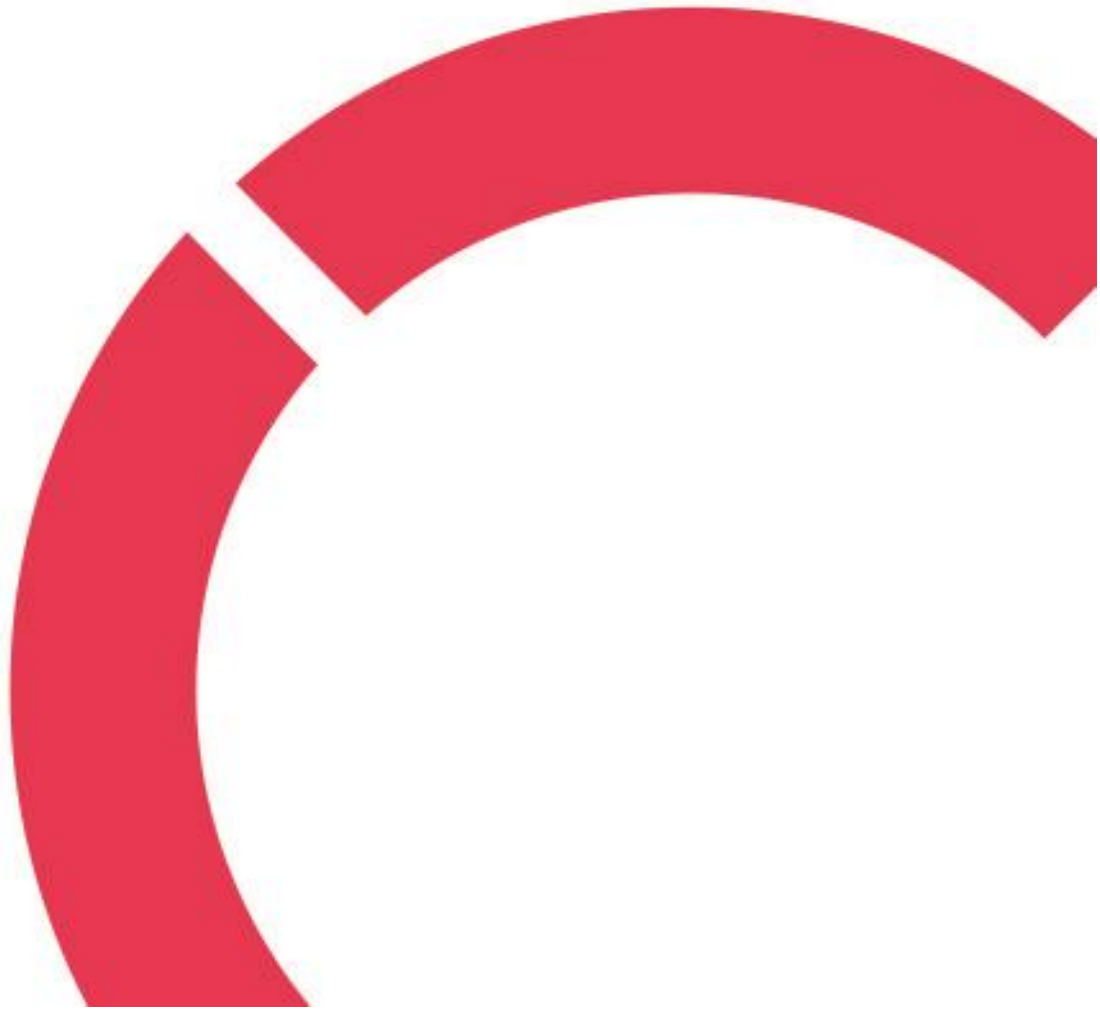


Vilppu Vesalainen

HUOLTOTYÖN TUOTTEISTAMINEN

Jyväskylän kaupungin ulkovalaistus

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus
Joulukuu 2022**



Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Joulukuu 2022	Tekijä/tekijät Vilppu Vesalainen
Koulutus Sähkö- ja automaatiotekniikka: Sähkövoimatekniikka		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi HUOLTOTYÖN TUOTTEISTAMINEN. Jyväskylän kaupungin ulkovalaistus		
Työn ohjaaja Kari Saaranen		Sivumäärä 63+2
Työelämäohjaaja Juhani Saari (Nodeon Finland Oy), Jukka Piispanen (Jyväskylän kaupunki)		
<p>Ulkovalaistuksessa käytetty tekniikka on murrosvaiheessa, koska kaasunpurkauslamput poistuvat markkinoilta niitä koskevien rajoitusten vuoksi. Kaupungeissa on edelleen käytössä paljon perinteisiä valaistustekniikoita käytäviä valaisimia, joiden huollon toimintamalli on vakiintunutta. Valonlähteiden vaihtuessa LED-tekniikkaan ja ohjausjärjestelmien kehittyessä tulee huolto- ja kunnossapitotyölle uusia mahdollisuuksia ja haasteita.</p> <p>Jyväskylän kaupungin huoltourakka-alueiden sopimukset ovat päättymässä ja kaupungilla on tarve selvittää uusien sopimusten tehtävät ja tarkastella huollon- ja kunnossapidon toimintamallia.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda selvitys Jyväskylän ulkovalaistuksen huolto- ja kunnossapitotyön uusista tehtävistä ja LED-tekniikan vaatimuksista huoltotyöhön siirryttäessä perinteisestä valaistustekniikasta uuteen. Opinnäytetyöhön hankittiin tietoa kyselylomakkeilla, jotka lähetettiin Suomen isoille kaupungeille ja ELY-keskuksen ulkovalaistuksesta vastaaville sekä valaisin- ja liitäntälaittevalmistajille sekä -toimittajille.</p> <p>Opinnäytetyön yhteistyötahona toimi Nodeon Finland Oy ja tilaajana Jyväskylän kaupunki.</p>		

Asiasanat huolto, kunnossapito, LED, tuotteistaminen, ulkovalaistus

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date December 2022	Author Vilppu Vesalainen
Degree programme Electrical and automation engineering: Electrical power engineering		
Name of thesis PRODUCTIZATION OF MAINTENANCE WORK. Outdoor lightning of Jyväskylä		
Centria supervisor Kari Saaranen	Pages 63+2	
Instructor representing commissioning institution or company Juhani Saari (Nodeon Finland Oy), Jukka Piispanen (City of Jyväskylä)		
<p>The technology used in outdoor lighting is at a turning point, as high intensity discharge lamps are leaving the market due to restrictions on them. In cities, there are still a lot of lights using traditional lighting technologies, whose maintenance operating model is well-established. As light sources change to LED technology and control systems develop, new opportunities and challenges arise for service and maintenance work.</p> <p>The contracts for the maintenance contract areas of the city of Jyväskylä are coming to an end and the city needs to clarify the tasks of the new contracts and review the service and maintenance operating model.</p> <p>The aim of this thesis was to create a report on the new tasks of the service and maintenance of outdoor lighting in Jyväskylä and the requirements of LED technology for maintenance work when moving from traditional lighting technology to the new one. Information for the thesis was acquired using questionnaires, which were sent to Finland's big cities and those responsible for outdoor lighting at the ELY Center, as well as lighting and LED-driver manufacturers and suppliers.</p> <p>Nodeon Finland Oy acted as the partner for the thesis, and the city of Jyväskylä was the client.</p>		
Key words LED, maintenance, outdoor lighting, productization, service		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

CLO

Constant Light Output eli vakiovalovirtaohjaus.

LED

Light Emitting Diode eli ledi tai valodiodi.

NFC

Near Field Communication on lyhyen kantaman langaton teknologia.

Ra-indeksi

Värintoistoindeksi

RoHS

Restriction of Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, eli RoHS-direktiivi on Euroopan komission toimeenpanema direktiivi, joka rajoittaa tiettyjen vaarallisten aineiden käyttöä sähkö- ja elektroniikkalaitteissa.

Tuotteistaminen

Tuotteen tai palvelun kokoaminen yhdeksi selkeäksi kokonaisuudeksi.

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS JA TAVOITE.....	3
2.1 Rajaus.....	3
2.2 Tietoperusta	3
3 ULKOVALAISTUS.....	4
3.1 Tiet ja kadut.....	4
3.2 Aluevalaistus.....	5
3.3 Valon haitalliset vaikutukset.....	5
4 VALAISTUSTEKNIikka	7
4.1 Valaistussuureet ja määritelmät.....	7
4.2 Vanha valaistustekniikka	9
4.2.1 RoHS-direktiivi ja Lighting regulation.....	9
4.2.2 Suurpainenaatrium	11
4.2.3 Monimetalli.....	11
4.2.4 Elohopea.....	12
4.3 LED-tekniikka.....	12
4.4 LED-valaisin	13
4.5 Liitäntälaitte.....	17
4.6 LED-lamppu	19
4.7 LED-valaisimien käyttöikä.....	20
5 ULKOVALAISTUKSEN OHJAUS	24
5.1 Perinteiset ohjaustavat.....	25
5.2 Erillinen viestiverkko.....	25
5.3 Keskitetty ohjaus.....	25
5.4 Valaisinkohtainen ohjaus	26
5.4.1 Zhaga.....	27
5.4.2 DALI.....	28
5.4.3 NEMA.....	29
5.5 IoT ja älykäsvalaistus	30
6 HUOLTO- JA KUNNOSSAPITO ULKOVALAISTUKSESSA	32
6.1 Huollon- ja kunnossapidon toimintamalli	33
6.2 Jyväskylän ulkovalaistusverkon nykytilanne	36
7 TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN JA MENETELMÄT	39
7.1 Tutkimusongelma ja -kysymykset.....	39
7.2 Tutkimusmenetelmät	39
7.3 Aineiston keruu ja kysely	39
7.4 Aineiston käsittely ja analysointi	40
8 KYSELYN TULOKSET	42

8.1 Kysymykset kaupungeille ja ELY:lle	42
8.1.1 Ulkovalaistusverkon tiedot	42
8.1.2 Valaisinvaihdot	43
8.1.3 Huolto ja kunnossapito	43
8.1.4 Valaisimien ohjaus	46
8.1.5 Takuiden hallinta	48
8.1.6 Elinkaarikustannukset ja omaisuudenhallinta.....	49
8.2 Kysymykset valaisin- ja liitäntälaittevalmistajille.....	50
8.2.1 Liitäntälaitteet	50
8.2.2 Valaisimet.....	51
9 YHTEENVETO	53
9.1 Vaihtotyö.....	53
9.2 LED-lamppu	53
9.3 LED-valaisimet.....	54
9.4 Liitäntälaitteet	55
9.5 Sopimuskannusteet, takuiden- ja omaisuudenhallinta.....	55
9.6 Ohjausjärjestelmä	56
9.7 Huoltopalvelut	56
10 POHDINTA	58
LÄHTEET	57
LIITTEET	
KUVIOT	
KUVIO 1. Valosaaste	6
KUVIO 2. Valovirta.....	7
KUVIO 3. Valovoima	7
KUVIO 4. Luminanssi	8
KUVIO 5. Valaistusvoimakkuus	8
KUVIO 6. Väriämpötila-asteikko	9
KUVIO 7. LED-tekniikoiden valotehokkuuden kehitys.....	13
KUVIO 8. TIR-linssi ja heijastin	15
KUVIO 9. LED-optiikat polaarikäyrällä esitettynä	16
KUVIO 10. L-arvo.....	21
KUVIO 11. Vakiovalovirta-ohjaus	22
KUVIO 12. Liitäntälaitteen vikaantumisen syyt elinkaaren aikana	23
KUVIO 13. Valaisinkohtainen ohjausjärjestelmä.....	26
KUVIO 14. Zhaga-liittimillä varustetun valaisimen rakenne	28
KUVIO 15. LED-valaistuksen osuus kaupunkien katuvaloista.....	32
KUVIO 16. Jyväskylän ulkovalaistuksen huollon vuosikello	35
KUVIO 17. Valaisimien ja valoisuusmittausasemien puhdistuksen toimintamallit.....	45
KUVIO 18. Elinkaarikustannusten jakautuminen kaasunpurkauslamppuissa ja LED-valaisimessa	52
KUVAT	
KUVA 1. LED-tekniikan komponentit	14
KUVA 2. Valonjakautuminen.....	15

KUVA 3. Katuvalaisin Philips Luma gen2.....	16
KUVA 4. Gearflex-moduulilaatikko.....	17
KUVA 5. Liitäntälaitteita.....	18
KUVA 6. LED-lamppu	20
KUVA 8. D4i Zhaga -liittimet	29
KUVA 9. NEMA-liittimet	30
KUVA 10. Älykkään katuvalaisimen mahdollisuudet.....	31
KUVA 12. Jyväskylän omaisuudenhallintajärjestelmä	35

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Ecodesing-direktiivin muutokset valaistusalan tuotteisiin	10
TAULUKKO 2. Huoltourakka-alueiden valonlähteiden määrä ja tyyppi	36
TAULUKKO 3. Jyväskylän kaupungin nykyiset huolto- ja kunnossapitotyön tuotteet.....	37
TAULUKKO 4. Vastaajien ulkovalaistusverkon tiedot	42
TAULUKKO 5. Huoltourakkasopimusten pituudet	43
TAULUKKO 6. Sopimuskannusteet	44
TAULUKKO 7. Poistettujen materiaalien omistuksen jakautuminen.....	46
TAULUKKO 8. Kulujen ja huoltovastuun jakaantuminen	47
TAULUKKO 9. Valaisimen takuut	48
TAULUKKO 10. Järjestelmien päivittämisen toimintamalli ja vastuut.....	50

1 JOHDANTO

Kaupunkien valaistusjärjestelmät ovat elintärkeä peruspalvelu ja niille ovat korkeat vaatimukset. Se on silti suuri energiankuluttaja, joka vaatii huoltoa ja kunnossapitoa. Euroopan komission tekemässä tutkimuksessa on todettu, että 30–50 % valaistukseen käytetystä sähköstä voitaisiin säästään investoimalla energiatehokkaampiin LED-tekniikalla toteutettuihin valaistusjärjestelmiin. (Gil-de-Castro, Moreno-Munoz, Larsson, de la Rosa & Bollen. 2012, 1–2.)

Ulkovalaistuksessa käytetty tekniikka on muuttunut viimeisen 10 vuoden aikana merkittävästi. LED-valonlähteet korvaavat kaasunpurkauslamput ja valaistuksen ohjauksessa siirrytään valaisinkohtaisiin ja dynaamisiin ohjaustapoihin. Ulkovalaistuksen nopea kehittyminen energiatehokkaammaksi ja älykkäämmäksi tuo uusia mahdollisuuksia sekä haasteita hoito- ja kunnossapitotyöhön. Siirtymäaikana joudumme ylläpitämään kahden eri sukupolven tekniikkaa. Perinteisten kaasunpurkauslamppua käyttävien valaisimien vikaantuessa toimintapa on vakiintunutta, ja niiden korjaustyön vasteaika on ollut lyhyt. Tulevaisuudessa myös perinteisten valaisinten varaosien saatavuus vaikeutuu. LED-valaisinten ja niissä käytettävien varaosien toimitusajat ovat tällä hetkellä viikkoja tai jopa kuukausia. Riskinä on, että viankorjausten vasteajat pitenevät kestävämmälle tasolle. Tämän takia ulkovalaistuksen huollon tuotteistus on päivitettävä ja vikojen korjaamisessa on siirryttävä aikaisempaa enemmän ennakoivaan kunnossapitoon. Kaikella tekniikalla, myös LED-valaisimilla on elinkaarensa. (Piispanen 2022.)

Suomen isoimmat kaupungit ovat vaihtaneet keskimäärin noin puolet valaisimista LED-valaisimiin ja suurin osa arvioi vaihtourakan olevan valmis viimeistään 2030-luvulla. Osalla kaupungeista urakka on vasta alussa, kun valaisimia on vaihdettu vasta alle viidesosa kokonaismäärästä. (Virtanen 2022).

Omaisuuksienhallinta ja kokonaiskustannukset ulkovalaistuksessa ovat korkeita, jolloin valaistus näkyy isona kulueränä kaupunkien ja kuntien kassassa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda selvitys Jyväskylän ulkovalaistuksen huolto- ja kunnossapitotyön uusista tehtävistä ja LED-tekniikan vaatimuksista huoltotyöhön siirryttäessä perinteisestä valaistustekniikasta uuteen. LED-tekniikan huollon- ja kunnossapidon toimintamalleista on rajallisesti tietoa ja aihetta on tutkittu vähän. Tästä syystä opinnäytetyössä päädyttiin hankkimaan aineistoa kyselylomakkeilla, jotka lähetettiin Suomen isoille kaupungeille ja ELY-keskuksen ulkovalaistuksesta vas-

taaville sekä valaisin- ja liitäntälaittevalmistajille sekä toimittajille. Kyselylomakkeilla pyrittiin saamaan kattava kokonaiskuva toimintamalleista kaupunkien valaistusverkon huolto- ja kunnossapitotyössä sekä tekniikan tuomista haasteista ja mahdollisuuksista.

Opinnäytetyön yhteistyötahona toimi Nodeon Finland Oy. Nodeon on älykkään infran teknologia-asiantuntija, jonka tehtävänä on luoda ihmisille parempia elinympäristöjä kehittämällä tulevaisuuden infrastruktuurista entistä älykkäämpää. Liiketoiminta alueina ovat IoT ja digitalisaatio, älykäs liikennejärjestelmä sekä älykäs infra ja kaupunki. (Nodeon 2022). Opinnäytetyön tilaajana on Jyväskylän kaupunki, jolla on yhteensä 35 887 kappaletta erilaisia ulkovalaisimia, joista yli puolet ovat katuvalaistusta. (Jyväskylän kaupunki).

2 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS JA TAVOITE

Jyväskylän kaupungin ulkovalaistuksen huolto on jaettu kahteen eri urakka-alueeseen. Alueiden huoltosopimukset ovat päättymässä kahden seuraavan vuoden aikana. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, mitkä ovat ulkovalaistuksen huollon tehtävät tulevaisuudessa ja miten valaistusverkon siirtyminen LED-valaistukseen vaikuttaa huoltoon ja kunnossapitotyöhön. Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa tietoa huollon ja kunnossapidon tehtävistä sekä LED-tekniikan vaatimuksista vuonna 2023 tehtävää kilpailutusta varten. Tutkimuksen toteuttaminen ja käytetyt menetelmät on kuvattu tarkemmin luvussa seitsemän.

2.1 Rajaus

Opinnäytetyö keskittyi Jyväskylän ulkovalaistusverkon huolto- ja kunnossapitotyöhön, mutta kilpailutettavaan huoltourakkaan liittyvien tehtäväkorttien teko ei sisältynyt opinnäytetyöhön. Aihe rajattiin huollon toimintatapojen ja uuden tekniikan käytäntöjen selvittämiseen ja analysoimiseen eri vaihtoehtojen osalta. Lisäksi kuvataan Jyväskylän nykyinen ulkovalaistusverkko ja huollon toimintatavat.

2.2 Tietoperusta

Opinnäytetyön lähteinä käytettiin pääosin kirjallisuutta suomen ja englannin kielellä sekä suunniteluohjeita ja valaisintekniikan toimittajien esitteitä ja datalehtiä. Lisäksi valaistustekniikan uusimpia standardeja on käytetty osana tekniikan teoriaosuutta. Uuden valaistustekniikan osalta on pyritty löytämään mahdollisimman uusia lähteitä tekniikan nopean kehityksen vuoksi. Tietojen ajankohtaisuus ja luotettavuus on todettu vertailemalla eri lähteitä ja yhteydenotoilla valaisin- ja liitäntälaittevalmistajiin ja muihin asiantuntijoihin.

3 ULKOVALAISTUS

Valaistuksen ensisijainen tehtävä on taata tiellä- tai ulkonaliikkujille turvallinen ympäristö pimeällä. Valaistus vaikuttaa siihen, miten ihminen hahmottaa asioita pimeän aikana ja millaiseksi kaupunkiympäristö koetaan. Valaistuksella pyritään vaikuttamaan ympäristön toimivuuteen sekä myös aktivoimaan ihmisiä toimimaan ja liikkumaan. Oikeanlainen valaistus lisää ihmisten ja omaisuuden turvaa. Hyvään valaistukseen liittyy monta eri tekijää, jotka määrittävät siihen miten kyseisessä valaistuksessa pystytään toimimaan kohteen käyttötarkoituksen mukaisesti. (Kaanaa, Juntila & Saastamoinen 2015, 7–8; Tiensuu 2010, 9.)

3.1 Tiet ja kadut

Maantiealueiden valaistus perustuu pääosin tienkäyttäjien havaitsemistarpeisiin, jolloin valaistuksen päätehtävänä on liikenneturvallisuus. Vastaavasti taajamaympäristössä kadulla on enemmän havaitsijoita, käyttäjiä, pintoja ja kohteita, jolloin päätehtävät ovat havaitseminen, hahmottaminen ja ilmapiiri. Ilmapiirillä tarkoitetaan turvallisuuden tunteen ja tunnelman luomista. Hahmottaminen on tilan ja ympäristön muodostamista valon avulla. Havaitseminen tarkoittaa haluttujen toimintojen valaisemista sekä esteettömyyden parantamista esimerkiksi valaisimella tasoeroja portaissa ja suojateillä. (Eeva & Ekrias 2015, 6; Liikennevirasto 2015, 11.)

Turvallisuuden lisäksi tievalaistuksen toteuttamiselle on useita muita näkökulmia, joita tulee tarkastella. Toiminnallisia ja teknisiä tekijöitä kuten valaistusluokkia, valon tasaisuutta, häikäisyä ja keskimääräistä luminanssia voidaan pitää vaatimuksina, jotka ovat mitattavissa ja laskettavissa. Ääriarjoina tievalaistuksessa voidaan pitää täysin liikenteen ehdoilla toteutettua valaistusta ja vastaavasti toisena rajana ympäristön ehdoilla tehtyä. Valolla, valaistustavalla ja valaistustyypillä voidaan osoittaa muutoksia sekä tukea tie- ja liikenneympäristöä. (Eeva & Ekrias 2015, 6; Liikennevirasto 2015, 11.)

Tievalaistus vaikuttaa ajonopeuksiin riippuen valaistun tieosan pituudesta, tieluokasta, raskaiden ajoneuvojen määrästä tiellä, liikennemäärästä ja nopeusrajoituksista. Liikenneturvallisuus paranee tievalaistuksen myötä myös teillä, joissa on poikkeukselliset olosuhteet kuten tunnelit, sumuiset tienkohdat, suuri liittymätiheys, monimutkaiset liikennejärjestelyt ja monet muut poikkeustilanteet. (Liikennevirasto 2015, 10.)

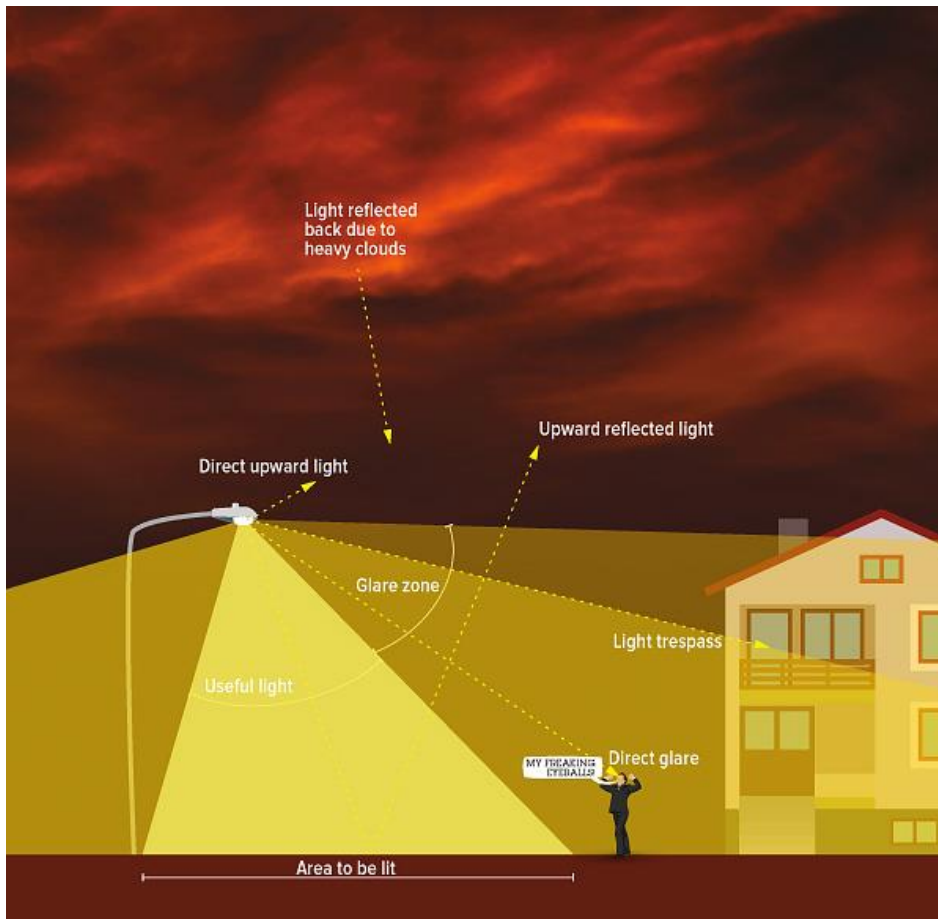
Englannissa tehdyssä tutkimuksessa (Steinbach, Perkins, Tompson, Johnson, Armstrong, Green, Grundy, Wilkinson & Edwards 2015.) todettiin, että valaistuksen himmentäminen, polttoajan vähentäminen tai sammuttaminen kokonaan yöllä ei lisää liikenneonnettomuuksien ja rikollisuuden riskiä kaupunkialueilla, vaikka vähäinen valaistus voi vaikuttaa ihmisten turvallisuuden tunteeseen.

3.2 Aluevalaistus

Aluevalaistuksen tehtävä on luoda turvallisuuden tunnetta alueella liikkuvalla, mutta myös toiminnallisuus valaistavan kohteen mukaan on tärkeää. Puistoalueilla valaistus vaikuttaa ihmisten hyvinvointiin ja ilmapiiriin esimerkiksi korostamalla tiettyjä yksityiskohtia alueelta. Pysäköintialueilla valaistus määrittyy käyttäjämäärän, alueen sijainnin ja sen koon mukaan. Rakennusten julkisivujen, sisäänkäyntien ja katosten valaisussa halutaan korostaa yksityiskohtia mutta myös ohjata valoilla ihmisten toimintaa. Rakennuksen ulkonäön yksityiskohtia voidaan valaista, jolloin vaikutelma siitä, minkälaisen kokonaisvaikutelman ihminen rakennuksesta saa, muuttuu. Pääovien valaisulla voidaan erottaa se ympäristöstä ja ohjata ihmisiä oikeaan suuntaan. Katosten valaisussa voidaan ohjata ihminen esimerkiksi löytämään oma ajoneuvonsa tai estää ilkivaltaa. Kulkuväylillä halutaan varmistaa, että liikkuja näkee ja näkyy pimeällä. Esimerkiksi puiston läpi kulkevalla kulkuväylällä voidaan ohjata ihminen kulkemaan oikeaa reittiä turvallisesti ja miellyttävästi. (Greenled Oy.)

3.3 Valon haitalliset vaikutukset

Valaistavan alueen ulkopuolelle kohdistuvaa valoa kutsutaan häiriövaloksi tai valosaasteeksi (KUVIO 1). Kansainvälisen pimeän taivaan yhdistys (IDA) on määrittänyt valosaasteelle neljä eri tyyppiä: valohohde, valon suunnittelematon leviäminen, häikäisy ja päämäärättömästi sijoitetut liialliset valonlähteet. (International Dark-Sky Association; Liikennevirasto 2015, 11.)



KUVIO 1. Valosaaste (International Dark-Sky Association)

Häiriövalo voi suuntansa, määränsä tai spektrijakaumansa takia aiheuttaa epämukavuutta, epämiellyttävyyttä, hämmennystä tai estää oleellisen informaation näkymistä. Häiriövalon aiheuttajia voivat olla esimerkiksi törmäyksestä tai muusta syystä kääntynyt tievalaisin, urheilukentän tai rakennustyömaan valonheitin suunnattuna väärin tai huonosti suunniteltu valaistus. (Liikennevirasto 2015, 11.)

4 VALAISTUSTEKNIikka

Valaistustekniikka luvussa käsitellään valaistuksen perussuureet, määritelmät, vanha ja uusi valaistustekniikka sekä syitä sille, miksi vanhat tekniikat ovat poistumassa uuden tieltä.

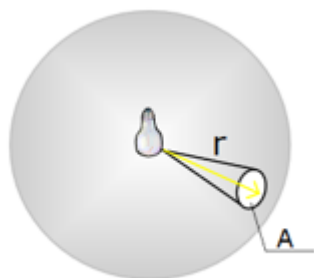
4.1 Valaistussuureet ja määritelmät

Valonlähteen lähettämää säteilytehoa tietyllä hetkellä silmän suhteellisella herkkyyssäyrällä kutsutaan valovirraksi (Φ) (KUVIO 2), jonka yksikkö on luumen (lm) (Tiensuu 2010, 7; ST 57.40, 2).



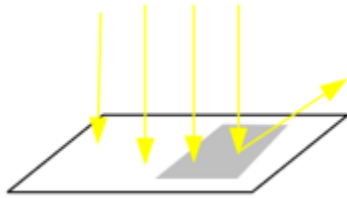
KUVIO 2. Valovirta (Saari 2020 [Ensto 2008])

Valovoima (I) on valaistustekniikan perussuure, josta muut yksiköt on johdettu. Se kuvaa tiettyyn suuntaan lähtevää valovirtaa avaruuskulmassa (KUVIO 3) ja sen yksikkö on kandela (cd). (Tiensuu 2010, 7; ST 57.40, 2.)



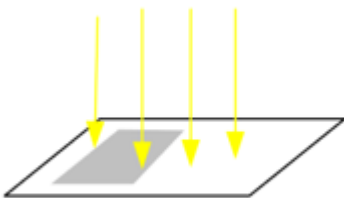
KUVIO 3. Valovoima (Saari 2020 [Ensto 2008])

Luminanssi (L) (KUVIO 4) eli valotiheys kuvaa kohteesta heijastuvaa valoa, joka määräytyy heijastavan pinnan heijastusominaisuuksien sekä valaistusvoimakkuuden mukaan. Lisäksi siihen vaikuttavat heijastuksen kulma ja valonsuunta. Se määrää silmiensopeutumistason, jolla on vaikutusta ihmisen havaitseman kohteen näkyvyyteen ja näkömukavuuteen. Luminanssin yksikkö on cd/m^2 . (Tiensuu 2010, 7; ST 57.40, 2.)



KUVIO 4. Luminanssi (Saari 2020 [Ensto 2008])

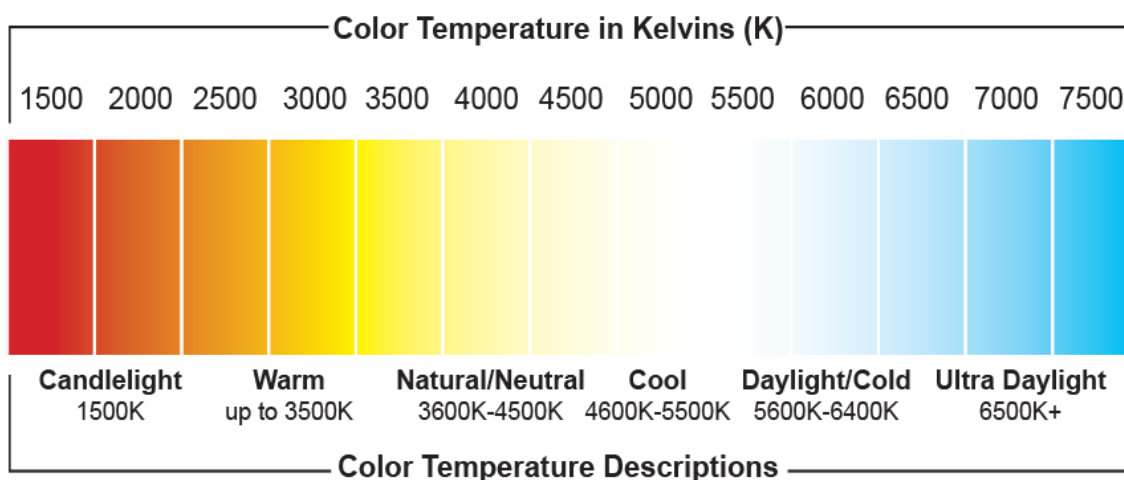
Valaistusvoimakkuus (E) jonka, yksikkö on luks (lx), kertoo tietylle pinta-alalle kohtisuoraan osuvan valovirran tiheyden (KUVIO 5.) $E = \Phi/A$ ($\text{lx} = \text{lm}/\text{m}^2$). Sillä kuvataan, kuinka hyvät valaistusolosuhteet ovat esimerkiksi työalueella ja sen lähiympäristössä. Joissain tapauksissa on tarpeen määrittellä erikseen vaakatason ja pystytason valaistusvoimakkuus. Keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m on tietyn tason pisteille laskettu aritmeettinen keskiarvo. (Tiensuu 2010, 7; ST 57.40, 2.)



KUVIO 5. Valaistusvoimakkuus (Saari 2020 [Ensto 2008])

Valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus (U) tai (U_o) vaikuttaa näkösuorituskykyyn. Se kertoo mitattavan alueen pienimmän ja keskimääräisen luminanssin osamäärän sijainneissa, joissa havaitsija on. (Tiensuu 2010, 8; Liikennevirasto 2015, 22.)

Väriämpötila (KUVIO 6) kuvaa valon värilajia Kelvin-asteilla kyseisessä lämpötilassa. Hehkulamputta arvo vastaa hehkulangan todellista lämpötilaa ja on helpompi tulkita. Ilman hehkulankaa toimivat valaistustekniikat ilmoitetaan korreloitua väriämpötilaa (CCT) käyttäen. (ST57.40 2017, 3; Fagerhult a).



KUVIO 6. Värilämpötila-asteikko (Gagnon 2016)

CRI eli color rendering index ja Ra-arvo mittaavat kykyä toistaa väriä tilassa. CRI mittaa kaikkien värien ja Ra-arvo vain sinivihreiden värien toistokyvyn. Asteikko on molemmilla mittareilla 0–100, jossa 100 on täydellinen värien toisto. (SuperLED.)

Heijastumisuhde (p) tarkoittaa pinnalta heijastuvan valovirran määrään suhteessa pintaan heijastuneeseen valovirtaan. Esimerkiksi valkoiselle pinnalle heijastumisuhde on $>0,9$. (Tiensuu 2010, 8; ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, Luku 21, 3.)

4.2 Vanha valaistustekniikka

Luvussa käsitellään ledin tieltä poistuvia valaisintekniikoita, joita ovat suurpainenatrium-, monimetalli- ja elohopealampun sekä syitä tekniikoiden poistumiselle.

4.2.1 RoHS-direktiivi ja Lighting regulation

Euroopan markkinoiden valonlähteitä ja liitäntälaitteita koskeva Ecodesign-direktiivin säädökset ovat vaikuttaneet energiatehottomien lamppujen poistumisena markkinoilta. Aiemmat säädökset on yhdistetty yhdeksi komission asetukseksi (Commission Regulation. (EU) 2019/2020), joka sisältää valonlähteet ja erilliset liitäntälaitteet, mutta valonlähteisiin eivät sisälly LED-siru tai LED-moduuli. Tämä tekee määrittelystä tulkinnan varaisen LED-paketin kohdalla, koska kaikki valoa säteilevät laitteet, jotka ovat LED-valaisimessa, ovat valonlähteitä. Asetus sisältää useita kohtia ekosuunnittelulle ja toiminnallisille vaatimuksille, joista alla on esitetty muutama tiivistetysti:

- Valonlähteiden ja erillistenliitäntälaitteiden tulee olla vaihdettavissa yleisesti saatavilla työkaluilla
- Valonlähteiden suurimman sallitun tehon kaava. Suurin sallittu valonlähteen ottoteho on riippuvainen valonlähteen valovirrasta. Vaatimukset voidaan määrittellä myös pienimpänä sallittuna valotehokkuusarvona (lm/W).
- LED-valojen toiminnalliset vaatimukset raja-arvoina tehokertoimelle, valovirran alenemalle, elonjäämiskertoimelle, stroboskooppi-ilmiölle sekä välkynnälle (Kallasjoki 2021, 6–8.)

Taulukossa 1 on esitetty valaisintekniikoita punaisella, jotka poistuvat viimeistään vuoteen 2023 mennessä Euroopan markkinoilta.

TAULUKKO 1. Ecodesing-direktiivin muutokset valaistusalan tuotteisiin (Kallasjoki 2021)

Valonlähde	1.9.2009	1.9.2012	1.9.2014	1.9.2016	1.9.2018	1.9.2021	1.9.2023
Himmeät ympärisäteilevät hehku- ja halogeenilamput	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Kirkkaat ympärisäteilevät hehkulamput	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Kirkkaat ympärisäteilevät halogeenilamput	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Red
Verkköjännitteiset hehkukohdelamput	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red
Verkköjännitteiset halogeenikohdelamput (kannat E14, E27, GU10)	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Red
Pienisjännitteiset halogeenikohdelamput (esim. kanta GU5.3)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red
Kaksikantaiset halogeenilamput (kanta R7s, $\Phi \leq 2\ 700\ \text{lm}$)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Kaksikantaiset halogeenilamput (kanta R7s, $\Phi > 2\ 700\ \text{lm}$)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red
Halogeenilamput (kannat G9, G4, GY6.35)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red
T5-loistelamput	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
T8-loistelamput (pituudet 60 cm, 120 cm ja 150 cm)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red
T8-loistelamput (rengas, U, muut mitat)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Energiansäästölamput	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red
Yksikantaloistelamput	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Induktiolamput	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Elohopealamput	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red
Monimetallilamput	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Suurpaineiset natriumlamput	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Ledilamput	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green

Euroopan komission toimeenpanema RoHS-direktiivi rajoittaa tiettyjen vaarallisten aineiden käyttöä sähkö- ja elektroniikkalaitteissa. Suurpainenaatrium- ja monimetallilampuille ei enää myönnetä jatkoaikaa yleisvalaistustarkoituksiin, mikä tarkoittaa Euroopan markkinoiden osalta valmistuksen ja tuomisen lopettamista molempien tekniikoiden osalta 24.2.2027. Rajoitusten tarkoituksena on suojella ympäristöä ja ihmisten terveyttä sekä parantaa tuotteiden kierrätettävyyttä, koska kyseisen jätteen määrä on yksi eniten kasvavista. Samalla myös sähkö- ja elektroniikkalaiteromudirektiivi edistää haitallisia aineita sisältävien laitteiden keräämistä ja kierrätystä. (Euroopan komissio 2022.)

Rajoitettuja aineita ovat raskasmetallit, palonestoaineet tai pehmittimet. Tällä hetkellä rajoitettua aineita on kymmenen:

- lyijy, Pb
- kadmium, Cd
- elohopea, Hg
- kuudenarvoinen kromi, Cr6+
- polybromatut bifenyylit, PBB
- polybromatut difenyylietterit, PBDE
- bis(2-etyyliheksyyli) ftalaatti, DEHP
- butyylibentsyyliftalaatti, BBP
- dibutyyliftalaatti, DBP
- di-isobutyyliftalaatti, DIBP.

Kaikki sähkö- ja elektroniikkakomponentteja sisältävien tuotteiden on noudatettava näitä rajoituksia, ellei sitä ole erikseen suljettu pois. (Euroopan komissio 2022.)

4.2.2 Suurpainenatrium

Suurpainenatrium- eli kaasupurkauslamppun toiminta perustuu natriumhöyryssä tapahtuvaan purkaukseen. Se tarvitsee syttyäkseen elektronisen sytytyslaitteen, joka antaa korkean jännitepulssin. Lampun valontuotto on tehokasta (100–140 lm/W), mutta värintoisto on heikkoa ja valo on sävyltään oranssia. Tehokkaat suurpainenatriumlamput ovat valoteholtaan parempia, kuin pienemmät sekä niiden elinikä on pidempi kuin pienitehoisten. Isojen suurpainenatriumlamppujen elinikä on keskimäärin 20 000–40 000 tunnin välillä. Suurpainenatriumlamppujen tekniikka on poistumassa markkinoilta, mutta niitä on edelleen käytössä mm. tie- ja katuvalaistuksessa, puistovalaisimissa ja suurilla ulkoalueilla (ST58.08 2021, 10–11; Ledvance a.)

4.2.3 Monimetalli

Monimetallilamppu sisältää elohopean lisäksi muitakin halogeeniyhdisteitä suuripaineisessa purkausputkessa pienessä tilassa. Ne ovat värintoistoltaan erittäin hyviä Ra-indeksin ollessa jopa 90. Spektri- ja kauma määrittyy käytettyjen metalliyhdisteiden mukaan. Syttyäkseen monimetallilamppu vaatii elektronisen sytytyslaitteen. Valotehokkuus on 80–120 lm/W ja elinikä on pisimmillään 16 000 tuntia, mutta pienitehoisimmilla lampuilla elinikä vaihtelee 6000–8000 tunnin välillä.

Monimetallilamppuja on käytetty paljon suurien urheilustadioneiden valaistuksessa, koska pienikokoinen lamppu sopii hyvin valonheittimien valonlähteeksi ja se tuottaa hyvää valkoista valoa värinnoisto ominaisuuksiensa ansiosta. (ST58.08 2021, 10.)

4.2.4 Elohopea

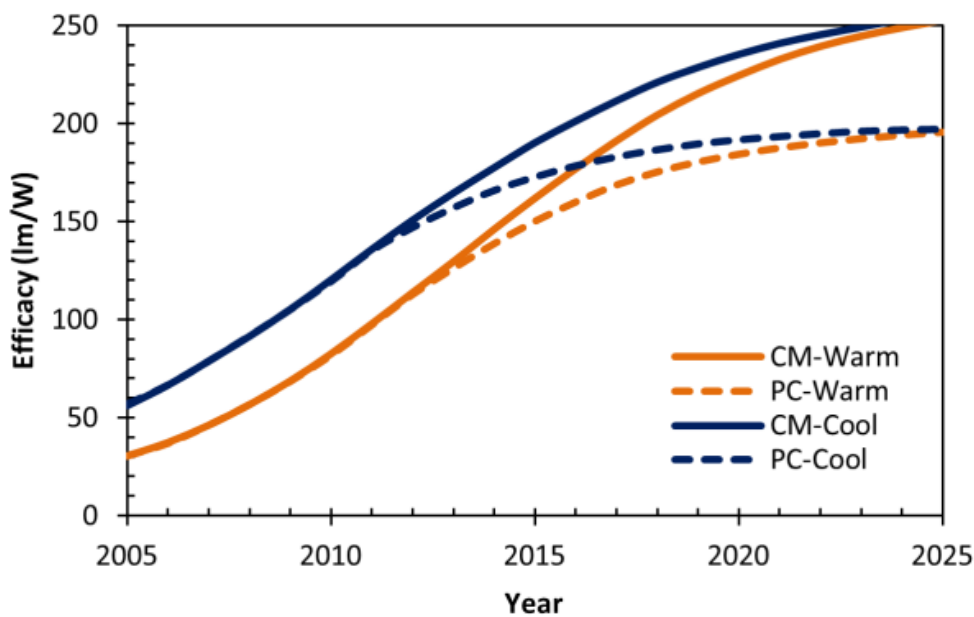
Elohopealamppu toimii samalla periaatteella kuin suurapainenatriumlamppu. Se muuttaa elohopeahöyryssä tapahtuvan purkauksen näkyväksi valoksi. Muiden purkauslamppujen tavoin sen virtaa on rajoitettava esimerkiksi kuristimen avulla. Valotehokkuus on noin 20–45 lm/W, ja sen valotehokkuus on huonoin kaikista suurpaineisista purkauslamppuista. Värilämpötila on 3800-4000K ja käyttöikä on noin 16 000 tuntia, koska lampun valovirta laskee nopeasti. Elohopea ei tarvitse erillistä sytytintä, koska lamppu sisältää apuelektrodin. Lamppua on käytetty pienempien vaatimusluokkien tievalaistuksessa ja kevyen liikenteen väylillä sekä ulkovalaistuksissa pihoilla ja puistoissa. Elohopealamput eivät täytä Ecodesing-direktiivin vaatimuksia ja ovat poistuneet markkinoilta 2015. (ST58.08 2021, 12.)

4.3 LED-tekniikka

LED eli hohtodiodi on puolijohdekomponentti, jossa on p-n-liitos. Se säteilee valoa, kun sen läpi kulkee myötä suuntainen tasavirta. Toimiakseen se tarvitsee liitäntälaitteen, joka muuttaa verkosta tulleen vaihtovirran oikean suuruiseksi tasavirraksi. Suurella virralla LED palaa kirkaammin ja antaa näin enemmän valoa. Verrattuna moniin muihin perinteisiin valonlähteisiin LED ei tuota lämpö- tai ultravioletti säteilyä. LED silti lämpenee sähkövirran vaikutuksesta, jos lämpöenergia ei poistu siitä. Lämpö voi vahingoittaa LED:iä ja syöttävää virtalähdettä, jos molemmat sijaitsevat samassa kotelossa. Tämä vaikuttaa LED-valaisimen elinikään ja vähentää nopeasti tuotettua valovirtaa. Valaisimissa elinikä on korkea, yli 50 000 tuntia ja jopa yli 100 000 tuntia, jos jäähdytys on hoidettu hyvin. LED-valaisimissa ja LED-lampuissa on useita LED:ejä, koska yksittäiset LED-sirut ovat teholtaan maksimissaan muutamia watteja. (ST 58.08 2021, 5–6.)

LED-sirun tuottaman valon väri riippuu valmistusmateriaalista. Perusvärit ovat sininen, punainen, oranssi ja vihreä. Valkoinen valo saadaan muodostettua lisäämällä siniseen hohtodiodiin kerros fosforipohjaista loistainetta. Sekoittamalla punaista, vihreää ja sinistä saadaan muodostettua 65 000 eri väriä. Tätä kutsutaan RGB-ohjaukseksi. RGBW-ohjaus toimii samalla tavalla kuin RGB-ohjaus, mutta se sisältää yhden LED-sirun enemmän, joka on väriltään valkoinen. Tämä mahdollistaa valolle paremman värinnoiston ja enemmän erilaisia värejä. (AGC Lighting 2021; Fagerhult a.)

LED-tuotteiden valotehokkuus ilmoitetaan yleensä luumenia wattia kohti (lm/W). Tuotteiden välillä on kuitenkin paljon eroja. Esimerkiksi LED-moduuli ja LED-lamppu eivät ole suoraan vertailtavissa keskenään. Valotehokkuuden lukemaan vaikuttavat myös olosuhteet ja menetelmät, joissa mittaukset on tehty. Alla olevassa kuviossa 7 on esitetty PC (phosphor conversion) eli fosforimuunnos ja CM (color-mixed) eli värien sekoittaminen LED-tekniikoiden valotehokkuuden kehitys lämpimänä valkoisena punaisella käyrällä (CCT 2580-3710K, CRI 80-90) sekä sinisellä käyrällä kylmän valkoisen (CCT 4746-7040K, CRI 70-80) (U.S. Department of Energy 2013.)



KUVIO 7. LED-tekniikoiden valotehokkuuden kehitys (U.S. Department of Energy 2013)

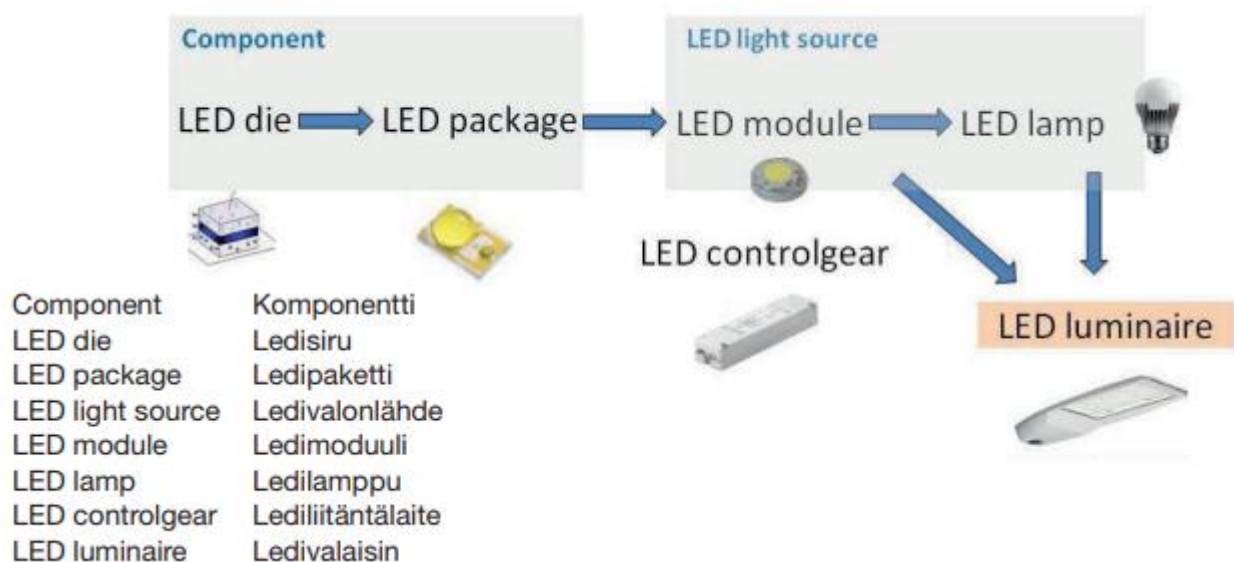
LED-tuotteiden valotehokkuus on parantunut vuodesta 2010 lähtien keskimäärin 6–8 lm/W vuodessa. Tällä hetkellä valotehokkaimmat LED-tekniikat ovat yli 200 lm/W, mutta ne ovat hinnaltaan korkeita. Yleisimmät markkinoilla olevat LED-tekniikat ovat valotehokkuudeltaan 100 lm/W (International Energy Agency 2022). LED-tuotteita on saatavilla erilaisilla tehoilla käyttötarkoituksen mukaan. Suurimmat aluevalaistukseen tarkoitettut LED-valaisimet ovat teholtaan jopa noin 2000W ja 310 000 lm. (Siteco 2021).

4.4 LED-valaisin

Ulkovalaistukseen ledit ovat erityisen sopivia, koska ne toimivat hyvin kylmissä olosuhteissa. LED-valaisin on nykyisin yleisin käytetty valaisin tie- ja katuvalaistuksessa sekä julkisivu- ja mainosvalaistuksessa. (ST 58.08 2021, 8.) Ulkovalaistukselta vaaditaan kestävyyttä arvaamattomissa olosuhteissa

jokapäiväisessä käytössä. Valaisimen tulisi kestää kosteutta, korkeita jännitteitä, ilkivaltaa, likaantumista sekä vaihtelevan lämpötilan aiheuttamaa rasitusta. Samaan aikaan valaisimen tulisi tuottaa vaatimusten mukaista valoa oikea aikaisesti ja säädettävästi tilanteen mukaan mahdollisimman pitkän elinkaaren aikana. (Philips 2019b, 2.)

Valoa tuottava puolijohde on LED-siru. Se toimii yksittäin tai ryhmissä, jolloin sitä kutsutaan LED-paketiksi. LED-moduulit koostuvat tyypillisesti yhdestä tai useasta LED-paketista, jotka on juotettu kuparilevyille ja erotettu sähköä eristävästä mutta lämpöä johtavasta jäähdytysprofiilista. Moduulit voivat sisältää myös optiikkaan, lämpöön ja sähköliitäntöihin tarkoitettuja osia. LED-moduuli voi olla valaisimessa erillisenä tai sisäänrakennettuna. Liitäntälaite voi kuulua moduulin tai olla myös erillisenä. Moduuli voi valaisimen mukaan olla vaihdettavissa. (ST58.08 2021, 14; Philips 2019b, 2.) Kuvassa 1 on esitetty LED-tekniikan rakenne ja siihen liittyvät komponentit.

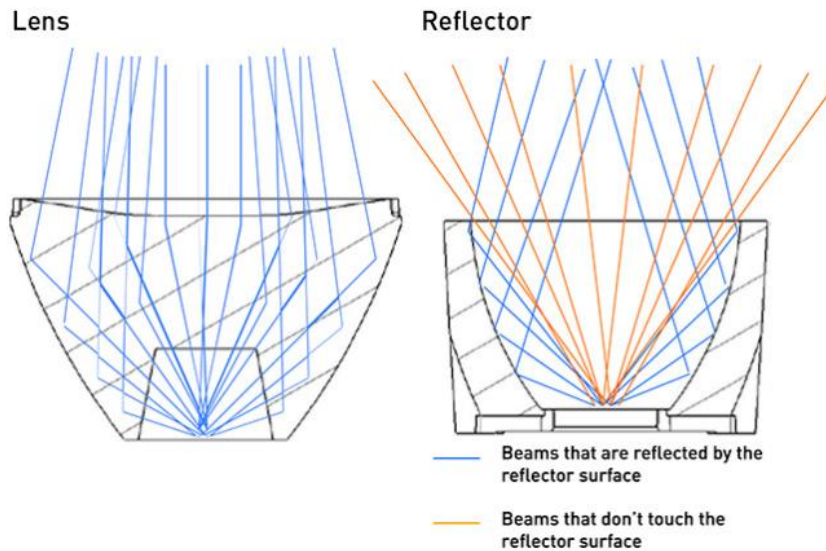


KUVA 1. LED-tekniikan komponentit (ST58.08 2021, 14)

LED-optiikan avulla pystytään ohjaamaan valon suuntaa ja rajata alue mitä halutaan valaista. LED-optiikka on oleellinen osa LED-valaisimen suorituskykyä ja myös tehostaa ledeistä tulevaa valoa. Optiikoilla voidaan luoda teräviä, hajautettuja ja keskitettyjä valonjakautumisia. (Addoptics 2020.)

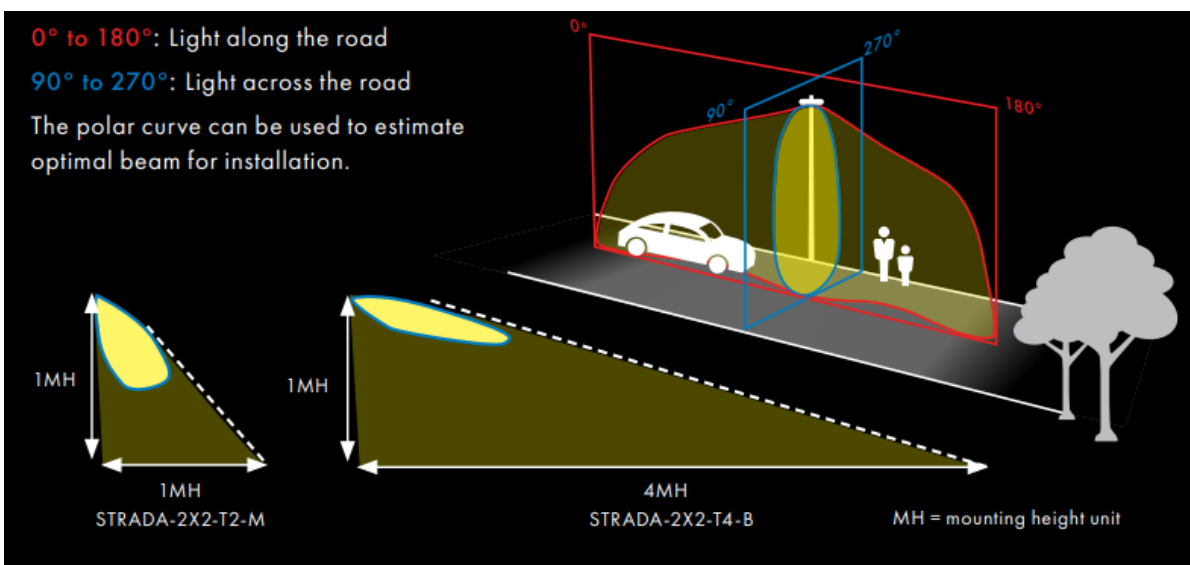
LED-optiikan toteutustapoja ovat ensisijainen sekä toissijainen optiikka. Ensisijainen optiikka on LED-sirun päällä suojaamassa ja muotoilemassa valon lähtöä. Se on silti soveltumaton useimpiin tilanteisiin, minkä takia yleisimmin käytetty on toissijainen optiikka. Yleisimpiä toissijaisia optiikoita ovat linssit, heijastimet ja TIR-linssit. TIR-linssit ovat muodoltaan kartiomaisia ja toimivat heijastamalla

valoa sisäisesti. Tyypillisesti niiden valonjakautuminen on pyöreän muotoinen. Heijastin on toimintaperiaatteelta samanlainen, mutta iso osa valosta ei osu heijastimeen yhtä hyvin kuin TIR-linssillä eikä valoa voi ohjata. (KUVIO 8.) (Scully 2021; LEDiL.)



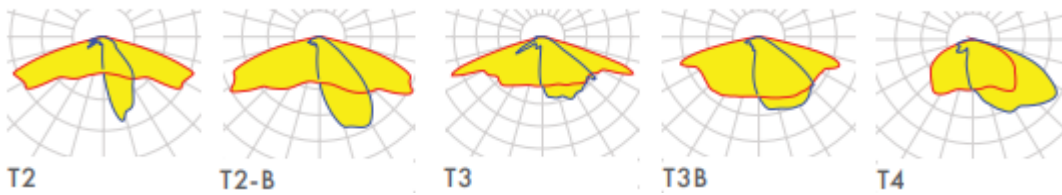
KUVIO 8. TIR-linssi ja heijastin (LEDiL)

Valaistuksen optiikoita on lukuisia eri käyttötarkoituksiin, ja ne vaihtelevat valaisimen sekä valaisin-toimittajan mukaan. Optiikoiden valonjakauma voidaan esittää polaarikäyrällä. Polaarikäyrällä ilmoitetaan usein C0-C180-asteikoilla sivuille ja alaspäin suuntautuvaa valoa ja C90-C270 eteenpäin kulkeva valo eli esimerkiksi katuvalaistuksessa kadun poikki kulkeva valo (Rantakallio 2011, 36–38). Kuvassa 2 on esitetty erään kadulle tarkoitetun optiikan valonjakaantumista tasokäyrien mukaisesti.



KUVA 2. Valonjakautuminen (LEDiL 2022)

Valmistajat esittävät yleisesti LED-optiikan polaarikäyrällä. Kuviossa 9 on viiden eri LED-optiikan polaarikäyrää, joista voi valaistustarpeen mukaan valita vaatimuksiin sopivan vaihtoehdon.



KUVIO 9. LED-optiikat polaarikäyrällä esitettynä (LEDiL 2022)

Katu- ja tievalaisimia on lukuisia erilaisia. Valaisimien ominaisuudet (mm. teho, valonjako) tulee ottaa tarkasti huomioon suunnittelussa, jotta ne täyttävät kohteen asettamat vaatimukset. Kuvassa 3 on esitetty Philipsin katuvalaisin.



KUVA 3. Katuvalaisin Philips Luma gen2 (Philips 2019c)

Luma gen2- LED-valaisimessa on pyritty energiatehokkuuden lisäksi nopeaan ja helppoon asentamiseen sekä huollettavuuteen. Siinä on seuraavia huoltoa ja kunnossapitoa helpottavia ominaisuuksia:

- NFC-huoltotunniste, jolla voidaan ohjelmoida ja lukea valaisimen tietoja huollosta, asennuksesta ja varaosista valaisimen luona
- Valmius ohjausjärjestelmiin
- Valaisimen liitännäisosaan pääsee käsiksi ilman työkaluja
- Gearflex- kytke ja käytä moduulilaatikko (KUVA 4), joka sisältää kaikki sähkökomponentit
- Kaapelinläpivihti on suunniteltu kestäväksi ja helpoksi irrottaa tarvittaessa (Philips 2019c.)



KUVA 4. Gearflex-moduulilaatikko (Philips 2019c)

4.5 Liitäntälaitte

LED-sirut ja LED-moduulit vaativat erikoisvalmisteisen liitäntälaitteen (KUVA 5), joka muuttaa verkkovirran valaisimen komponenteille sopivaksi sekä suojaa ledejä jännitteen ja virran vaihteluilta. Virran vaihtelu voi aiheuttaa valaisimelle valon tehokkuuden vaihtelua tai valon heikkenemisen nopeammin, koska ledit on mitoitettu toimimaan tietyllä virta-alueella. Useimmissa liitäntälaitteista on sisäänrakennettu SELV-suojajännitepiiri (safety extra-low voltage), jolloin valaisinta tai LED-siruja ei tarvitse suojata kosketukselta. Liitäntälaitteet koostuvat monista komponenteista kuten puolijohteista, magneettielementeistä, kondensaattoreista ja vastuksista. Laadukkaan liitäntälaitteen käyttöikä on noin 90 000–100 000 tuntia. (1000bulbs 2014; Philips 2019b; Fagerhult c.)



KUVA 5. Liitäntälaitteita (Philips 2022a)

LED toimii kahdella eri tavalla, joko vakiovirralla tai vakiojännitteellä. Vakiovirrassa ledit on liitetty liitäntälaitteeseen sarjassa, jolloin piirin jännite määräytyy sarjaan kytkettyjen ledien määrästä laske-
malla niiden kynnyksjännitteet yhteen. Jos useita valaisimia yhdistetään samaan liitäntälaitteeseen sar-
jassa, kerrotaan jännite valaisinten lukumäärällä. Vakiojännite on yleisimmin käytetty tuotteissa, jotka
sisältävät paljon ledejä. Vakiojännitteet ovat yleensä 8, 10, 12, 24, tai 28 VDC. Useita tuotteita voi kyt-
keä rinnan saman liitäntälaitteen taakse, jos se kestää kyseisen kuormituksen. Tässä tulee huomioida
johdinten jännitehäviöt. Osa LED-moduuleista voidaan kytkeä ilman liitäntälaitetta suoraan verkkojän-
nitteeseen, mutta tässä ongelmana on tehon lasku ja valaistuksen säädön rajoitukset. Napaisuudesta
huolehtiminen on erityisen tärkeää, koska ledit toimivat tasajännitteellä ja väärin kytketty tai väärä lii-
tälaitte voi vahingoittaa LED-valaisinta tai rikkoa sen. LED-tuotteiden säätö tapahtuu kahdella eri
tekniikalla, amplitudimodulaatiolla (AM) eli syöttövirran pienentäminen ja pulssinleveysmodulaatiolla
(PWM) eli syöttövirta on vakio, mutta virtaa leikataan isolla taajuudella. (Fagerhult c.)

LED-tekniikan nopean kehittymisen seurauksena voidaan uudemmillä ledeillä saavuttaa sama valoteho
energiatehokkaammin kuin vanhalla-tekniikalla käyttämällä pienempiä virtoja sekä ohjata virtatasoja
vaatimusten mukaisesti. LED-liitäntälaitteet ovat yleensä saatavilla tietyillä virroilla esimerkiksi 350
mA, 750 mA tai 1050 mA. Liitäntälaitteita joudutaan usein vaihtamaan, kun tehokkaammat ledit tai LED-
moduulit tulevat saataville. Tämän takia liitäntälaitteen lähtövirran tulisi olla säädettävissä esimerkiksi
tietyllä virta-alueella. (Philips 2022a.)

Liitäntälaitteiden ohjelmointi valaisimen ja valaistustarpeen mukaan mahdollistaa monia hyödyllisiä ominaisuuksia. Ohjauksen toteutus ja mahdollisuudet ovat liitäntälaitteen valmistajan määrittämiä. Esimerkiksi useiden valmistajien liitäntälaitte voidaan ohjelmoida käyttämällä johdotettua DALI:a (Digital Addressable Lighting Interface) tai ilman johtoa NFC-ohjelmointia. (Philips 2022a.)

NFC eli Near Field Communication on lyhyen kantaman langaton teknologia, joka toimii kahden laitteen välillä. Sen toimintatapa perustuu sähkömagneettiseen induktioon, jossa toinen laitteista lukee tai kirjoittaa ja toinen toimii tunnisteena. Toisiaan riittävän lähellä olevat laitteet luovat välilleen langattoman yhteyden, joka muistuttaa Bluetooth-yhteyttä. NFC:tä ei tarvitse kytkeä erikseen päälle ja yksittäinen laite voi toimia sekä lukijana että tunnisteena. (Credigo 2019.)

Liitäntälaitteen NFC-tunnisteiden ohjelmointi vähentää aikaa ja kustannuksia valmistuksessa, asennuksessa sekä huollossa. Ennen yleinen käytäntö valaisimien valmistusprosessissa oli asettaa lähtövirta liitäntälaitteen vastuksilla, joka oli kallista ja tarkkaa työtä eikä yhtä joustavaa kuin niiden ohjelmoiminen. Ohjelmoiminen ei vaadi erillistä verkkovirtaa ja se toimii esimerkiksi puhelimella tai erillisellä käyttötarkoitukseen tehdyllä lukijalla. Lukijalaitteella luetaan tunnisteena toimivalta valaisimelta/liitäntälaitteelta tiedot, joita voidaan muokata liitäntälaitteen ja valaisimen ominaisuuksien mukaan. Osalta liitäntälaitteista pystyy lukemaan tiedot myös liitäntälaitteen ollessa vioittunut. (Osram 2021.)

Himmennysprofiili on LED-valaisimeen asetettava ominaisuus, joka muuttaa valotasoja profiilin asetetun aikataulun perusteella. Himmennysprofiili voidaan tehdä ohjelmoida valmiiksi liitäntälaitteeseen tai ohjelmoida käyttökohteessa NFC-ohjelmoinnilla, jos LED-valaisimessa tai liitäntälaitteessa on NFC-tunniste. (Osram 2021.)

4.6 LED-lamppu

LED-lamppu (KUVA 6) on perinteisen valaisimen valonlähteen tilalle vaihdettava kannalla varustettu valonlähde, joka koostuu yhdestä tai useammasta LED-moduulista. LED-lamppujen käyttöikä on noin 25 000–50 000 tuntia ja ne ovat edullisia verrattuna LED-valaisimeen. LED-lampun valovirta on 2000–13 000 lm:n välillä. LED-valaisimet eivät käytä LED-lamppuja, vaan niitä käytetään korvaamaan vanhoja suurpainenaatrium- ja elohopealamppuja, jolloin vanhoja valaisinrunkoja voidaan hyödyntää vielä, vaikka purkauslamppuja ei ole saatavilla. (Ledvance b; Philips 2022b.)



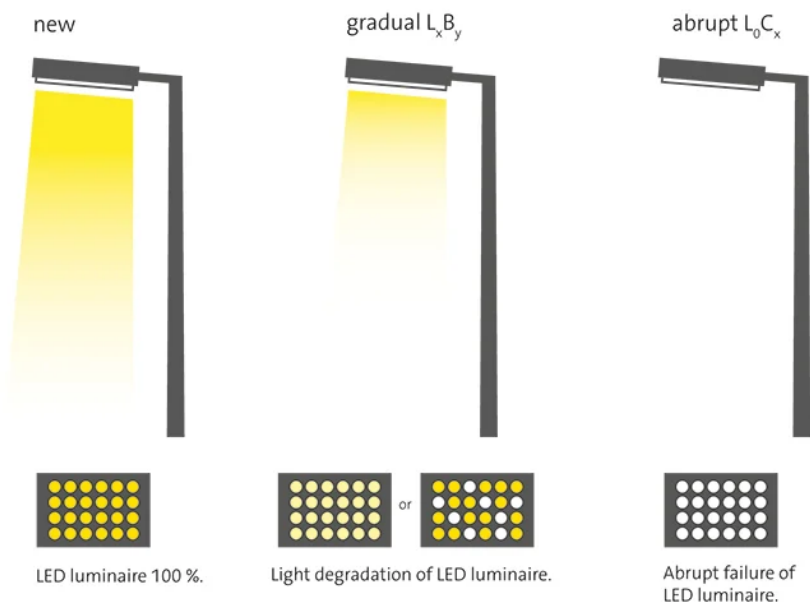
KUVA 6. LED-lamppu (Ledvance b)

Useimmat LED-lamput ovat yhteensopivia kuristimen kanssa käytettäväksi, ja niitä on saatavissa useissa eri värilämpötiloissa. LED-lampuilla voidaan saavuttaa noin 60 %:n energiasäästö verrattuna perinteisiin valaistustekniikoihin. Valmistajien väliset tuotteet poikkeavat paljon toisistaan ja kaikkia ominaisuuksia ei välttämättä löydy yhdestä lampusta. Kaikkia LED-lamppuja ei myöskään voida asentaa pystyyn, eivätkä lamput mahdu kaikkiin vanhoihin valaistusrunkoihin. LED-lamppujen paino voi olla esteenä, jos edellisen perinteisen lampun pidin tai valaisin ei kestä rasitusta. Painon rajoittamiseksi joidenkin lamppujen mukana toimitetaan kiinnitysvaijereita. Sytytin tulee ohittaa tai poistaa lampun asennuksen yhteydessä sekä huomioida valaistuksen vaatimusten täyttyminen. Kuristimen ohittamisesta tulee olla erillinen merkintä valaisimessa, ettei tilalle laiteta vahingossa perinteistä lamppua. Kompensointikondensaattorin jättäminen paikoilleen voi vaikuttaa järjestelmän tehokertoimen alenemiseen. Osa LED-lampuista ei sovi käytettäväksi heijastimella varustetuissa valaisimissa. (ST58.08, 14; Ledvance b; Philips 2022b.)

4.7 LED-valaisimien käyttöikä

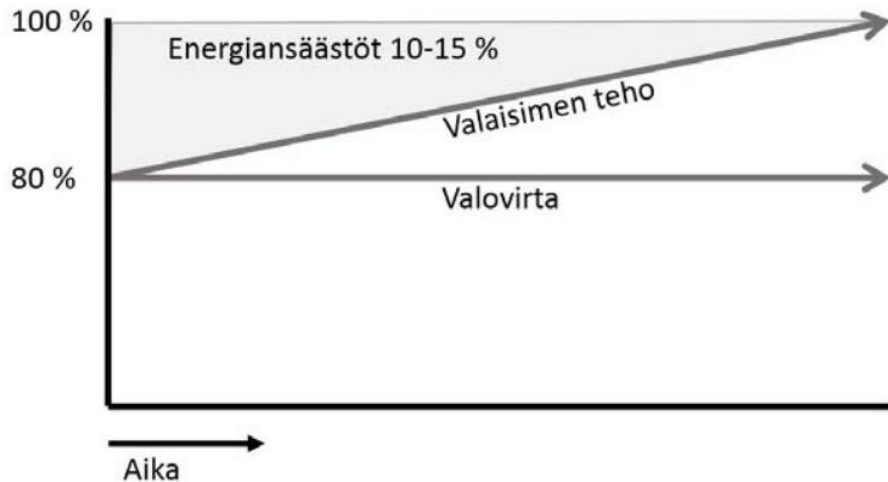
LED-valaisin kestää yhtä kauan kuin sen heikoin komponentti (Teknologiateollisuus 2019, 21). Valaisimien käyttöikää määriteltäessä tulee ottaa huomioon LED-moduulin ja liitäntälaitteen elinikä erikseen. Yleisimmät syyt valaisimen hajoamiseen ovat liitäntälaitteen vikaantuminen ja ulkoiset tekijät kuten lämpö, kosteus, virtalähde tai kytkentäkertojen määrä eli kuinka usein valaisinta sytytetään ja sammutetaan. (Light Adviser 2021; Fagerhult b.)

Verrattuna vanhoihin valaistustekniikoihin LED-moduulit eivät hajoa yleensä ajan myötä kokonaan vaan niiden valoteho heikkenee vähitellen. LED-moduulien käyttöiän merkintänä käytetään L-arvoa (L_{70} , L_{80} tai L_{90}) esittämään valovirran määrää prosentteina verrattuna uuden valaisimen valovirtaan tietyn käyttöajan jälkeen. L-arvon lisäksi käytetään B- tai C-arvoa. B-arvoa käytetään kuvaamaan L-arvon vaihtelua esimerkiksi valaisimen merkintä L80B50 70 000 h kertoo, että 70 000 tunnin jälkeen ledeistä 50 % tuottaa valovirtaa ≥ 80 % verrattuna uuden vastaavan valaisimen valovirtaan. C-arvo tarkoittaa LED-moduulin täyttä sammumista ja sitä käytetään kuvaamaan ainoastaan useita ledejä sisältävien moduuleiden yhteydessä, koska se ei huomio yksittäisten ledien sammumista kuten B-arvo. C-arvo voidaan ilmoittaa esimerkiksi C_{10} , jolloin se tarkoittaa, että keskimäärin 10 % LED-moduuleista voi sammua täysin ilmoitetun ajan jälkeen (KUVIO 10). (Light Adviser 2021; Fagerhult b.)



KUVIO 10. L-arvo (Fagerhult b)

Vakiovalovirta-ohjauksen eli CLO:n avulla voidaan varmistaa, että katuvalaisimesta tuleva valovirta pysyy vakiona valaisimen käyttöiän ajan (KUVIO 11) eikä valaistusteho heikkene liian matalaksi tien tai kadun valaistusluokan vaatimuksiin nähden. Käytännössä LED:ien elinkaaren aikana tapahtuvaa luonnollista valovirran alenemista kompensoidaan liitäntälaitteeseen tehdyn profiilin avulla, joka nostaa valaisimen tehoa sen elinkaaren loppua kohden pitäen valovirran määrän lähes samana kuin valaisimen elinkaaren alussa. (Greenled 2019; Liikennevirasto 2015, 18–19.)

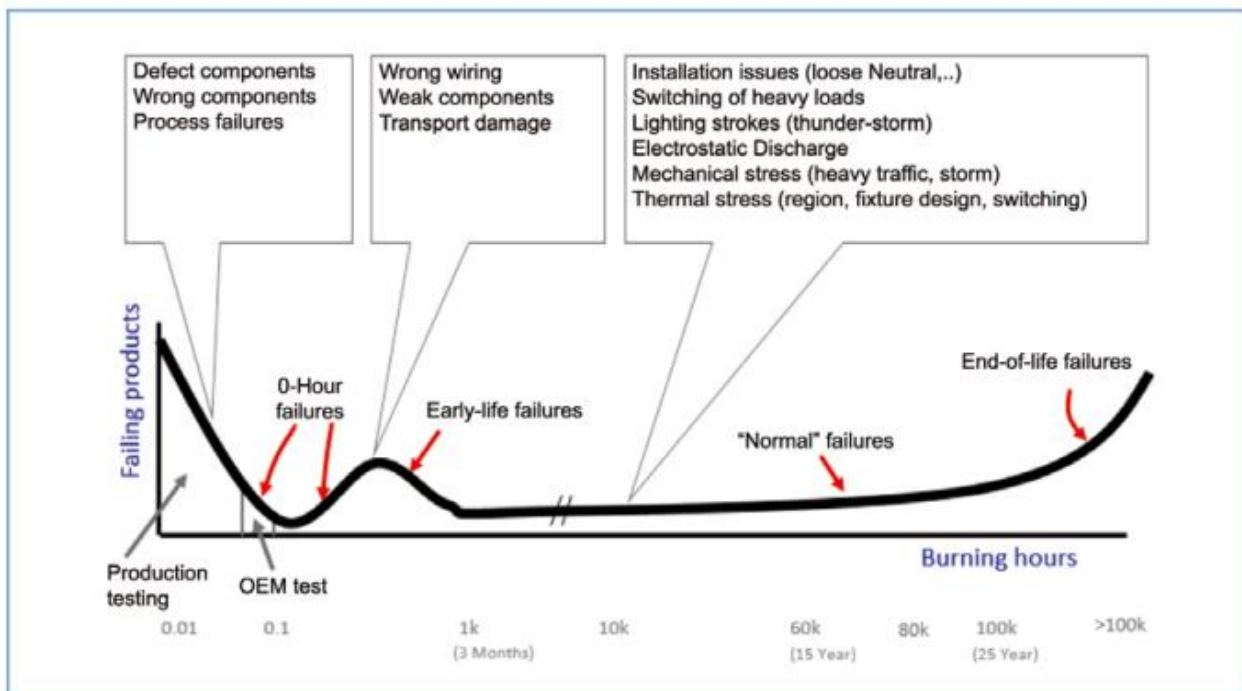


KUVIO 11. Vakiovalovirta-ohjaus (Liikennevirasto 2015)

Keskimääräinen tehonkulutus valaisimen elinkaaren aikana vakiovalovirtaa käytettäessä on pienempi verrattuna tilanteeseen, jossa sitä ei käytetä. Vakiovalovirta on tärkeää huomioida valaistusteknillisissä laskennoissa käyttämällä valaisimen vakiovalovirta-arvoa ja likaantumisen aiheuttavaa alenemakerrointa tai valaisimelle annettua normaalia valovirta-arvoa huomioimatta vakiovalovirtaohjausta ja alenemakerrointa. Ohjaus vaikuttaa valaistusasennuksen hoitokustannuksiin. (Liikennevirasto 2015, 18–19.)

Liitäntälaitteiden käyttöikään vaikuttavat rakenne, komponentit sekä niiden lämpötila. Liitäntälaitteiden t_c -mittauspisteelle ilmoitetaan viitearvo. Mittauspisteen lämpötila ei saa nousta valmistajan ilmoittamaa arvoa suuremmaksi. Esimerkiksi elinikä 50 000 tuntia/10 % tarkoittaa, että t_c -mittauspisteen lämpötilan pysyessä valmistajan ilmoittaman lämpötilan alapuolella vioittuu liitäntälaitteista enintään 10 % ilmoitetun ajan kuluessa. (Fagerhult b; Philips 2019b.)

Kuviossa 12 on esitetty liitäntälaitteiden yleiset vikaantumisen syyt ja niiden ajankohta elinkaaren aikana. Kuvaaja ei kerro yksittäisen komponentin vikaantumisen ajankohtaa vaan koko tuotejoukon suhteellisen vikaantumisen todennäköisyyden tietyinä ajankohtana käyttötunteihin nähden. (Fagerhult b; Philips 2019b.)



KUVIO 12. Liitäntälaitteen vikaantumisen syyt elinkaaren aikana (Philips 2019b)

Kuvaajasta voidaan nostaa esille asennuksesta johtuvat vikaantumiset. Ne voivat näkyä liitäntälaitteen vikaantumisena jo 10 000 käyttötunnin kohdalla, mikä tarkoittaa sitä, että käyttötunnit jäävät 10 % odotetusta.

LED-lamppujen käyttöikää määrittelyssä käytetään F_y -merkintää. Se kertoo parametrisen ja äkillisen vioittumisen. Esimerkiksi L70F10 tarkoittaa, että LED-lampuista 10 % on lopettanut toimintansa kokonaan tai valovirta on alentunut alle 70 %:iin uuteen verrattuna. (ST58.08, 14.)

5 ULKOVALAISTUKSEN OHJAUS

Valaistuksen ohjauksella pyritään säästämään energiaa säatelemällä valaistuksen tarkoituksenmukaista käyttöaikaakin tinkimättä valaistuksen laadusta (Tiensuu 2010, 35). Älykkäällä valaistuksella pystytään myös seuraamaan yksittäisen valaisimen tilaa ja vaikuttamaan valaisimien käyttäytymiseen eri tilanteissa. Ohjausjärjestelmän rakenne muodostuu ohjaustavan mukaan ja se muodostuu tietoverkon ja kenttälaitteiden ympärille. Ohjausjärjestelmän kenttälaitteistoon kuuluvat keskusohjain-, yhdyskäytävä-, valaisinkohtaiset ohjainlaitteet ja anturit. Tietoverkkolaitteisto sisältää tietokannat, palvelimet sekä keskushallintajärjestelmästä. (Wilbur & Poplawski 2015, 51–56.)

Miikka Nevalainen (2018, 11) jakaa ohjausjärjestelmät opinnäytetyössään neljään eri tasoon seuraavasti:

Ohjausjärjestelmätaso 1: Perinteiset ohjaustavat

- perinteiset ohjaustavat
- ei etähallittavaa keskitettyä ohjausta.

Ohjausjärjestelmätaso 2: Keskuskohtainen ohjausjärjestelmä

- keskitetty keskuskohtainen etähallittava ohjausjärjestelmä
- mahdollisuus valaistuksen ohjaamiseen ulkoisella anturitiedolla.

Ohjausjärjestelmätaso 3: Valaisinkohtainen ohjausjärjestelmä

- keskitetty keskuskohtainen etähallittava ohjausjärjestelmä
- mahdollisuus valaisinkohtaiseen ohjaukseen
- mahdollisuus valaisinkohtaiseen ohjaukseen ulkoisella anturitiedolla.

Ohjausjärjestelmätaso 4: Valaistuksen ohjaus osana älykästä kaupunkia

- IoT-tyyppinen koko kaupungin kattava pilvipalvelualue
- mahdollisuus liittää muun infran laitteita järjestelmään langattomasti. (Nevalainen 2018, 11.)

5.1 Perinteiset ohjaustavat

Paikallisohjausta käytetään yleensä pienillä tai erillisillä alueilla missä ei ole mahdollista hyödyntää verkosta saatavaa käskyä. Ohjausviesti annetaan kellon tai hämäreäkytkimen avulla (Liikennevirasto 2015, 106.)

Hämäreäkytkin seuraa vuorokaudenajan valoisuutta ja säätää sen mukaan valojen syttymistä ja sammumista, jolloin vältetään niiden palaminen valoisaan aikaan. Kellokytkintä käytetään usein hämäreäkytkimen kanssa yhdessä silloin, kun halutaan rajata yöllä valojen palaminen pois hiljaisina aikoina. Kellokytkintä voidaan käyttää myös itsenäisesti rajamaan kellonajat, jolloin valot ovat päällä vuorokaudessa. (Tiensuu 2010, 35–36).

Ketjuttaminen tai vyörytys on edullinen ja yksinkertainen tapa ohjata valaistusta. Se toimii ohjauskaapeleiden avulla, jotka on yhdistetty keskusten välille tai ohjaustieto saadaan eri keskukseseen kuuluvan valaisinpylvään välisulakkeen kautta. Ohjaus on altis laajalle vikaantumiselle johtuen ohjauksen sarjakytkennästä. (Liikennevirasto 2015, 106.)

5.2 Erillinen viestiverkko

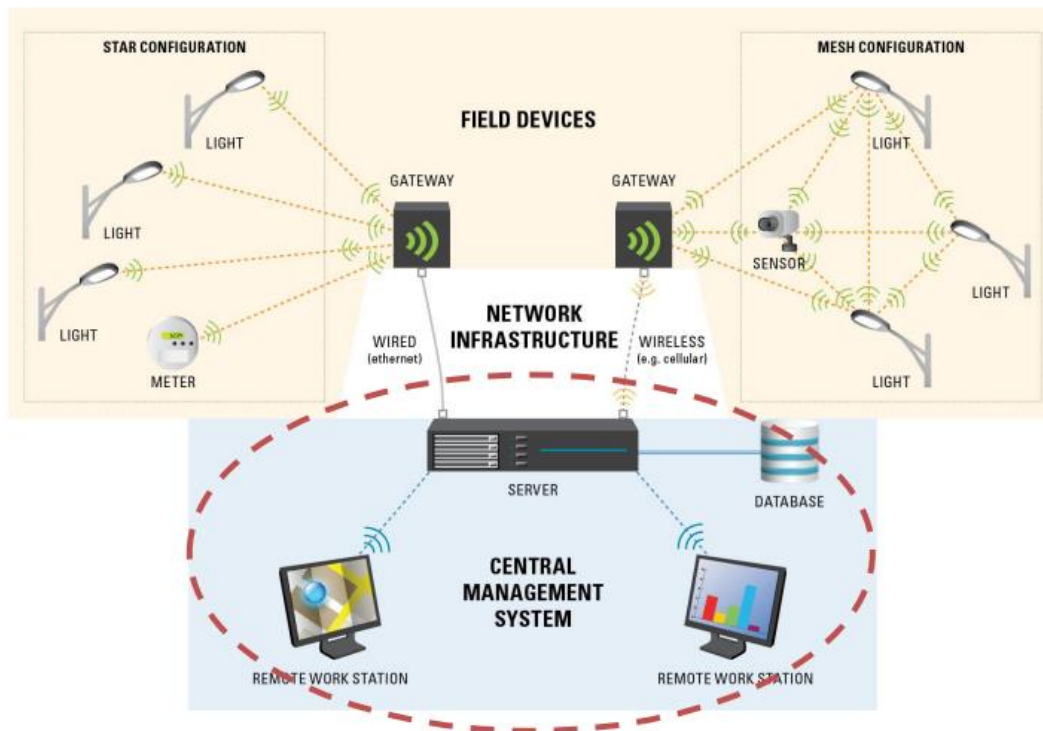
Viestiverkko toimii langallisena yleensä sarjakytkentä periaatteella keskusten välillä käyttäen heikkovirtajärjestelmää. Heikkoutena on ohjauksen vikaantumisen monistuminen, johtuen sarjakytkennästä. Langaton viestiverkko käyttää GSM-verkkoa tai WLAN-yhteyttä ohjaukseen, mutta se vaatii varmuuden paikallisohjaukseen, jos verkkoyhteys katkeaa jostain syystä. (Liikennevirasto 2015, 106.)

5.3 Keskitetty ohjaus

Keskitetty ohjaus on tarkoitettu paikkoihin, joissa on yhtenäinen tievalaistusverkko, koska halutaan välttää valaisimien syttymiseltä tai sammumiselta satunnaisesti eri paikoissa. Ohjausviestin toimittamiseen käytetään yleensä radio- tai GSM-kauko-ohjausjärjestelmää. (Liikennevirasto 2015, 106.)

5.4 Valaisinkohtainen ohjaus

Valaisinkohtaisen ohjauksella voidaan hyödyntää sen kaksisuuntaista tiedonsiirtoa esimerkiksi valaisimen toiminnan seurantaan ja kunnossapitoon. Älykkään ohjausjärjestelmän käyttö mahdollistaa myös automaattisen ja portaattoman valaistustason säädön. Järjestelmän mukaan se voidaan toteuttaa esimerkiksi korkeataajuisena signaalina ryhmäjohtoa pitkin tai langattomana järjestelmänä. (Liikennevirasto 2015, 20, 106.) Valaisinkohtaisen ohjausjärjestelmän pohja on esitetty kuviossa 13.



KUVIO 13. Valaisinkohtainen ohjausjärjestelmä (Wilbur & Poplawski 2015, 70)

Valaisinkohtaisella ohjauksella sekä älykkäällä valaistuksella on todettu olevan hyötyjä huollon ja kunnossapidon kulujen kannalta. Sitä pidetään yhtenä ensisijaisista hyödyistä valaistuksen kuluihin energiasäästöjen kanssa siirryttäessä LED-valaistukseen. Hyötyjä ovat:

- älykkäiden antureiden havaitsemat virheet valaistuksessa suoraviiivaistavat huoltoa, kun valaisimia ei tarvitse erikseen käydä tarkistamassa tiettyinä ajankohtina
- useita erilaisia valaisimia ei tarvitse varastoida, vaan muutamilla valaisinmalleilla voidaan toteuttaa useita eri valaistustilanteita himmentämällä teho kohteeseen sopivaksi, jolloin vaadittu varastointikapasiteetti pienenee

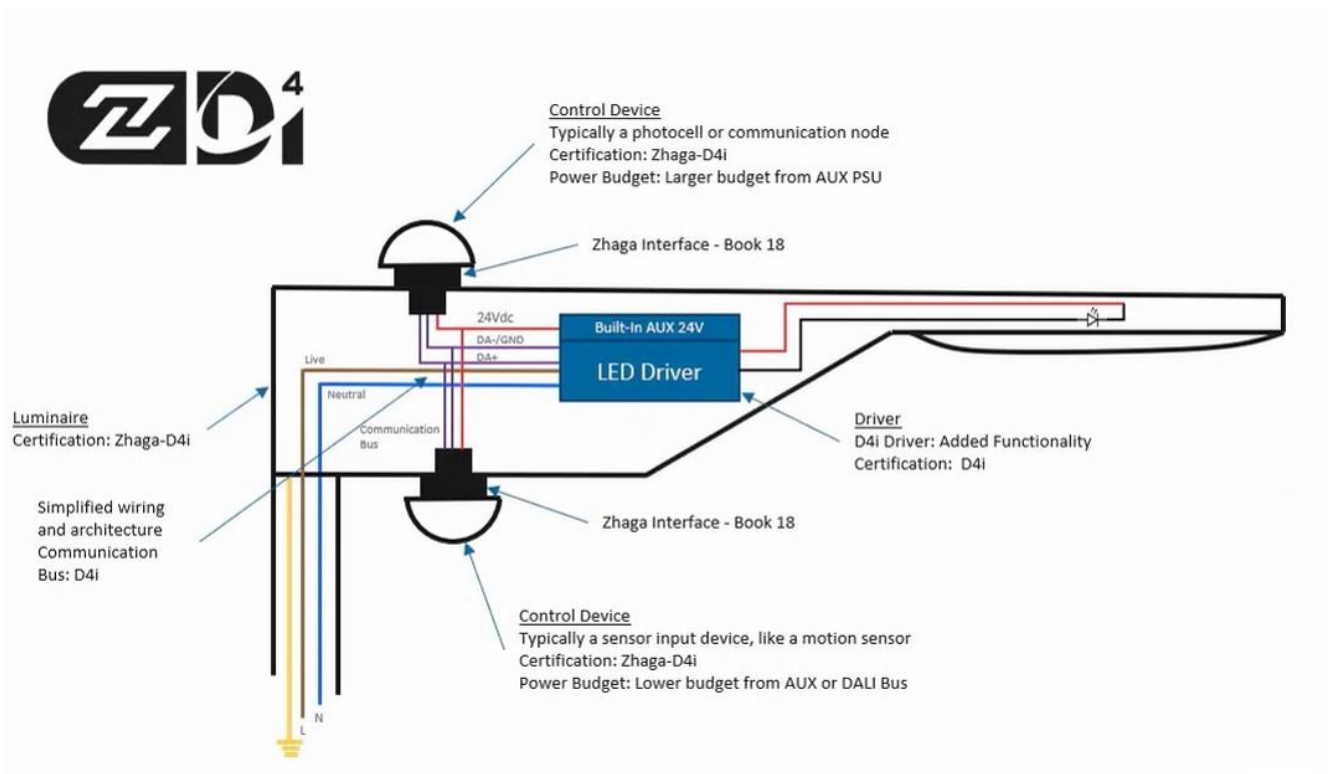
- asiakaspalvelupuheluiden tai viestien määrä vähenee, koska tieto vikaantumisesta saadaan suoraan valaisimelta
- helpottaa omaisuudenhallintaa, kun jokaisesta valaisimesta on kaikki tiedot ohjausjärjestelmässä (Northeast Group 2022.)

Älykäsvalaisin tekniikka toteutetaan tällä hetkellä käyttäen DALI-ohjausta Zhaga- tai NEMA-liittimien (National Electrical Manufacturers Association) kautta langattomasti. Tämä helpottaa valaisimien sovittamista nykyisen tekniikan vaatimuksiin. Aikaisemmin valaisinkohtainen ohjaus on vaatinut DALI-kaapeloinnin erikseen jokaiselle valaisimelle. Valaisimen suuntaan kommunikointi tapahtuu DALI:n kautta, mutta valaisimelta saatu signaali Zhaga- tai NEMA-liittimistä saadaan esimerkiksi Bluethoothin, Zigbeeen tai WiFin kautta. (Fagerhult d.)

5.4.1 Zhaga

Zhaga on konsortio, jonka tavoitteena on kehittää standardispeifikaatioita ledien liitälaitteiden liitälaitteisiin ja rajapintoihin. Zhaga mahdollistaa vaihdettavuuden eri valmistajien tuotteiden välillä. Vaihdettavuus saavutetaan määrittelemällä rajapintoja useille sovelluskohtaisille LED-valaisimille. Tällä pyritään estämään markkinoiden pirstoutuminen yhteensopimattomiksi tuotteiksi sekä helpottamaan LED:ien vaihtamista ja saatavuutta. (Industry Standards and Technology Organization 2016.) Zhaga tekee tämän julkaisemalla käyttöliittymämäärityksiä, jotka on jaettu kirjoiksi (Zhaga Consortium a).

Zhagan julkaisemassa kirjassa 18 on määritelty älykäs rajapinta ulkovalaisimien ja tunnistus- sekä viestintämoduulien välillä. Se sisältää mekaanisen sovituksen, sähkön, tehon, ja tiedonsiirtoon liittyvät tekijät. Kirjalla pyritään vähentämään monimutkaisuutta yksinkertaistamalla tietoliikennesolmujen ja antureiden lisäämistä valaisimiin. Tämän hetken uusimmassa kirjan 18 päivityksessä huhtikuussa 2021 (Zhaga Book 18 edition 3.0) hyväksyttiin ANSI C136.41 himmennysrasia osaksi Zhaga-liitintä. Kirjassa on myös määritelty valaisimen alapuolelle sijoitettava Zhaga-liitin antureita varten, johon voi lisätä erilaisia laitteita esimerkiksi lämpötila-, kosteus- ja liiketunnistimen. (Zhaga Consortium b.) Zhaga-liittimiä käyttävän valaisimen rakenne on esitetty kuviossa 14.



KUVIO 14. Zhaga-liittimillä varustetun valaisimen rakenne (mukaillen Catchpole 2021)

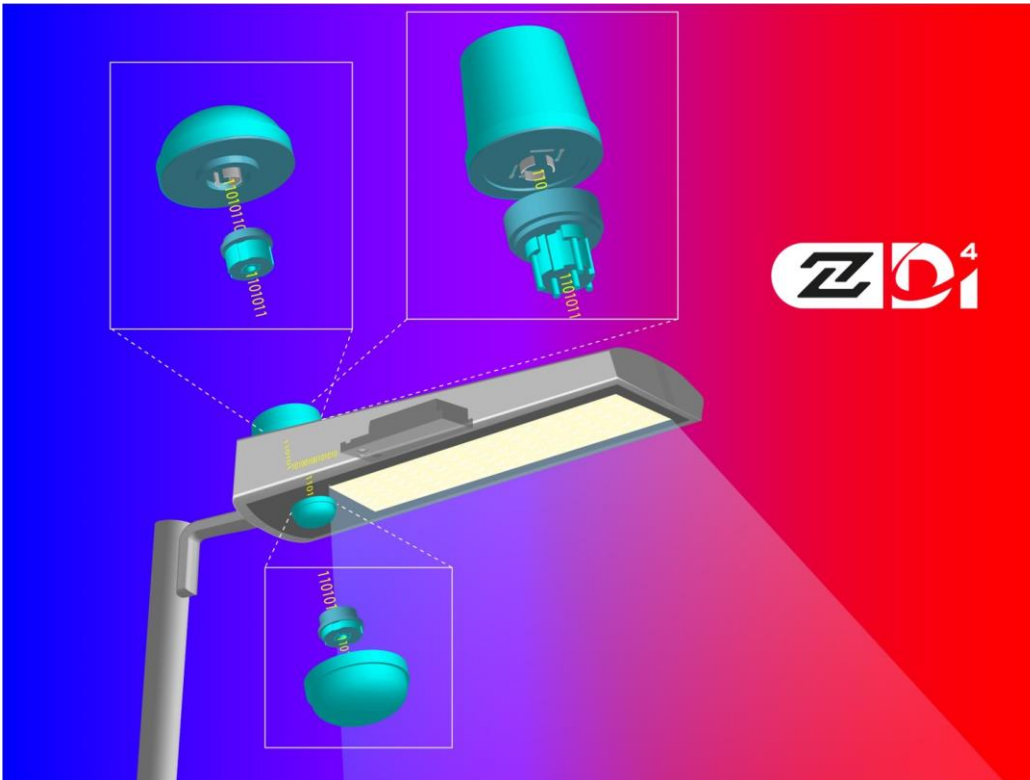
Zhaga book 18-liitin on mahdollista asentaa valaisimen sivulle, ylä- tai alapuolelle. Se on myös kooltaan kompakti mikä helpottaa sen sijoittamista valaisimeen. Liittimen laitteiden asennukseen ei tarvita työkaluja. Zhaga-liittimessä on neljä kosketinta:

- jännite 24VDC
- DALI-negatiivinen
- DALI-positiivinen
- yleinen digitaalinen I/O (yli 7V). (TE Connectivity 2019.)

5.4.2 DALI

DALI Allianssi on DALI-valaistuksen ohjauksen maailmanlaajuinen järjestö, jonka päätavoite on standardoituun DALI-protokollaan perustuvien valaistuksen ohjausratkaisuiden kasvattaminen markkinoilla (DALI Alliance a). D4i on DALI-standardi älykkäille IoT-valmiille valaisimille, joka helpottaa antureiden ja viestintälaitteiden asentamista valaisimiin. D4i-led liittintälaitteet valaisimien sisällä pystyvät tallentamaan ja raportoimaan laajasti erilaisia valaisin-, energia-, ja diagnostiikkatietoja standardoidussa muodossa. (DALI Alliance b.)

Zhaga-konsortio ja DALI-Allianssi ovat kehittäneet yhteistyössä Zhaga-D4i (KUVA 8) sertifiointi ohjelman parantaakseen eri valmistajien solmujen ja valaisimien toimivuutta yhdessä. Sertifiointilla varmistetaan, että valaisimet ovat tulevaisuuden solmutekniikoiden kanssa toimivia. Tämän ohjelman vaatimukset täyttävät valaisimet voivat käyttää Zhaga- ja D4i-logoa. (Zhaga Consortium b.)



KUVA 7. D4i Zhaga -liittimet (Zhaga Consortium b)

5.4.3 NEMA

NEMA eli National Electrical Manufacturers Association perustettiin 1926. Se on ANSI-akkreditoitu standardeja kehittävä organisaatio, johon kuuluu yritysjohtajia, sähköasiantuntijoita, insinöörejä, tiedemiehiä ja tekniikoita (National Electrical Manufacturers Association). NEMA-liitin (KUVA 9) on usein ulkovalaistuksessa ja erityisesti katuvalaistuksessa käytetty liitännätyyppi, joka luo sähköisen ja mekaanisen yhteyden ohjauslaitteen ja valaisimen välille (Fagerhult d).



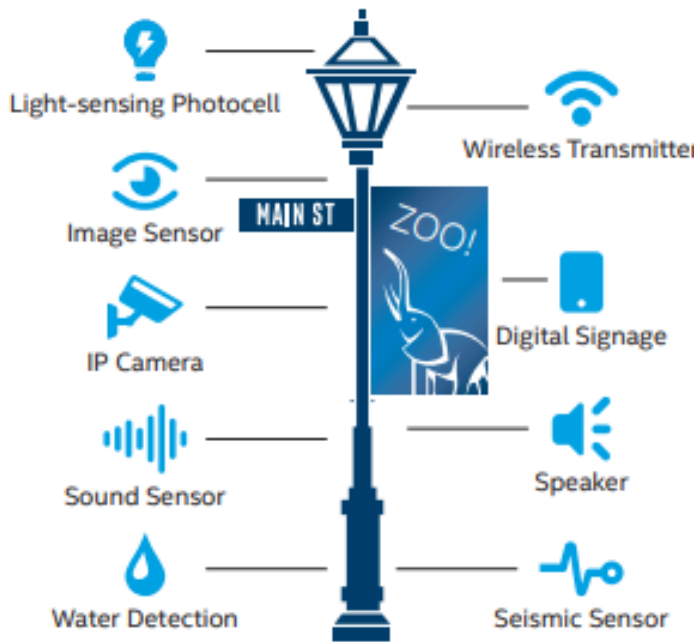
KUVA 8. NEMA-liittimet (TE Connectivity 2019)

NEMA ANSI C136.41 yhteensopivia liittimiä on kaksi erilaista. Ensimmäisessä on viisi kosketinta, joista kolme on sähkösyöttöä varten ja kaksi ohjaukselle. Vastaavasti toisessa versiossa on seitsemän kosketinta, joista kolme sähkösyötölle ja loput ohjaukselle. Niitä voidaan ohjata koskettimien kautta 0-10V:n tasavirralla tai DALI:lla. Käyttöjännite on 480 VAC/DC ja virta 15 A max. (TE Connectivity 2019.)

5.5 IoT ja älykäsvalaistus

Älykkäät kaupungit ovat iso kokonaisuus, joka yhdistää ennen itsenäisesti toimineet liiketoiminta-alueet, kuten liikenteen, logistiikan, energian jakelun sekä talotekniikan. Tulevaisuuden liikenteeltä vaaditaan entistä parempaa turvallisuutta ja mukautumista erilaisiin liikennetilanteisiin sekä ekologisuutta ja valmiutta palvella logistiikan tarpeita. (Nodeon.) IoT eli Internet of Things kuvaa fyysisten objektien verkkoa, joka sisältää antureita, ohjelmistoja ja muita tekniikoita, joiden tarkoituksena on yhdistää ja vaihtaa tietoa muiden laitteiden ja järjestelmien kanssa internetin välityksellä (Oracle).

Älykkäillä katuvalaisimilla ja pylväillä (KUVA 10) voidaan ohjata valaistusta mukautumaan ympäristön tarpeisiin, kuten himmentymään tai sammumaan liikkeen perusteella tai osoittamaan vapaan pysäköintipaikan kadun varrella. Ne voidaan varustaa monilla erilaisilla antureilla, kaiuttimilla, kameroilla ja lukuisilla muilla laitteilla, joilla voidaan parantaa kaupungin tehokkuutta ja kerätä hyödyllisiä tietoja kaupungin toiminnasta. Älykkäitä katuvaloja ja pylviä voidaan käyttää myös tulonlähteenä. Esimerkiksi myymällä digitaalisia mainoksia pylväisiin maksua vastaan tai tarjota maksullista langatonta internetyhteyttä pylväissä olevien lähettimien kautta. (Intel 2017.)



KUVA 9. Älykkään katuvalaisimen mahdollisuudet (Intel 2017)

6 HUOLTO- JA KUNNOSSAPITO ULKOVALAISTUKSESSA

Isoimmat kaupungit Suomessa ovat aloittaneet siirtymisen LED-tekniikkaan, jonka huollettavuus on erilaista verrattuna vanhoihin tekniikoihin. Valaistuksen kunnossapito ja huoltotyö on oleellinen tekijä valaistusverkon tarkoituksenmukaisen toiminnan ja laadun ylläpidossa. Tekniikan Maailman kyselyssä kaupungeille (KUVIO 15) todettiin LED-valaistukseen siirtymisen olevan Suomessa puolivälissä (Virtanen 2022).



KUVIO 15. LED-valaistuksen osuus kaupunkien katuvaloista (Virtanen 2022)

Valaistuksen korvausinvestointi on iso kustannus, mutta merkittävät kulut tulevat valaistuksen huollosta ja kunnossapidosta. Kustannukset voi karkeasti jakaa käyttö-, kunnossapito- ja rakennuskustannuksiin. Käyttökustannuksissa suurin kulu tulee yleensä energiakustannuksista. Käyttökustannuksiin voidaan vaikuttaa huolellisella suunnittelulla, mm. valitsemalla käyttötarkoitukseen sopiva valaisin ja ohjaustapa. Kunnossapidon kustannukset koostuvat suurimmaksi osaksi lampunvaihtoista, puhdistuksesta ja liitäntälaitteista. Valaisimien pylvää ja kiinnikkeet eivät yleensä aiheuta paljon kunnossapito-

kuluja, jos ne on mitoitettu ja sijoitettu suunnitteluvaiheessa oikein. Rakennuskustannuksissa valaisimet ovat osuudeltaan pieni tekijä, mutta valaisimilla on suuri vaikutus tulevaisuudessa kunnossapitokustannuksiin komponenttien kestävyuden ja huollettavuuden kannalta. Huolellinen suunnittelu on oleellinen tekijä, joka vaikuttaa huomattavasti kaikkiin kustannuksiin. Suunnittelulla voidaan myös välttää ylimitoitettut valaisimet ja pitää valopisteiden määrä sopivana kohteen tarpeiden mukaan. (Tien-
suu 2010, 37.)

6.1 Huollon- ja kunnossapidon toimintamalli

Ulkovalaistuksen huolto- ja kunnossapito työlle ei ole täysin vakiintuneita toimintamalleja, vaan ne vaihtelevat kaupunkikohtaisesti. Jyväskylä on määritellyt ulkovalaistuksen hoito- ja kunnossapitotyöt korjaukseen, hoitoon ja käyttöön seuraavasti:

- Hoito sisältää valaistusjärjestelmien kunnan tarkastamisen, kiinnityksen ja suuntauksen korjaamisen, valaisimien puhdistamisen, valaistusta haittaavien kasvien poistamisen ja pylväiden oikaisun
- Korjaaminen sisältää valaisimien tai ohjausjärjestelmien korjaamisen toimintakuntoiseksi
- Käyttö sisältää ohjausjärjestelmän ohjelmointityöt, teknisen tuen sekä sähköenergian hankinnan. (Jyväskylän kaupunki 2018a, 3.)

LED-valonlähteiden laatu vaikuttaa valovirran pienenemisen nopeuteen ja suuruuteen. Ympäristö vaikuttaa likaisuuden ja lämpötilan osalta valaisimen käyttöikään ja huollontarpeeseen. Likaisuusaste, lämpötila, valaisimen muoto, käytetyt materiaalit sekä pölytiiveys vaikuttavat valaisimen likaantumisen nopeuteen. Ympäristön vaatimusten mukaisesti valittu valaisin vähentää likaantumisen vaikutusta valaistusvoimakkuuteen sekä vähentää lämpötilan aiheuttamaa räsitusta. Valaisimien suorituskykyä tulisi seurata säännöllisesti muiden huoltotöiden ohessa, jotta saadaan vikaantuminen ja toimintakyvyn heikkeneminen minimoitua. (Motiva 2022.)

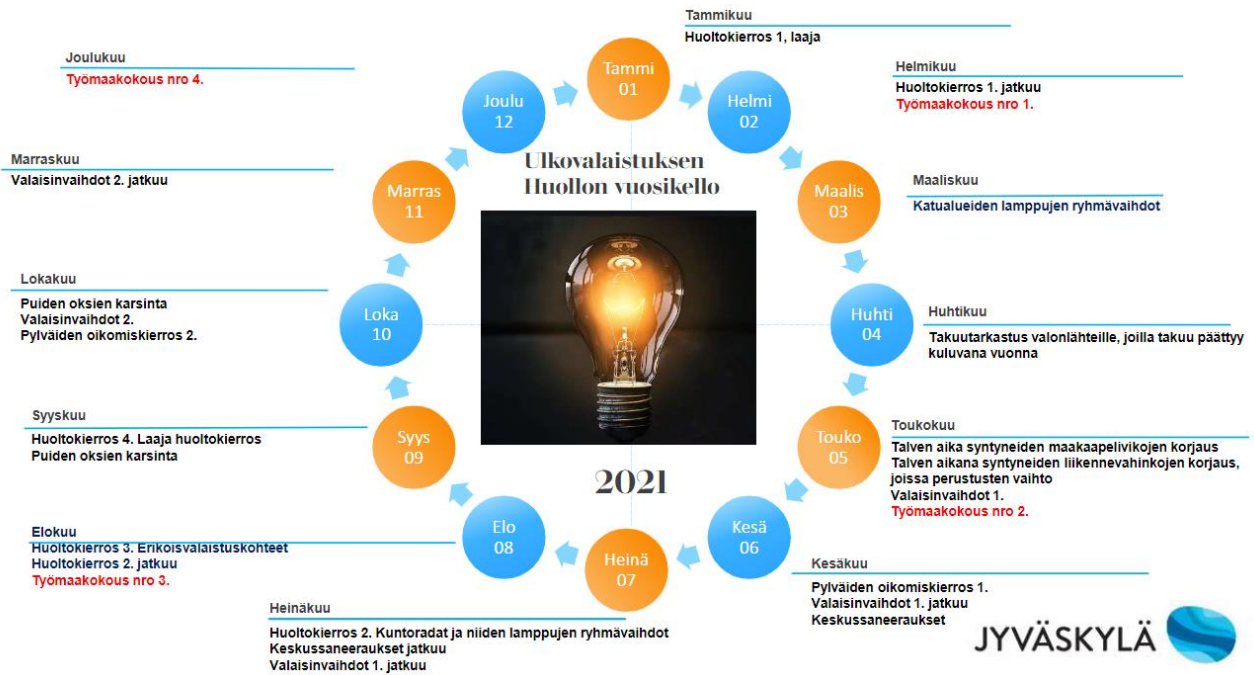
Valaisimien puhdistus on tärkeää, koska valaisimien likaantuessa valonjakautuminen sekä valaistuksen voimakkuus muuttuu ja heikkenee. Valaisimesta puhdistetaan tasolasi-/kupu ja kaikki muut valoa läpäisevät osat. Kasvillisuus poistetaan silloin, kun se estää valaisimen suunnitellun valonjaon tai kasvusto on kiinnittynyt pylväisiin, valaisimiin tai ilmalinjoihin. (Jyväskylän kaupunki 2018a, 13–14.)

Ryhmävaihdot tarkoittavat valonlähteiden vaihtamista uusiin ennalta sovittuna ajankohtana valaisimille tai lampuille, joiden elinkaari on päättymässä. Se voi sisältää elinkaarensa päättäneiden kaasunpurkauslamppujen, LED-lamppujen tai LED-elementin vaihdon sekä muut työt, jotka on määritelty tehtäväksi toimenpiteen yhteydessä. Yksittäisten valonlähteiden vaihtaminen tehdään yleensä valaisimen vikaantuessa, joko vaihtamalla koko valaisin tai liitäntälaitte valaisimen ominaisuuksien mukaan. Yksittäinen valaisin vaihdetaan yleensä vain tarvittaessa, jos varaosia ei ole saatavilla tai korjaaminen ei ole turvallista. (Jyväskylän kaupunki 2018a; Oulun kaupunki 2022a.)

Huoltokierros on tarkistus, jolla pyritään havaitsemaan ja korjaamaan valaistusverkossa ilmenneitä vikoja. Huoltokierroksen sisältö määräytyy kaupungin tarpeiden mukaan, mutta se voi sisältää esimerkiksi seuraavia tehtäviä:

- Palaneiden lamppujen vaihto
- Vikojen korjaus
- Valaisimien puhdistus
- Työstä aiheutuvien jätteiden kierrätys ja käsittely
- Valaisimien suuntauksen ja kiinnityksen tarkistus sekä korjaaminen, jos siihen ei tarvitse varaosia
- Kondensaattorin, syyttimen ja sulakkeen korjaaminen, jos niissä on vikaa
- Vaihdetut valaisimet kirjataan Excel-taulukkoon
- Vaativimpien korjaustarpeiden raportointi tilaajalle (Jyväskylän kaupunki 2018a,17; Oulun kaupunki 2022.)

Useissa kaupungeissa on käytössä ulkovalaistuksen vuosikello, jolla ajoitetaan huollon tehtävät vuodelle. Vuosikellon sisältö ja tehtävien ajoittuminen vaihtelevat kaupunkikohtaisesti. Esimerkiksi Jyväskylässä huoltokierros tehdään neljä kertaa vuodessa, Espoossa kolme ja Oulussa kaksi. Niiden sisältö myös vaihtelee kaupungin tarpeiden ja näkemysten mukaisesti. (Oulu kaupunki 2022b, Jyväskylän kaupunki 2021, Espoon kaupunki, Katuvalot ja ulkovalaistus). Kuviossa 16 on Jyväskylän huollon vuosikello 2021 ja erilaisten toimenpiteiden ajoittuminen vuodelle.



KUVIO 16. Jyväskylän ulkovalaistuksen huollon vuosikello (Jyväskylän kaupunki 2021)

Omaisuuksienhallintajärjestelmä on järjestelmä, jolla pidetään kirjaa ulkovalaistusverkon tiedoista ja joissain tapauksissa myös toiminnasta. Kuvassa 12 on ruutukaappaus Jyväskylän omaisuushallintajärjestelmästä.



KUVA 10. Jyväskylän omaisuushallintajärjestelmä (Jyväskylän kaupunki)

OmaisuuDENhallintajärjestelmät voivat sisältää seuraavia ominaisuuksia:

- verkon tilan analysointi
- vikailmoitukset ja niiden sijainnit voidaan paikantaa kartan avulla, mikä helpottaa huollon ja ylläpidon tehtävien suunnittelua ja ennakoimista.
- suunnittelutyö suoraviivaistuu, kun katuvalokeskusten tiedot ja valaisimien kaapelointitiedot on helposti saatavilla. (Kaukola 2022.)

Huolto ja kunnossapito asettaa myös vaatimuksia ohjausjärjestelmälle. Yleisiä vaatimuksia ovat etäohjattavuus, automatisoidut hälytykset vikaantumisesta, mahdollisuus vikaantumisen analysointiin sekä raportit esimerkiksi energiankulutuksesta tai polttoajasta. Ohjausjärjestelmän ominaisuudet voivat mahdollistaa kustannustehokkaamman huollon sekä auttaa takuunhallinnassa. Huolto ja kunnossapito suoraviivaistuvat, kun järjestelmä ilmoittaa valaisimien huollontarpeesta, jolloin turhat käynnit valaisimilla vähenevät. Ohjausjärjestelmä voi myös mahdollistaa valaisimien elinkaarikustannusten seurannan. (Teknologiaeollisuus 2019.)

6.2 Jyväskylän ulkovalaistusverkon nykytilanne

Kaupungin ulkovalaistusverkkoon kuuluvat katu- ja tievalaistuksen lisäksi puistot, torit, aukiot, leikki-paikat, pienvenesatamat sekä erikoisvalaistuskohdeet. Ulkovalaistusta ohjataan keskitetyllä ohjausjärjestelmällä, joka on Jyväskylän kaupungin omistuksessa, mutta sen käytöstä vastaa C2 SmartLight Oy erillisellä palvelusopimuksella. (Piispanen 2018, 5–7) Jyväskylässä valaistusverkko on jaettu kahteen eri huoltourakka-alueeseen (läntinen ja itäinen). Taulukossa 2 on huoltourakka-alueiden valonlähteiden määrä ja tyyppi eriteltyinä.

TAULUKKO 2. Huoltourakka-alueiden valonlähteiden määrä ja tyyppi

Valonlähde	Läntinen	Itäinen	Yhteensä
Suurpainenatrium	11180	10244	21424
LED	5924	5345	11269
Monimetalli	1582	491	2073
Loistelamppu	259	89	348
Elohopea	23	6	29
Halogen	9	13	22
Kaikki	18977	16188	35165

Jyväskylän ulkovalaistusverkon keskimääräinen ikä on 10 vuotta. Yleisin valonlähde on suurpainenatrium 21 424 valaisimella. Käyttöluokittain Jyväskylässä on eniten katuväläistusta (24 670 kpl). Jyväskylän kaupungin nykyiseen huolto- ja kunnossapitotyöhön sisältyvät taulukon 3 mukaiset tuotteet. Jyväskylän valaisimista 3354 kpl on varustettu Zhaga-liittimellä.

TAULUKKO 3. Jyväskylän kaupungin nykyiset huolto- ja kunnossapitotyön tuotteet (Jyväskylän kaupunki 2018b, 8–12)

Huoltotyö
Huolto-ohjelman mukainen keskustarkastus ja varmuuspariston vaihto €/kpl
Puupylväiden lahoisuustarkastus €/kpl
Metallipylväiden tarkastus €/kpl
Valaisimen kiinnityksen ja suuntauksen korjaaminen €/kpl
Valaisinpylvään oikaisu €/kpl
Kunnossapito
Lampun vaihtotyö €/kpl
SpNa-lamppu 50–250 W (materiaali) €/kpl
Monimetallilamppu 50–150 W (materiaali) €/kpl
Kuristin SpNa-valaisimeen vaihtotyön yhteydessä (sisältää komponentin ja sen asennuksen) €/kpl
Kondensaattori SpNa-valaisimeen (sisältää komponentin ja sen asennuksen) €/kpl
Sytytin (sisältää komponentin ja sen asennuksen) €/kpl
Tulppasulakkeen vaihto viankorjauksen yhteydessä (sisältää komponentin ja sen asennuksen) €/kpl
Uuden tai käytetyn valaisimen vaihto urakoitsijan tai tilaajan varastosta (sisältää vanhan valaisimen hävittämisen) €/kpl
Sähköasentajatyö €/h
Kuorma-auto+henkilönostin €/h
Pakettiauto PA €/km
Kaivinkone KKHp 6–13 t €/h
Kuorma-auto KA €/h

Vikailmoitukset tulevat erilliseen palautejärjestelmään, johon niitä syöttävät kuntalaiset, tilaaja, kaupungin muut yksiköt, Jyväskylän energia Oy:n valvomo, ulkovalaistuksen ohjauspalvelujen toimittaja ja poliisi. Nykyisistä palautteiden aiheista yleisimmät ovat se, että lamppu ei pala, valaisinpylväessä on vaurio ja lamppu syttyy/samuu. Urakoitsija saa palautteista tiedon sähköpostiin, jos palaute ei koske

urakkaan kuuluvia töitä vaihdetaan palautteen tyypiksi ”muuta valaistukseen liittyvää palautetta”, jolloin se ohjautuu tilaajan käsiteltäväksi. Huoltourakoitsijan vastuulle kuuluvien erilaisten vikojen korjausaika on noin 10.5 päivää. Erityyppisten vikojen korjaamisen tavoitteelliset vasteajat on sisällytetty nykyiseen tehtäväkorttiin. (Jyväskylän kaupunki; Jyväskylän kaupunki 2018a, 4–6.)

Jyväskylän yleisimmän valonlähteen ollessa suurpainenatrium on valaisinvaihtoja tulossa seuraavien vuosien aikana paljon. Tämä aiheuttaa haasteita, kun valaistusverkossa pitää ylläpitää kahdenlaista valaistusta. Vuosien 2023–2027 aikana 4263 LED-valaisimen takuu-aika on päättymässä ja niille on syytä tehdä kuntotarkastus. (Jyväskylän kaupunki.)

7 TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN JA MENETELMÄT

Tässä opinnäytetyössä käytettiin laadullista ja määrällistä tutkimusmenetelmää selvittämään, miten valaistusverkon siirtyminen LED-valaistukseen vaikuttaa huoltoon ja kunnossapitotyöhön.

7.1 Tutkimusongelma ja -kysymykset

Tutkimusongelmana oli vanhan valaistustekniikan vaihtuminen uuteen sekä huollon- ja kunnossapitotyön vakiintuneen toimintatavan uudistuminen. Tutkimusongelma määritettiin toimeksiantajan kanssa ulkovalaistuksen uuden valaistustekniikan vaatimukseen sekä sen vaikutuksiin huoltotyöhön.

Tästä johdettiin tutkimuskysymykset, jotka olivat:

- Mitkä ovat ulkovalaistuksen huollon tehtävät tulevaisuudessa?
- Miten LED-tekniikkaan siirtyminen vaikuttaa kunnossapidon tehtäviin?

7.2 Tutkimusmenetelmät

Tähän opinnäytetyöhön valittiin sekä laadullinen ja määrällinen tutkimusmenetelmä, koska molemmilla menetelmillä voidaan selittää eri tavoin tutkimuskohdetta. Laadullinen tutkimus on menetelmäsuuntaus, jossa korostetaan kokonaisvaltaisesti ymmärrystä tutkittavan kohteen laadusta ja ominaisuuksista. Määrällinen tutkimus kuvaa tutkimuskohdetta tilastoiden ja numeroiden avulla ja sitä voidaan käyttää yhdessä laadullisen menetelmän kanssa. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006.)

7.3 Aineiston keruu ja kysely

Opinnäytetyön tutkimusongelman tutkimattomuuden takia päädyttiin yhdessä toimeksiantajan kanssa, että aineistonhankinta tutkimuskysymyksiin toteutetaan kyselylomakkeilla Wepropol-palvelun kautta Suomen isojen kaupunkien ja ELY-keskuksen ulkovalaistuksesta vastaaville (LIITE 1) sekä valaistustekniikan toimittajille ja -valmistajille (LIITE 2).

Kysely Kaupungeille ja ELY-keskuksille rajattiin koskemaan alueita, joissa on paljon LED-valaistusta ja valaistusverkon koko on suuri, jolloin voidaan olettaa huollon- ja kunnossapidon vaativan enemmän järjestelyitä. Valaistustekniikan kysymykset lähetettiin valaisin- ja liitäntälaittevalmistajille sekä toimittajille, koska koettiin liitäntälaitteen olevan yksi oleellisimmista tekijöistä ulkovalaistustekniikan keskeytyksen ja huollon näkökulmasta.

Tieteellisessä tutkimuksessa on oleellista sen onnistumisen kannalta, että kyselynlaatija ottaa huomioon vastaajien ajan ja laatii kyselyn huolellisesti ja testaa sen ennen lähettämistä. Lomakkeen tulisi vastata tutkimusongelmaan kattavasti mutta samalla olla yksinkertainen ja selkeästi ymmärrettävä. Lomakkeen suunnittelussa tulee huomioida kyselyn ulkoasun selkeys ja lomakkeen pituus, koska liian pitkä kysely on haasteellinen sekä vastaajalle että tutkijalle. Kyselyissä tulisi pyrkiä loogiseen järjestykseen aloittamalla kysymyksillä, joihin on helppo vastata. Tietosuojaan ja vastaamishalun kannalta tulee kyselyssä huomioida, ettei vastaajien tarvitse huolehtia annettujen tietojen väärinkäytöstä. Pääsääntönä on kohtuullinen tarkkuus kaikissa kysymyksissä, jolloin vastauksia on helpompi analysoida kuin karkeammin aseteltujen kysymysten vastauksia. Kysymysten vastaamiseen kannattaa merkitä vastausohejeistus yksityiskohtaisesti, koska se vähentää virheitä vastauksissa ja parantaa tutkimuksen luotettavuutta. (Borg, Paaso, Mattila & Sivonen 2010.)

Kysely toteutettiin kyselylomakkeen laatimisen ohjeistusta (Borg, ym. 2010) mukailleen. Ennen kyselyn lähettämistä perehdyin huolellisesti opinnäytetyön aiheeseen, minkä jälkeen kysymykset luotiin yhdessä toimeksiantajan kanssa ja tarkastettiin useaan kertaan ennen lopullisia kyselylomakkeita. Tutustuin myös kyselylomakkeisiin, joita oli käytetty muissa tutkimuksissa. Kyselylomakkeet olivat melko pitkiä, mutta vastaamista on helpotettu jakamalla kysymykset aihealueittain ja käyttämällä Webropolin kyselypohjaa selkeyttämään ja nopeuttamaan kyselyyn vastaamista. Aihealueen laajuuden takia osa kysymyksistä tehtiin monivalintana tai lyhyenä avoimena kysymyksenä. Kyselyihin vastattiin omalla nimellä, mutta vastaukset käsiteltiin anonymisti ja kaikki tiedot poistetaan ajastetusti tammi-kuussa 2023.

7.4 Aineiston käsittely ja analysointi

Aineiston analyysiin käytettiin luokittelua selkeyttämään eri tutkimuksen osia sekä osittain tilastollisesti kuvaavaa analyysia, kuvaamaan huoltotoimenpiteiden toimintatapojen ja valaistustekniikan ominaisuuksien tarvetta sekä poikkeuksia niissä.

Luokittelu analysointi sopii laajoihin aineistoihin, jotka rakentuvat useista yksilöistä tai tapauksista. Tällaista aineistoa voidaan selkeyttää jakamalla yksilöt tai tapaukset ryhmiin, joissa on jokin yhteinen tekijä, joka ei toteudun muiden ryhmien yksilöillä. (Routio.)

Numerotietojen esittäminen tutkimusaineistossa voidaan tehdä useassa tutkimuksen osassa. Varsinaisessa leipätekstissä analysoidaan ja kuvaillaan tärkeimmät tiedot keskittyen tutkimusongelmaan. Sen sisällä kirjoittaja voi viitata numerotietoihin, jotka numeroidaan ja esitetään taulukkoina tai kuvioina. Kaikkea numerotietoa ei tule esittää tekstissä tai avata lukijalle sanallisesti, vaan kirjoittajan tulee osata karsia tutkimuksen tavoitteen kannalta epäolennainen tieto pois esitettävästä materiaalista. Saatujen tulosten lähteet ja tekniikat, joita niiden luomiseen on käytetty, tulee dokumentoida riittävän kattavasti, jolloin lukija ymmärtää, miten kyseisiin tuloksiin on päädytty. (Borg 2012.)

8 KYSELYN TULOKSET

Vastaukset on luokiteltu kysymysten aihealueiden mukaisiin ryhmiin ja esitetty seuraavissa luvuissa niiden esiintymisjärjestyksessä kysymyslomakkeella. Vastausten esittämisessä on hyödynnetty Webropolin tilastollisia analyysityökaluja ja Exceliä.

8.1 Kysymykset kaupungeille ja ELY:lle

Kaupungeille ja ELY:lle kohdistettuja kyselyitä lähetettiin yhteensä 10 kappaletta. Vastauksia saatiin yhteensä kahdeksan, joista kuusi oli kaupungeja ja kaksi ELY-keskuksen aluetta. Kaksi jätti vastamatta kyselyyn. Kyselyn tuloksissa esitetyt taulukot ja kuvaajat ovat satunnaisessa järjestyksessä anonyymiteetin säilyttämiseksi eli esimerkiksi vastaaja 1 ei ole jokaisessa taulukossa sama vastaaja.

8.1.1 Ulkovaistutusverkon tiedot

Taulukossa 4 on esitetty kyselyyn vastanneiden valaisinten määrä ja LED-valonlähteiden osuus kokonaisuudesta, sekä vuosittainen valaistuksen polttoaika tunteina.

TAULUKKO 4. Vastaajien ulkovaistutusverkon tiedot

Vastaaja	Valaisinten määrä kpl	Led-valonlähteiden osuus kpl	Valaisinten polttoaika vuodessa tunteina
1	48000	11000	-
2	53500	22000	3900
3	21000	17000	4000
4	45000	12000	4500
5	29700	11500	3600
6	28000	8500	3500
7	93900	30500	4000
8	45500	28000	3850

Vähiten vaihdettua LED-valaistusta on 27 % valaisinten määrästä ja eniten 81 %. Keskiarvo vastaajien kesken LED-valaistuksen osuudesta ulkovaistutusverkossa on noin 45 %. Polttoajat ovat enemmän samankaltaisia vastaajien kesken keskiarvon asettuessa 3907 tuntiin vuodessa.

8.1.2 Valaisinvaihdot

Valaisinten vaihtaminen huoltourakan yhteydessä tai erillishankintana oli vastaajien keskuudessa yhtä yleistä. Vastaajista neljä toteutti valaisinvaihdot erillishankintana ja neljä vastaajaa huoltourakan yhteydessä. Huoltourakan yhteydessä valaisinvaihdon toteuttamista on perusteltu luotettavan palveluntuottajan tai -tuottajien valinnalla, jolloin valaisinvaihdosta saadaan laadukasta palvelua. Lisäksi on haluttu nostaa esille urakoitsijoiden työmäärät, jotka vaikuttavat palveluntuottajan mielenkiintoon tarjota palvelua.

Erillishankintoina toteutettavan valaisinvaihdon vastauksista nousee esille, että puolet erillishankintana vastanneista tekevät valaisinvaihtoja myös pienempinä hankintoina huoltourakoiden sisällä, jotka kuuluvat palveluntuottajan sopimukseen. Kaksi vastanneista toteuttaa vaihdon kokonaisuudessaan investointina.

Ulkovalaistuksen kaasunpurkauslamppujen tilalle tulevien LED-lamppujen vaihdossa neljä vastaajista oli käyttänyt sytyttimen ja kuristimen ohittamista vaihdon yhteydessä, joista kaksi oli pyytänyt yksikköhinnan palvelulle, joka suoritetaan huoltokierroksen yhteydessä. Eräällä yksikköhintaan kuuluu valaisimen vaihdon lisäksi puhdistus. Yhdellä vastaajista hinta määräytyi työtuntien perusteella. Loput vastaajista eivät olleet tehneet kyseistä toimenpidettä.

8.1.3 Huolto ja kunnossapito

Taulukossa 5 on esitetty vastaajien huoltourakkasopimusten pituudet vuosina ja niihin mahdollisesti sisältyvien optioiden pituudet vuosina.

TAULUKKO 5. Huoltourakkasopimusten pituudet

Vastaaja	Huoltourakan pituus vuosina	Option pituus vuosina	Yhteensä
1	2	2	4
2	3	2	5
3	3	-	-
4	3	2	5
5	2	2	4

6	3	2	5
7	6	0	6

Huoltosopimusten keskimääräinen pituus on kolme vuotta ja optioille kaksi vuotta. Sopimukset käytetyn option kanssa ovat noin viisi vuotta. Hinnantarkastelu indeksin mukaan tehdään optiokauden alussa tai erikseen sovittuna ajankohtana. Kahdella vastaajista oli sopimus, johon ei kuulu erikseen optioita vastauksen mukaan. Toinen sopimus jatkuu toistaiseksi voimassa olevana ja toinen on pituudeltaan kuusi vuotta. Taulukossa 6 on esitetty huoltourakoissa käytetyt sopimuskannusteet ja niiden sisältö.

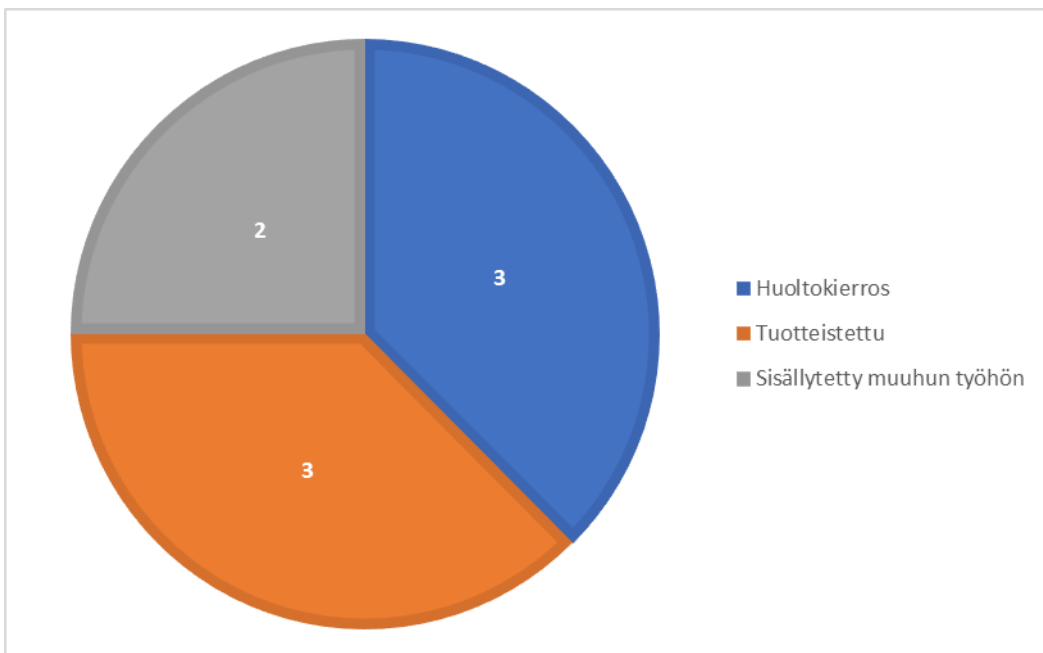
TAULUKKO 6. Sopimuskannusteet

Vastaaja	Bonukset	Sanktiot	Sisältyvät asiat
1	Kyllä	Kyllä	Bonuksia ja sanktiota ei eritelty. Energiankulutus. Vasteajat huolto- ja korjaustöissä sekä työturvallisuus.
2	Ei	Kyllä	Välitavoitteiden viivästyminen ja laatupoikkeamat.
3	Ei	Kyllä	Koko sopimuksen sisältö.
4	Kyllä	Kyllä	Bonuksia ja sanktiota ei eritelty. Viankorjaus, laskutus, prosessit, asiakaspalvelu/tyytyväisyys, sopimuksen seuranta, turvallisuus, kehittäminen ja projektit.
5	Ei	Kyllä	Huoltokierrokset esimerkiksi tekemättömäksi jääneet työt.
6	Ei	Kyllä	Laiminlyönnit sähkö- tai työturvallisuudessa. Toiminta vastoin ohjeistuksia tai määräyksiä. Laatupoikkeamat. Myöhästyminen työsuoritteissa tai laskutuksessa.
7	Kyllä	Kyllä	Bonukset: Rakentamishankkeissa poikkeamien määrällä on vaikutus maksettavan bonuksen suuruuteen. Sanktiot: Vikatehtävien korjaus-/vasteaika.
8	Ei	Ei	

Sanktiot ovat selvästi vakiintuneempi käytäntö kaupungeissa ja valtiolla kuin bonukset. Sanktioiden syinä olivat yleisimmin viivästyminen, laatupoikkeamat, viankorjaus, työturvallisuus ja vasteaika. Bonukset ovat vähemmän käytetty sopimuskannuste, jota ei vastauksissa ollut erikseen eritelty.

Kaikki vastaajat yhtä lukuun ottamatta edellyttivät urakoitsijalta varastointitilaa. kuusi vastaajaa vaati lämmintä varastointitilaa, joista kolme myös erillisen lämmittämättömän tilan. Varastojen koko ei ollut verrattavissa vastaajaan valaistusverkon kokoon. Tyypillisimmät varastoitavat materiaalit olivat yleisimmät asennustarvikkeet ja valaisimet. Urakoitsijan siirtymiset työkohteeseen on kaikilla vastaajilla sisällytetty yksikköhintoihin eikä matkoja korvata erikseen.

Valaisimien ja valoisuusmittausasemien puhdistuksen toimintavan vastausten jakautuminen toimintamalleihin on esitetty kuviossa 17. Puhdistus tuotteistettuna on toteutettu ryhmävaihtoalueittain kierron mukaan ja ryhmähuoltona omaisuudenhallinta järjestelmään määritellyn huoltoajankohdan mukaan erillisenä tilauksena sopimusurakoitsijalta. Yhtä toimintatapaa ei ole eritelty. Muuhun työhön sisällytetty puhdistus tehdään lampunvaihdon yhteydessä eikä erillistä puhdistusta ole käytössä. Valoisuusmittausasemien puhdistus toteutetaan erikseen tilattuna tai huoltokierrosten yhteydessä 1–3 vuoden välein tai tarvittaessa.



KUVIO 17. Valaisimien ja valoisuusmittausasemien puhdistuksen toimintamallit

Valaisinpylväiden tarkastuksen ja vaihtojen toimintatavat vastausten perusteella:

- erillisinä tarkastuksina
- koko valaistusverkon kattava tarkastus tietyllä ajanjaksolla
- valaisinvaihtojen yhteydessä
- ryhmävaihtojen yhteydessä ja toteutetaan tarvittaessa koko ryhmälle, mutta ei yksittäin

- ryhmävaihtojen yhteydessä
- erillinen tarkastus pylväiden ikätiedon ja silmämääräisen arvioinnin perusteella, mutta yksittäiset huonokuntoiset vaihdetaan kunnossapitotyönä ja laajemmissa vaihdoissa investointihankkeena
- erilliset tarkastukset ja vaihdot sopimuksen kuuluvina pylväsvaihtoina.

Maakaapelityöt on ajoitettu pääasiassa kaikilla vastaajilla sulan maan aikaan ennakkoon aikataulutetuna, mutta osa tekee myös pakollisia korjaustöitä routa-aikaan sulattamalla maata.

Taulukossa 7 on kuvattu poistettujen materiaalien omistuksen jakautuminen tilaajan ja urakoitsijan välillä.

TAULUKKO 7. Poistettujen materiaalien omistuksen jakautuminen

Vastaaja	Tilaajan	Urakoitsijan	Tarkennukset
1		X	Poistetut materiaalit urakoitsijan hävitettäväksi
2		X	Poistetut materiaalit urakoitsijan hävitettäväksi
3	X		-
4	X	X	Tilaaja määrittelee, muut poistetut materiaalit urakoitsijan hävitettäväksi
5	X	X	Valaisimet omistaa tilaaja, muut poistetut materiaalit urakoitsijan hävitettäväksi
6		X	Poistetut materiaalit urakoitsijan hävitettäväksi
7	X	X	Hyväkuntoiset materiaalit omistaa tilaaja, muut poistetut materiaalit urakoitsijan hävitettäväksi
8		X	Ei eritelty

Suurin osa vastaajista on sopinut poistettujen materiaalien hävittämisen olevan urakoitsijan tehtävä. Kolmella vastaajaa myös käytössä tiettyjen tai hyväkuntoisten materiaalien säilyttäminen tilaajan omistuksessa.

8.1.4 Valaisimien ohjaus

Valaisinkohtainen ohjaus on käytössä kolmella vastaajalla, jotka kokivat sen hyödylliseksi:

- vikatilanteiden selvityksessä
- valojen sytyttämisessä ja sammuttamisessa reaaliaikaisesti

- katuluokittain ohjelmoitavissa himmennystasoissa
- energiasäästöohjauksessa.

Vastaajista neljä oli testannut valaisinkohtaista ohjausta tai varautunut siihen NEMA- tai Zhaga-liittimillä, mutta ei ollut hyödyntänyt sitä koko valaistusverkkoon tai asentaneet erillistä valaisinkohtaista ohjausjärjestelmää.

Taulukossa 8 on vastaajien ohjausjärjestelmän vikaantumistilanteissa kulujen ja huoltovastuun jakaantuminen takuuajan jälkeen palveluntuottajan, urakoitsijan ja tilaajan kesken.

TAULUKKO 8. Kulujen ja huoltovastuun jakaantuminen

Vastaaja	Kulut	Huolto	Tarkennukset
1	Palveluntuottaja	Palveluntuottaja	Kokonaisvaltainen palvelu ohjausjärjestelmän toimittajalta
2	Tilaaja	Urakoitsija	Huollosta vastaa urakoitsija.
3	Tilaaja	Palveluntuottaja	Urakoitsija ilmoittaa vioista ohjausjärjestelmän toimittajalle ja tilaaja vastaa kuluista
4	Palveluntuottaja	Palveluntuottaja	Kokonaisvaltainen palvelu ohjausjärjestelmän toimittajalta
5	Palveluntuottaja	Palveluntuottaja	Kokonaisvaltainen palvelu ohjausjärjestelmän toimittajalta
6	Tilaaja	Palveluntuottaja	Tilaaja vastaa kuluista ja palveluntuottaja huollosta.
7	Tilaaja	Palveluntuottaja	Tilaaja vastaa kuluista ja palveluntuottaja huollosta.
8	Palveluntuottaja	Palveluntuottaja	Kokonaisvaltainen palvelu ohjausjärjestelmän toimittajalta

Vastaajilla on käytössä pääasiassa kahta eri toimintamallia ohjausjärjestelmien vikaantumisen hoitamiseksi. Puolella vastaajista on käytössä ohjausjärjestelmä kokonaispalveluna, joka kattaa vikaantumisen huollon ja kulut esimerkiksi kuukausimaksulla. Loput vastaajista tilaavat vikaantumistilanteissa erikseen palveluntuottajalta huoltotyön ja vastaavat itse kuluista. Huoltotyön tekijää ei kaikissa vastauksissa ollut eritelty, mutta yleinen malli oli, että sen hoitaa joko urakoitsija, jolla on sopimus ohjausjärjestelmäpalvelun tuottajan kanssa, tai palveluntuottaja itse.

Valaisimien liitälaitteen NFC-ohjelmointi oli käytössä osittain tai kaikissa uusissa valaisimissa kolmella vastaajalla, joista kahdella se on sisällytetty yksikköhintoihin ja yhdellä ei ole erillistä hinnoittelua. Loput vastaajista käyttivät tehtaalla esiohjelmoituja himmennysprofiileja liitälaitteissa, jotka kuuluvat valaisimen hankinnan hintaan.

8.1.5 Takuiden hallinta

Valaisimien takuut ja niiden korjaus ovat paljon valmistajasta ja tilaajasta riippuvaisia. Erilaisia sopimuksia ja käytäntömalleja on käytössä paljon. Taulukossa 9 on kuvattu vastaajien nykyisten valaisimien takuumallit.

TAULUKKO 9. Valaisimen takuut

Vastaaja	Valaisin	Urakoitsija	Takuun varmistaminen
1	60 kk	-	Ylläpitourakoitsija hoitaa osana vikojen hallintaa. Takuu 60 kk määritelty laatuvaatimukseen ja urakkaohjelmaan.
2	60 kk	-	Työn vastaanottopäivä merkitään omaisuudenhallintajärjestelmään.
3	-	-	Valaisimien normaalit tehdastakuut. Takuu merkintään omaisuudenhallintajärjestelmään, josta urakoitsija saa suoraan tiedon
4	60 kk	24 kk	Urakoitsija vaihtaa/korjaa vikaantuneet valaisimet takuuajana (24kk). Valaisinvalmistaja toimittaa uuden liitäntälaitteen tai valaisimen omana takuuajana (60kk). Jos urakoitsijan takuu on umpeutunut hoitaa ylläpitourakoitsija vikaantuneet valaisimet valaisinvalmistajan kanssa.
5	120 kk	24 kk	Urakoitsijan asennustyölle sopimus. Takuuta seurataan valaisimien QR-koodin avulla.
6	120 kk	-	Ei erillistä varmistusta takuulle.
7	-	-	Valaisimien normaalit tehdastakuut. Urakat määrittelevät takuun pituudet. Merkinnät kirjanpitoon.
8	-	-	Seurataan omaisuudenhallintajärjestelmästä. Valaisimien normaalit tehdastakuut, mutta hankinnoissa erikseen määritelty takuuajana.

Vastauksista kävi myös ilmi, että urakoitsijan 24 kuukauden takuu korjaukselle ja korjausvastuun siirtyminen ylläpidolle takuuajan jälkeen on koettu hyväksi toimintamalliksi, vaikka viallisia valaisimia

on ollut suhteellisen vähän. Takuiden hallinta oli myös yhdellä vastaajalla koettu haasteelliseksi valvoa. Vastauksista eivät käyneet ilmi kaikkien urakoitsijoiden takuut.

8.1.6 Elinkaarikustannukset ja omaisuudenhallinta

Kaasunpurkauslamppujen ja LED-valaisimien elinkaarikustannusten jakautuminen energia-, huolto-, kunnossapito- sekä investointikustannuksiin oli haasteellinen kysymys, ja tähän saatiin vain muutama vastaus, joissa energiakustannuksiksi kaasunpurkauslamppuille oli arvioitu 70–75 %.

LED-valaisimien osalta neljä vastaajaa arvioi, että energiakustannukset olivat 10–30 %. Kunnossapidon ja huollon osuudeksi arvioitiin 5–20 %. Investointikustannuksen osuudeksi yksi vastaajista arvioi 85 %. Useimmat vastaajista eivät ole laskeneet kyseisiä tekijöitä kummallekaan valaisintekniikalle niiden arvioinnin ollessa haastavaa muuttuvien tekijöiden takia. Myös LED-valaisimien huolto ei ole selkeää ja on siksi vaikea arvioida.

Useimmilla vastaajilla on käytössä keskitetty palautejärjestelmä erilaisina toimintamalleina seuraavasti:

- asiakaspalvelu → palautteet ohjautuvat oikeille palvelusopimuksille ja henkilöille
- palautejärjestelmä → palautteet urakoitsijalle
- palautejärjestelmä → palautteet urakoitsijalle ja tilaajalle
- palautejärjestelmä → kunnossapidon vastaavat käsittelevät → sopimusurakoitsija hoitavat viikatehtävät ja muut palautteet ohjautuvat suunnittelijoille ym.
- ylläpitopalveluntuottaja vastaa kokonaispalveluna. → osa palautteista tilaajalle urakoitsijan kautta.

Omaisuudenhallintajärjestelminä vastaajilla on verkkotietojärjestelmä Keylight, Trimble NIS tai Xpower. Muutamilla myös nimeämätön omaisuudenhallinta järjestelmä sekä verkkotietojärjestelmän tukena Excel-taulukot. Järjestelmien päivittämisen toimintamallit ja vastuut on esitetty taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Järjestelmien päivittämisen toimintamalli ja vastuut

Vastaaja	Päivittäjä	Tarkennus
1	Urakoitsija	Tehtyjen töiden osalta
2	Muu	Urakoitsija tekee muutosilmoituksen, mutta ei päivitä.
3	Urakoitsija	Muutokset sisältyvät sopimukseen. Isommat työt erikseen.
4	Urakoitsija	Sisältyy sopimukseen.
5	Urakoitsija	Ylläpitötöiden osalta. Sisältyy yksikköhintaan tai palvelumaksuun.
6	Urakoitsija	Sisältyy valaisinvaihdon yksikköhintaan.
7	Urakoitsija	Sisältyy suunnittelusopimuksen hintaa.
8	Urakoitsija	Päivittää muutokset tuntiveloituksena

8.2 Kysymykset valaisin- ja liitäntälaittevalmistajille

Valaisin- ja liitäntälaittevalmistajille sekä -toimittajille lähetettyyn kyselyyn vastasivat kaikki kolme, joita tavoiteltiin kyselyä varten.

8.2.1 Liitäntälaitteet

Laadukasta liitäntälaitetta kuvailtiin seuraavasti:

- elektronisten komponenttien hyvä suojaus lämmöltä ja kosteudelta
- lämmönhallinta kytkennän suunnittelussa
- ylijännitesuojaus
- standardien noudattaminen ohjauksessa (Zhaga ja DALI)
- erilaisten arvojen monipuolinen ohjelmoiminen
- akkreditoitujen testauslaboratorioiden hyväksyntä (esim. ENEC 10 tai VDE)
- liitäntälaitteen sopivuus käyttökohteeseen.

Yleisimmäksi syyksi liitäntälaitteen hajoamiselle mainittiin komponenttien rikkoutuminen, josta esille yksi vastaajista nosti elektrolyyttikondensaattorin.

Komponenttien rikkoutumiseen johtavia syitä voivat olla:

- kosteussuojan riittämättömyys valaisimen kotelointiluokkaan nähden
- voimakkaat ylijännitteet
- lämmönhallinnan puutteellisuus valaisimessa

- valaisimen huolto-ohjeen laiminlyöminen
- sähköstaattinen purkaus (ESD).

Kaksi vastaajista piti kunnossapidon toiminnan vaikutusta tärkeänä liitälaitteen ja valaisimen vi-
kaantumisen estämisessä. Esimerkiksi varomaton käsittely voi altistaa liitälaitteen sähköstaattiselle
purkaukselle ja valaisimen huoltamattomuus voi aiheuttaa riskin sen hajoamiselle.

Liitälaitteen osuudeksi valaisimen kokonaishinnasta arvioitiin 10–40 %, riippuen halutuista ominai-
suuksista. Liitälaitteen vaihdettavuus on valaisinkohtaista, mutta laite on yleensä helposti irrotetta-
vissa ruuveilla tai jopa ilman työkaluja. Valaisimen tiiveysluokka voi tehdä rakenteesta vaikeammin
huollettavan. Liitälaitteiden johtimet on yleensä kiinnitetty jousiliittimillä ja ne ovat näin helposti
irrotettavissa. Lisäksi liitälaitteisiin tallennetut tiedot, jotka ovat luettavissa myös vaurioituneesta
liitälaitteesta, helpottavat vaihtoa tekevän tahon työskentelyä.

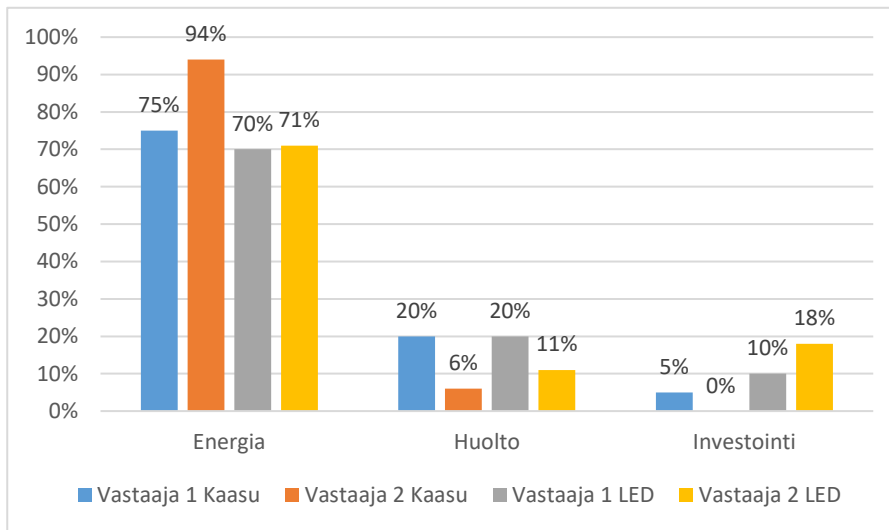
8.2.2 Valaisimet

Valaisimien korjaamista ja uudelleen käyttöä pidettiin kaikkien vastaajien vastauksissa hyvin todennä-
köisenä. Valaisimen kunnolla, hintaluokalla ja iällä on vaikutus siihen kannattaako valaisinta huoltaa.
Esimerkiksi puistovalaisimien liitälaitte voi olla haastava vaihtaa ja uusiminen on edullisempi ja kä-
tevämpi vaihtoehto. Pääasiassa valmistajat kuitenkin pyrkivät tarjoamaan tulevaisuudessa helposti
huollettavia laadukkaita valaisimia, joihin on tarjolla vaihto-osia sekä vanhempiin valaisimiin päivitys-
mahdollisuuksia. Kertakäyttöisten valaisimien vähentymistä pidettiin todennäköisenä ekologisista
syistä.

Valaisimien hankkimista palveluna tulevaisuudessa pidettiin todennäköisenä vaihtoehtona, mutta us-
kottiin ettei se täysin syrjäytä suoraostoa. Valaisimien ostoa palveluna pidettiin hyvänä etenkin hinta-
vissa katuvalaistusinvestoinneissa. Palvelun etuna voi olla mahdollisesti sopimukseen sisältyvät stan-
dardoidut liittimet valaisimissa, jotka keräävät dataa sensorien avulla, jolloin palvelusta saadaan va-
laistuksen lisäksi muitakin hyötyjä.

Uusien LED-valaisimien eliniäksi arvioitiin noin 25 vuotta/100 000 tuntia, kun valaisimien polttoaika
on 4000 tuntia vuodessa. Valmistajilta kysyttiin myös takuun jatkamisesta viidestä vuodesta 10 vuo-
teen ja sen vaikutuksesta valaisimen hintaan. Hinnankorotus on noin 3–7 % riippuen projektista.

Kaksi vastaajista arvioi kaasunpurkauslamppujen ja LED-valaisimien elinkaarikustannusten jakautuvan kuvion 18 mukaisesti.



KUVIO 18. Elinkaarikustannusten jakautuminen kaasunpurkauslamppuissa ja LED-valaisimessa

Energiakustannukset arvioitiin selkeästi korkeimmaksi kustannukseksi valaisimien elinkaaren aikana. Huollon osuuden elinkaarikustannuksista arvioitiin olevan noin 10–20 % LED-valaistuksen osalta. Kaasunpurkauslamppun investoinnin ja huollon osuus arvioitiin korkeaksi todennäköisesti tekniikan poistumisen takia. Elinkaarikustannusten jakautumiseen vaikuttavat suuresti käytetty valaisin, polttotunnit, ohjaus sekä sen hetkinen energianhinta. LED-valaisimien energiakulutus voi olla jopa neljä kertaa pienempi verrattuna vanhoihin tekniikoihin.

9 YHTEENVETO

Ulkovalaistusverkkoja erityisesti koskettava ROHS-direktiivi asettaa kaupungit ja ELY-alueet vaikeaan asemaan, kun kyselyyn vastanneissa kaupungeissa on valaisinten kokonaisuudesta kaasunpurkauslamppuja korvattu LED-valaisimilla keskimäärin 45 %. LED-valaistukseen siirtyminen vaatii valtavia investointeja nopealla aikataululla kaasunpurkauslamppujen poistuessa markkinoilta vuonna 2027. Lampunvaihto tai saneerausinvestointi merkitsee myös paljon työtä huolto- ja kunnossapitourakoinnille.

LED-tekniikan yleistyessä valaistuverkoissa on huomioitava, että mahdollisesti rikkoutuvia osia valaisimissa on jopa enemmän kuin ennen. Perinteisten tekniikoiden osalta vaihtotyössä riitti yleensä lampunvaihto, mutta nyt on myös huomioitava LED-valaisimien liitäntälaitteet, LED-moduulit ja ohjausjärjestelmään liittyvät laitteet ja komponentit.

9.1 Vaihtotyö

Valaisimien tai lampun vaihtaminen on osittain riippuvaista kohteesta ja nykyisestä valaisimesta, johon vaihtotyö aiotaan tehdä. Ennen vaihtotyön suorittamista pitää tehdä paljon ennakkoselvityksiä kohteista ja valaisimien soveltuvuudesta kohteeseen. Esimerkiksi huonokuntoiset pylväät, valaisinrungot tai ikääntynyt kaapelointi voivat aiheuttaa lisätöitä huollolle, vaikka vanhan valaisimen tilalle asennetaan uusi LED-valaisin tai LED-lamppu. Tähän perustuen on suositeltavaa uusien huonokuntoisimmat kohteet erillishankintana uusilla LED-valaisimilla, jotka ovat ominaisuuksiltaan helposti huollettavissa. Uusissa LED-valaisimissa tulisi olla valmius valaisinkohtaiseen ohjaukseen. Samalla voidaan tarvittaessa uusien pylväät ja kaapelointi. Valaisinvaihdossa tulee huomioida myös puupylväiden valaisinvarren katkaisu, jos varsi on kaksi metriä tai pidempi ja se ylittää tien reunan. Katuvalaisimet riippumatta niiden tekniikasta vaativat huoltokierroksen, jonka yhteydessä kannattaa vaihtaa elinkaarensa päättäneet ja vikaantuneet valaisimet sekä tehdä puhdistukset ja kuntotarkastukset valaisimelle.

9.2 LED-lamppu

Kaasunpurkauslamppujen korvaaminen LED-lampuilla on edullinen vaihtoehto, koska koko valaisinta ei tarvitse vaihtaa ja niiden elinkaari on melko pitkä, jopa 50 000 tuntia. LED-lamppu sopii hyvin ti-

lanteisiin, jossa valaistusverkossa on vielä paljon perinteisen tekniikan valaisimia, jolloin kertainvestoinnin hinta tai valaisimien ostaminen palveluna koko ulkovalaistusverkolle lyhyellä ajalla on kallista. LED-lamppujen vaihtaminen kaasunpurkauslamppujen tilalle vaatii silti perehtymistä niiden soveltuvuuteen käyttökohteeseen seuraavissa asioissa:

- toimiiko olemassa olevien sytyttimien ja kuristimien kanssa
- himmennys
- paino ja koko
- soveltuvuus eri lampun asentoihin (pysty ja vaaka)

Soveltuvuuden testaaminen vaihdettavaan valaisimeen LED-lampun kohdalla on perusteltua ja tulee ottaa huomioon ennen suurempaa tilausta. Soveltuvuuden testaaminen voi kuitenkin kuormittaa huolto- ja kunnossapitohenkilöstöä, koska sekä valaisimia että katuja on erilaisia. Testauksen voisi sisällyttää huoltokierrosten yhteyteen valaisimille, joiden elinkaari on loppumaisillan sisältäen edellä mainittujen asioiden tarkastamisen. Tähän voisi käyttää jo varastossa mahdollisesti valmiiksi olevia LED-lamppuja vaihtoehtoina ennen uusien tilausta. Työhön tulee sisällyttää tarkka dokumentointi LED-valaisimen tai LED-lampun ja valaistavan kohteen tiedoista, jolloin tulevaisuudessa yhteensopivuuksien löytyminen helpottuu.

9.3 LED-valaisimet

LED-valaisimien elinkaari on noin 25 vuotta, joka on kaksinkertainen LED-lamppuun verrattuna. Oikein kohteeseen suunniteltu LED-valaisin on pitkäikäinen ja täyttää hyvin erilaisten kohteiden vaatimukset. LED-valaisimet ovat hinnaltaan huomattavasti kalliimpia ja vaativat lisäksi enemmän asennustyötä mutta mahdollistavat Zhaga- tai NEMA-liittimen kanssa valaisinkohtaisen ohjauksen sekä himmennysprofiilin käytön valaisimissa. LED-valaisimien valinnassa tulisi kiinnittää erityisesti huomiota huollettavuuteen ja laatuun. Esimerkiksi valaisimen sähkökomponentteihin päästään ilman työkaluja käsiksi sekä sähkönsyötön katkeaminen valaisimesta automaattisesti, kun kytkentäluukku avataan. NFC-ohjelmoinnin mahdollisuus on myös iso etu huollettavuuden ja valaisimien kierrätettävyyden kannalta. NFC-ohjelmointi olisi hyvä sisällyttää valaisimen vaihdon hintaan.

9.4 Liitäntälaitteet

Liitäntälaitteet ovat kehittyneet kestävämmiksi, mutta ne tulee valita käyttökohteen mukaisesti ja vaativat erityistä huolellisuutta niiden elinkaaren alkuvaiheessa, jolloin ne ovat alttiimmillaan vikaantumiselle. Yleisimmät syyt hajoamiselle ovat heikot komponentit, minkä vuoksi liitäntälaitteen valinnassa tulee olla erityisen tarkkana ja huomioida takuuehdot. Väärin tai huolimattomasti kytketty liitäntälaitte voi hajota takuuajana, jolloin sen korvattavuus ei ole itsestään selvä asia, jos takuuehdot liitäntälaitteen valmistajaan tai huoltourakoitsijaan eivät ole kunnossa. Valaistuksen polttotunnit vaikuttavat vikaantumisen ajankohtaan elinkaaren aikana. Esimerkiksi 4000 tuntia vuodessa päällä olevan LED-valaisimen huonosti asennettu liitäntälaitte vikaantuu yleisimmin noin 10 000 tunnin kohdalla eli 2,5 vuotta käyttöönotosta. Pahimmassa tapauksessa liitäntälaitte hajoaa urakoitsijan takuuajan jälkeen johtuen huolimattomasta asennuksesta ja kulut jäävät tilaajan maksettavaksi. Liitäntälaitteen huollossa- ja kunnossapidossa tulee kiinnittää huomiota seuraaviin asioihin:

- liitäntälaitteen kytkeminen ohjeiden mukaisesti ja huolellisesti
- liitäntälaitteen varovainen käsittely ja kuljetus
- oikea liitäntälaitte ja sen ohjelmointi käyttötarkoituksen mukaan.

9.5 Sopimuskannusteet, takuiden- ja omaisuudenhallinta

Valaisimille on mahdollista saada jopa 10 vuoden takuu. Valaisin ja liitäntälaittevalmistajat eivät korvaa väärin asennettuja tai huolimattomasti käsiteltyjä liitäntälaitteita, jolloin urakoitsijan takuu tulisi olla vähintään 36 kuukautta. Vikaantuneesta liitäntälaitteesta saadaan luettua tieto vikaantumisen syyistä. Uusimpien liitäntälaitteiden elinkaaren on ilmoitettu kestävän oikein asennettuna 100 000 tuntia, jolloin pitemmät urakoitsijan takuut ovat perusteltuja. Takuiden merkitseminen omaisuudenhallintajärjestelmään on erittäin tärkeää, jolloin valaisimet, joiden takuuajaksi on päättymässä, voidaan tarkastaa mahdollisten vikojen varalta, jos käytössä ei ole vikaantumisesta ilmoitettavaa valaisinta.

Sopimuskannusteiden käyttäminen hyödyksi työnlaadun parantamiseksi on suositeltavaa. Jyväskylässä bonukset ovat pienentäneet huollon vasteaikoja. Tulevaisuudessa liitäntälaitteiden koon, kiinnityksen ja kytkennän standardointi helpottaisi varastointia ja omaisuudenhallintaa, kun erilaisten mallien määrä vähenisi. Valaisimen tai liitäntälaitteen tilaajan tulee kiinnittää huomiota siihen, että liitäntälaittemalli on sertifioitu, jolloin laitteesta löytyy selkeästi esimerkiksi merkintä ”D4i”, jolloin voidaan varmistua yhteensopivuudesta muiden komponenttien kanssa.

9.6 Ohjausjärjestelmä

Valaisinkohtainen ohjaus LED-valaisimella voi vähentää kaupunkien huoltotöiden määrää, kun valaisimet kykenevät itse ilmoittamaan vikaantumisesta, jolloin ylläpidon työt suoraviivaistuvat. Nykyisillä ohjausjärjestelmillä saadaan erittäin paljon tietoa valaisimelta, mutta tiedon hyödyntäminen huollon- ja kunnossapidon eduksi vaatii vielä paljon työtä. Silti on suositeltavaa varautua valaisinkohtaisella ohjauksella, koska sillä on todennäköisesti merkittävät edut valaistuksen ylläpidon kannalta myöhemmin, kun valaistusverkot ovat siirtyneet täysin LED-tekniikkaan. Ohjausjärjestelmän vikaantumisesta ilmoittaminen on hyvä sisällyttää huoltotuotteisiin, jos järjestelmää ei ole hankittu kokonaispalveluna tai vikaantumisen ilmoituksia ei saada järjestelmästä välitettyä erikseen huoltotyön hoitavalle taholle. Vastuut ohjausjärjestelmän soveltuvuudesta käyttökohteeseen on hyvä selvittää. Esimerkiksi syrjäisissä kohteissa mobiiliyhteys voi olla puutteellinen ja tämä estää tai heikentää ohjausjärjestelmän toimintaa. Yhteyksien toimimisen testaaminen on hyvä ottaa huomioon huoltokierrosten yhteydessä, jos se ei valmiiksi jo sisälly palveluntoimittajan kokonaispalveluun.

9.7 Huoltopalvelut

Useimmat palveluista ovat samoja kuin edellisissä Jyväskylän huoltourakoissa, mutta muutama uusi vaihtotyöhön ja LED-tekniikkaan liittyvä tehtävä on sisällytetty palveluihin. Alla on esitetty palveluita, joiden olisi hyvä sisältyä huolto- ja kunnossapitotyöhön seuraavassa huoltourakassa:

Huoltopalvelut:

- keskustarkastus ja varmuuspariston vaihto
- puupylväiden lahoisuustarkastus
- metallipylväiden tarkastus
- valaisinpylvään oikaisu
- harusten kunnan tarkastaminen
- valaisimen kiinnityksen ja suuntauksen korjaaminen
- LED-lampun soveltuvuuden tarkastaminen
- valaisimien puhdistaminen ja valaistusta haittaavan kasvillisuuden poisto.

Kunnossapitopalvelut:

- LED-valaisimen vaihtotyö
- rikkoutuneen liitäntälaitteen vaihto ja uuden ohjelmointi (mm. himmennysprofiili)

- lampun vaihtotyö
- SpNa-lamppu 50–250 W (materiaali) vain varastoidut
- monimetallilamppu 50–150 W (materiaali) vain varastoidut
- kuristin SpNa-valaisimeen vaihtotyön yhteydessä (sisältää komponentin ja sen asennuksen) vain varastoidut
- sytytin (sisältää komponentin ja sen asennuksen) vain varastoidut
- sytyttimen ja kompensointikondensaattorin ohitus
- tulppasulakkeen vaihto viankorjauksen yhteydessä (sisältää komponentin ja sen asennuksen)
- uuden tai käytetyn valaisimen vaihto urakoitsijan tai tilaajan varastosta (sisältää vanhan valaisimen hävittämisen)
- Zhaga - tai NEMA-ohjaimen asennus ja vaihtotyö
- ohjausjärjestelmän vikaantumisesta ilmoittaminen ja vian korjaaminen
- ilmakaapeli vikojen korjaus
- maakaapeli vikojen korjaus
- pylvään kytkentäluukun korjaaminen
- sähköasentajatyö
- kuorma-auto + henkilönostin
- pakettiauto PA
- kaivinkone KKHp 6–13 t
- kuorma-auto KA.

Huolto- ja kunnossapitopalveluiden tulisi sisältää edellä mainittujen lisäksi jätteiden kierrätyksen, liikenteenohjauksen ja raportoinnin tehdyistä töistä sekä isompien töiden tarpeesta omaisuudenhallintajärjestelmään.

10 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada tietoa, miten LED-tekniikkaan siirtyminen vaikuttaa huolto- ja kunnossapitotyöhön Jyväskylässä. Työssä selvitettiin myös lyhyesti mitä työtehtäviä huolto- ja kunnossapitotuotteisiin olisi hyvä sisällyttää, koska Jyväskylän huoltourakka-alueiden sopimukset ovat päättymässä ja kaikki nykyiset palvelut eivät ole enää tarpeellisia uutta sopimusta tehdessä.

Tutkimuksen aikana toteutetussa kyselyssä selvisi, että useilla kyselyyn vastanneilla on edelleen käytössä paljon kaasunpurkausvalaisimia sekä ohjausjärjestelmien hyödyntäminen valaisinkohtaisella ohjauksella on vielä vähäistä. Tulevaisuudessa tekniikan vaihduttua kokonaan ulkovalaistusverkon huoltokierrosten määrää voidaan todennäköisesti vähentää ja pidentää huoltoväliä, jolloin ohjaus- ja omaisuudenhallintajärjestelmien merkitys kasvaa, kun huolto- ja kunnossapito toimenpiteitä voidaan ennakoita sekä tehdä tarvittaessa, kun vikaantumisesta saadaan tietoa lähes reaaliajassa.

Ohjausjärjestelmien vikaantumisen syistä tai ohjauksen soveltuvuudesta tietynlaiseen kohteeseen ei tässä opinnäytetyössä otettu kantaa. Ohjausjärjestelmien kohdalla olisi hyvä erotella selkeästi mahdolliset vikaantumiset ja niitä koskevat vastuualueet eri toimijoiden kesken. Jatkotutkimuksena voisi tutkia valaisinkohtaisia- ja IoT-pohjaisia ohjausjärjestelmiä sekä niiden hyödyntämistä huolto- ja kunnossapitotyössä.

Opinnäytetyössä onnistuttiin selvittämään tutkimuskysymysten keskeisimmät asiat ja tutkimuksen tavoitteet voidaan katsoa saavutetuiksi. Tutkimuksesta saatua tietoa voidaan hyödyntää huoltourakoiden kilpailutuksissa, kaupunkien valaistusverkkojen suunnittelussa sekä huolto- ja kunnossapitotyössä. Aihe osoittautui erittäin haastavaksi, koska ulkovalaistuksen ja LED-tekniikan huollosta on hyvin vähän tutkimuksia tai yksityiskohtaisia ohjeistuksia ja aihe on hyvin laaja. Kaupungeille ja ELY:lle lähettettyjen kysymyslomakkeiden vastauksilla sain hyvän tietopohjan nykyiselle ulkovalaistusverkkojen huollon- ja kunnossapidon toimintamallille. Valaisin- ja liitäntälaittevalmistajien sekä -toimittajien kyselystä selvisivät hyvin tekniikan vaatimukset ja heikkoudet, joita tulee huomioida huollossa. Kyselylomakkeet olivat kuitenkin pitkiä ja niitä olisi voinut tiivistää ja lähettää useammalle taholle laajemmän näkökulman saamiseksi aiheeseen. Kysymyslomakkeen tukena olisi voinut myös tehdä erillisiä haastatteluita yksityiskohtaisemman tiedon saamiseksi. Kokonaisuutena opinnäytetyö on onnistunut ja kasvatti paljon omaa tietämystäni huollon- ja kunnossapidon tilanteesta, vaatimuksista sekä kehittymisen suunnasta.

LÄHTEET

1000Bulbs. 2014. *Understanding LED Drivers*. Saatavissa: <https://www.1000bulbs.com/pdf/understanding-led-drivers.pdf>. Viitattu 10.11.2022.

ABB Oy. *TTT-käskirja 2000–07, Luku 21 Valaistustekniikka*. Helsinki: ABB OY. Saatavissa: http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/21_Valaistustekniikka.pdf. Viitattu 11.11.2022.

Addoptics 2020. *Lighting optics and LED optics*. Saatavissa: <https://www.addoptics.com/optics-explained/lighting-optics/>. Viitattu 6.12.2022.

AGC Lighting. 2021. *All You Want to Know about RGBW LED Light*. Saatavissa: <https://www.agcled.com/blog/all-you-want-to-know-about-rgbw-led-light.html>. Viitattu 6.12.2022.

Borg, S. 2012. *Numerotulosten esittäminen ja taulukkojen laatiminen*. KvantiMOTV - Kvantitatiivisten menetelmien tietovaranto. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Saatavissa: <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/raportointi/numerotulokset.html>. Viitattu 21.10.2022.

Borg, S., Paaso, E., Mattila, M. & Sivonen, S. 2010. *Kyselylomakkeen laatiminen*. KvantiMOTV – Kvantitatiivisten menetelmien tietovaranto. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Saatavissa: <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kyselylomake/laatiminen.html>. Viitattu 21.10.2022.

Catchpole, J. 2021. *The Value of Two-Node Architecture in Street Lighting*. Saatavissa: <https://www.mouser.com/blog/value-of-two-node-architecture-street-lighting>. Viitattu 22.01.2023.

Credigo. 2019. *NFC mullistaa arjen*. Saatavissa: <https://www.credigo.fi/uutisia/2018/nfc/>. Viitattu 2.12.2022.

Commission Regulation. (EU) 2019/2020. Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2019.315.01.0209.01.ENG&toc=OJ:L:2019:315:TOC. Viitattu 6.10.2022.

DALI Alliance a. *About the DALI Alliance*. Saatavissa: <https://www.dali-alliance.org/alliance/>. Viitattu 3.11.2022.

DALI Alliance b. *D4i overview*. Saatavissa: <https://www.dali-alliance.org/d4i/>. Viitattu 3.11.2022.

Eeva, T & Ekrias, A. 2022. *Vantaan kaupungin ulkovalaistuksen suunnitteluohje*. Saatavissa: <https://www.vantaa.fi/sites/default/files/document/Vantaan-kaupungin-ulkovaistuksen-suunnitteluohje-1.2.2022.pdf>. Viitattu 12.11.2022.

Ensto. 2008. *Perussuureet*. Kuvat.

Espoon kaupunki. *Katuvalot ja ulkovalaistus*. Saatavissa: <https://www.espoo.fi/fi/palvelut/katuvalot-ja-ulkovaistus>. Viitattu 17.12.2022.

Euroopan komissio. 2022. *Restriction of Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS)*. Saatavissa: https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/rohs-directive_fi. Viitattu 2.10.2022.

- Fagerhult a. *Valaistuksen kokonaisvaikutelma ja valon väri*. Osaamiskeskus. Saatavissa: <https://www.fagerhult.com/fi/osaamiskeskus/LED/Valaistuksen-kokonaisvaikutelma-ja-valon-vari/>. Viitattu 8.12.2022.
- Fagerhult b. *Led-valaisimien elinikä*. Osaamiskeskus. Saatavissa: <https://www.fagerhult.com/fi/osaamiskeskus/LED/Led-valaisimien-elinika/>. Viitattu 17.11.2022.
- Fagerhult c. *Liitäntälaitte*. Osaamiskeskus. Saatavissa: <https://www.fagerhult.com/fi/osaamiskeskus/LED/Liitantalaitteet/>. Viitattu 8.12.2022.
- Fagerhult d. *Zhaga/Nema*. Osaamiskeskus. Saatavissa: <https://www.fagerhult.com/fi/osaamiskeskus/LED/zhaganema/> Viitattu 4.11.2022.
- Gagnon, E. 2016. *Quick guide to lighting related color temperatures*. Saatavissa: <https://www.eled-lights.com/blogs/articles/a-quick-guide-to-lighting-related-color-temperatures>. Viitattu 14.11.2022.
- Gil-de-Castro, A., Moreno-Munoz, A. Larsson, A. de la Rosa, JJG. & Bollen, MHJ. 2012. LED street lighting: A power quality comparison among street light technologies. *Lighting Research & Technology*. 2013; 45: 710–728. Saatavissa: <https://doi.org/10.1177/1477153512450866>. Viitattu 5.11.2022.
- Greenled Oy. *Sovellusohje aluevalaistus*. Saatavissa: https://greenled.fi/wp-content/uploads/2017/08/aluevalaistus-sovellusohje_greenled-v1.2.pdf. Viitattu 13.11.2022.
- Greenled Oy. 2019. *Moderni katuvalaistus mukautuu tarpeisiin*. Saatavissa: <https://greenled.fi/ajankohtaista/moderni-katuvalaistus-mukautuu-tarpeisiin/>. Viitattu 6.10.2022.
- Industry Standards and Technology Organization. 2016. *Zhaga Consortium*. Saatavissa: https://iee-isto.org/member_programs/zhaga-consortium/. Viitattu 3.11.2022.
- International Dark-Sky Association. *Light Pollution*. Saatavissa: <https://www.darksky.org/light-pollution/>. Viitattu 13.11.2022.
- International Energy Agency. 2022. *International Energy Agency: Lighting tracking report*. Saatavissa: <https://www.iea.org/reports/lighting>. Viitattu: 8.12.2022.
- Intel. 2017. *Smart Street Lights for Brighter Savings and Opportunities*. Saatavissa: <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/solution-briefs/smart-street-lights-for-brighter-savings-solutionbrief.pdf>. Viitattu 11.12.2022.
- Jyväskylän kaupunki. *Tilannetyökalu*. Saatavissa: <https://experience.arcgis.com/page/landing>. Viitattu 29.9.2022.
- Jyväskylän kaupunki. 2018a. *Jyväskylän kaupungin ulkovalaistutuksen itäisen alueen hoito- ja kunnossapitotyöt 2019–2024: tehtäväkortit*. PDF-dokumentti. Jyväskylä.
- Jyväskylän kaupunki. 2018b. *EU-hankintailmoitus tarjouspyyntö LIIVI300807: Ulkovalaistuksen hoito- ja kunnossapitourakka 2019–2024 Jyväskylän läntinen huoltoalue*. Jyväskylän kaupunki/kaupunkirakenteen toimiala. Tarjouspyyntö. Jyväskylä.
- Jyväskylän kaupunki. 2021. *Ulkovalaistuksen huollon vuosikello 2021*. PDF-dokumentti. Jyväskylä

- Kaanaa, L., Junttila, U-K. & Saastamoinen, S. 2015. Valaistuksen tavoitteet ja periaatteet. *Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 2015:1*. Saatavissa: https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/2015/ulkovalaistus/ulkovalaistuksen_tarveselvitys_web.pdf. Viitattu 20.10.2022.
- Kallasjoki, T. 2021. Valonlähteitä ja liitäntälaitteita koskevat ekosuunnitteluvaatimukset yhteen asetukseen. *VALO* 1, 6–8.
- Kaukola, O. 2022. *Raportointi katuvalaistusverkossa*. Saatavissa: <https://blog.keypro.fi/fi-fi/blog/raportointi-katuvalaistusverkoissa?hsLang=fi-fi>. Viitattu 17.12.2022.
- LEDiL. *Guide to tir lenses*. Saatavissa: <https://www.ledil.com/support/guide-to-tir-lenses/>. Viitattu 13.11.2022.
- LEDiL. 2022. *Guide for street lighting optics*. Saatavissa: https://www.ledil.com/wp-content/uploads/2022/09/Guide_for_Street_lighting_optics_v1.0_2022_WEB.pdf. Viitattu 13.11.2022.
- Ledvance a. *VIALOX NAV-E SUPER XT*. Saatavissa: <https://www.ledvance.fi/ammattikaeyttee/tuotteet/lamput/purkauslamput/suurpainenatriumlamput-avonaisiin-ja-suljettuihin-valaisimiin/suurpainenatriumlamput-avonaisiin-ja-suljettuihin-valaisimiin-c7305>. Viitattu 19.11.2022.
- Ledvance b. *HQL LED PRO-lamput ulkovalaistukseen*. Saatavissa: <https://www.ledvance.fi/ammattikaeyttee/tuotteet/tuotetarinat/led-lamput-ulkovalaistukseen>. Viitattu 19.11.2022.
- Light Adviser. 2021. *How long do LED lights last? LED Lifespan Explained*. Saatavissa: <https://lightadviser.com/how-long-do-led-lights-last/>. Viitattu 17.11.2022.
- Liikennevirasto. 2015. *Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu*. Liikenneviraston ohjeita 16/2015. Helsinki. Liikennevirasto. Saatavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2015-16_maantie_rautatiealueiden_web.pdf. Viitattu 30.9.2022.
- Motiva. 2022. *Valaistuksen huolto*. Saatavissa: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/valaistustieto/valaistuksen_huolto. Viitattu 19.12.2022.
- National Electrical Manufacturers Association. *About the National Electrical Manufacturers Association*. Saatavissa: <https://www.nema.org/about>. Viitattu 4.11.2022.
- Nevalainen, M. 2018. *Ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmän teknisten ja toiminnallisten vaatimusten kehittäminen*. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu. YAMK Opinnäytetyö. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/140804/Nevalainen_Miikka.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 9.12.2022.
- Nodeon. Älykkäät kaupungit. Saatavissa: <https://www.nodeon.com/palvelut/smart-city-tuotteet-ja-palvelut>. Viitattu 11.12.2022.
- Nodeon. 2022. *Nodeon toimintajärjestelmä*. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- Northeast Group llc. 2022. *The Benefits of LED & Smart Street Lighting: A Performance Benchmark of US Cities*. Saatavissa: <https://northeast-group.com/wp-content/uploads/2022/01/CityLab-Northeast-Group-the-benefits-of-led-and-smart-street-lighting.pdf>. Viitattu 9.12.2022.

- Oracle. *What is IoT?*. Saatavissa: <https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/>. Viitattu 11.12.2022.
- Osram. 2021. *NFC technology*. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.osram.com/ds/dc/index.jsp>. Viitattu 2.11.2022.
- Oulun kaupunki. 2022a, *Tehtäväkortti 7310 Valaisimienvaihto*. PDF-dokumentti. Yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut, kadut ja liikenne.
- Oulun kaupunki. 2022b, *Tehtäväkortti 7135 Ulkovalaistuksen huoltokierros*. PDF-dokumentti. Yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut, kadut ja liikenne.
- Philips. 2019a. *Xitanium Reliable, high-performance technology for extreme LED applications*. Saatavissa: https://www.docs.lighting.philips.com/en_gb/oem/download/xitanium-led-drivers-outdoor/141562_Commercial_Leaflet_Xitanium_Xtreme-drivers_A4_LR2.pdf. Viitattu 10.11.2022.
- Philips. 2019b. *Reliability and lifetime of Outdoor LED systems*. Saatavissa: <https://www.assets.signify.com/is/content/PhilipsLighting/Assets/philips-lighting/united-kingdom/20190805-led-driver-life-time-reliability-white-paper.pdf>. Viitattu 17.11.2022.
- Philips. 2019c. *Redefining the standard in road lighting: Introducing Luma gen2*. Saatavissa: https://www.lighting.philips.com/api/assets/v1/file/PhilipsLighting/content/19d1512327914e129576aa9b009e7982/2019-0184-SIG_Luma_gen2.pdf. Viitattu 14.12.2022.
- Philips. 2022a. *Xitanium LED Xtreme drivers Reliable Xtreme technology for demanding LED applications*. Saatavissa: https://www.docs.lighting.philips.com/en_gb/oem/download/xitanium/SIG_Xitanium_LED_Xtreme_driver_DIG_A15.pdf. Viitattu 10.11.2022.
- Philips. 2022b. *TrueForce Core LED*. Saatavissa: <https://www.assets.signify.com/is/content/PhilipsLighting/Assets/philips-lighting/finland/20220921-trueforce-core-led-road-esite.pdf>. Viitattu 19.11.2022.
- Piispanen, J. 2018. *Jyväskylän kaupungin ulkovalaistuksen läntisen hoito- ja kunnossapito urakan 2019–2024 urakkaohjelma*. PDF-dokumentti.
- Piispanen, J. 2022. Opinnäytetyö huoltotyön tuotteistaminen. Yksityinen sähköposti. 8.9.2022. Viestin saaja Vilppu Vesalainen.
- Rantakallio, A. 2011. *Suomen tieverkko, nykyaikaiset valaistusvaihtoehdot ja käyttäjätutkimus ledivalaistukselle*. Espoo: Aalto-yliopisto Sähkötekniikan korkeakoulu. Diplomityö. Saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2011/urn100424.pdf>. Viitattu 19.11.2022.
- Routio, P. *Luokittelu*. Tuotetiede. Taideteollisen korkeakoulun virtuaaliyliopisto. Saatavissa: http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/tuotetiede/html_files/14113_totea.html. Viitattu 21.10.2022.
- Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2006. *Mitä laadullinen tutkimus on*. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Saatavissa: https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L1_2.html. Viitattu 20.10.2022.

Saari, J. 2020. *Tie-, katu ja ulkovalaistussuunnittelun ohjeistus*. Powerpoint. Yrityksen sisäinen dokumentti.

Scully, T. 2021. *LED Optics Explained*. Saatavissa: <https://www.ledsupply.com/blog/led-optics-explained/>. Viitattu 2.11.2022

Siteco. 2021. *Sirius*. Saatavissa: https://www.siteco.com/aset/de_en/en/PDF/313689/5XA7100W20A32DA.pdf. Viitattu 10.12.2022.

ST57.40. *Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät*. 2017. ST-ohjekortti. Sähkötieto. Saatavissa: <https://severi.sahkoinfo.fi/>. Viitattu 8.9.2022.

ST58.08. *Valonlähteet*. 2021. ST-ohjekortti. Sähkötieto. Saatavissa: <https://severi.sahkoinfo.fi/>. Viitattu 8.9.2022.

Steinbach, R., Perkins, C. Tompson, L. Johnson, S. Armstrong, B. Green, J. Grundy, C. Wilkinson, P & Edwards, P. 2015. The effect of reduced street lighting on road casualties and crime in England and Wales: controlled interrupted time series analysis. *J Epidemiol Community Health* 2015; 69:1118–1124. Saatavissa: DOI:[10.1136/jech-2015-206012](https://doi.org/10.1136/jech-2015-206012) Viitattu 17.11.2022.

SuperLED. LED valaisimien värintoistoindeksi (CRI/Ra). Saatavissa: <https://www.superled.fi/page/87/led-valaisimien-varintoistoindeksi-crira>. Viitattu 8.12.2022.

TE connectivity. 2019. *Lumawise streetlight dimming and control quick reference guide*. Saatavissa: https://www.sager.com/resources/common/userfiles/file/Brochures/TE/TE_Connectivity_Lumawise_SelectorGuide.pdf. Viitattu 4.11.2022.

Teknologiaateollisuus. 2019. *Näin vertaillet ledivalaisimia 3.0*. Helsinki. Saatavissa: https://teknologia-teollisuus.fi/sites/default/files/2019-12/N%C3%A4in%20vertaillet%20ledivalaisimia%203.0_2019.pdf. Viitattu 16.12.2022.

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

U.S. Department of Energy. 2013. *Energy Efficiency of LEDs*. Saatavissa: https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/led_energy_efficiency.pdf. Viitattu 8.12.2022.

Virtanen, M. 2022. Ledit leikkaavat katujen pimeyttä ja sähkölaskua. *Tekniikan Maailma* 20, 74–79.

Wilbur, M, & Poplawski, M. 2015. Outdoor Lighting control system fundamentals. Saatavissa: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/outdoor-lighting-control-system-fundamentals_1.pdf. Viitattu 5.11.2022.

Zhaga Consortium a. Book Development and Approval. Saatavissa: <https://zhagastandard.org/books/book-development.html>. Viitattu 3.11.2022.

Zhaga Consortium b. Book 18: Smart interface between outdoor luminaires and sensing / communication modules. Saatavissa: <https://zhagastandard.org/books/overview/smart-interface-between-outdoor-luminaires-and-sensing-communication-modules-18.html>. Viitattu 3.11.2022.



University of Applied Sciences
ammattikorkeakoulu

Kysymykset kaupungeille ja ELY-keskuksille Huoltotyön tuotteistaminen (Opinnäytetyö)

Pakolliset kysymykset merkitty tähdellä (*)

Yleiset tiedot eivät tule näkyviin opinnäytetyöhön eikä vastauksia yhdistetä henkilöihin tai kuntiin ilman yhteyshenkilöltä saatua lupaa. Henkilötiedot poistetaan kokonaan ajastetusti 31.1.2023.

1. Yleiset tiedot

Kunta *

Yhteyshenkilö *

Puhelinnumero

Sähköposti



2. Ulkovalaistuksen tiedot

Valaisinten määrä
kpl *

Led-valolähteiden
osuus kpl *

Valaisinten
polttoaika
vuodessa tunteina
*



Valaisinvaihdot



University of Applied Sciences
ammattikorkeakoulu

Kysymykset valaisin ja liitäntälaittevalmistajille/toimittajille Huoltotyön tuotteistaminen (Opinnäytetyö)

Pakolliset kysymykset merkitty tähdellä (*)

Yleiset tiedot eivät tule näkyviin opinnäytetyöhön eikä vastauksia yhdistetä henkilöihin tai yrityksiin ilman yhteyshenkilöltä saatua lupaa. Henkilötiedot poistetaan kokonaan ajastetusti 31.1.2023.

1. Yleiset tiedot

Yritys *

Yhteyshenkilö *

Matkapuhelin

Sähköposti

Liitäntälaitte

2. Millainen on valaisimen laadukas liitäntälaitte, jolla varmistetaan pitkäikäisyys, eri tehoille ohjelmoitavuus ja yhteensopivuus erilaisten valaisinkohtaisten ohjainlaitteiden kanssa? *

Valaisimet ja elinkaari

5. Onko valaisimen korjaaminen tulevaisuudessa todennäköistä vai tuleeko käyttöön ns. kertakäyttövalaisimia? *

6. Kuinka todennäköisenä pidätte, että valaisimet ostetaan tulevaisuudessa palveluna? (Esimerkiksi 20-vuoden ajanjaksolle) *
