareita valittaessa täytyy lähtökohtana olla niille asetetut vaatimukset. Mittari on myös voitava liittää rakennusautomaatiojärjestelmään. Yhtenä vaihtoehtona laajasta mittarivalikoimasta esittäisin ultraäänien käyttöön perustuvaa Saint-Gobain Pipe Systems Oy:n Hydrometer Sharty 775 –mallia (kuva 11). Patentoitu ultraäänitekniikka takaa tarkan mittaustuloksen. Mittareita toimitetaan sekä sähköverkkokäyttöisenä että patterilla toimivana. Valmistaja antaa patterin kestoksi jopa kuudentoista vuoden käyttöiän. Mittari voidaan liittää esim. M-Bus kiinteään sekä langattomaan tiedonsiirtoverkkoon. Putkiverkoston koosta riippumatta mittareita löytyy jokaiselle putkikoolle, laippa-asennus- tai kierreasennusversioina. (Saint-Gobain Pipe Systems 2014.)



KUVA 11. Ultraäänitoiminen energiamittari Hydrometer Sharty 775

8.1 Ehdotus kylmän ja lämpimän veden mittariksi

Käyttöveden mittaaminen on uusien määräysten voimaan tulon myötä asettanut lisää vaatimuksia mittarivalmistajille. Mittalaitteiden täytyy toimia luotettavasti eri olosuhteissa sekä laitteiden täytyy antaa luotettavaa mittatulosta. Kylmän- ja lämpimän veden mittaamiseen löytyy myös laaja valikoima laadukkaita mittalaitteita, jotka pystytään liittämään rakennusautomaatiojärjestelmiin. Yhtenä vaihtoehtona esitän Saint-Gobain Pipe Systems Oy:n impulssitoimista vesimittaria, joka soveltuu kylmän- ja lämpimän veden mittaukseen. Mittalaitteen asennuksen hyviä puolia on, että mittari voidaan asentaa vaakasuoraan tai pystysuoraan. Mittalaitteen pieni painehäviö helpottaa käyttövesijärjestelmän mitoittamista. Aquarius-mittari (kuva 12) on suojattu EN 14154 normin mukaisesti staattisen magneettikentän häiriöiltä. (Saint-Gobain Pipe Systems 2014.)



KUVA 12. Aquarius P / RS 1-suihkuinen vesimittari

8.2 Ehdotuksia sähköenergian mittausjärjestelmistä

Kaikkien sähköisten järjestelmien valinnoissa täytyy pyrkiä löytämään mahdollisimman pitkäikäisiä, sekä varusteiden että eri komponenttien osalta pitkään markkinoilla olleita tuotteita. Kun sähkölaitteiden kulutuksen mittaus jaetaan eri kulutusryhmiin (valaistus, laitesähkö, lämmitys, LVI-laitteet jne.) on mittareista saatava toteutuneita todellisia kulutustietoja. Todellisia kulutusmittaustuloksia saadaan vastaavista kulutusryhmistä oikein toteutettujen väyläpohjaisten sähkönkulutusmittausten ja jakeluverkon kenttäryhmittelyn avulla. Sähkölaitteiden ohjaus- ja mittausjärjestelmiä suunniteltaessa on myös huomioitava muuntojoustavuus. Muutosjoustavuuden kannalta on sähkötilojen/kaappien koot oltava riittävän suuria. Sähkölaitteiden ja kojeiden/mittalaitteiden sijoittelussa käytetään ainoastaan niille tarkoitettuja sähkötilo-

ja/kaappeja. Alakattojen yläpuolisiin tiloihin ei sähköjärjestelmien laitteita saa asentaa.

Luotettavana järjestelmänä pitkään markkinoilla ollut Schneider Electric toimittaa erittäin korkeatasoisia mittalaitteita sähköenergiakulutuksen mittaukseen. Laitetoimittajalta löytyy erilaisia yhdistelmämittareita, joista löytyy tärkeimmät mittaustoiminnot. Mittareiden sijoitus sähkökaappeihin onnistuu vaivattomasti pienten kokojen ansiosta. Esimerkiksi PowerLogic -sarjan PM700-mittalaite on mitoiltaan 96 mm* 96 mm ja syvyys 50 mm. (Schneider Electric 2014.)



KUVA 13. Yhdistelmämittari PowerLogic -sarjan PM700

9 EUROOPPALAISEN STANDARDIN MUKAINEN OHJE VALAISTUKSEN ENERGIAN KULUTUKSEN MITTAUKSESTA

Valaistuksen energiankulutusta voidaan mitata seuraavilla tavoilla:

- kWh-mittarilla, jolla mitataan valaistukseen käytettävien piirien energiankulutus asennuksen syöttöpisteestä
- paikallisilla tehomittareilla, jotka on integroitu valaistuksen ohjausjärjestelmän säätimiin tai on kytketty niihin paikallisilla tehomittareilla

- valaistuksen ohjausjärjestelmällä, joka kykenee laskemaan paikallisesti kulutetun energian ja kykenee toimittamaan tämän informaation koko rakennusautomaatiojärjestelmälle
- valaistuksen ohjausjärjestelmällä, joka kykenee laskemaan kulutetun energian rakennuksen tiettyä osa-aluetta kohti ja kykenee muokkaamaan tämän informaation siirtokelpoiseen muotoon, kuten taulukkolaskentamuotoon
- valaistuksen ohjausjärjestelmällä, joka rekisteröi käyttöajan, valaistuksen himmennystason ja vertaa tätä järjestelmän sisäiseen tietokantaan tallennettuun tietoon asennuksen kokonaistehosta.

Mitattua arvoa voidaan verrata todellisesti kulutettuihin kilowattitunteihin, jotka on mitattu rakennuksen käyttöönotosta lähtien (SFS-EN 15193,2008)

10 VIITANIEMEN D-RAKENNUKSEN MITTAUSJÄRJESTELMÄT

Tutkimustyöhöni halusin löytää kiinteistön, jossa D3:n mukaisia määräyksiä on noudatettu kokonaisenergian mittauksista. Kiinteistöliikelaitokselle on kevään aikana juuri valmistumassa saneeraus- ja uudiskohde Viitaniemen kampukselle, jossa on noudatettu ja huomioitu rakentamisessa Suomen Rakentamismääräyskokoelman D3 mukaisia määräyksiä kokonaisenergian mittauksesta. Viitaniemen Ammattiopiston D-rakennuksen rakennetut tilat ovat lähinnä opetuskäyttöön tulevia tiloja (luokkaopetus, työsalit). Tiloissa annetaan opetusta aikuispuolen rakennuskoulutusalan, sähkökoulutusalan sekä autokoulutusalan opiskelijoille.

D-rakennuksen kokonaisenergian mittausjärjestelmien tiedonhankinta tapahtui teemahaastatteluiden kautta. Haastattelut tein sähkösuunnittelijalle sekä LVI-suunnittelijalle. Teemahaastatteluissa esille tulevien näkemysten mukaan on määräysten D3 mukaisesti pyritty mittaamaan kiinteän valaistuksen, ilmanvaihdon ja jäähdytyksen sähköenergian kulutukset. Koska jäähdytyskojeet ovat pieniä ilmanvaihtokojeiden yhteyteen sijoitettuja laitteistoja, sisältyy niiden kulutus tässä tapauksessa ilmanvaihtokeskusten mittaukseen. IV-keskusten sähkönkulutus mitataan syöttöpäähän (pää- tai nousukeskukseen) sijoitetulla mittauksella. Kiinteästi asennetun valaistuksen mittausta on sijoitettu alueittain ryhmäkeskuksiin. Eri keskusten valaistusmittaustieto kerätään väyläkaapeloinnilla kiinteistövalvontaan, missä mittaukset summataan. Määräysten D3 mu-

kaisten mittausten lisäksi kiinteistölaitos on halunnut mitattavaksi autolämmityskoteloitten kulutuksen. Näiden mittaus on toteutettu erillisin autolämmityssyöttöjen keskusosalla, kuten valaistuksenkin, mutta näitä on vain parissa keskuksessa koko D-rakennuksessa.

Valaistusmittauksia on käytännössä lähes jokaisessa keskuksessa. Lisäksi mittauksella on varustettu eri osastot (autopuoli, sähköosasto, aikuisopisto). Tämä jako on tosin aika karkea ja mikäli tilojen jako eri toimijoiden välillä myöhemmin muuttuu, jää mittautieto melko toisarvoiseksi. Sähkökeskuksissa on varauduttu myös työsalien pistorasialkuormien ym. opetuslaitteiden kulutusmittaukseen, koska hätäpysäytystoiminnon vuoksi nämä kuormat on joka tapauksessa asennettu omaan sähkökeskusosaansa. (Liite 1.)

D-rakennuksen katolle on asennettu aurinkopaneeleita n. 170 m² tuottamaan tasavirtaa korkealla jännitteellä. Invertterin avulla tasavirta muutetaan vaihtovirraksi. Invertteri on aina valmiustilassa silloin, kun aurinko alkaa tuottamaan energiaa. Aurinkopaneelit on kytketty katolla sarjaan, ja sieltä ne on johdotettu IV-konehuoneessa sijaitseville inverttereille. Inverttereiltä on kaapeloitu turvakytkimen kautta järjestelmän tuottama 230/400V vaihtosähkö IV-konehuoneen keskukselle. Invertterilaitteisto synkronoi tuottamansa vaihtojännitteen samanvaiheiseksi verkkovirran kanssa, jolloin aurinkosähköjärjestelmä voi kytkeytyä toimimaan rinnan valtakunnan verkon kanssa. Kaikki aurinkopaneelien tuottama sähkö kuluu IV-konehuoneessa olevissa taloteknisissä laitteissa (pumput puhaltimet, jne.), ja mitä tarvitaan lisää, tulee verkosta. Jos ilmanvaihtojärjestelmä on jostain syystä ”pimeänä” eikä kaikki aurinkopaneelien tuotto mene IV-järjestelmiin, kulkeutuu tuotto IV-keskuksen nousujohtojärjestelmän ja nousukeskusten kautta rakennuksen muihin keskuksiin kulutettavaksi. Näin tämä sähköenergian tuotto vähentää kiinteistön päämittauksen kautta tulevaa ostoenergiaa. Aurinkopaneelien tuottamaa sähköenergiaa on pystytty seuraamaan n. 5 kuukauden ajalta, ja tänä ajanjaksona tuotettu energiamäärä on 3.8 MWh.

Kaukolämmitysverkkoon liitetyn D-rakennuksen lämmitysenergian kulutuksia mitataan sekä uuden patteriverkoston että vanhan patteriverkoston ja ilmanvaihdon tuloilman lämmittämiseen tarkoitettujen verkostojen osalta erikseen. Rakennuksen lämmitysenergian kulutukset mitataan kaukolämpövaihtimien toisiopiireistä (Liite 2). Lämpöenergioiden mittaamiseen käytetään Kamstrup multical 601 -lämpömäärämittaria.

Virtausantureina käytetään Ultraflow-tuotetta. Kylmän käyttöveden kulutuksen mittausta tapahtuu päävesimittarilta, ja mittari on mallia Multical 62 Ultraflow 24 varustettuna virtausanturein. Lämpöisen käyttöveden kulutuksen mittausta tapahtuu koko D-rakennuksen osalta.

11 TUTKIMUSTYÖNI EHDOTUKSIA ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEKSI

Harjun kampusalueen saneeraamattomien rakennusten energiatehokkuuteen voidaan näkemykseni mukaan vaikuttaa monilla eri parannuskeinoilla. Käyttäjien kanssa eri keskusteluja käydessäni yhtenä tärkeimmistä parannuskeinoista on esille noussut ilmanvaihto. Käyttäjät painottavat, että ilmanvaihdon on oltava riittävän hyvä. Toisaalta vanhojen rakennusten vaipan tiivistäminen on erityisen tärkeää ilmanvaihdon tasapainon hallinnassa. Nykyisten taloudellisten näkökulmien vuoksi joudutaan tilojen käyttöä tehostamaan ja henkilökuormat kasvavat esim. luokkahuoneissa. Nykyiset kanavistot on mitoitettu liian pieniksi ja lisäksi vanhat ilmanvaihtokanavat ovat epätiivitä. Epätiivien ja pienten kanavistojen tasapainottaminen on vaikea. Myös hajautettujen ilmamääräsäätimien säätäminen tulee ongelmaksi. Tehokkaaseen ilmanvaihtoon nykyisillä ilmanvaihtokanavistoilla on lähes mahdoton päästä. Joten pidän tärkeänä, että ilmanvaihto uusitaan kokonaisuudessaan saneeraamattomien rakennusten osalta.

11.1 Parannusehdotuksia ilmanvaihtoon ja jäähdytykseen

Puhtaiden tilojen ilmanvaihtojärjestelmät (poistoilmaluokka 1 ja 2) voitaisiin toteuttaa Munters-laitevalmistajan DesiCool sorptio -jäähdytysjärjestelmin. Laitevalmistajan antamien tietojen mukaan järjestelmän jäähdytysteho on samaa tasoa kuin perinteisillä kompressoreilla sekä kylmäaineilla tuotettu jäähdytysteho. Kesällä jäähdytysprosessi tarvitsee toimiakseen kaukolämmöllä tuotettua lämpöä. Järjestelmä käyttää luonnon omaa haihdutusmenetelmää ja on erittäin tehokas hyödyntäessään hukkalämpöä. Hukkalämpö järjestelmässä muuttuu jäähtyneeksi ja kuivaksi ilmaksi, joka voidaan puhalttaa rakennuksen tiloihin ja näin parannetaan oleskelutilojen viihtyvyyttä. DesiCool-järjestelmällä on mahdollista jäähdyttää jopa 30 °C lämpöinen ulkoilma 15 °C tuloilmaksi. DesiCool-järjestelmän etuina on laitteiston korkea 90 % LTO- hyötysuhde. Hyvän hyötysuhteen ansiosta jälkilämmityksen tarve pienenee talviolosuhteissa. Käyt-

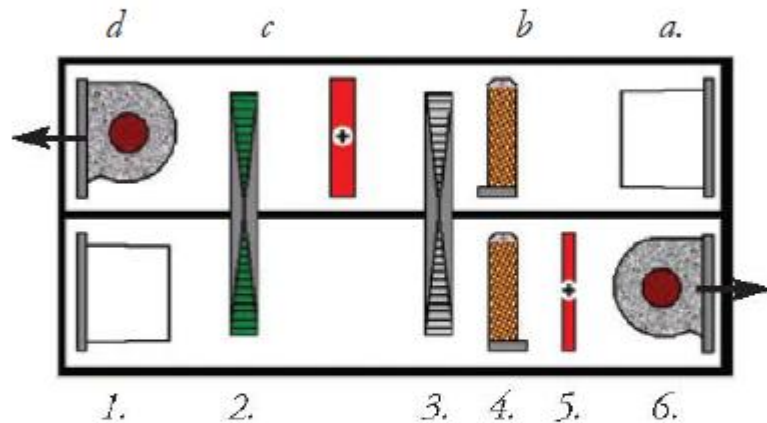
tökustannuksia pienentää myös järjestelmän vähäinen sähköenergian kulutus, koska laitteistossa ei ole kompressoria. Laitetoimittajan antamien tietojen mukaan sähkökulutus on 20 % pienempi verrattuna kompressorijäähdytykseen. (Munters 2014.)

Sorptiojäähdytyksessä toimintaperiaate on seuraavanlainen. Ulkoa tuleva lämmin ja kosteailma kulkeutuu sorptioroottorin läpi, joka muuttaa ilman kuivemmaksi ja lämpimämmäksi. Ilma jäähtyy pyörivässä LTO-roottorissa, joka jälkeen tuloilma jäähdytetään haluttuun lämpötilaan evaporatiivisen jäähdyttimen avulla. Myös poistoilma jäähdytetään evaporatiivisen jäähdyttimen avulla ennen LTO-roottoria. Roottorissa poistoilma ottaa tuloilmanpuolen talteen. Tämän jälkeen poistoilma lämmitetään regenerointipatterissa. Lämmin ilma poistaa sorptioroottorista kosteuden regeneroiden roottorin. (Munters 2014.)

Ilmavaihtokojeet, jotka palvelevat wc-tilojen sekä sosiaalityötilojen ilmanvaihtoa, täytyy myös suunnitella energiatehokkaiksi. Energiatehokkaita ilmanvaihtokoneita löytyy usealta eri valmistajalta. Kun halutaan saavuttaa lämmön talteenotossa n. 80 % hyötysuhde, on ilmanvaihtokoneessa oltava pyörivä talteenottokeho.

Poistoilmapuoli

- a. Suodatin*
- b. Evaporatiivinen jäähdytin*
- c. Regenerointipatteri*
- d. Poistoilmapuballin*



Tuloilmapuoli

- 1. Suodatin*
- 2. Sorptioroottori*
- 3. Pyörivä LTO-roottori*
- 4. Evaporatiivinen jäähdytin*
- 5. Jälkilämmityspatteri*
- 6. Tuloilmapuballin*

KUVA 14. Munters sorptiojäähdytysjärjestelmän periaatekuva

11.2 Parannusehdotuksia lämmitysjärjestelmiin

Lämmitys Harjun kiinteistössä on toteutettu perinteisin menetelmin vesikiertoisella kaksiputkijärjestelmällä. Lämmityspatterit ja verkostot ovat alkuperäisiä, joten niiden uusiminen on välttämätöntä. Lämmitysverkostojen sekä lämmityspattereiden uusimista pidän tärkeänä siksi, koska vanhat järjestelmät on mitoitettu ylisuuriksi. Verkostojen uusimisella pyritään myös siirtymään matalampiin lämpötiloihin. Lisäksi eri rakennusosia palvelevia lämmitysverkostoja voidaan säätää erikseen. Ilmanvaihdon tehostuminen sekä lämpötilasäätöjen tarkentaminen edellyttää erillisten verkostojen rakentamista tuloilmapattereille sekä tuloilman lämmitykselle. Lisäksi vesilämmittei-

sille kiertoilmakojeille, jotka suunnitellaan työsalien isojen ulko-ovien yhteyteen, tarvitaan omat lämmitysverkostot.

Jotta lämmitysenergian kulutusta voidaan seurata verkostokohtaisesti, kaikki alaverkostot on varustettava väylään liitettävillä energiamittareilla. Patteriverkostot olisi hyvä jakaa samanaikaisesti kuormittuviin erikseen säädettäviin alaryhmiin, kuten luokkasiivet. Nykyaikaisilla säätölaitteilla on mahdollista hyödyntää ilmaisenergiat. Lisäksi viikonloppuina sisälämpötilan pudotus eri rakennusosien välillä on energiaa säästävää toimenpide.

11.3 Parannusehdotuksia käyttövesijärjestelmiin

Nykyiset vesi- ja viemärilaitteet ovat myös alkuperäisiä, joten niiden uusiminen on tarpeellista. Kiinteistössä on paljon henkilökunnalle tarkoitettuja tiloja, kuten wc-tilat, pesutilat jne. Näiden tilojen vedenkulutuksen säästämiseksi on tärkeää kiinnittää huomiota vesikalusteiden valintaan. Paras vaihtoehto säästää käyttöveden määrää on valita yleisiin tiloihin kosketusvapaat sekoittajat, esimerkiksi Oras. Jotta käyttöveden kulutusta voidaan seurata, on järjestelmä varustettava väylään liitettävillä erillisillä kylmän ja lämpimän veden mittareilla. Kiinteistössä sijaitsee myös nykyinen ruokala ja keittiö. Näiden tilojen uusimisen yhteydessä huomioidaan veden kulutuksen seuranta. Keittiössä käytettävä kylmä- ja lämminvesi mitataan erikseen.

Kiinteistö on varustettava ohjelmoitavalla hajautetulla mikroprosessoripohjaisella rakennusautomaatiojärjestelmällä, jotta LVIS-laitteiden säätöä, ohjausta sekä valvontaa pystytään toteuttamaan. Järjestelmä liitetään nykyiseen valvomoon. Säätö- ja valvontajärjestelmät kiinteistössä toteutetaan väylään liitettävillä alakeskuksilla ja LVI-laitteilla. Uusia alakeskuksia asennetaan IV-konehuoneisiin, lämmönjakohuoneeseen sekä sähkötiloihin.

Nykyisin vuosittaiset sähköenergiakustannukset arvioidaan kiinteistön laitteiden perusteella määrittelemällä sähköenergiaa kuluttavien laitteiden sähkötehot ja käyttöaikataulut. Uudet sähkölaitteet jaetaan kulutusryhmiin laitteiden käyttötarkoituksen mukaan periaatteella valaistus, laitesähkö, lämmitys, LVI-laitteet jne. Tätä kautta pysty-

tään saamaan todellisia kulutustietoja vastaavista kulutusryhmistä väyläpohjaisten sähkönkulutusmittausten ja jakeluverkon kenttäryhmittelyn avulla.

Sähköisten järjestelmien valinnat olisi toteutettava siten, että ne olisivat mahdollisimman pitkäikäisiä, helposti huollettavia sekä varusteiden ja eri komponenttien osalta jo pitkään markkinoilla olleita. Valinnassa olisi myös tärkeä kiinnittää huomio teknisen tuen saatavuuteen sekä tuotteiden ympäristöystävällisyyteen ja laatukriteereihin.

11.4 Parannusehdotuksia valaistukseen

Suurten tilojen tilayksiköissä läsnäolo- ja päivävalo-ohjauksella on merkittävä hyöty energian säästössä. Määrittelemällä säädettävä yleisvalaistus 75 - 90 % maksimiarvosta saavutaan huomattava energiasäästö. Säästöpotentiaali kertaantuu laitteiden eliniän pidentyessä huomattavasti.

Tilojen valaistuksien ja niiden ohjauksien muunneltavuuteen ja energiatehokkuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota jo valaisinvalinnoissa. Valaisimet täytyisi olla tunnettujen valmistajien jo pitkään markkinoilla olleita energiatehokkaita, pitkäikäisiä ja säädettäviä laitteita. Valaisimilla täytyisi olla myöskin hyvä hyötysuhde, kuten esimerkiksi LED-valolähteillä. Tärkeää olisi myös huomioida LED- valolähteiden takuuajat. Yhtenä merkittävänä kriteerinä laite- ja järjestelmävalinnoissa on pidettävä niiden käyttäjäystävällisyyttä. Toimintojen on oltava käyttäjille helppokäyttöisiä, jotta järjestelmien ominaisuudet tulevat hyötykäytettyä mahdollisimman hyvin. Merkittävää olisi kerätä käyttäjiltä saadut kokemukset ja kehitystarpeet ennen lopullisia järjestelmävalintoja.

Jotta sähkötekniikan osalta päästäisiin merkittäviin energiasäästötavoitteisiin tulisi tehdä seuraavia toimenpiteitä:

- LED-valaisimet
- säädettävät valaisimet
- päivävalon mukaan säätävät valaisimet
- sähköenergian väyläpohjaiset seurantajärjestelmät
- hyvän hyötysuhteen omaavat energiatehokkaat laitteet
- valaistuksen maksimitason määrittäminen

- tarpeenmukainen ohjaus
- rakennusautomaation hyödyntäminen
- yhteistyö LVI-puolen kanssa laite- ja ohjausvalinnoissa.

Kiinteistössä voitaisiin huomioida myös aurinkopaneeleilla tuotettu oma energiatuotanto. Aurinkopaneelien hinnat ovat nopeasti alentuneet lisääntyvän sähkön kysynnän ansiosta. Järjestelmien takaisinmaksuajat ovat lyhentyneet nopeasti viimeisten vuosien aikana. Esim. Jyväskylän korkeudella se on tällä hetkellä n. 20 - 25 vuotta. Aurinkopaneelien avulla tuotettu ns. ilmaisenergia voitaisiin kuluttaa omissa järjestelmissä.

Tutkin juuri valmistuvaa D-rakennusta Viitaniemen kampusalueella, jonka katolle on asennettu n. 170 m² aurinkopaneeleita. Näillä aurinkopaneeleilla saatu energian tuotto n. viiden kuukauden ajanjaksolta oli 3.8 MWh. D-rakennuksen kohdalla kaikki tuotettu energia saadaan kulutettua omissa taloteknisissä järjestelmissä. Sähkösuunnittelijan kanssa pitämien teemahaastattelujen mukaan myös kesäajalla tuotettu sähköenergia voidaan käyttää omissa järjestelmissä. Koska kiinteistön D-rakennuksessa tapahtuu opetusta myös kesällä esim. aikuispuolen opiskelijoilla, taloteknisiä järjestelmiä ei voida pysäyttää kokonaan kesällä. Tutkimuskohdettani Harjulla voidaan verrata samansuuruiseksi Viitaniemen D-rakennuksen kanssa, joten myös Harjulla aurinkopaneeleilla voidaan tuottaa jokseenkin samansuuruinen määrä sähköenergiaa. Tutkimukseni pohjalta voin todeta, että ns. valtakunnan verkkoon myytävää energiaa ei ole myytävissä. Sähkösuunnittelijan teemahaastatteluissa esille tuli myös aurinkopaneelien sekä muiden siihen kuuluvien laitteiden valintaan vaikuttavat seikat. Suurempien kiinteistöjen auringon tuottamiseen tarkoitettujen laitteet pyritään valitsemaan siten, että ne ovat toimintavarmoja sekä kestoaltaan pitkäikäisiä. D-rakennuskohteeseen suunnittelija on valinnut Saksassa valmistettuja laitteita.

12 POHDINTA

Tutkimustyöni päätavoitteena oli kehittää Harjun kiinteistöjen kokonaisenergian seuranta sekä mittausjärjestelmiä. Katsoin tärkeäksi myös tuoda esille taloteknisiin järjestelmiin liittyviä parannusehdotuksia kiinteistöjen energiatehokkuudesta.

Tutkimustyöni aloitin tutustumalla Harjulla sijaitseviin kiinteistöihin. Tämänhetkisten taloteknisten järjestelmien kunnon selvittäminen oli erittäin haastavaa rakennusten suuren koon johdosta, joka lisäsi myös tutustumiskäyntejä kohteeseen. Tutkimustyöni eteenpäin viemiseksi oli merkittävää, että sain haastatella kiinteistöliikelaitoksen ammattilaisia LVIS- alojen eri osaamisalueilta.

Energiatehokkuuden kannalta on hyvin merkittävää tiedostaa, kuinka paljon energiaa kuluu esim. lämmitykseen, jäähdytykseen jne. Eri järjestelmien käyttämä energia saadaan selville vain mittaamalla ne määräysten mukaisesti. Suurten peruskorjausprojektien kohdalla on äärimmäisen tärkeää, että suunnittelijoiden kanssa yhdessä käydään läpi peruseriaatteet, miten esim. kiinteistöjen sähkönjakelu tulisi toteuttaa. Huolellisen sähkösuunnittelun kautta saadaan halutut kulutukset mitattua LVI-laitteiden, valaistuksen sekä muiden sähköä kuluttavien laitteiden osalta. Suunnitteluvaiheessa tehdyt päätökset mittausten periaatteista antavat tärkeän tiedon siitä, kuinka suuri pääkeskuksen pitää olla ja miten paljon tarvitaan esim. alajakokeskuksia.

Kuntayhtymä on sitoutunut olemaan mukana kuntien energiansäästöohjelmassa. Ohjelma ohjaa kiinteistöjä säästämään energiaa. Se myös vaikuttaa tehtäviin rakenneratkaisuihin sekä investointikustannuksiin. Harjulla sijaitsevien kiinteistöjen peruseräparannusvaihetta tehtäessä järjestelmät on varustettava tarkoituksenmukaisilla ja riittävillä energiakulutusmittalaitteilla. Mittaustiedoilla on mahdollisuus ohjata kiinteistön käyttöä energiatehokkaampaan suuntaan. Mittaustiedot antavat myös tietoa taloteknisten järjestelmälaitteiden vioista, jos energiankulutus mahdollisesti nousee tai säätöpoikkeamia ilmenee automaatiojärjestelmissä.

Mittalaitteiden antamien tuloksien seuranta pidän merkittävänä, koska niiden perusteella pystytään arvioimaan energiankulutuksen oikeellisuutta. Mahdolliset virheet voivat johtua esim. asennus- tai käyttöönottovaiheissa tapahtuneista virheistä. Hyvin suunniteltu järjestelmä ei aina takaa onnistunutta energian säästöä, jos asennuksissa tehdään virheitä. Jotta mittaukset toteutuvat suunnitelmien mukaisesti, on mittalaitteiden asennuspaikat käytävä huolellisesti läpi niin, että ne mittaavat mittausteknisesti oikeaa esim. lämmitys- jäähdytys- tai sähköenergian kulutusta. Väärin asennettujen energiamittareiden lämpötila-anturit aiheuttavat suuria poikkeamia mittaustuloksiin. On siis erittäin tärkeää, että antureiden paikat selvitetään ennen niiden asentamista.

Energiamittalaitteiden liittäminen rakennusautomaatiojärjestelmään on jo huomioitava suunnitteluvaiheessa. Mittalaitteiden kaapelointi olisi hyvä toteuttaa niin, että monien väyläliitäntämoduulien asentamiselta vältytään. Näin estetään järjestelmän kustannusten nousua. Rakennusautomaatiojärjestelmien avulla pystytään seuraamaan energian kulutusta reaaliajassa tai esim. vuorokauden ajanjaksolla. Energiankulutuksen sekä vesimittareiden valinnan ensisijaisena kriteerinä pidetään nimellisvirtausta. Toissijaisesti mittarit voidaan valita ns. nyrkkisäännön mukaisesti, eli mittarin koko on yhtä kokoa pienempi kuin putkikoko. Tärkeää on kiinnittää huomio mittarin luentaan eli tapahtuuko mittarin luenta paikallisesti vai etäluennassa. Kun etäluettavat mittarit on kytketty rakennusautomaatiojärjestelmään, tarvitaan aina impulssilaitte. Tutkimustyöskäni esitin lämmitysenergian mittaukseen energiamittaria Hydrometer Sharty 775 -mallia. Jotta mittausslaiteesta voidaan saada tarpeeksi tarkkaa kulutustietoa, on energiamittareiden sekä laskimien pulssilähdöt selvitettävä. Tämän esille tuomani ultraäänitoimisen energiamittarin impulssiarvo voidaan selvittää laitevalmistajalta (Liite 3). Esimerkiksi jos nimellisvirtaus on $2.5 \text{ m}^3/\text{h}$, silloin impulssiarvo on $0,001 \text{ MWh/imp}$. Tällä impulssiarvolla toimiva mittalaite antaa tarkkaa kulutustietoa esim. vuorokausitasolla tapahtuvasta seurannasta.

Tutustuessani Viitaniemessä olevaan D-rakennuksen taloteknisiin järjestelmiin osoitti, että aurinkopaneelit kannattaa suunnitella myös Harjun kampusalueen rakennusten katolla. D-rakennuksen katolle asennetuilla aurinkopaneeleilla (170 m^2) tuotettua sähköenergian määrää $3,8 \text{ MWh}$ pidän kohtuullisen suurena, vaikka paneelit olivat olleet käytössä vain viisi kuukautta. Yhtenä mahdollisuutena kannattaa tutkia aurinkopaneelien integroimista julkisivuihin.

Ilmanvaihdon sekä jäähdytysjärjestelmien energiatehokkuutta voidaan parantaa suunnittelemalla Harjun kampusalueen puhtaisiin tiloihin DesiCool-ilmastointijärjestelmä sorptio-jäähdytyksellä. Ilmanvaihdon ohjauksissa täytyisi huomioida läsnäolo sekä hiilidioksidiohjaus.

Valaistuksen osalta suunnitteluvaiheessa olisi huomioitava, onko luonnonvalon käyttö mahdollista. Voidaan esimerkiksi selvittää, onko luonnonvaloa mahdollista tuoda rakennukseen esim. valokuilujen avulla ja pystytäänkö valaistusta ohjaamaan ulkoa tulevan luonnonvalon mukaan. Valaistuksen liike- ja aikaohjauksilla saadaan myös merkittäviä säästöjä sähköenergian kulutuksessa. Valaisimiksi kannattaa valita ener-

giatehokkaat T5-loisteputkimallit sekä LED-valaisimet. Valaistuksen ohjauksessa on huomioitava läsnäolo- sekä päivävalo-ohjaus. Harjun rakennuksissa on paljon käytäviä- sekä porrastilaa, joten näiden valaistuksen ohjaus kannattaa toteuttaa läsnäolo-ohjauksena.

13 LÄHTEET

Boverkets byggregler 19, BFS 2011:26, BBR 19. Saatavissa

<https://rinfo.boverket.se/BbR/PDF/BFS2011-26-BBR19.pdf> Päivitetty 6.10.2011.

Luettu 10.3.2014.

Energiateollisuus. Tuntimittauksen periaatteita 2010. Saatavissa

http://energia.fi/sites/default/files/dokumentit/sahkomarkkinat/Sanomaliikenne/tuntimittaussuositus_2010_linkit_paivitetty.pdf Päivitetty 15.9.2011. Luettu 4.4.2014.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/Eu

Forskrift om tekniske krav til byggverk, FOR 2010:489 TEK 10

Kananen, Jorma. 2010. Opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulu/JAMK.FI

Kurnitski, Jarek. 2012. Energiämääräykset 2012. Suomen Rakennusmedia Oy.

Mittauslaitelaki 707/2011. Saatavissa

<http://www.mitox.fi/pdf/20110707%20Mittauslaitelaki.pdf> Päivitetty 23.6.2011. Luettu 10.2.2014.

Munters. Saatavissa [http://www.munters.fi/fi/fi/Tuotteet-ja-](http://www.munters.fi/fi/fi/Tuotteet-ja-palvelut/Ilmankasittely/Comfort-ilmastointijarjestelmat/DesiCool-jarjestelmat/)

[palvelut/Ilmankasittely/Comfort-ilmastointijarjestelmat/DesiCool-jarjestelmat/](http://www.munters.fi/fi/fi/Tuotteet-ja-palvelut/Ilmankasittely/Comfort-ilmastointijarjestelmat/DesiCool-jarjestelmat/) Päivitetty 16.1.2008. Luettu 2.5.2014.

Paloniitty, Sauli 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Suomen Rakennusmedia Oy

Plan- och bygglag, PBL SFS 2010:900

Rakennusmaailma. Saatavissa <http://rakennusmaailma.fi/artikkelit/miten-taytat-2012-rakentamisen-energiamaaraykset> Päivitetty 6.7.2011. Luettu 7.3.2014.

Saint-Gobain Pipe Systems Oy. Saatavissa <http://www.saint-gobainpipesystems.fi/> Ei päivitystietoa. Luettu 2.4.2014.

Schneider electric. Saatavissa <http://www.schneider-electric.com/site/home> Ei päivitystietoa. Luettu 2.4.2014.

SFS-EN 15193. 2008. Rakennusten energiatehokkuus. Valaistuksen energiatehokkuus

Sitra. Saatavissa http://www.sitra.fi/NR/rdonlyres/2269693A-21A6-4572-9E65-FEE731F92A11/5331/REHVA_EUkatsausloppuraportti.pdf Päivitetty 2.3.2011. Luettu 5.4.2014.

Suomen Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. Osa D2. Helsinki.

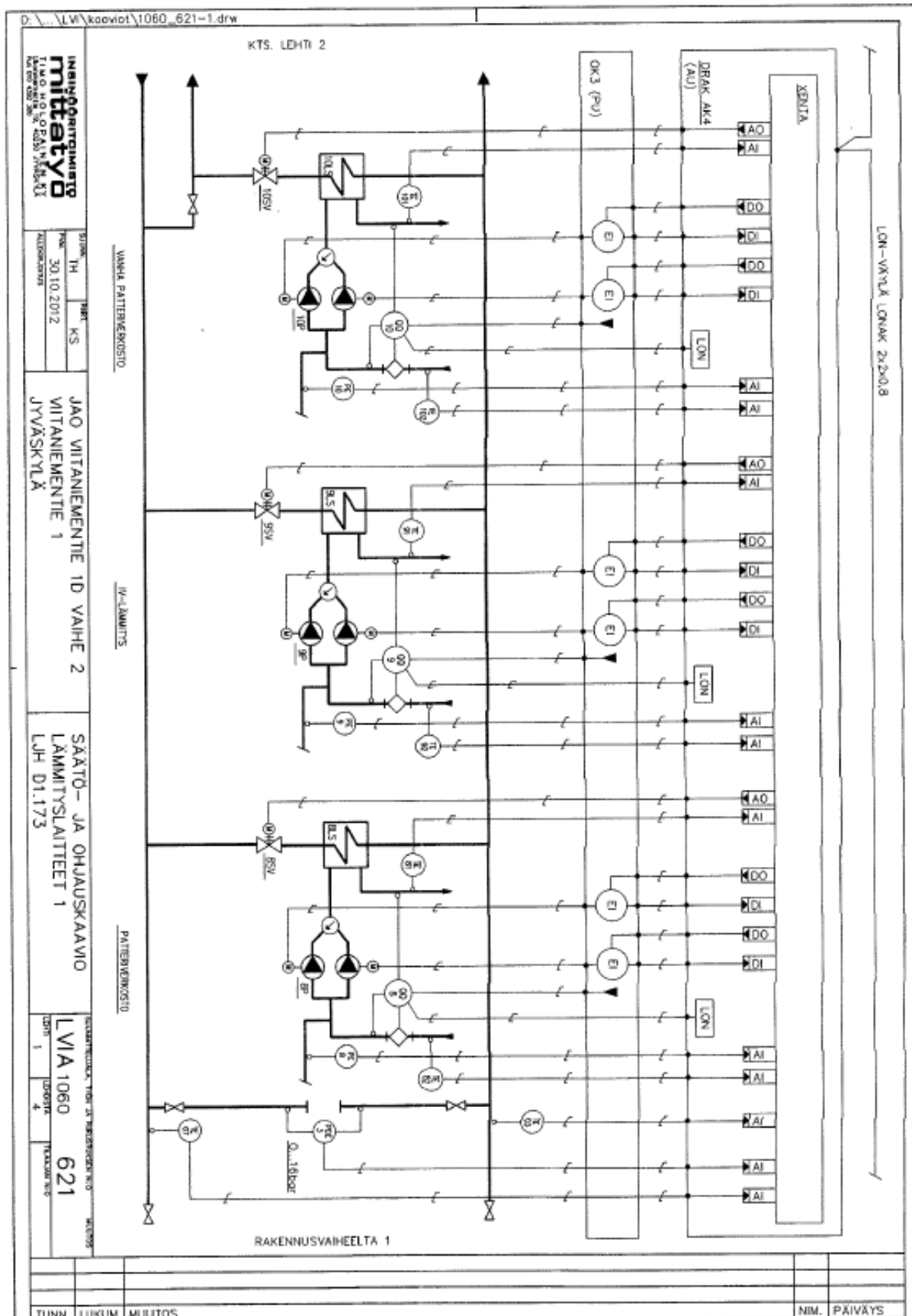
Suomen Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Osa D3. Helsinki.

Suomen Ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon-tarpeen laskenta. Määräykset ja ohjeet 2012. OsaD5. Helsinki.

Valtioneuvoston asetus 211/2012 mittauslaitteiden olennaisista vaatimuksista, vaatimustenmukaisuuden osoittamisesta ja teknisistä erityisvaatimuksista. Saatavissa <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120211> Ei päivitystietoa. Luettu 10.2.2014.

LIITE 2.

Säätö- ja ohjauskaavio, lämmityslaitteet



MITTAREIDEN TYYPPIHYVÄKSYNTÄ JA TARKKUUSLUOKAT

ETY- ja MID-säästösten vaatimusten vertailu																Mittauskriteerit vaatimukset: Q3/Q1 = 1,8 Q3/Q1 > 10 Q4/Q3 = 1,25	
Qn (ETY) m³/h	Kirkasöljölaitteet					Nimellivirtaus											Mittauskriteerit vaatimukset: Q3/Q1 = 1,8 Q3/Q1 > 10 Q4/Q3 = 1,25
	1,5	2,5	3,5	6	10	Vesilaskurit					Nimelliskoko UN						
Q3 (MID) m³/h	2,5	4	6,3	10	16	10	15	25	40	60	100	150	250	400	600	Mittauskriteerit vaatimukset: Q3/Q1 = 1,8 Q3/Q1 > 10 Q4/Q3 = 1,25	
Mittausluokka	Kirkasöljölaitteet					Nimelliskoko UN										Mittausluokka	
ETY	15	20	25	32	40	R=Q3/Q1	40	60	65	90	100	125	150	200	250	MID	
A						31,5										B	
B						40										C	
C						50										D	
D						63											
						80											
						100											
						125											
						160											
						200											
						250											
						315											
						400											
						500											
						630											
						800											
						1250											
						1600											
						2000											
						2500											
						3150											

ENERGIAMITTAREIDEN JA -LASKIMIEN PULSSILÄHDÖT

Ultraäänitoimiset energiamittarit				
Nimellisvirtaus qp (m³/h)	Sharky 775		Pollustat E	
	Energia (MWh/imp)	Vesimäärä (m³/imp)	Energia (MWh/imp)	Vesimäärä (m³/imp)
0,6	0,001	0,001	0,001	0,001
1,5	0,001	0,001	0,001	0,001
2,5	0,001	0,001	0,001	0,001
3,5	0,001	0,001	0,001	0,001
6	0,001	0,001	0,001	0,001
10	0,001	0,001	0,01	0,01
15	0,001	0,001	0,01	0,01
25	0,001	0,001	0,01	0,01
40	0,001	0,001	0,01	0,01
60	0,001	0,001	0,01	0,01

Energiälaskimet		
Virtausanturin pulssiarvo (litraa)	PolluTherm	
	Energia (MWh/imp)	Vesimäärä (m³/imp)
0,25 tai 1	0,001	0,001
2,5 tai 10	0,01	0,01
25 tai 100	0,1	0,1
250 tai 1000	1	1