



Jyväskylän kaupungin ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmätekniologioiden esisel- vitys

Roope Mäkelä

Opinnäytetyö, AMK

Marraskuu 2021

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka

Mäkelä Roope

Jyväskylän kaupungin ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmäteknologioiden esiselvitys

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Marraskuu 2021, 50 sivua.

Tekniikan ala. Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö, AMK.

Julkaisun kieli: Suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: Kyllä

Tiivistelmä

Ulkovalaistuksen ja sen ohjausjärjestelmien kehitys ovat jatkuva pohdinnan aihe kuntien ja kaupunkien valaistuksessa. Älykkäämmät ohjausmahdolliset ja LED-valaistuksen kehittyminen tuovat uusia mahdollisuuksia kaupunkivalaistukseen, joilla voidaan parantaa liikenneturvallisuutta ja saada säästöjä energiakustannuksissa. Älykkäät ohjaustavat ovat kuitenkin vielä investointikustannuksiltaan korkeita ja kaupungeissa oleva vanha valaisintekniikka rajoittaa niiden hankkimista.

Jyväskylän kaupungin nykyisen ohjausjärjestelmän sopimus on päättymässä, jonka takia uutta järjestelmää aloitettiin kilpailuttamaan syksyllä 2021. Kilpailutus tehdään julkisen hankintaprosessin kautta, koska kyseessä on Euroopan unionin kynnysarvon ylittävä palveluhankinta. Hankintaprosessin alkuvaiheessa tehtiin markkinakartoitus, johon osallistuvien ohjausjärjestelmien toimittajien tuotteiden eroavaisuuksia tutkittiin ja vertailtiin.

Tavoitteena oli laatia Jyväskylän kaupungille esiselvitys markkinakartoituksen tulosten perusteella. Tarkoituksena oli vertailla tuotteita ja ominaisuuksia ulkopuolisen näkökulmasta ja tutkia kunkin järjestelmän soveltuvuus Jyväskylän kaupungin asettamiin uuden ohjausjärjestelmän kriteereihin. Esiselvityksen lisäksi tarkoituksena oli tutustua hyvin Jyväskylän ulkovalaistusverkon nykytilanteeseen, jotta saatiin kattava kuva ja hyvät lähtötiedot tulosten tutkimiselle.

Lopputuloksena esitettiin neljän eri markkinakartoitukseen osallistuneen toimittajan tuotteet ja niiden eroavaisuudet taulukkomaisesti. Taulukossa esitetyistä tuloksista laadittiin lyhyt kuvaelma, jossa järjestelmien ominaisuudet käytiin läpi ja tutkittiin niiden soveltuvuutta Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkkoon.

Avainsanat (asiasanat)

Ulkovalaistus, valaistuksen ohjaus, markkinakartoitus, valaisinkohtainen ohjaus, LED, ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmä

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Mäkelä Roope

Preliminary study of outdoor lighting control system technologies of the city of Jyväskylä

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, November 2021, 50 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Electrical and Automation Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The development of outdoor lighting and its control systems is a constant topic of consideration in municipal and city lighting. Smarter control options and developments in LED lighting bring new opportunities for urban lighting, which can improve traffic safety and save energy costs. However, smart control methods are still high in terms of investment costs and the old lighting technology in cities limits their acquisition.

The contract for the current control system of the City of Jyväskylä is coming to an end, which is why the new system was put out to competitive tendering in autumn 2021. The competitive tendering will be made through a public procurement process, as it is a service procurement that exceeds the European Union threshold. At the beginning of the procurement process, a market survey was conducted, in which the differences between the products of the participating control system suppliers were examined and compared.

The aim was to prepare a preliminary study for the City of Jyväskylä based on the results of the market survey. The purpose was to compare products and features from the perspective of an external and to study the suitability of each system for the criteria of the new control system set by the City of Jyväskylä. In addition to the preliminary study, the purpose was to get acquainted with the current situation of the Jyväskylä outdoor lighting network to obtain a comprehensive picture and good starting information for studying the results.

As a result, the products of the four different suppliers participating in the market survey and their differences were presented in tabular form. A short description of the results presented in the table was prepared, in which the properties of the systems were reviewed and their suitability for the City of Jyväskylä's outdoor lighting network was examined.

Keywords/tags (subjects)

Outdoor lighting, lighting control, market survey, luminaire-integrated control, LED, outdoor lighting control system

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet.....	6
1.2	Aiheen rajaus.....	7
2	Tutkimusasetelma	7
2.1	Tutkimusmenetelmä	7
2.2	Tietoperusta	8
3	Ulkovalaistus	8
3.1	Valaisintyypit	8
3.1.1	LED (Light Emitting Diode)	9
3.1.2	Suurpainenatrium	10
3.1.3	Elohopea	10
3.1.4	Monimetalli.....	11
3.2	Valaistusluokat	11
4	Ulkovalaistusverkon ohjausjärjestelmä	13
4.1	Rakenne.....	13
4.1.1	Kenttälaitteet	15
4.2	Ohjainlaitteet ja liittimet	15
4.2.1	DALI ja DALI-2	15
4.2.2	DALI ulkovalaistuksessa	16
4.2.3	Zhaga ja NEMA.....	17
4.2.4	Staattinen ja dynaaminen säätö	20
4.3	Ulkovalaistuksen ohjaustavat.....	20
4.3.1	Paikallisohjaus.....	21
4.3.2	Ketjutettu ohjaus	21
4.3.3	Keskuskohtainen ohjaus	22
4.3.4	Valaisinkohtainen ohjaus.....	22
4.3.5	Älykäs ohjaus	25
5	Toimeksiantajan esittely ja nykytilanne	27
5.1	Nykyinen ohjausjärjestelmä	30
5.1.1	Loisteho ja sähkön laatu	32
6	Uuden ohjausjärjestelmän vaatimukset	35
6.1	Palvelusopimus.....	35
6.2	Keskusohjaimet	35
6.3	Valaisimien ohjainlaitteet	35

6.4	Ohjausmahdollisuudet	36
6.5	Tietoturva	37
6.6	Valoisuusanturit	37
6.7	Onnettomuusalueet	37
7	Ohjausjärjestelmän hankintaprosessi.....	38
7.1	Markkinakartoituksen tulokset	39
7.1.1	Signify Finland	39
7.1.2	Caverion Oy.....	40
7.1.3	C2 Smartlight Oy	40
7.1.4	Capelon	40
7.2	Vertailu	41
8	Pohdinta.....	43
8.1	Tulosten ja työn pohdinta	43
8.2	Jatkotutkimusidea	44
	Lähteet	46

Kuviot

Kuvio 1. Värilämpötilat (Understanding Lumens vs Kelvin n.d.).....	9
Kuvio 2. Ohjausjärjestelmän rakenne (Wilbur & Poplawski 2015, 61)	14
Kuvio 3. DALI-väylää käyttävän ulkovalaisimen rakenne (Wade, Tol, O'Boyle & Fitzmaurice 2019)	17
Kuvio 4. Zhaga-liittimen rakenne (LUMAWISE Endurance S Zhaga Book 18 n.d.).....	18
Kuvio 5. NEMA-liitin viidellä ja seitsemällä koskettimella (ANSI C136.41 Dimming Receptacle n.d.)	19
Kuvio 6. Valaisinverkon rakennevaihtoehdot (Wilbur & Poplawski 2015, 51).....	23
Kuvio 7. Älykkään ohjauksen periaate (Everything you need to know about smart street lighting 2020)	25
Kuvio 8. TALQ älykaupunkiprotokollan rakenne (TALQ White Paper 2018)	27
Kuvio 9. Seurantatyökalun käyttönäkymä (City of light Jyväskylä, Snapshot of lighting 2021) .	29
Kuvio 10. Valoverma-ohjainlaite	30
Kuvio 11. Jyväskylän kaupungin ulkovalaistuksen himmennystaulukko (Valoverkkojen omaisuuden hallinta n.d.)	31
Kuvio 12. Ensimmäisen käyttöpaikan loistehon osuuden muutos (Helin 2021)	33
Kuvio 13. Toisen käyttöpaikan loistehon osuuden muutos (Helin 2021)	33

Taulukot

Taulukko 1. Valaistuksen M-luokat (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2015, 27)	12
Taulukko 2. Valaistuksen P-luokat (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2015, 28)	13
Taulukko 3. Zhaga- ja NEMA-liittimien ominaisuudet (ANSI C136.41 Dimming Receptacle n.d.; LUMAWISE Endurance S Zhaga Book 18 n.d.)	19
Taulukko 4. Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkon määrätiedot ja energiankulutus (City of light Jyväskylä, Snapshot of lighting 2021)	28
Taulukko 5. Eri ohjausjärjestelmien ominaisuudet.....	41

Lyhenteet ja käsitteet

1-10V:n ohjaus	Valaisimen himmennys muuttamalla sille syötettävää jännitettä.
ANSI	American National Standards Institute. Yhdysvaltalaisia standardeja valvova järjestö.
DALI	Digital Addressable Lighting Interface. Standardi valaistuksen ohjaukselle ja valaisimien liitäntälaitteille.
DiiA	Digital Illumination Interface Alliance. DALI:a hallinnoiva kansainvälinen järjestö.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Tekniikan alan organisaatio. Julkaisee kansainvälisiä standardeja.
IoT	Internet of Things. Esineiden internet.
Kelvin	Väriämpötila. Kertoo valonlähteen tuottaman valon lämpötilan.
lm	Lumen. Valovirran yksikkö.
M2M	Machine to machine. Suora viestintä kahden laitteen välillä.
NEMA	National Electrical Manufacturers Association. Kansainvälinen elektroniikkalaitteita valmistava järjestö. Valmistaa ulkovalaisimien NEMA-liittimiä.
NFC	Near Field Communication. Lyhyen kantaman langaton tiedonsiirtotapa.

Point-to-multipoint	Tiedonsiirtoprotokolla. Tiedonsiirtoyhteys yhdestä solmusta moneen eri solmuun useiden polkujen kautta.
Point-to-point	Tiedonsiirtoprotokolla. Suora tiedonsiirtoyhteys kahden solmun välillä.
Zhaga	Kansainvälinen valaistusalan järjestö, joka standardoi liityntärajapintoja LED-valaisimille. Valmistaa ulkovalaisimien Zhaga-liittimiä.

1 Johdanto

Ulkovalaistus ja sen ohjaus kehittyvät jatkuvasti eikä kehitys tunnu hidastuvan. Jatkuvasti lisääntyvä LED-valaistuksen käyttö ulkovalaistuksessa tuo uusia älykkäämpiä ohjausmahdollisuuksia, joiden avulla saadaan energiasäästöjä, vähennetään valosaastetta sekä saavutetaan mukavampi ja tasaisempi valaistustaso ympäristöstä riippumatta. Ilmastonmuutos ja älykaupunki-hankeet ovat yksi pääsyy ulkovalaistuksen ohjauksen kehittämiseksi ja nykyaikaisemmalla ohjauksella ja valaisintyypeillä voidaan päästä myös huomattaviin energiasäästöihin.

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Työn toimeksiantajana toimii Jyväskylän kaupungin kaupunkirakennepalveluiden liikenne- ja viheralueiden toimiala, joka vastaa Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkosta yhdessä liikuntapalveluiden kanssa. Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkon nykyisen ohjausjärjestelmän sopimus on päättymässä. Tästä syystä Jyväskylän kaupungin on kilpailutettava uusi ohjausjärjestelmän toimittaja. Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkko on monipuolinen ja laajalla alueella, joten uuden ohjausjärjestelmän hankinta ylittää hinnassaan Euroopan unionin kynnyksarvon, jonka takia uuden ohjausjärjestelmän hankinta on tehtävä julkisen hankintaprosessin kautta.

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli laatia mahdollisimman laaja ja kattava esiselvitys hankintaprosessissa tehdyn markkinakartoituksen perusteella. Esiselvityksen tavoitteena oli tukea toimeksiantajaa uuden ohjausjärjestelmän valinnassa. Työn tarkoituksena oli vertailla eri ohjausjärjestelmien toimittajia ja koota jokaisesta ohjausjärjestelmästä tärkeimmät ominaisuudet ja tekniset eroavaisuudet. Esiselvityksessä tutkittiin eri järjestelmien eroavaisuuksia ja sitä, täyttävätkö ne toimeksiantajan asettamat tavoitteet. Tämä opinnäytetyö ei vaikuttanut ohjausjärjestelmän valintaan, vaan tarkoituksena oli vertailla järjestelmiä ulkopuolisen näkökulmasta.

Opinnäytetyön alkuvaiheessa määritettiin toimeksiantajan kanssa tavoitteet ja kysymykset uudelle ohjausjärjestelmälle ja lisäksi muut toiveet ja tarkasteltavat ongelmakohdat, joita opinnäytetyössä tutkitaan. Olennaisimmat kysymykset ja tavoitteet uudelle ohjausjärjestelmälle ovat:

- Voidaanko ohjata valaisin- ja keskuskohtaisesti?
- Uuden järjestelmän ohjausryhmien lukumäärä?
- Uudessa järjestelmässä oltava jännitteen- ja virranmittaus jokaiselta vaiheelta

- Toimivuus vanhojen valaisinmallien kanssa?
- Toimittava 2G- ja 4G-verkossa
- Laitteiden toimintavarmuus pitkällä aikavälillä?

1.2 Aiheen rajaus

Ulkovalaistus on aiheena hyvin laaja, josta riittäisi tutkimusta useampaakin opinnäytetyöhön. Lisäksi uuden ohjausjärjestelmän hankintaprosessi on hyvin pitkä, joten aihe rajattiin tässä opinnäytetyössä markkinakartoituksen analysoimiseen ja tulosten vertailuun. Opinnäytetyön tietoperustassa tutkitaan ulkovalaistusta ja sen ohjausta. Lisäksi tutkitaan ulkovalaistuksessa käytettäviä valaisintyyppisiä. Opinnäytetyössä kuvataan myös toimeksiantajan nykytilanne mahdollisimman tarkasti, jotta lukijalle selviää hyvin, mitä kaikkea ohjausjärjestelmän hankintaprosessissa tulee ottaa huomioon ja mitkä kaikki asiat siihen vaikuttavat.

Markkinakartoituksen osalta työssä tutkittiin eri toimittajien komponentteja ja mahdollisuuksia keskuskohtaiselle ja valaisinkohtaiselle ohjaukselle. Tulosten vertailussa jätettiin pois toimittajien käyttöliittymien vertailu, koska käyttöliittymien vertailu vaatisi enemmän aikaa ja käyttöoikeudet järjestelmiin. Toimittajien käyttöliittymät pitivät sisällään myös sellaista materiaalia, jota ei haluttu jakaa ulkopuolisille.

2 Tutkimusasetelma

2.1 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyössä tutkimus keskittyi yksittäiseen kohteeseen, eli Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkkoon, jonka takia opinnäytetyössä hyödynnettiin laadullista tutkimusmenetelmää.

Laadullinen, eli kvalitatiivinen tutkimus tarkoittaa ilmiön kuvaamista ja sen ymmärtämistä. Laadullisessa tutkimuksessa tutkitaan yksittäistä tapausta ja tiedonkeruusta ja analysoinnista vastaa itse työn tutkija. Kananen (2008) mukaan kvalitatiivisessa tutkimuksessa tiedon kerääminen ja analyysi kulkevat käsi kädessä. Laadullisessa tutkimuksessa tutkija tutkii suoraan kohdetta havainnoimalla tai haastatteleamalla. (Kananen 2008, 24–38.)

Laadullisen tutkimuksen tiedonkeruuvaiheessa määritellään tiedon hankkimisen menetelmät. Hankitun tiedon luonne vaikuttaa laadullisen tutkimuksen analysointivaiheeseen (Kananen 2008, 56). Tässä opinnäytetyössä tiedonkeruu perustuu kirjallisiin lähteisiin sekä toimeksiantajan nykytilanteen tutkimiseen ja sen pohjalta kerättyyn tietoon. Tiedonkeruun jälkeen tietoja analysoitiin ja tutkittiin markkinakartoituksessa ilmeneviä tietoja yhdessä tietoperustan kanssa. Tietojen analysoinnista saatuja johtopäätöksiä tulkittiin ja selvitettiin, mitä kaikkea toimeksiantajan tulisi ottaa huomioon ohjausjärjestelmän tekniseltä puolelta.

2.2 Tietoperusta

Tämän opinnäytetyön tietoperustassa käytettiin pääasiassa kotimaista ja englanninkielistä kirjallisuutta sekä markkinakartoitukseen osallistuneiden toimittajien järjestelmäesitteitä ja datalehtiä. Tietoa pyrittiin löytämään mahdollisimman ajankohtaisista lähteistä johtuen jatkuvasti kehittyvästä tekniikasta. Lähdekriittisyyteen kiinnitettiin erityistä huomiota ja työssä käytettiin ainoastaan luotettavaksi todettuja lähteitä, joiden luotettavuus todettiin vertailemalla tietoa eri lähteistä.

3 Ulkovalaistus

Ulkovalaistus käsitteenä kattaa kaupunkien kaduilla, puistoissa ja liikunta-alueilla olevan valaistuksen, jonka tarkoituksena on lisätä liikenneturvallisuutta. Hämärän aikaan onnettomuusaste teillä on suurempi, jota pyritään ulkovalaistuksella pienentämään. Ulkovalaistus parantaa myös ajoneuvoliikenteen sujuvuutta, ajomukavuutta sekä vähentää ajoneuvojen ajovaloista aiheutuvaa häikäisyä. Ulkovalaistusta pyritään kehittämään jatkuvasti nykyaikaisemmilla valaisintyypeillä ja ohjaustavoilla. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2015, 10.)

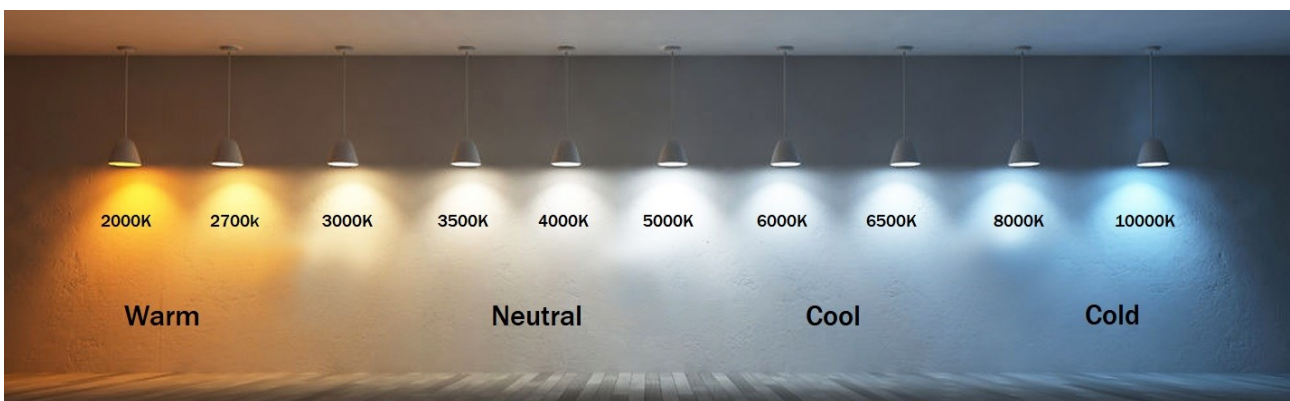
3.1 Valaisintyypit

Ulkovalaistuksessa on käytössä monia eri valaisintyypejä, joita uudet LED-valaisimet ovat kuitenkin jatkuvasti syrjäyttämässä. Vanhat valaisinmallit ovat huonoja hyötysuhteeltaan ja niiden ohjausmahdollisuudet ovat paljon rajoittuneemmat kuin LED-valaisimilla.

3.1.1 LED (Light Emitting Diode)

LED on diodi, joka säteilee valoa sen läpi kulkevan myötäsuuntaisen tasavirran vaikutuksesta. LED tarvitsee siis liitäntälaitteen, jotta se voidaan liittää verkkojännitteeseen. Liitäntälaitte muuttaa verkosta tulevan vaihtovirran tasavirraksi. (ST 58.08 2018, 4.)

LED-valaisimet sopivat hyvin ulkovalaistukseen Suomen olosuhteissa, koska ne toimivat hyvin kylmässä ulkoilmassa ja Suomessa olevat viileät lämpötilat eivät rasita valaisimien tekniikkaa. LED-valaisimissa on hyvä valotehokkuus, jonka takia ne soveltuvat hyvin korvaamaan vanhat valaisin- ja lampputyypit ulkovalaistuksessa. LED-valaisimien etuina on myös hyvä hyötysuhde, laajat väriämpötilan vaihtoehdot sekä pitkä käyttöikä. LED-valaisimen väriämpötila on tyypillisesti 2700–6500 kelviniä. Mitä korkeampi väriämpötila valaisimessa on, sitä kylmempää väriä se toistaa. (ST 58.08 2018, 4–7.) LED-ulkovalaisimissa käytetään tyypillisesti 3000–4000 kelvinin väriämpötilaa, joka on väriltään lämpimän tai neutraalin värinen. (Ks. kuvio 1.) Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkossa käytetään 3000 kelvinin väriämpötilaa, joka on koettu miellyttävämmäksi. (Piispanen 2021.)



Kuvio 1. Väriämpötilat (Understanding Lumens vs Kelvin n.d.)

Kuviosta 1 nähdään eri kelvinarvojen värien eroavaisuudet. Vanhojen valaisinmallien tuottama keltainen valo ja LED-valaisinten neutraali valo eroavat huomattavasti toisistaan. LED-ulkovalaisimien tuottama 3000–4000 väriämpötila on silmälle miellyttävämpi eikä vääristä valaistavaa kohdetta yhtä paljon kuin lämpimät värit.

3.1.2 Suurpainenatrium

Suurpainenatrium-, eli kaasupurkauslampun toiminta perustuu natriumhöyryssä tapahtuvaan purkaukseen. Natriumhöyry sytytetään valaisimessa olevan sytyttimen avulla, joten lampun sammuttua se vaatii aina uuden sytytyksen palaakseen, kun taas LED-valaisimet syttyvät välittömästi, kun liitäntälaitteelle syötetään jännite. Suurpainenatriumlamput ovat vielä yleisessä käytössä katu- ja ulkovalaistuksessa, mutta niitä on alettu korvaamaan LED-valaisimilla. (ST 58.08 2018, 9–10.)

Suurpainenatriumlamppujen värielämpötila on alhaisempi kuin muilla valonlähteillä, noin 2000–2200 kelviniä. Ne tuottavat siis kellertävää valoa, jonka haittapuolena on valaistavan kohteen värien vääristyminen. Kellertävä väri ei myöskään ole silmälle yhtä miellyttävä kuin neutraalin valkoisen väri. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 78.)

Suurpainenatriumlamppuja on kaupunkien ulkovalaistuksessa käytössä kahta eri mallia, ST- ja SE-lamput. ST-lamput ovat kirkaslasisia ja putken muotoisia, joita käytetään tiealueiden valaisemiseen. SE-lamput ovat ellipsin muotoisia ja lasi on mattapintainen. Mattapinnan vuoksi SE-lampun pintakirkkaus on pienempi, joten ne soveltuvat paremmin puistojen valaisemiseen. Puistoalueilla pylväskorkeudet ovat yleensä huomattavasti pienempiä kuin suurilla tiealueilla, jonka takia mattapintaisen lampun käyttö on tärkeää, jotta vältetään liialta häikäisyltä. (Tiensuu 2010, 29.)

3.1.3 Elohopea

Elohopealamppu toimii suurpainenatriumlampun tavoin, lampun sisällä oleva elohopeahöyry saadaan loisteaineen avulla purkautumaan näkyväksi valoksi. Elohopealamppujen valotehokkuus on huomattavasti pienempi, vain noin 20–45 lm/W (lumenia per watti), kun taas suurpainenatriumlampuissa valotehokkuus on 100–140 lm/W. Elohopealamppun värielämpötila on hieman korkeampi kuin suurpainenatriumilla, noin 3800–4000 kelviniä, eli ne tuottavat neutraalin valkoista valoa, joka ei vääristä valaistavan kohteen värejä toisin kuin alhaisemman värielämpötilan omaavat valonlähteet. Elohopealamppu ei tarvitse erillistä sytytintä ja sen elinikä on pitkä, mutta valovirta laskee huomattavasti käyttöiän aikana, jonka takia todellinen elinikä on lyhyt. (ST 58.08 2018, 11.)

Ulkovalaistuksessa elohopealamppuja käytettiin kevyen liikenteen väylillä, puistoissa sekä pienemmillä ajoteilla, kuten tonttikaduilla. Vuonna 2015 uusien elohopealamppujen tuominen markkinoille kiellettiin, koska lampun huono valotehokkuus ei täytä Eco-Design-direktiivin rajoja. Eco-Design-direktiivin tai energiamerkinnän tarkoituksena on auttaa kuluttajia valitsemaan energiatehokkaita tuotteita. Energiamerkintä perustuu ekosuunnittelulakiin sekä energiamerkintä-direktiiviin. Energiamerkinnän luokat ovat A–E ja lisäksi A+ sekä A++. Mitä korkeampi luokitus, sitä energiatehokkaampi tuote on. (ST 58.08 2018, 3–11.)

3.1.4 Monimetalli

Monimetallilamput sisältävät elohopealamppujen tavoin elohopeaa, mutta myös muita metallien halogeeniyhdisteitä. Halogeeniyhdisteet sijaitsevat lampun sisällä olevassa purkausputkessa, joka sytyttämisen jälkeen säteilee valoa. Monimetallilampuissa on elohopealamppua huomattavasti korkeampi valotehokkuus, noin 80–120 lm/W. (ST 58.08 2018, 9.) Monimetallilampuissa on hyvä värintoistoindeksi ja värilämpötila on lämpimän valkoinen, eli noin 3000 kelviniä. Monimetallilamppuja voidaan himmentää, mutta himmennuksen seurauksena monimetallilampun värintoistokyky heikkenee. Lisäksi himmennys vaatii oman erikoisliitäntälaitteen. (Tiensuu 2010, 30.)

Monimetallilamppuja käytetään jonkin verran ulkovalaistuksessa, mutta niiden käyttöalue on usein rajattu keskusta-alueisiin ja muille merkittävälle alueelle. Tärkein käyttöalue julkisessa valaistuksessa on erikoiskohteiden valaistus ja valonheittimet. Monimetallilampun käytön haittana on sen suhteellisen pitkä syttymisaika, se vaatii noin 3–4 minuuttia palaakseen täydellä teholla. Lisäksi lampun uudelleensyöttäminen lämpimänä vaatii jopa 10 minuuttia. (Tiensuu 2010, 30.)

3.2 Valaistusluokat

Valaistusluokka tarkoittaa tiealuekohtaista luokkaa, jossa valaisimen on täytettävä luokan vaatimat valaistusteknilliset arvot. Autoilijan näkökulmasta näistä tärkeimmät ovat luminanssin tasaisuus U_0 , keskimääräinen luminanssi L_m ja häikäisyn rajoitus f_{T1} . Valaistusluokat jaetaan M-, C- ja P-luokkiin. C-luokkaa on käytössä sellaisilla alueilla, joissa luminanssin tarkastelu ei ole käyttökelpoista, kuten kiertoliittymät ja sellaiset ajoradat, joissa säännöllinen pituus ei ylitä 60 metriä. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2015, 26–28.)

M-luokka

M-luokkaa käytetään maanteillä ja muilla liikennemäärältään suurilla teillä, joissa ajonopeus on yleensä yli 60 km/h. M-luokassa tarkastellaan kuivan ja märän ajoradan luminanssia. Taulukossa 1 on esitetty eri M-luokat sekä niiden vaatimat valaistustekniset minimiarvot. Lisäksi taulukossa 1 on suluisa esitetty vanhat nykyisiä M-luokkia vastaavat AL-luokat. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2015, 27.)

Taulukko 1. Valaistuksen M-luokat (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2015, 27)

Valaistus- luokka	Kuivan ja märän ajoradan luminanssi			Esto- häikäisy	Vieri- alueen 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

P-luokka

P-luokkaa käytetään jalkakäytävillä, pyöräteillä, asunto- ja pihakaduilla sekä pysäköintialueilla. P-luokkaa käytetään myös maanteiden vierustalla kulkevilla pyöräteillä ja jalkakäytävillä, jos niillä on käytössä maantiestä erillinen valaistus. P-luokassa tarkastellaan luminanssin sijasta valaistusvoimakkuutta. Tarkasteltavat arvot ovat keskimääräinen vaakataso valaistusvoimakkuus E_{hm} ja pie-

nin valaistusvoimakkuuden arvo E_{hmin} . Taulukossa 2 on esitetty P-luokat sekä niiden vaatimat arvot. P-luokan vieressä suluisissa on vastaava K-luokka, joka on vanha vuoden 2006 valaistusohjeen mukainen luokka. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2015, 28.)

Taulukko 2. Valaistuksen P-luokat (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2015, 28)

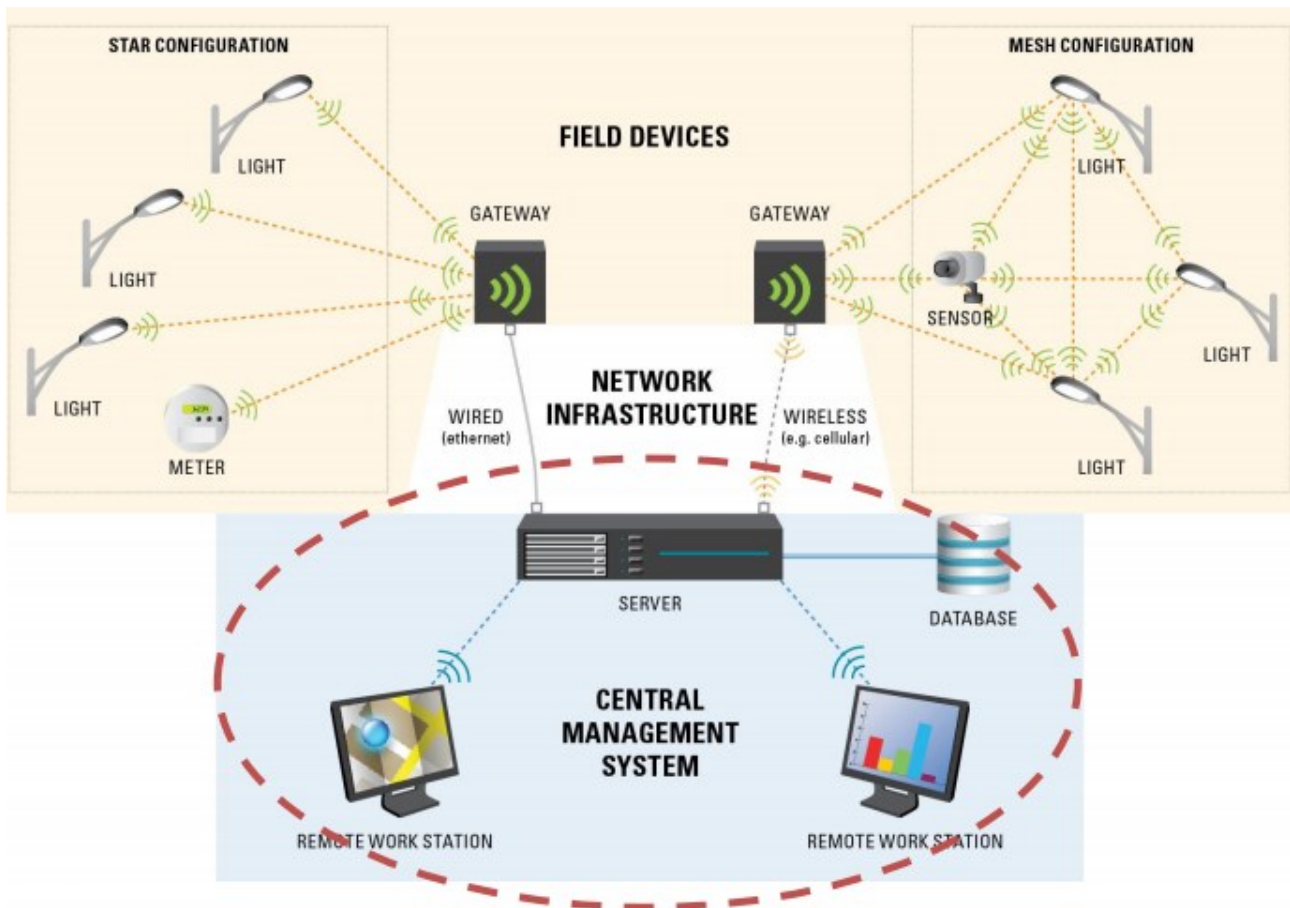
Valaistusluokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus	
	$E_{hm}^{1)}$ lx, min	E_h lx, min
P1 (K1)	15,0	3,00
P2 (K2)	10,0	2,00
P3 (K3)	7,50	1,50
P4 (K4)	5,00	1,00
P5 (K5)	3,00	0,60
P6 (K6)	2,00	0,40

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

4 Ulkovalaistusverkon ohjausjärjestelmä

4.1 Rakenne

Ohjausjärjestelmän rakenne riippuu siitä, millainen ohjaustapa ulkovalaistusverkossa on käytössä. Rakenne voidaan jakaa tietoverkkoon ja kenttälaitteisiin. Kenttälaitteosio koostuu tyypillisesti keskusohjaimista, antureista ja mahdollisista valaisinkohtaisista ohjainlaitteista. Mitä älykkäämpää ohjausta valaistukselle halutaan, sitä enemmän vaaditaan kenttälaitteita. Ohjausjärjestelmän tietoverkko koostuu palvelimesta, tietokannoista sekä keskushallintajärjestelmästä, jolla ulkovalaistusverkkoa hallitaan. Ohjausjärjestelmässä kenttälaitteet keskustelevat palvelimen kanssa langallisesti tai langattomasti. Langallinen yhteys voidaan toteuttaa esimerkiksi Ethernetillä. (Wilbur & Poplawski 2015, 52–59.) Kuviossa 2 on esitetty ohjausjärjestelmän rakennekuva ja sen eri osat.



Kuvio 2. Ohjausjärjestelmän rakenne (Wilbur & Poplawski 2015, 61)

Ohjausjärjestelmän viestintä voidaan toteuttaa käyttämällä matkapuhelinverkkoa, kuten GRPS-, 3G- tai 4G-verkkoa tai IEEE:n standardoimaa Ethernet-verkkoa. Ethernet-verkon haittana on rajoitettu saatavuus, mutta se on nopeampi ja luotettavampi kuin matkapuhelinverkko. Ethernet-verkossa myös taajuusalue on rajoittuneempi, kuin matkapuhelinverkossa. (Wilbur & Poplawski 2015, 52–59.)

Matkapuhelinverkon kattavuus on Suomessa hyvä. GSM-, eli 2G-verkko on toistaiseksi Suomen kattavin tiedonsiirtojärjestelmä. Matkapuhelinverkko pitää sisällään tukiasemia ja kiinteän runkoverkon. Matkapuhelinverkossa tukiasemat toimivat verkossa soluina. Solun, eli tukiaseman peittävän alueen kokoon vaikuttavat lähtetimen teho, taajuusalue, suuntakuviokuva sekä maasto, jossa tukiasema sijaitsee. Haja-asutusalueilla tarvitaan suurempia soluja, koska vaadittu peittoalue on suurempi. (Matkapuhelinverkon toiminta ja tukiasemat 2019.) Ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmän päivitysvaiheessa viestintätyyppi on tärkeää huomioida. Ohjausjärjestelmän olisi hyvä toimia

sekä 2G- että 4G-verkossa matkapuhelinverkkoa käytettäessä, koska 3G-verkko tulee poistumaan Suomesta vuoden 2023 sen vähäisen käytön takia ja 3G-verkossa käytetyt taajuudet siirtyvät 4G-verkon käyttöön (Siirtyminen 3G:stä kohti uudempaa teknologiaa n.d.).

4.1.1 Kenttälaitteet

Jatkuvasti lisääntyvä valaisinkohtainen ohjaus on lisännyt kenttälaitteiden määrää ulkovalaisimissa. Vanhoissa valaisimissa, joissa käytettiin tyypillisesti kaasupurkauslamppuja, ei älykkäiden kenttälaitteiden käyttö ollut mahdollista. LED-valaisimet mahdollistavat erilaisten antureiden ja ohjaimien liittämisen suoraan valaisimeen. Valaisimeen liitetty ohjainlaite antaa käskyn valaisimen ohjauksesta. Ohjaukaskäsky on tyypillisesti keskukselta tuleva käsky ohjata valaistus päälle haluttuun aikaan tai myös ulkopuolinen käsky esimerkiksi huoltourakoitsijalta. Ohjainlaite valvoo siihen liitetyn valaisimen tilaa ja kommunikoi tyypillisesti verkkoprotokollan kautta keskuskohtaisten ohjainlaitteiden kanssa. (Wilbur & Poplawski 2015, 49–52.)

4.2 Ohjainlaitteet ja liittimet

Valaisimen ohjainlaite voi olla suoraan valaisimeen liitettävä älykäs ohjainlaite, keskuskohtainen ohjainlaite tai valaisimen sisällä oleva valmiiksi asennettu ohjainlaite, johon on ohjelmoitu hämmennysprofiili. Keskuskohtainen ohjainlaite on tyypillisesti muovinen kotelo keskuksen sisällä, joka sisältää piirikortin valaistuksen ohjaamiseen. Valaisimen älykäs ohjainlaite vaatii valaisimesta liittimen, jotta se saadaan liitettyä. Liittimiä on erilaisia, mutta tunnetuimmat ovat NEMA-liitin ja Zhaga-liitin. NEMA- tai Zhaga-liitin sisältää koskettimet jännitesyötölle sekä ohjaukselle, joka toteutetaan tyypillisesti 1–10 voltin analogisella ohjauksella tai DALI:lla. (Everything you need to know about smart street lighting 2020.)

4.2.1 DALI ja DALI-2

DALI on maailmanlaajuinen standardi valaistuksen ohjaukselle. DALI-väylä toimii kahdella ohjausjohtimella ja väylä mahdollistaa 64 eri osoitteen käyttämisen. Jokaisella yksittäisellä valaisimella on oma osoite, joka mahdollistaa jokaisen valaisimen ohjauksen yksittäisesti. DALI-väylän ryhmistä voidaan muodostaa 16 eri ryhmää ja 16 eri tilannetta valaistuksen ohjaukselle jokaista ryhmää

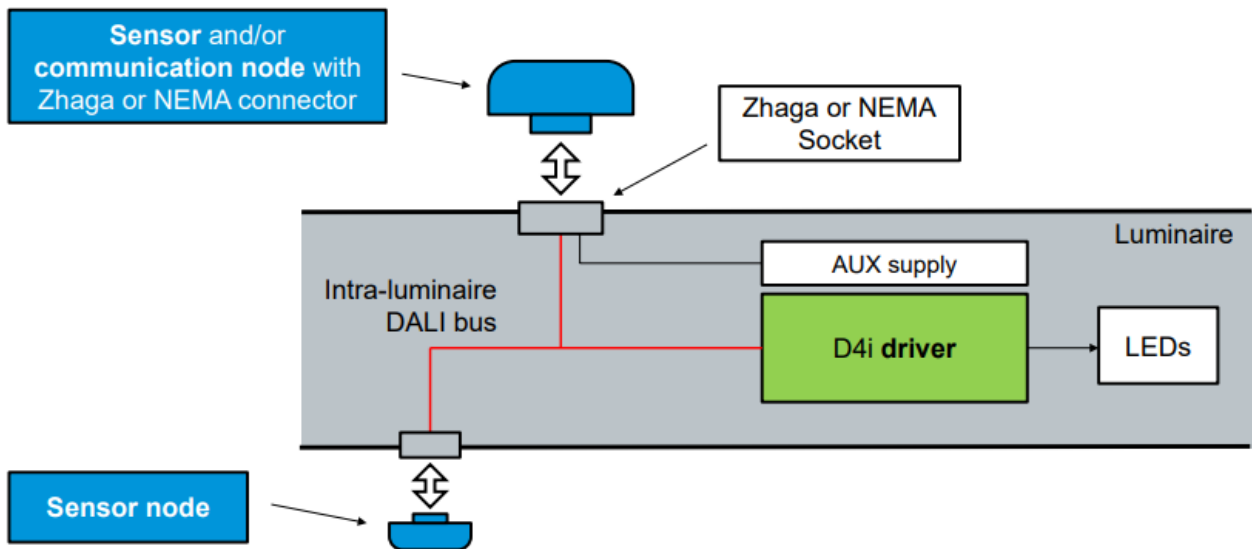
kohden. (ST 58.31 2016, 14–15.) DALI:a hallinnoi DiiA, joka on maailmanlaajuinen valaistusyhtiöiden avoin liittymä ja sen tarkoituksena on kasvattaa DALI-protokollaan perustuvia markkinoita. (About the DALI Alliance n.d.)

DALI-2 on standardin päivitetty versio ja se sisältää enemmän ominaisuuksia ja toi lisää laitteita standardin alle. Vanha standardi kattoi vain ohjattavat laitteet, kuten valaisinten liitälaitteet ja säätimet (ST 58.31 2016, 15.)

Tällä hetkellä standardin laitteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään, jotka ovat ohjattavat laitteet, ohjainlaitteet ja väylän liitälaitteet. Ohjainlaitteet jaetaan sovellusohjaimiin ja syöttölaitteisiin. Sovellusohjain ohjaa liitälaitteita ulkopuolisen datan perusteella ja ne voivat olla yksinkertaisia laitteita tai muiden järjestelmien kanssa yhteydessä olevia yhdyskäytäviä. Syöttölaitteita standardi käsittää neljää eri tyyppiä, käyttöpainikkeet, sisäänmenoyksiköt, läsnäoloanturit ja valoanturit. (Wade, Tol, O'Boyle & Fitzmaurice 2019.)

4.2.2 DALI ulkovalaistuksessa

DALI:n käyttö ulkovalaistuksessa mahdollistaa jokaisen valaisimen toimimisen yksittäisenä DALI-järjestelmänä ja sensoreiden liittämisen DALI-väylään. DALI:a hallinnoiva DiiA on julkistanut uusia spesifikaatioita yhteistyössä Zhagan ja ANSI:n kanssa. Näitä ovat DiiA osat 250–253, DiiA AUX sekä DiiA osa 351. Osa 250 käsittää väylään integroidut liitälaitteet ja osat 251–253 keskittyvät datan keräämiseen ja huoltoon. Osa 351 käsittää valaisimeen suoraan liitettävät ohjainlaitteet. Yhdessä nämä osat muodostavat D4i:n, joka on DALI-standardi älykkäälle valaistukselle.



Kuvio 3. DALI-väylää käyttävän ulkovalaisimen rakenne (Wade, Tol, O'Boyle & Fitzmaurice 2019)

Kuviossa 3 on esitetty ulkovalaisin varustettuna kannoilla, joihin Zhaga- tai NEMA-liittimet saadaan liitettyä. Ulkovalaisin sisältää D4i-standardin mukaisen liitälaitteen, johon LED-yksikkö ja esimerkiksi Zhaga-liittimet ovat kytketty. D4i-liitälaitte mahdollistaa diagnostiikkadatan raportoimisen ulkoiselle verkolle. Valaisin sisältää myös AUX-liitynnän, joka voi olla liitälaitteen sisäinen tai erillinen laite. AUX-liityntä on 24 VDC lisävirtalähde, jota valaisimeen liitetyt sensorit ja anturit voivat käyttää. Kuvion 5 mukaisen ulkovalaisimen etuina on mahdollisuus liittää sensoreita ja kommunikointisolmuja suoraan valaisimeen. Lisäksi valaisimen sisäinen DALI-2 väylä mahdollistaa kaksisuuntaisen tiedonsiirron antureiden ja valaistuksen välillä. (Wade, Tol, O'Boyle & Fitzmaurice 2019.)

4.2.3 Zhaga ja NEMA

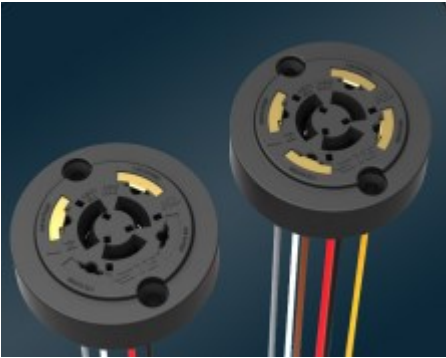
Zhaga on vuonna 2010 perustettu maailmanlaajuinen konsortio, joka standardoi LED-valaisimien komponenttien, kuten liitälaitteiden liityntöjä ja rajapintoja. Zhaga julkaisee kirjoja nimellä Zhaga Interface Specifications, joissa määritellään komponenttien yhteen toimivuuden edellytykset. Kirjassa 18 kuvataan ulkovalaistuksen älykäs käyttöliittymä. Julkaisussa on esitetty Zhaga-liitin, joka mahdollistaa antureiden ja tietoliikennesolmujen yhdistämisen suoraan ulkovalaisimiin. Markkinoilla on saatavilla paljon Zhaga-liittimellä varustettuja ulkovalaisimia ja liitin mahdollistaa erilaisten antureiden ja sensoreiden liittämisen suoraan ulkovalaisimeen mahdollistaen älykkään ohjauksen. (About us n.d.)

TE Connectivity valmistaa liittimiä, jotka perustuvat Zhagan kirjaan 18. Liittimet kulkevat nimellä LUMAWISE Endurance S ja niitä on saatavilla kahdella eri kokoisella kannalla. Liitin muodostuu pohjasta, kannasta ja kuvusta. Pohja on kiinni ulkovalaisimessa ja sen päällä on kanta, johon sensorit ja anturit saadaan liitettyä. Kannan päälle tulee kupu, joka suojaa antureita kosteudelta. Liitin sisältää neljä kosketinta, joista ensimmäiseen tulee tasajännitesyöttö liitäntälaitteelta. Kaksi kosketinta on varattu DALI-ohjaukselle ja viimeinen kosketin on varattu yli 7 voltin I/O-tulolle. Kuviossa 4 on esitetty TE Connectivityn Zhaga-liittimet 40 mm ja 80 mm kannoilla. (LUMAWISE Endurance S Zhaga Book 18 n.d.)



Kuvio 4. Zhaga-liittimen rakenne (LUMAWISE Endurance S Zhaga Book 18 n.d.)

NEMA on perustettu vuonna 1926 ja se on yhdysvaltalainen elektroniikka-alan valmistajien järjestö, joka julkaisee ANSI-standardia. Ulkovalaisimissa käytettävä NEMA-liitin perustuu ANSI C136.41 standardiin. NEMA-liittimiä on saatavilla myös kahta eri mallia, joista toinen sisältää viisi kosketinta ja toinen seitsemän. Kumpikin malli sisältää kolme kosketinta sähkönsyötölle ja loput koskettimet ovat ohjaukselle, joita toisessa mallissa on kaksi ja toisessa neljä. (ANSI C136.41 Dimming Receptacle n.d.) Kuviossa 5 on esitetty liittimet, joista näkyy koskettimien määrä. NEMA-liitin mahdollistaa DALI-ohjauksen lisäksi 1–10 voltin himmennuksen, jota Zhaga-liitin ei tue. (Ks. taulukko 3.)



Kuvio 5. NEMA-liitin viidellä ja seitsemällä koskettimella (ANSI C136.41 Dimming Receptacle n.d.)

Taulukko 3. Zhaga- ja NEMA-liittimien ominaisuudet (ANSI C136.41 Dimming Receptacle n.d.; LUMAWISE Endurance S Zhaga Book 18 n.d.)

	Zhaga	NEMA
Jännite	30 VDC	480 VAC/VDC
Virta	1,5 A	15 A
Käyttölämpötila	-40...90 °C	-40...105 °C
Ohjaustapa	DALI	DALI, 1-10 VDC
Koskettimien lukumäärä	4	5/7
Kotelointiluokka	IP 66	IP 66
Koko	40/80mm	76/81mm
Ilkivaltauokka	IK 09	-

Zhaga-liitin vaatii toimiakseen tasajännitesyötön liitälaitteelta, mutta NEMA-liitin toimii vaihtojännitteellä. Molemmissa liitinmalleissa käyttölämpötilan skaala on laaja, eli ne toimivat hyvin Suomen olosuhteissa. Zhaga-liittimessä on ilmoitettu myös ilkivaltauokka, joka on IK 09. (Ks. taulukko 3.)

Ilkivaltauokka sisältyy eurooppalaiseen kotelostandardiin EN 60439-6. IK-luokalla määritetään tuotteen suojaus mekaanisia iskuja vastaan. Mitä korkeampi numero IK-luokassa on, sitä paremmin se kestää iskuja. Zhaga-liittimessä oleva IK-luokka 09 tarkoittaa, että se kestää 10 joulen iskut. Korkein IK-arvo on 10, joka tarkoittaa kestoja 20 joulen iskuja vastaan. (IP- ja IK-luokitukset n.d.)

4.2.4 Staattinen ja dynaaminen säätö

Valaistuksen staattinen säätäminen tarkoittaa valaisimen säätämistä liitännälaitteelle ohjelmoidun himmennysprofiilin mukaan. Vaikka himmennysprofiili on ohjelmoitu jokaiseen haluttuun valaisimeen, ei niitä voida enää valaisinkohtaisesti muuttaa, koska himmennysprofiili on ohjelmoitu valmiiksi. Ennakkoon ohjelmoidun himmennysprofiilin muuttaminen voi olla hankalaa ja vaatii tarvittaessa käynnin valaisimella, kun dynaaminen säätö mahdollistaa himmennysprofiilin säätämisen etänä. (Laitinen 2021.) Lisäksi ennakkoon ohjelmoidun himmennysprofiilin muuttaminen vaatii NFC-ohjelmoitavan liitännälaitteen (Piispanen 2021).

NFC on standardoitu lyhyen kantaman tiedonsiirtotapa. NFC viestii langattomasti ja se hyödyntää viestinnässä 13,56 MHz:n radiotaajuutta. NFC-ohjelmoitava laite sisältää NFC-tunnisteen, joka vastaanottaa ohjelmoitavaa dataa laitteelta, kuten älypuhelimelta. NFC-tunniste saa myös tehonsyöttönsä radiotaajuuksien kautta, joten NFC-yhteys ei vaadi erillistä tehonsyöttöä. NFC toimii vain muutaman senttimetrin etäisyydellä, joka tarkoittaa, että tunnisteen lukemiseksi älypuhelin, tai muu laite on vietävä aivan tunnisteen läheisyyteen. Ulkovalaistuksessa tämä tarkoittaa, että valaisin on avattava, jotta liitännälaitteessa oleva NFC-tunniste saadaan luettua ja sen kautta himmennysprofiili muutettua. (NFC Technology n.d.)

Valaistuksen dynaaminen ohjaus tarkoittaa tarpeen mukaan säätämistä, eli valaistusta ohjataan ulkoisen datan perusteella. Tarpeen mukaan säätäminen tarkoittaa valaisimen himmennysprofiilin muuttamista esimerkiksi liikennemäärien tai säätietojen perusteella. Dynaamisen säädön ansiosta yksittäinen ulkovalaisin pystyy muuntautumaan ympäristön mukaan, joka pienentää huoltokustannuksia ja parantaa valaistuksen laatua. (Laitinen 2021.)

4.3 Ulkovalaistuksen ohjaustavat

Ulkovalaistuksen ohjaustavat voidaan jakaa neljään eri pääryhmään, jotka ovat paikallisohjaus, ketjutettu ohjaus, keskuskohtainen ohjaus sekä valaisinkohtainen ohjaus (Maantie- ja rautatiealuiden valaistuksen suunnittelu 2015, 106). Lisäksi erilaisissa älykaupunkihankkeissa panostetaan myös älykkääseen valaistuksen ohjaukseen, joka voidaan myös mieltää omaksi pääryhmäksi.

4.3.1 Paikallishjaus

Paikallishjaus on vanhahkoa tekniikkaa ja ei sovellu hyvin kaupunkien ulkovalaistuksen ohjaukseen. Paikallishjausta käytetään yleensä pienillä erillisillä alueilla, jotka ovat muiden ohjaustapojen ulkopuolella, kuten urheilukentillä. Paikallishjaus voidaan toteuttaa esimerkiksi hämäräkytkimillä tai astronomisilla kelloilla. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2015, 106.)

Hämäräkytkin

Hämäräkytkin mahdollistaa valaistuksen syttymisen ja sammumisen siihen asetetun valaistusvoimakkuuden mukaan. Hämäräkytkin ohjaa valaistusta siis ympäristön valaistuksen mukaan ja sillä voidaan estää valaistuksen turha palaminen silloin, kun auringonvalo on jo riittävä. (Tiensuu 2010, 35.)

Astronominen kello

Astronominen kello on laite, jolla valaistusta ohjataan päälle ja pois auringon nousun ja laskun mukaan. Astronomiseen kelloon voidaan itse asettaa viiveet, jolloin laite ohjaa valaistusta tietyn ajan ennen tai jälkeen auringonnousua ja -laskua. Astronomisen kellon huonona puolena on se, ettei se huomioi ympäristön valoisuustason muutoksia, joka voi muuttua huomattavasti esimerkiksi pilvisinä päivinä. Tämän takia astronominen kello ei ole hyvä ratkaisu ulkovalaistuksen ohjaukseen, koska valaistuksen syttymis- ja sammumisajat voivat vaihdella vaihtelevan valoisuustason mukaan. (Wilbur & Poplawski 2015, 48.)

4.3.2 Ketjutettu ohjaus

Ketjutettu ohjaus, tai ketjuttaminen on halpa ohjaustapa ja yksinkertainen toteuttaa. Ketjuttamisessa valaistuskeskukset ovat yhteydessä toisiinsa maakaapeliverkon välityksellä. Keskuksien välisiä maakaapelointeja käytetään siis erillisinä ohjauskaapeleina ketjuttaen keskukset toisiinsa. Ketjuttamisen huonona puolena on vian monistumisen mahdollisuus, koska ketjussa olevat keskukset toimivat samalla ohjauksella. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2015, 106.)

4.3.3 Keskuskohtainen ohjaus

Keskuskohtainen ohjaus on yleisessä käytössä yhtenäisissä ulkovalaistusverkoissa, koska siinä vältetään valaisinten eriaikaiselta syttymiseltä ja sammumiselta, sillä keskuksen kaikki valaisinryhmät ohjataan päälle keskusohjaimella. Keskuskohtainen ohjaus toimii paikallisesti tai kauko-ohjattuna esimerkiksi GSM-verkkoa hyödyntäen. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2015, 106.)

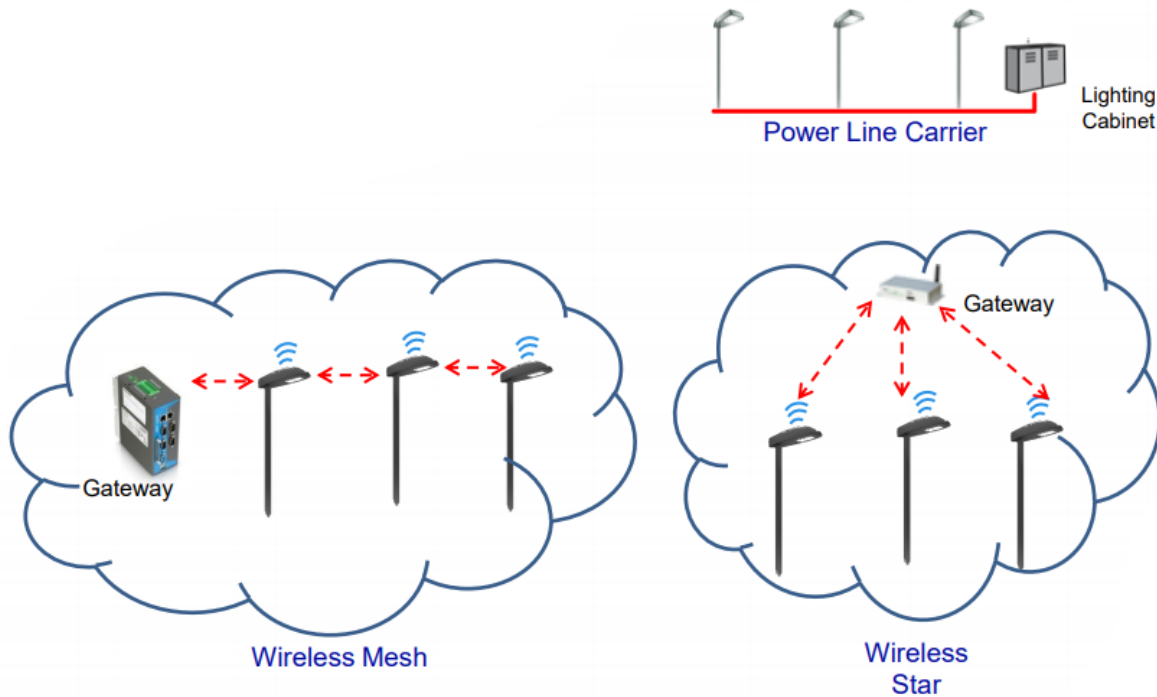
Keskuskohtainen ohjaus voi toimia valaisinkohtaisen ohjauksen kanssa yhdessä, eli keskusohjaimella voidaan ohjata vanhoja valaisinmalleja ja syöttää myös käyttösähköä valaisinkohtaisille ohjainlaitteille.

4.3.4 Valaisinkohtainen ohjaus

Valaisinkohtaisen ohjauksen käyttö on lisääntynyt viime vuosina ja sen etuina on kaksisuuntainen tiedonsiirto ja monipuolisuus verrattuna edellä mainittuihin ohjaustapoihin. Valosaasteen vähentäminen ja ilmastonmuutos ovat yksi syy valaisinkohtaisen ohjauksen lisääntymisen taustalla. Valaisinkohtaisessa ohjauksessa valaisin sisältää valaisinkohtaisen ohjaimen, joka viestii keskuksessa sijaitsevien tukiasemien ja keskusohjaimien kanssa. Valaisimessa kiinni oleva valaisinkohtainen ohjain voi sisältää erilaisia antureita, joilla voidaan tarkkailla valaisimen kuntoa sekä ympäristöä. Ympäristön tarkkailulla voidaan saada energiasäästöjä käyttämällä esimerkiksi liikennelaskureita tai valoisuusantureita. (Laitinen 2021.)

Talvella valkoinen lumi heijastaa valoa, jolloin valaisimen tehontarve on pienempi ja tehoa voidaan valaisinkohtaisesti pienentää. Syksyllä taas valaisimen tehoa voidaan joutua kasvattamaan, koska pimeys ja musta asfaltti lisäävät valontarvetta. Valaisinkohtaisen ohjauksen etuna on myös valaisinväri- ja tehoerojen vähentyminen, koska sitä käyttämällä voidaan välttyä eri tehoisien valaisintyyppien käytöltä. Valaisinkohtainen ohjaus mahdollistaa tehon tiputuksen valaisinkohtaisesti, eli eri tiealueilla voidaan käyttää samaa valaisinmallia, mutta eri tehoisina. Tämä helpottaa valaisinhuoltoa ja -suunnittelua sekä pienentää kustannuksia ja tuo energiasäästöjä. (Laitinen 2021.)

Valaisinkohtaisessa ohjauksessa ei tarvita erillisiä ohjauskaapeleita, vaan tiedonsiirto kulkee ryhmäjohtoja pitkin tai langattomasti. Valaisinkohtaisessa ohjauksessa voidaankin puhua runkoverkon sijasta valaisinverkosta. (Ks. kuvio 6.)



Kuvio 6. Valaisinverkon rakennevaihtoehdot (Wilbur & Poplawski 2015, 51)

Valaisinverkon tiedonsiirto voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla. Nämä ovat tiedonsiirto sähköverkossa, jonka periaate näkyy kuvion 6 yläkulmassa. Sähköverkkoa hyödyntävä tiedonsiirto hyödyntää valaistusverkon maakaapeleita, eli tiedonsiirto kulkee samoissa kaapeleissa kuin valaistuksen sähkönsyöttö. Kaksi muuta tiedonsiirtotapaa ovat langaton mesh-verkko ja langaton tähtiverkko. (Ks. kuvio 6.) Nykypäivänä langattomat ohjaustekniikat eivät ole vielä suuressa käytössä, koska vanhoja valaisintyyppisiä on kaupungeissa vielä huomattavasti ja ne tarvitsevat erillisen ohjainlaitteen toimiakseen, joka yleensä sijaitsee keskuksessa.

Langattomassa mesh-topologiassa valaisimien signaalit kulkevat radioaaltoja pitkin, eli erillisiä kaapeleita ei ole. Langattoman ohjauksen käyttö on asennuskustannuksiltaan halpaa, koska uusia kaa-

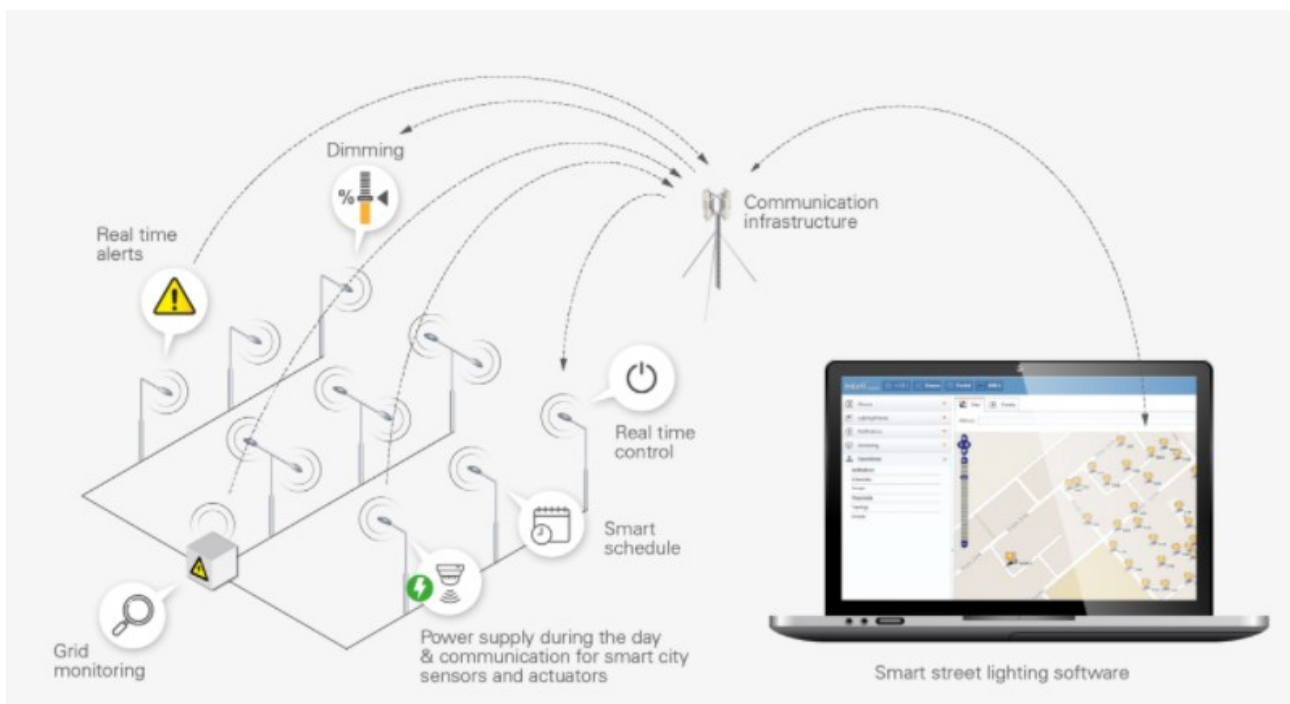
pelointeja ei tarvitse tehdä. Langattomassa ohjauksessa on kuitenkin huomioitava signaalien kulkevuus esteiden läpi, joita valaisinverkossa on esimerkiksi suuret rakennukset. Mesh-verkossa jokainen valaisin toimii verkossa reitittimenä, jotka keskustelevat keskenään. Mesh-tekniikka perustuu lyhyen matkan tiedonsiirtotekniikkaan, joita ovat esimerkiksi BLE, eli Bluetooth Low Energy ja ZigBee. (Mitä on langaton valaistuksen ohjaus? n.d.)

ZigBee on BLE:n tavoin pienitehoiseen tiedonsiirtoon keskittyvä tekniikka, joka käyttää IEEE:n 802.15.4 standardin radiomääritelmillä. ZigBee tukee myös muita verkkotopologioita mesh-tekniikan lisäksi, kuten point-to-point ja point-to-multipoint ja mahdollistaa jopa 65 000 solmua verkkoa kohti. Mesh-verkko on luonteeltaan hajautettu. Mesh-tekniikkaa hyödyntävässä valaisinverkossa jokainen valaisin toimii verkon solmupisteenä, ja solmut ovat yhteydessä toisiinsa reititettyinä. Mesh-verkon etuna on se, että solmupisteet voivat konfiguroida reitityspolut uudelleen, jos yksittäisiä solmuja poistuu verkosta tai suuri este estää signaalien kulkemisen. Tämä mahdollistaa yksittäisen solmun, eli valaisimen huollon verkosta irrallaan ja tästä johtuen vikaatilanteissa koko valaisinverkko ei ole riippuvainen huollosta. (Zigbee Wireless Mesh Networking n.d.)

Tähtitopologiassa valaisimet keskustelevat verkon keskellä olevan tukiaseman kanssa suoraan, eli valaisinpisteiden välistä yhteyttä ei ole. Tukiasema on siis tähtitopologiassa verkon keskipiste, joka on yhteydessä jokaiseen siihen kytkettyyn valaisimeen. Tähtikytkettyyn verkkoon on helppoa kytkeä lisää pisteitä, koska pisteet eivät ole yhteydessä toisiinsa. Keskellä oleva tukiasema mahdollistaa myös koko valaisinverkon keskitetyn hallinnan. Verkko ei ole myöskään riippuvainen yhden pisteen vikaantumisesta, mutta haittana on keskipisteessä olevan tukiaseman vikaantuminen, josta koko verkko on riippuvainen. (Ciccarelli & Faulkner 2004, 94–95.)

4.3.5 Älykäs ohjaus

Älykkään ulkovalaistuksen ohjauksen ideana on liittää ulkovalaistusverkko IoT-alustaan, jolloin saadaan älykäs keskitetysti hallittava ulkovalaistusverkko. IoT-alustassa toimiva ulkovalaistusverkko mahdollistaa yksittäisen valaisinpylvään toimimisen asennuspisteenä älykkään kaupungin järjestelmille valaisimen omien älylaitteiden ohella. Valaisinpylvääseen voidaan liittää esimerkiksi valvontakameroita, liikennelaskureita tai jopa sähköajoneuvojen latauslaitteita. Valaisinpylväissä on valmiina sähkönsyöttö, joten ne muodostavat valmiin verkon älykkään kaupungin hankkeille. (Everything you need to know about smart street lighting 2020.)



Kuvio 7. Älykkään ohjauksen periaate (Everything you need to know about smart street lighting 2020)

Kuviossa 7 on esitetty periaate kuva ulkovalaistuksen älykkäälle ohjaukselle. Hallintaohjelmalla saadaan ulkovalaistusverkosta reaaliaikaista dataa ja valaisimia voidaan myös ohjata etänä valaisinkohtaisesti. Älykkään ohjauksen etuna on kaksisuuntainen tiedonsiirto, eli valaistuksen ohjauksen ohella saadaan myös dataa analysoitavaksi valaistuksesta. Älykäs valaistuksen ohjaus on toteutettu valaisinkohtaisesti, mutta hyödyntää IoT-alustaa tiedonsiirtoon ja datankeräykseen. Valaisinkohtainen ohjaus voidaan toteuttaa myös ilman IoT-alustaa yhdessä keskuskohtaisten ohjaimien kanssa.

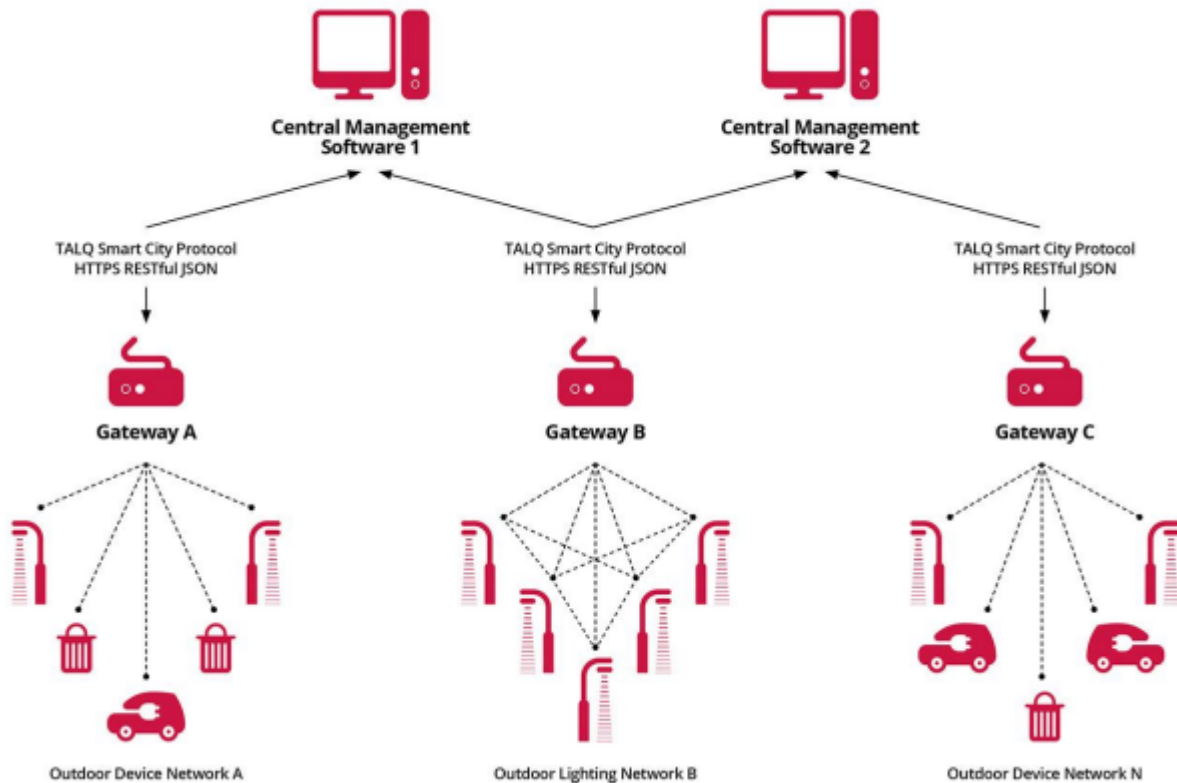
Internet of Things

Internet of Things tai lyhennettynä IoT, tarkoittaa esineiden internetiä. Esineiden internet tarkoittaa yhtenäistä verkkoa, johon on liitetty lukuisia laitteita ja antureita, jotka välittävät ja vastaanottavat tietoa ja dataa. Tiedon ja datan kerääminen tapahtuu laitteiden antureilla, kuten esimerkiksi ulkovalaistuksen tapauksessa valaisimeen liitetyllä kiihtyvyyssanturilla. Perinteisessä IoT-verkossa anturi kerää ja välittää tiedon ohjausyksikköön, joka antaa kerätyn tiedon perusteella mahdollisen ohjauskäskyn. Tieto välitetään esineiden internetissä pilvipalveluissa yhdyskäytävien avulla. Ohjausyksikkö antaa ohjauskäskyn toimilaitteelle yhdyskäytävän välityksellä. Ohjauskäskyn saatuaan toimilaitte, kuten valaisinkohtainen ohjainlaite ohjaa valaisimen ohjauskäskyn mukaisesti.

(Lakhwani, Gianey, Wireko & Hiran 2020.)

TALQ

TALQ konsortio on erilaisten älykaupunkilaitteiden liityntärajapinta, joka mahdollistaa eri valmistajien laitteiden ja tietojärjestelmän yhteensopivuuden (TALQ White Paper 2018). TALQ konsortion älykaupunkiprotokolla määrittää tietojärjestelmien ja yhdyskäytävien väliset viestityypit ja tiedostomuodot ja tarjoaa yhteisen rajapinnan yhdyskäytävän ja tietojärjestelmän välille. (Ks. kuvio 8.)



Kuvio 8. TALQ älykaupunkiprotokollan rakenne (TALQ White Paper 2018)

TALQ konsortiolla on sertifiointiohjelma, jolla varmistetaan laitetoimittajien laitteiden toimivuus TALQ-yhteensopivan tietojärjestelmän ja yhdyskäytävän välillä. Sertifiointiohjelma sisältää erilaisia testejä, joilla järjestelmien ja laitteiden yhteensopivuutta testataan. Tietyt testit läpäistyään tuotteille myönnetään TALQ-sertifikaatti. Sertifikaatin omaavat tuotteet, kuten esimerkiksi valaisinkohdattaiset ohjainlaitteet on mahdollista liittää TALQ-yhteensopivaan tietojärjestelmään. Tällöin ohjainlaitteiden hankkiminen ei ole valmistajasta riippuvainen. (TALQ White Paper 2018.)

5 Toimeksiantajan esittely ja nykytilanne

Jyväskylän ulkovalaistusverkossa on noin 36 000 valonlähdettä, joista liikenne- ja viheralueiden omistuksessa on 33 500 kappaletta. Valonlähteellä tarkoitetaan yksittäistä katuvalaisinta, joita pylväässä, eli valaisinpisteessä voi olla useampi. (City of light Jyväskylä, Snapshot of lighting 2021.)

Vuonna 2015 Jyväskylän kaupungin liikenne- ja viheralueet teki päätöksen lopettaa vanhojen valaisintyyppien asennuksen uusissa katuvalaistuksen rakennuskohteissa. Vuodesta 2015 lähtien uusiin

kohteisiin on asennettu siis vain LED-valaisimia (Piispanen 2021). Enemmistö liikenne- ja viheralueiden valaisimista on kuitenkin vielä suurpainenatriumeja, mutta LED-valaisinten osuus kasvaa jatkuvasti.

Taulukko 4. Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkon määrätiedot ja energiankulutus (City of light Jyväskylä, Snapshot of lighting 2021)

Valaisimet	34 689 kpl
Valaisinpylväät	32 692 kpl
Valaistuskeskukset	425 kpl
Zhaga-liittimet valaisimissa	1 348 kpl
Energiankulutus (2020)	8 161 kWh
Energiankulutus per valaisin (2020)	255 kWh
Valaisinten lukumäärä tyyppittäin	
LED	8 550 kpl
Suurpainenatrium	23 498 kpl
Monimetalli	2 249 kpl
Elohopea	36 kpl
Muut	356 kpl

Jyväskylän ulkovalaistusverkossa valaisimia on noin 35 000 kappaletta, joiden tarkemmat määrät on esitetty taulukossa 4. LED-valaisinten osuus on kasvanut vuodesta 2015 lähtien noin tuhannella valaisimella per vuosi ja vuonna 2020 asennettiin uusia LED-valaisimia 1 800 kappaletta. LED-valaisinten osuus kasvaa joka vuosi ja marraskuussa 2021 niiden osuus ulkovalaistusverkossa oli 24,6 prosenttia. Zhaga-liittimillä varustettuja LED-valaisimia on taulukon 4 mukaan 1 348 kappaletta. Jyväskylän kaupungin tarkoituksena on varustaa kaikki uudet LED-valaisimet Zhaga-liittimillä (Piispanen 2021). Taulukossa 4 näkyvään muut-osioon on luettu loiste- ja halogeenilamput.

LED-valaisimien vuosittain kasvava osuus on pienentänyt energiankulusta huomattavasti. Vuonna 2009 kokonaiskulutus oli noin 15 900 kWh, kun vuonna 2020 se oli noin 8 161 kWh. (Ks. taulukko 4.) Energiankulutus on laskenut vuodesta 2009 tasaiseen tahtiin ja on puolittunut vuonna 2020. Vuonna 2009 valonlähteiden määrä oli noin 28 900 kappaletta, kun vuonna 2020 se oli noin 32 000. Näistä luvuista nähdään, että vaikka valonlähteiden määrä on lisääntynyt, on energianku-

lutus silti laskenut huomattavasti. Vilkasliikenteisillä teillä aiemmin käytettyjä 150-250 W:n kaasupurkauslamppeja on vaihdettu pienempitehoisempiin ja energiatehokkaampiin LED-valaisimiin, joilla energiankulutusta on saatu vähennettyä. (City of light Jyväskylä, Snapshot of lighting 2021.)

Keskuksia on Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkossa 425 kappaletta, joista liikenne- ja viheralueiden omistuksessa on 375 kappaletta. Loput valaistuskeskuksista ovat liikuntapalveluiden omistuksessa. Keskuksia on paljon, joka tulee ottaa huomioon miettiessä ohjausjärjestelmän sopivuutta keskuksiin sekä fyysisesti, että teknisesti. (City of light Jyväskylä, Snapshot of lighting 2021.)

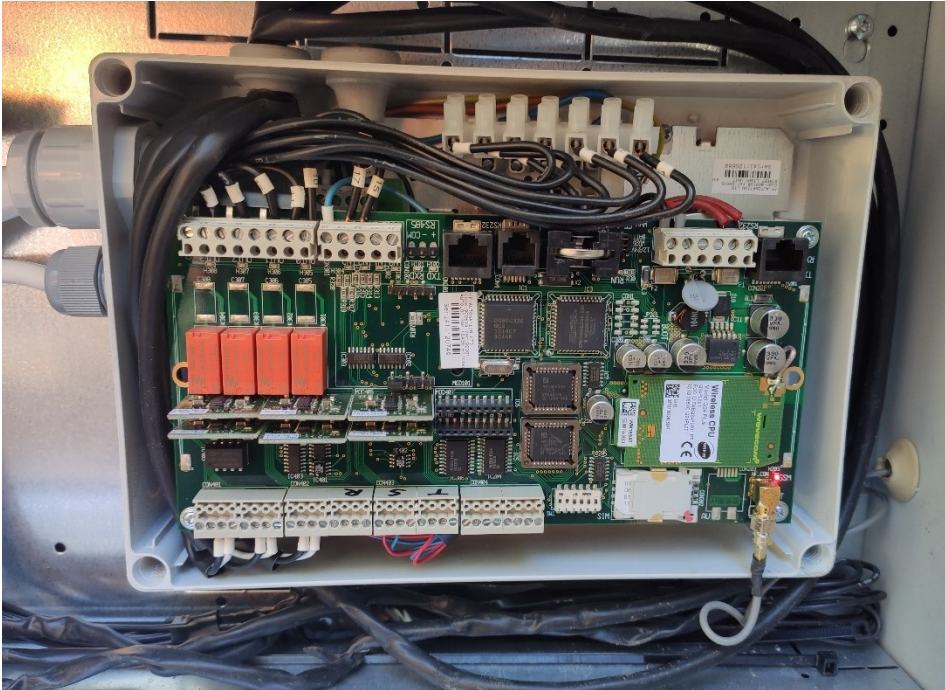


Kuvio 9. Seurantatyökalun käyttönäkymä (City of light Jyväskylä, Snapshot of lighting 2021)

Jyväskylän kaupungin ulkovalaistuksen seurantatyökalusta nähdään, että LED-valaisimissa nimellistehon ja kuormitustehon keskiarvot ovat molemmissa 45W, kun taas suurpainenatriumvalaisimissa nimellistehon keskiarvo on 78W ja kuormitustehon keskiarvo 90W, johtuen suurpainenatriumlampujen korkeasta syttymisvirrasta. Kuormitusteho on myös huomattavasti korkeampi, koska pääteillä on vielä paljon suuritehoisia lamppeja. Kuviossa 9 näkyy kaikkien valaisintyyppien nimellistehon ja kuormitustehon keskiarvo. (City of light Jyväskylä, Snapshot of lighting 2021.)

5.1 Nykyinen ohjausjärjestelmä

Jyväskylän kaupungin nykyisen ohjausjärjestelmän palveluntuottaja on paikallinen C2 Smartlight Oy. Ulkovalaistuskeskuksissa on sisällä kuvion 10 mukainen C2 Valovarma -ohjainlaite. Valovarma on FF-Automation Oy:n tuottama järjestelmä.



Kuvio 10. Valovarma-ohjainlaite

Valovarma sisältää neljä eri relettä eli ohjausryhmää valaistuksen ohjaukseen. Ohjainlaitteen sisältämät releet ohjaavat keskuksen sisällä olevia kontakteja, joilla valaistusryhmät ohjataan päälle. Ohjainlaitteen ohjauskaapeli on yleisesti 12- tai 19-johtiminen MMO-kaapeli ja sähkönsyöttö on toteutettu MMJ:llä. Valovarma sisältää myös varajärjestelmän ja virtamuuntajat. (Ks. kuvio 10.) Varajärjestelmällä tarkoitetaan toimintoa, joka sytyttää ja sammuttaa keskuksen valaistusryhmät silloin, kun ulkoinen tietoliikenneyhteys on vikaantunut. Järjestelmä yrittää kuitenkin lähettää ohjauksen uudelleen ja kolmen epäonnistuneen ohjauspyynnön jälkeen varajärjestelmä ohjaa valaistuksen päälle tai pois. Valaistuksen sytyttämisen ja sammuttamisen ajankohta lasketaan seitsemän edellisen onnistuneen ohjauksen kellonajan perusteella. (Palvelukuvaus 2010.)

Valovarman sisältämät ohjausryhmät ovat OUT0 (Yleiset tiet), OUT1 (Asuntokadut), OUT2 (Kuntopolut ja ladut) ja OUT3 (Erillisojtaus). Lähdössä OUT0 ei ole käytössä yösammutusta, joten siihen

ohjaukseen kytketään valaisinryhmät, joita ei ole tarkoitus sammuttaa öisin. Tähän lähtöön kytketään myös ryhmät, joissa on käytössä himmennysprofiililla olevia LED-valaisimia. Asuntokatuojen ohjausryhmässä on käytössä yösammutus, joten siihen ryhmään kytkettävissä uusissa LED-valaisimissa ei käytetä himmennysprofiilia. Erillishojauksen ryhmään kytketään yleensä puistot ja viheralueet sekä muut erikoiskohteet, joita ei voida kytkeä muihin ohjausryhmiin. (Ulkovalaistuksen suunnitteluohje 2017.)

Asuntoalueilla on käytössä yösammutus, jolloin ulkovalaisimet sammutetaan tietyksi ajaksi kokonaan. Ruutukaavakeskustassa, pääväylillä ja muilla keskeisillä alueilla ei ole käytössä yösammutusta. Näissä paikoissa vanhat valaisintyypit, kuten suurpainenatriumit, palavat täydellä teholla myös öisin, koska niissä himmentäminen ei ole mahdollista ilman erikoisliitäntälaitteita. LED-valaisimissa on yösammutuksen ulkopuolella käytössä valmiiksi ohjelmoitu himmennystaulukon mukainen himmennysprofiili. (Jyväskylän ulkovalaistuksen ohjauseriaatteet n.d.)

		Kellonaika, alkava tunti																		
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Valaistusluokka	Muuttuvan valaistuksen valaistusluokat	Jäljelle jäävä keskimääräinen luminanssi %																		
M1, C0 ja C1	M1 – M2 – M3 – M2 – M1	100	100	100	100	100	100	75	75	75	50	50	50	50	50	75	75	100	100	100
M2, C2	M2 – M3 – M4 – M3 – M2	100	100	100	100	100	100	65	65	65	50	50	50	50	50	65	65	100	100	100
M3a, C3	M3 – M4 – M5 – M4 – M3	100	100	100	100	100	100	75	75	75	50	50	50	50	50	75	75	100	100	100
M3b	M3 – M4 – M5 – M4 – M3	100	100	100	100	100	100	75	75	75	50	50	50	50	50	75	75	100	100	100
M4, C4	M4 – M5 – M6 – M5 – M4	100	100	100	100	100	100	65	65	40	40	40	40	40	40	65	65	100	100	100
M5, C5	M5 – M6 – P5 – M6 – M5	100	100	100	100	100	100	60	60	40	40	40	40	40	40	60	60	100	100	100
M6	M6 – P5 – P6 – P5 – M6	100	100	100	100	100	100	70	70	45	45	45	45	45	45	70	70	100	100	100
		Jäljelle jäävä keskimääräinen luminanssi %																		
P1	P1 – P2 – P3 – P2 – P1	100	100	100	100	100	100	65	65	65	50	50	50	50	50	65	65	100	100	100
P2	P2 – P3 – P4 – P3 – P2	100	100	100	100	100	100	75	75	75	50	50	50	50	50	75	75	100	100	100
P3	P3 – P4 – P5 – P4 – P3	100	100	100	100	100	100	65	65	40	40	40	40	40	40	65	65	100	100	100
P4	P4 – P5 – P6 – P5 – P4	100	100	100	100	100	100	60	60	40	40	40	40	40	40	60	60	100	100	100

		Kellonaika, alkava tunti																		
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Valaistustyyppi		Jäljelle jäävä keskimääräinen luminanssi %																		
Urheilukenttävalaistus, ei ulkoista ohjausta		100	100	100	100	100	100	100	50	10	10	10	10	10	10	50	50	100	100	100
Urheilukenttävalaistus, ulkoisella ohjauksella, ei aktivoituna *)		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Urheilukenttävalaistus, ulkoisella ohjauksella, aktivoituna *)		100	100	100	100	100	100	100	100	10	10	10	10	10	10	100	100	100	100	100

*) Sallittuina kellonaikoina painonappiohjauksella valaistusvoimakkuudet nousevat 100%:n kahdeksi tunniksi, jonka jälkeen valaistus himmenee takaisin 10%:n. Sallittuina kellonaikoina liiketunnistinohjauksella valaistusvoimakkuudet nousevat 100%:n 15 minuutiksi, jonka jälkeen valaistus himmenee takaisin 10%:n.

Kuvio 11. Jyväskylän kaupungin ulkovalaistuksen himmennystaulukko (Valoverkkojen omaisuuden hallinta n.d.)

Himmennystaulukosta selviää valaisimen tehontiputus kellonajan ja valaistusluokan mukaisesti. Esimerkiksi valaistusluokassa M5 valaistusteho keskiyöllä on 40 prosenttia, eli valaistus saadaan LED-valaisimilla huomattavasti himmeämmäksi öisin, kuin vanhoilla valaisimilleilla. (Ks. kuvio 11.)

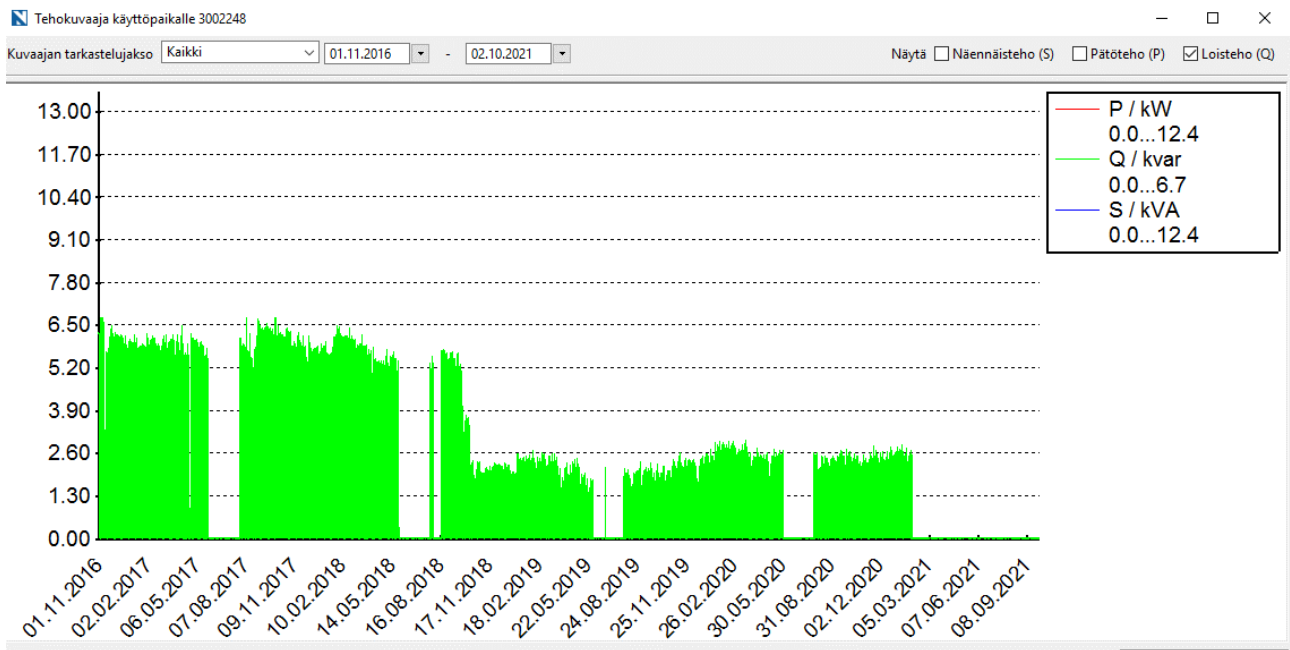
Jyväskylän kaupunki on kuitenkin uudistamassa ulkovalaistuksen suunnitteluohjetta ja sen kautta myös himmennystaulukkoa, josta on määrä tulla yksinkertaisempi verrattuna kuviossa 11 esitettyyn taulukkoon. Uudessa himmennystaulukossa käytetään eri alueilla samaa himmennysprofiilia jokaiselle valaistusluokalle, eli esimerkiksi M-luokassa sama profiili pätee luokkiin 1 ja 6. Yksinkertaisemmalla himmennystaulukolla helpotetaan valaistuksen ylläpitoa, kun sama profiili on kaikissa valaisimissa. (Piispanen 2021.)

Tietojärjestelmä

Nykyisen ohjausjärjestelmän pääominaisuuksia ovat verkossa toimiva valvomopalvelu, johon määritellyt käyttäjät pääsevät kirjautumaan. Valvomopalvelusta saadaan tilatietoa valaistuksen tilasta, kuten trendikäyriä, hälytyksiä ja raportteja. Nykyisen järjestelmän ohjaus toimii myös verkon välityksellä. Huoltotarkoituksissa ohjaus tapahtuu huoltopuhelimella, jolla soitetaan keskuskohtaiseen ohjainlaitteen numeroon, joka puhelun saatuaan sytyttää tai sammuttaa keskuksen. (AutoLog ControlMan Internet valvomo -palvelu n.d.)

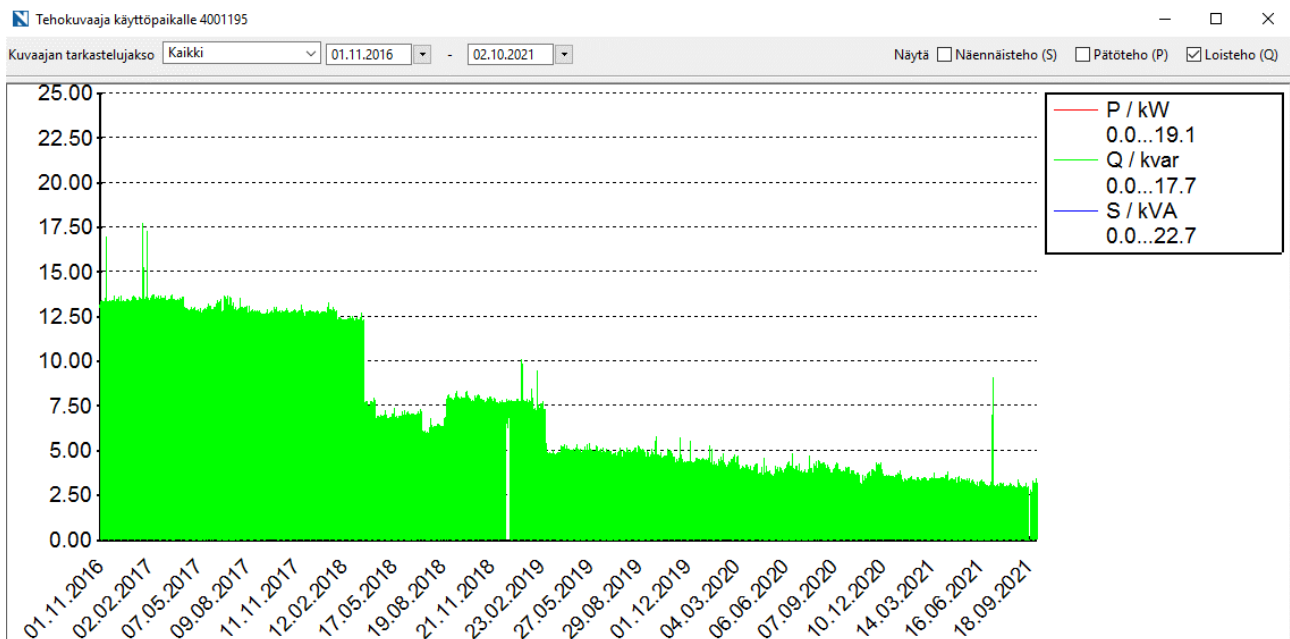
5.1.1 Loisteho ja sähkön laatu

LED-valaistuksen lisääntyminen voi tietää myös loistehon osuuden pienentymistä ja sen kautta loismaksujen vähenemistä. Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkosta otettiin tarkasteltavaksi kaksi eri käyttöpaikkaa, eli ulkovalaistuskeskusta, joista toisessa kaikki valaisimet ovat LED-valaisimia ja toisessa keskuksessa osa valaisimista sisältää vielä suurpaine- ja monimetallilampuja.



Kuvio 12. Ensimmäisen käyttöpaikan loistehon osuuden muutos (Helin 2021)

Ensimmäisessä tarkasteltavassa käyttöpaikassa kaikki keskuksen perässä olevat valaisimet on vaihdettu LED-valaisimiksi. Vuoden 2018 marraskuussa näkyy selvä tiputus loistehossa, jonka jälkeen se on pysynyt noin 2,6 kilovarissa vuoteen 2021 asti. (Ks. kuvio 12.)



Kuvio 13. Toisen käyttöpaikan loistehon osuuden muutos (Helin 2021)

Toisessa tarkasteltavassa käyttöpaikassa on myös nähtävillä selvää laskua loistehon osuudessa, loisteho on laskenut tasaisesti vuosina 2018 ja 2019 tapahtuneen piikin jälkeen. Loistehoa on tässä käyttöpaikassa kulunut myös huomattavasti enemmän, johtuen suuremmasta valaisinmäärästä. (Ks. kuvio 13.) Ensimmäisessä käyttöpaikassa valaisimia on noin 80 kappaletta ja toisessa noin 150 ja suurin osa niistä on suurpainenatriumlamppuja, joissa kuormitusteho on suurempi kuin LED-valaisimissa (City of light Jyväskylä, Snapshot of lighting 2021).

LED-valaisimien liitälaitteet tuottavat verkkoon kapasitiivista loistehoa ja suuri loistehon osuus kasvattaa näennäistehoa, joka muodostuu pätö- ja loistehosta sekä niiden välisestä tehokertoimesta. Liitälaitteiden tehokerroin voi olla jopa 0,99 niiden sisältämien tehokertoimen korjaimien ansiosta. Valaisimen himmentäminen huonontaa tehokerrointa ja tällöin liitälaitteet tuottaa enemmän loistehoa. (Power Factor when changing from Conventional to LED lighting 2020.)

LED-valaisimien ongelmana on niiden liitälaitteiden aiheuttamat yliaallot sähköverkkoon. Liitälaitteiden yksivaiheinen tasasuuntaus aiheuttaa etenkin 3. harmonisia yliaalloja, jotka summautuvat verkon nollajohtimeen ja aiheuttavat särövirtaa verkon nollan ja vaiheen välille. 3. harmoniseen yliaaltoon tulee valaistuksessa kiinnittää huomiota, koska nollajohtimeen summautuvat yliaallot nostavat sen virran kolminkertaiseksi vaihejohtimeen nähden. Liian suuri nollajohtimen virta voi johtaa sen ylikuormittumiseen. (Bolduc 2017.) Kolmannet yliaallot voidaan suodattaa sähköverkosta lähes kokonaan käyttämällä suodatinta, joka sijoitetaan verkossa nollajohtimeen tai muuntajan tähtipisteeseen, riippuen verkon johdinjärjestelmästä. Yliaallot voivat aiheuttaa verkkoon nollajohtimen ylikuormittumisen lisäksi tehohäviöitä, laitevaurioita ja jännitesärön kasvua. (ST 52.16 2014, 1–3.)

Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkossa LED-valaisinten tuottamaa särövirtaa seurattiin Kuokalan sillan valaisinvaihdon yhteydessä ja todettiin, että kaupunkialueella sähköverkko on tarpeeksi vahva, eikä suuri LED-valaisinten määrä aiheuttanut suurta särötystä sähköverkkoon. Kuokalan sillan LED-valaisimien yhteenlaskettu teho on noin 7000 wattia. (Helin & Kauppinen 2021.)

6 Uuden ohjausjärjestelmän vaatimukset

Toimeksiantajan kanssa käytiin läpi uuden ohjausjärjestelmän vaatimukset ja tärkeimmät seikat, jotka tarjouspyyntöön on hyvä kirjata. Erityisesti nousi esiin uuden ohjausjärjestelmän ohjausmahdollisuudet, skaalautuvuus, palvelusopimuksen malli sekä tietoturva.

6.1 Palvelusopimus

Nykyisessä ohjausjärjestelmässä ohjainlaitteet ovat tilaajan omistuksessa ja laitteiston ylläpito on ostettu toimittajalta palveluna. Lisäksi Jyväskylän kaupungilla on ulkopuolinen kunnossapito- ja huoltourakoitsija, joka vastaa valaistusverkon ylläpidosta. Uuden palvelusopimuksen pituus on miettimiskohde, etenkin kun ohjaustekniikka kehittyy jatkuvasti. Palvelusopimuksen pituus voisi olla esimerkiksi 10 vuotta, tai 5-7 vuotta. Lyhyemmällä palvelusopimuksella saadaan joustovaraa tekniikan kehittymisen varalle.

6.2 Keskusohjaimet

Koska Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkossa on vielä paljon vanhoja valaisinmalleja, ei voida uudessa ohjausjärjestelmässä keskittyä pelkkään valaisinkohtaiseen ohjaukseen. Vanhoja kaasupurkauslamppuja ei voida ohjata valaisinkohtaisesti, joten uuden ohjausjärjestelmän on kyettävä ohjaamaan myös keskuskohtaisesti. Uudessa järjestelmässä on siis oltava keskuskohtainen ohjain ja mahdollisuus valaisinkohtaiseen ohjaukseen.

Keskusohjaimien modulaarisuus ei ole välttämätöntä. Nykyinen ohjainyksikkö ei ole modulaarinen, eli uuden järjestelmän valinnassa on huomioitava keskuksiin tehtävät lisäykset, jos uusi ohjausjärjestelmä on modulaarinen. Modulaariset komponentit vaativat DIN-kiskot keskuksiin, jotka on liittävä uuden järjestelmän asennuksen yhteydessä. Vanha ohjausyksikkö vaatii suuren tilan keskuksen sisältä, joten uuden ohjausjärjestelmän komponenttien pitäisi mahtua keskuksiin hyvin, olivat ne modulaarisia tai eivät.

6.3 Valaisimien ohjainlaitteet

Valaisinkohtaisten ohjainlaitteiden tarkastelussa nousi kysymykseksi niiden investointikustannukset. Halutaanko siis vielä hankkia valaisinkohtaisia ohjainlaitteita, joista aiheutuvat kustannukset

voivat nousta korkeammaksi kuin niistä saatava hyöty. Jyväskylän kaupungissa on kuitenkin jo paljon Zhaga-liittimillä varustettuja valaisimia, joihin ohjainlaitteet saadaan suoraan liitettyä, jos niitä halutaan hankkia.

Tulevaisuudessa keskusohjaimien tarve mahdollisesti poistuu, kun valaisinkohtainen ohjaus lisääntyy. Valaisinkohtaisessa ohjauksessa valaisimet toimivat yksittäisesti pilvipalvelun välityksellä, jonka ongelmana on kuitenkin vielä kalliit vuosimaksut. Lisäksi valaisinkohtaisesta ohjauksesta saatavat energiansäästöt voivat jäädä pienemmäksi kuin valaisimen vuosikohtaiset kustannukset, jolloin valaisinkohtaisen ohjauksen järkevyyttä tulee miettiä.

Jyväskylän kaupungilla on tavoitteena käynnistää aluekohtaisia pilottihankkeita, joissa valaistusta ohjataan valaisinkohtaisesti. Tällöin alueelle syötettäisiin jatkuva käyttö sähkö keskuskohtaisella ohjaimella, jolloin valaisinkohtainen ohjaus saadaan mahdollistettua. Jatkuvan sähkön käyttö tulee kuitenkin huomioida työturvallisuudessa. Ulkovalaistuspylväissä kosketussuojaukset ovat usein puutteellisia, joten pylväiden huoltoluukkujen avaaminen jännitteisenä voi olla vaarallista. Tämä on hyvä huomioida pilottihanketta suunniteltaessa ja tarvittaessa tehdä tarvittavat muutokset pylväisiin, jotta valaisinkohtaisen ohjauksen käyttö olisi turvallista myös huoltourakoitsijan näkökulmasta. (Piispanen 2021.)

6.4 Ohjausmahdollisuudet

Nykyinen ValoVarma -ohjausyksikkö kykenee ohjaamaan neljää eri ohjausryhmää, mutta uudessa järjestelmässä mahdollisesti kaksikin riittäisi, kunhan järjestelmään voi tarvittaessa lisätä ohjausryhmiä. Uudessa ohjausjärjestelmässä on oltava myös jännitteen- ja virranmittaus jokaiselta vaiheelta keskuskohtaisesti.

Kysymykseksi nousi myös ristiin soveltuvuuden mahdollisuus. Jos uusi ohjausjärjestelmä kykenee ohjaamaan valaistusta sekä keskus- että valaisinkohtaisesti, onko järjestelmä riippuvainen yhdestä toimittajasta, vai voiko valaisimien Zhaga-liittimiin liittää myös muiden valmistajien sensoreita ja ohjainlaitteita. Tämä ei ole kuitenkaan vielä ajankohtainen ongelma, koska tulevalla sopimuskaudella keskitytään vielä pääasiassa keskuskohtaiseen ohjaukseen.

6.5 Tietoturva

Uudessa ohjausjärjestelmässä ohjainlaitteiden sisäiset SIM-kortit eivät voi olla normaaleja liittymäkortteja, vaan on käytettävä suojattua yhteyttä tietoturvariskien ja hyökkäysten välttämiseksi. Lisäksi uuden järjestelmän toimittaja ei saa olla sitoutunut yhden operaattorin käyttöön, vaan kaikkien Suomessa toimivien operaattoreiden on oltava käytettävissä. Uuden ohjausjärjestelmän on myös toimittava 2G- tai 4G-verkossa 3G-verkon poistumisen vuoksi. Tietoturvan näkökulmasta myös datan säilyttämisen sijainti ja sen käyttöoikeudet ovat oleellisia asioita. Ohjausjärjestelmän käyttöliittymän kirjautumisen olisi hyvä vaatia myös kaksivaiheista todennusta, jolloin estetään paremmin asiattomien käyttäjien pääsy järjestelmään.

6.6 Valoisuusanturit

Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkon ohjausajat saadaan valoisuusantureiden avulla, jotka antavat ohjauksikäskyn tietyn valoisuustason jälkeen. Valoisuusanturit ovat kiinni tietyissä keskuksissa eri puolilla kaupunkia.

Valoisuusantureiden käytön järkevyys on miettimiskohde. Auringon nousu- ja laskuajat tiedetään tarkkaan, joten valaistus saadaan sytytettyä myös kellon avulla. Valoisuusanturin etuna on kuitenkin pilvisen sään vaikutuksen huomioiminen, mutta pilvinen sää vaikuttaa valaisimien palamiseen vuorokausitasolla kuitenkin vähän, eli valoisuusantureita ei välttämättä tarvittaisi ollenkaan, joka voi tuoda säästöjä. Valoisuusanturin sijainti on myös ongelma. Jos nykyinen anturi sijaitsee kaukana, syttyvät valaisimet toisella puolella kaupunkia liian aikaisin tai liian myöhään. Suomessa hämärän ajan vaihtelut tuovat myös omat haasteensa valoisuusantureiden käytölle. (Piispanen 2021.)

6.7 Onnettomuusalueet

Toimeksiantajan toiveena oli etsiä ulkovalaistuksen seurantatyökalusta risteysalue, jossa on sattunut paljon liikenneonnettomuuksia. Tarkoituksena oli esittää risteysalue ohjausjärjestelmien toimittajille ja kysyä, miten heidän tuotteillaan voitaisiin estää tai vähentää liikenneonnettomuuksien syntyminen tällä alueella. Yksi esimerkkikohde on Kangasvuorentien ja Pupuhuhdantien risteys Sulun alueella. Onnettomuuksia ei tässä risteyksessä ole yhtä paljon kuin keskustan alueella, mutta

risteysalueella on Zhaga-liittimellä varustetut ulkovalaisimet. Tällöin ulkovalaisimia ei tarvitse alueelle vaihtaa, jos halutaan testata valaisinkohtaisen ohjauksen hyötyjä onnettomuusalueilla.

Valaisinkohtaista ohjausta on tarkoitus käyttää vaarallisten risteysalueiden lisäksi myös muilla kriittisillä alueilla, joissa hyvällä valaistuksella voidaan parantaa turvallisuutta. Näitä ovat alueet, joissa koetaan turvattomuuden tunnetta sekä suojatiet ja bussipysäkit. Suojateillä ja bussipysäkkien läheisyydessä jalankulku on vilkkaampaa ja erilaisilla antureilla ja älykkäämmällä valaistuksella voitaisiin vähentää onnettomuustilanteita. (Piispanen 2021.)

7 Ohjausjärjestelmän hankintaprosessi

Jyväskylän kaupungin ohjausjärjestelmän hankinta tehdään julkisena hankintaprosessina, joka alkoi markkinakartoituksella, jota tässä työssä käytettiin pohjana esiselvityksen tekemiseen. Markkinakartoituksen päätarkoitus on tuottaa lisää tuntemusta markkinoista ja markkinoilla olevista vaihtoehdoista, jotta markkinakartoituksen tekijälle tulee selkeä kuva, miten hankintaprosessissa kannattaa edetä. Markkinakartoitus tehdään ennen hankintamenettelyä, mutta ei ole kuitenkaan pakollinen. (Markkinakartoitus 2020.)

Hankintamenettely on hankintalain mukainen menettely, jossa hankinnat kilpailutetaan lain periaatteiden mukaisesti. Hankintamenettely on kuvattava tarjouspyynnössä tai hankintailmoituksessa. Kuvauksesta on tultava ilmi mahdolliset neuvottelukierrokset ja tarjoajien määrän rajoittaminen. Hankintamenettelyssä ei saa syrjiä toimijoita, vaan on mahdollistettava jokaisen vaatimusten täyttävän toimijan osallistuminen. (Hankintamenettely 2016.)

Jyväskylän kaupungin hankintamenettelyssä on tarkoitus pitää kaksi neuvottelukierrosta menettelyyn osallistuvien toimijoiden kesken. Neuvotteluiden valmistuttua hankintaprosessissa päästään tarjouskilpailuun, jonka tuloksena valitaan uusi ohjausjärjestelmän toimittaja. Uuden toimittajan valinnan jälkeen tulee varata aikaa noin puoli vuotta järjestelmän komponenttien ja laitteiden tilaukseen ja sama aika niiden asennukseen. Toimeksiantajan tavoitteena on aloittaa uuden järjestelmän laitteiden asennus viimeistään vuoden 2023 touko- tai kesäkuussa. Asennusvaihe on hyvä ajoittaa kesälle, koska silloin Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkossa on kesäkatko, eli valaistus ei ole ollenkaan päällä. (Piispanen 2021.)

Hankintaprosessin alkuvaiheessa pidettiin myös kokous eri kaupunkien hankintayksiköiden kanssa, jossa kuultiin eri kaupunkien ulkovalaistusverkkojen parissa toimivia henkilöitä ja heidän kokemuk-
siaan ohjausjärjestelmistä. Tämä ei hankintamenettelyssä ole pakollista, mutta voi tuoda esiin uu-
sia näkökulmia ja myös ongelmia, joita ei markkinakartoituksessa tule ilmi.

7.1 Markkinakartoituksen tulokset

Markkinakartoitustilaisuuksia pidettiin kaksi kunkin osallistujan kesken. Tilaisuuksiin osallistui neljä
eri ohjausjärjestelmän toimittajaa, joiden markkinakartoituksessa esittämiä ominaisuuksia tarkas-
teltiin tässä työssä. Osallistuneet toimittajat olivat Signify Finland Oy, Caverion Oy, C2 Smartlight
Oy sekä Capelon Oy.

7.1.1 Signify Finland

Signifyn esittelemä ohjausjärjestelmä kulkee nimellä Interact ja sitä on saatavilla moniin eri kohtei-
siin, mutta tässä työssä tutkittiin Interact City -ohjausjärjestelmää. Interact City:ssä ohjaus ja omai-
suuden hallinta on samassa käyttöliittymässä ja se mahdollistaa valaistuksen tarkastelun ja hallin-
nan myös etänä. Järjestelmä koostuu pilvipalvelimesta, joka keskustelee keskusohjaimien ja
valaisinkohtaisten ohjainlaitteiden kanssa. Keskuskohtainen ohjainlaite kykenee ohjaamaan kahta
kontaktoria, mutta määrää on mahdollisuus lisätä lisäkomponenteilla (Jalli 2021).

Signify esitteli markkinakartoituksessa Signify Cabinet -keskuskohtaisen ohjainlaitteen. Cabinet:sta
on saatavilla kolmea eri tasoa käyttökohteesta riippuen: Standard, Advanced sekä Advanced and
Dimming. Standarditaso käsittää vain ohjauksen päälle ja pois eikä siis mahdollista valaistuksen
himmennystä. Advanced-taso tuo järjestelmään mahdolliset mittauskomponentit ja Advanced and
Dimming -taso mahdollistaa valaisimen himmennuksen. Standarditason komponentit ovat siis
pääprosessori, SIM-kortti, antennit sekä ylijännitesuoja. Kolmannen tason himmennuksen vaativat
komponentit ovat muuntaja ja lähetin.

Signifyn valaisinkohtainen ohjainlaite asennetaan valaisimen Zhaga-liittimeen. Lisälaitteena on
saatavilla sensori, joka sisältää liike-, kiihtyvyy-, ääni- ja lämpötila-anturin sekä hämärätunnistimen.
Ohjainlaite luo mesh-verkon, joka mahdollistaa datan viemisen ja tuomisen valaisimelta. (Valo aut-
taa luomaan parempaa maailmaa 2021.)

7.1.2 Caverion Oy

Caverionin esittelemä keskuskohtainen ohjainlaite on muovisen kotelon sisään sijoitettu piirikortti. Fyysisesti keskuskohtainen ohjainlaite sopii siis hyvin Jyväskylän kaupungin ulkovalaistuskeskukseen. Ohjainlaite toimii langattomasti M2M-yhteydellä ja se keskustelee ohjauspalvelun kanssa, jota käyttöliittymästä hallitaan. Keskuskohtainen ohjainlaite voi ohjata neljää eri kontaktoria.

Caverionin tarjoama valaisinkohtainen ohjainlaite on Zhaga-liittimeen liitettävä komponentti, jolla valaistusta ohjataan. Valaisinkohtainen ohjain sisältää lisävarusteena astronomisen kellon ja hämäräkytkimen. Ohjainlaite toimii 2,4 GHz:n taajuudella ja sen liikennöinti-protokolla on ZigBee. Valaisinkohtaiset ohjainlaitteet luovat mesh-verkon keskuskohtaisen ohjaimen kanssa. (Caverion Valaistuksen ohjausjärjestelmä 2021.)

7.1.3 C2 Smartlight Oy

C2 Smartlight:n ohjausjärjestelmästä on saatavilla kahta eri pakettia, Street ja City. Pääohjainlaite ohjaa yhtä relettä ja siihen on mahdollista lisätä 6 releohjausta ja 5 mittauskanavaa. C2CU-pääohjainlaitteen rinnalle kytkettävä releohjauslaite C2RU kykenee ohjaamaan kolmea relelähtöä.

C2 Smartlightin valaisinkohtaisen ohjauksen mahdollisuus toteutetaan heidän C2LUCONC-laitteellansa, joka käyttää ZigBee-protokollaa ja 2,4 GHz:n taajuutta. C2LUCONC on keskuksessa sijaitseva tukiasema, joka keskustelee valaisinkohtaisien ohjaimien kanssa langattomasti. C2 Smartlight:n omia valaisinkohtaisia ohjaimia ovat SmartLumo M, SmartLumo Nema ja SmartLumo Z. Näistä Jyväskylän kaupungille oleellisin on SmartLumo Z, joka liitetään Zhaga-liittimeen. (C2 Smartlight -järjestelmäkuvaus 2021.)

7.1.4 Capelon

Capelon esitteli markkinakartoituksessa Cabinet-ohjausjärjestelmän, joka keskittyy keskuskohtaiseen ohjaukseen, mutta mahdollistaa myös valaisinkohtaisen ohjauksen. Laitteita Capelon esitteli kolme, joita olivat SC-200, CC-100 ja CG-600. SC-200 on keskuskohtainen päälaite heidän GreenStreet -ohjausjärjestelmässä. SC-200 hyödyntää valmiita kaapelointeja kommunikointiin ja sisältää 2G/3G modeemin sekä astronomisen kellon. Lisälaitteilla myös himmennys ja valaisinkohtainen ohjaus on mahdollista. (SC-200 Streetlight Controller n.d.)

CC-100 on myös keskuskohtainen ohjainlaite, joka mahdollistaa valaisinkohtaisen ohjauksen yhdessä CG-600-laitteen kanssa. CC-100 käyttää mesh-verkkoa 2,4 GHz:n taajuudella kommunikointiin valaisimien kanssa ja sisältää kolme relettä valaistusryhmien ohjaukseen. (GreenStreet IoT, Wireless Control and Monitoring Unit n.d.)

7.2 Vertailu

Kaikkien markkinakartoitukseen osallistuneiden toimittajien järjestelmistä löytyi samankaltaisuuksia, mutta myös pieniä eroavaisuuksia. (Ks. taulukko 5.)

Taulukko 5. Eri ohjausjärjestelmien ominaisuudet

	Signify Oy	Caverion Oy	C2 Smartlight Oy	Capelon Oy
Yhteydet	2G/4G	2G/4G	2G/4G	2G/4G
Ohjattavien kontaktorien lukumäärä	2	4	1-7	3
Mobiilikäyttöliittymä	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Vaihekohtainen virran- ja jännitteenmittaus	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Varajärjestelmä	Astronominen kello	Astronominen kello & edellisen vuorokausien keskiarvo	Astronominen kello & 5 edellistä ohjausta	Astronominen kello
Ohjaukaskäsky	Valoisuusanturi & astronominen kello	3 valoisuusanturia	3-9 valoisuusanturin keskiarvo	Valoisuusanturi & astronominen kello
Takuu	Tehdastakuu 2 vuotta, määriteltävissä sopimuksessa.	Tehdastakuu 2 vuotta, määriteltävissä sopimuksessa.	Tehdastakuu 2 vuotta, määriteltävissä sopimuksessa.	Tehdastakuu 2 vuotta, määriteltävissä sopimuksessa.
TALQ CMS - yhteensopivuus	Kyllä / ei (riippuu ohjausratkaisusta)	Ei	Kyllä	Kyllä
Ethernet-liityntä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Keskusohjaimen kotelointiluokka	IP 20	IP 65	IP 20	IP 21
Käyttölämpötila	-20...+60 °C	-30...+50 °C	-40...+55 °C	-30...+60 °C (SC-200) -40...+60 °C (CC-100)
Liikennöinti-protokolla	Kaapeliviestintä (Cabinet), valaisinkohtainen RF MESH & 4G	2,4 GHz ZigBee (valaisinkohtainen ohjainlaite)	2,4 GHz ZigBee (valaisinkohtainen ohjainlaite)	Kaapeliviestintä (DS-200), 2,4 GHz MESH (CC-100)

Yhteydet

Kaikilla neljällä toimittajalla ohjainlaitteet käyttävät 2G- tai 4G-yhteyttä. Keskuskohtaiset ohjainlaitteet toimivat yleensä 2G-yhteydellä ja mahdolliset valaisinkohtaiset ohjainlaitteet 4G:llä. Caverionin ohjainlaitteessa 4G-yhteys saadaan erillisellä piirilevyyn liitettävällä kortilla. Mahdollisuus 4G-yhteyteen on tärkeää, koska työssä huomattiin 3G-verkon poistuvan Suomesta jo vuonna 2023. Tästä syystä on tärkeää huomioida 2G:n rinnalla mahdollisuus toiseen yhteyteen, vaikka 2G-verkko onkin vielä laajassa käytössä Suomessa, eikä sen poistumisesta ole vielä tietoa.

Jokaisesta ohjausjärjestelmästä löytyi myös Ethernet-liitin, joka mahdollistaa ulkoisen yhteyden käytön ja kytkeytymisen keskuksien energiamittareihin tarvittaessa.

Ohjaus ja TALQ

Ohjausryhmiä oli jokaisen toimittajan järjestelmässä riittävästi. Vaikka nykyinen pystyy ohjaamaan neljää eri kontaktoria, suurimmalla osalla keskuksista on käytössä vain kaksi ohjausryhmää. Jokainen järjestelmä pystyy ohjaamaan kahta ryhmää, mutta myös enemmän, jos keskuksella on siihen tarve tai tulevaisuudessa tarve lisääntyy. Tärkeimmät ulkovalaistuskeskuksessa on kuitenkin kaksi pääryhmää, eli yleiset tiet ja asuntokadut. Mahdollinen lisäryhmien tarve valotaideteoksille tai muulle lisävalaistukselle on vähäinen ja käytännössä ilmenee vain keskusta-alueella.

Tulevaisuudessa lisääntyvä LED-valaistus vähentää ohjausryhmien määrän tarvetta. Kun vanhoja valaisinmalleja vaihdetaan LED-valaisimiksi, joissa on valmiiksi ohjelmoitu himmennysprofiili, poistuu yösammutuksen vaativan ohjausryhmän tarve.

Jokaisessa neljässä ohjausjärjestelmässä varajärjestelmä hyödyntää astronomista kelloa. Tämä tarkoittaa sitä, että jos järjestelmä ei saa ohjauskäskyä valoisuusantureilta tai muusta määritellystä ulkoisesta komponentista, ohjaa varajärjestelmä keskuksen valaistuksen päälle astronomisen kellon ja edellisten ohjauskäskyjen perusteella. Tällöin valaistus syttyy haluttuun aikaan päälle myös ilman ulkoista ohjauskäskyä.

TALQ-yhteensopivuus ei ole vielä tällä sopimuskaudella tärkeää, koska valaistusta ei ole tarkoitus käyttää IoT-pohjassa. Tulevaisuuden varalle on kuitenkin hyvä, että laitteet saadaan tarvittaessa liitettyä IoT-rajapintoihin helposti, jos yhteensopivuus ohjausjärjestelmästä löytyy.

Käyttölämpötila ja kotelointiluokka

Ohjainlaitteen käyttölämpötila on tärkeää huomioida etenkin Suomen ympäristöolosuhteissa. Keskuksen sisällä lämpötila on hieman korkeampi kuin ulkona, johtuen laitteiden tuottamasta lämmöstä. Keskuksiin on kuitenkin hyvä tarvittaessa asentaa esimerkiksi pieni kotelolämmitin ohjainlaitteen läheisyyteen, jos ympäristön lämpötila alittaa ohjainlaitteen alimman käyttölämpötilan.

Ohjainlaitteen kotelointiluokalla ei ole suurta merkitystä, koska laitteet sijaitsevat keskuksen sisällä, jossa kotelointiluokitus on riittävä. Tästä johtuen keskusohjaimen kotelointiluokassa ei ole tarvetta tarkastella sen kestävyyttä kosteutta vastaan.

8 Pohdinta

8.1 Tulosten ja työn pohdinta

Työn tavoitteena oli tuottaa esiselvitystyö Jyväskylän kaupungille ulkovalaistusverkon ohjausjärjestelmän päivittämisestä. Tarkoituksena oli osallistua hankintaprosessissa pidettyihin markkinakartoituksiin ulkopuolisena havainnoitsijana ja tutustua eri toimittajien ohjausjärjestelmiin. Työssä käytiin myös läpi yhdessä toimeksiantajan kanssa tärkeimmät kriteerit ja ominaisuudet, jotka uuden ohjausjärjestelmän tulisi pitää sisällään.

Jokaisen markkinakartoitukseen osallistuneen toimittajan järjestelmän ominaisuudet täyttivät opinnäytetyössä määritellyt tärkeimmät kriteerit ja ominaisuudet. Tärkeimmät näistä toimeksiantajalle olivat vaihekohtainen virran- ja jännitteenmittaus, toimivuus 2G- ja 4G-verkossa sekä toimivuus vanhojen valaisinmallien kanssa. Jokaisessa järjestelmässä keskuskohtainen ohjaus oli pääominaisuutena ja valaisinkohtainen ohjaus lisäominaisuutena. Keskuskohtaisella ohjauksella saadaan valaistus syttymään ryhmittäin ja toimeksiantaja voi käyttää valaisinkohtaisia ohjainlaitteita pilotti- ja onnettomuusalueilla keskuskohtaisen ohjauksen rinnalla. Kaikilla neljällä järjestelmällä valaisinkohtainen ohjaus on mahdollista, ja sitä on ollut jokaisella järjestelmällä jo kokeilussa ja käytössä.

Markkinakartoitukseen osallistuneiden toimittajien järjestelmistä löytyi paljon samankaltaisuuksia ja toivotut kriteerit täyttyivät. Tulosten määrä jäi tässä työssä vähäiseksi, johtuen järjestelmien samankaltaisuuksista. Lisäksi suuri osa järjestelmien sisältämistä toiminnoista ei ollut vertailukelpoista keskenään tai eivät muuten sopineet tutkittavaksi tässä opinnäytetyössä. Osa järjestelmien ominaisuuksista ja tiedoista piti myös rajata työssä pois, koska ne pitivät sisällään luottamuksellista tietoa, joita järjestelmien toimittajat eivät halunneet jakaa ulkopuolisille.

Työssä saatiin lueteltua jokaisen ohjausjärjestelmän ne ominaisuudet, jotka toimeksiantajalle olivat tärkeimmät. Työn tuloksena syntyi lyhyt esittely jokaisesta markkinakartoitukseen osallistuneesta ohjausjärjestelmän toimittajasta ja Excel-taulukko, jossa jokaisen järjestelmän tärkeimmät ominaisuudet on lueteltu.

Työn tietoperusta kehitti suuresti omaa tietämystä ulkovalaistuksesta sekä sen ohjaustavoista ja niiden kehittymisestä. Osallistuminen Jyväskylän kaupungin järjestämiin markkinakartoitustilaisuuksiin toi myös uutta tietoa alalla toimivista yrityksistä ja näkökulmaa julkisten palveluhankintojen vaativuuteen. Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkon nykytilanteen kuvaamisessa auttoi oma aiempi opinnäytetyön ulkopuolelta hankittu tietämys Jyväskylän ulkovalaistusverkosta ja kaupungin oma seurantatyökalu auttoi kartoittamisessa huomattavasti.

8.2 Jatkotutkimusidea

Ulkovalaistuksen ohjausmahdollisuudet ovat hyvin monipuolisia ja mahdollistavat yhä älykkäämmän valaistuksen ohjauksen ja kunnonseurannan kuin ennen. Kuntatasolla ulkovalaistusverkko pitää kuitenkin sisällään vielä niin paljon vanhaa tekniikkaa, ettei valaisinkohtaisen ohjauksen laajempaan käyttöön voida vielä siirtyä. Valaisinkohtaisen ohjauksen käyttö kaupunkiympäristössä on vielä tässä vaiheessa hyvin kallista ja vaatisi suuria investointeja, eikä sen tuomat energiansäästöt pysty kattamaan näitä tekniikan päivittämisestä syntyviä kustannuksia.

Tulevaisuudessa LED-valaisinten ja älykaupunkihankkeiden lisääntyessä kaupunkiympäristöissä voidaan valaisinkohtaista ohjausta alkaa enemmän harkitsemaan. Tulevaisuudessa keskuskohtaiset ohjaimet poistuvat todennäköisesti kokonaan käytöstä, kun IoT-alustoja ja pilvipalveluja aletaan enemmän kuntatasolla käyttämään.

Jatkotutkimuksena voisi tutkia Jyväskylän kaupungin tulevaisuuden pilottialueella toimivaa valaisinkohtaista ohjausta. Valaisinkohtaisen ohjauksen toimivuutta ja sen käyttöä tulisi tutkia pitkällä aikavälillä, jolloin saataisiin laskettua, kuinka paljon valaisinkohtaisella ohjauksella saadaan säästöjä energiankulutuksessa. Käytössä tulisi olla ainakin liiketunnistimella varustettuja valaisimia, jolloin valaistusta ohjataan alueella tapahtuvan liikenteen perusteella. Tällöin valaistus ei ole päällä turhaan ja saadaan tarkemmin laskettua ohjauksen tuomat säästöt energiakustannuksissa, kun valaistusta käytetään vain silloin kun alueella on liikennettä.

Pilottialueen valaistuksesta olisi syytä tehdä myös asiakastyytyväisyyskysely. Kyselyssä kysyttäisiin turvallisuuteen ja ulkovalaistuksen miellyttävyyteen liittyviä mielipiteitä. Kyselystä tulisi selvittää, kevatko alueella liikkuvat ihmiset liikenteen mukaan ohjautuvan valaistuksen turvallisemmaksi ja miellyttävämmäksi, kuin silloin, jos valaistusta ohjataan ja himmennetään keskuskohtaisesti.

Energiansäästöihin ja asukkaiden tyytyväisyyteen liittyvillä tutkimuksilla saataisiin selvitettyä, kannattaako valaisinkohtaiseen ohjaukseen investoida vielä paljoo, vai onko järkevämpää ja taloudellisempaa käyttää keskuskohtaista ohjausta siihen asti, kunnes valaisinkohtaiset ohjainlaitteet ovat hankintakustannuksiltaan edullisempia.

Lähteet

About the DALI Alliance. N.d. Dali-allianssin verkkosivut. Viitattu 10.9.2021. <https://www.dali-alliance.org/alliance/>.

About us. N.d. Zhaga konsortion verkkosivut. Viitattu 22.8.2021. <https://www.zhagastandard.org/about-us/who-we-are.html>.

ANSI C136.41 Dimming Receptacle. N.d. Datalehti TE Connectivityn verkkosivuilla. Viitattu 10.9.2021. <https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchrtv&DocNm=1-1773278-9 Dimming Receptacle&DocType=DS&DocLang=EN>.

Autolog ControlMan Internet valvomo -palvelu. N.d. FF-Automation Oy:n tuote-esittely. Viitattu 10.9.2021. https://www.ff-automation.com/products/controlman_fi.shtml.

Bolduc, R. 2017. Impacts of LED lighting on Power Quality. Schneider Electric:n verkkojulkaisu. Viitattu 24.10.2021. https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=White+Paper&p_File+Name=998-2095-10-07-17AR0+EN.pdf&p_Doc+Ref=998-2095-10-07-17AR0+EN.

C2 Smartlight -järjestelmäkuvaus. 2021. Markkinakartoituksesta saatu PDF-dokumentti. Viitattu 9.10.2021.

Caverion Valaistuksen ohjauksjärjestelmä. 2021. Markkinakartoituksesta saatu PDF-dokumentti. Viitattu 19.11.2021.

Ciccarelli, P. & Faulkner, C. 2004. Networking Foundations. San Francisco: Sybex. Viitattu 25.8.2021. <https://janet.finna.fi>, Ebook Central.

City of light Jyväskylä, Snapshot of lighting. 2021. Jyväskylän kaupungin ulkovalaistuksen seuranta-työkalu ArcGIS Experience:n verkkosivuilla. Viitattu 29.9.2021. <https://experience.arcgis.com/page/landing>.

Everything you need to know about smart street lighting. 2020. Artikkelel intelilight:n verkkosivuilla. Viitattu 10.9.2021. <https://intelilight.eu/smart-street-lighting/>.

GreenStreet IoT, Wireless Control and Monitoring Unit. N.d. Capelonin ohjausjärjestelmän datalehti. Viitattu 25.10.2021. <https://www.capelon.se/wp-content/uploads/2019/05/dsCC-100-eng.pdf>.

Hankintamenettely. 2016. Verkkajulkaisu julkisten hankintojen neuvontayksikön verkkosivuilla. Viitattu 29.9.2021. <https://www.hankinnat.fi/kansallinen-hankinta/hankintamenettely>.

Helin, J. & Kauppinen, S. Alva Oy. Teams-palaveri Jyväskylän kaupungin ulkovalaistusverkon sähkökön laadusta. Viitattu 24.10.2021.

Helin, J. 2021. Alva Oy. Käyttöpaikkojen Tribble-kuvaajat. Sähköpostiviesti. Viitattu 23.10.2021.

IP- ja IK-luokitukset. N.d. Verkkajulkaisu Fiboxin verkkosivuilla. Viitattu 11.9.2021. https://www.fibox.fi/10/IP%20ja%20IK%20-luokitukset_FIN1.html.

Jalli, K. 2021. Signify Oy. Sähköpostiviesti. Viitattu 19.11.2021.

Jyväskylän ulkovalaistuksen ohjausperiaatteet. N.d. Verkkajulkaisu Jyväskylän kaupungin verkkosivuilla. Viitattu 16.8.2021. <https://www.jyvaskyla.fi/liikenne/ulkovalaistus/ulkovalaistuksen-ohjausperiaatteet>.

Kananen, J. 2008. Kvali: Kvalitatiivisen tutkimuksen teoria ja käytänteet. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Laitinen, P. 2021. Hyvällä valaistussuunnittelulla pienet huoltokustannukset. Video C2 Smartlight Oy:n webinaarista. Viitattu 12.9.2021. <https://c2smartlight.com/webinaari-hyvalla-valaistussuunnittelulla-pienet-huoltokustannukset/>

Laitinen, P. 2021. Valaisinkohtainen ohjaus. Video C2 Smartlight Oy:n webinaarista. Viitattu 25.8.2021. <https://c2smartlight.com/webinaari-valaisinkohtainen-ohjaus/>

Lakhwani, K., Gianey H.K, Wireko, J.K & Hiran, K.K. 2020. Internet of Things (IoT): Principles, Paradigms and Applications of IoT. New Delhi: Bpb Publications. Viitattu 5.9.2021. <https://janet.finna.fi/Record/jamk.993667882006251>, Skillsoft Books.

LUMAWISE Endurance S Zhaga Book 18. N.d. Datalehti TE Connectivityn verkkosivuilla. Viitattu 10.9.2021. https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchrtv&DocNm=lumawise-zangabook-ds-en&DocType=DS&DocLang=English&DocFilename=ENG_DS_lumawise-zangabook-ds-en_2105.pdf.

Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu. 2015. Väyläviraston verkkojulkaisu. Viitattu 16.8.2021. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2015-16_maantie_rautatiealueiden_web.pdf.

Markkinakartoitus. 2020. Verkkojulkaisu julkisten hankintojen neuvontayksikön verkkosivuilla. Viitattu 29.9.2021. <https://www.hankinnat.fi/eu-hankinta/suunnittelu-ja-valmistelu/markkinakartoitus>.

Matkapuhelinverkon toiminta ja tukiasemat. 2019. Verkkojulkaisu Säteilyturvakeskuksen verkkosivuilla. Viitattu 21.8.2021. <https://www.stuk.fi/aiheet/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/matkapuhelinverkko/matkapuhelinverkon-toiminta-ja-tukiasemat>.

Mitä on langaton valaistuksen ohjaus? N.d. Verkkojulkaisu Helvarin verkkosivuilla. Viitattu 25.8.2021. <https://helvar.com/fi/ratkaisut/mita-on-langaton-valonohjaus/#helvarwireless>.

NFC Technology. N.d. NFC-tekniikan kuvaus NFC Forum:n verkkosivuilla. Viitattu 15.11.2021. <https://nfc-forum.org/what-is-nfc/about-the-technology/>.

Palvelukuvaus. 2010. C2 Smartlight:n Valovarma-ohjausjärjestelmän palvelukuvaus. Viitattu 23.8.2021.

Piispanen, J. 2021. Teams-palaveri. Viitattu 12.9.2021.

Power Factor when changing from Conventional to LED lighting. 2020. Philips:n verkkodokumentti. Viitattu 24.10.2021. https://www.docs.lighting.philips.com/en_gb/oem/download/xitanium-led-drivers-outdoor/power-factor-white-paper.pdf.

SC-200 Street Light Controller. N.d. Capelonin ohjausjärjestelmän datalehti. Viitattu 25.10.2021. <https://www.capelon.se/wp-content/uploads/2017/05/ds-SC-200-eng.pdf>.

Siirtyminen 3G:stä kohti uudempaa teknologiaa. N.d. Verkkojulkaisu Elisan verkkosivuilla. Viitattu 21.8.2021. <https://elisa.fi/3g/>.

ST 52.16. 2014. Yliaaltosuodatinlaitteet ja niiden sijoitus alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. ST-ohjekortti. Sähkötieto. Viitattu 24.10.2021. <https://severi.sahkoinfo.fi/> , ST-kortisto.

ST 58.08. 2018. Valonlähteet. ST-ohjekortti. Sähkötieto. Viitattu 14.8.2021. <https://severi.sahkoinfo.fi/> , ST-kortisto.

ST 58.31. 2016. Valonlähteiden säätö ja ohjaus. ST-ohjekortti. Sähkötieto. Viitattu 10.9.2021. <https://severi.sahkoinfo.fi/> , ST-kortisto.

TALQ White Paper. 2018. Verkkodokumentti TALQ konsortion verkkosivuilla. Viitattu 26.10.2021. <https://www.talg-consortium.org/data/downloadables/9/5/2018-08-talg-white-paper-smart-city-protocol-specification-version-2-0.pdf>.

Tiensuu, A. 2010. Uusi valaistuskirja. Helsinki: Viherympäristöliitto.

Tievalaistuksen suunnittelu. 2006. Väyläviraston verkkojulkaisu. Viitattu 16.8.2021. https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf/2100034-v-06tievalaist_suunn.pdf.

Ulkovalaistuksen suunnitteluohje. 2017. Jyväskylän kaupungin verkkojulkaisu. Viitattu 2.9.2021. https://valonkaupunki.jyvaskyla.fi/sites/default/files/atoms/files/uv_suunnitteluohje_jkl.pdf.

Understanding Lumens vs Kelvin. N.d. Blogikirjoitus. Viitattu 5.10.2021. <https://www.ledlighting-wholesaleinc.com/Understanding-Lumens-vs-Kelvin-s/399.htm>.

Valo auttaa luomaan parempaa maailmaa. 2021. Signify Oy:n Powerpoint-esitys. Viitattu 6.10.2021.

Valoverkkojen omaisuuden hallinta. N.d. Kuvio Jyväskylän kaupungin ulkovalaistuksen himmennystaulukosta buildercom-verkkosivustolla. Viitattu 30.9.2021. <https://bem.buildercom.net/html/Account/Login>.

Wade, S., Tol, R., O'Boyle M. S. & Fitzmaurice, K. 2019. DALI-2: The global standard for smart, digital, lighting control in the IoT era. Verkkodokumentti dali-allianssin verkkosivuilla. Viitattu 10.9.2021. https://www.dali-alliance.org/data/downloadables/1/2/0/1905_diaa-seminar-lfi-2019_scott-wade_ronald-tol.pdf.

Wilbur, M. & Poplawski, M. 2015. Outdoor lighting control system fundamentals. Yhdysvaltain energiaviraston verkkojulkaisu. Viitattu 25.8.2021. https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/outdoor-lighting-control-system-fundamentals_1.pdf.

Zigbee Wireless Mesh Networking. N.d. Verkkojulkaisu Digi:n verkkosivuilla. Viitattu 25.8.2021. <https://www.digi.com/solutions/by-technology/zigbee-wireless-standard>.