

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Talotekniikan koulutus

Tomi Kuosmanen

VALAISINVAIHDON VAIKUTUKSET SYÖTTÄVÄN KESKUKSEN  
SÄHKÖNKÄYTÖN PROFILIIN

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2020



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Huhtikuu 2020**  
**Talotekniikan koulutusohjelma**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

Tekijä  
Tomi Kuosmanen

Nimeke  
Valaisinvaihdon vaikutukset syöttävän keskuksen sähkönkäytön profiiliin

Toimeksiantaja  
Eltel Networks Oy

**Tiivistelmä**

Tässä opinnäytetyössä käsitellään katuvalaistusta ja valaisintyyppien eroja. Työn tarkoituksena oli selvittää led-valaistuksen hyödyt ja haitat verrattaessa suurpainenatriumvalaisimiin. Lisäksi työssä selvitetään valaisimien yöhimmennyksen toimivuus ja mahdolliset muutokset sulakekokoihin. Työssä myös tutkitaan energiansäästöä ja lasketaan kustannukset ja säästö valaisinvaihdolle.

Valaisintyyppien vertailu suoritettiin mittaamalla katuvalaistuskeskus suurpainenatriumvalaisimilla ja valaisinvaihdon jälkeen led-valaisimilla. Mittalaitteesta saadut tulokset koostettiin Excel-ohjelmaan, jossa tuloksia pystyttiin vertaamaan valaisintyyppien välillä ja saatiin laadittua tarvittavat taulukot ja kuvaajat.

Tutkimuksen tuloksena syntyi kattava vertailu suurpainenatriumvalaisimien ja led-valaisimien välillä. Suurimpana huomiona valaisimien välillä oli energiankulutus. Led-valaisimet kuluttivat keskimäärin 73 % vähemmän sähköenergiaa suurpainenatriumeihin nähden. Lisäksi loistehonkulutus vaihtui loistehon tuotoksi led-valaisimilla. Pienentynyt kulutus tuo merkittävää taloudellista säästöä ja valaisimien vaihtaminen maksaisi itsensä takaisin jopa kuudessa vuodessa.

Kieli  
suomi

Sivuja 30  
Liitteet 3  
Liitesivumäärä 3

**Asiasanat**

katuvalaistus, led-valaistus, energiansäästö



**THESIS**  
**April 2020**  
**Degree Programme in Building**  
**Services Engineering**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author  
Tomi Kuosmanen

Title  
The Effects of Lighting Replacement on the Electricity Profile of the Street Lighting Center

Commissioned by  
Eltel Networks Oy

#### Abstract

This thesis focuses on street lighting and the differences between types of lighting. The purpose of this study was to determine the benefits and drawbacks of LED lighting compared to high pressure sodium lamps. In addition, the work investigates the function of night dimming of luminaires and possible changes in fuse sizes. The study also investigates energy savings and calculates the cost and savings for lighting replacement.

Comparison of the luminaire types was made by measuring the street lighting center with high-pressure sodium lamps and after the replacement with LED lamps. The results of the measuring device were compiled into an excel program, where the results could be compared between the luminaire types and the necessary tables and graphs were created.

The study shows a comprehensive comparison between high pressure sodium lamps and LED lamps. The most significant consideration between the luminaires was the energy consumption. LED lamps consumed an average of 73% less electricity compared to high pressure sodium. In addition, reactive power consumption was replaced by reactive power output with LED lamps. Reduced consumption brings significant economic savings and as a final result replacement of luminaires would pay off in as little as six years.

Language

Finnish

Pages 30

Appendices 3

Pages of Appendices 3

Keywords

street lighting, LED lighting, energy savings

# Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Tietoperusta .....	5
2.1	Tietoa katuväläistuksesta .....	5
2.2	Katuväläistuksen yleisimmät lampputyypit .....	6
2.2.1	Elohopealamppu .....	6
2.2.2	Elohopean korvaava lamppu .....	7
2.2.3	Monimetallilamppu .....	7
2.2.4	Suurpainenatriumlamppu .....	7
2.2.5	Led-valaisin .....	8
2.3	Valaistusluokat .....	8
2.3.1	M-luokat .....	9
2.3.2	P-luokat.....	9
2.3.3	C-luokat.....	10
2.4	Himmennykset.....	11
2.4.1	Yöhimmennys .....	11
2.4.2	Yösammutus .....	11
2.5	Valaistuksen yleisimmät ohjaustavat .....	12
2.5.1	Vakiovalovirta.....	12
2.5.2	Kiinteät himmennysportaat.....	12
2.5.3	Älykäs ohjaus.....	13
2.6	Valaistuskäsitteitä.....	13
2.7	Mitattavat suureet.....	14
3	Mittaukset.....	15
3.1	Mittauspaikka ja ajankohdat.....	15
3.2	Mittauksen lähtökohdat.....	15
3.3	Mittalaite ja kytkentä .....	16
3.4	Mittausdatan analysointi .....	17
4	Tulokset.....	17
4.1	Syttymisvirrat.....	17
4.2	Muutokset käyttövirroissa .....	18
4.3	Virtapiikit.....	19
4.4	Tehonmuutokset.....	20
4.5	Loistehon ja tehokertoimen muutokset .....	21
4.6	Energiansäästö ja vaikutukset sulakekokoihin .....	23
4.7	Yöhimmennysten toimivuus .....	25
4.8	Muita huomioita .....	27
4.9	Virhearviointi.....	27
5	Pohdinta .....	28
	Lähteet .....	29

## Liitteet

Liite 1	Joensuun kaupungin himmennystaulukko
Liite 2	Mittaustulokset ensimmäinen mittaus
Liite 3	Mittaustulokset toinen mittaus

## 1 Johdanto

Opinnäytetyössä perehdytään led-katuvalaistuksen hyötyihin ja haittoihin verrattaessa suurpainenatriumvalaisimiin. Työssä mitataan katuvalaistusta syöttävä keskus vanhoilla suurpainenatriumvalaisimilla sekä uusilla led-valaisimilla. Näistä mittauksista laadin vertailut ja johtopäätökset. Opinnäytetyöni toimeksiantaja on Eltel Networks Oy.

Joensuussa vaihdetaan joka vuosi tietty määrä vanhoja valaisimia led-valaisimiksi. Nyt vaihtoalueeksi valikoitui kokonainen keskuksen syöttämä alue, joten mittaus oli hyvä tehdä tästä katuvalaistuskeskuksesta.

Työssä mitataan kyseisestä keskuksesta verkkojännitteet, käyttövirrat, syttymisvirrat, virtapiikit, loistehon, tehokertoimet sekä energiankulutukset. Lisäksi työssä tutkitaan yöhimmennysten toimivuutta sekä energiansäästöä ja mahdollisia kustannussäästöjä.

Opinnäytetyöni avulla pyritään havaitsemaan mahdolliset muutokset sähkön käyttäytymisessä ja myös perehdytään, että mihin kannattaa varautua tulevaisuudessa suunnitellessa katuvalo- ja sähköverkoja.

## 2 Tietoperusta

### 2.1 Tietoa katuvalaistuksesta

Katuvalaistuksen tarkoituksena on parantaa viihtyvyyttä ja turvallisuutta valaisuille alueilla. Valaistus ehkäisee ilkivaltaa sekä luo turvallisuuden tunnetta ihmisille. Katuvalaistusta voi käyttää myös taideteoksien ja rakennusten julkisivujen valaisuun. Katuvalaistus vähentää myös tutkitusti liikenneonnettomuuksien riskiä [1, 10-11].

Joensuun kaupungille kuuluu katujen, puistojen ja liikuntapaikkojen valaisu. Kuntaliitoksista johtuen Joensuun kaupungille kuuluu myös Enon, Uimaharjun, Kiihtelysvaaran, Heinävaaran ja Tuupovaaran valaiseminen. Katuvalaisimia Joensuussa on noin 20500 kappaletta mukaan luettuna liikuntapaikkojen valonheittimet sekä erilaiset kohdevalaistukset.

Joensuussa tavoitteena on muuttaa valaistusta energiatehokkaammaksi, ja kaikki kaupungin uudet valaisimet ovat led-valaisimia. Kantakaupungin liikekeskustan aluetta lukuun ottamatta kaikki ulkovalaistus sammutetaan kesä-heinäkuun ajaksi energiansäästön vuoksi. Led-valaisimet ovat automaattisesti himmeneviä, eivätkä ne sammu öisin kokonaan. [2.]

## **2.2 Katuvalaistuksen yleisimmät lampputyypit**

### **2.2.1 Elohopealamppu**

Elohopealamppu nimensä mukaisesti sisältää elohopeaa. Korkean paineen alla höyrynä elohopea luo sähköpurkauksessa valoa. Lampun kuvun sisäpinnalla on loisteainetta, joka muuttaa lampun tuottaman UV-säteilyn valoksi. [3.]

Elohopealamppun hyötynä on pitkäikäisyys, mutta lampun valotehokkuus on huono. Elohopealamppun valontuotto vähenee hyvin paljon ajan kuluessa. Elohopealamppun toiminta edellyttää kuristimen. Elohopealamppuja on ennen käytetty paljon katuvalaistuksessa sekä puistovalaistuksessa. [3.]

Elohopealamput poistuivat markkinoilta vuoden 2015 aikana, koska ne eivät täyttäneet vaatimuksia EU-asetuksen edellyttävästä valotehokkuudesta. Tästä johtuen elohopeavalaisimet on korvattava joko korvaavilla lampuilla tai kokonaan uusilla valaisimilla. [4, 1.]

## 2.2.2 Elohopean korvaava lamppu

Elohopealamppujen tilalle on kehitetty korvaavia lamppeja, jotka käyvät suoraan elohopealamppun tilalle. Muussa tapauksessa kuristin tai koko valaisin täytyisi vaihtaa.

Korvaavat lamput ovat käytännöllisiä silloin, kun ei ole mahdollisuutta investoida uusiin valaisimiin. Korvaavia lamppeja on olemassa led-lamppuina, monimetallilamppuina ja suurpainenatriumlamppuina. Korvaavien suurpainenatriumlamppujen toimitus markkinoille on loppunut vuonna 2015 [5, 2].

## 2.2.3 Monimetallilamppu

Monimetallilamppu sisältää samantyyppisen purkausputken kuin elohopealamppu, mutta se sisältää elohopean lisäksi muidenkin metallien jodideja. Monimetallilampun väriominaisuudet sekä valotehokkuus ovat elohopealamppua paremmat. Monimetallilamppu tarvitsee sytyttimen sekä virranrajoittimen toimiakseen. Monimetallilampun heikkous on se, että lamppu vaatii muutaman minuutin lämpenemisen ja lampun täytyy olla täysin jäähtynyt sytyttäessään, muuten lamppu ei syty ollenkaan. [6.]

## 2.2.4 Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlamppu sisältää natriummetallia nimensä mukaisesti. Valoa lamppu luo suuren paineen alla ja toimiakseen se tarvitsee virranrajoittimen sekä sytytinlaitteen. Suurpainenatriumlampun tunnistaa punertavasta/oranssista valosta. Koska suurpainenatriumlampun värinasto ominaisuudet ovat huonot, on markkinoille kehitetty myös lamppeja värikorjattuna eli väri ei välttämättä ole punertava. Suurpainenatriumlamppu vaatii myöskin muutaman minuutin lämpenemisen ennen kuin se palaa täydellä teholla. Lamppu ei myöskään syty lämpimänä, eli sen on jäähdyttävä ennen uudelleen sytytystä. [7.]

### 2.2.5 Led-valaisin

Led-lyhenne tulee sanoista Light-Emitting diode. Ledit toimivat tasasähköllä, ja ne tarvitsevat toimiakseen muuntajan, joka muuttaa vaihtosähkön tasasähköksi. Ledin valontuotto on sitä suurempi, mitä suuremmalla virralla sitä syötetään. Valaistukseen tarkoitettut ledit eivät lähetä UV- tai lämpösäteilyä. Ledit kehittyvät jatkuvasti ja markkinoille tulee vuosittain energiatehokkaampia ledejä. [8, 4-5.]

Ledit jaotellaan kahteen ryhmään, pintaliitosledeihin ja perinteisiin ledeihin. Ledin koko voi vaihdella jopa muutamista melleistä muutamiin kymmeneen melleihin. Yleensä led-valaisin koostuu useammista ledeistä ja yhdessä led-valaisimessa voi olla jopa satoja ledejä. [9.]

Led-valaisimet poikkeavat muusta valaistuksesta siten, että ne eivät ole purkausvalaisintekniikkaa. Ledien hyötyjä muuhun valaistukseen nähden ovat pitkäkestoisuus, värinän- ja iskujenkesto sekä pieni sähkönkulutus. Ledit ovat myös huoltovapaampia kuin muut valaisintyypit. Suurin etu muihin valaisintyypeihin verrattaessa kuitenkin on led-valaisimien säädettävyys. Katuvalaistuskäytössä ledit yleistyvät koko ajan. [9.]

Katuvalaistuksessa led-valaisimien mitoituspalamisaika on 100 000 tuntia. Todellinen paloaika voi olla jopa 800 000 tuntia. Liitäntälaitteet eivät kuitenkaan kestä niin pitkään kuin ledit.

## 2.3 Valaistusluokat

Valaistusluokilla pyritään parantamaan liikenneturvallisuutta sekä ympäristöä. Kaikki valaistusluokat omaavat tietyt valaistusteknilliset ominaisuudet. Näiden ominaisuuksien tarkoitus on oikeassa suhteessa täyttää näkemisen ja havaitsemisen edellyttämät vaatimukset. [1, 24.]

Väyläviraston ohjeet ovat suosituksia, eivätkä sido kuntia ja kaupunkeja. Kunnat ja kaupungit määrittävät valaistusluokat itse.



### 2.3.1 M-luokat

M-luokat eli entiseltä nimeltään AL-luokat ovat tarkoitettu moottoriajoneuvon kuljettajille kuivalla ja märällä päällysteellä. M-luokkia käytetään maanteillä ja niitä on seitsemän kappaletta (taulukko 1). [1, 24.]

Taulukko 1. 2015 Väylävirasto. M-luokat ja valaistusluokkien valaistustekniset vaatimukset. Suluissa vastaavat vanhat AL-luokat.

Valaistusluokka	Kuivan ja märän ajoradan luminanssi				Estohäikäisy	Vieri-alueen valaistus
	Kuiva		Märkä	Kuiva		
	$L_m$ cd/m <sup>2</sup> min	$U_o$ min	$U_l$ min	$U_{ow}$ min	$f_{TI}$ %, max	$R_{EI}$ min
M1 (AL1)	2,00	0,40	0,60	0,15	10	0,40
M2 (AL2)	1,50	0,40	0,60	0,15	10	0,40
M3a (AL3)	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,40
M3b (AL4a)	1,00	0,40	0,40	0,15	15	0,40
M4 (AL4b)	0,75	0,40	0,40	0,15	15	0,40
M5 (AL5)	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,40
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	15	0,40

### 2.3.2 P-luokat

P-luokat on tarkoitettu pääasiassa pyöräilijöille ja jalankulkijoille kävelykaduilla, jalkakäytävillä, pysäköintialueilla sekä pyöräteillä. Pääsääntöisesti P-luokka valitaan vaakataason valaistusvoimakkuuden mukaan (taulukko 2). P-luokkien laskennassa voidaan käyttää vaakataason valaistusvoimakkuuden sijasta puolipallovalaistusvoimakkuutta. Aiemmin P-luokista on käytetty nimitystä K-luokka. [1, 26.]

Taulukko 2. 2015 Väylävirasto. P-luokat. Suluissa vastaavat vanhat K-luokat.

Valaistusluokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus	
	$E_{hm}^{1)}$ lx, min	$E_h$ lx, min
P1 (K1)	15,0	3,00
P2 (K2)	10,0	2,00
P3 (K3)	7,50	1,50
P4 (K4)	5,00	1,00
P5 (K5)	3,00	0,60
P6 (K6)	2,00	0,40

1) Riittävän tasaisuuden takaamiseksi hankekohtainen keskiarvo ei saa ylittää 1,5-kertaista luokan edellyttämää keskiarvon minimiä.

### 2.3.3 C-luokat

C-luokat on tarkoitettu mutkaisille tieosuuksille, kiertoliittymille, konfliktialueille, tasoliittymille sekä alueille, missä ei pysty käyttämään luminanssiin perustuvaa tarkastelua. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että näkyvissä olevan säännöllisen ajoradan pituus on alle 60 metriä. C-luokissa tulee käyttää estonhäikäisyvaatimuksia, aina kun mahdollista (kuva M-luokat). C-luokkia on kuusi kappaletta, ja ne on ennen tunnettu nimellä AE-luokat (taulukko 3). [1, 25.]

Taulukko 3. 2015 Väylävirasto. C-luokat. Suluissa vanhat vastaavat AE-luokat.

Valaistusluokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus	
	$E_{hm}$ lx, min	$U_o$ min
C <sub>0</sub> (AE <sub>0</sub> )	50	0,40
C <sub>1</sub> (AE <sub>1</sub> )	30	0,40
C <sub>2</sub> (AE <sub>2</sub> )	20,0	0,40
C <sub>3</sub> (AE <sub>3</sub> )	15,0	0,40
C <sub>4</sub> (AE <sub>4</sub> )	10,0	0,40
C <sub>5</sub> (AE <sub>5</sub> )	7,50	0,40

## 2.4 Himmennykset

### 2.4.1 Yöhimmennys

Yöhimmennys toteutetaan yleisimmin valaistusluokkien avulla. Valaistustasoa lasketaan yleensä yksi tai kaksi valaistusluokkaa alaspäin. Purkauslampuilla ohjaus on yleensä 1-portainen ja se toteutetaan kaksitehokuristimien ja releiden avulla. Led-valaisimissa taas ohjaus on yleensä 2-portainen. Tavallisesti himmennys sijoitetaan ajanjaksolle, jolloin liikennettä on vähän. [1, 15.]

Joensuun kaupunki käyttää led-valaisimissa 2-portaista himmennystä. Hiljaisena aikana valovirran määrää lasketaan tiettyyn prosenttiin riippuen valaistusluokasta.

### 2.4.2 Yösammutus

Yösammutuksessa valaisimet sammutetaan kokonaan tietyksi ajaksi. Yleensä sammutusaika on 0:00-6:00 välillä. Yösammutusta pitäisi pyrkiä välttämään,

koska se lisää ilkivaltaa, turvattomuutta, onnettomuuksia, väkivaltaa sekä kuljettajan väsymystä. Lisäksi yösammutus aiheuttaa rajakohtia valaistun ja pimeän tien välille. Näille alueille on huolehdittava riittävä sopeutumisasiälue. Yösammutuksen sijasta tulisi käyttää himmennystä aina, kun mahdollista. [1, 16-18.]

## **2.5 Valaistuksen yleisimmät ohjaustavat**

### **2.5.1 Vakiovalovirta**

Vakiovalovirtaohjauksessa pyritään tehoa nostamalla pitämään valovirta samana koko valaisimen elinkaaren ajan. Valaisimen nimellisteho saadaan vasta valaisimen elinkaaren lopussa. Vakiovirtaohjauksella pääsee pienempään tehonkulutukseen verrattaessa valaistukseen ilman vakiovirtaohjausta. Useimmin vakiovirtaohjausta nähdään led-valaistuksessa. Vakiovirtaohjausta käyttäessä tulee ottaa huomioon valaisimen likaantuminen, koska se on ainut vakiovalovirtavalaisimen valovirtaa heikentävä suure. [1, 18-20.]

Vakiovalovirtaohjauksesta käytetään lyhennettä CLO (Constant Light Output). Vakiovalovirtaohjausta käytetään usein yhdessä muiden ohjausten kanssa. Useimmiten CLO-ohjauksen lisäksi käytetään himmennystä. CLO-ohjaus pitää maksimivalovirran tasaisena ja tästä tasosta valaistusta himmennetään muilla ohjauksilla.

### **2.5.2 Kiinteät himmennysportaat**

Himmennys voidaan myös toteuttaa portaittain 1- tai 2-portaisena. Himmennys tapahtuu niin, että valaistusluokkaa pudotetaan korkeintaan kahdella luokalla. Yleensä himmennys toteutetaan ennakkoon ohjatulla kelloajastimella esimerkiksi keskimääräisen tuntiliikenteen vaihtelujen mukaan. Ohjaus on mahdollista toteuttaa myös reaaliaikaisesti mitatuista liikennemääristä. [1, 19-20.]

### 2.5.3 Älykäs ohjaus

Älykkään ohjauksen ideana on automaattisesti muuttaa valaistustasoa portaattomasti. Ohjausjärjestelmä pystyy antamaan palautetietoja tien kunnossapitoa varten. Älykkäät ohjausjärjestelmät ovat yleensä hankekohtaisia, ja näiden toimivuus on riippuvainen valaistavasta kohteesta. Yleisimpiä ohjausparametreja ovat liikennevirran nopeus, sääolosuhteet, tien pinnan ominaisuudet ja liikennemäärä. [1, 20.]

## 2.6 Valaistuskäsitteitä

Valovoiman yksikkö on kandela (cd), ja se kertoo lampun valon säteilyn määrästä johonkin tiettyyn säteilykulmaan. Valovoima on sitä suurempi, mitä enemmän valaisiin tuottaa lumeneita. [10.]

Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luxi (lx), ja se kuvaa valaistavalla pinnalla valonlähteen voimakkuutta. Valaistusvoimakkuuteen vaikuttaa lampun valovirta, valaisimen etäisyys valaistavasta pinnasta sekä valaisimen optiikka. Tasaisesti neliömetrin alalle jakautuessa yhden lumenin valovirta vastaa yhtä luksia. [11.]

Ra-indeksi kuvaa valaisimen värintoistokykyä. Suuri värintoistoindeksi kertoo luonnollisemmista väreistä. Värilämpötilan ohella värintoistokyky vaikuttaa valon laatuun. Led-lampuilla Ra on 70-80 luokkaa, kun taas halogeenilampuilla Ra on 100. [12.]

Värilämpötilaa kuvaa mittayksikkö kelvin (K). Matala kelvin-arvo kertoo kellertävästä lämpimästä valosta ja korkea kelvin-arvo sinertävästä kylmästä valosta. Led-valaisimilla on todella hyvä valikoima eri värisävyjä. Värisävyjä on lämpimän valkoisesta kylmän siniseen. Ledejä on myös värillisinä. [13.]

Valovirran yksikkö on lumen (lm), ja se mittaa valon määrää. Lamppujen valon määrää ei voi verrata wattien perusteella energiatehokkaissa lampuissa, kuten ledeissä. Wattimäärä kertoo ainoastaan sähkönkulutuksesta eikä valon määrästä. [14.]

Katuvalaistuksessa valaisimen energiatehokkuus ilmoitetaan yleensä lumenia per watti (lm/W) muodossa. Katuvalaistuksessa ollaan jo 130lm/W lukemissa.

## 2.7 Mitattavat suureet

Jännite tarkoittaa eri osien erilaista sähköistä potentiaaliero. Jännitteen yksikkö on voltti (V). Katuvalaistus toimii 230 V jännitteellä.

Jokainen sähkölaite ottaa sähköverkosta sähkövirtaa. Virran yksikkö on ampeeri (A). Virta lämmittää johdinta ja sähköjakelussa pitää käyttää tarpeeksi suuria johtimia, etteivät johtimien eristykset sula ja virran siirtäminen on taloudellista.

Taajuus tarkoittaa jännitteen tai virran sinimuotoista värähtelyä. Taajuuden yksikkö on hetsi (Hz). [15.]

Laitteen teho kertoo sähkölaitteen tarvittavan virran ja jännitteen määrän, jotta se toimii. Tehon yksikkö on watti (W). [15.]

Sähköenergian määrän yksikkö on kilowattitunti (kWh). Esimerkiksi teholtaan 100 watin valaisin kuluttaa tunnin aikana 0,1 kilowattituntia energiaa.

Loisteho on käytännössä verkon hukkathehoa ja se vain värähtelee siirtoverkon ja sähkölaitteen välillä edestakaisin [16]. Jotkut sähkölaitteet tarvitsevat toimiakseen loistehoa. Laitteiden tarvitsema loisteho voidaan tuottaa joko laitteen läheisyydessä kondensaattoreilla tai ottaa sähköverkosta. Sähköverkosta loistehoa ottaessa on huomioitava loistehon vaikutus kuormitusvirtaan. Loistehon siirrosta syntyy energian hukkaa, koska sähköverkon siirtohäviöt kasvavat. [17, 49.]

### 3 Mittaukset

#### 3.1 Mittauspaikka ja ajankohdat

Parhaaksi mittauspaikaksi osoittautui Vehkalahden alue Joensuussa, koska lähes koko keskuksen syöttämälle alueelle vaihtui led-valaisimet. Mitattavan keskuksen perässä on yhteensä 140 valaisinta, joista vaihdon jälkeen 138 on led-valaisimia.

Ensimmäinen mittaus on suoritettu 20.11.2019 – 21.11.2019. Toinen mittaus on suoritettu 22.1.2020 – 23.1.2020. Molemmat mittaukset kestivät noin vuorokauden.

#### 3.2 Mittauksen lähtökohdat

Keskuksen perässä on yhteensä 140 valaisinta, jotka jakautuivat ennen valaisinten vaihtoa taulukon 4 mukaisesti. Led-valaisimissa tehot ovat koko valaisimen tehoja ja muissa lampputyypeissä lampun tehoja. Muissa lampputyypeissä lampun tehon lisäksi kuristin ja sytytin ottavat tehoa.

Taulukko 4. Valaisimet ennen valaisinvaihtoa.

Lampun/valaisimen tyyppi	Määrä	Teho (W)	Teho yht. (W)
LED	5	20	100
LED	2	70	140
LED	7	35	245
LED	8	100	800
SpNa	2	100	200
Korvaava SpNa	53	110	5830
Korvaava SpNa	13	110	1430
Korvaava SpNa	41	110	4510
Korvaava SpNa	9	110	990

**Yhteensä**

**140**

**14245 W**

Itse valaisimien vaihto tapahtui aikavälillä 25.11.2019 – 17.1.2020. Valaisinvaihdon jälkeen tilanne oli taulukon 5 mukainen.

Taulukko 5. Valaisimet valaisinvaihdon jälkeen.

Lampun/valaisimen tyyppi (himmennys)	Määrä	Teho (W)	Teho yht. (W)
LED	5	20	100
LED	2	70	140
LED	7	35	245
LED	8	100	800
SpNa	2	100	200
LED (AL5)	53	21,5	1139,5
LED (AL4b)	13	21,5	279,5
LED (K4)	41	17,4	713,4
LED (AL4b)	9	40	360
<b>Yhteensä</b>	<b>140</b>		<b>3977,4 W</b>

### 3.3 Mittalaite ja kytkentä

Opinnäytetyötä varten sain Karelia-ammattikorkeakoululta lainaan Fluke 435 -energia ja sähkönlaatuanalysointilaitteen, jolla suorittaa tarvittavat mittaukset. Lisäksi sain kannettavan tietokoneen, joka oli varustettu FlukeView-ohjelmalla. FlukeView-ohjelmaa tarvitsi mittausdatan siirtämiseen tietokoneelle.

Mittalaitteen kytkentä oli yksinkertainen. Jännitemittaukseen käytin jännitepihtejä, jotka oli helppoa asentaa suoraan pääsulakkeiden ruuviliittimiin. Lisäksi nolla- ja maadoitusjohtimet täytyi kytkeä nolla- ja maadoituskiskoihin. Virtamittaus tapahtui virtapihtien avulla, jotka täytyi asentaa syöttävän kaapelin vaiheisiin sekä maadoitusjohtimeen.

Mittauksen suoritin mittalaitteen Logger-toiminnolla, jolla pystyy mittaamaan kerralla useita kymmeniä eri mittauksia. Mittauksen aikaväliksi valitsin lyhyimmän mahdollisen, joka oli tässä tapauksessa 5 sekuntia. Käytännössä mittalaite mittaa



5 sekunnin ajanjaksoja, joista se tallentaa maksimi, minimi ja keskiarvon kyseiselle mittaussuurelle.

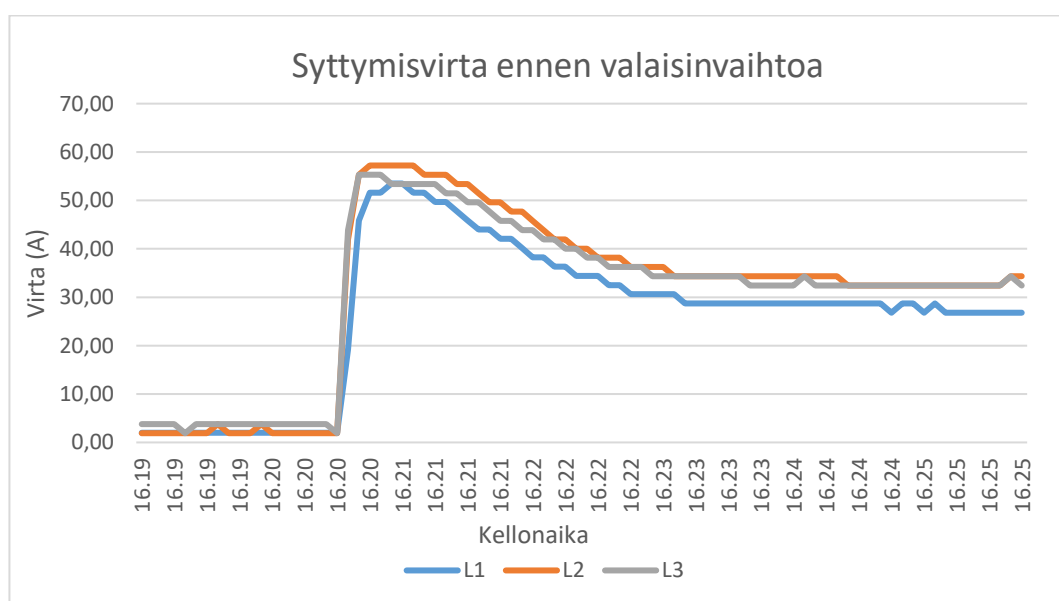
### 3.4 Mittausdatan analysointi

Mittalaitteen data täytyi ensin siirtää FlukeView-ohjelmaan, ja sitä kautta tiedot sai Excel-tiedostoon. FlukeView-ohjelma on itsessään melko vanhanaikainen ja hankala käyttöinen, joten päädyin analysoimaan datan Excel-taulukoina.

## 4 Tulokset

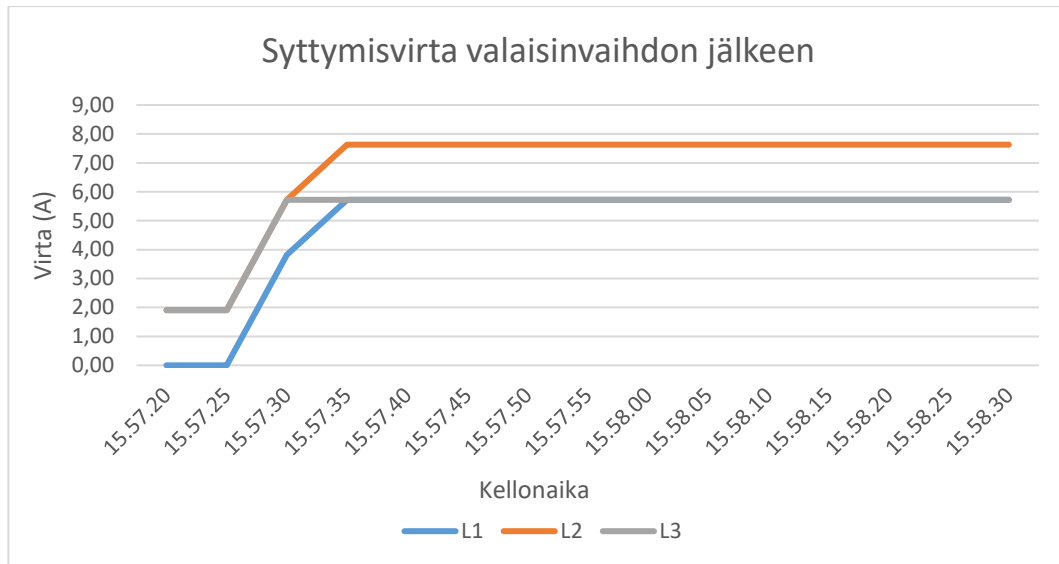
### 4.1 Syttymisvirrat

Ensimmäisen mittauksen huomiona oli, että suurpainenatriumvalaisimet tarvitsevat syttyessään suuren määrän virtaa. Kaikkien vaiheiden virta käy muutaman minuutin ajan jopa yli 50 ampeerissa (kuvio 1).



Kuvio 1. Keskuksen syttymisvirta ennen valaisinvaihtoa

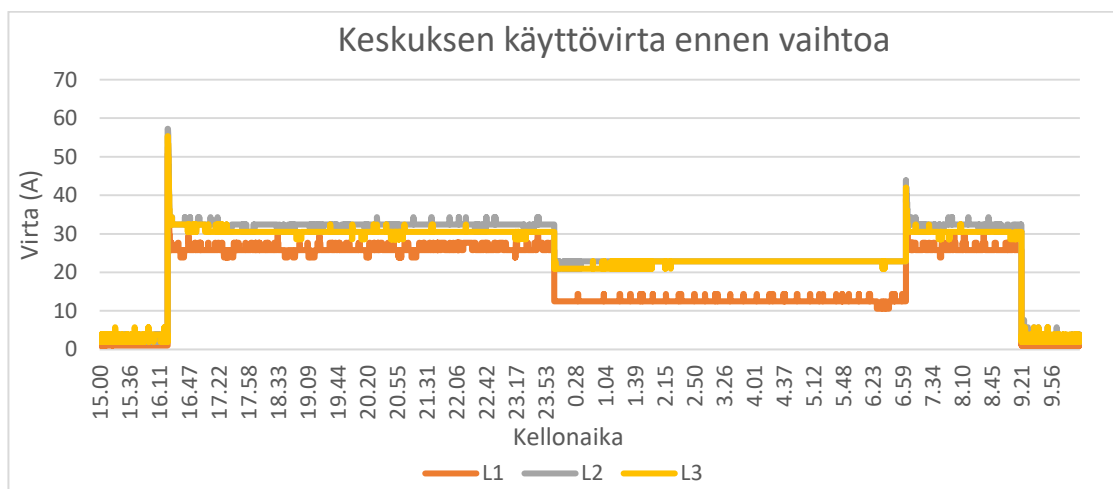
Led-valaisimet syttyvät suoraan täyteen virtaansa, eivätkä ota suurta virtaa sytyessään (kuvio 2). Kaikkien vaiheiden virrat jäävät alle 8 ampeerin.



Kuvio 2. Keskuksen syttymisvirta valaisinvaihdon jälkeen

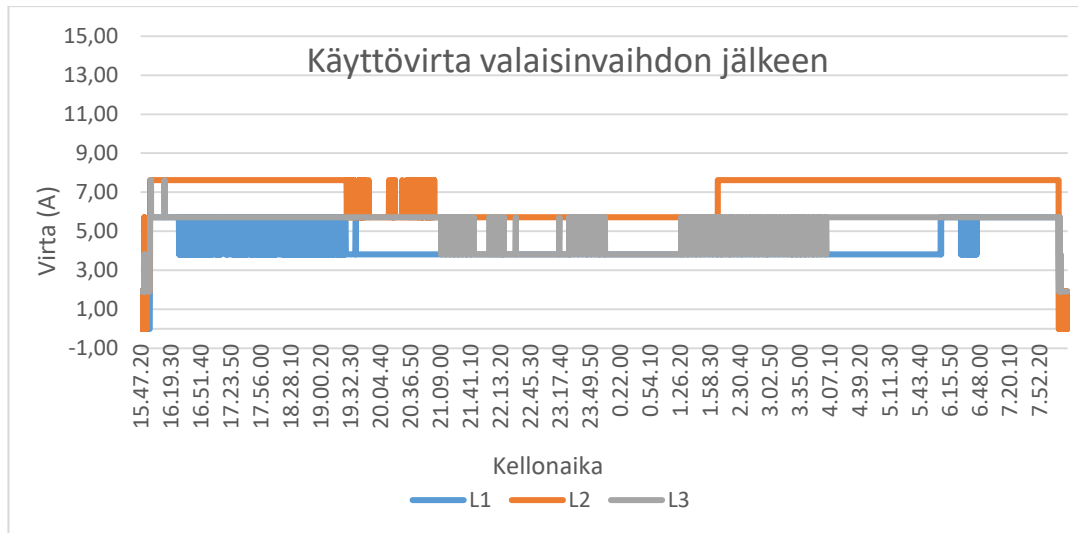
## 4.2 Muutokset käyttövirroissa

Käyttövirtojen mittauksessa näkee korkean syttymisvirran sekä tehonpudotuksen 0:00-7:00 aikavälillä. Mittauksesta myös näkee, että valaistus on syttynyt kello 16.20 ja sammunut seuraavana päivänä kello 9.20 (kuvio 3). Vaiheiden virrat vaihtelevat 25A - 32A välillä.



Kuvio 3. Keskuksen käyttövirta ennen valaisinvaihtoa

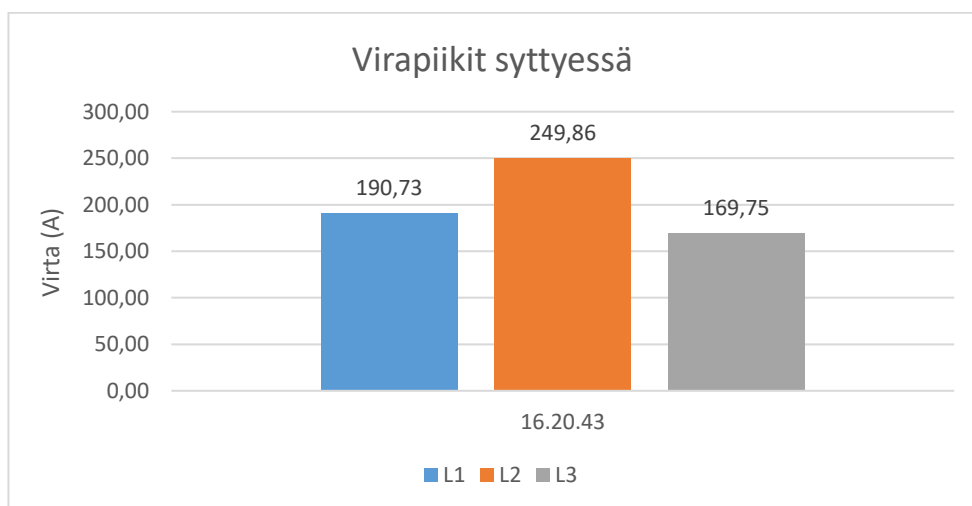
Valaisinvaihdon jälkeisestä mittauksesta näkee, että virrat ovat huomattavasti pienemmät aikaisempaan nähden. Kuvaajasta myös näkee, että valaistus on syttynyt kello 15.57 ja sammunut kello 8.13 (kuvio 4). Myös virrankulutus näyttää tasaisemmalta verrattaessa ensimmäiseen mittaukseen.



Kuvio 4. Keskukseen käyttövirta valaisinvaihdon jälkeen.

### 4.3 Virtapiikit

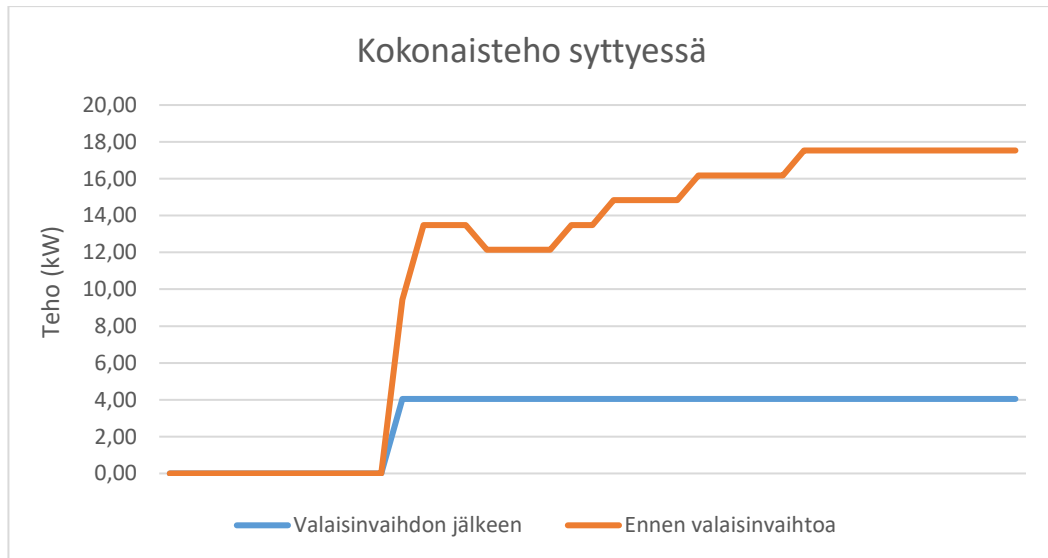
Virtapiikkien mittauksesta huomaa, että valaistuksen syttyessä hetkelliset virtapiikit voivat olla jopa 8-kertaisia pääsulakekokoon nähden. Ennen valaisinten vaihtoa virtapiikit ovat korkeimmillaan käyneet melkein 250 ampeerissa (kuvio 5). Virtapiikkien kesto on vain muutamia mikrosekunteja, eikä sulakkeet kerkeä palamaan tässä ajassa.



Kuvio 5. Virtapiikit syttyessä ennen valaisinvaihtoa

Valaisinvaihdon jälkeen virtapiikit olivat pienemmät L1- ja L2-vaiheilla. L3-vaiheella virtapiikki oli suurempi kuin ennen vaihtoa.





Kuvio 8. Kokonaisteho syttyessä.

Valaisinvaihdon jälkeen kokonaisteho on palaessa 4045,97W. Laskettu teho on 3977,4W (taulukko 5). Mitattu ja laskettu teho ovat aika lähellä toisiaan. Laske-  
tussa tehossa ei ole huomioitu jäljelle jääneiden suurpainenatriumvalaisimien ku-  
ristimien ottamaa tehoa. On myös huomioitava, että uudet valaisimet ovat CLO-  
valaisimia, eivätkä ne ota täyttä tehoaan, kun vasta elinkaarensa lopussa. Myös  
valaistuksen ohjaus, kaapelit, kondensaattorit ja mahdolliset vuodot kytkennöissä  
syövät tehoa.

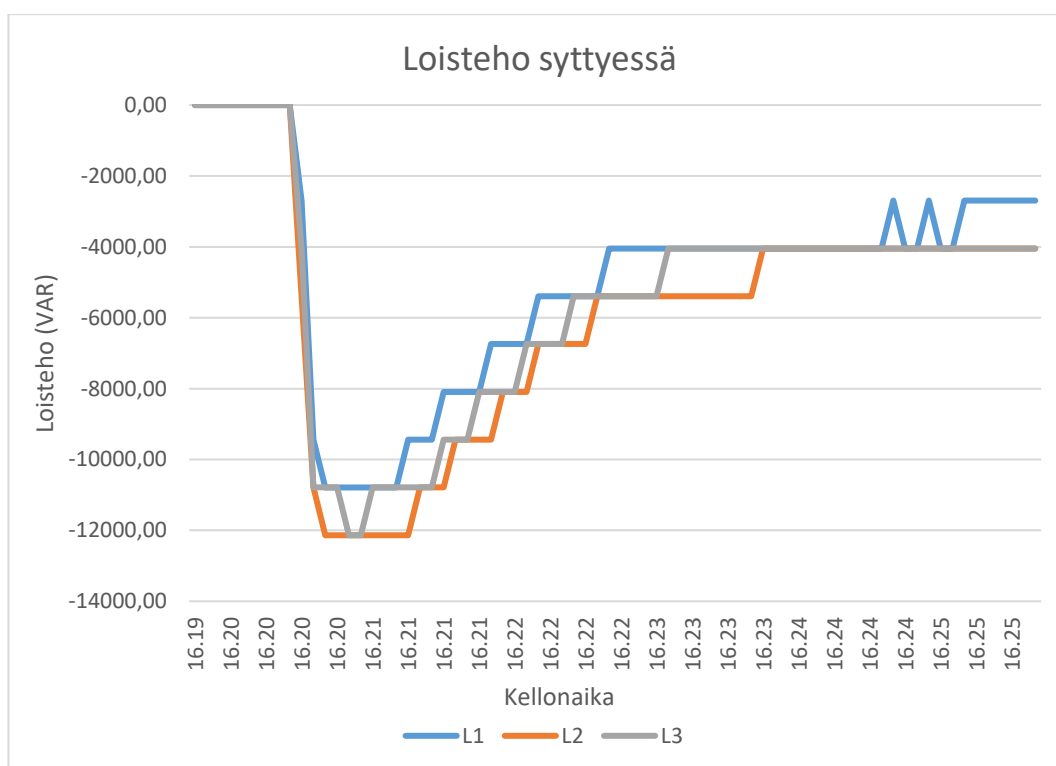
#### 4.5 Loistehon ja tehokertoimen muutokset

Ennen valaisinvaihtoa loisteho oli pääsääntöisesti negatiivista, eli purkausvalai-  
simet ottivat suuren määrän loistehoa sähköverkosta. Valaisinvaihdon jälkeen  
loistehon oli muuttunut positiiviseksi eli led-valaisimet tuottavat loistehoa sähkö-  
verkkoon. Mittaustulokset näkyvät taulukossa 6.

Taulukko 6. Loistehon ja tehokerroimen vaihtelut.

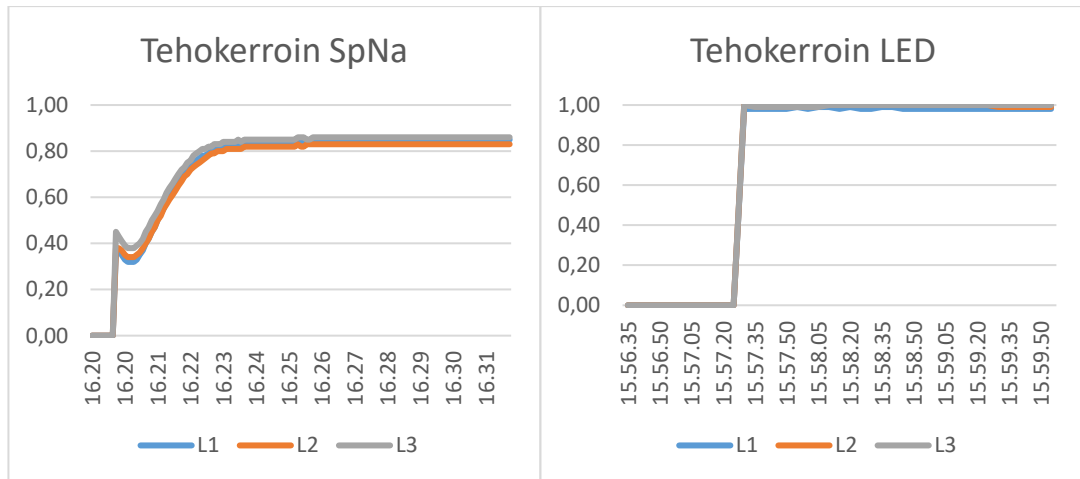
Mittaus ennen valaisinvaihtoa		
	Loisteho (kvar)	Tehokerroin
Maksimi	-8,1	0,87
Minimi	-35,1	0,32
Mittaus valaisinvaihdon jälkeen		
	Loisteho (kvar)	Tehokerroin
Maksimi	5,4	1
Minimi	-9,4	0,96

Loistehon mittauksesta näkee, että purkauslamput käyttävät syttyessään suurimman määrän loistehoa (kuvio 9). Loistehon tarve kuitenkin tasaantuu muutaman minuutin kuluessa.



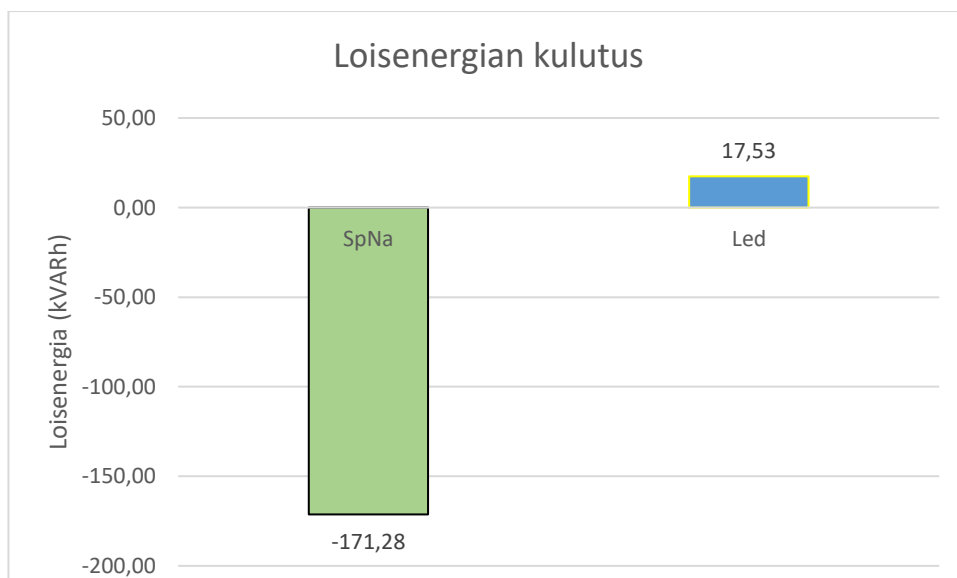
Kuvio 9. Keskukseen loisteho valaistuksen syttyessä.

Tehokerroimen kuvaajasta näkee eron ledien ja suurpainenatriumin välillä (kuvio 10). Suurpainenatriumlampuilla tehokerroin nousee hitaasti noin 0,8 tuntumaan ja ledeillä tehokerroin nousee kerralla lähelle yhtä. Ennen valaisinvaihtoa tehokerroimen keskiarvo oli 0,82 ja valaisinvaihdon jälkeen 0,98.



Kuvio 10. Tehokertoimet

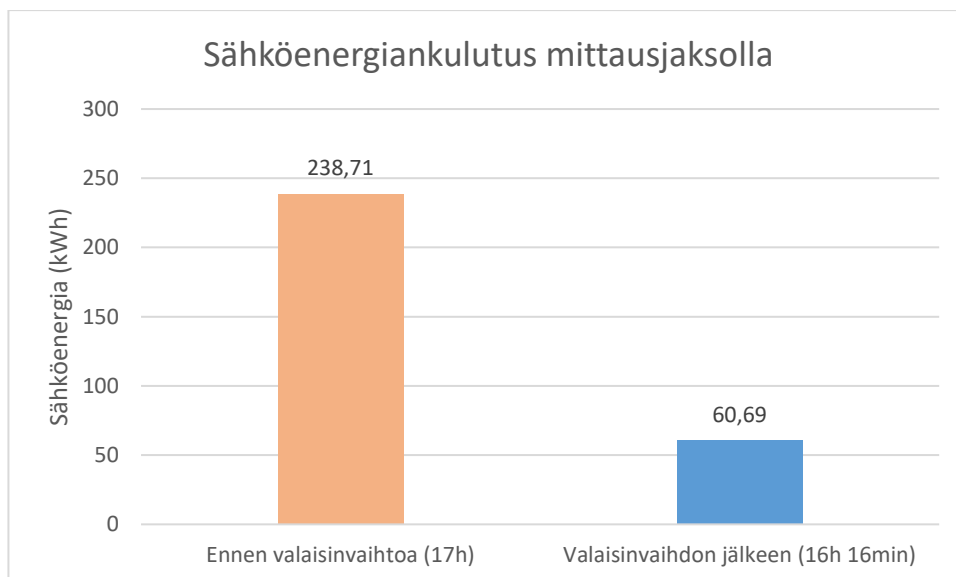
Kuviosta 11 huomaa kuinka paljon suurpainenatriumvalaisimet kuluttavat loistehoa palaessaan. Ledit puolestaan näyttäisi tuottavan loistehoa. Tämä voi olla sähköverkkoyhtiölle ongelmaksi suuremmissa kaupungeissa, joissa on paljon valaistusta.



Kuvio 11. Loisenergian kulutus.

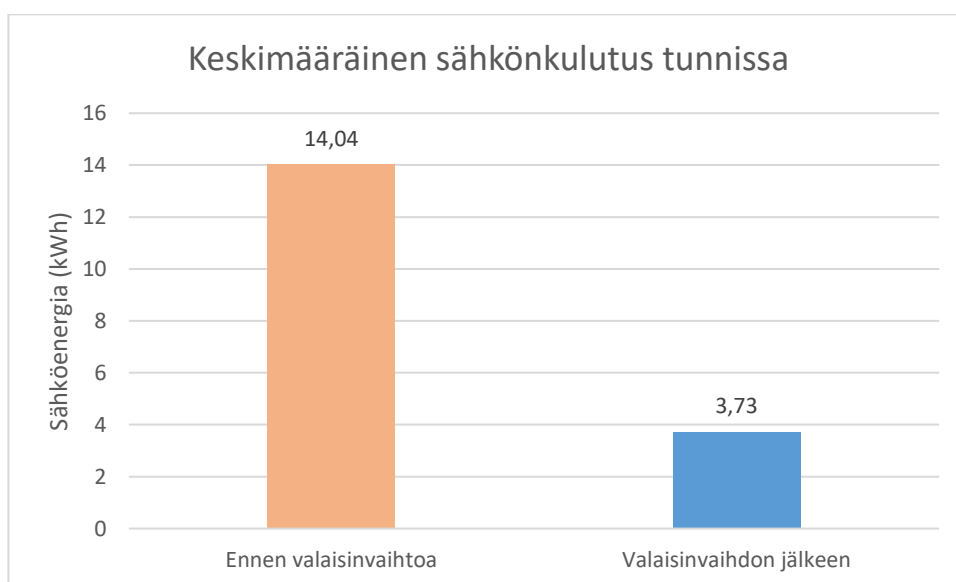
#### 4.6 Energiansäästö ja vaikutukset sulakekokoihin

Ennen valaisinvaihtoa 17 tunnin sähkönkulutus oli 238,71 kWh. Valaisinvaihdon jälkeen kulutus oli 60,69 kWh (kuvio 11). Energiansäästö on siis huomattava, kuten kuvaajasta näkee.



Kuvio 11. Sähkönkulutus ennen ja jälkeen

Näistä mittaustuloksista laskemalla sain keskimääräisen kulutuksen tuntia kohti (kuvio 12). Ennen vaihtoa keskimääräinen kulutus oli 14,04 kWh/h. Valaisinvaihdon jälkeen keskimääräinen kulutus oli 3,73 kWh/h. Kuvaajasta näkee, että keskimääräinen energiankulutus laski vaihdon myötä 73 % kyseisen keskuksen alueella.



Kuvio 12. Keskimääräinen sähkönkulutus tunnissa

Keskimääräisellä tuntikulutuksella laskin vuodelle sähkönkulutuksen ennen valaisinvaihtoa ja valaisinvaihdon jälkeen sekä valaisinvaihdosta syntyvän säästön (taulukko 7).



Taulukko 7. Energiansäästö vuodessa.

<b>Energiankulutus 4000h/a palamisajalla (kWh)</b>	
Valaisinvaihdon jälkeen	14920
Ennen valaisinvaihtoa	56160
<b>Säästö vuodessa (kWh)</b>	<b>41240</b>

Rahallista säästöä tulisi vuodessa kuvitelluilla 6snt/kWh sähköenergian ja 4snt/kWh sähkönsiirron hinnoilla taulukon 8 mukaisesti.

Taulukko 8. Rahallinen säästö vuodessa.

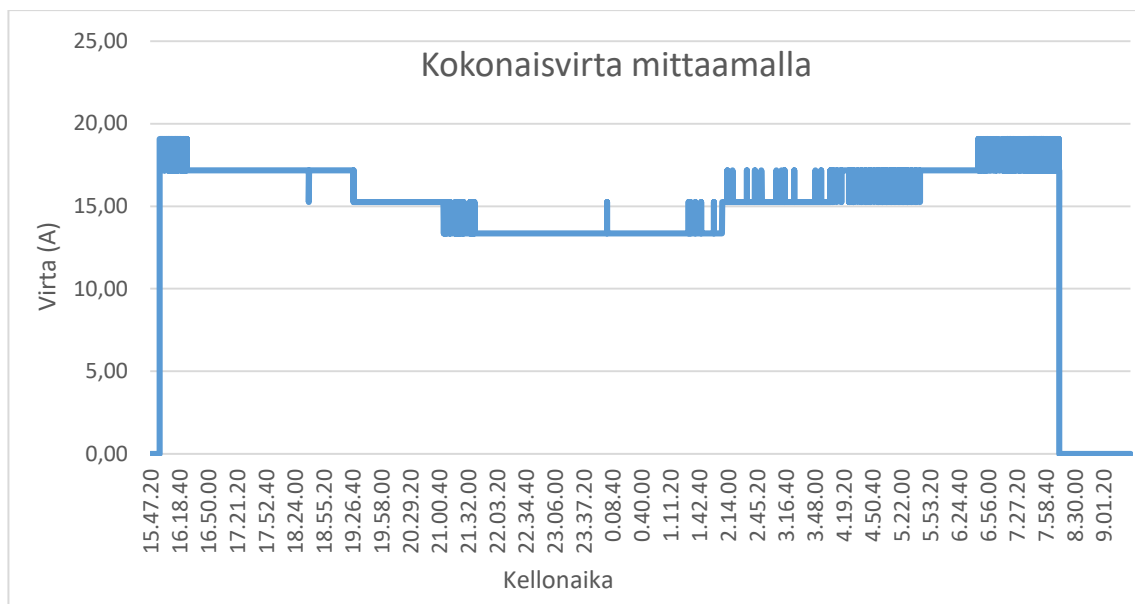
<b>Sähköenergia 6snt/kWh hinnalla</b>	<b>2 474,40 €</b>
<b>Sähkönsiirto 4snt/kWh</b>	<b>1 649,60 €</b>
<b>Yhteensä</b>	<b>4 124,00 €</b>

Valaisimia alueelle vaihdettiin 126 kappaletta. Jos valaisin maksaisi esimerkiksi 200 euroa, olisi kokonaiskustannus valaisimille 25200 euroa. Eli valaisimet maksaisivat näillä kuvitelluilla arvoilla itsensä takaisin noin kuudessa vuodessa. Tässä ei ole huomioitu valaisimien vaihtokustannuksia.

Lisäksi nykyisen 35A-sähköliittymän pystyy hyvin pudottamaan 25A-liittymäksi. Ryhmäsulakkeet olisi mahdollista pudottaa jopa 10A-sulakkeiksi, mutta selektiivisyyden säilyttämiseksi pystytään sulakkeet pudottamaan vain 16A-sulakkeiksi. Tämä johtuu siitä, että jokaisella valaisinympyrällä on oma sulake, joka hyvin usein on kymmenen ampeeria.

#### 4.7 Yöhimmennysten toimivuus

Yöhimmennys todetaan virran perusteella. Kaikkien vaiheiden yhteenlasketusta virrasta näkee parhaiten himmennuksen toimivuuden ja kuviosta 13 huomaa himmennysportaat, sekä mille ajalle ne sijoittuvat.

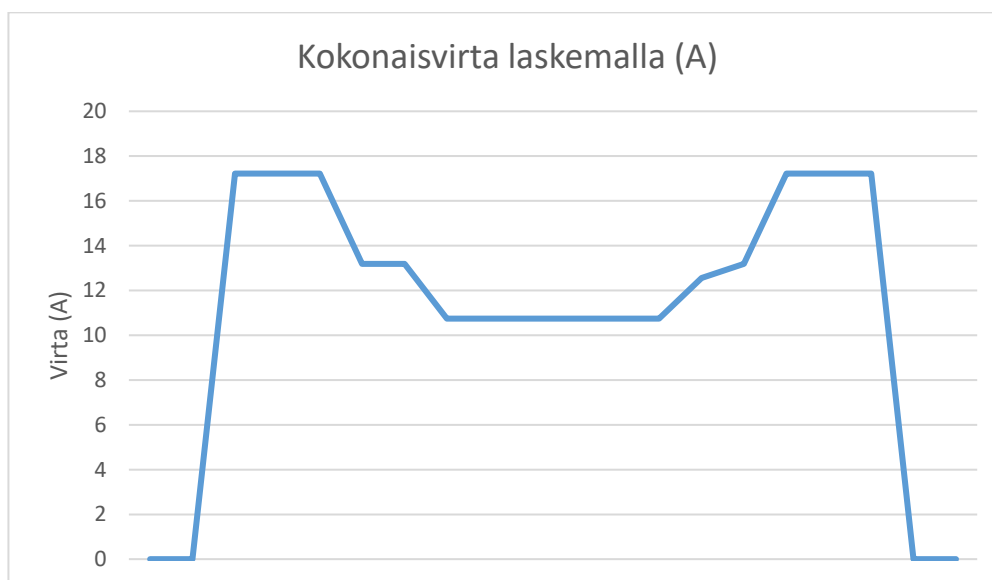


Kuvio 13. Himmennyksen toimivuus

Ensimmäisessä portaassa virran pitäisi olla noin 70% maksimi virrasta. Tässä tilanteessa virta on 88% maksimista. Toisessa portaassa virran pitäisi olla noin 40% maksimista, mutta mittaamalla tulokseksi tuli 77% maksimista.

Tässä täytyy ottaa huomioon mittalaitteen tarkkuus, josta lisää virhearviointiosiossa. Himmennykset näyttäisivät kuitenkin itsessään toimivan. Himmennysportaiden ajatkin näyttäisivät suhteellisen oikeilta verrattaessa Joensuun kaupungin himmennystaulukkoon (liite 1).

Laskemalla valaisimien tehosta kuvaaja näyttää seuraavalta (kuvio 14):

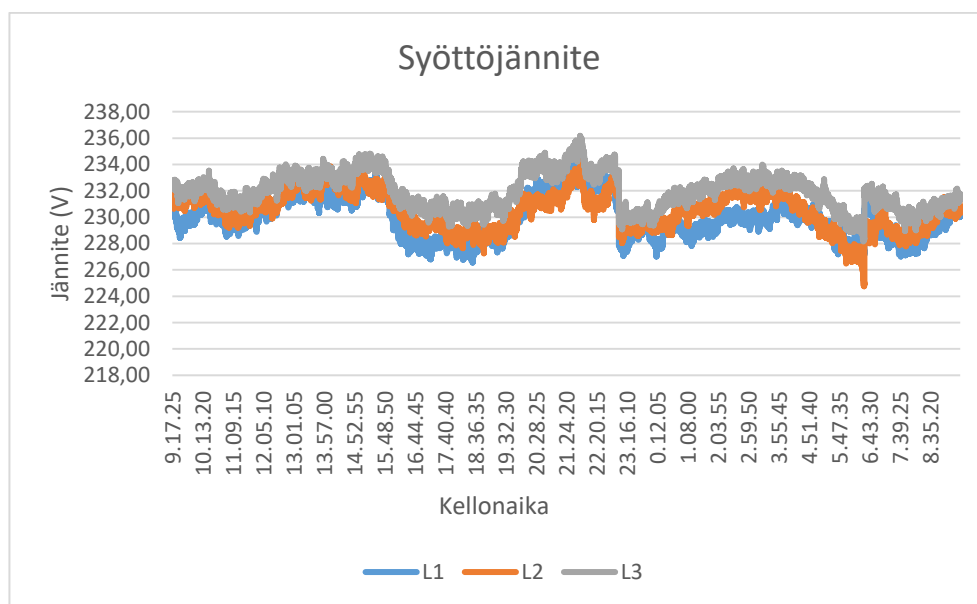


Kuvio 14. Kokonaisvirta laskemalla.

Mitatut ja lasketut virrat ovat aika lähellä toisiaan valaisimien palaessa täydellä valovirralla. Mitattu virta oli 17,17 A ja laskettu 17,21 A. Tästä myös näkee, että valaisimet ovat vakiovalovirtavalaisimia. Valaisimet eivät uutena pala täydellä teholla, josta tämä ero johtuu.

#### 4.8 Muita huomioita

Mittauksista myös näkee verkon nimellisjännitteen ja sen vaihtelun eri vuorokaudenaikoina (kuvio 14). Nimellisjännite on käynyt alimmillaan 224,81 voltissa ja ylimmillään 236,18 voltissa. Keskiarvo kuitenkin koko mittausjaksolle oli 231,29 voltia. Mittausten välillä verkkojännitteessä ei ollut suurempia muutoksia.



Kuvio 14. Sähköverkon nimellisjännite

Mittauksista myös ilmeni, että verkon taajuus vaihteli välillä 49,85 – 50,15. Taajuuden keskiarvoksi kuitenkin tuli tasan 50 Hz.

#### 4.9 Virhearviointi

Ensimmäisen mittauksen tulokset näyttävät oikeilta. Mittalaitteen virtapihdit olivat toiseen mittaukseen liian järeät. Virtapihtien mittausalue on 5-1000A, joten alle

5A-virta/vaihe mittaustulos on epätarkka ja lähinnä vain suuntaa antava. Esimerkiksi yöhimmennysten himmennysprofiilin vastaavuuden toteamista ei pystynyt kunnolla tekemään toisen mittauksen tuloksista. Muuten mittaukset sujuivat ongelmitta.

## 5 Pohdinta

Opinnäytetyön aihe on ajankohtainen, koska nykyään lähes kaikki uusi katuvalaistus rakennetaan led-valaistuksena. Elohopealamppuja sekä korvaavia suurpainenaatriumeja ei enää valmisteta, joten muita valaistustyyppisiä on käytettävä katuvalaistuksessa.

Kaiken kaikkiaan näyttäisi siltä, että valaisinvaihto kannattaa tehdä, koska led-valaistus on niin paljon energiatehokkaampaa verrattuna muuhun valaistukseen. Energiansäästön lisäksi huoltokustannukset pienenevät, koska ledit ovat paljon huoltovapaampia kuin muut valaisintyypit. Lisäksi keskuksen pääsulakkeet voivat olla pykälää pienemmät ja tämä taas pienentää liittymäkustannuksia. Suurimpana haittapuolena ledeissä näyttää mittausten perusteella olevan loistehon tuottaminen.

Pieniä ongelmia tuotti mittalaitteen akunkesto. Akku kesti vain muutamia tunteja, joten keskuksen täytyi asentaa lisäksi pistorasia, jotta mittalaite pystyi olemaan latauksessa koko mittausjakson ajan. Karelia-ammattikorkeakoulun kannattaisi mielestäni hankkia kyseiseen mittalaitteeseen tarkemmat virtapihdit sekä uusia mittalaitteen akku, koska varmasti koulu myös hyötyisi näistä omissa laboratorioharjoituksissaan.

Itselle opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoinen ja hyödyllinen. Työtä tehdessäni opin paljon uutta asiaa katuvalaistuksesta, jota voin hyödyntää tulevaisuudessa itsekkin.

Jatkokehityksenä tälle työlle olisi uusi mittaus tarkemmalla mittalaitteella, josta selviäisi tarkemmat virta-arvot. Näistä tuloksista näkisi myös yöhimmennysten vastaavuuden himmennystaulukkaan nähden.

## Lähteet

1. Liikennevirasto. Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu. Helsinki. 2015. Päivitetty 13.5.2015. [Viitattu 2.3.2020]. Saatavissa: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2015-16\\_maantie\\_rautatiealueiden\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2015-16_maantie_rautatiealueiden_web.pdf).
2. Joensuun kaupunki. Hoito- ja kunnossapito. Päivitetty 5.12.2019. [Viitattu 10.2.2020]. Saatavissa: <https://www.joensuu.fi/hoito-ja-kunnossapito>
3. Ensto Pro. Elohopealamput. Päivitetty 28.10.2009. [Viitattu 12.2.2020]. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228387387439/1228387493589/1228397276827.html>.
4. Motiva Oy. Elohopealamput poistuvat markkinoilta 2015 – mitä tilalle katuvalaistukseen?. Helsinki. 2014. Päivitetty 2/2014. [Viitattu 12.2.2020]. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/9499/Elohopealamput\\_poistuvat\\_markkinoilta\\_2015\\_Mita\\_tilalle\\_katuvalaistukseen.pdf](https://www.motiva.fi/files/9499/Elohopealamput_poistuvat_markkinoilta_2015_Mita_tilalle_katuvalaistukseen.pdf).
5. Rantakallio, A. & Ylinen, A. Elohopealamput pois – mitä tilalle ja millä hinnalla?. Aalto-yliopisto. 2011. Päivitetty 15.3.2011. [Viitattu 12.2.2020]. Saatavissa: [http://lightinglab.fi/ekovalo/News/3\\_ylinen\\_rantakallio\\_elohopealampu\\_pois.pdf](http://lightinglab.fi/ekovalo/News/3_ylinen_rantakallio_elohopealampu_pois.pdf).
6. Ensto Pro. Monimetallilamput. Päivitetty 28.10.2009. [Viitattu 13.2.2020]. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228387387439/1228387493589/1228397290446.html>
7. Ensto Pro. Suurpainenatriumlamput. Päivitetty 28.10.2009. [Viitattu 12.3.2020]. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228387387439/1228387493589/1228397302373.html>.
8. Sähkötieto ry. ST 58.08. Valonlähteet. 2009. Päivitetty 9.1.2018. [Viitattu 14.3.2020].
9. Ensto Pro. Led. Päivitetty 28.10.2009. [Viitattu 22.2.2020]. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228387387439/1233229692599/1233229715150.html>.
10. Motiva Oy. Lampputieto. Valovoima – Kandela. Päivitetty 10.1.2020. [Viitattu 10.3.2020]. Saatavissa: <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/kandela-valovoima/>.
11. Motiva Oy. Lampputieto. Valaistusvoimakkuus – Luksi. Päivitetty 10.1.2020. [Viitattu 10.3.2020]. Saatavissa: <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/luksi-valaistusvoimakkuus/>.
12. Motiva Oy. Lampputieto. Värintoistokyky – Ra-indeksi. Päivitetty 10.1.2020. [Viitattu 3.3.2020]. Saatavissa: <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/varintoistokyky/>.
13. Motiva Oy. Lampputieto. Värilämpötila – Kelvin-arvo. Päivitetty 10.1.2020. [Viitattu 3.3.2020]. Saatavissa:

<https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/kelvin-vari-lampotila/>.

14. Motiva Oy. Lampputieto. Lumen-arvo. Päivitetty 10.1.2020. [Viitattu 3.3.2020]. Saatavissa:  
<https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/lumen-valon-maara/>.
15. STEK. Sähkön suureet. Päivitetty 7.4.2020. [Viitattu 28.2.2020]. Saatavissa:  
<https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkon-suureet/>.
16. Helen sähköverkko. Loistehon hinnoitteluun muutos. Päivitetty 7.4.2020. [Viitattu 10.3.2020]. Saatavissa:  
<https://www.helensahkoverkko.fi/uutiset/2016/loistehon-hinnoitteluun-muutos>.
17. Jaatinen, J. Pienjänniteverkon kompensointi. Espoo. 1991. 142 s. ISBN: 951-9284-66-4

## Joensuun kaupungin himmennystaulukko

		<b>Kellonaika, alkava tunti</b>																							
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09					
Valaistus- luokka		Himmennys, jäljelle jäävä valaistustaso prosentteissa																							
M1 (AL1)	100	100	100	100	100	100	100	75	75	75	75	50	50	50	50	50	50	50	75	75	100	100	100		
M2 (AL2)	100	100	100	100	100	100	100	75	75	75	75	50	50	50	50	50	50	50	75	75	100	100	100		
M3a (AL3)	100	100	100	100	100	100	100	75	75	75	75	50	50	50	50	50	50	50	75	75	100	100	100		
M3b (AL4a)	100	100	100	100	100	100	100	75	75	75	75	50	50	50	50	50	50	50	75	75	100	100	100		
M4 (AL4b)	100	100	100	100	100	100	100	70	70	70	70	40	40	40	40	40	40	40	70	70	100	100	100		
M5 (AL5)	100	100	100	100	100	100	100	60	60	60	60	40	40	40	40	40	40	40	60	60	100	100	100		
P1 (K1)	100	100	100	100	100	100	100	75	75	75	75	50	50	50	50	50	50	50	50	75	100	100	100		
P2 (K2)	100	100	100	100	100	100	100	75	75	75	75	50	50	50	50	50	50	50	50	75	100	100	100		
P3 (K3)	100	100	100	100	100	100	100	70	70	70	70	40	40	40	40	40	40	40	40	70	100	100	100		
P4 (K4)	100	100	100	100	100	100	100	60	60	60	60	40	40	40	40	40	40	40	40	60	100	100	100		

## Mittaustulokset ensimmäinen mittaus

Suure	Verkojännite			Käyttövirta (A)			Teho (W)			
	Vaihe	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Maksimi		236,03	236,29	236,72	53,50	57,22	53,41	5394,63	6743,29	6743,29
Minimi		225,87	225,99	227,36	0,00	0,00	1,91	0,00	0,00	0,00
Keskiarvo		230,48	231,24	232,16	18,07	24,78	23,94	3120,98	4368,50	4260,26
Suure	Pätöteho (VA)			Loisteho (VAR)			Tehokerroin			
	Vaihe	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Maksimi		12137,92	13486,58	12137,92	1348,66	2697,32	4045,97	0,86	0,85	0,87
Minimi		0,00	0,00	0,00	-10789,26	-12137,92	-12136,92	0,00	0,00	0,00
Keskiarvo		3801,22	5581,61	5413,57	-2096,39	-3410,44	-3056,28	0,72	0,71	0,74
Suure	Pätöenergiankulutus (VAh)			Energiankulutus (kWh)			Loisenergian kulutus (kVARh)			
	Vaihe	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Kulutus		76,87	110,59	107,89	62,04	87,66	89,01	-44,51	-66,09	-60,69
Suure	Jännitesäero THD (%)			Virtasäero THD (%)			Tehosäero THD (%)			
	Vaihe	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Maksimi		2,54	2,58	2,67	175,97	145,44	67,16	312,39	322,03	0,84
Minimi		1,33	1,30	1,40	14,33	14,63	3,01	0,06	0,08	0,03
Keskiarvo		1,84	1,87	1,93	23,86	24,25	17,06	0,27	0,29	0,20
Suure	Virtapiikit (A)									
	Vaihe	L1	L2	L3						
Maksimi		249,86	169,75	123,98						



## Mittaustulokset toinen mittaus

Suure	Verkkojännite			Käyttövirta (A)			Teho (W)		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Vaihe	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Maksimi	234,50	234,39	236,33	5,72	7,63	5,72	1348,66	1348,66	1348,66
Minimi	226,43	224,64	227,92	0,00	0,00	1,91	0,00	0,00	0,00
Keskiarvo	229,94	230,52	231,94	3,05	5,34	4,26	928,13	936,09	936,09
Suure	Pätöteho (VA)			Loisteho (VAR)			Tehokerroin		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Vaihe	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Maksimi	-	-	-	4045,97	6743,29	4045,97	0,99	1,00	1,00
Minimi	-	-	-	-4045,97	-5394,63	-5394,63	0,00	0,00	0,00
Keskiarvo	-	-	-	0,23	0,23	-0,08	0,97	0,99	1,00
Suure	Päteenergiankulutus (kVAh)			Energiankulutus (kWh)			Loisenergian kulutus (kVARh)		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Vaihe	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Kulutus	16,18	28,32	22,98	14,84	25,62	20,23	5,39	6,74	4,05
Suure	Jännitesäro THD (%)			Virtasäro THD (%)			Tehosäro THD (%)		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Vaihe	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Maksimi	2,33	2,38	2,37	226,99	193,19	232,94	308,09	323,68	327,04
Minimi	1,35	1,34	1,36	7,60	8,37	8,80	0,04	0,04	0,03
Keskiarvo	1,79	1,84	1,83	26,30	28,29	24,80	0,37	0,57	0,47
Suure	Virtapiikit (A)								
	L1	L2	L3						
Vaihe	L1	L2	L3						
Maksimi	249,86	169,75	123,98						