

Joonas Alakärppä

lin kunnan katuvalaistuksen digitointi ja selvitys älykkästä valaistusjärjestelmästä

lin kunnan katuvalaistuksen digitointi ja selvitys älykkäästä valaistusjärjestelmästä

Joonas Alakärppä
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma, sähkövoimatekniikka

Tekijä: Joonas Alakärppä
Opinnäytetyön nimi: lin kunnan katuvalaistuksen digitointi ja selvitys älykkästä
valaistusjärjestelmästä
Työn ohjaajat: Ismo Pitkänen, Katja Arvola
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018
Sivumäärä: 50 + 4 liitettä

Työn tavoitteena oli siirtää lin kunnan tievalaistuksen dokumentointi Trimble NIS -ohjelmaan ja selvittää älykkään valaistuksen tuoma energiahyöty Sorosentien tievalaistukselle. Lisäksi selvitystyössä määriteltiin Sorosentien valaistusluokka ja sen asettamat valaistustekniset vaatimukset standardin SFS-EN 13201 avulla. Työssä perehdyttiin myös lin kunnan tievalaistuksen nykytilanteeseen ja ohjausjärjestelmiin. Työn teoriaosuudessa on käsitelty tievalaistukseen liittyvät keskeiset asiat valaistustekniikan, sähkönjaon ja valaistuksen ohjauksen näkökulmasta. Teoriaosuudessa on käsitelty myös tievalaistuksen yleinen tila, energiatehokkuusdirektiivien vaikutukset, kuntien valaistussaneeraushankkeiden mahdolliset rahoitustavat ja valaistusluokat.

Dokumentoinnin siirtäminen tapahtui piirtämällä ja lisäämällä tiedot vanhoista dokumenteista Trimble NIS -ohjelmaan. Dokumentoinnin digitointi tapahtui lin energia Oy:n tiloissa. Selvitystyöhön kuuluvan Sorosentien valaisimien määrä selvitettiin paikan päällä käyttäen hyväksi Caverion Oy:n ohjausjärjestelmän pakko-ohjausta. Valaisimien tyyppi, määrä, teho ja muut tarvittavat tiedot varmistettiin myös paikan päällä. Energiahyödyn laskennassa käytettiin hyväksi SFS 13201-standardin kaavoja ja sähkönkäyttötietoja. Mahdollinen korvaava valaistus selvitettiin Lumine Lighting Solutionsin ja Easyled Oy:n avulla.

Kaikki olemassa oleva dokumentointi saatiin digitoitua ohjelmaan ja digitointityötä jatketaan tarkistamalla tiedot paikan päällä. Sorosentien valaistuksesta on saatavissa laskelmien mukaan led-valaistuksen himmennystä ja liikkeentunnistusta hyödyntäen 8708,1 kWh:n säästöt vuodessa, joka tekee rahassa 957,9 €/a. Valaistusluokan selvityksessä tie määräytyi konfliktiluokan tieksi valaistusluokaltaan C4.

Asiasanat: tievalaistus, ohjausjärjestelmä, LED, älykäs, energiatehokkuus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Electrical engineering programme, Electrical power engineering

Author: Joonas Alakärppä

Title of thesis: Digitizing Street Lighting Documents and a Study of Intelligent Lighting System

Supervisors: Ismo Pitkänen, Katja Arvola

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018

Pages: 50 + 4 appendices

The objective of this thesis was to transfer documents of Ii municipality street lighting in the Trimble NIS software and to find out how much intelligent street lighting system would save energy in a specific area. Another objective was also to find out the lighting class of the area and its technical demands using SFS-EN 13201. The thesis includes Ii municipality street lighting, as it is now in perspective of luminaires and lighting control. The theory part deals with the main issues concerning road lighting in perspective of lighting features, electricity distribution and lighting control. It also handles present situation in street lighting, the impact of energy efficiency directives, lighting classes and the funding possibilities for municipalities in energy efficiency projects.

Documents were transferred to the software by drawing and adding the information from current documents. This work was done in the Iin Energia Oy's premises. The number of luminaires included in the study had to be found out on the spot using forced-control mode in Caverion Oy's lighting control system. Information for the study, for example luminaire type and power had to be confirmed on the spot. SFS-EN 13201 Standard offered the formulas in energy performance calculations and information of energy consumptions were also used. The replacing luminaire included in calculations was found out with the help of Lumine lighting solutions Oy and Easyled Oy.

All existing documents were successfully added in the Trimble NIS software and the work continues the following summer. Energy performance calculations showed that it is possible to gain 8708,1 kWh/a savings using two stage dimming and motion detection for led lighting. Such energy consumption would cost 957,9 €. Also in the course of study, it became clear that the lighting class of the area is conflict class C4.

Keywords: road lighting, control system, LED, intelligent, energy efficiency

ALKULAUSE

Kiitokset opinnäytetyöni ohjaajille Oulun ammattikorkeakoulun lehtori Ismo Pitkäselle sekä lin kunnallistekniikan päällikkö Katja Arvolalle. Kiitos lin energia Oy:n verkostopäällikkö Joni Jääskeläiselle mielenkiintoisesta aiheesta ja mahdollisuudesta. Kiitos yhteistyöstä opinnäytetyön aikana Lumine Lighting Solutionsin myyntijohtaja Sampo Saukkoselle, li-laakso Oy:n energia-asiantuntija Kari Manniselle, Caverion Oy:n järjestelmäasiantuntija Esa Harjulalle sekä Easyled Oy:lle joilta olen saanut materiaalia opinnäytetyöhön. Iso kiitos myös vaimolleni tuesta työn aikana.

Oulu 25.04.2018

Joonas Sakari Alakärppä

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
2 KATUVALAISTUS	9
2.1 Valaistustekniikan suureet	10
2.2 Valaisimet	12
2.2.1 Elohopeahöyrylamppu	13
2.2.2 Suurpainenatriumlamppu	13
2.2.3 Monimetallilamppu	13
2.2.4 Induktiolamppu	14
2.2.5 Led-lamppu	14
2.3 Sähköjärjestelmät	16
2.3.1 Sähkönsyöttö	16
2.3.2 Oikosulku- ja kosketusjännitesuojaus	17
2.3.3 Maadoitukset	17
2.3.4 Ylikuormitussuojaus	18
2.3.5 Jännitteenalenema	19
2.3.6 Ylijännitesuojaus	20
2.4 Ohjausjärjestelmät	20
2.4.1 Ohjaustavat	21
2.4.2 Älykäs valaistuksen ohjaus	23
2.4.3 Älykkään valaistuksen vaikutus energiankulutukseen	23
2.5 Valaistusluokat	24
2.5.1 M-luokat	24
2.5.2 C-luokat	25
2.5.3 P-luokat	26
2.5.4 Valaistusluokan määrittäminen	27

3 ENERGIATEHOKAS KUNTA	29
3.1 Rahoitukset ja hankeavustukset	30
3.2 Digitointi Trimble NIS -ohjelmaan	31
3.3 Valaistuksen ja ohjauksen nykytila	34
3.3.1 Micropoliksen älykäs valaistuksen ohjaus	34
3.3.2 Caverionin ohjausjärjestelmä	38
3.4 Tulevaisuuden tavoitteet	40
4 ÄLYKÄS VALAISTUSJÄRJESTELMÄ MÄÄRITELLYLLE ALUEELLE	41
4.1 Alueen taustaa ja nykytila	41
4.2 Alueen valaistustekniset vaatimukset	42
4.3 Valaisimet ja ohjaus	43
4.4 Saavutettavissa oleva energia- ja kustannussäästö	44
5 POHDINTA	48
LÄHTEET	50
LIITTEET	
Liite 1 Trimble NIS	
Liite 2 Digitoinnin lähdeaineisto	
Liite 3 Valaistusluokan määrittäminen	
Liite 4 Trimble NIS, Sorosentie	

1 JOHDANTO

Työ tehdään toimeksiantona lin kunnalle lähtökohtana kunnan valaistuksen dokumentoinnin tila ja tarve sen selkiyttämiseksi katuvalaistuksen saneeraussuunnitelmien vuoksi. Työn tavoitteena on perehtyä lin kunnan katuvalaistuksen ja sen ohjausjärjestelmän nykytilanteeseen sekä saattaa sen dokumentointi digitaaliseen muotoon. Olemassa oleva tievalaistuksen dokumentointi sisältää kuvista ja valaistussuunnitelmista skannattuja tiedostoja, joita ei pysty muokkaamaan. Tarkoituksena on siirtää tiedot piirtämällä verkostosuunnitteluohjelmaan, jotta niitä pystytään myös käsittelemään ja saadaan selvyys siitä, mitä dokumentoinnista puuttuu. Digitointi tehdään lin energia Oy:n tiloissa.

Työssä perehdytään katuvalaistuksen ohjausjärjestelmiin, joita lissä on käytössä. Tämä sisältää Caverion Oy:n valaistuksen ohjausjärjestelmän ja lin Micropoliksella olevan älykkään valaistusjärjestelmän. Lisäksi tehdään selvitys tietyn valaistuskeskuksen sisällöstä ja sen ohjaamasta valaistusalueesta. Alueelle määritellään myös valaistusluokka ja sen asettamat valaistustekniikan vaatimukset. Standardin SFS-EN 13201-5 mukaisilla kaavoilla selvitetään keskuksen syöttämien valaisimien energiankulutus ja sen kustannukset sekä mahdollisen uuden valaistusjärjestelmän tuoma teoreettinen energia- ja kustannussäästö. Mahdollinen korvaava valaisin selvitetään Easyled Oy:n avulla ja valaisimien ajatellaan sijoittuvan nykyisiin pylväisiin. Tavoitteena on selvittää, paljonko energiansäästöä saavutettaisiin, jos saneeraus suoritettaisiin nykyisellä pylväsvälillä. Selvityksen tavoitteena ei ole tutkia, millä järjestelmällä saavutettaisiin maksimaalinen energiansäästö.

Teoriaosuudessa avataan keskeisimpiä tievalaistukseen liittyviä suureita ja käsitteitä. Lisäksi työssä käydään läpi tievalaistuksen yleistä tilannetta ja siihen vaikuttavia säädöksiä ja asetuksia sekä valotetaan hieman tievalaistuksen tulevaisuuden näkymiä. Työssä ei käsitellä valaisinpylväitä.

2 KATUVALAISTUS

Tievalaistus Suomessa on tällä hetkellä muutosvaiheessa. Valaisintekniikan ja älykkäiden valaistuksenohjausjärjestelmien edistyminen on tuonut kunnille ajankohtaiseksi nykyisten valaistusratkaisujen arvioinnin. Lisäksi elohopeahöyryvalaisimien myynnistä poistuminen vuonna 2015 aiheuttaa tievalaistuksen pakkosaneerauksen niissä kunnissa, joissa vielä on kyseisiä valaisimia käytössä. Vanhojen valaisimien vaihtaminen nykyaikaisempiin ja valaistuksen ohjaustavan vaihtaminen älykkääseen valaistuksenohjausjärjestelmään voi tuoda isoja säästöjä energiankulutuksessa ja lisäksi luoda valaistuksesta käyttäjän näkökulmasta miellyttävämpää.

Tievalaistukseen ja siinä käytettäviin valaisimiin on viime aikoina tullut muutoksia energiatehokkaampaan suuntaan tuotteiden ekosunnitteludirektiivin vaikutuksesta, joka tunnetaan myös nimillä EuP-, ErP- ja ecodesign-direktiivi. Direktiivin tavoitteena on tuotteiden ympäristövaikutuksien pienentäminen ja energiatehokkuuden parantaminen. Ekosuunnitteludirektiivissä määritellään ympäristövaatimukset tuotteiden suunnittelulle ja sen nojalla määrätään täytäntöönpanotoimenpiteitä tuoteryhmille, joilla on suuri menekki ja suuret ympäristövaikutukset ja joissa on parannusmahdollisuuksia. Direktiivin täytäntöönpanotoimenpiteet ovat vaikuttaneet esimerkiksi televisioihin, kotien kylmäsäilytyslaitteisiin, lamppuihin ja sähkömoottoreihin. Yhtenä esimerkkinä yllä mainitun elohopeahöyrylampun ja sen suoraan korvaavien natriumlamppujen markkinoilta poistuminen 2015. (1.)

Juuri energia- ja kustannustehokkuus ovat ajankohtaisimpia kriteerejä teiden valaistuksen suunnittelussa. Valaistuksenohjausjärjestelmät ja led-tekniikka ovat kehittyneet viime aikoina paljon ja niiden suosio on kasvanut Suomessa huomattavasti. Ne tuovat hyviä mahdollisuuksia energiatehokkaan valaistuksen toteuttamiseen. Kunnilla, joilla on vielä elohopeahöyryvalaisimia käytössä, on nyt hyvät mahdollisuudet kattaa pakkosaneerauksista aiheutuvat kulut energiatehokkaan valaistusjärjestelmän tuomilla säästöillä.

2.1 Valaistustekniikan suureet

Valovirran yksikkönä toimii luumen (lm) ja se ilmaisee valonmäärää. Valotehokkuus ilmaisee valaisimen hyötysuhdetta ja energiatehokkuutta. Sen yksikkö on lm/W. Se on valonlähteen tuottama valovirta suhteessa otettuun sähkötehoon. Värintoistoindeksin avulla kuvataan värintoiston hyvyyttä. Värintoistoindeksillä eli R_a - indeksillä on arvoja nolasta sataan ja mitä korkeampi arvo on, sitä parempi on värintoisto. Valovoima ilmaisee valonvoimakkuutta eli sen intensiteettiä johonkin suuntaan. Valovoiman yksikkö on kandela (cd). Esimerkiksi yksi kynttilä vastaa valovoimakkuudeltaan n.1 kandelaa. (2, s. 2.)

Valaisimen valonjako-ominaisuuksien tarkastelua varten on olemassa valonjakokäyrä, joka ilmoittaa, mikä on lampun valovoima eri suuntiin. Valonjakokäyrä on skaalattu vastaamaan kandelaa tuhatta lumenta kohti. (3.) Valaisimien valonjako-ominaisuudet mitataan standardien SFS-EN 13201-3 ja SFS-EN 13032 mukaisesti (4, s. 90).

Valovirran alenema kuvaa valaisimen polttoajan aikana tapahtuvaa valovirran pienenemistä. Siinä ilmoitetaan prosentteina, paljonko valaisimen valovirta pienenee sen käyttöajan aikana. (5.) Esimerkiksi, jos led-valoilla jäähdytys on toteutettu huonosti, valovirranalenema kasvaa (6).

Keskimääräinen luminanssi L_m (cd/m^2) tarkoittaa kandelaa per neliometri. Suure kertoo, miten valoisa tienpinta näyttää. Keskimääräinen luminanssi vaikuttaa valonkäyttäjällä näköetäisyyteen, havaitsemiseen, suhteellisen liikkeen arviointiin ja reaktioaikaan. (4, s. 22.)

Luminanssin yleistasaisuus U_0 , joka vaikuttaa näkösuorituskykyyn, on ajoradan pienimmän luminanssin ja keskimääräisen luminanssin osamäärä. Tien pinnan luminanssin yleistasaisuus huononee pinnan ollessa märkä, ja heijastusominaisuudet pinnassa muuttuvat sitä mukaa, kun se kastuu tai kuivuu. Tällöin näkemisolosuhteet ovat huonommat kuin kuivalla tiellä. Näkemisolosuhteiden varmistamiseksi on olemassa luminanssin yleistasaisuusvaatimus U_{0w} , jonka sallittu suuruus määritellään valaistusluokituksessa. (4, s. 22.)

Luminanssin pitkittäistasaisuus U_l vaikuttaa ajo- ja näkömukavuuteen. Pitkittäistasaisuus saadaan, kun mitataan luminanssi ajokaistan keskeltä pitkittäissuuntaisesti ja lasketaan pienimmän ja suurimman luminanssin osamäärä. Luminanssin riittävyttä laskiessa pienin arvo on aina mitoittava arvo. (4, s. 22.)

Häikäisyarvo f_{TI} osoittaa, että vaikka valaistus parantaakin näkyvyyttä, se voi myös heikentää näkökenttää riippuen valaisimen tyypistä ja geometrisestä tilanteesta. Taustalla häikäisyssä on ihmissilmän hajonta, joka lisääntyy iän mukaan. Toisilla sen vaikutus voi olla kaksinkertainen verrattuna toisiin ja hyvin korkea henkilöillä, joilla sattuu olemaan esimerkiksi hoitamaton kaihi. Häiritsevä valo tuottaa epämiellyttäviä visuaalisia vaikutuksia joko paikallisesti tai suurelle alueelle. Sitä syntyy kaikessa ulkona ilmenevässä valaistuksessa, esimerkiksi tievalaistuksessa ja monumenttien sekä rakennusten valaistuksessa. Lisäksi ajoneuvojen lamput, teiden valaistusta kylteistä ja mainoksista ja jopa rakennuksista sisältä tuleva valo voi olla häiritsevää. Syntyvää häiritsevää valoa voidaan kuitenkin pienentää oikealla suunnittelulla. (7, s. 9,16.)

Valaistusvoimakkuuden yksikkö on lux (lx). Se ilmaisee valovirran tiheyttä ja se voidaan ilmaista myös lm/m^2 . Valaistussuunnittelussa keskeinen asia on riittävän suuren valaistusvoimakkuuden saavuttaminen. On olemassa vaakatason valaistusvoimakkuus, pystypinnanvalaistusvoimakkuus, pallovalaistusvoimakkuus, puolipallovalaistusvoimakkuus, sylinterivalaistusvoimakkuus ja puolisynterivalaistusvoimakkuus. (2, s. 2.)

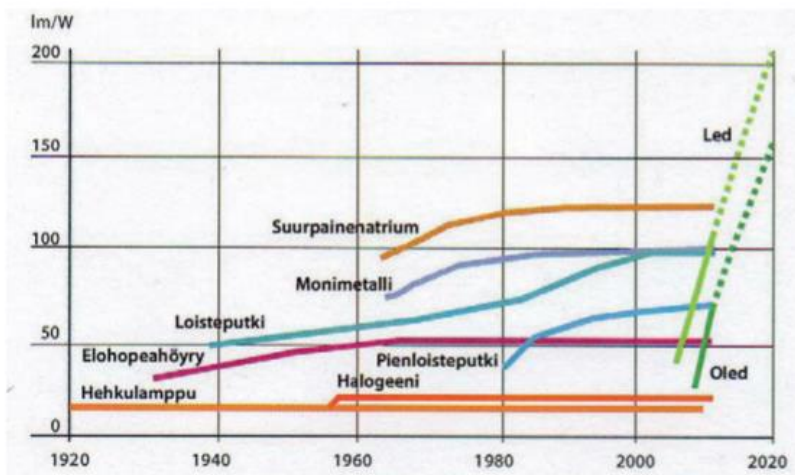
Vierialueen valaistusvoimakkuus R_{EI} käsittää ajoradan viereisen kaistan levyisen alueen keskimääräisen valaistusvoimakkuuden jaettuna lähimmän ajokaistan keskimääräisellä valaistusvoimakkuudella. Vierialueen valaistusvoimakkuus lasketaan tien molemmin puolin. (4, s. 22.)

Vaakatason keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_{hm} tarkoittaa valovirtaa per pinta-ala yksikkö. Se on ajoradan pinnan vaakatason valaistusvoimakkuuksien keskiarvo. (4, s. 22.)

Pystypinnan valaistusvoimakkuus E_{vm} on taas pystysuunnassa tarkasteltu voimakkuuksien keskiarvo. Valaistusvoimakkuuksien mittaamista käytetään tievalaistuksen laadunvalvonnassa. (4, s. 23.)

2.2 Valaisimet

Tässä luvussa käsitellään lin kunnassa käytössä olevia valaisimia, joita ovat elohopeahöyrylamppu, suurpainenatriumlamppu, monimetallilamppu, induktiolamppu ja led-lamppu. Näistä eniten käytössä ovat vielä toistaiseksi elohopeahöyry- ja suurpainenatriumlamput. Led-valaisimia lin kunnalla on jo joitain käytössä ja niiden määrä tulee nousemaan tulevaisuuden valaistussaneerausten yhteydessä. Valaisimia vertaillessa yksi suurimmista kriteereistä on lampun valotehokkuus, eli sen kyky muuttaa sähköenergia valoksi. Alla olevassa kuvassa 1 on havainnollistettu valaisimien valotehokkuuksien kehittymistä.



KUVA 1. Lamppujen valotehokkuuden kehittyminen (8).

2.2.1 Elohopeahöyrylamppu

Lampun elohopeahöyry sijaitsee ellipsin muotoisessa kuvussa suuressa paineessa ja valo saadaan aikaan siinä tapahtuvan purkauksen avulla. Valo saadaan näkyväksi loisteaineella. Lampun valotehokkuus on 20 - 45 lm/W ja väriämpötila on 3800 - 4000 K. Lampun polttoikä on n. 16 000 h. Elohopeahöyrylamppu ei tarvitse erillistä sytytintä, mutta kuten muissakin purkauslamppuissa, se tarvitsee kuristimen rajoittamaan virransyöttöä. Lamppu on ollut hyvin yleisessä käytössä Suomessa sen luotettavuuden takia. Valotehokkuus on erittäin huono ja siitä syystä ecodesign-direktiivi onkin kieltänyt sen markkinoille tuonnin 2015 alkaen. (6, s. 11.)

2.2.2 Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlampussa valo syntyy natriumhöyryssä tapahtuvan purkauksen avulla. Lamppu on erittäin valotehokas 100 - 140 lm/W, mutta sen värintoisto ei ole kovin hyvä ja valon väri on oranssia. Parhaimmillaan valaisimien käyttöikä on n. 24 000 h. Lamppu tarvitsee erillisen sytyttimen ja kuristimen. Suurpainenatriumvalaisimia on valmistettu korvaamaan suoraan elohopeahöyryvalaisimet, mutta suurin osa näistä on poistettu markkinoilta ecodesign-direktiivien vaikutuksesta 2015. (6, s. 9 - 10.)

2.2.3 Monimetallilamppu

Monimetallilamppu sisältää elohopeaa ja muita metallien yhdisteitä suuripaineisessa purkausputkessa. Valaisimen valotehokkuus on 80-120 lm/W ja värintoisto eli R_a -indeksi on 90. Parhaimmillaan monimetallilampun käyttöikä voi olla 16 000 h. Lamput vaativat sytytystä varten korkean jännitepulssein antavan sytytyslaitteen ja virran syöttöä rajoittavan kuristimen. Monimetallivalaisimet syttyvät hitaasti, kuten muutkin suuripaineiset purkauslamput esimerkiksi elohopea- ja suurpainenatriumlamput. Syttyminen voi kestää neljä minuuttia. Lamput eivät voi myöskään syttyä sammumisen jälkeen välittömästi, vaan niiden pitää jäähtyä syttyäkseen

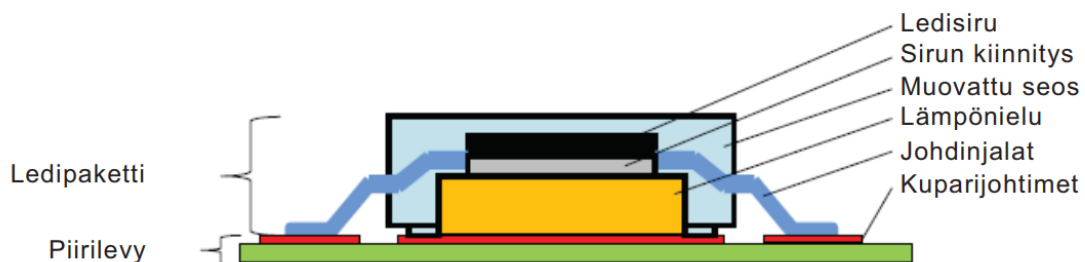
uudelleen. Ecodesign-direktiivi on vaikuttanut monimetallivalaisimien markkinoilla olevaan valikoimaan. Vuonna 2017 joitakin monimetallivalaisimia poistettiin markkinoilta energiatehokkuusvaatimusten kiristymisen takia. (6, s. 3,9.)

2.2.4 Induktiolamppu

Induktiolampussa induktiokela aiheuttaa elohopeakaasussa purkauksen, joka muutetaan valoksi loisteaineilla. Lampulla on pitkä elinikä n. 60 000h ja valotehokkuus on 80 lm/W. Vaikka käyttöikä onkin pitkä, lampun käyttö ei ole kovin hyvin yleistynyt. Valaisinta käytetään jonkin verran puistojen ja kävelyteiden varilla. (6, s. 10.)

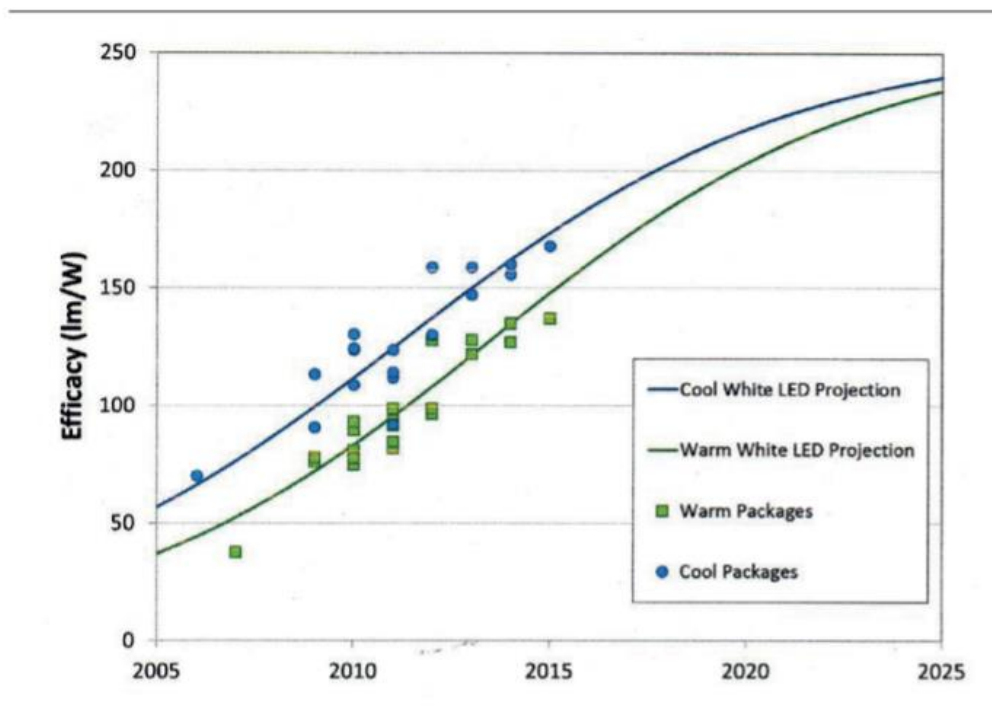
2.2.5 Led-lamppu

Ledi, joka tulee englanninkielisistä sanoista light emitting diode, on hohtodiodi, joka säteilee valoa tasavirran kulkiessa sen läpi. Led-valaisimet koostuvat ledimoduuleista, joihin on yhdistetty useita ledejä. Ledit tarvitsevat aina liitântälaitteen, joka muuttaa verkkovirran oikean suuruiseksi tasavirraksi. Liitântälaite voi olla ledimoduulissa tai erillään. Mitä isommalla virralla lediä syötetään, sitä enemmän se antaa valoa. Led-lamppujen jäähdytyksen hoito on tärkeässä osassa, koska ledistä ei poistuu energiaa, kuten lämpö- tai ultraviolettisäteilyä, vaan se jää lämmittämään sitä. (6, s. 4-7.) Kuvassa 2 on johdinjalallinen ledipaketti, jossa on eritelty tärkeät osat.



KUVA 2. Johdinjalallinen ledipaketti (9).

Ledien valotehokkuus kehittyy jatkuvasti. Kuvassa 3 on havainnollistettu valotehokkuuden kehittymistä ennusteella. Jos ledin jäähdytys on hoidettu oikein, sen elinikä voi olla yli 50 000 h. Ledien käyttöikä ilmoitetaan valovirran alenemana, joka kertoo ajan esim. 50 000 h ja prosentteina valaisimien määrän, joka saa olla kuolleena ilmoitetun ajan kuluttua. Värilämpötilaa voidaan vaihdella, mutta lämpimän sävyiset tuottavat hieman vähemmän valoa kuin kylmemmät. Yleisin tapa on käyttää sinistä lediä, joka muutetaan loisteaineella valkoiseksi valoksi. Toinen tapa saada valkoista valoa on käyttää RGB-LED:jä, jossa punainen, vihreä ja sininen loistediodi on yhdistetty. (6, s. 5.) Led-valaisemien ja -moduulien teknisen tiedon, suorituskyvyn ja eliniän esittämiseen on vaatimukset standardeissa IEC 62722-2-1 ja IEC 62717. (4, s. 89).



KUVA 3. Ennuste ledien valotehokkuuden kehittymisestä (10).

2.3 Sähköjärjestelmät

Tievalaistuksen sähköjärjestelmä lähtee liikkeelle muuntajasta, josta sähkön syöttö sähköverkolta kulutuspiireeseen alkaa. Muuntajasta syöttö viedään valaisinkeskukselle ja sieltä edelleen ryhmäjohtoina valaisimien liitäntälaitteelle, joka yhdistetään valaisimeen. Tässä luvussa kerrotaan valaistusjärjestelmää syöttävästä johtoverkosta, valaistusjärjestelmän sähköisistä suojuuksista ja vaatimuksista.

2.3.1 Sähkönsyöttö

Johtoverkko koostuu liittymisjohdosta, pääjohdosta, ryhmäjohtosta, valaisinjohtosta ja mahdollisesta ohjausjohdosta. Jakeluverkolta syöttö valaistuskeskukselle viedään liittymisjohdolla. Liittymisjohto on yleensä taajamissa maakaapelia, mutta taajamien ulkopuolella käytetään myös ilmajohtoa. Pääjohto syöttää sähköä jakokeskukseseen tai -keskuksiin. Valaisinryhmiä syötetään ryhmäjohtoilla, jotka voivat olla maakaapelia tai ilmajohtoa, riippuen esim. pylvästyypistä. Kaapelina käytetään yleensä alumiinikaapeleita AMCMK tai AXMK ja ilmajohtoina käytetään yleensä AMKA-riippukierrejohtoa. Poikkipinta-ala vaihtelee 16-35 mm². Valaisinjohto on joko hyvin säänkestävää MPK-pylväsjohtoa tai MMJ-johtoa poikkipinta-alaltaan 2,5 mm². Valaisinjohto yhdistää valaisimen ja pylväessä sijaitsevan kytkentäkalusteen. (4, s. 105-106.)

Ulkovalaistuskeskus syöttää valaisinryhmiä. Keskus on yleensä maassa tai pylväeseen kiinnitetyssä jakokaapissa ja joissain erikoistapauksissa myös pylväessä tai siltarakenteessa. Valaistuskeskusten kotelointiluokan pitää olla minimissään IP34, eli se on roiskeenpitävä. (4, s. 107.) Keskukset sisältävät yleensä suojalaitteet (pääsulakkeet, ryhmäsulakkeet, ohjaussulakkeet), kytkimet, ohjauslaitteet ja mahdollisesti energiamittarin sekä tarpeelliset kiskot sähkön syötölle. lissä käytetään pylväisiin kiinnitettäviä kaappikeskuksia tai erilleen maahan asennettavia kaappikeskuksia. Kuvassa 4 on lin Sorosentiellä oleva pylväeseen kiinnitetty ulkovalaisinkeskus.



KUVA 4. Sorosentien kaappikeskus pylväässä.

2.3.2 Oikosulku- ja kosketusjännitesuojaus

Automaattisen poiskytkennän suojalaitteet mitoitetaan siten, että ne katkaisevat suojattavalta laitteelta syötön niin, että jännitteisen osan ja johtavan osan välisen vian aikana, ei tulisi niin suuria kosketusjännitteitä, että johtavien osien yhtäaikainen koskettaminen aiheuttaisi fyysisiä vammoja. Johdonsuojakatkaisijoiden on oltava selektiivisiä, jotta varmistuu suojiin oikeanlainen toiminta. (4, s. 112.) Ulkovaalaistusverkko rinnastetaan jakeluverkkoon ja näin ollen ulkovaalaistusverkon automaattisessa poiskytkennässä on käytettävä viiden sekunnin poiskytkentäaika. Pienin sallittu oikosulkuvirta silloin, kun pääsulake on vähintään 25 A, pitää olla 250 A. Jos tätä ei ole mahdollista saavuttaa, on hyväksyttävää käyttää myös 180 A oikosulkuvirta-arvoa, jos käytetään B-tyypin johdonsuojakatkaisijoita tai standardin SFS-EN 60269 mukaisia gG-sulakkeita tai vikavirtasuojia. (11.)

2.3.3 Maadoitukset

Ulkovaalaistuslaitteiden kuuluu olla suojaeristettyjä tai suojamaadoitettuja. Valaisinryhmillä käytetään yleensä TN-C jakelujärjestelmää, jossa nollajohdin ja suojajohdin on yhdistetty PEN-johtimeksi, joka hoitaa molempien tehtävät. Valai-

similla taas käytetään nollajohtimesta erillään olevaa maadoitusjohtoa, joka kytetään ryhmäjohtoon PEN-johtimen kanssa kytkentäkalusteen PE-liitäntään. Jos ryhmäjohtimen äärijohtimien poikkipinta-alana joudutaan käyttämään pienempää kuin 10 mm²:n kuparijohtoa tai 16 mm²:n alumiinia, johdossa täytyy olla myös erillinen suojajohtin. Tällöin kyseessä on TN-C-S-järjestelmä. SFS 6000 -standardin mukaan ulkovalaistusverkon nollajohtin käyttömaadoitetaan enintään 200 m etäisyydellä järjestelmän syöttöpisteestä ja jokaisen yli 200 m pituisen johdon tai johtohaaran loppupäässä tai enintään 200 m etäisyydellä loppupäästä. (4, s. 112.)

Valaisinpylväiden maadoitus hoidetaan standardien SFS 6000-5-54 ja 6000-4-41 mukaisesti. Pylvään PEN-johdin maadoitetaan kaapeliotaan ja valaistusryhmien maadoitukset yhdistetään ryhmien viimeisistä valaistuspylväistä 16 mm²:n kuparijohtimella. AMKA-ilmajohtoasennuksissa metallipylväillä maadoitus vietään pylvään sisältä maahan. Tämänkaltaisissa valaistusverkossa pylvästä ei tarvitse suojamaadoittaa, mutta suojajohtimen pitää olla 150 mm äärijohtinta pitempi. Pylvään pinnalle asennetut maadoitusjohtimet suojataan 2 m korkeuteen asti. Valaisinkeskusten maadoituksissa käytetään pystymaadoitussauvoja ja 16 mm² kuparijohtinta. (12, s. 189.)

2.3.4 Ylikuormitussuojaus

Ylivirtasuojia on käytettävä kaikissa äärijohtimissa, jotta niissä mahdollisesti syntyvä vikavirta ei vahingoita termisesti tai mekaanisesti eristystä, jatkoksia, liittimiä tai johtimien lähellä olevia materiaaleja. Ylivirtasuojia katkaisee virran johtimesta, jossa ylivirta kulkee. Jotta suojalaite toimii oikein, on sen täytettävä seuraava ehto. Johtimen jatkuva kuormitettavuus on oltava suurempi tai yhtä suuri kuin suojalaitteen nimellisvirta ja taas suojalaitteen nimellisvirta on oltava yhtä suuri tai suurempi kuin piirin suunniteltu virta. Kaavat 1 ja 2 esittävät asiaa kaavamuodossa. (13, s. 6-8)

$$I_B \leq I_n \leq I_z$$

KAAVA 1

$$I_2 \leq 1,45xI_z$$

KAAVA 2

missä:

I_B on piirin suunniteltu virta

I_n on suojalaitteen mitoitusvirta

I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus

I_2 on virta, joka varmistaa suojan toimimisen oikeassa ajassa.

TT- ja TN-järjestelmissä nollajohtimen ylivirtasuojauksen välttämättömyys riippuu johtimen poikkipinta-alasta äärijohtimeen nähden. Kun nollajohdin on yhtä suuri tai suurempi kuin äärijohtin, siinä ei tarvitse olla virtaa ilmaisevaa laitetta tai poiskytkentälaitetta. Kun nollajohdin on pienempi kuin äärijohtimet, nollajohtimessa kulkevan ylivirran täytyy aiheuttaa suojan laukeaminen äärijohtimilla. Nollajohtimissa täytyy joka tapauksessa toteuttaa suojaus oikosulkuvirralla, mutta se voidaan toteuttaa käyttämällä äärijohtimissa ylivirtasuojia. (13, s. 6.)

2.3.5 Jännitteenalenema

Valaistusverkon suunnitteluvaiheessa on otettava huomioon sallittu jännitteenalenema. Sähkönlaatuun vaikuttava jännitteenalenema saa olla tievalaistuksessa purkauslamppuja käytettäessä $\pm 6\%$ nimellisjännitteestä. Alhainen jännite saattaa aiheuttaa sen, että valaisimet syttyvät eri tahtiin tai sammuvat ja syttyvät satunnaisesti. Hetkittäistä jännitteenalenemaa aiheuttavat myös sysäyksenomaiset kuormat jakeluverkossa, mikä voi aiheuttaa valojen välkkymistä. Lyhytaikainen suuri jännitteenalenema voi sammuttaa purkauslampun jopa muutamaksi minuutiksi. Sammuttuaan purkauslampun täytyy ensin jäähtyä, jotta se voi syttyä uudelleen. Jatkuva alijännite aiheuttaa lampun valovirran pientymistä ja tarpeellista valaistustasoa ei välttämättä saavuteta. Suunnittelussa jännitteenaleneman suuruus varmistetaan tekemällä laskelmat valaisimien syttymisvirtojen mukaan. (4, s. 110-111.)

2.3.6 Ylijännitesuojaus

Tievalaistus pitää suojata ylijännitteeltä ilmaston aiheuttamien ylijänniteriskien takia. Keskuksien, sähkönjakolaitteiden ja valaisimien impulssijännitesuojausten täytyy noudattaa taulukon 1 vaatimuksia. Keskuksat kuuluvat ylijänniteluokkaan IV, joka tarkoittaa 230/400 voltin jännitetasolla 6 KV suuruisen impulssijännitteen kestävyttä. Ryhmälähdöillä, jotka sisältävät elektroniikkaa, ylijänniteluokka on III, jossa impulssijännitteen kestävyys on 4 KV ja valaisimilla luokka II, jossa impulssijännitteen kestävyys 2,5 KV. (4, s. 111.)

TAULUKKO 1. Impulssijännitteiden sallittu suuruus jännitetasoittain (14, s. 16).

Asennuksen nimellisjännite ^a	Nimellisjännitteistä johdettu jännite äärijohtimesta maahan AC ja DC	Laitteille vaadittu impulssiylijännitteen kestävyys ^b			
		kV			
		Ylijänniteluokka IV (Laitteet, joilla on erittäin korkea impulssiylijännitteen mitoitusarvo)	Ylijänniteluokka III (Laitteet, joilla on korkea impulssiylijännitteen mitoitusarvo)	Ylijänniteluokka II (Laitteet, joilla on normaali impulssiylijännitteen mitoitusarvo)	Ylijänniteluokka I (Laitteet, joilla on pienennetty impulssiylijännitteen mitoitusarvo)
V	V	Esimerkiksi energiamittarit, kauko-ohjausjärjestelmät	Esimerkiksi jakokeskukset, kytkimet, pistorasiat	Esimerkiksi jakelulaitteet, kotitalouslaitteet, työkalut	Esimerkiksi herkäät elektroniset laitteet
120/208	150	4	2,5	1,5	0,8
230/400	300	6	4	2,5	1,5
400/690	600	8	6	4	2,5
1000	1000	12	8	6	4
1500 DC	1500 DC	15 ^d	10 ^d	8 ^d	6 ^d

^a SFS-EN 60038 mukaan
^b Tämä jännite johdetaan äärijohtimien ja suojajohdinpiirin välille.
^c Jännitteillä 220 – 240 V toimivilla IT-järjestelmillä pitäisi käyttää 230/400 riviä johtuen jännitteestä maahan maasulun esiintyessä yhdessä piirissä.
^d Suositellut arvot perustuvat IEC/TR 60664-2-1 liitteeseen D.

KytKentäylijännitteet ovat yleensä pienempiä kuin ilmaston aiheuttamat ylijännitteet. Tämän takia ilmastollisiin ylijännitteisiin varautuminen on myös kytKentäylijännitteisiin varautumista. (14.)

2.4 Ohjausjärjestelmät

Tässä luvussa käsitellään yleisimpiä tapoja ohjata sähkönsyöttöä tievalaisimille tai ohjata valaisimien tuottaman valon määrää, tavoitteena valaistuksen viihty-

syys, järkevyyys ja energiatehokkuus. Selvitetään myös sitä, mitä tarkoittaa ajan-kohtainen älykäs valaistus ja miten sillä voidaan vaikuttaa tievalaistuksen energi-ankulutukseen.

2.4.1 Ohjaustavat

Tievalaistuksen ohjaustapoja ovat paikallinen ohjaus, ketjuttaminen, erillinen viestiverkko, keskitetty ohjaus ja valaisinkohtainen ohjaus. Paikallisohjauksessa ohjaustieto tulee keskukseseen sijoitetun hämärä- tai kellokytkimen avulla. Ketjut-tamisessa jokaisella keskuksella ei ole omaa erillistä kello- tai hämäräkytkintä vaan keskuksat ovat yhteydessä joko erillisten ohjauskaapeleiden kautta tai oh-jaus tulee lähimmästä naapurikeskuksen valaisinpisteestä. (4, s. 104.)

Erillinen viestiverkko voidaan toteuttaa langattomasti tai langallisesti. Langallinen viestiverkko toteutetaan heikkovirtajärjestelmällä. Langaton viestiverkko voidaan toteuttaa omalla radiotaajuudella, GSM- tai WLAN-yhteydellä. Tällä ohjauksella toteutetussa järjestelmässä täytyy olla varmennuksena paikallisohjaus, joka toi-mii langattoman yhteyden katketessa tarpeeksi pitkäksi aikaa. Keskitetty ohjaus toteutetaan radio- tai GSM-kauko-ohjausjärjestelmällä ja se sopii alueille, joissa valaistusverkko on yhtenäinen. Keskitetyllä ohjauksella vältetään eri aikoihin ta-pahtuville syttymisiltä ja sammumisilta. (4, s. 104.)

Valaisinkohtainen ohjaus on nykyajan ja tulevaisuuden ohjaustapa. Tämä oh-jaustapa käyttää hyväkseen valaisimien kaksisuuntaista tiedonsiirtoa. Ohjauksen toteuttamiseen on useita eri tapoja ja valaisinkohtaiseen ohjaukseen liittyvä tek-niikka kehittyy nopeasti. Ohjaus voidaan toteuttaa mm. langattomana ohjauksena GSM-, WLAN- tai radiotaajuudella. (4, s. 104.)

Valon määrää voidaan myös himmentää. Se toteutetaan valaistusluokkien avulla niin, että himmennys ei vaikuta luminanssin tasaisuuteen. Muutos voi olla maks-imissaan kaksi valaistusluokkaa. Nykyisissä purkausvalaisimissa valonmäärää säädetään kaksitehokuristimien ja releiden avulla yksiportaisesti. Yksiportai-nessa säädössä energiankulutus pienenee 25-40 % ja luminanssi laskee 35-

50%. Led-valaisimille suositellaan kaksiportaista himmennystä, jolloin energiankulutus pienenee ensin 25-40 % ja toisessa portaassa 50-60%. Taulukossa 2 kuvataan valaistuksen ajoittaista vähentämistä valaistusluokkien avulla. (4, s. 15.)

TAULUKKO 1. Valaistuksen ajoittainen vähentäminen valaistusluokittain. Ensimmäisessä sarakkeessa suluissa ovat vanhat vastaavat valaistusluokat. Sarakkeissa 2 ja 3 suluissa olevat luokat poistuvat, kun taulukkoa käytetään yksiportaiseen himmennykseen. (4, s. 15.)

Valaistusluokka	Muuttuva valaistus	Jäljelle jäävä keskimääräinen luminanssi %
M1 (AL1)	M1 – (M2) – M3 – (M2) – M1	100 – (75) – 50 – (75) – 100
M2 (AL2)	M2 – (M3) – M4 – (M3) – M2	100 – (70) – 50 – (70) – 100
M3a (AL3)	M3 – (M4) – M5 – (M4) – M3	100 – (75) – 50 – (75) – 100
M3b (AL4a)	M3 – (M4) – M5 – (M4) – M3	100 – (75) – 50 – (75) – 100
M4 (AL4b)	M4 – (M5) – M6 – (M5) – M4	100 – (70) – 40 – (70) – 100
M5 (AL5)	M5 – (M6) – P5 – (M6) – M5	100 – (60) – 40 – (60) – 100
M6	M6 – P6 – M6	100 – 50 – 100
Valaistusluokka	Muuttuva valaistus	Jäljelle jäävä keskimääräinen valaistusvoimakkuus %
P1 (K1)	P1 – (P2) – P3 – (P2) – P1	100 – (70) – 50 – (70) – 100
P2 (K2)	P2 – (P3) – P4 – (P3) – P2	100 – (75) – 50 – (75) – 100
P3 (K3)	P3 – (P4) – P5 – (P4) – P3	100 – (70) – 40 – (70) – 100
P4 (K4)	P4 – (P5) – P6 – (P5) – P4	100 – (60) – 40 – (60) – 100

Valaistuksen liitälaitteiden ohjauksessa on käytetty väylätekniikkana Dali-väylää tai 1-10 v analogista ohjausta. 1-10 V:n analogisessa ohjauksessa liitälaitetta ohjataan säätämällä ohjausjännitettä 1 V:n ja 10 V:n välillä. Dali eli Digital Addressable Lighting Interface on digitaalinen ja väyläpohjainen ohjausjärjestelmä, joka mahdollistaa tiedon kulkeutumisen molempiin suuntiin. Järjestelmän ovat kehittäneet monet suuret liitälaitteiden valmistajat yhteistyössä esim. Helvar, Osram, Philips ja Tridonic. Dali-järjestelmän avulla liitälaitteet, ohjauspaneelit, tunnistimet ja ohjelmointiyksiköt voivat viestiä keskenään. Järjestelmässä tieto kulkeutuu kaksinapaisen kaapeloinnin kautta. Kaapelit yhdistetään valaisimeen normaalien vaihe-, nolla- ja suojajohtimien lisäksi. (15.)

2.4.2 Älykäs valaistuksen ohjaus

Älykäs valaistus tulkitsee ympäristöönsä, kerää ja välittää tietoa muille laitteille sekä hyödyntää saamaansa tietoa valaisemisessa. Valaistus sopeutuu tilanteeseen järjestelmän keräämän tiedon perusteella. Valaistus kirkastuu siellä, missä liikeanturi havaitsee liikettä ja himmenee, kun anturi ei havaitse liikettä tietyn ajan aikana. Älykäs valaistusjärjestelmä voidaan toteuttaa esimerkiksi pilvipohjaisella ohjelmistolla, joka vastaanottaa tietoa valaisimilta ja jolla voi säätää ja valvoa valaistusta ja sen säätötapoja. Älykäs valaistusjärjestelmä tuottaa monenlaista tietoa valaisimien käyttökohteesta, esimerkiksi liike- ja lämpötilaraportteja, liikeväylien liikemäärä- ja nopeustietoja, valaistuksen huollontarpeen tietoja ja viallisen valaisimen sijaintitietoja. Tällainen järjestelmä voi käyttää myös hyväkseen ulkoisia tiedonlähteitä kuten liikennetiheys, sähkön hinta ja säätila. (16.)

Tässä työssä esimerkkitapauksena älykkäälle valaistukselle on toiminut lin Micropoliksessa oleva Lumine Lighting Solutionsin ohjausjärjestelmällä ja Easyledin valaisimilla toteutettu älykäs valaistusjärjestelmä. Tästä kerrotaan enemmän luvussa 3.4.1.

2.4.3 Älykkään valaistuksen vaikutus energiankulutukseen

Energiaa älykkäällä valaistuksella säästetään vähentämällä valaistuksen käyttöaika ja pienentämällä valaistustehoa eli vähentämällä valaisimen tuottaman valon määrää tilanteen sallitessa. Todella ratkaisevaa on valaistusjärjestelmän oikeanlainen tilanteeseen ja kohteeseen sovitettu suunnittelu. Energiatehokkuuteen vaikuttavat asiat valaistuksen suunnittelussa voidaan lokeroida kolmeen osa-alueeseen: valaistustapa ja valaisinsijoittelu, tarpeenmukainen käyttö ja ympäristö tai tila. Valaistustapaan liittyvät valaisimen valotehokkuus, hyötysuhde ja liitäntälaitteet ja valaisimien sijoitteluun valonjako- ja väriominaisuudet. Tarpeenmukainen käyttö sisältää ohjauksen ja valonmäärän optimoinnin. Ohjaus voidaan toteuttaa käsiohjauksella, läsnäolo-ohjauksella, aikaohjauksella ja tilanteenmukaisella ohjauksella, esimerkiksi vakiovalovirtaohjauksella ja ohjauksella liikenne-

määrän mukaan. Ympäristö tai tila sisältää esimerkiksi luonnonvalon ja rakenteiden hyödyntämisen. Ympäröivän alueen valaistus tai sisätiloissa pintojen heijastus vaikuttavat energiatehokkuuteen. (17.)

2.5 Valaistusluokat

Tievalaistuksen täytyy olla niin laadukasta, että tienkäyttäjä pystyy ilman vaikeuksia huomaamaan muut tiellä liikkujat tai tiellä olevat esineet sekä arvioimaan niiden nopeuksia ja etäisyyksiä. Tienkäyttäjän pitää saada tiestä ja sen jatkuvuudesta oikeanlainen kuva, eikä valaistus saa aiheuttaa tiellä liikkuville näköhäiriötä. Vaatimukset valaistukselle muuttuvat olosuhteiden ja ympäristön mukaan. Tätä varten on olemassa valaistusluokat, jotka määritellään valaistusteknisillä suureilla ja niitä voidaan soveltaa erilaisille teille. (4, s. 22.) Valaistusluokkien vaatimukset riippuvat tien käyttäjän tyypistä. M-luokat perustuvat pinnan luminanssiin, kun taas P- ja C-luokat perustuvat tiealueen valaistusvoimakkuuteen. (7, s. 4.)

Valaistusluokat on luotu takaamaan käyttäjille hyvä näkyvyys ulkovalaistusalueilla ja tukemaan liikenteen turvallisuutta ja sujuvuutta sekä yleistä turvallisuutta (18, s. 4). Oikeanlaisen valaistusluokan avulla saadaan hyödynnettyä näitä asioita edistävät vaikutukset. Valaistuksella täytyy olla määrätty valaistustekniset ominaisuudet, jotka määritellään luokituksessa. Käytössä olevat luokat ovat M-, C- ja P-luokat sekä erikoistapauksia varten lisäluokat, joita ei tässä työssä käsitellä. (4, s. 24.)

2.5.1 M-luokat

M-luokat (taulukko 3) on tarkoitettu moottoriajoneuvon kuljettajille teillä ja kadulla keskivertonopeuksilla ja suurilla nopeuksilla (18, s. 9). Taulukossa on määritelty kuivan ja märän ajoradan luminanssi sekä estohäikäisy f_{TI} ja vierialueen valaistus R_{EI} .

TAULUKKO 3. Luminanssi, estohäikäisy ja vierialueen valaistus valaistusluokittain. Taulukkoon on merkitty myös vastaavat vanhat valaistusluokat (4, s. 24).

Valaistusluokka	Kuivan ja märän ajoradan luminanssi				Estohäikäisy	Vierialueen valaistus
	Kuiva			Märkä	Kuiva	
	L_m cd/m ² 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

2.5.2 C-luokat

Valaistusluokka C (taulukko 4) on tarkoitettu konfliktiliikenneväylille, joissa liikenne on pääosin moottoroituja ajoneuvoja. Tällaisia konfliktialueita ilmenee tapauksissa, joissa ajoneuvovirrat risteävät toisiaan tai ajautuvat alueille, joissa on myös muita tienkäyttäjiä, kuten kävelijöitä tai pyöräilijöitä. C-luokan alueeksi luokitellaan myös alueet, joissa on normaalia vähemmän kaistoja tai ne ovat kapeita. Kyseisillä alueilla on suurempi mahdollisuus törmäyksille ja tapaturmille. Luminanssiin perustuva ajattelu ei ole välttämättä mahdollista, esimerkiksi lyhyen näkyvyyden takia, joten suunnittelukriteerinä käytetään vaakataason valaistusvoimakkuutta. (18, s. 10.)

TAULUKKO 4. Vaakatason valaistusvoimakkuus valaistusluokittain. Taulukkoon on merkitty myös vastaavat vanhat valaistusluokat (4, s. 25).

Valaistusluokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus	
	E_{hm} lx, min	U_o min
C0 (AE0)	50	0,40
C1 (AE1)	30	0,40
C2 (AE2)	20,0	0,40
C3 (AE3)	15,0	0,40
C4 (AE4)	10,0	0,40
C5 (AE5)	7,50	0,40

2.5.3 P-luokat

Valaistusluokka P (taulukko 5) on tarkoitettu pääasiallisesti jalankulkijoille ja pyöräilijöille jalkakäytävillä ja pyörävyylillä sekä moottoroitujen ajoneuvojen kuljettajille mm. matalien nopeuksien kaduilla, pysäköintialueilla ja piholla. Jalankulkijoiden näkyvyyden tarpeellisuus ja sen merkitys eroaa ajoneuvojen kuljettajista monella tavalla. Liikkuminen on yleisesti ottaen hitaampaa ja etäisyydet pienempiä verrattuna ajoneuvojen kuljettajiin. Näitä asioita onkin huomioitu valaistusluokan valitsemiseen tehdyn taulukon parametreissä ja valintavaihtoehdoissa. (18, s. 12.)

TAULUKKO 5. Vaakatason valaistusvoimakkuus valaistusluokittain. Taulukkoon on merkitty myös vastaavat vanhat valaistusluokat (4, s. 26).

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.

2.5.4 Valaistusluokan määrittäminen

SFS 13201-standardi määrittelee kaksi eri tapaa valaistusluokan selvittämiseen. Toinen perustuu valaistusluokan selvittämiseen ja toisella saadaan selville valaistusluokan lisäksi siihen vaadittu luminanssi tai valaistusvoimakkuus kohteesta riippuen. Samalla selviää myös valaistusvoimakkuuden ja luminanssin pienimmät ja suurimmat mahdolliset arvot. Luokkien soveltamiseen vaikuttavat käsiteltävän alueen tai tien geometria ja liikenne- ja aikakohtaiset olosuhteet. (18.)

Valaistusluokan selvittämiseen on standardissa SFS-EN 13201 luotu taulukko, joka sisältää parametrejä, jotka vaikuttavat luokan määrittämiseen, ja niiden eri vaihtoehdoille painoarvoja. Valaistusluokka saadaan selville, kun valitaan näille parametreille oikeat painoarvot kohteen tietojen mukaisesti. Valaistusluokkaan vaikuttavat parametrit ovat esimerkiksi nopeusrajoitus, liikenteen tiheys ja tyyppi sekä liittymien tiheys. Standardissa on määritelty valaistusluokille M, C ja P omat taulukot ja parametrit, joiden mukaan valaistusluokka valitaan. Liitteessä 3 on M-valaistusluokan valitsemiseen tehty taulukko Liikenneviraston Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnitteluohjeesta 2015. (18.)

Vaihtoehtoinen ratkaisu selvittää valaistusluokka sisältää viisi eri kerrointa, jotka on liitetty standardeissa määritettyihin parametreihin. Jokaiselle parametrille on

luotu oma kerroin. Kolmella ensimmäisellä parametrilla, jotka ovat tien tyyppi ja nopeusrajoitus, liikenteen tyyppi ja liikenteen tiheys, on aina vaikutus luokan valintaan. Kaksi viimeistä parametriä, jotka ovat ympäröivä valaistus ja valaistuksen henkinen vaikutus, vaikuttavat ainoastaan, jos niillä on kohteessa iso merkitys. Nämä kertoimet kerrotaan keskenään ja näin saadaan kerroin, joka sisältää vaikuttavat muuttujat. Tämän lopullisen kertoimen avulla saadaan standardissa SFS-EN 13201 sijaitsevaa diagrammia käyttäen selville valaistusluokka ja luminanssin tai valaistusvoimakkuuden arvo. Sovellettaessa älykkääseen valaistukseen tämä tapa tarjoaa mahdollisuudet tarkempaan tarkasteluun. (18.)

3 ENERGIATEHOKAS KUNTA

lin kunta kuuluu HINKU eli Kohti hiilineutraalia kuntaa –hankkeen jäsenistöön ja on sitoutunut työ- ja elinkeinoministeriön energiantehokkuussopimuksessa määritettyyn säästöön. Tavoitteena lin kunnalla on uusiutuvan energian käytön lisääminen sähkön- ja lämmöntuotannossa, hajautetun energiatuotannon tukeminen ja energiatehokkuuden parantaminen kunnan toimissa ja kunnassa toimivissa yrityksissä ja kodeissa. li kuuluu myös FISU eli Finnish Sustainable Communities –verkostoon, jonka tavoitteena on hiilineutraalisuus, jätteenkierrätys ja maailmanlaajuisesti kestävä kulutus vuoteen 2050 mennessä. FISU:ssa ovat edustettuina Sitra, ympäristöministeriö, työ- ja elinkeinoministeriö, liikenne- ja viestintäministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, Tukes, Kuntaliitto, Motiva ja Suomen ympäristökeskus. (19.)

lin kunnalla on käynnissä Resurssiviisas kunta 2050 mennessä -prosessi, jonka on tarkoitus edesauttaa asetettujen ympäristöystävällisten tavoitteiden saavuttamista. Prosessin kohdeaiheina ovat energiantuotanto ja -kulutus, liikkuminen ja yhdyskuntarakenne, kulutus ja materiaalikierrätys, ruoan tuotanto ja kulutus sekä vedenkäyttö ja luonnonvedet. Energiantuotantoon ja -kulutukseen liittyen tavoitteena on fossiiliton ja hiilineutraali energiantuotanto, energian säästäminen kodeissa, julkisella sektorilla ja yrityksissä sekä energia- ja tilatehokkuus. (20, s. 3-6.)

li pyrkii saavuttamaan rakennusten energiankäytössä ja kustannuksissa säästöjä muun muassa 50/50 menetelmän avulla. Menetelmä sisältää 9 vaihetta, joissa rakennusten käyttäjät ovat mukana energiankäytön hallintaprosessissa ja heitä opastetaan ympäristöystävälliseen toimintaan. Menetelmästä aiheutuvat säästöt jaetaan rakennusten käyttäjien ja kunnan kesken. lissä on järjestetty myös tiedotuskampanjoita ja yhteishankintoja aurinkoenergian käyttämiseen liittyen. Energiankulutuksen suhteen tavoitteena on 10,5 prosentin säästö vuoteen 2025 mennessä. Tievalaistuksen uusiminen tuo erinomaisia säästömahdollisuuksia energiankulutukseen. (20, s. 3-6.)

3.1 Rahoitukset ja hankeavustukset

Yritysten, kuntien ja muiden yhteisöiden on mahdollista saada tukea työ- ja elinkeinoministeriöltä energiahankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian käyttöä tai tuotantoa, energiansäästöä tai sen tuotannon ja käytön tehostamista tai energiajärjestelmän muuten muuttamista vähähiiliseksi. Hankkeisiin, joihin työ- ja elinkeinoministeriö voi myöntää tukea, kuuluu energiatehokkuussopimusjärjestelmään kuuluvat tavanomaisen teknologian hankkeet, demonstraatiohankkeet uudella teknologialla ja ESCO-hankkeet. TEM määrittelee, että tukea voidaan myöntää tilanteessa, jossa hanketta tai siihen sisältyvää uutta teknologiaa ei toteutettaisi ilman tukea. Investointi- tai selvityshankkeessa ei saa olla tehty sellaista sitoutumista investoimiseen, jonka jälkeen hankkeen peruuttaminen ei ole mahdollista ilman suuria taloudellisia menetyksiä. (21.)

ESCO (Energy Service Company) on yritys, joka toimittaa, asentaa ja rahoittaa projekteja, jotka on suunniteltu parantamaan energiatehokkuutta ja pienentämään huoltokustannuksia 7-10 vuoden aikajaksolla. ESCO:lla on yleensä monenlaisia tehtäviä projektinkehittäjänä ja projektien suorittamiseen ja teknisiin riskeihin liittyviä arviointeja. Tyypillisesti ESCO tarjoaa seuraavia palveluja: energiatehokkuusprojektien kehittäminen, suunnittelu ja rahoitus, energiatehokkuusvarusteluun liittyvät asentamiset ja huollot, projektien energiasäästöjen mittaus, valvonta ja todentaminen sekä projektien energiasäästöjen toteutuksien riskiarvioinnit. Nämä palvelut on sisällytetty projektin hintaan ja maksetaan projektien tuottamalla kustannussäästöillä. Motivan ESCO-konsepti on rajattu energiasäästöinvestointeihin. Pienessä mittakaavassa ESCO-projekti sisältää energiansäästötoimenpiteen tunnistuksen, rahoituksen järjestämisen, energiansäästötoimenpiteen toteuttamisen ja säästövaikutusten todentamisen. Näiden lisäksi heidän tarjontaansa voi kuulua käyttö- ja huoltotoimintaa, koulutusta, energianseurantaa ja energianhankintaa. (22, s. 6-7.)

3.2 Digitointi Trimble NIS -ohjelmaan

Opinnäytetyön yksi osa oli lin kunnan katuvalaistuksen siirtäminen Trimble NIS ohjelmistoon. Toimeksiantona oli saattaa kaikki saatavilla oleva tieto lin kunnan katuvalaistuksesta digitaaliseen muotoon. Katuvalaistuksesta oli olemassa aikaisemmassa opinnäytetyössä tehtyjä pistepiirustuksia valaisimien sijainnista, määrästä ja pylvästyyteistä sekä suunnitelmakarttoja, joista oli saatavissa valaisimien lukumäärän ja sijainnin lisäksi myös tietoja valaisintyyteistä, kaapeloinnista, johdotuksista, ryhmityksistä ja kaapeli/johtotyyteistä. Lin kunnalla käytössä olevan Caverionin katuvalaistuksen ohjausjärjestelmän pilvipalvelun avulla saatiin digitoitua kaikki järjestelmässä käytössä olevat katuvalaistuskeskukset ja niiden tunnuksset. Työ toteutettiin lin Energian tiloissa, joka myös perehdytti ohjelmiston käyttöön.

Lin kunnan katuvalaistuksen dokumentointi oli päivityksen tarpeessa, koska dokumentointi oli pääosin vanhoja suunnitelmakarttoja ja karttapohjalla olevia pistesijoituspiirustuksia kuvina. Saattamalla katuvalaistusverkko digitaaliseen muotoon voidaan siitä tehdä sähköiset laskelmat ja sitä voidaan helposti päivittää. Kun katuvalaistusverkko on kokonaisuudessaan digitoitu ja tarpeelliset tiedot päivitetty, on ohjelmasta iso apu valaistuksen suunnittelussa. Kuvassa 5 on esimerkki työssä käytetyistä pistesijoituspiirustuksista, jotka on saatu opinnäytetyöstä lin kunnan katuvalaistuksen nykytila vuodelta 2014.



KUVA 5. Pistesijoituspiirustus valaisimista ja pylväistä (23, s. 50).

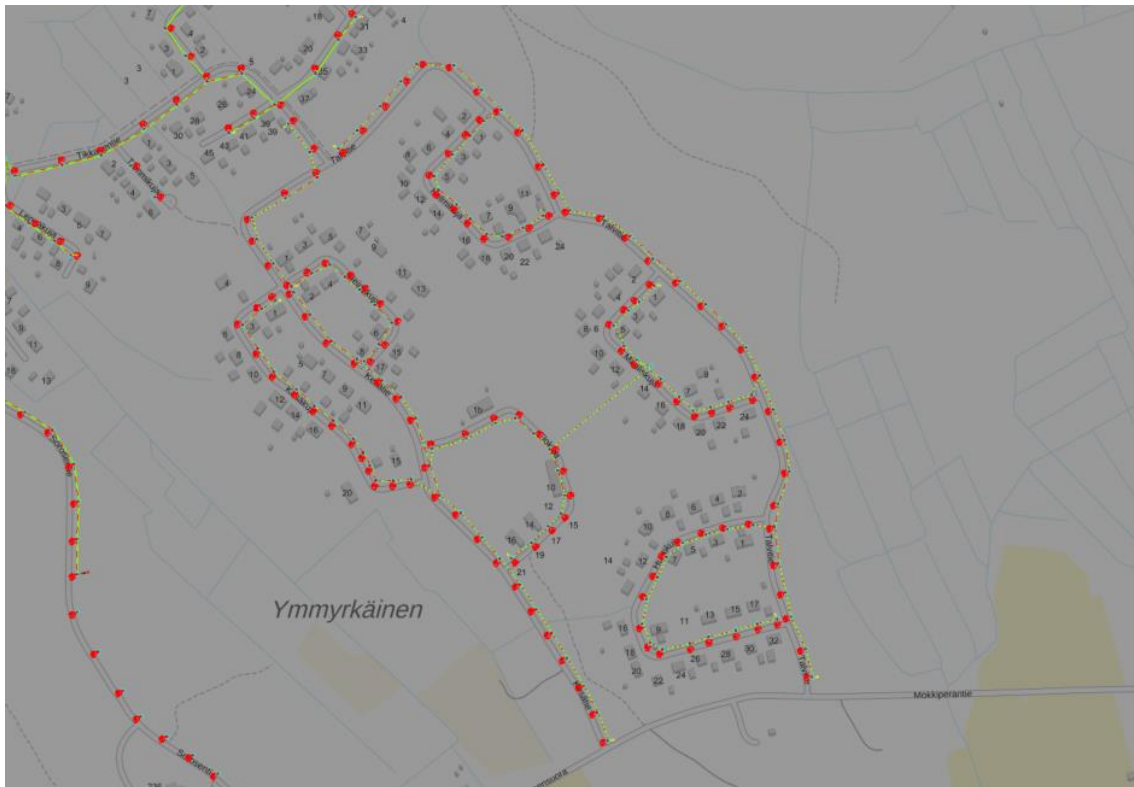
Dokumenttina oli myös valmiita valaistussuunnitelmia, joista oli hyödynnettävissä lähes kaikki tarpeellinen tieto. Kuvassa 6 on esimerkki kyseisestä kartasta lin Tikkasenharjun alueelta.



KUVA 6. Tikkasenharjun katuvalaistus suunnitelma (24).

Lopputuloksena olemassa olevien karttojen digitoimisesta muodostui katuvalaistusverkko. Verkon yksilöintitiedot ovat vielä hatarat ja ne tarvitsevat suurelta osin vielä tietojen lisäämistä. Työn tavoitteet kuitenkin saavutettiin ja valaistusverkon

digitoimista jatketaan kesätöinä. Silloin lisätään puuttuvat tiedot Trimble NIS -ohjelmaan. Tietojen saamiseksi täytyy jokaisen keskuksen luona käydä paikan päällä ja selvittää keskusten syötöt, valaisimien ryhmykset, kaapeli- tai johtotyypit ja sulakekoot. Olemassa olevista dokumentoinneista Trimble NIS -ohjelmaan saatiin yhteensä 1867 valaisinta, 59 keskusta ja 29,5 km uv-johtoa/kaapelia. Lähdeaineistosta riippuen ohjelmaan lisättiin myös pylvästyyppi, kaapeli- tai johtotyyppi, valaisintyyppi, valaisimen teho, varokkeet, ryhmitystiedot, keskustyyppi, maadoituselektrodit ja harukset eli valaisinpylväiden tukivaijerit. Liitteeseen 1 on otettu kuvia Trimble NIS:stä tietojen lisäämisestä. Kaiken kaikkiaan kohteita tuli kartalle 3795. Kuvassa 7 on Tikkasenharjun valaistussuunnitelmasta saadut tiedot piirrettynä Trimble NIS -ohjelmaan. Tälle alueelle saatiin lisättyä kaapelitiedot, johtolähdöt, keskustiedot, valaisintyyppit ja -tehot, maadoituselektrodit ja pylvästyypit.



KUVA 7. Tikkasenharjun valaistus (25).

3.3 Valaistuksen ja ohjauksen nykytila

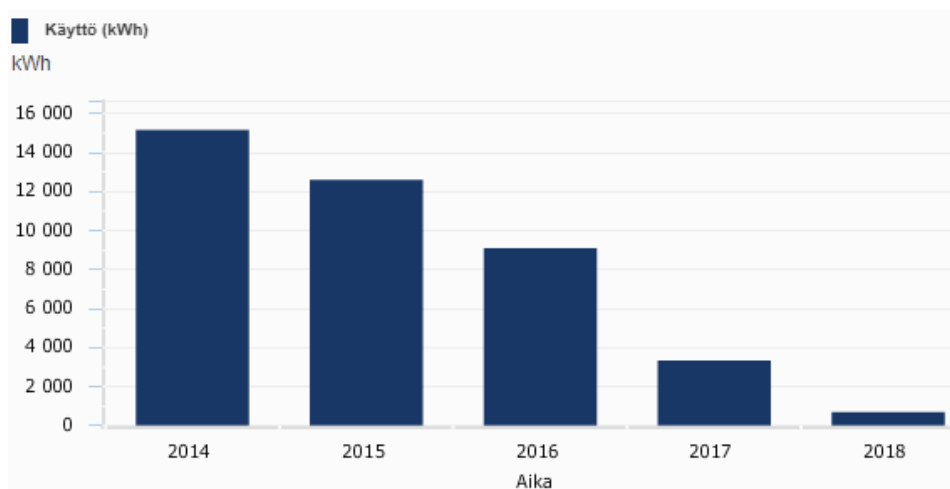
lin katuvalaistus on uusimisen tarpeessa ja digitointivaihe on iso askel katuvalaistusverkon tietojen päivittämisessä ajankohtaisiksi. Tarkkaa valaisimien määrää ei ole tiedossa, mutta arvioiden mukaan lissä on käytössä 2500 valaisinta, jotka ovat pääasiassa elohopeahöyry- ja suurpainenatriumvalaisimia, mutta myös joitain monimetalli- ja led-valaisimia on käytössä. Olemassa olevan dokumentoinnin avulla on nyt saatu digitoitua 1867 valaisinta ja loput puuttuvat valaisimet täytyy laskea käsin paikan päällä. Energiatohokkuuden kannalta lissä on mahdollisuus päästä isoihin energiansäästöihin tehokkuutta optimoimalla. Elohopea- ja natriumvalaisimien vaihtaminen energiatehokkaampiin ja ohjauksen älykkyyden parantaminen tuonevat isoja säästöjä. lin kaltaisessa kunnassa, jossa liikenne on paikoittain kohtalaisen harvaa, liikkeentunnistus valaisimessa olisi tehokas energiansäästäjä. Tällä tavalla valaisin ei olisi pitkiä aikoja turhaan päällä, vaan ainoastaan tarvittaessa.

lin kunnalla on käytössä Caverionin langaton kauko-ohjausjärjestelmä, josta voidaan pakko-ohjata valaisinkeskuksia päälle tai pois. Järjestelmä toimii normaalisti hämäräkytkimellä. Tästä kerrotaan lisää luvussa 3.3.2.

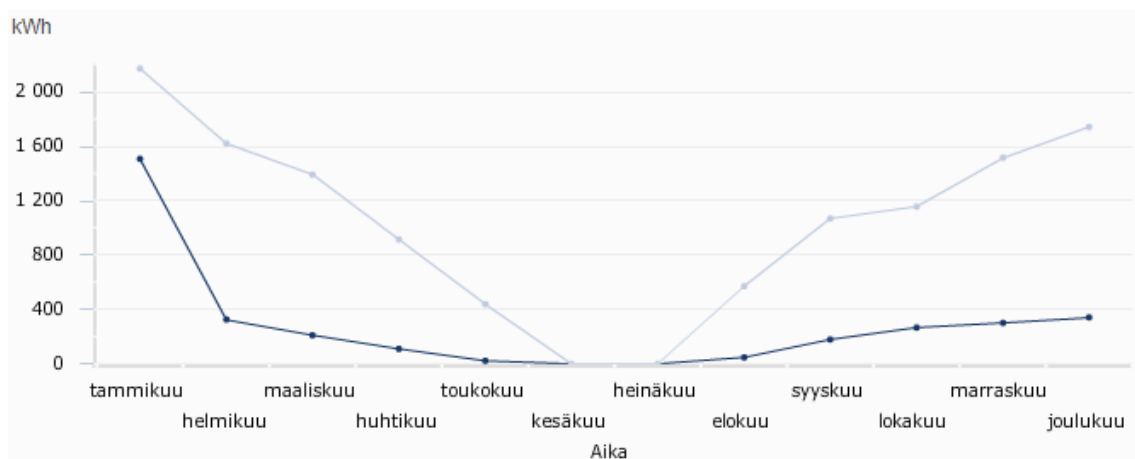
3.3.1 Micropoliksen älykäs valaistuksen ohjaus

lin Micropoliksella on toteutettu vuonna 2016 kiinteistön ulkovalojen saneeraus-työ, jossa elohopeahöyrylamput muutettiin led-valoiksi ja niille lisättiin älykäs ohjaus. Projektissa käytettiin 32 watin Easy LED PRO Flow valaisimia. Vanhoja elohopeahöyrylamppeja poistettiin 55 kappaletta ja niiden tilalle vaihdettiin Easy led-valaisimet. (26.) Valaistussaneerauksessa vaihdettiin 25 kappaletta 140 watin valaisinta ja 30 kappaletta 90 W:n valaisinta 33 W:n valaisimiin. Näissä tehoissa on otettu huomioon myös liitäntälaitteen teho. Arvio kulutuksesta vaihdon jälkeen oli 2178 kWh/vuosi ja kustannukset 217,8 euroa/vuosi. Projektin takaisinmaksuaika arvio on 8 vuotta. (27.) Valaisimien älykäs ohjaus on toteutettu Lumine Lighting Solutions Oy:n ohjausjärjestelmällä, jossa käytetään hyväksi himmennystä ja liikkeentunnistusta.

Nyt kun valaistusjärjestelmä on ollut toiminnassa, voidaan kulutustietojen perusteella katsoa todellinen valaistusjärjestelmän kulutus (kuva 8). Vuoden 2017 kulutus on ollut 3322 kWh. Valaistusjärjestelmä otettiin käyttöön vuonna 2016, joten vertailuvuodeksi otetaan 2015, jolloin kulutus on ollut 12 600 kWh. Vuosikulutus on pienentynyt järjestelmän vaihdon myötä 9278 kWh. Kuvassa 9 on havainnollistettu kulutuksen eroja kaaviolla. Micropoliksella on toteutettu myös sisävalaistukseen älykkäällä ohjauksella varustettu led-valaistuksen pilottihanke, jolla on saavutettu liikkeentunnistusta hyödyntäen 90 prosentin säästöt.

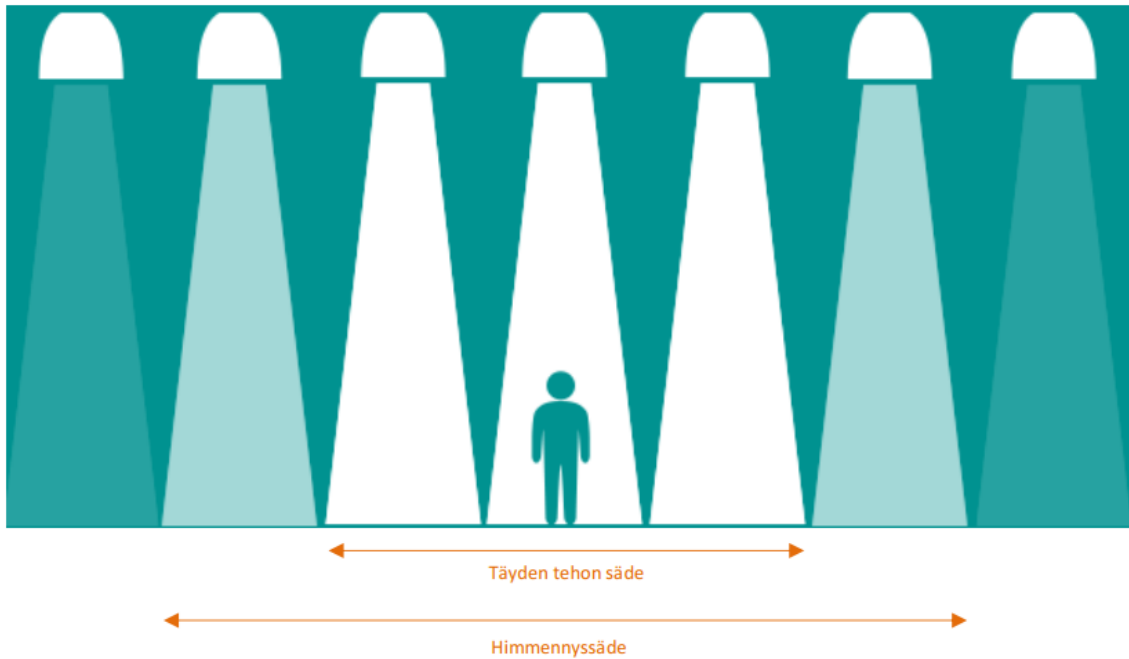


KUVA 8. Micropoliksen ulkovalaistuksen vuotuinen energiankulutus (28).



KUVA 9. Kuukausikohtaiset vuosien 2015 ja 2017 kulutukset. Vaaleansininen kuva vuoden 2015 ja tummansininen vuoden 2017 kulutusta. (28.)

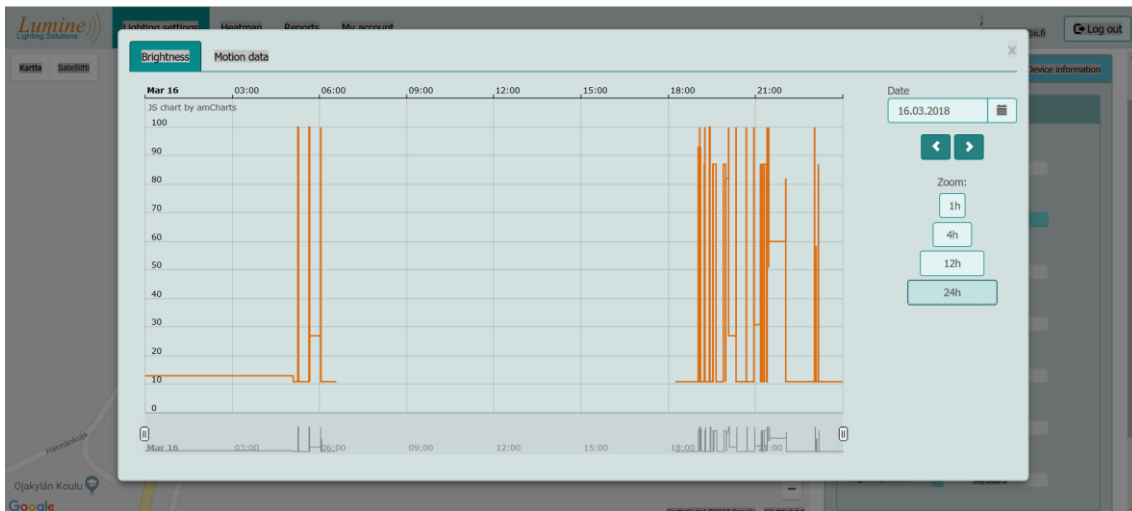
Lumine Lighting Solutions Oy:n ohjausjärjestelmä pyrkii maksimoimaan energiansäästön vaikuttamatta käyttäjän valaistusolosuhteisiin liikkeentunnistusta, himmennystä ja langatonta tiedonsiirtoa hyödyntäen. Valaisinjärjestelmä toimii siten, että valaisimet kirkastuvat ja himmenevät sen mukaan, miten lähellä kohde, esimerkiksi auto, on. Liikkuvan kohteen täyden tehon säteellä olevat valaisimet kirkastuvat täydelle teholle ja kauempana, himmennyssäteellä, olevat kirkastuvat ja himmenevät niille asetettujen parametrien mukaisesti tietylle himmennystasolle. Kuva 10 selventää valaisimen toimintaperiaatetta. Keskimäinen valopiste havaitsee liikkuvan kohteen, jolloin täyden tehon säteellä olevat valaisimet kirkastuvat täydelle teholle ja niistä seuraavat valaisimet, jotka ovat himmennyssäteellä, kirkastuvat hieman. Järjestelmä on hyvin säädettävissä käyttäjän tarpeiden mukaiseksi. Järjestelmästä voidaan säätää himmennystaso ja täydentehon kirkkaus, jotka ilmaisevat valaisimen tehoa ja siten energiankulutusta, liikehavainnon voimassaoloaika, joka määrittää ajan, jolloin valaisin alkaa himmenemään himmennystasoon, täydentehonsäde ja himmenemissäde sekä kirkastumis- ja himmenemisaika, jotka määrittävät himmenemis- ja kirkastumismuutosten nopeuden. Järjestelmä on myös mahdollista saada mukautumaan esimerkiksi liikenteen tiheyden tai lumisuuden aiheuttaman valontarpeen pienenemisen mukaan. (29, s. 3-4.)



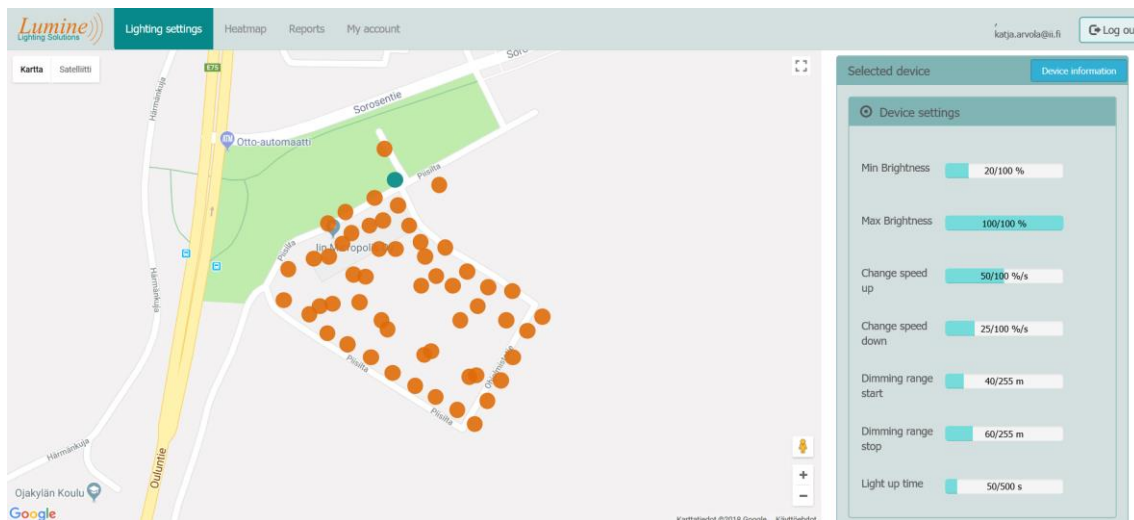
Kuva 1 - Kirkastettu alue liikkujan ympärillä

KUVA 10. Kirkastuminen ja himmeneminen (29, s. 3).

Luminen ohjausjärjestelmään kuuluvat Lumine 180 -yksikkö, Lumine Master ja Lumine Manager. Lumine 180 sijaitsee jokaisessa valaisinpylväessä tai sisään asennettuna jokaiseen valaisimeen. Yksikkö sisältää liikkeentunnistimen, prosessorin ja langattoman radion langatonta verkkoa varten, joka toimii 2,4 GHz :n taajuudella. Yksikkö kirkastaa liikehavainnon saatuaan lähellä olevat valaisimet säädettyjen asetusten mukaiseen kirkkauteen. Ohjaus tapahtuu DALI-väylän tai 1-10 V analogisen jännitteen avulla. Ohjausyksiköt yhdistetään 3G-yhteydellä internetiin Lumine Master yksikön kautta. Järjestelmään kuuluu myös pilvipohjainen ohjelmisto Lumine Manager, jolla voidaan kerätä tietoa valaisimien ja tunnistimien käyttäytymisestä sekä säätää valaistusasetuksia (kuva 11). Ohjelmistolla voidaan säätää, miten suuri alue tai miten monta valaisinta valaistaan ja kuinka pitkäksi aikaa ja mille kirkkaudelle, kun liikkeentunnistus havaitsee liikettä (Kuva 12). Ohjelmistolla säädetään nopeus, jolla valaisimet kirkastuvat ja himmenevät. Managerista saa myös tarkkoja raportteja valaisimien liikkeentunnistimien havainnoista ja valaistustasoista halutuilta ajanjaksoilta. (30, s. 6-8.)



KUVA 11. Lumine Manager, brightness Micropolis (31).



KUVA 12. Lumine Manager, Device settings Micropolis (31).

3.3.2 Caverionin ohjausjärjestelmä

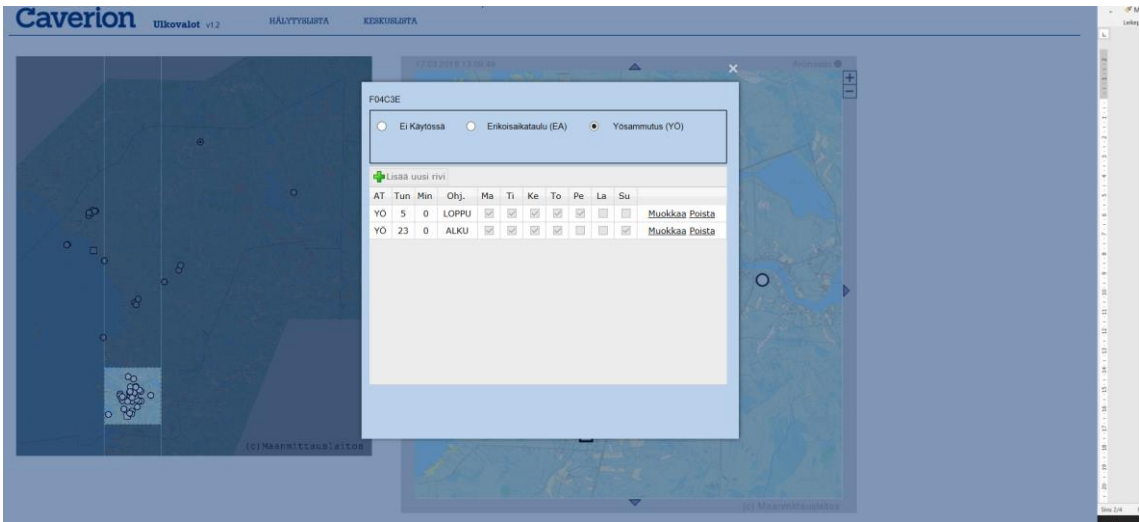
lin kunnalla on käytössään Caverion Oy:n kehittämä valaistuksen etäohjausjärjestelmä, jonka avulla valaistusta pystytään ohjaamaan hämäräkytkimellä, aikaohjelmalla ja pakko-ohjauksella. Järjestelmään kuuluu karttapohjainen käyttöliittymä, jossa pystytään määrittämään ohjauslaitteille asetuksia, joiden mukaan syöttöä säädetään valaisimille (kuvat 14 ja 15). Käyttöliittymästä pystytään määrittämään esimerkiksi kesäsammutukset, yösammutukset ja tehonalennukset.

Käyttäjät voivat käyttöliittymän kautta vaikuttaa valaistuksen ohjaukseen. Jokaiselle keskukselle on asennettu järjestelmään kuuluva ohjauslaite (kuva 13), joka välittää ohjauskäskyjä. Ohjauslaitteessa on gps-paikannuslaite, joka ilmoittaa laitteen sijainnin. (32).

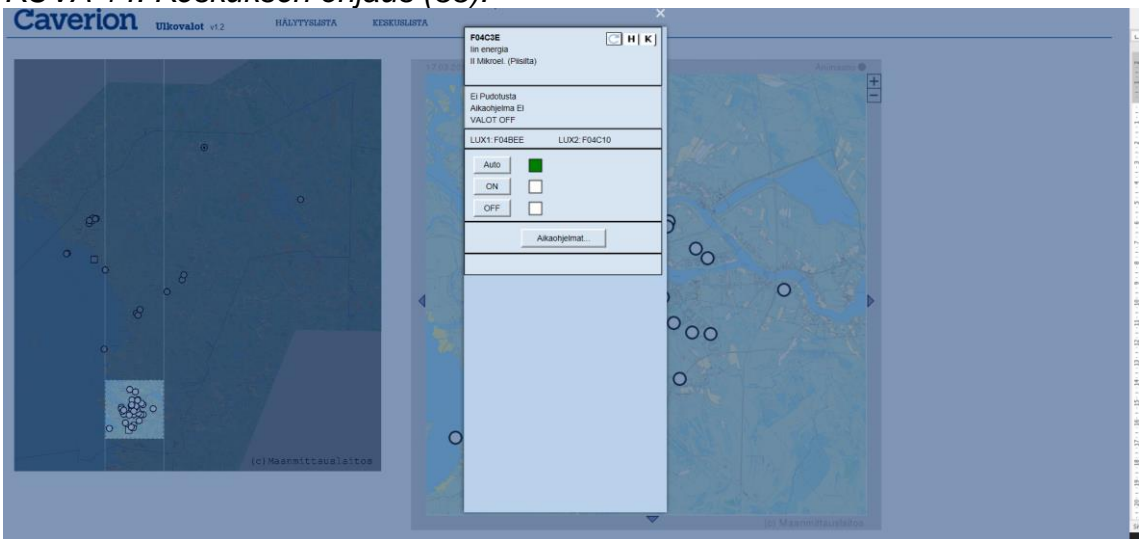
Kuvassa 14 keskuksen valaisimille on määritetty aikaohjelma, jonka mukaan yösammutus lähtee päälle. Arkipäivinä yösammutus alkaa klo 23.00 ja loppuu klo 05.00. Viikonloppuisin yösammutus ei ole päällä. Kuvassa 15 sama keskus on kytketty automaattiasentoon, joten se toimii hämäräkytkimen mukaan silloin, kun se ei ole aikaohjelmalla sammutettu. Valaistusvoimakkuuden arvo hämäräkytkimelle tulee toisen keskuksen luona olevalta anturilta.



KUVA 13. Caverion ohjausjärjestelmän laatikko keskuksessa.



KUVA 14. Keskuksen ohjaus (33).



KUVA 15. Keskuksen ohjaus (33).

3.4 Tulevaisuuden tavoitteet

lin kunnalla on tavoitteena parantaa katuvalaistuksen energia- ja kustannustehokkuutta. Katuvalaistuksen dokumentoinnin digitaaliseksi saaminen on ensimmäinen askel katuvalaistuksen uusimisessa. Kunta tulee luopumaan käytössä olevista elohopeahöyryvalaisimista. Valaistuksen energiatehokkuuden arvioiminen on muutenkin ajankohtaista teknologian kehittymisen myötä. Kun valaistuksen digitointi on kokonaisuudessaan suoritettu, ja tiedetään mitä on olemassa, voidaan alkaa arvioida, kuinka paljon valaistusta tulisi uusia vuositasolla.

4 ÄLYKÄS VALAISTUSJÄRJESTELMÄ MÄÄRITELLYLLE ALUEELLE

Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena on tehdä selvitys älykkään valaistusjärjestelmän tuomasta säästöstä määritellylle alueelle. Seuraavassa kuvataan alueen tämänhetkinen tila; mitä se sisältää ja millaiset ovat sen valaistustekniset vaatimukset valaistusluokan mukaan. Lisäksi selvitetään, paljonko valaistus nykytilassaan kuluttaa energiaa ja paljonko uuden älykkään valaistusjärjestelmän lisääminen ja valaisimien muuttaminen led-valaisimiksi tuo energiansäästöjä.

4.1 Alueen taustaa ja nykytila

Valaisinkeskus (Kuva 16) sijaitsee lin Sorosentiellä valaisinpylvääseen kiinnitettynä. Keskuksesta lähtee kaksi ryhmälähtöä, jotka on varustettu 3 x 16 A:n gG-sulakkeilla. Lisäksi keskuksessa on 10 A:n ohjaustiedon sulake. Yhteensä keskus syöttää virtaa 61 valaisimelle, joista 10 on 125 W:n elohopeahöyryvalaisimia ja loput 51 on 100 W:n suurpainenatriumvalaisimia. Suurin osa johtoreitistä on toteutettu AMKA-ilmajohdolla, mutta pieniä matkoja on myös maakaapeloitu kaapelilla AXMK. Puupylväitä alueella on 55 ja metallipylväitä 6.

Liikennevirta Sorosentiellä on sekaliikennettä, jossa kulkee jalankulkijoita, pyöräilijöitä ja moottoroituja ajoneuvoja. Tie on kohtalaisen vilkas, koska se johtaa Ouluntieltä Tikkasenharjun asuinalueelle. Nopeusrajoitus tiellä on 60 kilometriä tunnissa ja se sisältää liittymiä keskimäärin 5 per kilometri. Valaisimet sijaitsevat tien toisella puolella ja niiden pylväsväli on n. 54 metriä. Liitteessä 4 näkyy piirtämäni Sorosentien valaistus Trimble NIS -ohjelmassa.



KUVA 16. Sorosentien valaisinkeskus.

4.2 Alueen valaistustekniset vaatimukset

Sorosentiellä ei ole erillistä jalankulkuväylää ja koska tie vie asuinalueelle eikä lähellä kulje jalankulkuväyliä, on hyvin oletettavaa, että tiellä liikkuu myös jalankulkijoita. Tämän takia valaistusluokaksi valittiin C-luokka. C-luokka määritellään luvussa 2.5.2. Kuvissa 17 ja 18 näytetään valaistusluokan määräytymiseen johtaneet tiedot ja niiden avulla saadut arvot sekä valaistusluokan vaatimukset valaistusvoimakkuuden, luminanssin yleistasaisuuden ja häikäisyarvon suhteen. C-luokan vaatimukset käsitellään valaistusvoimakkuuden ja pinnan kirkkauden mukaan. SFS-EN standardissa 13201-1 kuvaillaan kaksi erilaista vaihtoehtoa valaistusluokan selvittämiseen. Sorosentien tiedoilla valaistusluokaksi saadaan molemmilla tavoilla C4-luokka ja 11 lux/ m^2 . C4-luokan valaistusvoimakkuuden haarukka on 10 - 15 lux.

Parametrit	Kuvaus	Painoarvo
Nopeusrajoitus	60 km/h	-1
Liikenteen tiheys	15-45 % maksimi määrästä	0
Liikenteen tyyppi	sekaliikenne	1
Erillinen ajorata	ei	1
Liittymätiheys	korkea yli 3/km	1
parkkeerattuja autoja	Ei	0
Ympäröivä valaistus	normaali	0
Ajosuoritus	helppo	0
Painoarvojen summa	$(-1)+0+1+1+1+0+0+0 =$	2
C-luokka =	6-2 =	4
Minimi valaistusvoimakkuus		10 lux
Luminanssin yleistasaisuus		0,4
Häikäisyarvo		20 %

KUVA 17. Sorosentien valaistusluokan valinta tavalla 1.

Pääliikennetie	kuvaus	Kerroin
Nopeus ja tyyppi	60 km/h, ei erillistä jalankulkuväylää	4
Liikenteen tyyppi	Sekaliikenne	3
Liikenteen määrä	>1000	1
Ympäröivä valaistus	ei	1
Henkinen vaikutus	kyllä	1,25
Lopullinen kerroin	$4 \times 3 \times 1 \times 1 \times 1,25 =$	15
Sijoittamalla lopullinen kerroin kuvaajaan SFS 13202-1 Figure B.3 saadaan Q0* arvolla 0,07:		
Valaistusluokka		C4
valaistusvoimakkuus		11lux
Pinnan heijastus		Q 0,07
Valaistusluokan C4 raja-arvot		10-15 lux
* pinnan heijastus kerroin vastaa asfaltin heijastusta.		
Luminanssin yleistasaisuus vaatimus ja minimi häikäisyarvo ovat samat, kuin kuvassa 17.		

KUVA 18. Sorosentien valaistusluokan valinta tavalla 2.

4.3 Valaisimet ja ohjaus

Sorosentille ajateltu korvaava led-valaisin on selvitetty Easyled Oy:n avulla. Easyled Oy:llä tehtiin alueesta valaistuslaskelma. Laskelman perusteella korvavaksi valaisimeksi määräytyi PRO Flow L 48-700 SP-32 101W. Korvaava led-valaisin on määritetty sillä periaatteella, että nykyiset pylväät pysyvät paikoillaan ja vain valaisimet vaihdetaan. Koska nykyinen pylväsväli on niin suuri, joitain va-

laistusluokan vaatimuksia ei ole pystytty täyttämään. Valaistusluokan vaatimuk-
sista täyttyy häikäisyvaatimus ja valaistusvoimakkuus, mutta C4-luokan valais-
tusvoimakkuuden yleistasaisuus ei täyty.

Ohjaus toteutetaan liikkeentunnistusta ja led-valaisimien kaksiportaista himmen-
nystä käyttäen. Liikkeentunnistuksen aiheuttama energiansäästö määräytyy tien
liikennetiheyden mukaan. Lumine Lighting Solutions Oy:n mukaan liikkeentunnis-
tuksen tuoma energiansäästö kyseisellä tiellä on arviolta 50 - 60 %. Kaksiportai-
nen himmennys toteutetaan valaistusluokkien mukaan. Laskelmat himmennyk-
sen aiheuttamista säästöistä on laskettu kuvan 19 mukaisesti, joka vastaa Suo-
men oloissa keskitalven ja lyhyen päivänvalon aikaa. Laskuissa ei ole otettu huo-
mioon päivänvalon vaihtelua vuodenaikojen mukaan, joka vaikuttaa valaisimien
käyttöaikaan. Kaavat laskuihin on saatu standardista SFS-EN 13201.

LED-valaisimet

LED-valaisimien himmennys toteutetaan 2-portaisesti alla olevien kellonaikojen ja valaistusluokkien mukaan. Kellonajat ovat viitteellisiä ja määräytyvät yleensä pimeän aja
keskipisteen mukaan, joka vaihtelee paikkakunnittain (keskimäärin n. 00:20).

C-luokissa (AE-luokat) käytetään luminanssi- ja valaistusvoimakkuusluokkien vastaavuustaulukkoa. Himmennys toteutetaan M-luokkien mukaisesti.

		Kellonaika, alkava tunti																		
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
		Jäljelle jäävä keskimääräinen luminanssi %																		
M1 (AL1), C0 ja C1	M1 – M2 – M3 – M2 – M1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	50	50	50	50	75	100	100	100	100
M2 (AL2), C2	M2 – M3 – M4 – M3 – M2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	50	50	50	50	75	100	100	100	100
M3a (AL3), C3	M3 – M4 – M5 – M4 – M3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	75	50	50	50	75	75	100	100	100
M3b (AL4a)	M3 – M4 – M5 – M4 – M3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	75	50	50	50	75	75	100	100	100
M4 (AL4b), C4	M4 – M5 – M6 – M5 – M4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60	60	40	40	40	60	60	100	100	100
M5 (AL5), C5	M5 – M6 – P5 – M6 – M5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60	60	40	40	40	60	60	100	100	100
M6	M6 – P5 – P6 – P5 – M6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60	60	40	40	40	60	60	100	100	100
		Jäljelle jäävä keskimääräinen valaistusvoimakkuus %																		
P1 (K1)	P1 – P2 – P3 – P2 – P1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	50	50	50	50	75	100	100	100	100
P2 (K2)	P2 – P3 – P4 – P3 – P2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	50	50	50	50	75	100	100	100	100
P3 (K3)	P3 – P4 – P5 – P4 – P3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60	60	40	40	40	60	60	100	100	100
P4 (K4)	P4 – P5 – P6 – P5 – P4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60	60	40	40	40	60	60	100	100	100

KUVA 19. Led-valaistuksen kaksiportainen himmennys (34).

4.4 Saavutettavissa oleva energia- ja kustannussäästö

Tievalaistusta käsittelevä standardi SFS-EN 13201-5 määrittelee energiankulutuksen arviointiin kaavan vuotuisen energiankulutuksen indikaattorille. Alla olevan kaavan 3 mukaan Sorosentien vuotuisen energiankulutuksen indikaattorin arvoksi saatiin 1,69 kWh/m² ja vuotuinen energiankulutus 27 840 kWh. Kyseisellä kulutuksella Sorosentien valaistuksen energiankulutus maksaa vuodessa 3062,4 €.

Vuosittaisen energiankulutuksen indikaattori lasketaan kaavalla:

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \times t_j)}{A} \quad \text{KAAVA 3 (35)}$$

D_E = Katuvalaistus asennusten vuosittaisen energiankulutuksen indikaattori,
 $Wh \times m^2$

P_j = valaistuksen teho, W

t_j = Käyttöaika vuodessa, h

A = Laskettava alue m^2

m = ajanjaksojen määrä, jolloin teho on eri.

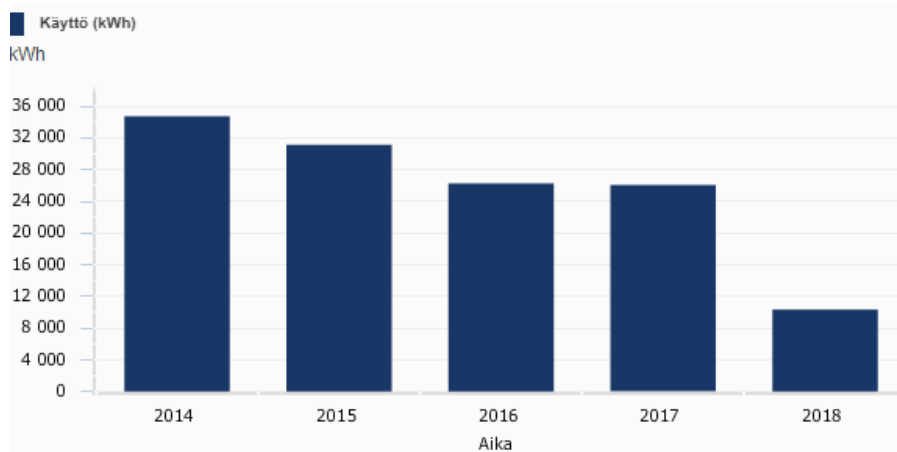
Sorosentien vuotuisen energiankulutuksen indikaattori on siis:

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^2 (6,96 \text{ kW} \times 4000 \text{ h}) + 0 \text{ kW} \times 4760 \text{ h}}{16470 \text{ m}^2} = 1,69 \text{ kWh/m}^2$$

Vuotuinen energiankulutus saadaan, kun kerrotaan tehot käyttöajoilla.

$$\text{Energiankulutus vuodessa} = 6,96 \text{ kW} \times 4000 \text{ h} = 27840 \text{ kWh/a}$$

Nykyisen valaistuksen todellinen energiankulutus on sähkökäyttötietojen mukaan 26 008 kWh. Kuva 20 näyttää Sorosentien valaistuksen energiankulutuksen vuosikohtaisesti.



KUVA 20. Sorosentien valaistuksen kulutus (28).

Uuden valaistuksen energiasäästö on laskettu kaavaa 3 käyttäen ottamalla huomioon ledivalaistuksella toteutettavan kaksiportaisen himmennyksen (kuva 19) ja liikkeentunnistuksen. Sorosentiellä toteutettava älykäs ohjaus liikkeentunnistuksella tuo 50-60 prosentin säästöt energiakulutukseen. Tieto perustuu Sorosentien liikennemääriin ja Lumine Lighting Solutions Oy:n antamaan arvioon.

Vuotuinen energiatehokkuuden indikaattori olisi liikkeentunnistuksen tuoma säästö huomioon otettuna 1,1 kWh/m² ja energian kulutus vuodessa 17299,91 kWh. Tällä kulutuksella järjestelmän käyttämä energia maksaisi vuodessa 1902,98 €. Verrattuna nykyiseen kulutukseen säästöä tulisi Sorosenttieltä vuodessa 8708,1 kWh ja 957,9 €.

$$D_E = \frac{\sum_{j=3}^3 (6,771_1 \text{ kW} \times 3650_1 \text{ h}) + (4,062_2 \text{ kW} \times 1460_2 \text{ h}) + (2,708_3 \text{ kW} \times 1460_3 \text{ h}) \times 0,50}{16470 \text{ m}^2} = 1,1 \text{ kWh/m}^2$$

$$D_E = \sum_{j=3}^3 (6,771_1 \text{ kW} \times 3650_1 \text{ h}) + (4,062_2 \text{ kW} \times 1460_2 \text{ h}) + (2,708_3 \text{ kW} \times 1460_3 \text{ h}) \times 0,50 = 17299,9 \text{ kWh/a}$$

Pelkän valaisimen vaihtamisella led-valaisimeen säästöä ei juurikaan synny. Korvaava valaisin on teholtaan samaa luokkaa kuin edeltäjätkin. Vaihdon kannattavuus on siinä, että valaisinta voidaan soveltaa älykkääseen ohjaukseen ja sen tuottamaa valonmäärää pystytään säätämään. Saavutettavissa oleva säästö saavutetaan älykkään ohjauksen avulla. Tässä tapauksessa käytetään hyväksi

liikkeentunnistusta ja himmennystä. Huomioitavaa on se, että laskut on laskettu lyhimmän päivänvalon mukaan. Todellinen valaisimien käyttöaika olisi huomattavasti pienempi.

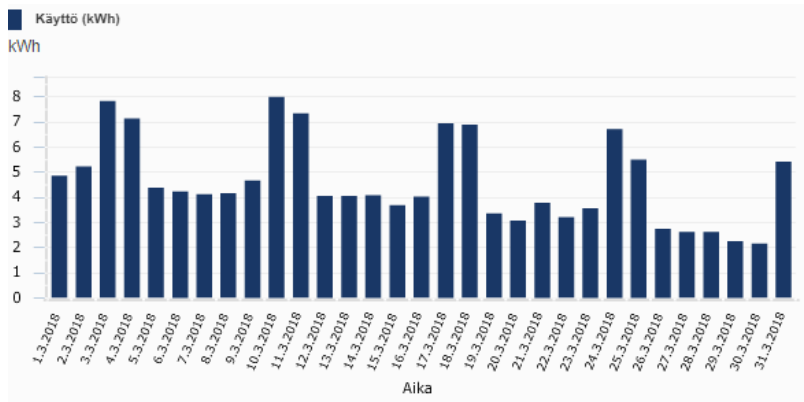
5 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli saada lin kunnan katuvalaistuksen dokumentointi digitaaliseen muotoon Trimble NIS -ohjelmaan. Lähtötilanteessa katuvalaistuksesta olemassa oleva dokumentointi oli joukko skannattuja kuva- ja excel -tiedostoja sekä vanhoja valaistussuunnitelmia. Valaisimien todellinen määrä epävarma, eikä tiedetty mistä kaikesta on dokumentointia ja mistä ei. Työn digitointiosion myötä kaikki dokumentointi on siirretty kuvista Trimble NIS -ohjelmaan. Puuttuvat tiedot on tulevaisuudessa helppo lisätä, kun kaikki tieto on yhdessä paikassa ja muokattavissa. Työn aikana ohjelmaan lisättiin 1867 valaisinta, sekä niille oikeat pylväävät ja mahdollisuuksien mukaan myös johdotustiedot. Lisäksi ohjelmaan vietiin keskuksset tunnuksineen, niiden tyytit sekä valaisintehot. Digitointi onnistui hyvin ja se tehtiin siihen suunnitellussa ajassa.

Selvitystyö älykkään valaistusjärjestelmän tuomasta energiahyödyistä ja alueen valaistustekniikan vaatimuksista onnistui hyvin. Selvitykseen saatiin materiaalia standardista SFS-EN 13201, Lumine Lighting Solutions Oy:ltä, Easyled Oy:ltä ja lin energia Oy:ltä. Laskelmissa ja korvaavan valaisimen määrittelyssä ilmeni, että valaisimen vaihtaminen suoraan nykyisiin pylväisiin tuo haasteita, kun pylväsväli on niin suuri. Valaisimien ominaisuudet eivät riitä täyttämään valaistusluokan vaatimuksia. Selvitystyössä korostui älykkään ohjauksen merkitys energiansäästöissä. Mielestäni kunnalla on syytä harkita vaihtoehtoa, jossa pylväsväliä pienennetään ja näin nykyiset valaisimet pystytään korvaamaan pienempitehoisilla valaisimilla.

Micropoliksen Easyled-valaisimia syöttävän keskuksen ajateltiin syöttävän myös tievalaisimia läheisellä tiellä. Näin ollen keskuksessa oli Luminen ohjauksen lisäksi Caverionin ohjausjärjestelmä. Työtä tehdessäni selvisi, että Caverionin ohjausjärjestelmä, jossa oli määritelty yösammutus arkipäiville, olikin toiminut yhdessä Luminen järjestelmän kanssa ja pakkosammuttanut Micropoliksen valaisimet kokonaan aiheettomasti arkiöinä. Pelkän Lumine managerin ohjauksessa va-

lojen valaistustehon olisi ollut määrä himmentyä öiden ajaksi 20 prosenttiin. Kuvassa 21 näkyy yösammutuksen aiheuttama energiakulutuksen lasku arkiöinä. Lopputuloksena Caverion Oy:n ohjausjärjestelmä poistettiin ohjauskeskuksesta ja Micropoliuksen ulkovalaistuksen kulutus tasaantui.



KUVA 21. Micropoliuksen valaistuksen energiakulutus (28).

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyö oli positiivinen katsaus erilaisiin valaistuksenohjausjärjestelmiin, valaistukseen, verkostosuunnitteluohjelmaan, valaistustekniikkaan ja katuvalaistuksen sähkönjakojärjestelmään. Opinnäytetyötä voidaan sanoa myös käytännöllisesti hyödylliseksi, koska valaistuksen digitointi vei lin kunnan asiaa hyvin eteenpäin. Lisäksi selvitys älykkään valaistuksen tuomasta energiahyödyistä antaa todenperäisen kuvan lin kunnalle energiakulutuksen muutoksesta Sorosentien mahdollisen saneerauksen yhteyteen. Sorosentien valaistuluokan selvittäminen konfliktiluokan tieksi tuo kenties uutta näkökulmaa kyseisen tien valaistuksen laadun tärkeyden arviointiin. Seuraava selvitystyö voisi olla perusteellinen selvitys saneerauksen aiheuttamista kustannuksista, kun pylväsväliä muutetaan. Tällä pyrittäisiin saavuttamaan maksimaalisen energiatehokas valaistusjärjestelmä antamatta perustamiskustannusten vaikuttaa asiaan. Tulevassa työssä tulisi selvittää millä takaisinmaksuajalla järjestelmä maksaisi muutostöistä aiheutuvat kulut takaisin.

LÄHTEET

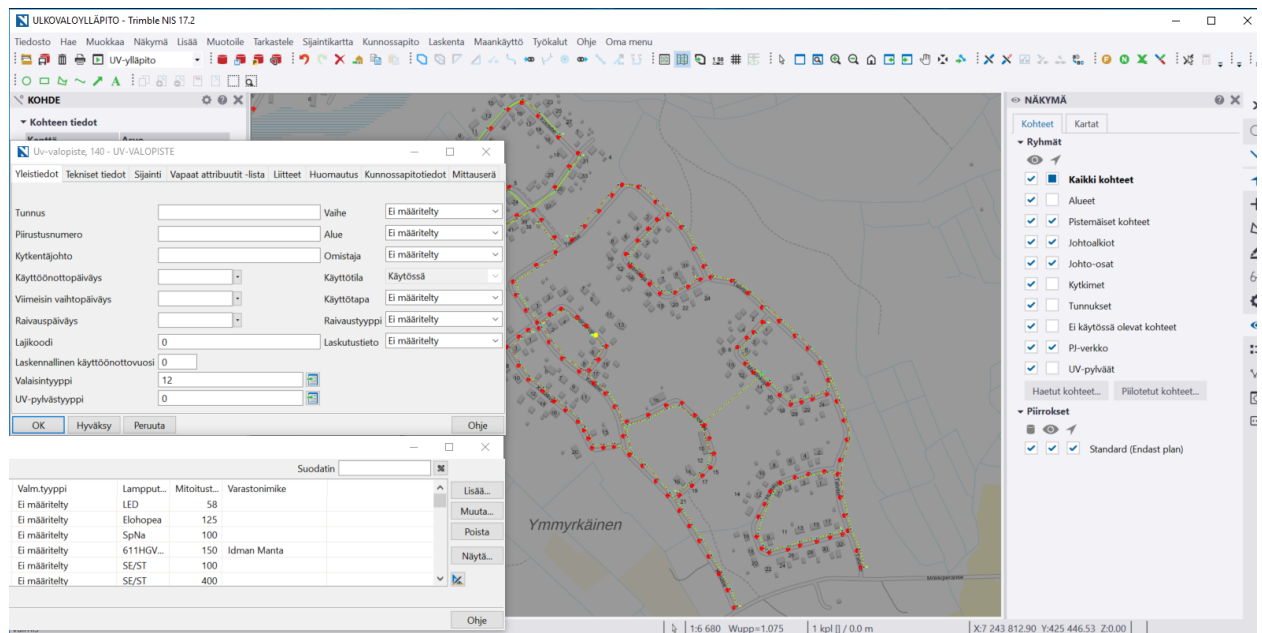
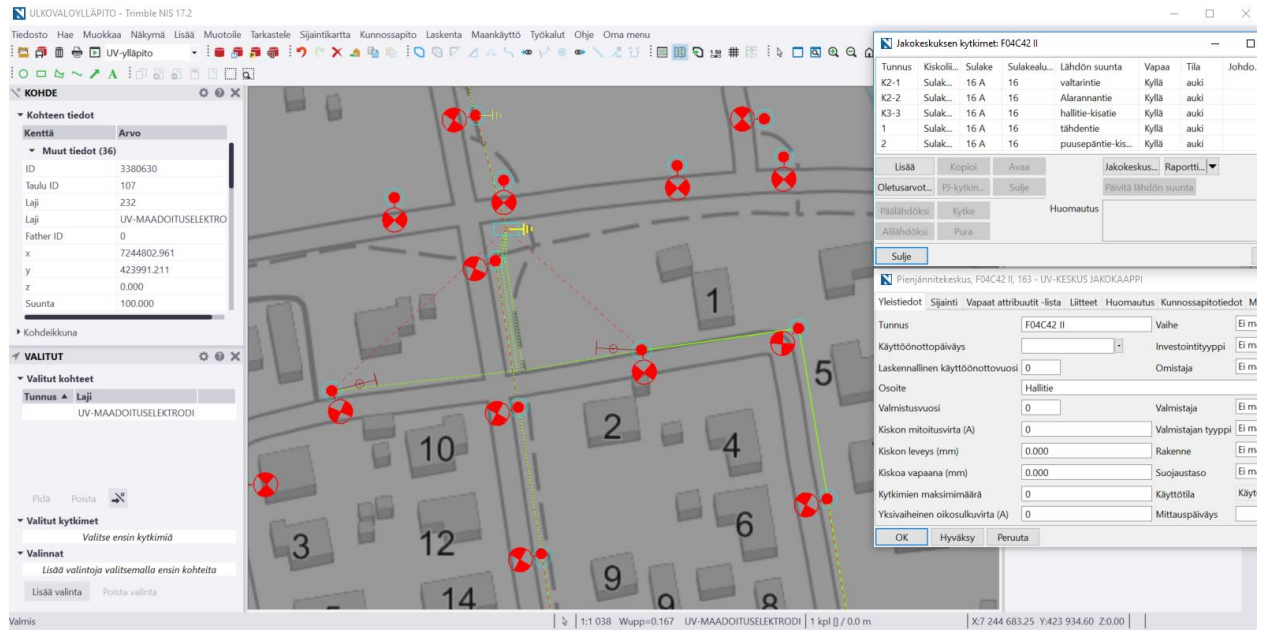
1. Tukes 2013. Ekosuunnittelu. Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/Eco-Design---Tuotteiden-ekologinen-suunnittelu-ja-energiamerkinnat/>. Hakupäivä 16.4.2018.
2. Sähkötieto 2017. ST 57.40 Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät. Saatavissa: [https://severi.sahkoinfo.fi/item/6532?search=Valaistustekniikka.\(Vaatii käyttäjätunnuksen\)](https://severi.sahkoinfo.fi/item/6532?search=Valaistustekniikka.(Vaatii_käyttäjätunnuksen)). Hakupäivä 13.4.2018.
3. Fagerhult 2015. Lighting solutions indoor & outdoor.
4. Hautala, Pentti – Koskinen, Verna – Kaanaa, Leena - Ekrias, Aleksanteri – Saari, Mika – Kauppinen, Marjut – Tamminen, Erkki 2015. Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksensuunnittelu. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2015-16_maantie_rautatiealueiden_web.pdf. Hakupäivä 20.2.2018.
5. Motiva Oy 2018. Valovirran alenema. Saatavissa: <https://valaistus-tieto.fi/energiatehokas-valaistus/valovirran-alenema/>. Hakupäivä 13.4.2018.
6. Sähkötieto ry 2018. ST 58.08 Valonlähteet. Saatavissa: [https://severi.sahkoinfo.fi/item/676?search=LED.\(Vaatii käyttäjätunnuksen\)](https://severi.sahkoinfo.fi/item/676?search=LED.(Vaatii_käyttäjätunnuksen)). Hakupäivä 13.4.2018.
7. SFS-EN 13201-2. 2015. Road lighting. Part 2: Performance requirements.
8. Rakennustieto 2018. RT 75-11118 Lamput. Saatavissa: [https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/11118.html.stx.\(Vaatii käyttäjätunnuksen\)](https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/11118.html.stx.(Vaatii_käyttäjätunnuksen)). Hakupäivä 12.4.2018.
9. SFS 62504. 2015. Yleisiin valaistustarkoituksiin käytettävät ledituotteet. Termit ja määritelmät.

10. U.S. Department of energy 2016. Solid-State Lighting R&D Plan. Saatavissa: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/06/f32/ssl_rd-plan_%20jun2016_2.pdf. Hakupäivä 12.4.2018.
11. SFS 6000-8-801. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Täydentävät vaatimukset, Jakeluverkot.
12. Rakennustieto 2006. Infra RYL. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 2 Järjestelmät ja täydentävät osat. Saatavissa: <https://www-rakennus-tieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/bin/get/id/5zdCReHmn%3A%2447%24710002%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-106531/710002.pdf> (Vaatii käyttäjätunnuksen). Hakupäivä 18.4.2018.
13. SFS 6000-4-43. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-43: Suojausmenetelmät. Ylivirtasuojaus. Suomen standardisoimisliitto SFS.
14. SFS 6000-4-44. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-44: Suojausmenetelmät. Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä.
15. Fagerhult Oy 2018. DALI-standardisoitu digitaalinen valonohjausprotokolla. Saatavissa: <https://www.fagerhult.com/fi/valonohjaus/e-sense/e-Sense-Customised/dali/>. Hakupäivä 18.4.2018.
16. Motiva Oy 2018. Säästöjä älykkäällä valaistuksella. Saatavissa: <https://valaistustieto.fi/energiatehokas-valaistus/alykas-valaistus/saastoja-alykkaalla-valaistuksella/>. Hakupäivä 11.4.2018.
17. Motiva Oy 2018. Energiatehokas valaistus. saatavissa: <https://valaistustieto.fi/energiatehokas-valaistus/>. Hakupäivä 10.4.2018.
18. SFS-EN 13201-1. 2015. Road lighting. Part 1: Guidelines on selection of lighting classes.

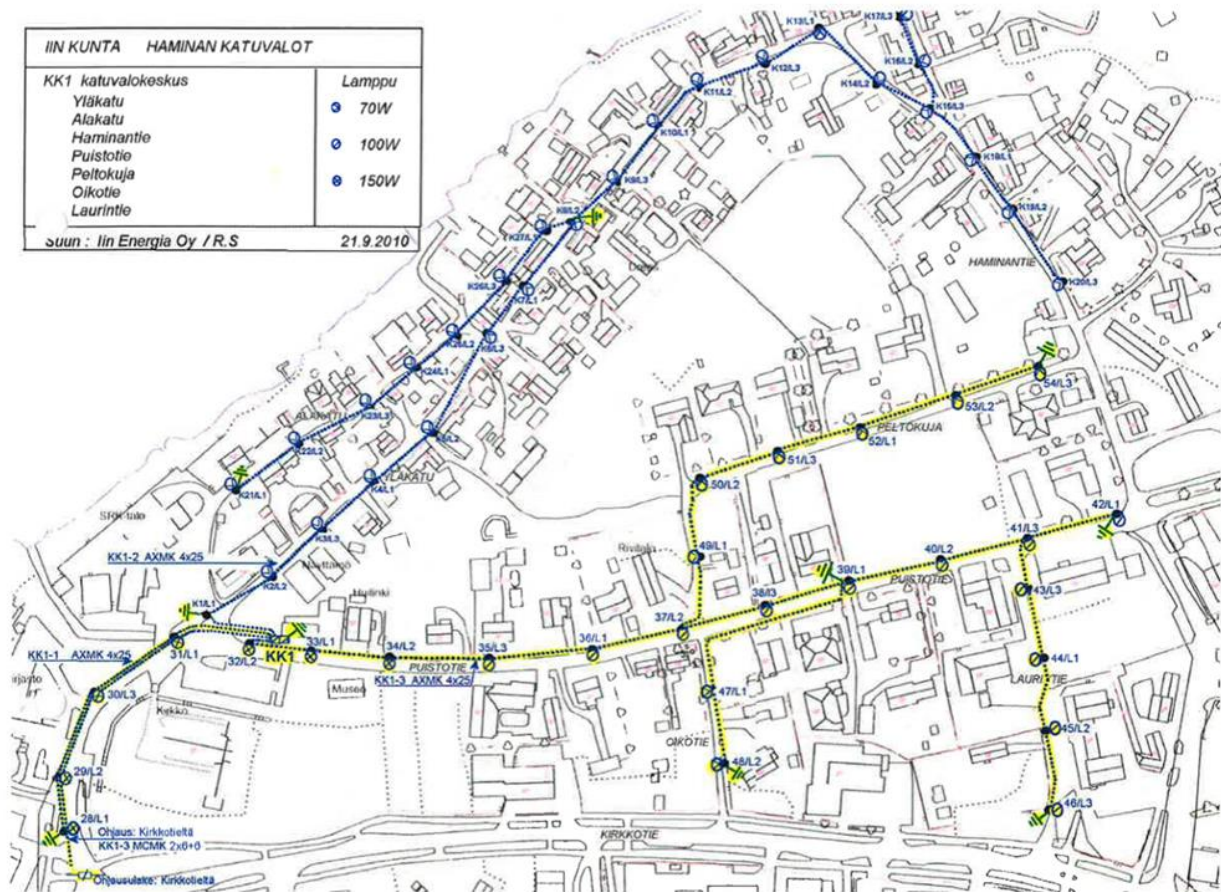
19. Iin kunta 2018. Uusiutuva energia ja resurssiviisaus. Saatavissa: http://ii.fi/uusiutuva_energia. Hakupäivä 3.4.2018.
20. Iin kunta 2018. Resurssiviisas Ii tiekartta. Saatavissa: http://ii.fi/instance/data/prime_product_julkaisu/ii/embeds/iiwwwstructure/20451_Resurssiviisas_Ii_tiivistelma.pdf. Hakupäivä 18.4.2018.
21. Energiatuki 2018. Business Finland. Saatavissa: <https://www.businessfinland.fi/energiatuki/>. Hakupäivä 3.4.2018.
22. Kilpeläinen, Heikki – Valkonen, Hannu – Väisänen, Heikki 2000. ESCO-toiminnan yleisperiaatteet ja MotivaESCO-konsepti. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/files/802/esco-toiminnan-yleisperiaatteet-ja-motiva-esco-konsepti.pdf>. Hakupäivä 1.3.2018.
23. Karpila, Taisto 2014. Iin kunnan katuvalaistus. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/72681/Karpila_Taisto.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Hakupäivä 16.3.2018.
24. Iin Energia Oy 2016. Tikkasenharjun valaistussuunnitelma.
25. Trimble NIS 2018. Ulkovaloylläpito.
26. Iin kunta 2016. Energiatehokkuuden parantamishanke, projektisuunnitelma/ taloudellisuuslaskelma/investoinnin ympäristövaikutukset/ luettelohankinnoista.
27. Manninen, Kari 2018. Re: Valaistuksen rahoitusdokumentit. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Alakärppä, Joonas. 28.2.2018.
28. Iin energia Oy 2018. Sähkökäyttötiedot-palvelu. Saatavissa: <https://online.empower.fi/ien/action/#!/1> (vaatii käyttäjätunnuksen). Hakupäivä 21.4.2018

29. Lumine Lighting Solutions Oy 2018. Älykästä katuvalaistuksen ohjausta.
30. Lumine Lighting Solutions Oy 2018. Tuo älyä katuvalaistukseesi.
31. Lumine Lighting Solutions Oy 2018. Lumine Manager. Saatavissa: <https://manager.lumine.fi/#/mapView>. (Vaatii käyttäjätunnuksen). Hakupäivä 15.3.2018.
32. Caverion Oy 2018. Kooste opinnäytetyötä varten.
33. Caverion Oy 2018. Valaistuksenohjauksen käyttöliittymä. Saatavissa: <https://ulkovalot.fi/>. (Vaatii käyttäjätunnuksen). Hakupäivä 5.5.2018.
34. Ekrias, Aleksanteri 2015. Uutta ulkovalaistuksessa. Saatavissa: https://www.oulunenergia.fi/sites/default/files/attachments/aleksanteri_ekrias_-_uutta_ulkovalaistuksessa.pdf. Hakupäivä 7.5.2018.
35. SFS-EN 13201-5. 2015. Road lighting. Part 5: Energy performance indicators

LIITTEET



IIN KUNTA HAMINAN KATUVALOT	
KK1 katuvälakeskus	Lamppu
Yläkatu	● 70W
Alakatu	○ 100W
Haminantie	● 150W
Fuistitie	
Peltokuja	
Oikotie	
Laurintie	
suun : Iin Energia Oy / R.S 21.9.2010	



Taulukko 8. M-valaistusluokan valintaparametrit.

PARAMETRI	VAIHTOEHDOT	KUVAUS		PAINO-ARVO V_w
Suunnittelu- nopeus tai nopeusrajoitus	Hyvin suuri	120 km/h		2
	Suuri	80, 100 km/h		1
	Kohtalainen	60 km/h		0
	Pieni	50 km/h		-1
	Hyvin pieni	30, 40 km/h		-2
Liikennemäärä		Kohteen keskimääräinen vuorokausiliikennemäärä (KVL)		
	Suuri	KVL $\geq 12\ 000$		1
	Kohtalainen	$4\ 000 \leq \text{KVL} < 12\ 000$		0
	Pieni	KVL < 4000		-1
Liikenteen koostumus	Sekaliikenne, suuri osa kevyt- liikennettä	Pyöräilijät, jalankulkijat, pysäköidyt ajoneuvot		2
	Sekaliikenne			1
	Vain moottori- ajoneuvoja			0
Erilliset ajoradat	Ei			1
	Kyllä			0
Liittymätiheys		Tasoliittymiä/km (ilman maa- talousliittymiä)	Eritasoliittymät, risteyssiltojen välimatka, km	
	Suuri	5	< 3	1
	Kohtalainen	2	≥ 3	0
Ympäristön valoisuus	Valoisa	Taajama (valaistu rinnakkaiskatu tai valaistu kenttä, liikkeiden ikkunoita tai mainoksia tai muu keskusta-alue)		1
	Pimeä	Maaseutu		0
Ajosuoritus	Vaikea	Vaativa sekoittumisalue, poikkeava geometria, tms.		1
	Normaali			0

Taulukosta 8 valitaan eri parametrien painoarvot (V_w) ja lasketaan niiden summa V_{ws} . Jos parametrien painoarvojen summa V_{ws} on negatiivinen, käytetään arvoa 0. Valaistusluokka on $M = 6 - V_{ws}$ (esim. $M = 6 - 2 = 4$, valaistusluokka on M4). Jos $M \leq 0$, valaistusluokaksi valitaan M1. Valaistusluokan M3 tapauksessa valitaan joko M3a- tai M3b-luokka tieluokan ja valaistustarpeen mukaan.

