



MYYMÄLÄN SÄHKÖNKÄYTTÖ JA SÄHKÖNKÄYTÖN TEHOSTAMINEN

Opinnäytetyö

Sami Suhonen

**Sähkötekniikan koulutusohjelma
Energiahuolto**

Hyväksytty ____ . ____ . ____ _____

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU TEKNIikka KUOPIO

Koulutusohjelma

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Tekijä

Sami Suhonen

Työn nimi

Myymälän sähkönkäyttö ja sähkönkäytön tehostaminen

Työn laji

Opinnäytetyö

Päiväys

10.5.2010

Sivumäärä

35 + 9

Työn valvoja

Yliopettaja Juhani Rouvali

Yrityksen yhdyshenkilö

Kiinteistöpäällikkö Tomi Vierimaa

Yritys

Osuuskauppa PeeÄssä

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tutkia Osuuskauppa PeeÄssän päivittäistavaramyymälöiden sähköenergian käyttöä ja jakautumista eri kuormitusryhmiin. Lisäksi työssä pyrittiin selvittämään mahdollisia sähkönkäyttöä tehostavia toimenpiteitä.

Myymälän kuormitukset mitattiin tallentavalla sähköenergiamittalaitteella. Mittaustuloksista saatiin kokonaiskuormitus jaettua suurimpien kuormitusten kesken pienempiin osa-alueisiin. Mittauksia jatkettiin komponenttitasolle asti ja tutkittiin energiasäästöpuhaltimien kulutusta ja investoinnin takaisinmaksuaikaa. Puhallinmoottoreiden vaihto todettiin hyväksi sähkönkäytön tehostuskeinoksi.

Yhtenä työn tutkimuskohteena oli myymälävalaistuksen korvaaminen LED-tekniikalla toteutetulla valaistuksella. Valaisimille tehtiin valaistusmittauksia sekä laadittiin valonjakokäyrä. LED-valaistuksen huomattiin säästävän energiaa, mutta todettiin liian kalliiksi investoinniksi saatavaan hyötyyn nähden.

Myymälässä kartoitettiin sähkönkäyttöä tehostavia toimenpiteitä, joista yksi on toteutettavissa ilman investointikuluja. Myymälän kylmäkalusteiden sulatusaikojen uudelleenjärjestelyllä saadaan huipputehoja pienemmäksi.

Avainsanat

Sähkönkäyttö, LED-valaistus, energiansäästöpuhallin

Luottamuksellisuus

Julkinen

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme

Electrical Engineering

Author

Sami Suhonen

Title of Project

Electricity Consumption in a Store and more Efficient Use of Electricity

Type of Project

Final Project

Date

10 May 2010

Pages

35 + 9

Academic Supervisor

Mr Juhani Rouvali, Principal Lecturer

Company Supervisor

Mr Tomi Vierimaa, Facilities Manager

Company

Osuuskauppa PeeÄssä

Abstract

The purpose of this thesis was to investigate the consumption of electrical energy in Osuuskauppa PeeÄssä grocery stores and the distribution of the different load groups. Possible measures for more efficient use of electricity in the store were sought and identified.

Store loads were measured by a recording electrical energy meter. It was possible to divide the total consumption into smaller areas. Measurements were continued down to the component level and the consumption of energy-saving fanmotor was studied as well as the investment payback period. Getting new fanmotors was seen as a good way to save electricity.

One of the research subject was the replacement of the old store lighting with the LED lighting technology. Measurements were made on lamps and a light distribution curve was prepared. LED lighting saves energy, but it was considered too expensive in relation to the investment and benefits.

Measures to enhance the use of electricity were identified in the store and one of them is feasible without investment costs. Rescheduling refrigerator defrost-time could reduce power peaks.

Keywords

LED lighting, energy-saving fan

Confidentiality

Public

ALKUSANAT

Tämä insinööri työ on tehty pitkäaikaiselle työnantajalleni Osuuskauppa PeeÄssälle. Työ tehtiin loppuvuoden 2009 ja alkuvuoden 2010 aikana. Mielenkiintoisen työn aiheen minulle tarjosi PeeÄssän kiinteistöpäällikkö Tomi Vierimaa.

Työn ohjaajista on ollut suuri apu työn valmistumiseen. Kiitos yrityksen puolesta ohjaajana toimineelle kiinteistöinsinööri Tomi Vierimaalle ja koulun puolesta ohjaajana toimineelle yliopettaja Juhani Rouvalille.

Lisäksi haluan kiittää kaikkia insinööri työn tekemisessä avustaneita henkilöitä.

Kuopio 10.5.2010

Sami Suhonen

SISÄLLYS

| | |
|--|----|
| 1. JOHDANTO | 6 |
| 2. TYÖNTILAAJA..... | 7 |
| 2.1 S-ryhmä | 7 |
| 2.2 Osuuskauppa PeeÄssä | 8 |
| 3. ENERGIATEHOKKUUS..... | 9 |
| 3.1 Energiatehokkuuden tavoitteet | 9 |
| 3.2 Energiatehokkuus rakennus- ja kiinteistöalalla | 10 |
| 4. MITTAUSKOHDE SALE PÄIVÄRANTA | 11 |
| 4.1 Myymälän perustiedot | 11 |
| 4.2 Myymälän sähkönkäyttö | 11 |
| 5. ENERGIAMITTAUKSEN TOTEUTUS..... | 13 |
| 5.1 Mittaukset..... | 13 |
| 5.2 Mittalaite..... | 13 |
| 5.3 Pääkeskuksen mittaus..... | 14 |
| 5.4 Jakokeskusten mittaus | 16 |
| 5.5 Ryhmäkeskuksen mittaus..... | 17 |
| 5.6 Mittaustulokset | 19 |
| 6. KYLMÄLAITOSTEN VERTAILU..... | 20 |
| 6.1 Kylmälaitoksen toiminta..... | 20 |
| 6.2 Kylmälaitokselle suoritettut mittaukset | 21 |
| 7. LED-VALOPUTKI | 23 |
| 7.1 Vertailussa käytetyt LED-valoputki ja loisteputki | 23 |
| 7.2 Mittausten suoritus | 24 |
| 7.3 Valaistuksen mittaustulokset | 27 |
| 7.4 Perinteisen valaistuksen korvaaminen LED-tekniikalla | 28 |
| 7.5 Valaisimien vertailu | 29 |
| 8. EC-PUHALLINMOOTTORI | 30 |
| 8.1 Vanha puhallinmoottori..... | 30 |
| 8.2 EC-puhallinmoottorin asennus..... | 31 |
| 8.3 Puhallinmoottorien vaihdon kannattavuus | 32 |
| 9. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET | 33 |

LÄHTEET

LIITTEET

Liite 1: Valaistusmittaus

Liite 2: Sale Päivärannan pohjakuva

Liite 3: S-Market Sokoksen pohjakuva

1. JOHDANTO

Päivittäistavarakaupan alalla on viime vuosina kiinnitetty huomiota energiankulutukseen entistä enemmän. Vuonna 2006 tuli voimaan energiapalveludirektiivi, jonka tavoitteena on vähentää kokonaisenergian kulutusta 9 % vuosille 2008 – 2016. S-ryhmä on lähtenyt mukaan energiatehokkuustalkoisiin ja on solminut elinkeinoelämän energiatehokkuussopimuksen. Vähennettävän energian lähtökohtana pidetään vuoden 2005 kokonaisenergiankulutusta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa Osuuskauppa PeeÄssän päivittäistavaramyymälöiden sähköenergian käyttö ja jakautuminen eri kuormitusryhmiin. Tavoitteena on tutkia myymälöiden huippukulutuksia sekä niiden aiheuttajia. Työssä tutkitaan pääosin Sale Päivärannan myymälän energiankulutuksia sekä verrataan tuloksia Puijonlaakson ja Sokoksen S-marketteihin sekä Energiakolmio-ohjelmistosta saatuihin energiankulutustietoihin.

Lisäksi työssä pyritään selvittämään myymälöiden kylmälaitosten sähkönkäyttöä yksityiskohtaisemmin sekä tutkitaan kylmäkalusteeseen asennettavan energiansäästöpuhallinmoottorin tuomaa säästöä. Työssä tutkitaan myös LED-tekniikalla toteutettua valaistusta ja sen energiatehokkuutta.

2. TYÖNTILAAJA

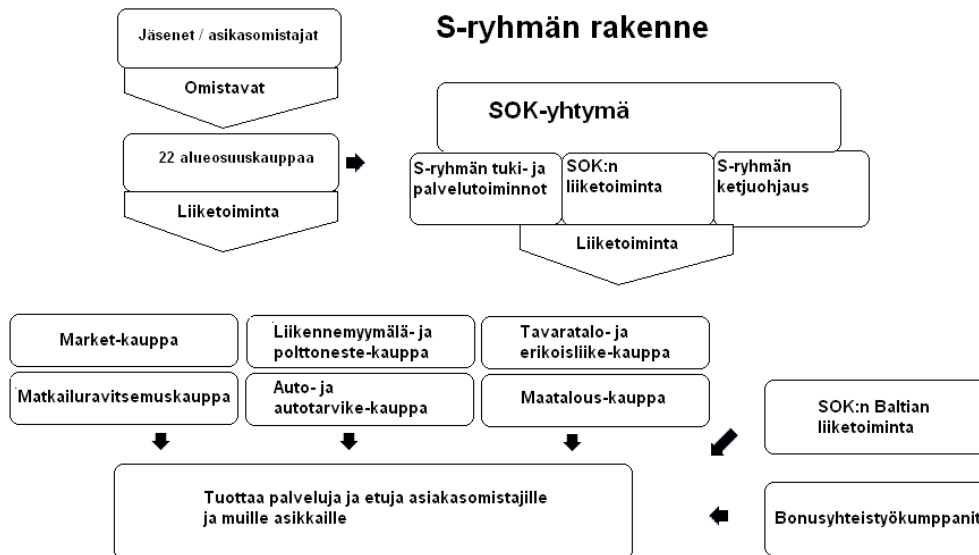
2.1 S-ryhmä

Osuuskaupat ja Suomen Osuuskauppojen Keskuskunta (SOK) tytäryhtiöineen muodostavat suomalaisen vähittäiskaupan ja palvelualan yritysverkoston S-ryhmän. Nämä yhdessä tuottavat palveluita ja etuja asiakasomistajille ja muille asiakkaille. S-ryhmällä on noin 1 500 toimipaikkaa Suomessa. Osuustoiminnallisia yrityksiä ovat osuuskaupat, joiden omistajat ovat paitsi omistajia, myös asiakkaita eli asiakasomistajia. /1/

S-ryhmän rakenne (kuva 1) on 22 alueosuuskaupasta ja alueosuuskauppojen omistamasta Suomen Osuuskauppojen Keskuskunnasta (SOK) muodostuva kokonaisuus. Asiakasomistajien eli jäsenien omistamien osuuskauppojen verkosto ulottuu koko maahan. Osuuskauppojen toiminnassa on vahva alueellinen painotus. /1/

Osuuskauppojen keskusliikkeenä toimiva Suomen Osuuskauppojen Keskuskunta SOK tuottaa hankinta-, asiantuntija- ja tukipalveluita S-ryhmälle. Osuuskauppojen omistama SOK vastaa myös S-ryhmän eri ketjujen kehittämisestä ja strategisesta ohjauksesta. S-ryhmän tarjontaa kotimaassa ja lähialueilla täydentää SOK:n liiketoiminta. /1/

SOK ja sen tytäryhtiöt muodostavat SOK-yhtymän. Valtakunnallisten ja alueellisten tytäryhtiöiden lisäksi SOK harjoittaa marketkauppaa sekä matkailu- ja ravitsemiskauppaa Baltian ja Venäjän alueella. /1/



Kuva 1. S-ryhmän rakenne. /2/

2.2 Osuuskauppa PeeÄssä

Pohjois-Savossa toimiva Osuuskauppa PeeÄssä on maakunnallinen palveluyritys. Osuuskauppa PeeÄssä harjoittaa 23 kunnan alueella marketkauppaa, matkailu- ja ravintemuskauppaa sekä liikennemyymälä- ja polttoneste-kauppaa. PeeÄssä on 80 toimipaikkaa Pohjois-Savossa. PeeÄssän arvioitu myynti oli 550 miljoonaa euroa vuonna 2009. /3/

PeeÄssä toiminta-ajatus on tuottaa palveluja ja etuja asiakasomistajilleen, joita on 90 000 taloutta. PeeÄssän perustana olevaa kannattavaa liiketoimintaa ei olisi olemassa ilman asiakasomistajia ja heidän sitoutumistaan palvelujen käyttämiseen. PeeÄssä on tärkeä Pohjois-Savon hyvinvoinnin kannalta. Yhtenä maakunnan suurimpana yrityksenä PeeÄssä osallistuu aktiivisesti toimialueensa kehittämiseen ja luo uusia työpaikkoja maakuntiin. /3/

3. ENERGIATEHOKKUUS

3.1 Energiatehokkuuden tavoitteet

S-ryhmän tavoitteena on vähentää energiankulutusta, mutta silti energiankulutus kasvaa jatkuvasti kuluttajien hyvinvoinnin ja myymäläkokojen kasvun myötä. Energiankulutuksen tehostuksesta ja säästötoimista huolimatta toimialalla on vielä paljon tehtävää. /4/

Myymälöiden energiatehokkuutta voitaisiin parantaa pienentämällä varastoinnin ja myymisen energiankulutusta. Energiankulutuksen pienentäminen vähentäisi ympäristöpäästöjä ja se olisi usein taloudellisesti kannattavaa. Suomen Kaupan liitto on tehnyt elinkeinoelämää koskevan energiantehokkuussopimuksen, johon kaupan toimijat, kuten S-ryhmä, on lähtenyt mukaan. /4/

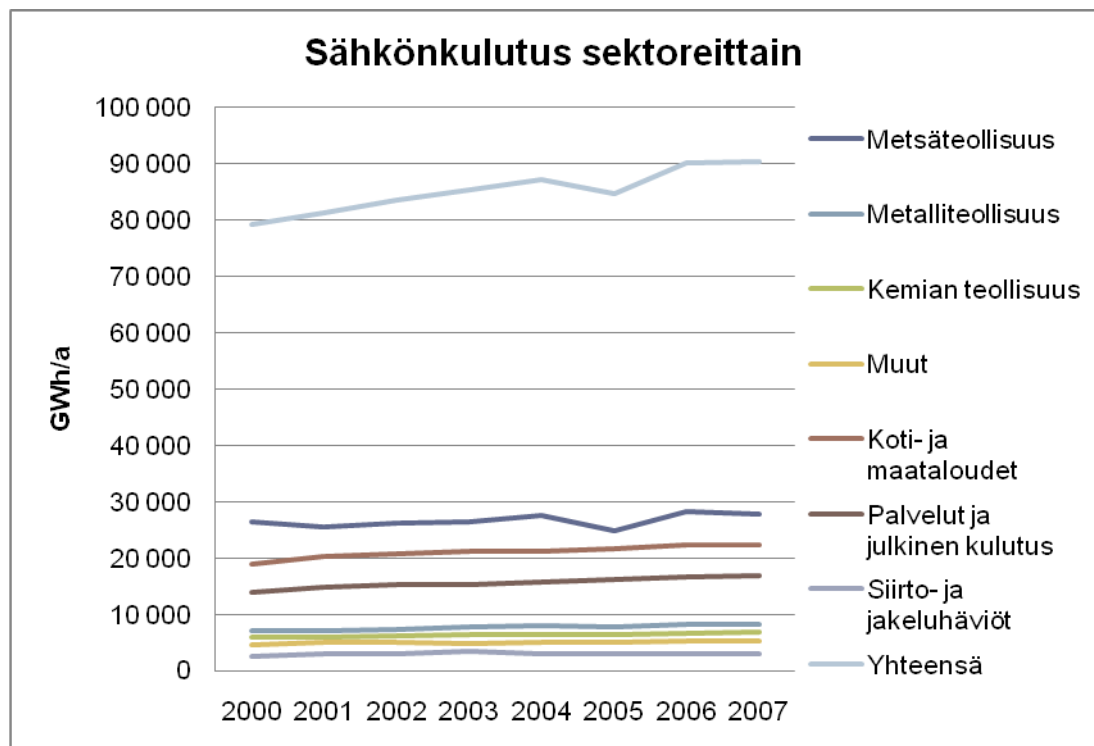
S-ryhmä on aloittanut entistä tavoitteellisemmän energiansäästötyön. Työn tavoitteena on energiankulutuksen 9 % säästö. Tavoitteen lähtötasona pidetään vuoden 2005 kokonaisenergiankulutusta. Säästötavoite on nykyisellä energian hinnalla n. 2,4 miljoonaa euroa ja vastaa laskennallisesti marketkaupan puolella 7,5 Prisman kokoisien myymälän vuotuista energiankulutusta. /5/

Energiansäästösopimuksien avulla yritykset ja yhteisöt vähentävät vapaaehtoisesti energiankulutustaan. Kylmälaitteille, tietokoneille ja muille laitteille on kehitetty kuluttajaa ostotilanteissa helpottavia energiamerkkejä. /4/

3.2 Rakennus- ja kiinteistöalan energiatehokkuus

Tuotetun primäärienergian osuus kansallisen rakennuspoliittisen ohjelman keräämien tietojen mukaan on rakennusteollisuudessa, rakennustoiminnassa ja rakennuskannan lämmön- ja sähkönkulutuksessa yli 40 %. Sähkönkulutusten osuudet sektoreittain on esitetty kuvassa 2. Energiatehokkuuden parantamisen kannalta Suomessa keskeinen ala olisi rakennus- ja kiinteistöala. /4/

Vuonna 2008 tuli voimaan laki rakennuksen ilmastointijärjestelmän kylmälaitteiden energiatehokkuuden tarkastamisesta ja energiatehokkuuden laskeuttamisesta sekä asetukset rakennuksen energiatodistuksesta. Myös energiatehokkuutta koskevia rakentamismääräyskokoelman osia on uudistettu. Energia-avustuksia voi hakea kunnalta tai valtion asuntorahastolta (ARA) rakennusten energiatalouden parantamista varten. /4/



Kuva 2. Sähkönkulutus sektoreittain 2000 - 2007. /4/

4. MITTAUSKOHDE SALE PÄIVÄRANTA

4.1 Myymälän perustiedot

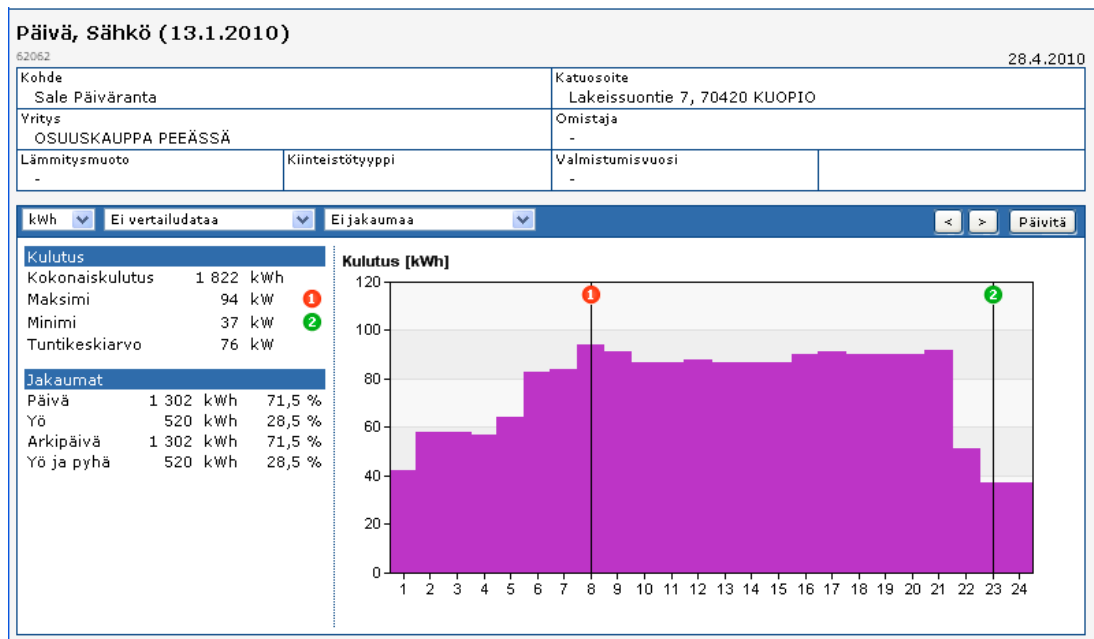
Ennen mittauksia tutustuttiin mittauskohteeseen, joka oli päivittäistavaramyymälä Sale Päiväranta. Kiinteistön pinta-ala on 696 m², josta myymälän pinta-ala on 392,3 m². Kiinteistön pohjakuva on esitetty liitteessä 2. Kiinteistön vuotuinen energiankäyttö vuonna 2009 oli 514 080 kWh ja huipputeho 106 kW.

Myymälän kylmäkalusto on Norpen valmistama. Myymälässä on pakastekalusteita yhteensä 13,75 m ja pakastehuone, jonka koko on 5,8 m². Kalusteita, jotka jäädyttävät kalusteen sisälämpötilan lähelle 0°C:ta, mutta ei kuitenkaan pakkasen puolelle eli niin sanottuja pluspuolenkalusteita, on yhteensä 32,5 m ja 12 m pitkä maituhuone.

Myymälässä valaistus on toteutettu loisteputkivalaisinrampeilla. Valaisinramppeja myymälässä oli 5 kpl; jokaisessa valaisinrampissa oli 20 kpl loisteputkivalaisimia. Takatilojen valaistus oli myös toteutettu loisteputkivalaisimilla. Takatiloissa valaisimia on 20 kpl. Koko kiinteistön valaisuun on käytetty yhteensä 120 kpl 2-putkisia loisteputkivalaisimia eli 240 kpl 58 W loisteputkia.

4.2 Myymälän sähkönkäyttö

Osuuskauppa PeeÄssän käytössä olevan Energiakolmion nettisivuston avulla tutustuttiin myymälän sähkönkulutukseen. Energiakolmion sivustolta selvisi myymälöiden sähkönkulutus vuosienenergioista tuntikulutuksen tasolle. Kuvassa 3 on esitetty Sale Päivärannan vuorokausikulutus 13.1.2010.



Kuva 3. Sale Päivärannan energiankulutus vuorokauden ajalta 13.1.2010.

Energiakolmion tietokannasta saatiin myymälän vuorokausikulutukseksi 1800 kWh. Energiakolmion kulutustietojen ajanjakso on klo 00 - 24. Mitattu sähköenergiakulutus ajanjaksolla klo 7 - 7 oli 1700 kWh. Yöaikaan kulutus on 28,5 % päiväenergiasta eli 520 kWh.

Tietokannasta ei saada yksityiskohtaisempaa tietoa myymälän kuormituksista, joten kuormituksia täytyi mitata yksityiskohtaisemmin myymälän sähkökeskuksilta.

5. ENERGIAMITTAUKSEN TOTEUTUS

5.1 Mittaukset

Mittauksen tavoitteena oli kartoittaa päivittäistavaramyymälän sähköenergian kulutuksen jakautuminen. Energiankäyttöä ja jakautumista tutkittiin Päivärannan Sale-myymälässä. Ennen mittauksia tutustuttiin Päivärannan Sale-myymälän sähkökeskuksiin, tutkittiin kiinteistön sähköpiirrustuksia ja selvitetiin mahdollisia myymälän sähkökuormia.

Mittauskohteiksi valittiin pääkeskus PK1 sekä kylmälaitoksen jakokeskukset JK1 ja JK2. Lisäksi mitattiin yksittäisiä komponentteja mahdollisimman tarkasti. Mittauksissa oli tarkoitus löytää sähkönkäyttöä tehostavia kohteita.

Lisäksi vertailtavaksi mittauskohteeksi valittiin pluspuolen Norpen MD 30 -kylmäkaluste. Mittaukset suoritettiin kalusteen päällä sijaitsevassa ryhmäkeskuksessa. Norpen 10 metriä pitkä kaluste mitattiin myös Sokoksen ja Puijonlaakson S-marketeista. Mittaukset suoritettiin arkipäivinä, jotta mittaustulokset olisivat vertailukelpoisia keskenään. Mittausjakson pituus kaikissa mittauksissa oli 24 h.

5.2 Mittalaite

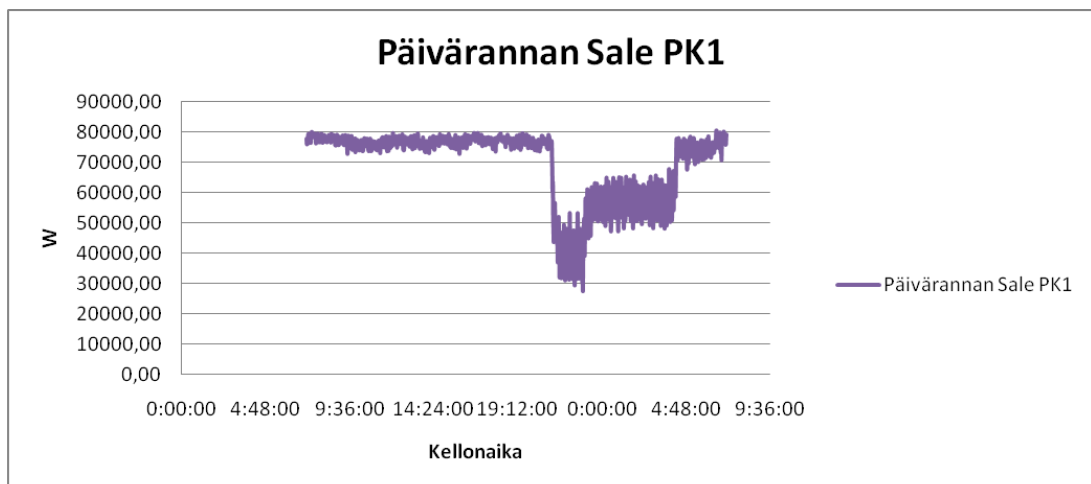
Mittauksissa käytettiin Savonia-ammattikorkeakoulun Fluken 433 Power Quality Analyzer -mittaria. Mittarilla mitattiin kuormien jännitteitä, virtoja, näennäistehoja, loistehoja, pätötehoja, vaihesiirtokulmia, taajuuksia ja tehokerroimia. Mittaukset suoritettiin kolmivaiheisella kytkennällä. Mittariin tallennettiin vuorokauden mittaisia mittausjaksoja. Fluke 433 tallentaa muistiin alle 30 tunnin mittausjakson tiedot minuutin välein. Muistista mittaustulokset siirretään tietokoneelle Flukeview-ohjelman ja optisen datasiirtokaapelin avulla. Mittari kytkettiin kuormaan virtapihtien ja jänniteliittimien avulla.

Lisäksi käytössä oli Fluke 41 -tehomittari, jolla tehdyt mittaukset olivat pisto-koemaisia. Mittari selvitti mittauskohteista samat tiedot kuin Fluke 433, mutta yksivaiheisena. Mittaustuloksista käytettiin pääosin energiankulutukseen liittyviä tuloksia eli tehoja.

5.3 Pääkeskuksen mittaus

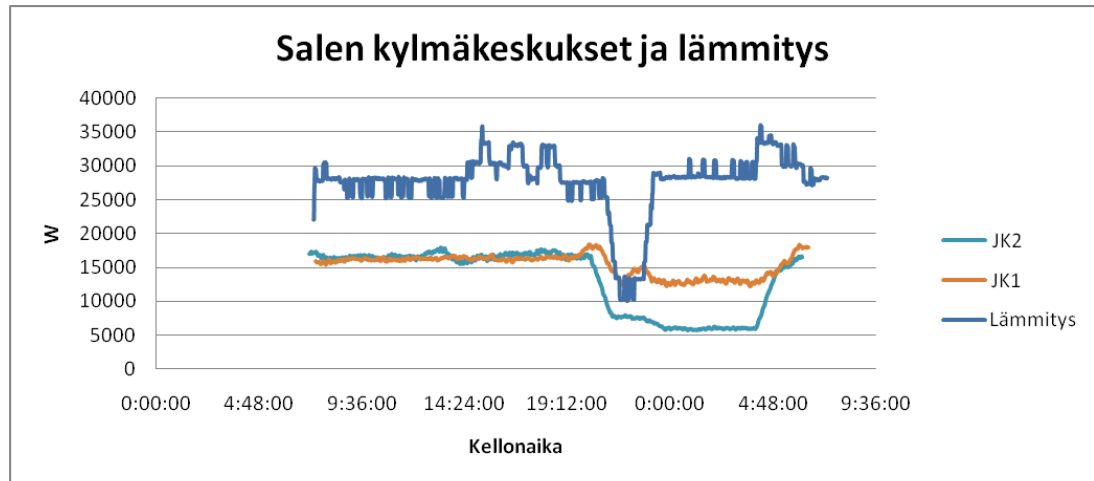
Mittaukset aloitettiin mittaamalla kiinteistön pääkeskuksen energiankulutus. Kulutus mitattiin vuorokauden kestäväällä mittauksella. Mittaustulos on esitetty Kuvassa 4. Mittauksesta selviää tehokäyrä, josta huomataan selvästi myymälän vuorokausirytmä.

Aamulla kello 5 myymälän toiminta alkaa, joten valojen aiheuttama kuormitus nostaa kokonaiskulutuksen päiväenergian n. 80 kW tasolle. Illalla klo 21 jälkeen myymälän toiminta lakkaa. Valot sammutetaan, joten yön ajaksi jäljelle jää kylmälaitoksen ja lämmityksen 50 kW kuormitus.



Kuva 4. Päivärannan kiinteistön pääkeskukselta mitattu kokonaiskulutus vuorokauden ajalta 13.1.2010.

Kuvan 4 käyrää on verrattu saman päivän Energiakolmion käyrään (kuva 3). Vertailussa huomataan, että kuvien käyrät ovat muodoltaan yhdenmukaisia. Työssä edettiin mittaamalla pääkeskukselta lähtevät jakokeskusten syötöt, jotka olivat lämmitys, pakastepuolen kylmäkeskus JK1 ja pluspuolen kylmäkeskus JK2. Mittaukset on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Kylmälaitoksen jakokeskukset ja kiinteistön lämmitys.

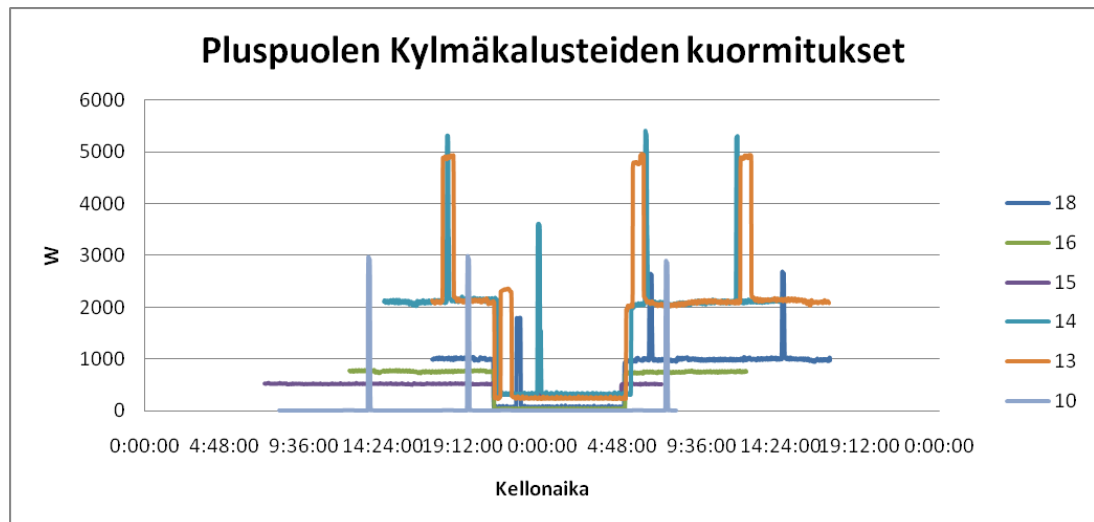
Kuvasta 5 saadaan selville kylmäkeskusten vuorokausikuormitus, joka jakautuu keskusten kesken melko symmetrisesti. Lisäksi huomataan, että lämmitys on suurin yksittäinen kuormittaja.



Kuva 6. Jakokeskuksen mittaus.

5.4 Jakokeskusten mittaus

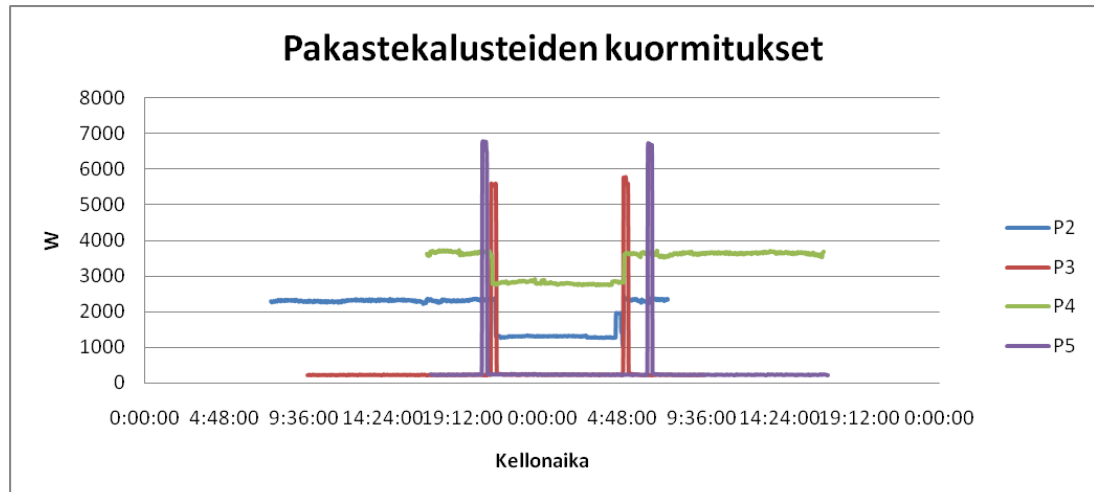
Jakokeskuksilta mitattiin myymälän kylmäkalusteita. Mittauksen toteutus on esitetty kuvassa 6. Jakokeskukselta JK2 mitattiin kaikki myymälän pluspuolen kylmäkalusteiden kuormitukset. Mittaustulokset on koottu kuvaan 7.



Kuva 7. Pluspuolen kylmäkalusteiden kuormitukset vuorokaudenaikana.

Kuvasta 7 nähdään kylmäkalusteiden vuorokausikuormitukset, joista huomataan kalusteiden valojen sammutus yöajaksi. Kuvaajasta huomataan valaisituksen lisäksi yksittäisinä piikkeinä kalusteiden sulatusten aiheuttamat huippukuormitukset. Sulatusajat on pyritty jakamaan tasaisesti vuorokauden ajalle, jotta sulatusten aiheuttamat kuormitukset eivät sattuisi päällekkäin. Mittaustuloksista huomataan, että kalusteiden 13 ja 14 klo 19 alkavat sulatukset ovat päällekkäin. Tähän sulatusaikaan on tehtävä kalusteelle 13 muutos. Kalusteen sulatusta pitää aikaistaa tunnilla, että saadaan tiputettua huipputehoa.

Jakokeskuksesta JK1 mitattiin myymälän pakastekalusteiden kuormitukset. Mittaustulokset on koottu kuvaan 8. Mittauksista huomataan yhteneväisyys pluskalusteisiin valaistuksen ja sulatuksien osalta. Sulatusajat jakautuvat tasaisesti, joten niihin ei tarvitse tehdä muutoksia.



Kuva 8. Pakastekalusteiden kuormitukset vuorokauden aikana.

5.5 Ryhmäkeskuksen mittaus

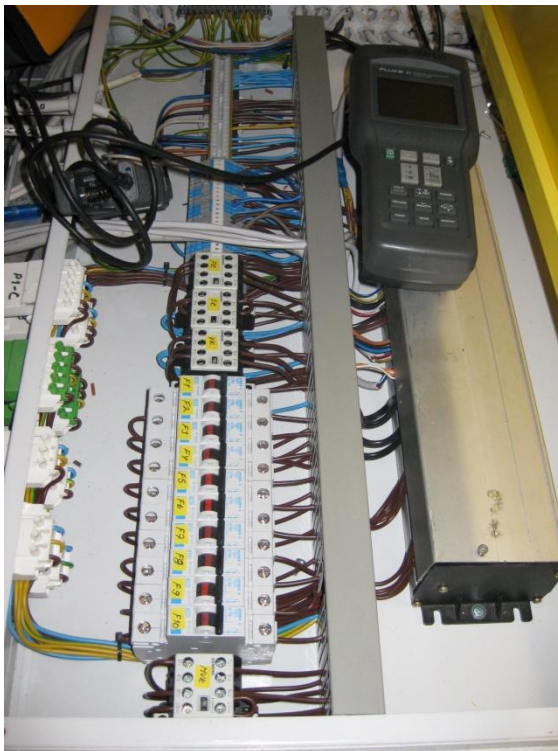
Ryhmäkeskuksen mittaus suoritettiin Norpen MD 30 -kolmelohkoiselle kalusteelle Päivärannan Salessa, Sokoksen S-Marketissa ja Puijonlaakson S-marketissa. Kaluste koostuu kahdesta 3,75 m ja yhdestä 2,5 m pitkästä lohokosta. Ryhmäkeskuksen mittaus on esitetty kuvassa 9.

Ryhmäkeskuksen kuormitus mitattiin hetkellisarvona. Mittaukset suoritettiin ajankohtana, jolloin kalusteissa ei ollut sulatusvastuskuormaa. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Norpe MD 30 -ryhmäkeskuksen mittaukset.

| | Kokonaiskulutus (W) | Valot (W) | Puhaltimet (W) |
|--------------|---------------------|-----------|----------------|
| Sokos | 593 | 288 | 123 |
| Puijonlaakso | 1927 | 1008 | 747 |
| Päiväranta | 2624 | 1584 | 747 |

Taulukon 1 tuloksista huomataan kalustekohtaisen kuormituksen olevan pienin Sokoksen S-Marketissa. Sokoksella kalusteesta on poistettu suurin osa kalusteen valoista ja puhallinmoottorit on vaihdettu energiansäästöpuhallinmoottoreihin. Puijonlaakson ja Päivärannan puhallinmoottoreiden kuormitus on yhtenäinen, mutta valaistuskuormituksessa on eroja.



Kuva 9. Ryhmäkeskuksen mittaus.

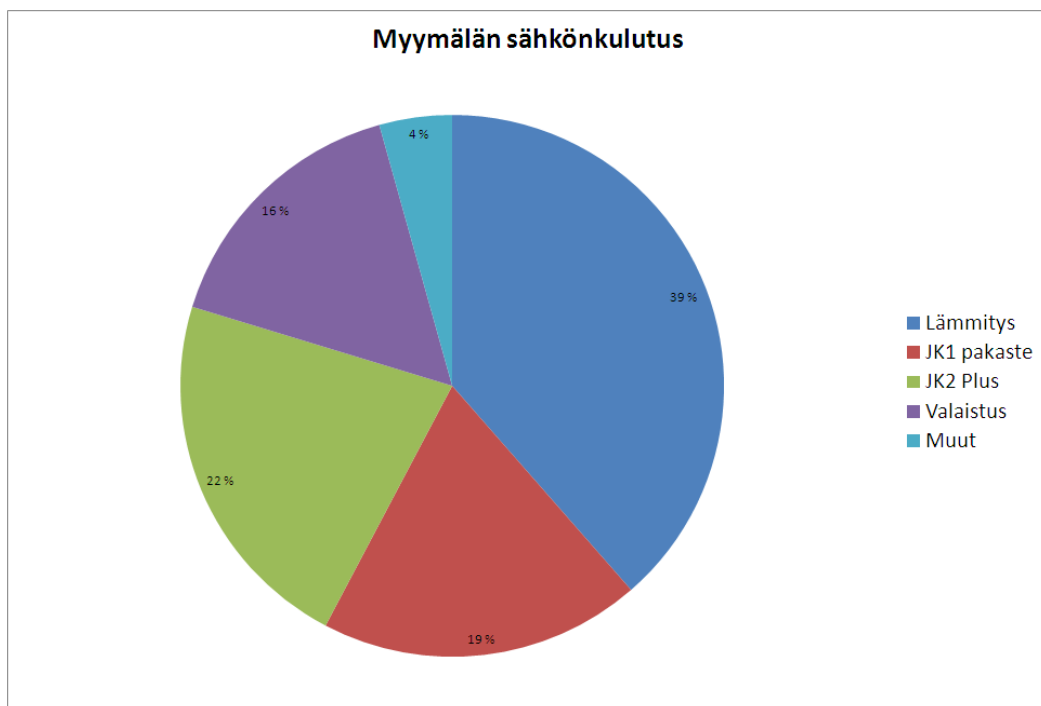
Ryhmäkeskusten mittaustuloksista voidaan todeta, että kalusteiden kuormitus muodostuu pääosin puhaltimien ja valaistuksen aiheuttamasta kuormituksesta.

5.6 Mittaustulokset

Mittauksilla ja laskennallisesti selvitetty myymälän sähkönkulutuksen jakautuminen on esitetty kuvassa 10. Suurin yksittäinen kuormittaja talviaikaan on kiinteistön suoralla sähköllä toteutettu lämmitys, joka on 39 % kokonaiskulutuksesta. Lämmitykseen ei työssä perehdytty, koska lämmitykset vaihtelevat työn tilaajalla kiinteistökohtaisesti.

Lähes yhtä suuri osuus on kylmälaitoksilla eli jakokeskuksilla JK1 ja JK2. Pakastekeskuksen keskikulutus on 370 kWh vuorokaudessa eli n. 135 000 kWh vuodessa. Pluskeskuksen keskikulutus on 321 kWh vuorokaudessa eli n. 117 200 kWh vuodessa. Kylmälaitosten kuormitukseen perehdyttiin työssä yksityiskohtaisemmin, koska kylmälaitokset ovat yhteneväisiä suuressa osassa tilaajan kiinteistöissä.

Kolmas suurin kokonaisuus on myymälän valaistus. Valaistus on käytössä n. 17 h vuorokaudessa. Valaistus kuluttaa 268 kWh vuorokaudessa eli n. 98 000 kWh vuodessa. Valaistus on toteutettu loisteputkivalaisimilla valtaosassa myymälöitä. Valaistusta on tutkittu lähemmin luvussa 7.



Kuva 10. Päivärannan Sale-myyvälän vuorokausikulutuksen jakautuminen.

6. KYLMÄLAITOSTEN VERTAILU

Työssä vertailtiin myymälöiden kylmlaitosten sähkönkulutusta. Vertailu toteutettiin kahdessa myymälässä, joissa oli käytössä saman valmistajan kylmäkalusto

6.1 Kylmlaitoksen toiminta

Kylmlaitoksen toiminta perustuu kylmäaineen mukana tapahtuvaan lämmönsiirtoon. Kylmäkalusteiden ja huoneiden höyrystintä ennen oleva paisuntaventtiili aiheuttaa kylmäaineen olomuodon muutoksen. Ennen venttiiliä kylmäaine on nesteenä. Venttiilissä olevan suuttimen läpi tullessa neste pääsee vapautumaan isompaan tilaan ja höyrystyy samalla.

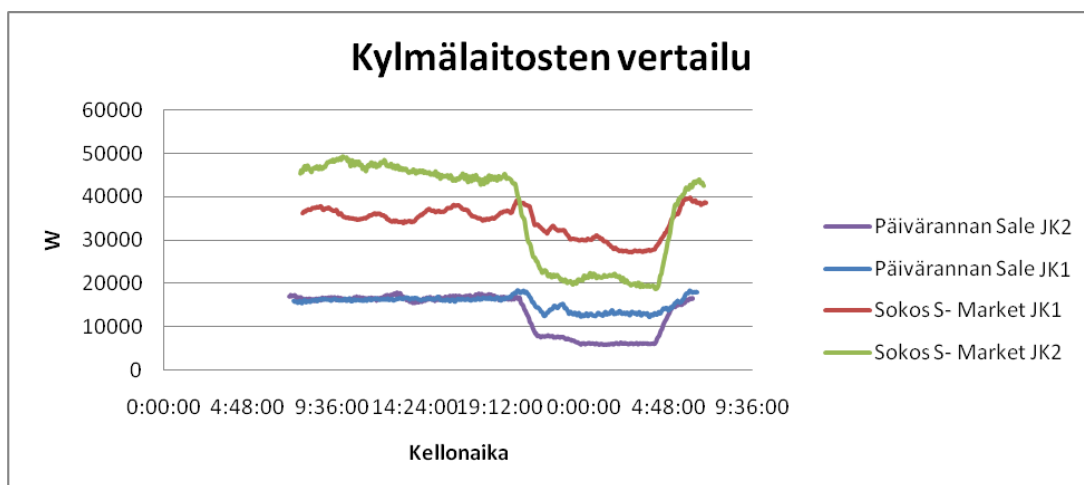
Paisuntaventtiin tehtävä on laskea kylmäainetta tarvittava määrä höyrystimelle. Höyrystimen sisällä kulkeva kylmäaine sitoo itseensä kalusteesta tai huoneesta lämpöä. Kompressorin imee tätä kylmäainekaasua ja pumppaa sitä edelleen. Kompressorin pumppausvaiheessa kylmäaineen lämpötila nousee. Tämä aiheutuu höyrystimeltä tulevasta lämmöstä sekä kompressorin ottamasta sähkötehosta, joka siirtyy työn myötä kylmäaineeseen.

Kompressorikoneikon ohjaus toimii elektronisella säätimellä. Ohjaus tapahtuu imupaineen avulla. Säädin tunnustelee paineanturin avulla imupainetta ja määrittää tämän mukaan, miten kompressoreita käynnistetään ja pudotetaan pois käytöstä. Kompressorilta lähtevä kuuma kylmäainekaasu menee lauhduttimelle.

Lauhduksen tehtävä on siirtää kylmäaineesta siihen sitoutunut ylimääräinen lämpö pois. Lämmön pois siirtymisen myötä kylmäaine muuttuu nesteeksi. Lauhduttimen puhaltimien ohjaus tapahtuu myös koneikossa olevan säätimen avulla.

6.2 Kylmälaitokselle suoritettut mittaukset

Työssä mitattiin kahden myymälän kylmälaitosten sähkökuormitukset. Kuormitukset mitattiin erikseen pakaste- ja pluspuolen keskuksilta. Mittaukset suoritettiin Päivärannan Sale-myyvälässä ja Sokoksen S-Marketissa. Mittaustulokset on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Päivärannan Salen ja Sokoksen S-Marketin kylmäkeskusten kuormitukset.

Mittaukset suoritettiin vuorokauden ajalta. Myymälät olivat erikokoisia. Myymälöiden pohjakuvista selvitettiin kuinka monta metriä kalusteita on myymälöissä. Myymälöiden pohjakuvat on esitetty liitteissä 2 ja 3. Kuormituksen mittaustuloksista saatiin selville keskimääräinen kulutus yhtä kalustemetriä kohden. Kulutukset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Myymälöiden kalustemetrin hetkelliset kuormitukset.

| | Pluspuoli (m) | Pakaste(m) | Kulutus plus(W) | Kulutus pakaste(W) |
|------------|---------------|------------|-----------------|--------------------|
| Päiväranta | 45,80 | 13,75 | 337 | 1121 |
| Sokos | 132,40 | 30,00 | 280 | 1143 |

Mittaustuloksista saatiin selville, että Sokoksella yksi pluspuolen kalustemetri kuluttaa sähköä keskimääräisesti 280 W ja pakastepuolen kalustemetri 1142 W. Päivärannassa pluspuolen kalustemetri kuluttaa 337 W ja pakastepuolen kalustemetri kuluttaa 1121 W. Laskennassa otettiin huomioon maituhuoneen pituus samanveroisina kalustemetreinä.

Osittain ero selittyy sillä, että Sokokselta huollon yhteydessä kalusteista on poistettu hyllyvalaistus, joka sisälsi 20 kappaletta 36 W loisteputkivalaisimia. Valaisimet on korvattu kalusteen yläpuolelle viidellä kiskoon kiinnitettävällä Lival Glider Variant HCI-T 70 W -valaisimella. Kalusteisiin on vaihdettu energiansäästöpuhallinmoottorit. Tämä tuo n. 75 W säästön yhtä kalustemetriä kohden.

7. LED-VALOPUTKI

Energiakatselmuksen yhteydessä huomattiin myymälän valaistuksen olevan yksi suurimpia yksittäisiä energiankuormittajia. Myymälän valaistus on toteutettu loisteputkivalaisimilla, joita on myymälässä 120 kappaletta.

Viimeaikoina markkinoille on tullut LED-tekniikalla toteutettuja valoputkia. Valoputkia markkinoidaan helposti asennettavina nykyisten tilalle ja energiaa säästävinä vaihtoehtoina.

Työssä on tutkittu LED-valaistuksen energiankulutusta, LED-valojen tuottamaa valaistusvoimakkuutta ja valonjakokäyrää. Mittauksilla on verrattu LED-valoja perinteisiin loisteputkivalaistukseen.

7.1 Vertailussa käytetyt LED-valoputki ja loisteputki

Testissä käytettiin Valtavalon LED-valoputkea VV22E150, jonka nimellisteho on 22 W ja valovirta 2100 lm. LED-valoputkelle luvataan 2 vuoden takuu eli 17 500 h.

Vertailuna käytettiin myymälöissä yleisimmin käytettyä Osramin Lumilux t8 Energysaver L51 W/840 ES -loisteputkea, jonka nimellisteho on 58 W ja valovirta 4800 lm. Loisteputken eliniäksi luvataan 15 000 h.

Valaisimille suoritettut mittaukset tehtiin yhdenmukaisesti molemmille vertailussa oleville valaisimille, joten mittaustulokset olivat vertailukelpoisia. LED-valaisimen runko ei sisältänyt kuristimia eikä sytyttimiä, joten samaa runkoa ei voinut käyttää loisteputken mittaukseen. Molempiin runkoihin kävi kuitenkin sama heijastin, joten heijastimen kautta saatava valoteho oli vertailukelpoinen.

Valaisimista mitattiin virrat, virranmuodot, jännitteet, jännitteen muodot, tehot ja valaisimen tuottamat yliaallot.



Kuva 12. Valaisimen mittaus peilien avulla.

7.2 Mittausten suoritus

Mittaukset suoritettiin Savonia-ammattikorkeakoulun valaistustekniikan laboratoriossa. Laboratoriossa on rakennelma, jolla valaistusvoimakkuus saatiin mitattua eri suunnista.

Mittauksessa valaisimen tuottama valo heijastettiin mittarille peilien avulla ja peilit oli aseteltu kuvan 12 mukaisesti. Peilit olivat kiinni pyörivässä telineessä, jonka avulla peilit saatiin käännettyä eri kulmiin valaisimen ympärille ilman mittarin siirtoa. Mitattavan valaisimen lisäksi huoneessa ei ollut muuta valaistusta.

Mittauksista saadut tulokset on laskettu valaistusmittauksen periaatteita käyttäen liitteen 1 mukaisesti ja esitetty taulukoissa 3 ja 4.

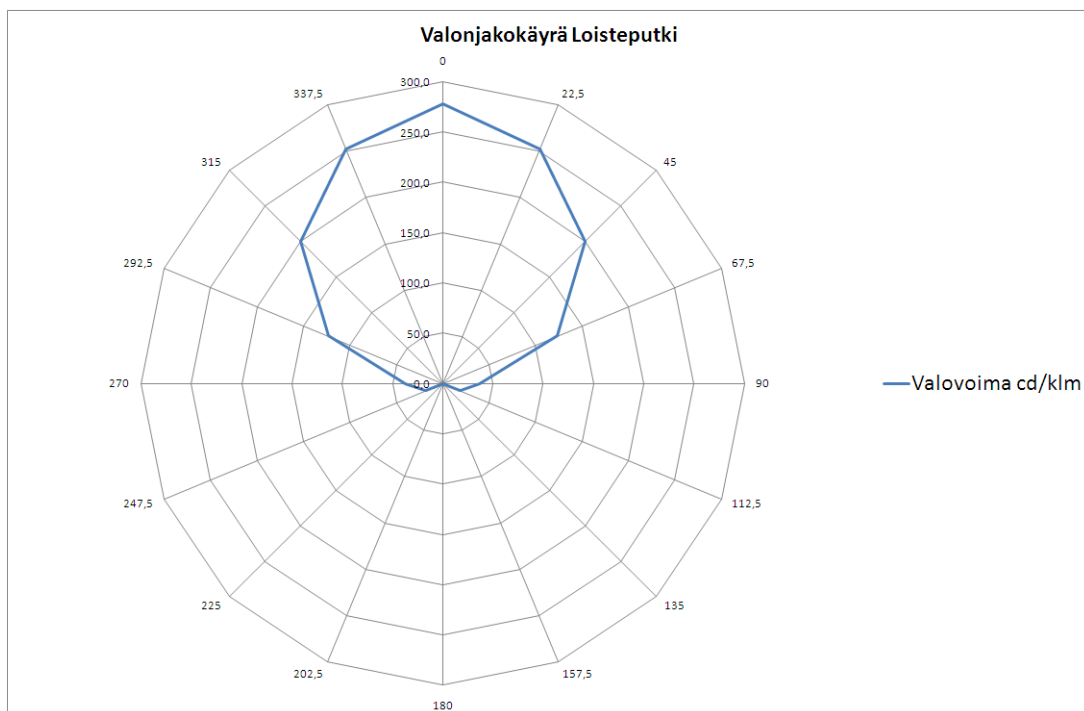
Taulukko 3. loisteputkivalaisimen tuottamat valovoimat eri kulmissa.

| (astetta) | lx | cd/klm |
|------------------|-----------|---------------|
| 0 | 48,05 | 277,5 |
| 22,5 | 43,60 | 251,8 |
| 45 | 34,60 | 199,8 |
| 67,5 | 21,30 | 123,0 |
| 90 | 6,40 | 37,0 |
| 112,5 | 3,25 | 18,8 |
| 135 | 0,00 | 0,0 |
| 157,5 | 0,00 | 0,0 |
| 180 | 0,00 | 0,0 |

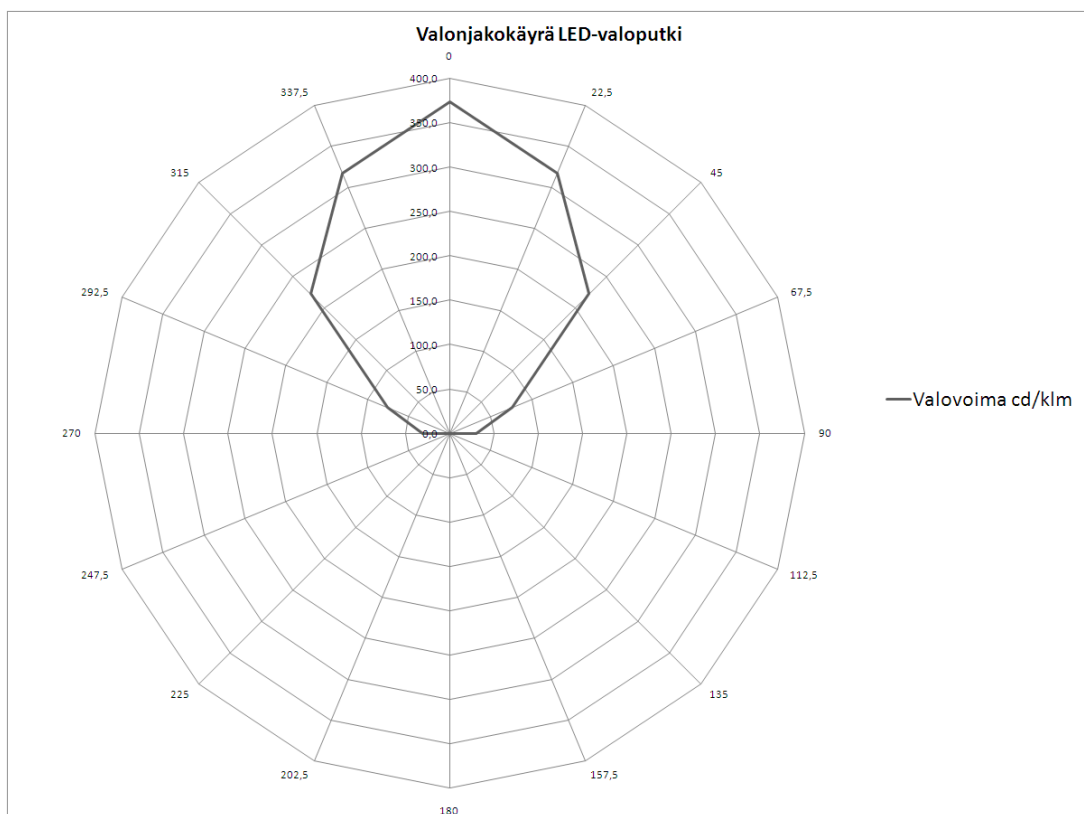
Taulukko 4. LED-putkivalaisimen tuottamat valovoimat eri kulmissa.

| (astetta) | lx | cd/klm |
|------------------|-----------|---------------|
| 0 | 30,35 | 373,6 |
| 22,5 | 25,80 | 317,6 |
| 45 | 18,05 | 222,2 |
| 67,5 | 6,15 | 75,7 |
| 90 | 2,45 | 30,2 |
| 112,5 | 0,00 | 0,0 |
| 135 | 0,00 | 0,0 |
| 157,5 | 0,00 | 0,0 |
| 180 | 0,00 | 0,0 |

Koska valaisimien valonjako on pysty akselin suhteen pyörähdyssymmetrinen, voidaan valonjakokäyrät piirtää kuvien 13 ja 14 mukaisesti.



Kuva 13. Loisteputkivalaisimen valonjakokäyrä.



Kuva 14. LED-valaisimen valonjakokäyrä.

7.3 Valaistuksen mittaustulokset

Mittauksista lasketuksi valovirran arvoiksi saatiin Osramin Lumilux t8 Energysaver L51 W/840 ES -loisteputkivalaisimelle 5449 lm. Vastaavaksi arvoksi Valtavalon VV22E15 LED -valaisimelle 2557 lm.

Kuvien 13 ja 14 valonjakokäyristä huomataan, että LED-valaisimella valonjakokäyrä on kapeampi kuin loisteputkivalaisimella. Tämä johtuu LED-valoputken rakenteesta. LED-valaisimessa ledien pistemäinen valo on suunnattu kohtisuoraan valaisimesta alas, joten valaisinrungossa olevan heijastimen merkitys on olematon.

Loisteputkivalaisimelle virraksi mitattiin 0,757 A. Mitattu tehonkulutus oli 133 W. LED-valaisimella vastaavat arvot olivat 0,38 A ja 44,5 W. Mittaustuloksista ja lasketuista arvoista saadaan valaisimille laskettua vertailukelpoinen arvo W/lm. Arvo määrittää tarvittavan sähköenergian suhteen tuotettuun valovirtaan. Loisteputkivalaisimelle arvoksi saadaan 0,024 W/lm ja LED-putkivalaisimelle 0,0174 W/lm. Tuloksesta voidaan todeta, että LED-valaisin kuluttaa 27 % vähemmän energiaa kuin loisteputkivalaisin.

Korvaamalla loisteputkivalaistus LED-valaistuksella säästettäisiin 27 % valaistuksen sähkönkulutuksessa. LED-valaistuksen heikkoutena kuitenkin on kapea valonjakautuminen ja LED-valoputken tuottama valovirta. Näitä arvoja verrattaessa huomataan, että vastaavanlaisen valaisutehon saavuttamiseksi tarvitaan LED-valaisimia kaksi kappaletta vastaamaan yhtä loisteputkivalaisinta.

7.4 Perinteisen valaistuksen korvaaminen LED-tekniikalla

Monien maahantuontiyrityksien maahantuomien LED-valoputkien sanotaan korvaavan perinteiset loisteputket. On kuitenkin hyvä todeta muutama asia ennen kuin hankitaan LED-valoputkia. Valtaosassa valaisinmalleja loisteputkivalaisimen sytytin sekä konventionaalisen taikka elektronisen liitännälaitteen kytkentä on ohitettava, jotta valaisimeen voidaan kytkeä LED-valoputki turvallisesti. /7/

Lisäksi on tarkastettava valaisimen lampunpitimet, joista 90 % on ollut käytössä kymmeniätuhansia tunteja. Muovisten lampunpitimien luotettavuus saattaa olla heikentynyt lämmön vaikutuksesta. LED-valoputket painavat enemmän kuin perinteiset loisteputket, joten lampunpitimien hyväksytyt kuormitus ylittyy. /7/

Valaisinrungot on suunniteltu ja hyväksytyt loisteputkelle, joten valaisimiin tehtävien sähköisten muutoksien johdosta valaisin tulisi hyväksyttää ja mitata uudelleen. Valaisimen LED-putken rikkoutumisen yhteydessä ei välttämättä muisteta, että liitännälaitteet on poistettu ja asennetaan vanha loisteputki paikalleen. Tästä väärinkytken vaarasta ovat mm. SGS Fimko (puolueeton testauslaboratorio) ja TUKES (markkinavalvontaviranomainen) varoittaneet. /7/

7.5 Valaisimien vertailu

Mittausten ja laskennallisesti saatujen tulosten perusteella voidaan vertailla perinteistä loisteputkivalaistusta ja LED-valaistusta.

LED-valaistuksen hyviä ominaisuuksia:

- Energiankulutus tuotetun valotehon suhteen.

LED-valaistuksen huonoina ominaisuuksina voidaan todeta seuraavaa:

- LED-valaisimia tarvitaan puolet enemmän vastaavan tilan valaisuun ja LED-valoputket ovat hankintahinnaltaan yli kymmenkertaiset loisteputkiin verrattuina.
- LED-valaistuksen valonjakokäyrä on huomattavasti kapeampi.
- LED-valaistuksen tuottama valo ei vastaa tasaista luonnonvaloa, koska se on toteutettu pistemäisillä valoilla.
- LED-valaistus tuottaa verkkoon yliaaltoja.

Mittauksista ja laskennallisesti saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että loisteputkilla toteutetun myymälän valaistuksen korvaaminen LED-valaistuksella ei vielä nykyisin ole kannattavaa, mutta LED-tekniikka kehittyy koko ajan ja en pidä mahdottomana, että suurin osa valaistuksesta korvataisiin tulevaisuudessa LED-valaisimilla.

8. EC-PUHALLINMOOTTORI

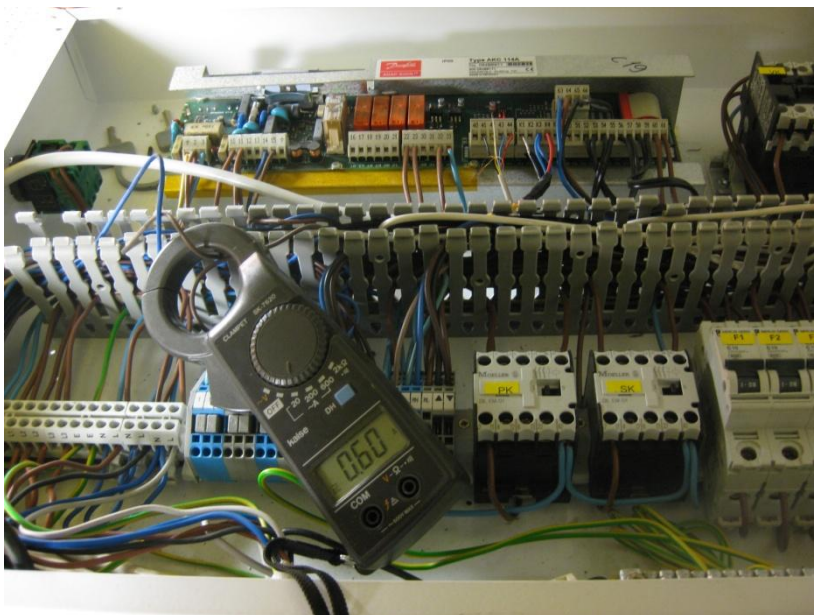
Osana energiansäästötoimia testattiin kylmäkalusteisiin vaihdettavia energiansäästöpuhallinmoottoreita, jotka pyörivät kalusteissa samalla teholla ympäri vuorokauden riippumatta kaupan aukioloajasta.

Työssä on tutkittu Ebmpapstin valmistaman Multifunction IQ 3612 EC -yleismoottorin tuomaa energiansäästöä ja puhallinmoottorien hankintahinnan takaisinmaksuaikaa.

Ebmpapsti Multifunction IQ 3612 EC -yleismoottori on älykkäämpi, energia- tehokkaampi ja ympäristöystävällisempi kuin vanhat moottorit. Sulkunapa- moottorin hyviä ominaisuuksia ovat pyörimisen tasaisuus, pitkä huoltoväliaika ja elinikä. Nämä ominaisuudet ovat tehneet asynkronimoottorista pienten puhaltimien standardikomponentin. Lähtökohtana on ollut EC-teknologiaa integroimalla parantaa huomattavasti sisäistä toimintamekanismia Q- moottorissa. Ulkokuori ja asennettavuus on moottorissa pidetty samana kuin vanhoissa moottoreissa. /8/

8.1 Vanha puhallinmoottori

Kalusteissa olevat vanhat puhallinmoottorit mitattiin kylmäkalusteen ryhmäkeskukselta. Mittauksen toteutus on esitetty kuvassa 15. Vanhat moottorit olivat tehoiltaan 46,7 W, eli energiankulutus vuorokaudessa on n. 1,1 kWh. Näitä puhaltimia yhdessä myymälässä on 50 - 100 kpl riippuen myymälän kylmäkalusteiden määrästä eli sähkönkulutus on n. 55 - 110 kWh vuorokaudessa.



Kuva 15. Puhallinmoottorin mittaaminen.

8.2 EC-puhallinmoottorin asennus

Kylmäkalusteiden huollon ja maalauksen yhteydessä Sokoksella poistettiin vanhat puhaltimet. Puhaltimien muovirungot ja siivet puhdistettiin pinttyneestä liasta ja pölystä. Vanhojen moottoreiden tilalle asennettiin Ebmpapstin energiansäästöpuhaltimet. Ryhmäkeskukselta mitattiin uusien puhaltimien kuormitus. Tehoksi saatiin 7,6 W eli energiankulutus vuorokaudessa on 0,182 kWh.

8.3 Puhallinmoottorien vaihdon kannattavuus

Mittaustulosten perusteella uusien puhallinmoottorien energiankulutus on 16.3 % vanhojen moottorien kulutuksesta, joten säästö on huomattava. Puhallinmoottorin hankintahinta on noin 70 euroa. Puhallinmoottorin tuoma energiansäästö vuodessa on $409 \text{ kWh} - 66,5 \text{ kWh} = 342,5 \text{ kWh}$ Sähkönhinnan ollessa n. 8 senttiä / kWh saadaan vuotuisesti säästökseen n. 27,4 euroa. Tästä voidaan laskea, että moottori maksaa itsensä kahdessa ja puolessa vuodessa.

Laskennassa ei ole huomioitu vaihtotyöstä aiheutuvia kustannuksia, koska pelkästään moottorien vaihdon takia jouduttaisiin kylmäkaluste tyhjentämään ja sulattamaan vuorokauden ajaksi. Tästä aiheutuisi todennäköisesti myös myyntitappioita tuotteille.

Puhallinmoottorien vaihto pelkästään ei ole kannattavaa. Rikkoutuneiden ja käyttöikänsä loppuun tulleiden moottoreiden tilalle asennettavaksi energiansäästöpuhaltimet ovat kannattava vaihtoehto. Lisäksi kalusteiden siirtojen sekä muiden pakollisten sulatusten ajankohtana puhaltimien vaihto on suositeltava vaihtoehto.

9. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä selvitettiin Osuukauppa PeeÄssän myymälöiden sähkönkäyttöä ja jakautumista eri kuormitusryhmiin. Sale Päivärannan kuormituksia tutkittiin vuorokausitasolla ja jakautuminen saatiin selvitettyä pääpiirteittäin. Tehtyjen mittausten mukaan suurimmat kuormitusryhmät ovat Lämmitys, kylmälaitokset ja valaistus. Kuormitusten jakautumisen tulosta voidaan pitää hyödyllisenä, koska selvitys antaa asiakkaalle yksityiskohtaista tietoa siitä, miten energiaa myymälässä kulutetaan.

Kylmälaitosten osalta energiamittauksilla saatiin yksityiskohtaista tietoa kylmäkeskusten kuormituksesta, kalusteiden kuormituksesta ja sulatusten aiheuttamista huippukuormituksista. Kalusteiden sulatusaikojen muuttamisella päästään pienempiin huippukulutuksiin tuntitasolla ja saadaan tehostettua kalusteiden sähkönkäyttöä.

Myymälöiden sähkönkäytön tehostamiskeinona tutkittiin myymälän valaistuksen toteutusta LED-tekniikalla. LED-valaistus osoittautui energiaa säästäväksi vaihtoehdoksi tuotettuun valotehoon nähden. LED-tekniikalla toteutettu valaistus vaatisi kuitenkin suuria investointeja tarvittavan valaistuksen toteuttamiseksi. Tutkimuksen perusteella myymälänvalaistusta ei suositella sähkönkäytön tehostamiskeinoksi.

Yhtenä tehostamiskeinona tutkittiin kylmäkalusteisiin asennettavien puhallinmoottoreiden energiansäästöä. Puhallinmoottorit todettiin hyväksi tehostamiskeinoksi, mutta ainoastaan kalusteelle suoritettavan huollon yhteydessä. Huollon yhteydessä suoritettavalla moottorinvaihdolla säästytään muilta kalusteen tyhjennyksen aiheuttavilta kustannuksilta.

Toivottavasti opinnäytetyön mittaustuloksia pystytään hyödyntämään tulevaisuudessa myymälöiden suunnittelussa ja energiatehokkuuden kehittämisessä.

LÄHTEET

1. SOK. (2010) S-ryhmä. Helsinki. [online]
[viitattu 3/2010]
http://www.s-kanava.fi/valtakunnallinen/sryhma_artikkeli?nodeid=Sryh_Sryhmanesittely_0000_s_ska_basicarticle2_00854.xml&fid=/s_ska_basicarticle2_00854.xml&exp=true
2. SOK. (2010) S-ryhmä. Helsinki. [online]
[viitattu 3/2010]
http://www.kenttakoulutus.info/fileadmin/user_upload/kuvat/popup_raid_kennekuva.gif
3. Osuuskauppa PeeÄssä (2010) Tällainen on Osuuskauppa PeeÄssä. Helsinki. [online]
[viitattu 3/2010]
http://www.s-kanava.fi/peeassa/esittaytyy_artikkeli?nodeid=Esit_Mikaon_0617_s_ska_basicarticle2_02938.xml&aid=Esit_Mikaon_0617_s_ska_basicarticle2_02938.xml&exp=true
4. Ympäristöministeriö. (2010) Energiatehokkuus. Helsinki. [online]
[viitattu 4/2010]
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=2194&lan=fi>
5. Pirkanmaan Osuuskauppa (2010) S-ryhmä energiatehokkaammaksi. Tampere. [online]
[viitattu 4/2010]
http://www.s-kanava.fi/pirkanmaa/esittaytyy_artikkeli?fid=s_ska_basicarticle2_04241.xml

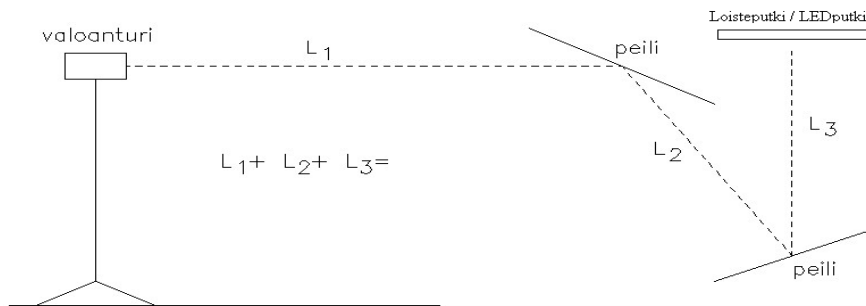
6. Tilastokeskus. (2008) Sähkönkulutus sektoreittain. Helsinki. [online]
[viitattu 3/2010]
<http://www.stat.fi/til/ekul/tau.html>

7. Easy Led Oy. (2009) Varoitus led loisteputkista. Salo. [online]
[viitattu 3/2010]
<http://www.led1.fi/index.php?page=242&lang=1>

8. Ebm-papst Oy. (2010) IQ 3612 moottori. Espoo. [online]
[viitattu 3/2010]
<http://www.ebmpapst.fi/fi/products.php?pid=11323>

VALAISTUSMITTAUS

Valaistus mittaukset suoritettiin kuvan 1 esittämällä tavalla.



Kuva 1. Mittauslaitteiston periaatekuva.

Mittauksissa valaisimia käännettiin 90° , jotta saatiin mitattua valaisimien pituussuuntainen valovoima. Valaisimille suoritettiin $22,5^\circ$ välein yhteensä 12 mittausta. Kulma 0° tarkoittaa, että mittaus suoritetaan suoraan valaisimen alapuolelta.

Koska valaisimia mitattiin pituus- ja poikittaissuunnassa, täytyi mittaustuloksista laskea keskiarvo kullekin kulmalle. Mittaustulosten keskiarvot on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

Taulukko 1. Loisteputkivalaisimen valaistusvoimakkuudet eri suuntiin.

| kulma (°) | E (lx) |
|------------------|---------------|
| 0 | 48,05 |
| 22,5 | 43,60 |
| 45 | 34,60 |
| 67,5 | 21,30 |
| 90 | 6,40 |
| 112,5 | 0,00 |
| 135 | 0,00 |
| 157,5 | 0,00 |
| 180 | 0,00 |

Taulukko 2. LED-putkivalaisimen valaistusvoimakkuudet eri suuntiin..

| kulma (°) | E (lx) |
|------------------|---------------|
| 0 | 30,35 |
| 22,5 | 25,80 |
| 45 | 18,05 |
| 67,5 | 6,15 |
| 90 | 2,45 |
| 112,5 | 0,00 |
| 135 | 0,00 |
| 157,5 | 0,00 |
| 180 | 0,00 |

Loisteputki ja LED-putkivalaisimen valovirran määrittäminen mittaustuloksista.

Mittaustuloksista voidaan laskea valaisimen tuottama valovirta Φ Rosseau:n menetelmää käyttämällä. Tässä menetelmässä määritetään keskimääräiset valaistusvoimakkuudet $E(\gamma_i)$ sektoreille i , jotka ovat taulukossa 1 ja 2 olevien kulmien välissä. Tämä valaistusvoimakkuus ilmoitetaan sektorin kulman puolittajan osoittamaan kulmaan γ_i .

Kun mitattujen kulmien määrä on n , kunkin sektorin i keskimääräiseksi kulmaksi γ_i saadaan:

$$\gamma_i = 90^\circ \times \frac{2i-1}{n} \quad (1)$$

Esimerkkinä voidaan määrittää taulukossa 1 olevien mittausten perusteella ensimmäisen sektorin kulmaksi:

$$\gamma_1 = 90^\circ \times \frac{2 \times 1 - 1}{9} = 11,25^\circ \quad (2)$$

Saatu kulman arvo on ensimmäisen määritettävän sektorin keskimääräinen kulma. Tästä eteenpäin sektoreiden kulmat muodostuvat taulukon 4 ja 5 kulmasarakkeen mukaisesti 22,5 asteen välein.

Kunkin sektorin keskimääräinen valaistusvoimakkuus voidaan määrittää sektorin reunojen valaistusvoimakkuuksien keskiarvona. Esimerkiksi ensimmäisen sektorin ($i = 1$) keskimääräinen valaistusvoimakkuus on

$$\begin{aligned} E(\gamma_1) &= E(11,25^\circ) = \frac{E(0^\circ) + E(22,5^\circ)}{2} \\ E(\gamma_1) &= \frac{48,05 + 43,6}{2} \text{ lx} \\ E(\gamma_1) &= 45,8 \text{ lx} \end{aligned} \quad (3)$$

Vastaavalla tavalla määrittäen on saatu taulukoiden 4 ja 5 jokaisen sektorin keskimääräinen valaistusvoimakkuus $E(\gamma_i)$.

Kun valaistusvoimakkuudet ovat selvillä, voidaan valaisimen tuottama valovirta Φ Rosseau:n menetelmän mukaan laskea käyttämällä seuraavaa summakaavaa:

$$\phi = 2\pi r^2 \sum_{i=1}^n E(\gamma_i) \times \left[\cos\left(90^\circ \frac{2i-2}{n}\right) - \cos\left(90^\circ \frac{2i}{n}\right) \right] \quad (4)$$

,missä

r on etäisyys valonlähteestä (tässä työssä 5,61m)

n on laskettujen sektoreiden lukumäärä (tässä työssä 8) ja

i ilmaisee sektorin, jota valaistusvoimakkuus E koskee

Taulukko 4. Loisteputkivalaisimen mittaustuloksista lasketut arvot.

| i | γ (°) | E (lx) | $90^\circ/n*(2i-2)$ | $90^\circ/n*2i$ | Summa |
|----------|--------------------------------|---------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 1 | 11,25 | 45,825 | 0 | 22,5 | 3,4882 |
| 2 | 33,75 | 39,1 | 22,5 | 45 | 8,4758 |
| 3 | 56,25 | 27,95 | 45 | 67,5 | 9,0676 |
| 4 | 78,75 | 13,85 | 67,5 | 90 | 5,3002 |
| 5 | 101,25 | 3,2 | 90 | 112,5 | 1,2246 |
| 6 | 123,75 | 0 | 112,5 | 135 | 0,0000 |
| 7 | 146,25 | 0 | 135 | 157,5 | 0,0000 |
| 8 | 168,75 | 0 | 157,5 | 180 | 0,0000 |
| Yhteensä | | | | | 27,5564 |

Taulukko 5. LED-putkivalaisimen mittaustuloksista lasketut arvot.

| i | γ (°) | E (lx) | $90^\circ/n \cdot (2i-2)$ | $90^\circ/n \cdot 2i$ | SUMter |
|----------|--------------|--------|---------------------------|-----------------------|---------|
| 1 | 11,25 | 28,075 | 0 | 22,5 | 2,1371 |
| 2 | 33,75 | 21,925 | 22,5 | 45 | 4,7527 |
| 3 | 56,25 | 12,1 | 45 | 67,5 | 3,9255 |
| 4 | 78,75 | 4,3 | 67,5 | 90 | 1,6455 |
| 5 | 101,25 | 1,225 | 90 | 112,5 | 0,4688 |
| 6 | 123,75 | 0 | 112,5 | 135 | 0,0000 |
| 7 | 146,25 | 0 | 135 | 157,5 | 0,0000 |
| 8 | 168,75 | 0 | 157,5 | 180 | 0,0000 |
| Yhteensä | | | | | 12,9297 |

Taulukoissa 4 ja 5 on ilmaistu summatermi \sum_i kunkin kulman kohdalla, mikä merkitsee kaavan 4 summatermiä. Esimerkiksi kulman $\gamma_1 = 11,25^\circ$ kohdalla on laskettu summatermiksi

$$\begin{aligned}
 \sum_i &= E(\gamma_1) \times \left[\cos\left(90^\circ \times \frac{2 \times 1 - 2}{8}\right) - \cos\left(90^\circ \times \frac{2 \times 1}{8}\right) \right] \\
 &= 45,8 \times (\cos(0^\circ) - \cos(22,5^\circ)) \\
 &= 3,48
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Kun taulukoista 4 ja 5 saatujen summatermien summa sijoitetaan kaavaan 4, saadaan laskettua lampun valovirta:

$$\phi_{lask} = 2\pi r^2 \sum_{i=1}^n E(\gamma_i) \times \left[\cos\left(90^\circ \frac{2i-2}{n}\right) - \cos\left(90^\circ \frac{2i}{n}\right) \right]$$

loisteputkivalaisimelle,

$$\phi_{lask} = (2\pi \times 6^2 \times 27,5564) \text{ lm}$$

LED – putkivalaisimelle

(6)

$$\phi_{lask} = (2\pi \times 6^2 \times 12,9297) \text{ lm}$$

loisteputkivalaisimelle,

$$\phi_{lask} = 5449 \text{ lm}$$

LED – putkivalaisimelle

$$\phi_{lask} = 2557 \text{ lm}$$

Loisteputki- ja LED-putkivalaisimien valonjakokäyrät

Laskettujen valovirtojen avulla voidaan määrittää valonjakokäyrän eri kulmia vastaavat arvot valovoimakkuuden arvot. Taulukoiden 1 ja 2 kunkin mittauksen mukaiset valovoimat voidaan laskea seuraavasti:

$$I(\gamma) = \frac{1000 \text{ lm}}{\phi_{lask}} \times E(\gamma) \times r^2 \quad (7)$$

,missä

I on valolähteen valaistusvoimakkuus (cd/1000lm, cd/klm)

kulmaan γ

E(γ) on mitattu valaistusvoimakkuus kulmassa γ

r on valaistusvoimakkuuden mittaamispisteen

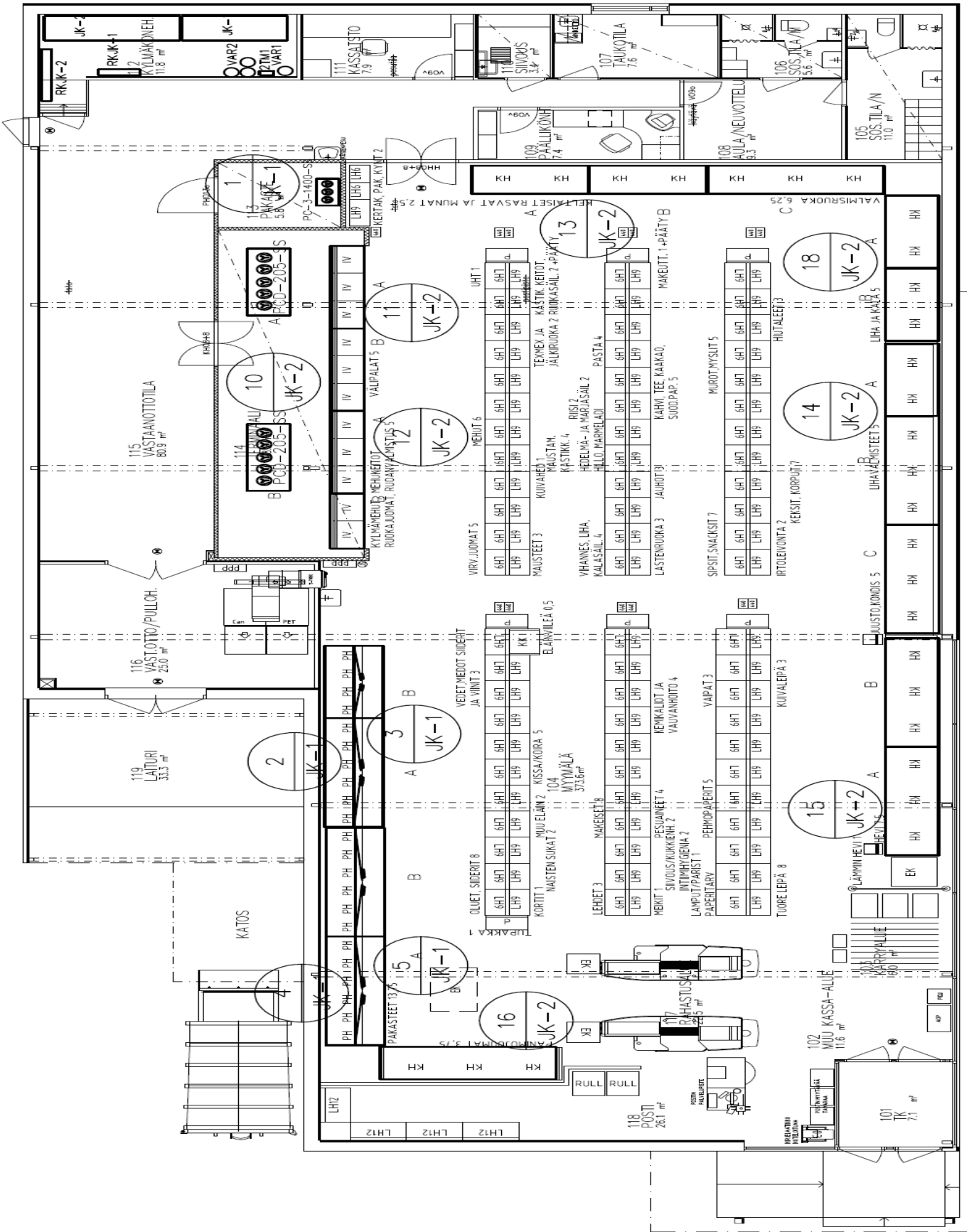
etäisyys valonlähteestä (tässä työssä 6m)

Kaavan 7 mukaan laskettu valovoima on skaalattu siten, että arvo ilmaisee valovoiman jokaista valonlähteen valovirran 1000 lm kohti. Jos valonlähteen valovirta on 1000 lm, tämän kaavan mukaan määritetystä valonjakokäyrästä voidaan suoraan lukea valovoima, joka kyseiseen kulmaan saadaan, ja valovoima on suoraan verrannollinen valovirtaan.

Taulukkoihin 6 ja 7 on laskettu kustakin taulukoiden 1 ja 2 mukaisesta mittauksesta kaavan 7 mukaiset valovoimat mitattuihin kulmiin. Esimerkiksi suoraan lampun alapuolella (kulmassa 0°) saatu arvo on:

$$I(0^\circ) = \frac{1000lm}{\phi_{lask}} \times E(0^\circ) \times r^2$$
$$I(0^\circ) = \left(\frac{1000}{5449} \times 48,05 \times 5,61^2 \right) \frac{cd}{klm} \quad (8)$$
$$I(0^\circ) = 277,5 \frac{cd}{klm}$$

SALE PÄIVÄRANTA POHJAPIIRROS



S-MARKET SOKOS POHJAPIIRROS

