

ÄLYKKÄÄN SÄHKÖVERKON HYÖDYNTÄMINEN KAU- PUNKIKÄYTÖSSÄ

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Janne Kortelainen	
Työn nimi Älykkään sähköverkon hyödyntäminen kaupunkikäytössä	
Päiväys 02.05.2016	Sivumäärä/Liitteet 36+9
Ohjaaja(t) lehtori Timo Savallampi, yliopettaja Juhani Rouvali	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) toimitusjohtaja Tomi Vähäkangas, Selkämaan Suunnittelu Oy	
Tiivistelmä <p>Työn tavoitteena oli tutkia, miten älykästä sähköverkkoa voisi hyödyntää kaupunkien urheilu- ja puistoalueiden valaistuksessa. Alueille laskettiin myös vertailun vuoksi elinkaarikustannuksia erilaisille valonlähteille. Vertailussa käytetyt valonlähteet olivat monimetalli- ja suurpainennatriumlamppu sekä LED-valaisin. Valaistuksen kustannusten lisäksi kiinnitettiin huomiota valonlähteiden ominaisuuksiin ja valon vaikutukseen.</p> <p>Ulkovalaistuksen ohjaukseen on olemassa erilaisia älykkäitä järjestelmiä, jotka on pääsääntöisesti suunniteltu käytettäväksi LED-valaisinten kanssa. Yhdistävänä tekijänä kaikissa älykkäissä ohjausjärjestelmissä on valaisinten hallintaan suunnitellut ohjelmistot, joilla valaisimia on mahdollista säätää yksilöllisesti. Kaikkia järjestelmiä yhdistää valaisinten, painonappien, erilaisten antureiden sekä ohjelmistojen välinen langaton yhteys. Tällöin vanhat ulkovalaisininryhmät on mahdollista muuttaa älykkäiksi vaihtamalla ainoastaan valaisin eikä ohjauskaapelointia tarvita.</p> <p>Tulokset osoittivat älykkäällä ohjausjärjestelmällä ohjatun LED-valaistuksen olevan kannattava hankinta alueille, joissa vuosittaiset käyttötuntimäärät ovat korkeat. Vaikka LED-valaisimet ovat vielä kalliimpia kuin lamppuja hyödyntävät valaisimet, korkeiden käyttötuntimäärien ja vähäisen huollon tarpeen myötä maksaisi energiatehokas LED-valaistus itsensä takaisin. LED-valaistuksen tuottama valkea valo on myös laadultaan parempaa ja lisää mukavuuden sekä turvallisuuden tunnetta kaupunkiympäristölle.</p>	
Avainsanat älykäs sähköverkko, älykäs ohjaus, LED	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Janne Kortelainen			
Title of Thesis Use of Smart Grids in City Environment			
Date	May 2, 2016	Pages/Appendices	36+9
Supervisor(s) Mr. Timo Savallampi, Lecturer and Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners Mr. Tomi Vähäkangas, CEO, Selkämaan Suunnittelu Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to examine how smart grids could be used in the lightning of sports areas and parks in cities. Light sources used in the comparison were metal halide lamps, high pressure sodium lamps and LED luminaires. The features of light sources and effects of light should be taken into account along with the costs.</p> <p>Firstly, a study was made on smart grids to figure what they are capable of. Secondly, a short comparison was made for different sources of light. Lastly, costs were calculated for different sources of light and smart control systems.</p> <p>The study showed that there are different smart control systems for outdoor lightning. These systems are primarily designed to be used with LED luminaires, which were the best sources of light in the comparison. The common factor in these systems is software designed to control luminaires individually. All systems also use wireless technology to communicate between different kind of switches, luminaires and software. This allows old outdoor lightning to be smart only by switching the luminaire.</p> <p>As a result of this thesis, it can be concluded that LED lightning controlled by a smart control system is a worthwhile investment for areas that have high yearly operating hours. Although LED luminaires are more expensive than regular luminaires using lightbulbs, high operating hours and the minor need of maintenance would help the energy efficient LED lightning to pay itself back. The white light produced by LED luminaire would be of better quality. It would increase the feeling of comfort and safety in cities.</p>			
<p>Keywords smart grid, smart control system, LED</p>			

ESIPUHE

Selkimaan Suunnittelu Oy tarjosi marraskuussa 2015 mielenkiintoisen opinnäytetyön aiheen, jossa pääsin käsittelemään itselle ennestään tuntematonta aihetta ja syventämään sähkötekniikan osaamistani. Haluan kiittää opinnäytetyöohjaajiani lehtori Timo Savallampea ja yliopettaja Juhani Rouvalia sekä Selkimaan Suunnittelu Oy:n toimitusjohtaja Tomi Vähäkangasta ja suunnittelupäällikkö Tiina Eskelistä laadukkaasta ohjauksesta niin opinnäytetyöni kuin opintojenikin aikana.

Haluan kiittää lisäksi perhettäni opintojeni aikaisesta tuesta.

Kuopiossa 2.5.2016

Janne Kortelainen

SISÄLTÖ

1	LYHENTEET JA TERMIT	6
2	JOHDANTO	7
2.1	Tavoitteet energiatehokkuuden parantamiseksi.....	7
2.2	Opinnäytetyön tavoite.....	8
3	ÄLYKÄS SÄHKÖVERKKO	9
4	VALONLÄHTEET	12
4.1	Elohopeahöyrylamppu	12
4.2	Suurpainenatriumlamppu	13
4.3	Monimetallilamppu	14
4.4	LED	15
4.5	Yhteenvedo valonlähteistä	16
5	VALAISIMEN JA OHJAUSTAVAN VALINTA	17
5.1.1	Karjalahden kuntorata	18
5.1.2	Linninpuisto	20
6	VALAISTUSTEKNISET LASKELMAT	22
6.1	Valaistusluokan valinta.....	22
6.2	Alenemakertoimen määrittely	24
6.3	Karjalahden kuntoradan valaistustekniset laskelmat	25
6.4	Linninpuiston valaistustekniset laskelmat	26
6.5	Tulosten tarkastelu.....	27
7	ELINKAARIKUSTANNUSLASKELMAT	28
7.1	Laskelmissa käytetyt arvot	31
7.2	Tulosten tarkastelu.....	32
7.2.1	Karjalahden kuntorata	32
7.2.2	Linninpuisto	33
8	YHTEENVETO.....	34
	LÄHTEET	35
	LIITE 1: KARJALAHDEN KUNTORADAN ELINKAARIKUSTANNUSLASKELMAT	37
	LIITE 2: LINNINPUISTON ELINKAARIKUSTANNUSLASKELMAT	38
	LIITE 3: DIALUX, VALAISTUSTEKNISET LASKELMAT	39

1 LYHENTEET JA TERMIT

Valovirta = Valovirran yksikkö on lumen (lm). Valovirta ilmaisee kuinka paljon valonlähde tuottaa näkyvää valoa. (Ensto, 2008)

Valotehokkuus = Valotehokkuuden yksikkö on lumen per watti (lm/W). Valotehokkuus kertoo, kuinka tehokkaasti sähkö muuttuu valoksi. (Sähkötieto ry, 2009, s. 2)

Vaakatason valaistusvoimakkuus = Vaakatason keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_{hm} on valovirta pinta-alayksikköä kohti. Se on vaakatasossa olevan tarkasteltavan pinnan laskettujen valaistusvoimakkuuksien aritmeettinen keskiarvo. Yksikkö on luks (lx). (Liikennevirasto, 2015, s. 22)

Vakiovalovirtaohjaus = Vakiovalovirtaohjauksessa valaisimen valovirta pyritään pitämään samana koko elinkaaren ajan, alussa pienentämällä ja lopussa lisäämällä valaisimen tehoa. (Liikennevirasto, 2015, s. 18)

Puolisylinterivalaistusvoimakkuus = Puolisylinterivalaistusvoimakkuus E_{sc} (lx) on pienen sylinteripuolikkaan pinnan keskimääräinen valaistusvoimakkuus, joka on kasvojen tunnistamisen kannalta merkittävä tekijä. (Liikennevirasto, 2015, s. 23)

Hyötypolttokä = Tarkoittaa hetkeä, jolloin kokonaisvalomäärä asennuksessa on pudonnut 20 % alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna. (Sähkötieto ry, 2009, s. 2)

Värintoistoindeksi R_a = Värintoistoindeksi R_a kuvaa, miten hyvin valonlähde toistaa värejä. Hyväksi arvoksi luetaan 80 ja maksimiarvo on 100. (Liikennevirasto, 2015, s. 24)

Väriämpötila = Väriämpötilan yksikkö on kelvin (K). Väriämpötila kertoo valon värisävyn, jotka ovat lämmin (0-3300 K), neutraali, (3300–5300) ja kylmä (5500 K-). (Sähkötieto ry, 2009)

VAK = Valvonta-alakeskus on automaatiokeskus, joka itsenäisesti valvoo, mittaa ja ohjaa yms. kiinteistöjen ja alueiden, lämpö-, vesi-, ilmanvaihto- ja sähkölaitteistoja.

2 JOHDANTO

Euroopan komission asetukset (EU) N: o 347/2010 ja (EY) N: o 245/2009 loiste- ja suurpainepurkauslamppujen ekologinen suunnittelu sekä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/125/EY energiaan liittyvien tuotteiden ekologinen suunnittelu vaikuttavat merkittävästi ulkovaistukseen. Niiden myötä elohopealamput ja osa elohopealamput suoraan korvaavista suurpainenatriumlampuista ovat poistuneet markkinoilta 13.4.2015 (Euroopan komissio, 2010). Merkityksellisimmät syyt markkinoilta poistumiseen ovat lamppujen huono valotehokkuus sekä ympäristölle haitallisen elohopean sisältäminen. (Euroopan komissio, 2009, s. 1)

Suomen kaupungeilla ja kunnilla sekä Liikennevirastoilla on arvioitu olevan käytössä noin 450 000 - 550 000 kpl elohopeavalaisimia ja noin 700 000 - 800 000 kpl suurpainenatriumvalaisimia. Monimetalli-, induktio- ja LED-valaisimien osuus on toistaiseksi hyvin marginaalinen. (Motiva Oy, 2014, s. 2)

Suomen kaupungeilla ja kunnilla on edessään tie- ja katuvalaistuksen uusiminen lähitulevaisuudessa, koska elohopea- ja suurpainenatriumlamppujen polttoikä on lyhyt. Suuritehoisen elohopealamput keskimääräinen polttoikä on 3 vuotta ja suurpainenatriumlampun keskimääräinen polttoikä 4 vuotta. (Tiehallinto, 2006, s. 29)

2.1 Tavoitteet energiatehokkuuden parantamiseksi

Ekologisen suunnittelun kehittymiseen on johtanut jo 1900-luvun puolivälissä alkanut ilmaston lämpeneminen, joka johtuu suurimmaksi osin lisääntyneistä kasvihuonekaasuista ihmisen aiheuttamien päästöjen takia. Maapallon keskilämpötila on noussut noin 0,8 celsiusastetta viimeisen 150 vuoden aikana, ja sen arvioidaan nousevan edelleen. (Euroopan ympäristökeskus, 2016)

YK:n ilmastopöytäkirjasta täsmentävä Kioton pöytäkirja astui voimaan vuonna 2005. Kioton pöytäkirja on asettanut teollisuusmaille ilmastomuutosta hillitseviä velvoitteita, ja se on ensimmäinen oikeudellisesti sitova sopimus, jonka avulla päästöjä on pystytty vähentämään kansainvälisesti. Tällä hetkellä on käynnissä Kioton pöytäkirjan toinen velvoitekausi vuosille 2013–2020 (Ympäristöministeriö, 2014). Kioton pöytäkirja on johtanut Euroopan Unionin energiatehokkuusdirektiivin 2012/27/EU sekä energiaan liittyvien tuotteiden ekologisen suunnittelun direktiivin 2009/125/EY laadintaan ja täten vaikuttanut myös elohopealamppujen poistumiseen markkinoilta.

Energiatehokkuusdirektiivissä on tavoitteena parantaa energiatehokkuutta Euroopan unionissa, jotta voidaan saavuttaa tavoiteltu 20 prosentin säästö energiankulutuksessa vuoteen 2020 mennessä. Energiatehokkaampaan talouteen siirtymisen tulisi myös nopeuttaa innovatiivisten teknologisten ratkaisujen leviämistä (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2012). Tavoite on edesauttanut mm. älykään sähköverkon ratkaisujen sekä LED-valaistuksen kehittymistä.

Energiatehokkuusdirektiivi edellyttää lisäksi julkisen sektorin näyttävän esimerkkiä energiatehokkuuden parantamisessa. Julkinen sektori on tärkeä liikkeellepaneva voima pyrittäessä edistämään markkinoita niin, että pystytään tuottamaan energiatehokkaampia tuotteita, rakennuksia ja palveluja. Samalla pyritään muuttamaan kansalaisten ja yritysten tapaa kuluttaa energiaa. (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2012)

Suomen kunnilla on mahdollisuus vaikuttaa energiankulutukseensa kahden sopimusmallin avulla, jotka ovat kuntien energiatehokkuussopimus ja kuntien energiaohjelma. Energiatehokkuussopimus on tarkoitettu kunnille tai kaupungeille, joilla on yli 20 000 asukasta, tai kunnille tai kuntayhtymille, joiden energiankäyttö 20 000 MWh vuodessa. Energiaohjelma on puolestaan kunnille, joissa asukkaita on alle 5 000, tai kunnille tai kuntayhtymille, joiden energiankäyttö alle 5 000 MWh vuodessa. Sopimuskausi loppuu vuoteen 2016. (Motiva Oy, 2015)

2.2 Opinnäytetyön tavoite

Haapajärvi on yksi Suomen kaupungeista, jonka on uusittava lähitulevaisuudessa ulkovalaistus. Haapajärvi on rauhallinen kaupunki, joka sijaitsee Pohjois-Pohjanmaan maakunnassa. Se on tunnettu teollisuudessa, mm. Tiivituote Oy:n ikkunoista ja ovista, Maaselän Kone Oy:n Hakki-pilkekoneista sekä HaSa-yhtymä Oy:n sahatavarasta. Haapajärvi on tunnettu myös Suomen teekaupunkina, ja paikallisista liikkeistä on löydettävissä Haapajärven nimikkoteetä.

Haapajärvi on osana Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiirin kuntayhtymää liittynyt kuntien energiatehokkuussopimukseen. Energiatehokkuussopimuksen myötä ja elohopealamppujen poistuttua markkinoilta Haapajärven kaupunki on kiinnostunut erityisesti urheilualueiden sekä puistoalueiden valaistuksen uusimisesta sekä älykkään sähköverkon ratkaisujen hyödyntämisessä näiden alueiden valaistuksessa. Urheilualueilla on käytössä vanhat elohopeahöyrylamppuvalaisimet, joten kaupunki on kiinnostunut vaihtoehtoisista valaistusratkaisuista.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään tutkimaan älykkään sähköverkon mahdollistamia valaistusratkaisuja, joita voi hyödyntää Haapajärven kaupungin urheilu- ja puistoalueilla. Lisäksi alueille tulee laskea vertailun vuoksi elinkaarikustannuksia eri valonlähteille. Valaistuksen kustannusten lisäksi kiinnitettiin huomiota valonlähteiden ominaisuuksiin ja valon vaikutukseen.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Selkämaan Suunnittelu Oy, joka on vuonna 1982 Haapajärvellä perustettu sähköinsinööritoimisto. Selkämaan Suunnittelun Oy:n toimenkuvaan kuuluu sähkösuunnittelupalveluiden tuottaminen mm. kunnille, valtiohallinnon rakennuttajille, teollisuudelle sekä sähkö- ja rakennusurakoitsijoille koko Suomen alueella. (Selkämaan Suunnittelu Oy, ei pvm)

3 ÄLYKÄS SÄHKÖVERKKO

Energiankulutuksen vähentämisestä on tullut Euroopan unionille tärkeä tehtävä. Fossiilisten polttoainneiden sijaan energiantuotannossa pyritään siirtymään kohti uusiutuvien energianlähteiden käyttöä. Sähkön tuotannon tulisi kuitenkin pysyä tehokkaana, ja kasvihuonekaasut sekä energiantuotannon kustannukset pitäisi pystyä minimoimaan. Sähköenergiassa tarvitaan tehokasapaino, mikä tarkoittaa, että käytetty sähkö täytyy tuottaa samanaikaisesti. Koska sähköä ei pystytä varastoimaan, tuotannon ja kulutuksen eriaikaisuus aiheuttaa ongelmia sähkön saatavuudessa. Älykkään sähköverkon avulla näihin ongelmiin on kuitenkin löytymässä ratkaisuja. (Sähköturvallisuuden Edistämiskeskus ry, ei pvm)

Älykäs sähköverkko tarkoittaa sähköverkkoa, joka hyödyntää erilaisia automaatio-, tieto- ja viestintätekniikan ratkaisuja (Sähköturvallisuuden Edistämiskeskus ry, ei pvm). Tärkeimpiin älykkään sähköverkon mahdollistamiin ominaisuuksiin kuuluu kuluttajan toimiminen sähköntuottajana. Muihin älykkään sähköverkon tuomiin ominaisuuksiin kuuluu energiankulutuksen tarkempi seuraaminen, sähköverkon vikojen nopeamman havaitsemisen sekä mm. valaistuksen älykkäämpi ohjaaminen.

Älykkäässä sähköverkossa kuluttaja voi toimia sähköntuottajana. Puhutaan niin sanotusta mikro tuotannosta. Kuluttaja voi tuottaa sähköenergiaa omaan käyttöönsä esimerkiksi aurinkopaneeleilla tai tuulivoimalalla, ja ylimääräinen sähköenergia on mahdollista myydä suoraan verkkoyhtiölle. Sähköyhtiöt voivat tällä tavoin tasata sähköverkon kuormitusta. (Sähköturvallisuuden Edistämiskeskus ry, ei pvm)

Älykkään sähköverkon ominaisuuksiin kuuluu myös kulutuksen tarkempi seuraaminen. Tämä on toteutettu etäluettavilla sähkömittareilla, joka on lähes jokaisessa taloudessa. Mittarin lukemaa ei tarvitse ilmoittaa tai käydä tarkastamassa, vaan se saadaan suoraan tiedonsiirtoyhteyden välityksellä asiakkaalta toimittajalle. (Caruna Oy, ei pvm)

Sähköverkon automaattinen vikojen paikannus ja erotus ovat myös osa älykästä sähköverkkoa. Sähköverkossa aiheutunut vika herättää verkon automatiikan, jolloin automatiikka osaa eristää vian terveestä verkosta ja siirtää sähkönsyötön verkon terveisiin osiin. (Suvanto, 2012)

Tämän opinnäytetyön kannalta tärkeimpänä älykkään sähköverkon ominaisuutena on tie-, katu- ja ulkovalaistuksen valaistuksen älykkäämpi hallinta. Valaisimille on tarjolla erilaisia ohjausjärjestelmiä, joilla on mahdollista hallita valaistusta langattomasti tietokoneelle asennettavalla ohjelmistolla. Ohjelmistoilla on mahdollista seurata esimerkiksi valaisimien energiankulutusta ja säätää valaistusta eri tarpeiden mukaisiksi. Seuraavaksi tutkitaan mitä älykkään sähköverkon sovelluksia on tarjolla hyödynnettäväksi ulkovalaistuksessa.

Älykkäiden ohjausjärjestelmien kehitystä on edesauttanut LED-valaistuksen nopea kehitys ja säädettävyys. Älykkäät ohjausjärjestelmät ovat tarkoitettu ensisijaisesti käytettäväksi LED-valaisimien kanssa, ja ne mahdollistavat LED-valaistuksen monipuolisemman ja energiatehokkaamman säädön. Tutustutaan tarkemmin muutamaan tarjolla olevaan järjestelmään.

Valopää Oy tarjoaa älykkäitä valaistusratkaisuja sekä LED-valaisimia. Valaistuksen älykkääseen ohjaukseen tarjolla on iLUMINET-järjestelmä, jota on mahdollista muokata asiakkaan tarpeiden mukaan. Yksinkertaisin iLUMINET-järjestelmä koostuu iMASTER-ohjausyksiköstä ja Valopään tarjoamasta älykkästä valaisimesta. iMASTER kommunikoi valaisimen kanssa SRD-radioverkon kautta ja on internetin välityksellä yhteydessä Valopään palvelimeen. Palvelimelta valaisinta voi ohjata mobiililaitteella tai tietokoneella LumoScope-ohjelman avulla. Ohjelmalla voi luoda valaisimille erilaisia ohjausprofieileja. (Valopää Oy, ei pvm)

Valopää mahdollistaa myös muiden kaupallisten valaisimien liittymisen osaksi iLUMINET-järjestelmää iCONTROL-ohjaimen avulla. iCONTROL voi säätää valaisimia käyttäen DALI- tai 1-10 V ohjausta. Tällöin tavallinen valaisinryhmä toimii järjestelmässä yhtenä älykkäänä laitteena. iCONTROL mahdollistaa myös kaupallisten käyttöjännitettä käyttävien antureiden käytön järjestelmissä. Tarjolla on kuitenkin Valopään oma iSENSE, joka toimii tarvittaessa liiketuunistimena, vakiovalotunnistimena tai hämäräkytkimenä. (Valopää Oy, ei pvm)

C2 SmartLight Oy on älykkäisiin ulkovalaistuksen ohjausratkaisuihin erikoistunut yritys. Sen kautta on mahdollista hankkia eri valmistajien LED-valaisimia, joihin on sisäänrakennettu C2 SmartLightin oma C2 SmartLumo -ohjain. Heiltä löytyy valmiita aloituspakettaja mm. puistoihin, urheilukentille ja halleihin. (C2 SmartLight Oy, 2015, ss. 6-9)

Yksinkertaisin sovellus sisältää valaisimen, jossa on sisäänrakennettuna C2 SmartLumo -ohjain ja C2 LumoManager -sovellus valaisimen ohjausta varten. C2 LumoManager -sovelluksella voi luoda erilaisia valaistusaikatauluja joko valaisinryhmille tai yksittäisille valaisimille. Valaistusprofiilit lähetetään kannettavan tietokoneen USB-adapterin avulla valaisimiin. Valaisimet ovat Zigbee-radioyhteydessä toisiinsa sekä tietokoneeseen C2 SmartLumo -ohjaimen avulla. (C2 SmartLight Oy, 2015, ss. 10-11)

C2 SmartLumo -ohjainta saa myös irrallisena, jolloin sillä voi ohjata muiden valaisinvalmistajien LED-valaisimia ja valaisinryhmiä. Himmennys tapahtuu ohjaimessa, joko DALI- tai 1-10 V kytkentänä. Ohjaimen voi liittää myös erilaisia liiketunnistimia tai valo- ja lämpötila-antureita. (C2 SmartLight Oy, 2015, s. 13)

Yritys tarjoaa myös C2 SmartLight keskusjärjestelmän. Keskusjärjestelmä on tarkoitettu laajempien kokonaisuuksien hallintaan, ja sillä voi ohjata langattomasti kaupungin eri alueiden ulkovalaistusta. (C2 SmartLight Oy, 2015, s. 16) Keskusjärjestelmä toimii C2CU keskusyksikön kautta, johon voi liittää erilaisia lisäyksiköitä, kuten C2RU-releyyksikkö ja C2MU-mittausyksikkö. Keskusjärjestelmä raportoi näiden yksiköiden avulla energiankulutuksen, releiden tilat ja erilaisten antureiden tiedot. (C2

SmartLight Oy, 2015, s. 19) Keskusjärjestelmä näyttää lisäksi kaikki vikatilanteet kartalla ja lähettää vikailmoituksen huoltohenkilöstölle. (C2 SmartLight Oy, 2015, s. 16)

Philips Lightning tarjoaa oman älykkään CityTouch-ekosysteeminsä. CityTouch Workflow application on työkalu tiedon- ja huollonhallintaan. CityTouch Connect application on katuvalojen etähallintajärjestelmä, joka toimii säätämisen ja valvonnan ohjauskeskuksena. Se kommunikoi järjestelmän muiden osien kanssa matkapuhelinverkon kautta. AssetLink-käyttöliittymän avulla CityTouch Connect application -järjestelmä voidaan kytkeä kolmannen osapuolen hallintajärjestelmiin. (Philips Lightning Holding B.V, ei pvm)

Connect application on suoraan yhteydessä CityTouch-valmiiseen valaisimeen eikä lisälaitteita tarvita. Se mahdollistaa jokaisen valaisimen yksittäisen hallinnan, mm. energiamittauksen ja valaisimien valvonnan. Valaisimien valotehoa voi säätää suoraan ohjelmasta tai valaisimille voi määrittää erilaiset aikataulut kalenteritoiminnoilla. (Philips Lightning Holding B.V, ei pvm)

Käsiteltyjä älykkäitä järjestelmiä yhdistää valaisimien ja ohjausjärjestelmien välinen langaton yhteys, jolloin ohjauskaapeloinnille ei ole tarvetta. Järjestelmiin voidaan helposti lisätä lisää LED-valaisimia tai muita ohjauslaitteita. Ohjelmistoilla on mahdollista säätää LED-valaisimia halutulla tavalla. Lisäksi ohjelmistot tarkkailevat valaisinten energiankulutusta sekä ilmoittavat vikatilanteista.

4 VALONLÄHTEET

Tutkitaan nykyisen tilanteen parantamiseksi yleisimpien käytössä olevien valonlähteiden ominaisuuksia. Näitä ovat elohopeahöyry-, suurpainennatrium- ja monimetallilamput. Tutkitaan myös LED-valaisimien ominaisuuksia, joille älykkäät ohjausjärjestelmät ovat ensisijaisesti tarkoitettu. Vertaamalla LED-valaistuksen ominaisuuksia yleisimpiin valonlähteisiin kartoitetaan niiden sopivuutta ulkovalaistukseen. Tärkeimpiä tutkittavia ominaisuuksia ovat valotehokkuus, polttoikä, värintoistoindeksi ja väriämpötila.

4.1 Elohopeahöyrylamppu

Elohopeahöyrylamppu (kuva 1) on vanhin tievalaistuksessa käytetty lampputyyppi. Elohopeahöyrylamppujen energiatehokkuus ei enää täytä EU-direktiivin vaatimuksia, joten ne poistuivat markkinoilta 2015. (Sähkötieto ry, 2009, s. 8)

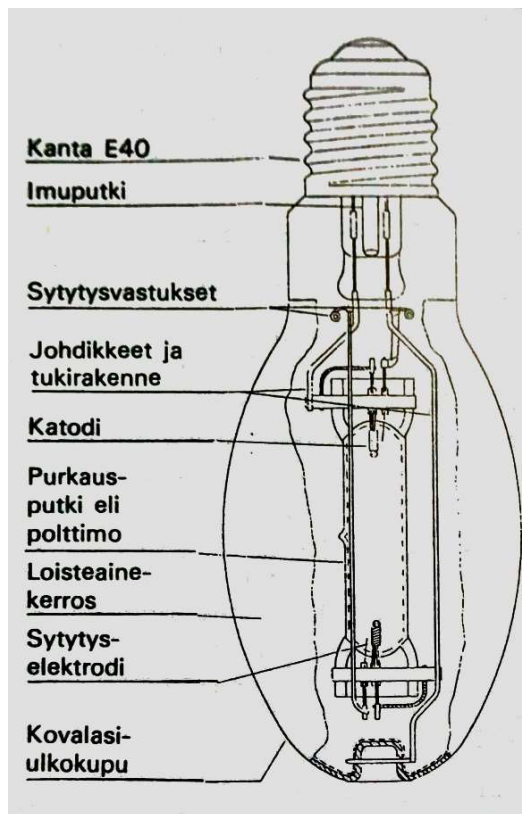
Elohopeahöyrylamppu toiminta perustuu elohopeaa sisältävän polttimon kautta johdettavaan suureen virtaan. Virran takia putken seinämä lämpenee ja elohopeahöyry paine nousee useaan ilmakehään. Suuren tiheyden omaava elohopeahöyry lähettää sähköpurkauksessa valoa. Polttimo on sijoitettu ulkokuvun sisään lämpöeristyksen aikaansaamiseksi ja polttimon suojaamiseksi. Loisteainekerros ulkokuvun sisäpinnassa parantaa lamppu värin ominaisuuksia. (Ahponen, ym., 1998, s. 47)

Elohopealamppua käytetään virranrajoittimen kanssa. Lamppu lämpenee muutamia minutteja, minkä jälkeen lamppu valovirta on saavuttanut täyden arvonsa. Jälleensyntyminen vie myös muutamia minutteja, koska elohopeahöyry täytyy jäähtyä. (Sähkötieto ry, 2009, s. 7)

Elohopeahöyrylamppujen ominaisuuksia:

- valotehokkuus on 40–55 lm/W
- polttoikä 12 000–16 000 h
- värintoistoindeksi 50–60 R_a
- väriämpötila 3200–4200 K

(Tiehallinto, 2006, s. 78)



KUVA 1. Elohopealampun rakenne. (Ahponen, ym., 1998, s. 48)

4.2 Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlamput (kuva 2) ovat tie- ja katuvalaistuksen yleisin valonlähde. Suurpainenatriumlamppu on erittäin energiatehokas valonlähde ja sen takia sopiva julkiseen katu- ja tievalaistukseen, mutta se omaa huonot värintoisto-ominaisuudet. (Sähkötieto ry, 2009, s. 8)

Suurpainenatriumlampussa natriummetallia sisältävän polttimon lävitse johdetaan suuri virtatiheys, jolloin natriumhöyryn paine putken lämmitessä nousee 30–35 kilopascaliin. Tällöin höyry alkaa lähettää valoa. (Ahponen, ym., 1998, s. 60)

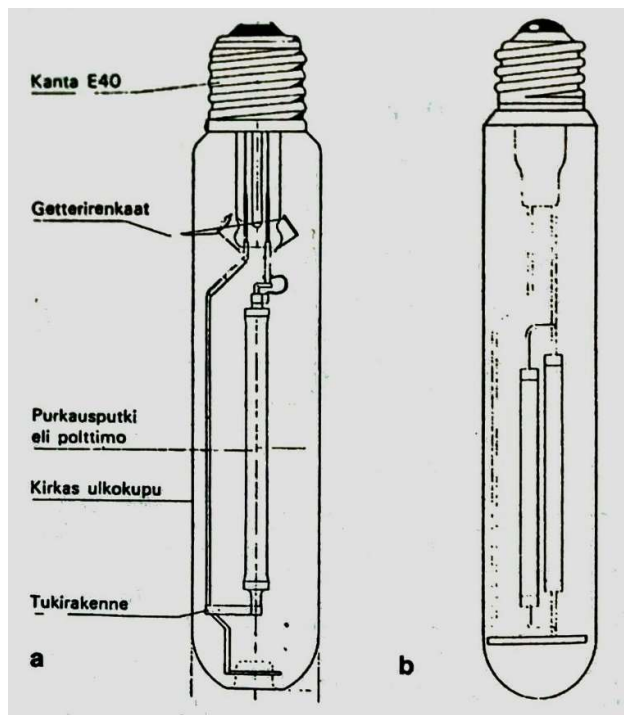
Lamput tarvitsevat palamiseen virranrajoittimen sekä osa lampuista tarvitsee kuristimen lisäksi vielä sytytinlaitteen. Elektronisen liitäntälaitteen kanssa sytytintä ei tarvita. (Sähkötieto ry, 2009, s. 8)

Lamppuja voidaan säätää, mutta sitä ei suositella. (Ensto Lightning Oy, ei pvm)

Suurpainenatriumlamppujen ominaisuuksia:

- valotehokkuus 70–150 lm/W
- polttoikä 12 000–48 000 h
- värintoistoindeksi 20–65 R_a
- värilämpötila 2000–2200 K

(Liikennevirasto, 2015, s. 88)



KUVA 2. Suurpainenatriumlampun rakenne. (Ahponen, ym., 1998, s. 60)

4.3 Monimetallilamppu

Monimetallilamppuja (kuva 3) käytetään, kun valolta vaaditaan hyviä värintoisto-ominaisuuksia. Hyviä puolia ovat lisäksi hyvä valotehokkuus ja kohtuullinen polttoikä. Monimetallilamppuja käytetään mm. julkisivujen ja patsaiden valaisemiseen, sekä puistoalueilla (Sähkötieto ry, 2003, s. 4)

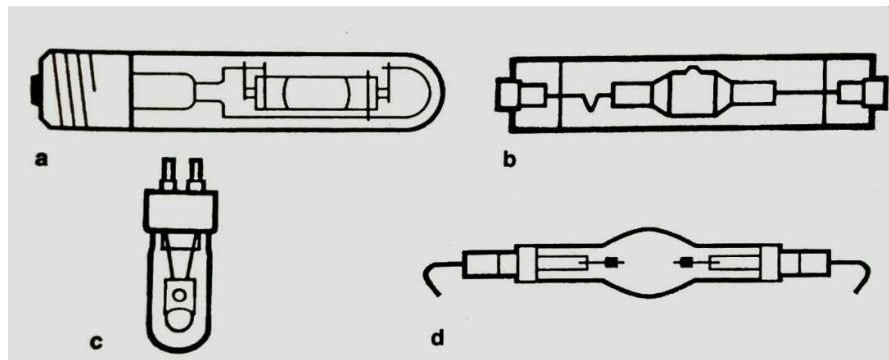
Monimetallilampun polttimoon on viety elohopean lisäksi muiden metallien jodideja. Kuumassa sähköpurkauksessa jodidit hajoavat ja alkavat lähettää valoa. (Ahponen, ym., 1998, ss. 53,54) Tievalaistuksessa käytetyn monimetallivalaisimen rakenne muistuttaa suurpainenatriumlamppua.

Monimetallilamppujen käytössä tarvitaan kuristinta sekä sytytinlaitetta tai vaihtoehtoisesti elektronista liitäntälaitetta. (Sähkötieto ry, 2009, s. 9) Monimetallilamppuja voi säätää, mutta sitä ei suositella säädön vaikuttaessa värintoisto-ominaisuuksiin. (Ensto Lightning Oy, ei pvm)

Monimetallilamppujen ominaisuuksia:

- valotehokkuus 70–125 lm/W
- polttoikä 5 000–30 000 h
- värintoistoindeksi 65–95 R_a
- värilämpötila 2700–4200 K

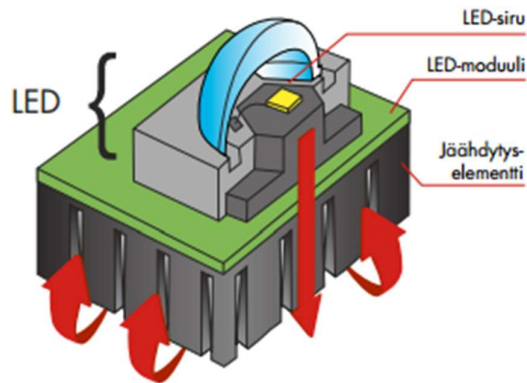
(Liikennevirasto, 2015, s. 88)



KUVA 3. Erilaisia monimetallilamppuja. a) putkilokupainen lamppu, b) kaksikantainen lamppu, c) pienitehoinen pistokantainen lamppu, d) erikoislamppu. (Ahponen, ym., 1998, s. 55)

4.4 LED

LED on lyhenne, joka tulee englanninkielien sanoista Light Emitting Diode. Suomeksi tämä tarkoittaa valodiodia. LED (kuva 4) on puolijohdekomponentti, joka tuottaa yleensä vain yhdenväristä valoa siihen johdattaessa sähkövirtaa. (Sähkötieto ry, 2009, s. 10) Markkinoilla olevat valkoiset ledit ovat yleensä sinistä valoa säteileviä ledejä, joiden päällä on fosforoiva pinnoite. (Sähkötieto ry, 2008, s. 2) Ledit soveltuvat monenlaisiin käyttötarkoituksiin diodien kestävyys- ja pitkäikäisyyden ansiosta. Diodien koko tekee niistä sopivia myös pieniin tiloihin. (Glamox Luxo Lightning, 2013, s. 1)



KUVA 4. Piirilevyllä asennettu LED (Glamox Luxo Lightning, 2013, s. 3)

LED-valaisimet on toteutettu käyttämällä suuritehoisia ledejä, joissa valoteho yltää jopa yli 1 000 lumeniin. Suuritehoisiin ledeihin luetaan yli 1 W tehoiset ledit. Kun ledejä kytketään useita samaan moduulin tai valaisinrunkoon, niistä saadaan tehokkaita valaisimia. (Sähkötieto ry, 2008, s. 5) LED-diodien uskotaan tulevaisuudessa yltävän valotehokkuuteen 200 lm/W, mutta toistaiseksi tehokkaimpien LED-valaisimien valotehokkuus on noin 160 lm/W. (Glamox Luxo Lightning, 2013, s. 3)

LED-valaisin tarvitsee liitäntälaitteen, joka on yleensä sisäänrakennettuna valaisimessa. Liitäntälaitteen tehtävä on muuttaa verkkovirta ledeille sopivaksi tasavirraksi. (Sähkötieto ry, 2008, s. 5) Liitäntälaitte sisältää yleensä myös liitännät erilaisille säätövaihtoehdoille.

LED-valaisimien säätömahdollisuudet ovat laajat. Koska LED on elektroninen komponentti, se voi olla helposti hallittavissa ohjelmiston tai ohjaimen avulla. LED-valaisimia voi sytyttää ja himmentää viiveettä ja ne voivat himmentyä 0,1 prosentista 100 prosenttiin. Purkauslampuilla himmenemisas-teikko on paljon pienempi tai ne eivät himmene ollenkaan. (Glamox Luxo Lightning, 2013)

LED-valaisimen valonväriä voi säätää esimerkiksi sekoittamalla punaisen, sinisen ja vihreän valon diodeja. Tuloksena on joko värillistä valoa tai valkoista valoa eri värilämpötiloissa. (Glamox Luxo Lightning, 2013)

LED-valaisimet ovat pitkäikäisiä sekä energiatehokkaita ja soveltuvat täten hyvin tie- ja katuvalais-tukseen. Valkoista valoa tuottavan LED-valaisimen elinikä voi olla jopa 100 000 h. Arvot vaihtelevat valaisintyyppistä ja käyttösovelluksesta riippuen. (Liikennevirasto, 2015, s. 117)

Elinikää ilmoittaessa, käytetään merkintää L₈₀, L₇₀ tai L₉₀. L-arvo kuvaa valovirran määrää prosent-teina uuden valaisimen valovirrasta eliniäksi ilmoitetun ajan kuluttua. L-arvon kanssa ilmoitetaan myös B-arvo. B-arvo ilmoittaa prosentteina vikaantuvien valonlähteiden määrän. Esimerkiksi L₈₀B₅₀ 70 000 h tarkoittaa, että 70 000 h kuluttua 50 %:ssa valaisimista valovirta on ≥ 80 % uuden tuot-teen valovirrasta. (Rudenbrandt & Rejgård, 2015)

Led valaisimen ominaisuuksia:

- valotehokkuus 100–160 lm/W
- polttoikä 50 000–100 000 h
- värintoistoindeksi 70–95 R_a
- värilämpötila 3000–6500 K

4.5 Yhteenveto valonlähteistä

Valonlähteitä tutkimalla huomaa LED-valaisimien olevan nykypäivänä jo varsin kyvykäs valonlähde ulkovalaistukseen. LED-valaistus yhdistää monimetalli- ja suurpainennatriumlamppujen hyvät puolet. LED-valaisimet omaavat hyvän valotehokkuuden kuten suurpainennatriumlamput sekä hyvän värin-toistoindexin ja värilämpötilan kuten monimetallilamput. Lisäksi LED-valaisimien polttoikä on paljon pidempi kuin muilla valonlähteillä. LED-valaisin on myös ainoa valonlähde jota voi säätää joustavasti ilman sen ominaisuuksien kärsivän. Täten ne sopivat parhaiten ohjattaviksi älykkäillä ohjausjärjestel-millä. Hyödynnetään siis Haapajärven urheilu- ja puistoalueiden valaistuksen uusimisessa LED-valai-simia.

5 VALAISIMEN JA OHJAUSTAVAN VALINTA

Urheilu- ja puistoalueista käytetään esimerkkialueena Karjalahden kuntorataa ja Linninpuistoa. Uuden valaistuksen suunnittelussa alueille uusitaan lähtökohtaisesti vain valaisimet; pylväät, pylväskalusteet ja kaapelit säilyvät ennallaan. Tässä luvussa tarkastellaan miten alueiden valaistuksen ohjaus on toteutettu ja esitetään vaihtoehtoista älykästä ohjausmenetelmää.

Jotta valaistuksen ilme ei muuttuisi, täytyy valittavien LED-valaisinten vastata mahdollisimman paljon ulkonäöltään yleissuunnitelman valaisimia. Tämä koskee eniten puistovalaistusta, mutta urheilualueilla voidaan käyttää yleismallisia valaisimia.

Valolaterna on tehnyt vuonna 2005 Haapajärven kaupungille valaistuksen yleissuunnitelman, jonka tarkoituksena on kohentaa kaupungin valaistuksen yleisilmettä. Suunnitelmassa on esitetty valaisimia, joita on jo käytetty kaupungin valaistuksen uusimisessa. Linninpuistossa käytetty valaisin on Elektroskandian valmistama Katarina-puistovalaisin (kuva 5), jossa on valonlähteenä suurpainennatriumlamppu.



KUVA 5. Elektroskandia Katarina (Elektroskandia, 2013)

Alustavasti valittavien LED-valaisimien valaistustekniset ominaisuudet on oltava vastaavat, kuin puistoille ja urheilualueille on alun perin määritelty.

5.1.1 Karjalahden kuntorata

Karjalahden kuntorata on noin kilometrin pituinen rata (kuva 6). Pylväsväli radalla on noin 36 m. Kuntoradalla on käytössä vanhat valaisimet, joissa on valonlähteenä 125 W tai 250 W elohopea-höyrylamppu. Valaisimet on kiinnitetty vanhoihin puupylväisiin ja valaisimien sähköistys on toteutettu ilmajohdoilla. Ohjauskeskus on uusittu viimeksi 2009 (kuva 7).



KUVA 6. Karjalahden kuntorata

Haapajärven kaupungin valaistussuunnitelmassa ei ole erikseen määritelty valaisimia urheilualueille. Ladut ja pururadat sijaitsevat taajama-alueen ulkopuolella, joten näillä alueilla voidaan käyttää vakiomallisia valaisimia. Uusien valaisimien tulee kuitenkin vastata valaistusteknisiltä ominaisuuksiltaan nykyisiä valaisimia, ja ne valitaan tämän hetkisen valonlähteen perusteella (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Urheilualueiden tämän hetkiset valaisimet

Urheilualueet						
Valmistaja	Malli	Teho/W	Lamppu	Valovirta/lm	Värintoisto- indeksi	Väri- lämpötila/K
-	-	250	HQL	13000	41	3900
-	-	125	HQL	6300	50	4000

Taulukossa 2 on esitetty kaksi vastaavaa LED-valaisinta. Valaisimet ovat säädettäviä ja kummatkin täyttävät valaistustekniset vaatimukset. Valitaan Philipsin Iridium³ Medium lähempään tarkasteluun valaistusteknisiin laskelmiin, jotta voidaan tutkia, miten valaistustekniset vaatimukset täyttyvät alueelle LED-valaisimella.

TAULUKKO 2. Vastaavat LED-valaisimet

Urheilualueet						
Valmistaja	Malli	Teho/W	Lamppu	Valovirta/lm	Värintoistoindeksi	Väriämpötila/K
Valopää	Ilma (VP1011) 140i	21–140	LED	1400–14000	-	4000
Philips	Iridium ³ Medium	38–86	LED	11500	>70	4000

Karjalahden kuntoradalla ohjaus on toteutettu kello- ja hämäräkytkimellä sekä painonappiohjauksella. Kun kellonaika on oikea ja ympäristö on tarpeeksi hämärä, käyttäjän on mahdollista syyttää valaistus painonapista. Tällöin valaistus palaa tiettyyn kellonaikaan asti, jolloin kellokytkin sammuttaa valaistuksen. Jos kuntoradoilla ei käy urheilijoita, valaistus ei ole käytössä.



KUVA 7. Karjalahden kuntoradan ohjauskeskus

Nykyinen ohjaustapa on käytännöllinen, mutta älykkäällä ohjausjärjestelmällä sitä voisi muuttaa hieman erilaiseksi. Painonappia painettaessa valaistus voisi palaa tunnin tai pari kerrallaan. Urheilija ohittaisi painonapin suorituksen aikana useasti ja lisäaikaa saisi joka kierroksella, jos sitä tarvitaan. Tällöin valaistusta ei olisi tiettyyn kellonaikaan asti, kun painonappia on kerran painettu. Uusi ohjaus ei vaadi ohjauskeskusta vaan ainoastaan käyttöjännitteen valaisimille ja painonapille. Ohjelmointi tapahtuu tietokoneella.

5.1.2 Linnipuisto

Linnipuisto on leikkipuisto (kuva 7), jota lapsiperheet käyttävät ahkerasti. Puisto sisältää erilaisia lasten leikkeihin soveltuvia laitteita. Alueella on 12 kappaletta puistovalaisimia, jotka on uusittu vuonna 2005. Valonlähteenä valaisimissa ovat teholtaan 70 W suurpainenatriumlamput.



KUVA 8. Linnipuisto (Google Inc., 2011)

Haapajärven kaupungin valaistussuunnitelmassa puistoalueille on määritelty kolme erityyppistä mallivalaisinta, joista Elektroskandian Katarina-valaisinta on käytetty Linnipuiston valaistuksen uusimisessa. Kyseisen valaisimen ominaisuudet on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Puistoalueella käytetyn Katarina-puistovalaisimen ominaisuudet

Puistot ja kevyenliikenteen väylät						
Valmistaja	Malli	Teho/W	Lamppu	Valovirta /lm	Värintoisto-indeksi	Väriämpötila/K
Elektroskandia	Katarina	70	HSE	6300	20–39	2000

Uusien LED-valaisimien tulee olla valaistusteknisiltä ominaisuuksiltaan ja yleisilmeeltään samanlaisia kuin valaistussuunnitelmassa. Taulukossa 4 on esitetty kolme vastaavan mallista LED-valaisinta.

TAULUKKO 4. Vastaavat LED-valaisimet.

Puistot ja kevyenliikenteen väylät						
Valmistaja	Malli	Teho/W	Lamppu	Valovirta/lm	Värintoisto-indeksi	Väriämpötila/K
M-light	Comet LED	50	LED	6000	>70	4000
Alppilux	Camillo	35	LED	3060	>70	4000
Philips	Grandeville LED	30–47	LED	4900	>80	4000

Valaisimista valmistajan M-light Comet LED-valaisin (kuva 9) vastaa valaistusteknisiltä ominaisuuksiltaan tämän hetkisiä valaisimia. Comet LED-valaisin vastaa ulkonäöltään Katarina-valaisinta ollen hieman modernimpi. Valitaan Comet LED-valaisin lähempään tarkasteluun valaistusteknisiin laskelmiin, jotta voidaan tutkia miten valaistustekniset vaatimukset täyttyvät alueelle LED-valaisimella.



KUVA 9. M-Light Comet LED-valaisin (M-light, ei pvm)

Linninpuistossa ohjaus on toteutettu hämäräkytkimillä ja VAK-kauko-ohjauksella. Valot syttyvät hämäräkytkimellä keskusvalvomosta ja sammuvat illalla klo 22–23. Valot syttyvät jälleen aamulla klo 6–7 keskusvalvomon aikaohjaimella ja hämäräkytkin sammuttaa valaistuksen ympäristön ollessa tarpeeksi valoisa.

Linninpuiston valaistuksen ohjauksen voisi toteuttaa älykkään ohjausjärjestelmän avulla käyttämällä esimerkiksi liiketunnistinta. Kun puistossa ei ole käyttäjiä, valaistus palaisi noin puolella teholla. Liiketunnistin havaitessaan käyttäjän nostaisi valaistuksen täyteen tehoonsa. Valaistus palaisi täydellä teholla, kunnes liikettä ei havaita enää esimerkiksi 15 minuuttiin. Tämän jälkeen valaistus himmenisi jälleen puolelle teholle. Valaistus sammuisi yöksi ja syttyisi jälleen aamulla muutamaksi tunniksi, kunnes hämäräkytkin sammuttaa valaistuksen päiväksi. Vaihtoehtoisesti valaistus voisi palaa koko yön puolella teholla. Tässäkin tapauksessa ainoastaan valaisimille ja liiketunnistimille tarvitaan käyttöjännite. Ohjauskeskusta ei tarvittaisi ja ohjelmointi tapahtuisi tietokoneella.

6 VALAISTUSTEKNISET LASKELMAT

Jotta valaistustekniset laskelmat voidaan suorittaa, valitaan alueille ensin valaistusluokat ja alenemakeroihin. Valaistusteknisillä laskelmilla tarkastetaan, täyttyvätkö valituilla LED-valaisimilla valaistusluokkien vaatimat valaistusvoimakkuuksien arvot. Laskenta suoritetaan tekemällä mallinnus Karjalahden kuntoradasta ja Linninpuistosta, käyttämällä DIALux-valaistuksensuunnitteluohjelmaa.

DIALux on ammattikäyttöön suunniteltu ohjelmisto, jolla voi suunnitella, laskea ja visualisoida valoa. Ohjelmaa voi hyödyntää erilaisiin tiloihin, kuten huoneisiin, kokonaisiin rakennuksiin tai ulkoalueisiin. Maailmanlaajuisesti DIALux on käytössä yli 600 000 valaistussuunnittelijalla. (DIAL GmbH., 2016) DIALux käyttää laskennassa valaisinvalmistajien valaisintietoja.

6.1 Valaistusluokan valinta

Sopivalla valaistusluokalla saadaan aikaan tie- ja katuvalaistuksen liikenneturvallisuutta ja ympäristöä parantavat vaikutukset. Valaistus pysyy luokassaan valaistusteknisten ominaisuuksien täyttäessä näkemisen ja havaitsemisen edellyttämät vaatimukset sekä näiden ollessa oikeassa suhteessa keskenään. (Liikennevirasto, 2015, s. 24)

Tarkasteltavia alueita ovat urheilu- ja puistoalueet, jotka kuuluvat kevyen liikenteen väyliin. P-luokat on tarkoitettu mm. jalankulkijoille sekä pyöräilijöille jalkakäytävillä, asunto- ja pihakaduille, jalankulkukaduille, pysäköintialueille ja pihaille. (Liikennevirasto, 2015, s. 26) Valaistusluokan valinnan perusteina käytetään taulukkoa 5, jossa on esitetty erilaisia kevyen liikenteen väylillä ja alueilla käytettäviä valaistusluokkia.

TAULUKKO 5. Erilaisilla kevyen liikenteen väylillä ja alueilla käytettävät valaistusluokat (Liikennevirasto, 2015, s. 33)

Väylä tai alue	Valaistusluokka	Väylä tai alue	Valaistusluokka
KÄVELYKADUT		ERILLISET JALANKULKU-	
Keskustassa		JA PYÖRÄTIET	
Vain kevytliikenne	P2	Vilkkaat	P4
Huoltoajo sallittu	P1	Vähätoimintaiset	P6
Muilla alueilla		ALIKULKUKÄYTTÄVÄT	C4
Vain kevytliikenne	P3		
Huoltoajo sallittu	P2		
Maaseututaajamat		ULKOILUTIET	
Vain kevytliikenne	P3, P4	Puistokäytävät	P3
Huoltoajo sallittu	P2	Hiihtoladut, pururadat	P4
HIDAS- JA PIHAKADUT		PYSÄKÖINTIALUEET	
Vilkkaat	P2	Vilkkaat	P3
Vähätoimintaiset	P4, P5	Vähätoimintaiset	P4
JALANKULKUALUEET			
KESKUSTASSA			
TORIT JA AUKIOT	P1, P2		

Taulukon 5 perusteella Karjalahden kuntoradan valaistusluokaksi valitaan P4 alueen hiihtoladut, pururadat mukaan. Linninpuistolle valitaan valaistusluokka P3 alueen puistokäytävät mukaan. Valittujen luokkien perusteella taulukosta 6 saadaan kyseisten luokkien vaadittu vaakataso valaistusvoimakkuuden minimi E_h sekä keskiarvon minimi E_{hm} .

TAULUKKO 6. P-luokkien valaistusvoimakkuus. (Liikennevirasto, 2015, s. 26)

Luokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus	
	$E_{hm}/lx, \text{ min}$	$E_h/lx, \text{ min}$
P1	15	5
P2	10	3
P3	7,5	1,5
P4	5	1
P5	3	0,6
P6	2	0,6

Taulukon 6 mukaan vaakataso valaistusvoimakkuuden minimin on oltava urheilualueilla vähintään 1 lx ja keskiarvon minimin vähintään 5 lx. Puistoalueilla vaakataso valaistusvoimakkuuden minimin on oltava 1,5 luksia ja keskiarvon minimin vähintään 7,5 lx. Riittävän tasaisuuden vuoksi valaistusvoimakkuuden keskiarvon minimi E_{hm} ei saa olla yli 1,5-kertainen luokan edellyttämään arvoon nähden. (Liikennevirasto, 2015, s. 26)

6.2 Alenemakertoimen määrittely

Valaistusteknisissä laskennoissa tulee käyttää alenemakerointa. Alenemakertoimella pyritään varmistamaan, että valaistusasennus täyttää valaistustekniset vaatimukset asennuksen koko elinkaaren ajan kunnossapitotoimenpiteet huomioituna. Alenemakeroin määräytyy valittujen valaistuslaitteiden ja asennusympäristön mukaan. (Liikennevirasto, 2015) Alenemakeroin saadaan taulukosta 7.

Valaisimen likaantuminen riippuu asennuskorkeudesta, ilman kosteudesta ja liikenneympäristön puhtaudesta. Liikenneympäristön puhtaus riippuu liikenteen määrästä ja koostumuksesta, ilmastosta, tuulisuudesta ja kohteen sijainnista. Alenemakertoimet tulee määrittää hankkeittain ottaen selvillä edellä mainittujen tekijöiden vaikutukset ja valaisimien ominaisuudet. (Liikennevirasto, 2015)

TAULUKKO 7. Alenemakeroimet valonlähdeyypeittäin kotelointiluokan ollessa vähintään IP65 (Liikennevirasto, 2015)

Valonlähde	Perus	Liikenneympäristö	
		Puhdas	Likainen
Suurpainenatrium, 100–400 W	0,8	0,85	0,75
Suurpainennatrium, 50–70 W, 600 W	0,75	0,8	0,7
Monimetalli, keraaminen	0,65	0,7	0,6
Monimetalli, keraaminen, 45 W, 60 W	0,7	0,75	0,65
Monimetalli, keraaminen, 90 W, 140 W	0,75	0,8	0,7
Induktio	0,65	0,7	0,6
LED*	0,7	0,75	0,65
Loisteputki T8/T5, pakkasputki	0,7	0,75	0,65

* Arvoille $L_{80B_{10}}$, lämpötilassa $t_a=25$ °C. Muita arvoja käytettäessä alenemakeroin on määriteltävä aina niiden mukaan.

Tunneleissa ja likaisissa teollisuusympäristöissä käytetään aina likaisen liikenneympäristön arvoja. Perusarvoa käytetään, kun valaisimien puhdistusväli on 4 tai 5 vuotta. Pidempi puhdistusväli edellyttää likaisen liikenneympäristön arvon käyttöä. Puhtaan liikenneympäristön arvoa käytetään teinpitoviranomaisen luvalla, jos vertailumittauksin voidaan osoittaa valaisimien likaantumisen olevan hyvin vähäistä tai jos puhdistusväli on lyhyt. (Liikennevirasto, 2015)

Tie- ja katuvalaistuksessa lamppujen vaihtoväli on yleensä 3 - 5 vuotta. Näin ollen oletetaan, että LED-valaisimet puhdistetaan vähintään 5 vuoden välein. Molempien valaisinten käyttöaika on $L_{80B_{10}}$ 100 000 h, joten käytetään alenemakertoimena taulukon 7 mukaan LED-valonlähteen perusarvoa 0,7 Karjalahden kuntoradalla ja Linninpuistossa.

6.3 Karjalahden kuntoradan valaistustekniset laskelmat

Mallinnetaan DIALux-valaistuksensuunnitteluohjelmalla Karjalahden kuntorata. Laskennan suorittamiseksi ohjelmaan syötetään:

- radan leveys 3 m
- pylväsväli 36 m
- valaisimen asennuskorkeus 8 m
- etäisyys tien reunaan 0,5 m
- alenemakerroin 0,70
- valittu valaistusluokka P4
- Philips Iridium³ Medium -valaisimen valotiedosto.

Keskimääräisen valaistusvoimakkuuden E_m -arvo tulee olla vähintään 5,00 lx eikä se saa olla yli 1,5-kertainen eli 7,5 lx. Valaistusvoimakkuuden minimin E_{min} tulee olla vähintään 1,00 lx.

DIALux-valaistuksensuunnitteluohjelman laskemat valaistusvoimakkuuksien arvot Karjalahden kuntoradalle, kun valovirta on 11 500 lm:

- vaakatason valaistusvoimakkuus $E_{hm} = 16,32$ lx.
- valaistusvoimakkuuden minimi $E_{min} = 6,55$ lx.

DIALux-ohjelmiston laskemista tuloksista voi huomata keskimääräisen valaistusvoimakkuuden arvon olevan yli 1,5-kertainen määriteltyyn vähimmäisarvoon nähden. Valaisin ei kelpaa sellaisenaan valaistusluokan puolesta kuntoradalle. Säädetään seuraavaksi valaisimen valovirtaa ja tutkitaan, minkä suuruinen valovirta riittää täyttämään minimiarvot ja maksimiarvot.

DIALux-valaistuksensuunnitteluohjelman laskemat valaistusvoimakkuuksien arvot Karjalahden kuntoradalle, kun valovirta on 5200 lm:

- vaakatason valaistusvoimakkuus $E_{hm} = 7,41$ lx.
- valaistusvoimakkuuden minimi $E_{min} = 2,97$ lx.

DIALux-valaistuksensuunnitteluohjelman laskemat valaistusvoimakkuuksien arvot Karjalahden kuntoradalle, kun valovirta on 3 600 lm:

- vaakatason valaistusvoimakkuus $E_{hm} = 5,13$ lx.
- valaistusvoimakkuuden minimi $E_{min} = 2,06$ lx.

Tuloksista on huomattavissa Karjalahden kuntoradan suurimman sallitun valovirta-arvon olevan 5 200 lm, joten valaistustekniset vaatimukset pysyvät luokassaan. Pienin sallittu valovirta-arvo on puolestaan 3 600 lm, jolloin valaistustekniset vaatimukset pysyvät luokassaan.

6.4 Linninpuiston valaistustekniset laskelmat

Mallinnetaan seuraavaksi DIALux-ohjelmistolla Linninpuisto. Otetaan alueen turvallisuuden kannalta laskentaan mukaan puolisynterivalaistusvoimakkuus. Laskennan suorittamiseksi ohjelmaan syötetään:

- tien leveys 2 m
- pylväsväli 18 m
- valaisimen asennuskorkeus 4 m
- etäisyys tien reunaan 0,5 m
- alenemakerroin 0,70
- valittu valaistusluokka P3
- M-light Comet LED -valaisimen valotiedosto
- puolisynterivalaistusvoimakkuus (DIALux hakee valaistusluokan ES6 automaattisesti)

Keskimääräisen valaistusvoimakkuuden E_m -arvon tulee olla vähintään 7,50 lx eikä se saa olla yli 1,5-kertainen eli 11,25 lx. Valaistusvoimakkuuden minimin E_{min} tulee olla vähintään 1,50 lx. ja puolisynterivalaistusvoimakkuuden E_{sc} tulee olla vähintään 1,5 lx.

DIALux-valaistuksensuunnitteluohjelman laskemat valaistusvoimakkuuksien arvot Linninpuistolle, kun valovirta on 6 000 lm:

- vaakataso valaistusvoimakkuus $E_{hm} = 22,38$ lx.
- valaistusvoimakkuuden minimi $E_{min} = 4,20$ lx.
- puolisynterivalaistusvoimakkuus $E_{sc} = 0,64$ lx.

Tuloksista huomaa, että M-light Comet LED -valaisimella ylittyy keskimääräisen valaistusvoimakkuuden todellinen arvo yli 1,5 kertaa. Puolisynterivalaistusvoimakkuuskaan ei täyty, eikä se ole lähelläkään vaadittua arvoa. Säädetään valovirtaa sellaisille tasoille, että minimiarvo ja maksimiarvo täyttyvät. On epätodennäköistä, että puolisynterivalaistusvoimakkuus tulee täyttymään valovirran pienentyessä.

DIALux-valaistuksensuunnitteluohjelman laskemat valaistusvoimakkuuksien arvot Linninpuistolle, kun valovirta on 3 000 lm:

- vaakataso valaistusvoimakkuus $E_{hm} = 11,19$ lx.
- valaistusvoimakkuuden minimi $E_{min} = 2,10$ lx.
- puolisynterivalaistusvoimakkuus $E_{sc} = 0,32$ lx.

DIALux-valaistuksensuunnitteluohjelman laskemat valaistusvoimakkuuksien arvot Linninpuistolle, kun valovirta on 2 200 lm:

- vaakataso valaistusvoimakkuus $E_{hm} = 8,21$ lx.
- valaistusvoimakkuuden minimi $E_{min} = 1,54$ lx.
- puolisynterivalaistusvoimakkuus $E_{sc} = 0,23$ lx.

Tuloksista on huomattavissa Linninpuiston suurimman sallitun valovirta-arvon olevan 3 000 lm, joten valaistustekniset vaatimukset pysyvät luokassaan. Pienin sallittu valovirta-arvo on puolestaan 2200 lm, joten valaistustekniset vaatimukset pysyvät luokassaan. Lisäluokan ES6 puolisynterivalaistusvoimakkuus on puolestaan pienentynyt, kuten oletettiin.

6.5 Tulosten tarkastelu

Tulokset on nähtävissä tarkemmin liitteessä 3. Tuloksista huomaa vaadittujen valaistusvoimakkuuksien täyttyvän odotettua pienemmillä valovirroilla. Vastaavista valaisimista voidaan siis valita teholtään pienemmät mallit elinkaarikustannuslaskentaan.

Jotta vaadittu valaistusluokka säilyy, Philips Iridium³ Medium-valaisimen valovirran tulee olla välillä 3600–5200 lm. Vastaavaa mallia löytyy pienimmillään 38 W teholla ja 5500 lm valovirralla sekä 46 W teholla ja 6500 lm valovirralla. Vakiovalovirtaohjaus otettaessa huomioon teholtään 46 W ja valovirraltään 6500 lm versio on parempi vaihtoehto.

M-Light Comet LED-valaisimen valovirran tulee olla välillä 2200–3000 lm, jotta vaadittu valaistusluokka säilyy. Pienin vastaava malli on teholtään 35 W ja valovirraltään 4000 lm. Kun vakiovalovirtaohjaus otetaan huomioon, kyseinen malli on sopiva.

Puolisynterivalaistusvoimakkuus on ainoa joka ei täyty. Puolisynterivalaistusvoimakkuus ei ole pakollinen ulkovalaistuksessa. Se on lisäluokka, jonka tarkoituksena on luoda enemmän turvallisuuden tunnetta. Tällöin esimerkiksi kasvot ovat helpommin tunnistettavissa. Jotta puolisynterivalaistusvoimakkuus täyttyisi, pylväsvälin tulisi olla lyhyempi tai Comet LED-valaisimen optiikan tulisi olla leveämpi. Tällöin puolisynterivalaistusvoimakkuus voidaan mahdollisesti saada kohdilleen.

7 ELINKAARIKUSTANNUSLASKELMAT

Lopuksi suoritetaan valituille LED-valaisimille elinkaarikustannuslaskelmat. Verrataan LED-valaistuksen kustannuksia elohopeahöyry-, suurpainenatrium- ja monimetallilamppuihin. Vertailussa otetaan huomioon pituusyksikköä kohden valaistuksen rakennuskustannukset, ensimmäisen vuoden energia- ja kunnossapitokustannukset sekä elinkaarikustannukset nykyarvomenetelmällä. Lasketaan kustannukset myös aluekohtaisesti Karjalahden kuntoradalle ja Linninpuistolle.

Laskennassa käytetään ohjeena Liikenneviraston Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 13.5.2015. Laskenta suoritetaan käyttämällä Excel-taulukkolaskentaohjelmaa.

Rakennuskustannukset pituusyksikköä kohti lasketaan kaavalla 1.

$$K_r = \frac{m * H_p + n * H_v + S * H_{sv}}{S}, \quad (1)$$

jossa

m	pylväiden lukumäärä poikkileikkauksessa
n	valaisimien lukumäärä poikkileikkauksessa
H _p	pylvään ja jalustan hinta sisältäen asennustyöt (€/kpl)
H _v	valaisimen hinta sisältäen asennustyöt ja valonlähteen (€/kpl)
H _{sv}	sähköverkon perushinta (€/m)
S	pylväsväli (m)

(Liikennevirasto, 2015)

Hoitokustannukset pituusyksikköä kohti lasketaan kaavalla 2.

$$K_{h1} = (K_{e1} + K_{kp1}), \quad (2)$$

jossa

K _{e1}	ensimmäisen vuoden energiakustannukset
K _{kp1}	ensimmäisen vuoden kunnossapitokustannukset

(Liikennevirasto, 2015)

Ensimmäisen vuoden energiakustannukset lasketaan kaavalla 3.

$$K_{e1} = \frac{t_1 * n * P_i * H_e}{S}, \quad (3)$$

jossa

t_1	vuotuinen polttoaika (h)
n	valaisimien lukumäärä poikkileikkauksessa
P_i	valaisimen teho liitäntälaitteeseen (kW)
H_e	sähkön kokonaishinta (€/kWh)
S	pylväsväli

(Liikennevirasto, 2015)

Ensimmäisen vuoden kunnossapitokustannukset lasketaan kaavalla 4.

$$K_{kp1} = \frac{\frac{n * H_{lr}}{t_2} + q * n * H_{ly} + m * C}{S}, \quad (4)$$

jossa

n	on valaisimien lukumäärä poikkileikkauksessa
H_{lr}	lampun ryhmävaihdon perushinta sisältäen asennustyön (€/kpl)
t_2	lampun polttoikä
q	yksittäisten vaihtojen suhteellinen määrä vuosittain
H_{ly}	lampun yksittäisvaihdon perushinta sisältäen asennustyön (€/kpl)
m	pylväiden lukumäärä poikkileikkauksessa
C	kiinteät kustannukset (€/pylväs)
S	pylväsväli

(Liikennevirasto, 2015)

Hoitokustannusten nykyarvo lasketaan kaavalla 5.

$$K_h = (K_e + K_{kp}), \quad (5)$$

jossa

K_e	on energiakustannusten nykyarvo 30 vuodelta
K_{kp}	kunnossapitokustannusten nykyarvo 30 vuodelta

(Liikennevirasto, 2015)

Energiakustannusten nykyarvo lasketaan kaavalla 6.

$$K_e = \sum_{t=0}^{29} \left(\frac{1 + \beta_e}{1 + p} \right)^t * K_{e1}, \quad (6)$$

jossa

- β_e on energiakustannusten vuotuinen kasvu, yleensä 6 %
 p hallinnollisesti määrätty laskentakorko, yleensä 5 %
 t tarkasteluajanjakson pituus vuosissa, yleensä 30 vuotta
 K_{e1} ensimmäisen vuoden energiakustannukset

(Liikennevirasto, 2015)

Kunnossapitokustannusten nykyarvo lasketaan kaavalla 7.

$$K_{kp} = \sum_{t=0}^{29} \left(\frac{1 + \beta_{kp}}{1 + p} \right)^t * K_{kp1}, \quad (7)$$

jossa

- β_{kp} on kunnossapitokustannusten vuotuinen kasvu, yleensä 3 %
 p hallinnollisesti määrätty laskentakorko, yleensä 5 %
 t tarkasteluajanjakson pituus vuosissa, yleensä 30 vuotta
 K_{kp1} ensimmäisen vuoden kunnossapitokustannukset

(Liikennevirasto, 2015)

Elinkaarikustannusten nykyarvo lasketaan kaavalla 8.

$$E_k = K_r * K_h + \frac{1}{(1 + p)} * J, \quad (8)$$

jossa

- E_k on elinkaarikustannusten nykyarvo
 K_r rakennuskustannukset
 p hallinnollisesti määrätty laskentakorko, yleensä 5 %
 t tarkasteluajanjakson pituus vuosissa, yleensä 30 vuotta
 K_h hoitokustannusten nykyarvo
 J laskennallinen jäännösarvo, 25 % rakennuskustannuksista

(Liikennevirasto, 2015)

7.1 Laskelmissa käytetyt arvot

Karjalahden kuntoradan ja Linninpuiston laskelmissa käytetään suurimmaksi osaksi samoja arvoja. Molemmille alueille määritetään erikseen valaisimien sekä lamppujen teho ja hinta, käyttötunnit ja pylväsväli. Hinnat ovat arvonlisäverottomia.

Suurpainenatrium- ja monimetallilamppujen kohdalla käytetään niiden tyypillisimpiä hintoja ja poltto-aikoja. Molemmilla alueilla suurpainenatriumlampun polttoikä 5 vuotta, ryhmävaihtohinta 28 €/kpl, sekä yksittäisvaihtohinta 42 €/kpl. (Liikennevirasto, 2015, s. 117) Monimetallilampun polttoikä on 3 vuotta, ryhmävaihtohinta 40 €/kpl, yksittäisvaihto 55 €/kpl. (Motiva Oy, 2014, s. 8).

LED-valaistuksella tulee molemmilla alueilla vakiovalovirtaohjauksesta noin 10 % energiansäästö. LED-moduuli ja liitäntälaitte vaihdetaan 15 vuoden jälkeen, jolloin LED-valaistuksen teho on 80 % alkuperäisestä. Arvioitu vaihdon hinta on noin 40 % nykyisen valaisimen hinnasta sisältäen asennustyöt. Yksittäisvaihdon hinta on 150 €, joka kattaa LED-moduulin vaihdon, sisältäen asennustyöt. Lisäksi LED-valaisimet puhdistetaan 5 vuoden välein. Puhdistuksen hinta on 15 €/kpl. (Liikennevirasto, 2015, s. 122)

Lisäksi käytetään seuraavia arvoja:

- vuotuiset pylväskustannukset 34 €/kpl
- yksittäisvaihtojen suhteellinen määrä vuosittain LED-valaisimilla 0,02
- yksittäisvaihtojen suhteellinen määrä vuosittain muilla valonlähteillä 0,1
- tarkastelu-aika 30 vuotta
- energiakustannusten vuotuinen kasvu 6 %
- kunnossapitokustannusten vuotuinen kasvu 3 %
- hallinnollisesti määrätty laskentakorko 5 %

(Liikennevirasto, 2015, ss. 122,123)

Karjalahden kuntoradalla otetaan elohopeahöyrylamppu mukaan vertailuun, koska sillä on toteutettu kuntoradan nykyinen valaistus. Rakennuskustannuksia ei siis ole. Käytetään elohopeahöyrylamppujen tyypillisimpiä hintoja ja polttoikää. Elohopeahöyrylamppujen polttoikä on 3 vuotta, ryhmävaihtohinta 10 €/kpl, sekä yksittäisvaihtohinta 24 €/kpl. (Tiehallinto, 2006, s. 29) Teho on 125 W. Suurpaine- ja monimetallilamppuja käyttävän valaisimen arvioitu hinta on 350 € asennuksineen ja teho 150 W. LED-valaisimen hinta on 800 € ja teho 46 W.

Karjalahden kuntoradalle ei ole saatavissa vuotuisia käyttötunteja, mutta ne voidaan arvioida. Kuntorata on 1050 m pitkä ja pylväsväli noin 36 m. Tällöin valaisimia on 29 kpl. Haapajärven kaupungilta on saatu Karjalahden vuosikulutus, joka on 1426 kWh vuodessa. 125 W elohopeahöyrylampulla käyttötunteja on siis 393 h vuodessa. Elinkaarikustannuslaskelman tulokset ovat nähtävissä liitteessä 1.

Linnipuistossa on suurpaine- ja monimetallilamppuja käyttäviä valaisimia. Rakennuskustannuksia ei siis ole. Lamppujen teho 70 W. LED-valaisimen arvioitu hinta on 450 € ja teho 35 W. Pylväsväli on 18 m ja Haapajärven kaupungilta saadut käyttötunnit Linnipuistolle ovat 2272 h vuodessa. Elinkaarikustannuslaskelman tulokset ovat nähtävissä liitteessä 2.

Laskennassa on huomioitava, että markkinoilla olevista LED-valaisimista ei ole vielä pitkän ajanjakson kokemuksia kunnossapitokustannuksista tai kustannuksista. Arvot vaihtelevat paljon valmistajasta, valaisintyypistä ja käyttösovelluksesta riippuen. (Liikennevirasto, 2015, s. 117)

7.2 Tulosten tarkastelu

Älykkään ohjausjärjestelmän hintaa ei ole huomioitu kummankaan tapauksen rakennuskustannuksissa. Edullisimman järjestelmän hinta on noin 1 000 €. Laskennassa ohjauksellisesti on otettu huomioon vain vakiovalovirtaohjaus, sekä moduulin vaihdon jälkeinen 80 prosentin teho nykyisestä tehosta. LED-valaistuksen käyttökokemusten ja valaisimen raportointien tietojen perusteella valaistuksen tehoa olisi myös mahdollista säätää tulevaisuudessa eri tavoin, mikä toisi mahdollisesti lisäsäästöjä energiankustannuksissa.

Käyttäjämääriä on hankala arvioida liiketunnistimien ja painonappien kannalta, joten oletetaan LED-valaistuksen olevan kummassakin tapauksessa täydellä teholla. Liiketunnistimen ja painonapin käyttö on suoraan verrannollinen ulkoilevien ihmisten määrään. Jos ihmisiä on vähän, valaistus palaa puistossa enimmäkseen puolella teholla ja kuntoradalla valaistus ei välttämättä pala ollenkaan. Ulkoilevien ihmisten määrään voi vaikuttaa esimerkiksi erilaiset säätilat.

7.2.1 Karjalahden kuntorata

Karjalahden kuntoradan kohdalla tuloksista on huomattavissa LED-valaistuksen olevan kallein vaihtoehto. Se on noin 14 000 € kalliimpi kuin suurpainenatriumlamppuja valonlähteenään käyttävä valaistus ja 7 000 € kalliimpi kuin monimetallilamppua valonlähteenään käyttävä valaistus. Suurin osa kustannuksista tulee LED-valaistuksen rakennuskustannuksista LED-valaisimien ollessa vielä kalliita. On myös huomioitava, että Karjalahden kuntoradan valaistusteknisissä laskelmissa käytetyn esimerkki-LED-valaisimen hinta on karkea arvio. Valaisimien hinnoissa on valmistajien välillä huomattavia eroja.

LED-valaistuksen korkeampaan hintaan vaikuttaa myös Karjalahden kuntoradan vähäiset käyttötuntimäärät. LED-valaistuksen energiakustannukset ovat huomattavasti alhaisemmat LED-valaisimien ollessa paljon pienempiä teholtaan. LED-valaistus ei pääse maksamaan itseään takaisin energiakuiluissa käyttötuntien ollessa vähäiset.

Laskennassa käytetyt monimetalli- ja suurpainenatriumlamput ovat suuritehoisia. On erittäin todennäköistä, että kyseisistä lamputa kuntoradalle kävisi teholtaan pienemmät lamput, kuten LED-valaisimen kohdalla huomattiin valaistusteknisissä laskelmissa. Tämä laskisi molempien lampputyypin energiakustannuksia.

Suurpainenatriumlampun valo on kellertävää ja värintoisto huono. Vaikka suurpainenatriumlampun värintoisto on huonompi kuin monimetallilampulla tai LED-valaisimella, kuntosadalla sillä ei ole suurta merkitystä. Tärkeintä on kuntosadalla erilaisten esteiden havaitseminen, mikä onnistuu yhtä hyvin kellertävällä ja huonon värintoiston omaavalla valolla, kuin monimetallilampun ja LED-valaisimen vaaleammalla valolla. Suurpainenatriumlamppuja käytettäessä älykästä ohjausjärjestelmää ei ole kuitenkaan mahdollista käyttää.

7.2.2 Linninpuisto

Linninpuistossa elinkaarikustannuksissa ei ole puolestaan havaittavissa merkittäviä eroja. Ero suurpainenatriumlamppuja valonlähteenään hyödyntävään valaistukseen on noin 800 € ja monimetallilamppuja valonlähteenään hyödyntävä valaistus on 700 € kalliimpi. Suurpainenatrium- ja monimetallilamppujen tapauksessa on huomioitava, että elinkaarikustannukset koostuvat lähinnä kunnossapito- ja energiakustannuksista, koska rakennuskustannuksia ei ollut. Käyttötuntimäärien ollessa Linninpuistossa korkeammat LED-valaistus on pääsyt maksamaan itseään jo takaisin energiakustannuksissa. Lisäksi älykäs ohjaus voi pienentää energiakustannuksia, riippuen puistoa käyttävistä henkilöistä.

LED-valaistuksen pienillä energiakustannuksilla voi jo pohtia kannattaako valaistusta pitää puistoissa päällä öisin, esimerkiksi puolella teholla. Luonnollisesti se lisäisi energiankulutusta, mutta vastineeksi se tarjoaisi turvallisuuden tunnetta öisille kulkijoille. Haapajärvi rauhallisena kaupunkina ei välttämättä tarvitse läpi yön palavaa valaistusta. Öisen valaistuksen tarve korostuu enemmän suuremmissa kaupungeissa, joissa rikollisuuden määrä on korkeampi.

Myös valonlähteiden värintoisto on Linninpuistossa merkittävämmässä asemassa, kuin Karjalahden kuntosadalla. Linninpuistossa nykyisten suurpainelamppujen värintoistoindeksi on huono, noin 20–39. Lisäksi suurpainenatriumlampun kellertävä valo voi olla puistossa häiritsevää. Vaihtamalla LED-valaistus Linninpuistoon värintoistoindeksi on jo yli 70. Tällöin Linninpuiston valaisimet toistaisivat värit luonnollisempaan kuin ne nykyään ovat ja LED-valaisimista lähtevä valkea valo olisi miellyttävämpi.

8 YHTEENVETO

Euroopan unionin tavoitteet energiatehokkuuden parantamiseksi ovat johtaneet elohopealamppujen poistumiseen markkinoilta vuonna 2015. Suomen kaupungit joutuvat lähitulevaisuudessa vaihtamaan vanhat elohopealamppuja valonlähteenään käyttävät valaisimet uusiin. Tavoitteet energiatehokkuuden parantamiseksi ovat myös edesauttaneet energiatehokkaiden LED-valaisimien ja erilaisten älykkään sähköverkon ratkaisujen kehittymistä.

Työn tavoitteena oli tutkia, miten älykästä sähköverkkoa voisi hyödyntää Haapajärven kaupungin urheilu- ja puistoalueiden valaistuksessa. Lisäksi alueille laskettiin vertailun vuoksi elinkaarikustannuksia eri valonlähteille. Vertailussa käytetyt valonlähteet olivat monimetalli- ja suurpainennatriumlamppu sekä LED-valaisin. Huomioitavia asioita valaistuksen uusimisessa kustannusten lisäksi olivat myös valonlähteiden ominaisuudet ja valon vaikutus.

Ulkovalaistuksen ohjaukseen on olemassa erilaisia älykkäitä järjestelmiä, jotka on pääsääntöisesti suunniteltu käytettäväksi LED-valaisinten kanssa. Yhdistävänä tekijänä kaikissa älykkäissä ohjausjärjestelmissä on valaisinten hallintaan suunnitellut ohjelmistot, joilla valaisimia on mahdollista säätää yksilöllisesti sekä tarkkailla valaisimien energiankulutusta. Kaikkia järjestelmiä yhdistää myös valaisimien, painonappien, erilaisten antureiden sekä ohjelmistojen välinen langaton yhteys. Vanhat katuvalaisinryhmät on mahdollista muuttaa älykkäiksi pelkillä valaisimien vaihdolla ilman ohjauskaapeloinnin tarvetta.

Urheilualueilla LED-valaistus on huomattavasti kalliimpi kuin muut valonlähteet valaistuksen vähäisten käyttötuntien takia. LED-valaisimien tuottama valo olisi kuitenkin valkeampaa ja toistaisi värit paremmin. Lisäksi LED-valaistuksen säädettävyys ja älykkään ohjausjärjestelmän hyödyntäminen mahdollistaisivat joustavamman ohjauksen kuntoradalle. Urheilualueilla tärkeimpänä on kuitenkin esteiden havaitseminen, joten niille riittäisi edullisin suurpainennatriumlamppuja valonlähteenä hyödyntävä valaistus. Tällöin älykästä ohjausjärjestelmää ei voi hyödyntää kuntoradalla

Puistoalueilla kustannusten ero ei ole huomattava suurempien käyttötuntimäärien takia. LED-valaisimia käyttämällä puistoihin saisi valkeampaa valoa ja värintoisto-ominaisuudet olisivat paremmat. Älykäs ohjausjärjestelmä ja LED-valaisimen pieni energiankulutus mahdollistaisivat myös öisin valaistuksen pitämisen päällä. Valkeampi valo ja öinen valaistus lisääisivät puistoalueille enemmän mukavuuden ja turvallisuuden tunnetta.

LÄHTEET

- Ahponen, V.;Kasurinen, E.;Kukkonen, M.;Laitinen, M.;Lakkonen, R.;Setälä, J.;. . . Vuola, J. (1998). *Lamput ja valaisimet*. Espoo: Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry; Suomen Valoteknillinen Seura ry.
- C2 SmartLight Oy. (2015). Älykästä ulkovalaistuksen ohjausta. Jyväskylä: DM Print.
- Caruna Oy. (ei pvm). *Sähkömittari*. Haettu 20. 4 2016 osoitteesta Caruna: <https://www.caruna.fi/sahkomittari>
- DIAL GmbH. (2016). *Lightning desing software DIALux*. Haettu 12. 4 2016 osoitteesta DIAL: <https://www.dial.de/en/dialux/>
- Elektroskandia. (2013). *Elektroskandia Katarina*. Haettu 30. 4 2016 osoitteesta Sähkönumerot.fi: <http://www.sahkonumerot.fi/4520750>
- Ensto. (26. 11 2008). *Valovirta*. Haettu 25. 4 2016 osoitteesta Ensto: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398095075.html>
- Ensto Lightning Oy. (ei pvm). *Valonlähteet*. Haettu 26. 4 2016 osoitteesta Alppilux: <http://www.alppilux.fi/fi/valonlahteet/valonlahteet>
- Euroopan komissio. (18. 3 2009). *Komission asetus (EY) N:o 245/2009*. Haettu 26. 4 2016 osoitteesta Eur-Lex: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?qid=1461683573832&uri=CELEX:32009R0245>
- Euroopan komissio. (13. 4 2010). *Komission asetus (EU) N:o 347/2010*. Haettu 26. 4 2016 osoitteesta EUR-Lex: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?qid=1461683800494&uri=CELEX:32010R0347>
- Euroopan parlamentti ja neuvosto. (25. 10 2012). *Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU*. Haettu 26. 4 2016 osoitteesta <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?qid=1461683903727&uri=CELEX:32012L0027>
- Euroopan ympäristökeskus. (24. 2 2016). *Ilmastomuutos*. Haettu 13. 4 2016 osoitteesta Euroopan ympäristökeskus: <http://www.eea.europa.eu/fi/themes/climate/intro#tab-katso-myös>
- Glamox Luxo Lightning. (2013). 10 asiaa, jotka sinun tulee tietää ledeistä. Glamox Luxo Lightning.
- Google Inc. (2011). *Street View*. Haapajärvi.
- Liikennevirasto. (16. 05 2015). Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu. *Liikenneviraston ohjeita*. Helsinki: Liikennevirasto.
- M-light. (ei pvm). *Comet LED*. Haettu 30. 4 2016 osoitteesta M-light: http://www.m-light.fi/fi/tuote/tuotteet/piha-ja-puistovalaisimet/comet_led/comet-led
- Motiva Oy. (2014). Elohopealamput poistuvat markkinoilta 2015 - Mitä tilalle katuvalaistukseen? Helsinki: Motiva Oy.
- Motiva Oy. (25. 9 2015). *Kuntien energiatehokkuussopimus ja energiaohjelma*. Haettu 18. 4 2016 osoitteesta Energiatehokkuussopimukset: <http://www.energiatehokkuussopimukset.fi/fi/sopimusalat/kunta-ala/>
- Philips Lightning Holding B.V. (ei pvm). *CityTouch - älykäs valaistus*. Haettu 18. 4 2016 osoitteesta Philips: <http://www.lighting.philips.fi/ratkaisut/alykas-valaistus/city-touch-alykas-valaistus.html>
- Rudenbrandt, K.;& Rejgård, K. (4. 6 2015). Declaring the life time of LED-luminaires. Habo: Fagerhult Oy. Noudettu osoitteesta Fagerhult.
- Selkämään Suunnittelu Oy. (ei pvm). *Yritys*. Haettu 30. 4 2016 osoitteesta Selkämään Suunnittelu Oy: <http://www.ssu.fi/yritys/>
- Suvanto, P. (2012). *Kohti itsekorjaavaa sähköverkkoa*. Haettu 20. 4 2016 osoitteesta ABB: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/cd1086d27b29b984c1257a990040262b.aspx>

Sähkötieto ry. (15. 11 2003). ST 58.09 Ulkovaistus. *ST-Kortisto*. Espoo: Sähkötieto ry.

Sähkötieto ry. (2008). ST 57.52 LED-valaistusjärjestelmät. *ST-kortisto*. Espoo: Sähkötieto ry.

Sähkötieto ry. (15. 11 2009). ST 58.08 Valonlähteiden ominaisuudet. *ST-kortisto*. Espoo: Sähkötieto ry.

Sähköturvallisuuden Edistämiskeskus ry. (ei pvm). *Älykäs sähköverkko*. Haettu 20. 4 2016 osoitteesta

Sähköturvallisuuden Edistämiskeskus ry:

http://www.stek.fi/Alykas_sahkon_kaytto/fi_FI/Alykas_sahkoverkko/

Tiehallinto. (2006). *Tievalaistuksen suunnittelu*. Helsinki: Edita Prima Oy.

Valopää Oy. (ei pvm). *Älykkäät laitteet*. Haettu 18. 4 2016 osoitteesta Valopää Oy:

http://www.valopaa.com/%C3%84lykk%C3%A4%C3%A4t_ratkaisut/%C3%84lykk%C3%A4%C3%A4t_laitteet

Ympäristöministeriö. (10. 3 2014). *Kioton pöytäkirja*. Haettu 13. 4 2016 osoitteesta Ympäristöministeriö:

<http://www.ym.fi/fi->

[fi/ymparisto/ilmasto_ja_ilma/ilmastonmuutoksen_hillitseminen/kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Kioton_poytakirja](http://www.ym.fi/fi-ymparisto/ilmasto_ja_ilma/ilmastonmuutoksen_hillitseminen/kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Kioton_poytakirja)

LIITE 1: KARJALAHDEN KUNTORADAN ELINKAARIKUSTANNUSLASKELMAT

Kustannukset pituusyksikköä kohti	Elohopeahöyrylamppu 125 W	Monimittaillamppu 150 W	Suurpainenatriumlamppu 150 W	LED-valaisin 46 W
Rakennuskustannukset (€/km)	0	9722	9722	22222
Ensimmäisen vuoden energiakustannukset (€/km*a)	136	164	164	50
Ensimmäisen vuoden kunnossapitokustannukset (€/km*a)	1104	1468	1217	1426
Ensimmäisen vuoden hoitokustannukset (€/km*a)	1240	1631	1380	1476
Energiakustannusten nykyarvo (€/km)	4713	5655	5655	1394
Kunnossapitokustannusten nykyarvo (€/km)	25402	33777	28002	32818
Hoitokustannusten nykyarvo (€/km)	30115	39432	33657	34212
Elinkaarikustannusten nykyarvo (€/km)	30115	49717	43942	57719
Karjalahden kuntorata, pituus 1050 m				
Rakennuskustannukset (€)	0	10150	10150	23200
Ensimmäisen vuoden energiakustannukset (€)	142	171	171	52
Ensimmäisen vuoden kunnossapitokustannukset (€)	1152	1489	1270	1489
Ensimmäisen vuoden hoitokustannukset (€)	1295	1660	1441	1541
Energiakustannusten nykyarvo (€)	4920	5904	5904	758
Kunnossapitokustannusten nykyarvo (€)	26520	34262	29234	34262
Hoitokustannusten nykyarvo (€)	31440	40166	35138	35020
Elinkaarikustannusten nykyarvo (€)	31440	50903	45875	59562

LIITE 2: LINNINPUISTON ELINKAARIKUSTANNUSLASKELMAT

Kustannukset pituusyksikköä kohti	Monimetallilamppu 70 W	Suurpainenatriumlamppu 70 W	LED-valaisin 35 W
Rakennuskustannukset (€/km)	0	0	25000
Ensimmäisen vuoden energiakustannukset (€/km*a)	884	884	442
Ensimmäisen vuoden kunnossapitokustannukset (€/km*a)	2935	2433	2593
Ensimmäisen vuoden hoitokustannukset (€/km*a)	3819	3317	3034
Energiakustannusten nykyarvo (€/km)	30514	30514	12261
Kunnossapitokustannusten nykyarvo (€/km)	67554	56004	59669
Hoitokustannusten nykyarvo (€/km)	98069	86518	71930
Elinkaarikustannusten nykyarvo (€/km)	98069	86518	98376
Linninpuisto, 12 kpl valaisimia			
Rakennuskustannukset (€)	0	0	5400
Ensimmäisen vuoden energiakustannukset (€)	191	191	95
Ensimmäisen vuoden kunnossapitokustannukset (€)	616	526	538
Ensimmäisen vuoden hoitokustannukset (€)	807	716	633
Energiakustannusten nykyarvo (€)	6591	6591	1384
Kunnossapitokustannusten nykyarvo (€)	14177	12097	12382
Hoitokustannusten nykyarvo (€)	20769	18688	13766
Elinkaarikustannusten nykyarvo (€)	20769	18688	19478

LIITE 3: DIALUX, VALAISTUSTEKNISET LASKELMAT

Haapajärven kaupungin puisto- ja urheilualueet

Haapajärven kaupungin urheilu- ja puistolaueiden LED-valaistuksen valaistustekniset laskelmat

Alenemakerroin 0,70

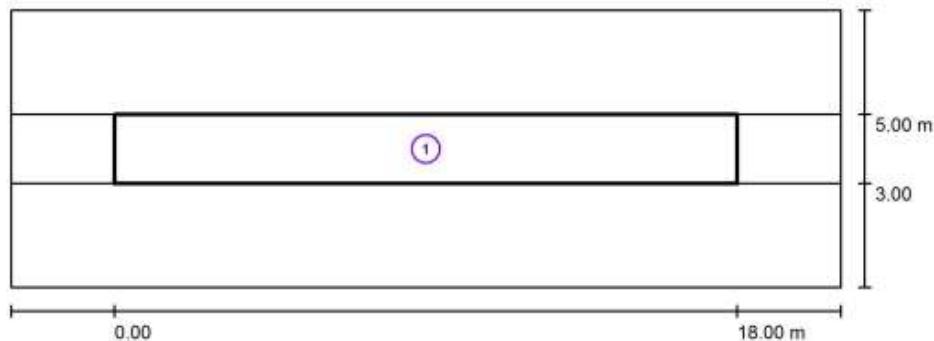
Yhteyshenkilö:
Tilausnumero:
Toiminimi:
Asiakasnumero:

Päivämäärä: 04.05.2016
Tekijä: Janne Kortelainen



Tekijä Janne Kortelainen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Linnipuisto, CometLed, 2200 lm / Valaistustekniset tulokset



Huoltokerroin: 0.70

Mittakaava 1:172

Arviointikenttien luettelo

- 1 Puistokatu
Pituus: 18.000 m, Leveys: 2.000 m
Rasteri: 10 x 3 Pisteet
Sijoitetut tie-elementit: Puistokatu.
Valittu valaistusluokka: S3
Muu ES-valaistusluokka: ES6

(Kaikki fotometriset vaatimukset on täytetty.)

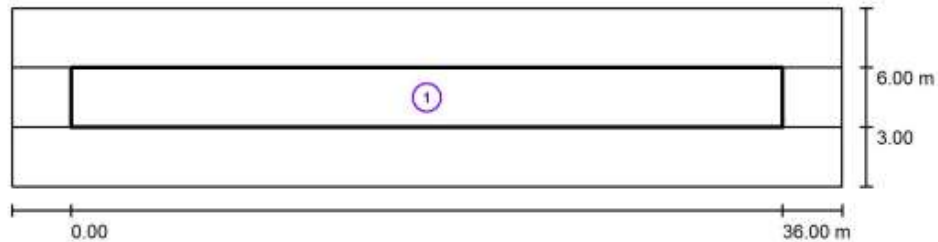
(Kaikkia fotometrisiä vaatimuksia ei ole täytetty.)

	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{min} (puolisyl.) [lx]
Lasketut tosiarvot:	8.21	1.54	0.23
Ohjearvot luokan perusteella:	≥ 7.50	≥ 1.50	≥ 1.50
Täytetty/ei täytetty:	✓	✓	✗



Tekijä Janne Kortelainen
 Puhelin
 Faksi
 Sähköpostiosoite

Karjalahden kuntorata, Iridium Med, 11 500 lm / Valaistustekniset tulokset



Huoltokerroin: 0.70

Mittakaava 1:301

Arviointikenttien luettelo

- 1 Pururata
 Pituus: 36.000 m, Leveys: 3.000 m
 Rasteri: 12 x 3 Pisteet
 Sijoitetut tie-elementit: Pururata.
 Valittu valaistusluokka: S4

(Kaikkia fotometrisiä vaatimuksia ei ole täytetty.)

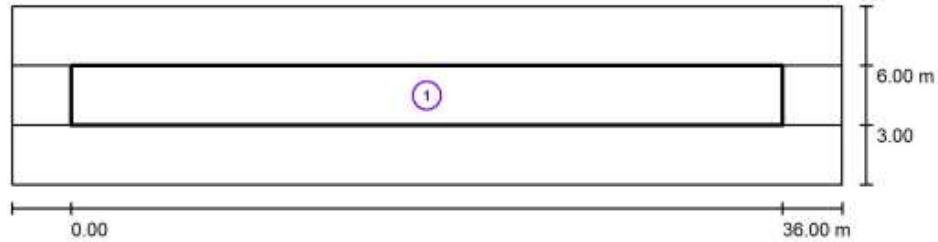
	E_m [lx]	E_{min} [lx]
Lasketut tosiarvot:	16.32	6.55
Ohjearvot luokan perusteella:	≥ 5.00	≥ 1.00
Täytetty/ei täytetty:	X ¹	✓

¹ Huomio: Jotta tietty tasaisuus voidaan varmistaa, keskimääräisen valaistusvoimakkuuden todellinen arvo ei saa olla yli 1,5-kertainen luokalle määriteltyyn vähimmäisarvoon nähden.

Haapajärven kaupungin puisto- ja urheilualueet


DIALux
 04.05.2016

 Tekijä Janne Kortelainen
 Puhelin
 Faksi
 Sähköpostiosoite

Karjalahden kuntorata, Iridium Med, 3600 lm / Valaistustekniset tulokset


Huoltokerroin: 0.70

Mittakaava 1:301

Arviointikenttien luettelo

- 1 Pururata
 Pituus: 36.000 m, Leveys: 3.000 m
 Rasteri: 12 x 3 Pisteet
 Sijoitetut tie-elementit: Pururata.
 Valittu valaistusluokka: S4

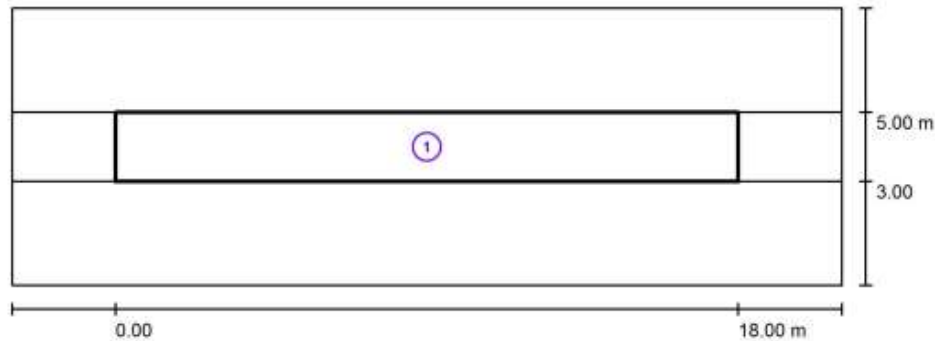
(Kaikki fotometriset vaatimukset on täytetty.)

Lasketut tosiarvot:	E_m [lx]	E_{min} [lx]
Ohjearvot luokan perusteella:	5.13	2.06
Täytetty/ei täytetty:	≥ 5.00	≥ 1.00
	✓	✓



Tekijä Janne Kortelainen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Linnipuisto, CometLed, 6000 lm / Valaistustekniset tulokset



Huoltokerroin: 0.70

Mittakaava 1:172

Arviointikenttien luettelo

- 1 Puistokatu
Pituus: 18.000 m, Leveys: 2.000 m
Rasteri: 10 x 3 Pisteet
Sijoitetut tie-elementit: Puistokatu.
Valittu valaistusluokka: S3
Muu ES-valaistusluokka: ES6

(Kaikkia fotometrisiä vaatimuksia ei ole täytetty.)
(Kaikkia fotometrisiä vaatimuksia ei ole täytetty.)

	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{min} (puolisyl.) [lx]
Lasketut tosiarvot:	22.38	4.20	0.64
Ohjearvot luokan perusteella:	≥ 7.50	≥ 1.50	≥ 1.50
Täytetty/ei täytetty:	✗ ¹	✓	✗

¹ Huomio: Jotta tietty tasaisuus voidaan varmistaa, keskimääräisen valaistusvoimakkuuden todellinen arvo ei saa olla yli 1,5-kertainen luokalle määriteltyyn vähimmäisarvoon nähden.

Haapajärven kaupungin puisto- ja urheilualueet

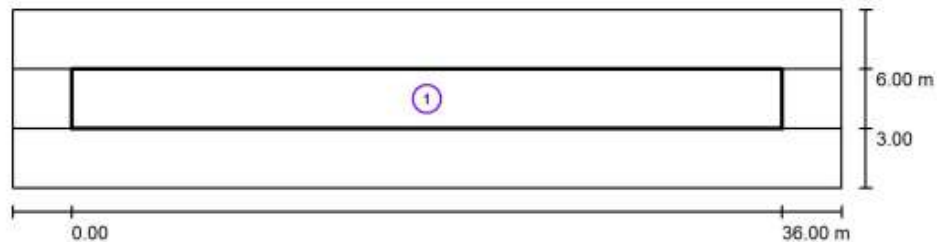


DIALux

04.05.2018

Tekijä Janne Kortelainen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Karjalahden kuntorata, Iridium Med, 5200 lm / Valaistustekniset tulokset



Huoltokerroin: 0.70

Mittakaava 1:301

Arviointikenttien luettelo

- 1 Pururata
Pituus: 36.000 m, Leveys: 3.000 m
Rasteri: 12 x 3 Pisteet
Sijoitetut tie-elementit: Pururata.
Valittu valaistusluokka: S4

(Kaikki fotometriset vaatimukset on täytetty.)

Lasketut tosiarvot:
Ohjearvot luokan perusteella:
Täytetty/ei täytetty:

E_m [lx]
7.41
 ≥ 5.00



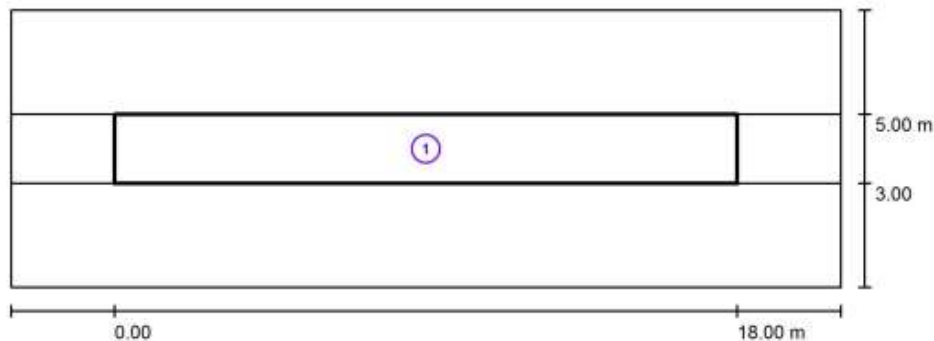
E_{min} [lx]
2.97
 ≥ 1.00





Tekijä Janne Kortelainen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Linnipuisto, CometLed, 3000 lm / Valaistustekniset tulokset



Huoltokerroin: 0.70

Mittakaava 1:172

Arviointikenttien luettelo

- 1 Puistokatu
Pituus: 18.000 m, Leveys: 2.000 m
Rasteri: 10 x 3 Pisteet
Sijoitetut tie-elementit: Puistokatu.
Valittu valaistusluokka: S3
Muu ES-valaistusluokka: ES6

(Kaikki fotometriset vaatimukset on täytetty.)

(Kaikkia fotometrisiä vaatimuksia ei ole täytetty.)

	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{min} (puolisyl.) [lx]
Lasketut tosiarvot:	11.19	2.10	0.32
Ohjearvot luokan perusteella:	≥ 7.50	≥ 1.50	≥ 1.50
Täytetty/ei täytetty:	✓	✓	✗