jamk

Älykkään katuvalaistuksen suunnittelu uudiskohteeseen

Daniel Hugg

Opinnäytetyö, AMK
Joulukuu 2023
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma (AMK)

jamk | Jyväskylän ammattikorkeakoulu
University of Applied Sciences

jamk

Kuvailulehti

Hugg, Daniel

Älykkään katuvalaistuksen suunnittelu uudiskohteeseen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Joulukuu 2023, 68 sivua.

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda kokonaisuus, johon sisältyy uudiskohteen älykkään katuvalaistuksen suunnittelussa tarvittavat teoriatiedot sekä esimerkkihanke, joka havainnollistaa näiden teoriatietojen ja suunnitteluperiaatteiden käyttöä.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi C2 SmartLight Oy. Taustalla oli tarve älykkään katuvalaistuksen suunnittelussa tarvittavan teoriatiedon kokoamiseen.

Aluksi perehdyttiin sähkö- ja valaistusalan kansallisiin standardeihin ja ohjeisiin. Näiden pohjalta koottiin opinnäytetyön aiheen kannalta keskeinen teoriatieto suunnitteluohjeen tapaiseksi kokonaisuudeksi. Kootun teoriatiedon käyttöä havainnollistettiin aiemmin suunnitellun esimerkkihankkeen avulla.

Lopputuloksena saatiin koottua tavoitteenmukainen kokonaisuus, jota voidaan hyödyntää toimeksiantajayrityksen tulevissa suunnitteluhankkeissa sekä uusien sähkö- ja valaistussuunnittelijoiden perehdytyksessä uudiskohteen älykkään katuvalaistuksen suunnitteluun.

Jatkokehityksenä toimeksiantajayrityksessä voidaan luoda opinnäytetyön pohjalta yksityiskohtaisempia ohjeita halutuista aihealueista.

Avainsanat (asiasanat)

Katuvalaistus, älykäs ohjaus, valaistussuunnittelu, suunnittelu, sähkötekninen laskenta

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

jamk

Description

Hugg, Daniel

Designing of smart street lighting for a new site

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, December 2023, 68 pages.

Degree Programme in Electrical and Automation Technology. Bachelor´s thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The aim of the thesis was to create a framework encompassing the theoretical knowledge necessary for the design of smart street lighting for a new site, alongside an example project illustrating the application of this theoretical knowledge and design principles.

The thesis was commissioned by C2 SmartLight Oy. The background need was to compile the theoretical knowledge required for the design of smart street lighting.

Initially, national standards and guidelines in the electrical and lighting industry were studied. Based on these, relevant theoretical knowledge for the thesis topic was compiled into a comprehensive set resembling a design guide. The application of this compiled theoretical knowledge was demonstrated through a previously designed example project.

The outcome was a comprehensive framework meeting the set objectives, which can be utilized in future design projects of the commissioning company and in orienting new electrical and lighting designers towards the design of smart street lighting for a new site.

As a continuation within the commissioning company, more detailed guidelines on desired topics can be developed based on the thesis.

Keywords/tags (subjects)

Street lighting, smart control, lighting design, designing, electrical calculation

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1 Johdanto 5
1.1 Toimeksiantaja 5
1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaus 5
1.3 Tiedon keräys 6
1.4 Kehittämistutkimus 6
2 Valaistuksen mitoitus 7
2.1 Valaistusteknilliset suureet 7
2.1.1 Valovirta 7
2.1.2 Valaistusvoimakkuus 7
2.1.3 Luminanssi 8
2.2 Häikäisy 9
2.3 Värilämpötila 10
2.4 Valaistusluokat 11
2.4.1 M-luokat 11
2.4.2 C-luokat 12
2.4.3 P-luokat 13
2.4.4 Valaistusluokan valinta katuvalaistukselle 14
2.5 Alenemakerroin ja CLO 15
3 Katuvalaistuksen valaistuslaitteet 16
3.1 Valaisimet 17
3.2 Valaisinpylväät 17
3.2.1 Pylväskalusteet 18
3.2.2 Jalustat 18
3.3 Kaapelit 19
3.4 Valaistuskeskukset 20
3.5 Maadoitukset 22
3.6 Suojaputket 22
4 Älykäs valaistuksen ohjaus 23
4.1 C2 SmartLight 23
4.1.1 Ohjausjärjestelmän komponentit katuvalaistuksen ohjaukseen 23
5 Suunnitteluhankkeen havainnollistaminen 28
5.1 Lähtötiedot 28
5.2 Valaistuslaskenta 29

5.3 Pylväiden valinta ja sijoitus 34
5.4 Keskus ja kaapelointi 35
5.5 Sähkötekninen laskenta 36
5.5.1 Oikosulkuvirrat 36
5.5.2 Jännitteenalenema 43
5.6 Valaistuksen ohjauksen toteutus 45
5.6.1 Katuvalaistus 45
5.6.2 Suojatiet 46
6 Dokumentit 47
7 Pohdinta 48
Lähteet 50
Liitteet 52
Liite 1. Suunnitelmakartta 52
Liite 2. Valaistuksen tyyppipoikkileikkaukset 53
Liite 3. UV81 Pääkaavio 54
Liite 4. UV81 Ohjauspiirikaavio 57
Liite 5. Kuormitustaulukko 60
Liite 6. Valaisinpylväs- ja jalustaluettelo 61
Liite 7. Tarvikeluettelo 62
Liite 8. Suojaputkiluettelo 63
Liite 9. Pylväivästyyppien valinta Sähkö-Jokisen taulukosta (Sähkö-Jokinen 2021, muokattu) 64
Liite 10. Jalustatyyppien valinta Sähkö-Jokisen taulukosta (Sähkö-Jokinen 2021, muokattu) 65

Kuviot

Kuvio 1 Ensto valaisinpylväskalustesarja LCK4-16-06A 18
Kuvio 2 Reka AXMK 4x25S alumiinivoimakaapeli 19
Kuvio 3 Draka MMJ 3x1,5S asennuskaapeli 20
Kuvio 4 Valaistuskeskuksen tyypillinen sisältö 21
Kuvio 5 Kuvakaappaus käyttöliittymästä 24
Kuvio 6 C2CU ja C2PU 25
Kuvio 7 C2LM-valoisuusanturi asennettuna keskukselle 25
Kuvio 8 C2RU-releyksikkö 26
Kuvio 9 LuconC tukiasemayksikkö 26
Kuvio 10 C2 SmartLumo-ohjaimet 27

Kuvio 11 Yleiskartta Haapamäen vaiheistuksesta 29
Kuvio 12. Katuprofiilin määritys 31
Kuvio 13 Pylväiden sijoitus katuprofiilille 32
Kuvio 14 Haapamäentien loppuosan valaistuslaskenta 32
Kuvio 15 DM10 optiikan valonjakautumiskäyrä 33
Kuvio 16 DW10 optiikan valonjakautumiskäyrä 34
Kuvio 17 Detaljikuva UV81 sijoituksesta ja kaapeloinnista 35
Kuvio 18 Suunnitelmakarttaan piirretty maadoitus-symboli 36
Kuvio 19. Liiketunnistimien suuntaus 47
Kuvio 20 Lumot käyttöliittymässä 48

Taulukot

Taulukko 1 Kehittämistutkimuksen vaiheet 7
Taulukko 2 Värilämpötilan ja koetun värivaikutelman välinen suhde 10
Taulukko 3. M-luokat 11
Taulukko 4. C-luokat 12
Taulukko 5. M- ja C-valaistusluokkien välinen vastaavuus 13
Taulukko 6. P-valaistusluokat ennen 1.1.2025 14
Taulukko 7. P-valaistusluokkien vaatimukset 1.1.2025 jälkeen 14
Taulukko 8. Valaistusluokat eri katuluokille sekä niiden yhteydessä oleville kevyen liikenteen väylille 15
Taulukko 9 Ledivalaisimien tärkeimmät ominaisuudet. 17
Taulukko 10 gG sulakkeiden vaaditut oikosulkuvirrat 37
Taulukko 11 Sulakkeen mitoitusvirran valinta jakeluverkossa 38
Taulukko 12 Likimääräisiä ominaisarvoja eri poikkipintaisille kaapeleille 80 °C johdinlämpötilassa 40
Taulukko 13 M4 Himmennysprofiili 46

Käsitteet

DALI	Digital Adressable Lighting Interface. Standardisoitu digitaalinen valaistuksenohjausprotokolla.
Mesh-verkko	Verkkotopologia, jossa kaikki laitteet ovat suoraan yhteydessä keskenään.
NEMA-liitin	National Electrical Manufacturers Association järjestön standardisoima valaisimen runkoon asennettava liitin valaisinkotaista ohjainta varten.
SFS	Suomen Standardisoimisliitto.
ST-kortti	Sähkötietokortisto.
Zhaga-liitin	Zhaga Consortiumin standardisoima ja valmistama valaisimen runkoon asennettava liitin valaisinkotaista ohjainta varten.
ZigBee	Lyhyen kantaman radioliikenne protokolla.

1 Johdanto

Katuvalaistus on olennainen osa kaupunkiympäristöä, joka on pitkään toiminut tärkeänä elementtinä turvallisuuden ja elämänlaadun parantamisessa. Perinteinen katuvalaistus on kuitenkin ollut energiaa tuhlaavaa ja rajoittunutta toiminnassaan, sillä valaistus on ollut joko päällä tai pois. Älykäs katuvalaistus on vastaus tähän haasteeseen, tuoden mukanaan innovatiivisia teknologioita ja suunnitteluperiaatteita, jotka mullistavat valaistuksen kaupunkiympäristössä. Älykkäällä katuvalaistuksen ohjauksella valaistusta voidaan esimerkiksi himmentää haluttuina tunteina.

Älykäs katuvalaistus yhdistää digitaaliset tekniikat, kuten anturit, automaation ja valaistuksen hallinnan, luoden valaistusratkaisuja, jotka ovat sekä energiatehokkaita että älykkäitä. Tämä mahdollistaa valaistuksen säätelyn ympäristön olosuhteiden ja käyttäjien tarpeiden mukaan. Lisäksi älykäs katuvalaistus on kustannustehokasta ja ympäristöystävällistä.

1.1 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi C2 SmartLight Oy. C2 SmartLight on vuonna 2004 perustettu älykkääseen sähkönohjaukseen erikoistunut teknologiayritys. Yrityksen toimipiste sijaitsee Jyväskylän keskustassa ja opinnäytetyön kirjoitushetkellä työllistää 23 henkilöä. Vuonna 2022 yrityksen liikevaihto oli 3,4 miljoonaa euroa. Yrityksen eritysosaamista ovat tarpeenmukaiset älykkäät valaistuksen ratkaisut.

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena on koota älykkään katuvalaistuksen suunnittelussa tarvittavat teoriatiedot yhdeksi selkeäksi kokonaisuudeksi ja havainnollistaa niiden käyttöä aiemmin suunnitellun uudiskohteen avulla. Valmis opinnäytetyö tulee toimimaan suunnitteluohjeena toimeksiantajayrityksessä sekä esimerkkinä, miten vastaavien kohteiden valaistuksen suunnittelussa tulee edetä. Opinnäytetyö rajautuu luonnollisesti esimerkkinä käytetyn hankkeen mukaan ja työn teoriaosiossa käsitellään vastaavien kohteiden suunnittelussa tarvittavat tiedot. Työssä ei paneuduta CAD-piirtoteknisiin asioihin, sillä se ei ole olennaista työn tavoitteen kannalta.

1.3 Tiedon keräys

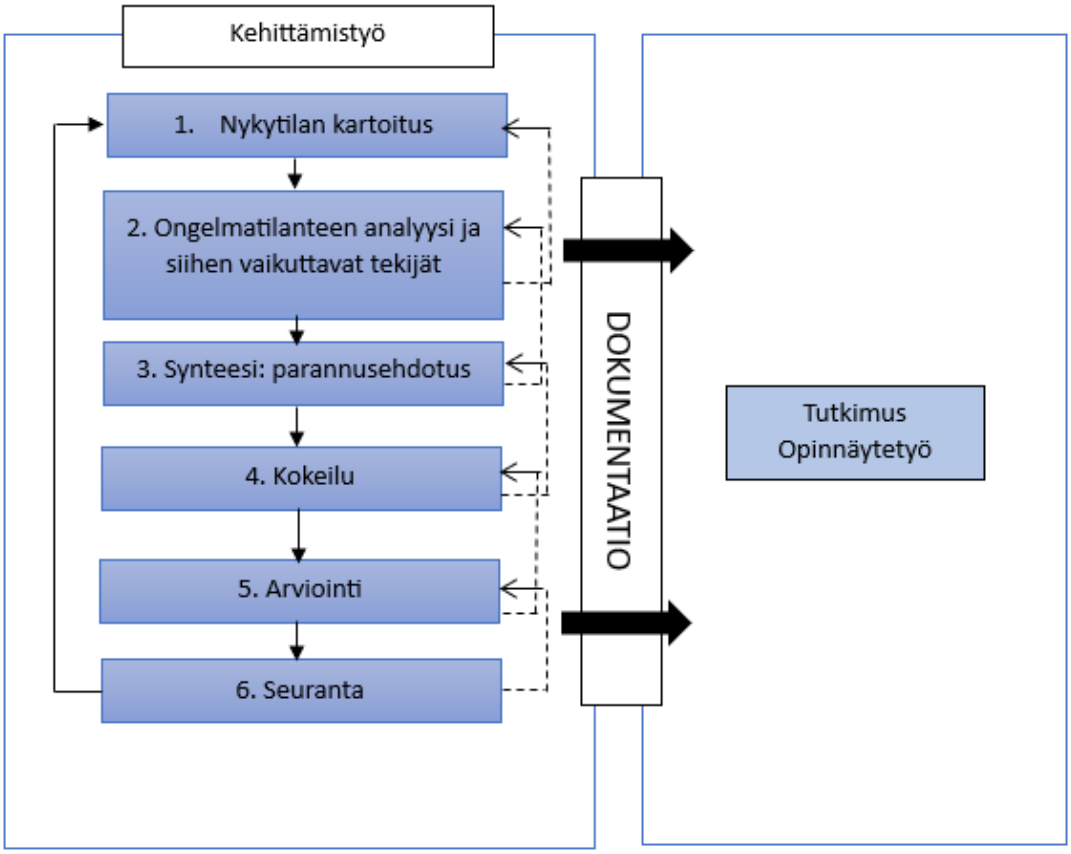
Opinnäytetyön teoriapohjan lähteinä käytettiin sähkö- ja valaistusalan yleisesti käytettyjä standardeja, Sähkötietokortistoa eli ST-kortistoa, Väyläviraston ohjeita, kaupunkien suunnitteluohjeita sekä alan standardeihin pohjautuvaa kirjallisuutta. Sähköteknillisissä mitoituksissa käytettiin SFS 6000-standardisarjassa esitettyjä vaatimuksia. Edellä mainittuja lähteitä voidaan pitää erittäin luotettavina, sillä niitä käytetään kansallisesti sähkö- ja valaistusalan suunnittelun perustana.

1.4 Kehittämistutkimus

Opinnäytetyö tehtiin kehittämistutkimuksena. Kehittämistutkimuksessa on nimensä mukaisesti tarkoituksena kehittää valittua ilmiöitä, prosessia tai asiantilaa, taustalla on usein tarve muutokseen (Kananen 2013, 13, 19). Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää toimeksiantajan suunnitteluprosessia kokoamalla tietopaketti uudiskohteen älykkään katuvalaistuksen suunnittelusta. Kehittämistutkimuksessa kehitettävän aiheen taustalla on teoria, johon aiheen kehittäminen pohjautuu. Kehittämistutkimus on enemmänkin tutkimustrategia, kuin tutkimusmenetelmä, siinä yhdistellään kvalitatiivista ja kvantitatiivista tutkimusta. (Kananen 2012, 26.)

Kehittämistutkimuksen vaiheet vaihtelevat eri lähteissä. Kehittämistutkimuksesta voidaan kuitenkin erottaa eri vaiheet. Kehittämistyö voidaan nähdä jatkuvana syklinä, jossa alun perin kehitettyä, esimerkiksi prosessia, kehitetään uudelleen siitä saadun palautteen pohjalta. Kehittämistyössä edetään järjestelmällisesti vaihe vaiheelta, mutta vaiheissa voidaan myös palata edelliseen vaiheeseen. Kun kehittämistyöhön yhdistetään dokumentointi ja tieteellinen näkökulma, tulee siitä kehittämistutkimus. Kehittämistyötä ja sen vaiheita on havainnollistettu alla olevassa taulukossa 1. (Kananen 2012, 52-54.)

Taulukko 1 Kehittämistutkimuksen vaiheet (Kananen 2012, 52, muokattu)



2 Valaistuksen mitoitus

2.1 Valaistusteknilliset suureet

2.1.1 Valovirta

Valovirta kuvaa, kuinka paljon valonlähde säteilee näkyvää valoa määrätyllä ajan hetkellä. Sen suuruus saadaan, kun valonlähteen säteilytehoa painotetaan suhteellisella silmänherkkyydellä. Valovirran tunnus on ϕ ja yksikkö luumen (lm). (ST 57.40 2017.)

2.1.2 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus kuvaa valaistuksen tehokkuutta. Valaistusvoimakkuuden arvo kertoo, kuinka tiheästi valonlähteen säteilemä valovirta asettuu tarkasteltavan kohteen pinnalle. Valaistusvoimakkuus määritellään valovirran avulla, luumen per neliömetri (lm/m^2). Valaistusvoimakkuuden tunnus on E ja yksikkö luksi (lx). (ST 57.40 2017.)

Vaakatason valaistusvoimakkuus

Vaakatason valaistusvoimakkuus E_h (lx) ilmaisee vaakatason pinnalle, kuten tielle lankeavan valon määrän. Vaakatason valaistusvoimakkuutta käytetään mm. kevyen liikenteen väylien valaistuksen mitoitukseen sekä sellaisten valaistustilanteiden, joissa luminanssiperusteinen tarkastelu ei ole järkevää. Tällaisia ovat esimerkiksi erilaiset konfliktialueet, kuten liikenneympyrät. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 22.)

P- ja C-valaistusluokkien vaatimuksissa käytetään vaakatason keskimääräistä valaistusvoimakkuutta E_{hm}. Keskimäärinen valaistusvoimakkuus saadaan ottamalla aritmeettinen keskiarvo tienpinnan eri pisteistä mitatuista tai lasketuista luksiarvoista. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 22.)

Valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus

Valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus U_{oi} kuvaa tietyn alueen valaistuksen tasaisuutta. Se lasketaan jakamalla alueen laskentapisteiden pienin valaistusvoimakkuusarvo E_{min} keskimääräisellä valaistusvoimakkuudella E_m. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 22.)

2.1.3 Luminanssi

ST-kortin 58.04 (2022) mukaan osuus valovirrasta, joka heijastuu tarkasteltavan kohteen pinnasta takaisin määrittää sen luminanssin. Käytännössä luminanssi kuvaa kohteen pinnan valaistustiheyttä eli sen pintakirkkautta. Mitä suurempi luminanssi on tarkasteltavan kohteen pinnalla, sitä kirkkaammalta kyseinen pinta näyttää. Tämä tekee luminanssista valaistustekniikan keskeisen ja ainoan suoraan silmällä havaittavissa olevan suureen. Luminanssin tunnus on L ja yksikkö kandela per neliömetri (cd/m^2). (ST 58.04 2022.)

Näkökohde ja sen ympäristön luminanssit ovat keskeisiä tekijöitä, jotka vaikuttavat näkyvyyteen. Hämärässä ympäristössä silmien kyky erottaa pieniä, lähellä toisiaan olevia yksityiskohtia tai pieniä luminanssieroja kohteiden välillä on heikko. Silmä pystyy kuitenkin käsittelemään näkötietoa laajalla luminanssitasojen vaihtelualueella. (ST 58.04 2022.)

Keskimäärinen luminanssi

Keskimääräinen luminanssi L_m kuvaa tienpinnan näennäistä kirkkautta tienkäyttäjän näkökulmasta. Se perustuu ajoradan laskentapisteiden luminanssien aritmeettiseen keskiarvoon. Korkeampi keskimääräinen luminanssi lisää näköetäisyyttä, helpottaa kohteiden havaitsemista, parantaa suhteellisen liikkeen arviointia sekä lyhentää reaktioaikaa. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 20.)

Luminanssin yleistasaisuus

Luminanssin yleistasaisuus U_o vaikuttaa tienkäyttäjän näkökykyyn, kuvaten tienpinnan valaistuksen tasaisuutta. Se lasketaan jakamalla ajoradan laskentapisteiden pienin luminanssiarvo keskimääräisellä luminanssilla L_m. Märällä tienpinnalla näkyvyys heikkenee merkittävästi verrattuna kuivaan pintaan. Märkä pinta lisää heijastumista, mikä laskee luminanssin yleistasaisuutta. Lisäksi tienpinnan heijastavuus muuttuu jatkuvasti kuivuessaan tai kastuessaan. Hyvän näkyvyyden varmistamiseksi märillä teillä käytetään luminanssin yleistasaisuusvaatimusta U_{ow}. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 20.)

Luminanssin pitkittäistasaisuus

Luminanssin pitkittäistasaisuus U_l kuvaa valaistuksen tasaisuutta tiensuuntaisesti. Valaistuksen pitkittäistasaisuudella on suuri vaikutus tienkäyttäjän ajo- sekä näkömukavuuteen. Heikko pitkittäistasaisuus tekee tien valaistuksesta katkonaisen tuntuista, valaistuksen ollessa riittävä valaisinpylväiden kohdalla, mutta heikko pylväiden väleillä. Pitkittäistasaisuus saadaan laskettua ottamalla ajoradan suuntaisesti laskentapisteitä ja jakamalla pienin saatu luminanssiarvo suurimmalla luminanssiarvolla. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 20.)

2.2 Häikäisy

Häikäisy on yksi valaistuksen häiriöistä, joka heikentää näköolosuhteita merkittävästi. Häikäisyn eri muotoja ovat kiusahäikäisy ja estohäikäisy, ja ne voivat ilmetä myös samanaikaisesti. Häikäisy voi

olla suoraa, kun valo tulee suoraan valonlähteestä, tai epäsuoraa, kun valo heijastuu kiiltävästä pinnasta. (ST 58.04 2022.)

Häikäisyn syynä on niin voimakas ympäristön luminanssi johon silmä ei enää kykene sopeutumaan. Tavallinen häikäisyn lähde on yksittäinen näkökentän luminanssi, joka on huomattavasti suurempi kuin ympäristön muut luminanssit. Tällainen lähde voi olla esimerkiksi voimakas valonlähde näkökentässä (suorahäikäisy) tai pinta, joka heijastaa voimakkaasti valoa (heijastushäikäisy). (ST 58.04 2022.)

Häikäisy vaikeuttaa yksityiskohtien havaitsemista ja on epämukavaa katselijalle. Tievalaistuksen häikäisyn astetta arvioidaan yleensä GR-arvolla (Glare Rating). Mitä suurempi GR-arvo sen voimakkaampi häikäisy. (ST 58.04 2022.)

2.3 Värilämpötila

Valaisimen värilämpötilalla tarkoitetaan sen säteilevän valon värisävyä. Värilämpötilan yksikkö on Kelvin (K). Mitä pienempi värilämpötila (K), sen lämpimämpi on valaisimen värivaikutelma, kun taas mitä suurempi värilämpötila (K), sen kylmempi on valaisimen värivaikutelma. Alla oleva taulukko havainnollistaa värilämpötilan (K) ja koetun värivaikutelman välistä suhdetta. (ST 58.07 2023.)

Taulukko 2 Värilämpötilan ja koetun värivaikutelman välinen suhde (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 24.)

Värilämpötila K	Värivaikutelma
2 400 K	erittäin lämmin valkoinen
3 000 K	lämmin valkoinen
4 000 K	neutraali valkoinen
5 000 K	kylmä valkoinen
6 000 K	erittäin kylmä valkoinen

2.4 Valaistusluokat

Vaatimukset valaistukselle esitetään eri valaistusluokilla. Valaistusluokkia on luotu kaikille tyypillisille ajo- ja kulkuväylille sekä niiden erikoistilanteille. Mitä pienempi valaistusluokan numero on, sitä suuremmat vaatimukset ovat valaistuksen tasolle. Esimerkiksi M5-luokka on tyypillinen tonttikaduilla ja M3b-luokka alueellisilla pääkaduilla.

Seuraavissa alaluvuissa esitellään yleisimmät valaistusluokat sekä niiden valintaa Väyläviraston ohjetta 33/2023 hyödyntäen. Väyläviraston ohje ei sido kuntia, mutta usein toimii paikallisten suunnitteluohjeiden pohjana. Väyläviraston ohjetta suositellaan käytettäväksi, jos paikallista ohjeistusta valaistuksen suunnitteluun ei ole.

2.4.1 M-luokat

M-luokat ovat luminanssiin perustuvia valaistusluokkia, joita käytetään moottoriajoneuvoille tarkoitettujen ajoväylien valaistuslaskentaan. Taulukon 3 mukaisia valaistusluokkia voidaan käyttää, niin maanteillä kuin kaduilla. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 24.)

Taulukko 3. M-luokat (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 25.)

Valaistus-luokka	Kuivan ja märän ajoradan luminanssi				Esto-häikäisy	Vierialueen valaistus
	Kuiva			Märkä	Kuiva	
	L_m cd/m², min	U_o min	U_l min	U_{ow} min	f_{TI} %, max	R_{EI} min
M1 [a]	2,00	0,40	0,60 (0,70)	0,15	10,0	0,40 (0,35)
M2 [a]	1,50	0,40	0,60 (0,70)	0,15	10,0	0,40 (0,35)
M3a	1,00	0,40	0,60	0,15	15,0	0,40 (0,30)
M3b	1,00	0,40	0,40 (0,60)	0,15	15,0	0,40 (0,30)
M4	0,75	0,40	0,40 (0,60)	0,15	15,0	0,40 (0,30)
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15,0	0,40 (0,30)
M6 [a]	0,30	0,35	0,40	0,15	20,0	0,40 (0,30)

a) Valaistusluokkia M1, M2 ja M6 käytetään vain, jos tilaaja sen nimenomaisesti sallii.

2.4.2 C-luokat

C-luokkia käytetään alueilla, jotka eivät sovellu tarkasteltavaksi käyttäen luminanssi arvoja. Tällaisia alueita ovat mm. satamat ja raja-asemat, joissa nopeusrajoitus on tyypillisesti 30 km/h tai alle sen. C-luokkia käytetään myös muissa valaistuksen erityistilanteissa, kuten kiertoliittymissä, suurissa liittymäalueissa sekä päällystämättömillä teillä. C-luokat perustuvat vaakatason keskimääräiseen valaistuvoimakkuuteen E_{hm} sekä sen yleistasaisuuteen U_{oi}. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 25.)

Taulukko 4. C-luokat (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 26.)

Valaistus-luokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus		Estohäikäisy [a]
	E_{hm}, lx, min	U_{oi}, min	f_{TI} %, max
C0	50,0	0,40	10,0 (15,0)
C1	30,0	0,40	10,0 (15,0)
C2	20,0	0,40	10,0 (15,0)
C3	15,0	0,40	10,0 [b] (20,0)
C4	10,0	0,40	15,0 (20,0)
C5	7,50	0,40	15,0 (20,0)

a) Estohäikäisyvaatimusta käytetään vain säännöllisillä ja suorilla ajoradan osuuksilla. Esimerkiksi kiertoliittymissä ja muilla osuuksilla, joilla kaarresäde on alle 200 m estohäikäisyvaatimusta ei käytetä.

b) Liikenneväylillä (esim. kadut), joilla päällysteen vaaleusaste on Q_0 = 0,07, käytetään arvoa f_{TI} = 15 %.

M- ja C-luokkien välinen vastaavuus on esitetty alla taulukossa 5. Taulukon Q_0 arvolla tarkoitetaan ajoradan päällysteen vaaleusastetta. Suurempi vaaleusaste Q_0 tarkoittaa vaaleampaa päällystettä. Suurempi vaaleusaste on edullista valaistuksen kannalta mahdollistaen pidemmät pylväsvälit sekä pienemmän energiankulutuksen. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 46.)

Taulukko 5. M- ja C-valaistusluokkien välinen vastaavuus (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 26.)

Luminanssi, M-luokka	Valaistusvoimakkuus, C-luokka, päällysteen vaaleusaste, Q_0 = 0,09	Valaistusvoimakkuus, C-luokka, päällysteen vaaleusaste, Q_0 = 0,07
-	C0	-
-	C1	C0
M1	C2	C1
M2	C3	C2
M3a	C4	C3
M3b	C4	C3
M4	C5	C4
M5	-	C5
M6	-	-

2.4.3 P-luokat

P-valaistusluokat ovat tarkoitettu kevyelle liikenteelle, kuten jalankulkijoille ja pyöräilijöille. C-luokkien tavoin ne perustuvat valaistusvoimakkuuksiin sekä niiden yleistasaisuuksiin. Väyläviraston ohjeessa 33/2023 (2023) P-luokkien määrittely on jaettu kahteen taulukkoon valaistussuunnitelmien valmistumisajankohdan mukaan. Ennen 1.1.2025 valmistuvissa suunnitelmissa käytetään taulukkoa 6 ja sen jälkeen taulukkoa 7. Eroina taulukoiden välillä on pienimmän valaistusvoimakkuuden E_{hmin} vaihtuminen valaistusvoimakkuuden yleistasaisuuteen U_{oi} sekä taulukossa 7 esitetyt uudet vaatimukset estohäikäisyn suhteen. Taulukkoa 7 voidaan käyttää myös ennen 1.1.2025 valmistuvissa suunnitelmissa, jos tilaaja niin edellyttää. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 26-27.)

Taulukko 6. P-valaistusluokat ennen 1.1.2025 (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 27.)

Valaistus-luokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus	
	E_{hm} lx, min	E_{hmin}, lx, min
P1	15,0	3,00
P2	10,0	2,00
P3	7,50	1,50
P4	5,00	1,00
P5	3,00	0,60
P6	2,00	0,40

Taulukko 7. P-valaistusluokkien vaatimukset 1.1.2025 jälkeen (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 27.)

Valaistus-luokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus		Estohäikäisy [a]
	E_{hm} lx, min	U_{oi}, min	f_{TI} %, max
P1	15,0	0,20	15,0 (20,0)
P2	10,0	0,20	20,0 (25,0)
P3	7,50	0,20	20,0 (25,0)
P4	5,00	0,20	25,0 (30,0)
P5	3,00	0,15 (0,20) [b]	25,0 (30,0)
P6	2,00	0,15 (0,20) [b]	30,0 (35,0)

a) Estohäikäisyvaatimusta käytetään vain jalankulku- ja pyöräteillä, joilla on vilkasta polkupyöräliikennettä ja jotka valaistaan omalla erillisellä valaistuksella.
b) Väylävirasto on päättänyt, että maanteiden jalankulku- ja pyöräilyalueilla käytetään standardista prEN 13201-2 poiketen yleistasaisuusarvoa 0,15 valaistusluokissa P5 ja P6.

2.4.4 Valaistusluokan valinta katuvalaistukselle

Mikäli kunnalla ei ole olemassa omaa suunnitteluohjetta katujen valaistusluokkien määrittämiseksi, Väyläviraston ohje 33/2023 (2023) suosittelee käytettäväksi taulukon 8 mukaisia valaistusluokkia. Nämä valaistusluokat on valittu niin, että niiden valaistustekniset ominaisuudet vastaavat vähimmäisvaatimuksia näkemisen ja havaitsemisen osalta, ottaen huomioon kyseisen kadun ja sen liikenteen erityispiirteet. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 29.)

Kaikki valaistusluokan vaatimukset tulee lähtökohtaisesti täyttyä. Mikäli kuitenkin se ei ole mahdollista, on hankkeen tilaajalta pyydettävä lupa kyseisten vaatimusten alittamiseen. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 29.)

Taulukko 8. Valaistusluokat eri katuluokille sekä niiden yhteydessä oleville kevyen liikenteen väylille (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 29.)

Katuluokka ja kuvaus	**Valaistusluokka**
Pääkadut	M3a+P3
Kokoojakadut - alueelliset kokoojakadut - paikalliset kokoojakadut	 M3b+P3 M4+P4
Teollisuusalueiden kadut - vilkkaat kadut, joilla läpiajoliikenne - muut	 M4+P4 [a] M5+P4 [a]
Tonttikadut - vilkkaat kadut, joilla läpiajoliikenne - muut	 M4+P4 [a] M5+P4 [a]

2.5 Alenemakerroin ja CLO

Valaisimien kyky tuottaa valoa heikkenee niiden elinkaaren aikana sekä ne ovat alttiita likaantumiselle. Valaistusteknillisissä laskennoissa käytetään alenemakerrointa varmistamaan, että valaistus täyttää valaistusluokan vaatimukset sen koko käyttöiän aikana, suunnitellut kunnossapitotoimet huomioiden. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 45.)

Ledivalaisimilla, jotka ovat tie- tai katuvalaistuskäytössä käytetään lähtökohtaisesti alenemakertoimena arvoa 0,90, mikäli valaisimet sisältävät vakiovalovirtaohjauksen (CLO) ja ne ovat asennettuina yli neljän metrin korkeuteen (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 45). Vakiovalovirtaohjaus on valaisimen liitäntälaitteelle ohjelmoitava profiili, joka nostaa valaisimen tehoa sen elinkaaren aikana. Tämän avulla valaisimen antama valovirta saadaan pidettyä vakiona koko suunnitellun käyttöiän ajan. (Moderni katuvalaistus mukautuu tarpeisiin 2019.)

Mikäli käytettävä valaisin ei sisällä vakiovalovirtaohjausta tai sitä ei ole huomioitu valaisimen valonjaossa, sen alenemakerroin lasketaan kaavan 1 avulla.

$$f_m = f_{LF} * f_{LM} \quad (1)$$

Jossa

f_m on alenemakerroin

f_{LF} on valaisinvalmistajan ilmoittama valaisimen valovirran alenema

f_{LM} on valaisimen likaantumiskerroin

Valaisimen likaantumiskertoimeen vaikuttaa mm. asennuskorkeus ja huoltoväli. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 45.)

3 Katuvalaistuksen valaistuslaitteet

Valaistuslaitteita ovat kaikki ne kiinteät rakenteet ja välineet, jotka ovat tarpeen tien valaisemiseksi. Tämä sisältää valaisimet, valaisinpylväät, jalustat, maakaapelit, ilmajohdot, kaapelinsuojaputket, valaistuskeskukset, maadoitukset ja muut vastaavat elementit. On myös huomioitava, että tien päällyste on osa valaistusteknillistä ratkaisua, sillä päällystemateriaalin heijastusominaisuuksilla on vaikutusta tienpinnan luminansseihin sekä niiden tasaisuuksiin. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 90.)

Valaistuslaitteilta vaaditaan helpon huollettavuuden lisäksi kestävyyttä erilaisia sääolosuhteita sekä korroosiota vastaan. Myös valaisimen puhdistettavuus on huomioitava. Erityisesti taajamaympäristössä valaistuslaitteet altistuvat myös ilkivallalle, joten niiltä vaaditaan myös kestävyyttä tällaisia rikkomuksia vastaan. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 90.)

3.1 Valaisimet

Uusien kohteiden valaistus suunnitellaan käyttäen ledivalaisimia. Valaistuksen kannalta tärkeimmät ledivalaisimien ominaisuudet määritellään Väyläviraston ohjeessa 33/2023. Ominaisuudet on esitetty alla olevassa taulukossa 9.

Taulukko 9 Ledivalaisimien tärkeimmät ominaisuudet. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 100.)

Valaisimien tärkeimmät ominaisuudet
Valaisimen tuottama valovirta (lm)
Valaisimen ottoteho (W)
Valaisimen valotehokkuus (lm/W)
Valaisimen hyötyelinikä (h)
Valovirran alenema (Lx)
Liitäntälaitteen vikaantumisosuus (%)
Värintoistoindeksi
Värilämpötila (K)
Valaisimen tuottaman valon värikoordinaattien värivaihteluluokat eliniän alussa ja lopussa
Valaisimen ohjausominaisuudet
Valaisimesta lähtevän valon suunnattavuus ja valaisimen optiikka

Valaisimet tulee valita siten, että kaikki kohteen valaistusteknilliset vaatimukset täyttyvät (valaistusluokat). Suunnitelmissa on hyvän käytännön mukaista käyttää mahdollisimman pientä määrää erityyppisiä valaisimia kunnossapidon helpottamiseksi. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 101.)

3.2 Valaisinpylväät

Katuvalaistuksessa käytetään tyypillisesti sinkittyjä teräspylväitä. Teräspylväiden tulee olla CE-merkittyjä ja valmistettu standardin SFS-EN 40-5:2002 mukaisesti (Tien valaisinpylväiden ja jalustojen laatuvaatimukset 2022, 9). Tapauskohtaisesti voidaan käyttää myös puu- ja alumiini pylväitä,

mutta nämä ovat uudisrakentamisessa harvinaisempia. Pylväät voidaan myös maalata ulkonäöllisistä syistä. Katuvalaistuksessa voidaan käyttää jäykkiä pylväitä alhaisten ajonopeuksien vuoksi. Pylväiden ja valaisinvarsien pituudet valitaan, joko valaistulaskennan perusteella tai tilaajan toiveiden/vaatimusten mukaisesti.

3.2.1 Pylväskalusteet

Pylväskaluste on pylvään kytkentätilaan asennettava laite, joka sisältää liittimiä, varokepesän sekä maadoitusjohtimen. Pylväskalusteen sulakkeen kautta yhdistetään valaistuksen ryhmäjohto ja valaisinta syöttävä valaisinjohto. Kalusteen liittimillä haaroitetaan ryhmäjohto seuraavalle pylväälle. Maadoitusjohtimella maadoitetaan metallisen pylvään runko. Kuviossa 1 usein käytetty Enston pylväskalustesarja 6 A pylvässulakkeella.

Kuvio 1 Ensto valaisinpylväskalustesarja LCK4-16-06A (Valaisinpylväskalustesarja N.d.)

3.2.2 Jalustat

Uudet metallipylväät asennetaan maahan betonijalustoihin. Kiinnitys tapahtuu tyypillisesti säätöruuveilla, joiden avulla pylväs saadaan myös kohdistettua suoraan. Jalustan valinta tehdään pylvään korkeuden ja halkaisijan perusteella. Valmistajien sivuilta löytyy taulukot jalustan valintaa varten. Liitteessä 10 Sähkö-Jokisen SJ-malliston valintataulukko.

3.3 Kaapelit

Tie- ja katuvalaistuksen sähkönsyöttö jaetaan valaistuskeskuksen liittymisjohtoon, ryhmäjohtoihin sekä valaisinjohtoihin.

Liittymisjohto yhdistää verkkoyhtiön liittymispisteen ja tievalaistuskeskuksen. Se voi olla tyypiltään ilmajohto tai maakaapeli. Kaupunkialueilla liittymisjohto on lähes aina maakaapelia, kun taas taajamien ulkopuolella voidaan käyttää myös ilmajohdotusta. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 104.)

Ryhmäjohto on tievalaistuskeskukselta lähtevä johto, joka syöttää valaisinryhmää. Ryhmäjohtoja lähtee tievalaistuskeskukselta tyypillisesti useita eri suuntiin valaistusverkon muodostamiseksi. Tarvittava ryhmälähtöjen määrä on tapauskohtaista. Suunnitteluvaiheessa on myös hyvän käytänteen mukaista suunnitella vähintään yksi lähtö varalle, jos valaistusta halutaan jatkaa tulevaisuudessa. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 104-106.)

Kaapelointi toteutetaan yleisimmin maakaapelina, mutta myös ilmajohtoja käytetään etenkin taajamien ulkopuolella maanteillä. Kaapelien poikkipinta-alat vaihtelevat 16 – 35mm^2 välillä. Kunnat ja kaupungit käyttävät maakaapelointiin tyypillisesti AXMK 4x25S kaapelilla (ks. kuvio 2). ELY-keskusten teillä maakaapelit tulee olla AMCMK kaapeleita, usein kaapelityyppinä AMCMK 4x25+16. Tarkka kaapelityyppi määritellään suunnitteluvaiheessa, mutta ei valmistajaa. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 104.)

Kuvio 2 Reka AXMK 4x25S alumiinivoimakaapeli (AXMK alumiinivoimakaapeli 2023)

Valaisinjohto taas on johto, joka syöttää valaisinta tai valaisinryhmää. Se asennetaan tyypillisesti-välille: valaisinpylväskaluste – valaisin, ilmajohto – valaisin tai valaisin – valaisin. Vaihtoehtoja on useita tilanteen mukaan.

Metallipylväs-maakaapeli asennuksissa valaisinjohto kytketään pylvään kytkentätilassa sijaitsevan pylväskalusteen ja valaisimen välille. Tällöin käytetään valaisinjohtoa, jossa on kolme 1,5 mm^2 johdinta (ks. kuvio 3). Kaapelin tulee olla muodoltaan pyöreä sekä soveltua ulkokäyttöön. Ilmajohto asennuksissa valaisinjohto asennetaan suoraan ilmajohdon ja valaisimen välille. Valaisinjohtona käytetään kaapelia, jossa on kolme 2,5 mm^2 johdinta. Ilmajohto asennuksissa valaisinjohto ei ole samalla lailla suojassa pylvään sisällä, kuin maakaapeli asennuksissa, joten kaapelin eristeen täytyy olla UV-säteilyä kestävä. (Kuopion kaupungin ulkovalaistuksen suunnitteluohje 2020, 28.)

Kuvio 3 Draka MMJ 3x1,5S asennuskaapeli (Draka asennuskaapeli N.d.)

3.4 Valaistuskeskukset

Valaistusverkko alkaa valaistuskeskukselta, joka hoitaa verkon sähköistyksen sekä sen ohjauksen. Valaistuskeskus asennetaan tavallisesti maahan jakokaappiin. Keskus voidaan asentaa myös pylvääseen, mutta se on harvinaisempaa etenkin uudiskohteissa. Alla kuviossa 4 numeroituna valaistuskeskuksen tyypillinen sisältö, jossa:

1. Keskuksen syöttökaapeli
2. Pääsulakkeet
3. Pääkytkin
4. kWh-mittari
5. Valaistusryhmien sulakkeet
6. Ohjauskontaktorit
7. Valaistuksen ohjauslaitteet
8. Valaistusryhmien syöttökaapelit

9. Valaistuksen ohjauksen huoltokytkin

Kuvio 4 Valaistuskeskuksen tyypillinen sisältö

Jakokaapin ulkopuolelle voidaan myös asentaa esimerkiksi valaistuksen ohjaukseen liittyviä antenneja ja antureita. Jakokaapin oveen näkyvälle paikalle asennetaan keskuksen tunnuskilpi. Keskuksen koteloinnin tulee täyttää IP34 luokka jakokaapin ovien ollessa suljettuina ja vähintään IP20 luokitus ovet avattuina. (Kuopion kaupungin ulkovalaistuksen suunnitteluohje 2020, 30.)

Uuden valaistuskeskuksen sijoituksessa tulee huomioida sen kunnossapidettävyys. Keskukselle tulee päästä myös talvisaikaan ja keskuksen eteen tulee jäädä tarpeeksi suuri vapaa tila työskentelylle. Talvisaikaa ajatellen on myös hyvän käytännön mukaista varustaa keskus aurauskepillä, sen näkyvyyden takaamiseksi. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 106.)

3.5 Maadoitukset

Tie- ja katuvalaistusverkoissa käytetään TN-C-järjestelmää eli nolla- ja maadoitusjohdin ovat yhdistetty PEN-johtimeksi. Valaistusverkko rinnastetaan jakeluverkkoon, joten sen maadoituksessa noudatetaan samoja vaatimuksia. Standardin SFS 6000-8-801 kohdan 801.411.4 mukaan (2022) PEN-johdin tulee maadoittaa verkon syöttöpisteessä tai enintään 200 m päässä syöttöpisteestä. Valaistusverkon syöttöpiste on valaistuskeskus. Standardin mukaan PEN-johdin on maadoitettava myös jokaisen yli 200 m johdon tai johtohaaran loppupäässä tai korkeintaan 200 m etäisyydellä loppupäästä. Maadoituselektrodeilta mitattu maadoitusimpedanssi saa olla korkeintaan 100 Ω. (SFS-käsikirja 600–1 2022, 617.)

Väyläviraston ohjeessa 33/2023 esitetään täydentäviä vaatimuksia tievalaistusverkon maadoituksille. Lähtökohtaisesti kaikkien yli 200 m pituisten johtojen loppupää tulee maadoittaa, mutta jos se ei ole mahdollista, täytyy maadoitus asentaa korkeintaan 100 m etäisyydelle. Jokaiselta valaisinpylväältä tarkasteltuna lähimmän maadoituksen on löydyttävä korkeintaan 200 m etäisyydeltä. Tämä tarkoittaa, että kahden maadoituselektrodin välinen etäisyys saa olla enintään 400 m. PEN-johtimen maadoitus on suositeltavaa tehdä myös muissa kohdissa, joissa maadoitusolosuhteet ovat sopivat. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 110–111.)

Valaisinpylväät maadoitetaan käyttäen kirkasta vähintään 16 mm^2 nimellispoikkipinta-alaista kuparijohdinta. Kuparijohtimen toinen pää asennetaan maahan ja toinen valaisinpylvään kytkentäkalusteen maadoitusliittimelle. Kuparijohdinta täytyy olla maassa vähintään 20 m. Valaistuskeskuksilla maadoitukseen käytettävän kuparijohtimen nimellispoikkipinta-alan tulee olla vähintään 25 mm2. Kuparijohdinta kierretään valaistuskeskuksen perustuksen ympärille vähintään 20 m ja johtimen molemmat päät tuodaan ylös keskukselle. (Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 2023, 111.)

3.6 Suojaputket

Tien päällysteen, kulkureittien ja liittymien alituksissa kaapelit asennetaan suojaputkiin. Suojaputkien tarkoitus on suojata kaapeleita ylimääräiseltä mekaaniselta rasitukselta, jota aiheuttaa mm. yli kulkeva ajoneuvoliikenne. Tyypillisesti käytetään lujuusluokkien A ja B polyeteenimuovisia suo-

japutkia, joiden sisähalkaisija on 110 mm. Luokan A suojaputket ovat kestävämpiä ja niitä käytetään mm. ajoratojen alituksiin. Luokan B putkia voidaan käyttää esimerkiksi tonttiliittymien ja kevyenliikenteenväylien alituksiin, joissa rasitus on kevyempää. Tilaajan toiveesta kaapelit voidaan myös asentaa koko matkalta suojaputkeen. Tällöin kaapeli asennetaan usein tien pitkittäissuunnassa luokan B suojaputkeen ja kaikissa alituksissa luokan A putkeen.

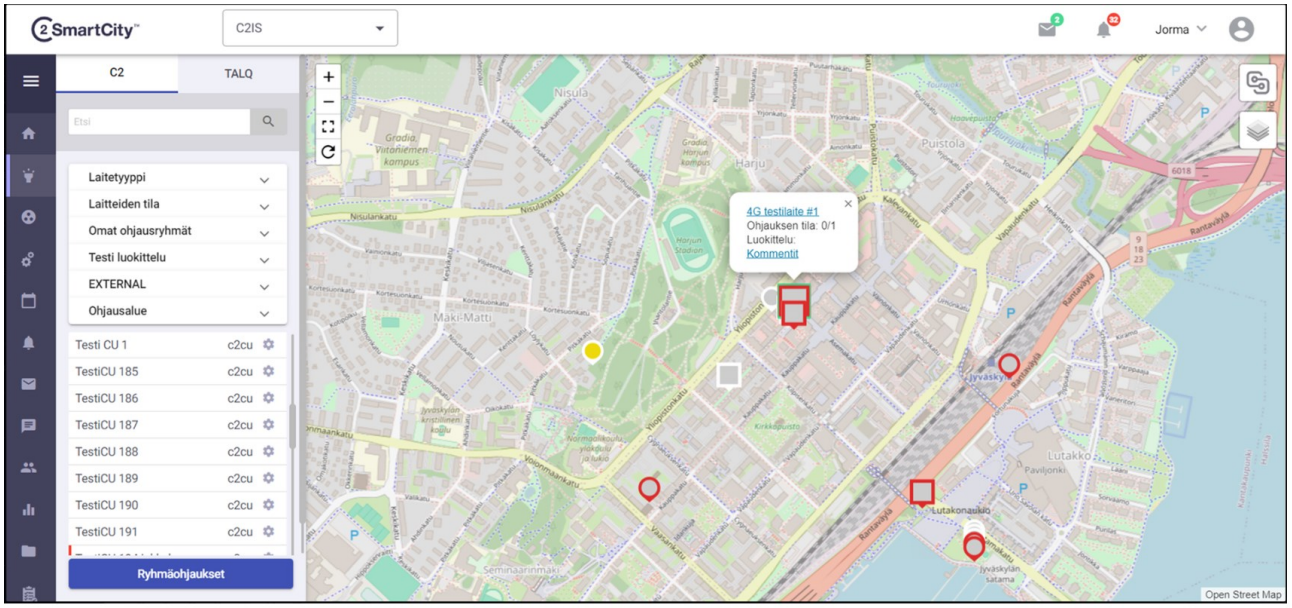
4 Älykäs valaistuksen ohjaus

4.1 C2 SmartLight

C2 Smartlight-ohjausjärjestelmä on suomessa suunniteltu ja valmistettu ratkaisu ulkovalaistuksen ohjaukseen, seurantaan ja ylläpitoon. Järjestelmä koostu keskusohjainlaitteista, valaisinkohtaisista ohjaimista, käyttöliittymästä sekä erilaisista mittalaitteista ja antureista. Ohjausratkaisu on täysin modulaarinen, jonka avulla toiminnallisuuksien määrää on helppo kasvattaa lisäämällä laitemoduuleja. Seuraavassa luvussa esitellään ohjausjärjestelmän yleisimmin käytetyt komponentit, kun halutaan ohjata katuvalaistusta.

4.1.1 Ohjausjärjestelmän komponentit katuvalaistuksen ohjaukseen

Keskusjärjestelmän näkyvä osa on C2 SmartCity -käyttöliittymä. C2 SmartCity on selainpohjainen käyttöliittymä, jonka kautta käyttäjät voivat nähdä valaistuksensa nykytilan sekä toteuttaa erilaisia ohjauksia. Laitteet on esitetty OpenStreetMap-pohjaisella kartalla, jossa niiden sijainti ja tilatiedot on helposti nähtävissä. Käyttöliittymästä voidaan tarkastella järjestelmän tuottamia graafeja ja raportteja sekä toteuttaa esimerkiksi valaistuksen vikatietojen lähetys automaattisesti huollosta vastaavalle henkilöstölle. Kuviossa 5 kuvakaappaus käyttöliittymästä, jossa keltaisella värillä indikoitu valojen päällä olo ja punaisella laitteiden ilmoittamat hälytykset. (C2 SmartLight järjestelmäkuvaus 2023.)



Kuvio 5 Kuvakaappaus käyttöliittymästä

Keskuksella sijaitsevat kenttälaitteet saavat käyttöjännitteen C2PU teholähteeltä. PU muuntaa 230 V vaihtojännitteen laitteiden tarvitsemaksi 5 V tasajännitteeksi. PU:lta johdotetaan syöttö keskusyksiköllle, jonka kautta jännitteenjako tapahtuu muille laitteille. Kaikki laitteet asennetaan DIN-kiskoon. (C2 SmartLight Street N.d.)

Ohjausjärjestelmän peruspilarina toimii C2CU-keskusyksikkö. CU ohjaa ja valvoo valaistusta käyttöliittymästä annettujen asetusarvojen mukaisesti. CU sisältää yhden kuormantunnistuksella varustetun relelähdön, jonka avulla voidaan toteuttaa keskuksen valaistusryhmien yhtäaikainen päälle-pois ohjaus. CU liikennöi keskusjärjestelmän kanssa lähtökohtaisesti 2G/4G yhteyksillä, mutta myös kuituliitäntä on mahdollinen, jos sellainen keskuksesta löytyy. Järjestelmän kaikki muut laitteet ja anturit kytketään keskusyksikön portteihin RJ45-kaapelilla. RJ45-kaapelin kautta tapahtuu virran syöttö keskusyksiköltä muille laitteille sekä laitteiden välinen tietoliikenne. (C2 SmartLight järjestelmäkuvaus 2023.)

Kuvio 6 C2CU ja C2PU (C2 SmartLight Street N.d.)

C2LM-valoisuusanturi voidaan kytkeä osaksi ohjausjärjestelmää, kun halutaan ohjata valaistusta päälle tai pois ympäristön valoisuuden mukaan. Anturi mittaa ympäristön valaistusvoimakkuutta eli lukseja. Aluekohtainen valoisuusmittaus tehdään tyypillisesti kolmelle eri keskukselle sijoitettujen valoisuusanturien avulla. Anturit mittaavat jatkuvasti ympäristön valoisuutta ja välittävät mittaustulokset keskusjärjestelmään. Valaistuksen sytytykset ja sammutukset toteutetaan näiden mittausten keskiarvon perusteella. Ohjauksen raja-arvoja on mahdollista säätää käyttöliittymästä. (C2 SmartLight järjestelmäkuvaus 2023.)

Kuvio 7 C2LM-valoisuusanturi asennettuna keskukselle

Mikäli relelähtöjen määrää halutaan kasvattaa, voidaan keskusyksikköön liittää C2RU-releyksikkö. RU sisältää kolme kuormantunnistuksella varustettua relettä (C2RU-releyksikkö, N.d.). RU mahdollistaa valaistusryhmien ohjauksen toisistaan riippumattomien ohjausparametrien mukaisesti. Tämä toteutetaan ohjaamalla kunkin valaistusryhmän kontaktoria omalla releellä.

Kuvio 8 C2RU-releyksikkö (C2RU-releyksikkö N.d.)

Valaisinkohtaista ohjausta varten tarvitaan tukiasemayksikkö C2 LuconC. LuconC välittää ohjaus ja monitorointi tietoa Lumo-ohjaimien ja CU:n välillä. Liikennöinti Lumojen kanssa tapahtuu radiotekniikalla 2,4 Ghz taajuusalueella. (C2 LuconC N.d.)

Kuvio 9 LuconC tukiasemayksikkö (C2 LuconC N.d.)

Valaisinkohtainen ohjaus toteutetaan SmartLumo-ohjaimilla. Lumot liikennöivät tukiasemayksikön kanssa sekä keskenään ulkovalaistuksen ohjaukseen standardisoidulla ZigBee 3.0 protokollalla.

Lumot muodostavat yhdessä tukiasemayksikön kanssa Mesh-verkon. (C2 SmartLight järjestelmäkuvaus 2023.) Mesh-topologiassa laitteet ovat hajautettu, mutta suoraan yhteydessä keskenään, muodostaen verkkomaisen rakenteen. Mesh-rakenteen etuuksina ovat sen luotettavuus ja vikasietoisuus. Mesh-verkossa viesti voi kulkea halutulle laitteelle useampaa eri reittiä, jolloin yhden laitteen vikaantuminen ei katkaise yhteyttä lähettäjän ja vastaanottajan välillä, vaan viesti uudelleen ohjataan toista reittiä pitkin. Mesh-verkkoon on myös helppoa lisätä uusia laitteita häiritsemättä olemassa olevan verkon toimintaa. (What is mesh topology? N.d.)

Lumot ohjaavat valaisinta niille ohjelmoidun profiilin mukaisesti, jossa valaistusta joko kirkastetaan tai himmennetään kellonajan mukaan. Ohjaus voidaan tehdä 0–100 % välillä. Ohjaus voidaan toteuttaa myös ulkoisten anturien, kuten liiketunnistimien ja painonappien syötteen perusteella. Ohjausparametrejä on mahdollista muuttaa keskusjärjestelmän kautta etäyhteydellä. (C2 SmartLight järjestelmäkuvaus 2023.)

Valaisimen ohjaus tapahtuu DALI 2-protokollan avulla mikä mahdollistaa kaksisuuntaisen liikenteen eli tietoa mm. valaisimen kunnosta saadaan luettua etänä käyttöliittymästä. DALI 2-protokolla tekee ratkaisusta myös valaisinvalmistajasta riippumattoman. Riittää kun valaisin on DALI-ohjattava. Kuviossa 10 eri liitynnällä olevat Lumo-ohjaimet. Katuvalaistuksessa näistä yleisin on valaisimen Zhaga-liittimeen kiinnitettävä SmartLumo Z. (C2 SmartLight järjestelmäkuvaus 2023.)

Kuvio 10 C2 SmartLumo-ohjaimet (C2 SmartLight järjestelmäkuvaus 2023)

SmartLumo M ohjainta voidaan käyttää mm. ratkaisuissa, joissa valaistusta ohjataan ulkoisen sensorin syötteen perusteella. Esimerkiksi suojatievalaistuksen ohjaus voidaan toteuttaa liiketunnistuksella, jossa liiketunnistimeen kytketty SmartLumo M välittää tiedon liikkeestä langattomasti suojatievalaisimen SmartLumo Z ohjaimelle, joka kirkastaa valaistusta määritellyksi ajaksi. M Lumoa voidaan käyttää myös sellaisten valaisimien ohjaukseen, joihin Zhaga- tai NEMA-liitintä ei voida valaisimen muodon vuoksi asentaa. Z- ja NEMA Lumoista poiketen M Lumo asennetaan pylvään sisälle tai ulkoiseen koteloon. (C2 SmartLight järjestelmäkuvaus 2023.)

5 Suunnitteluhankkeen havainnollistaminen

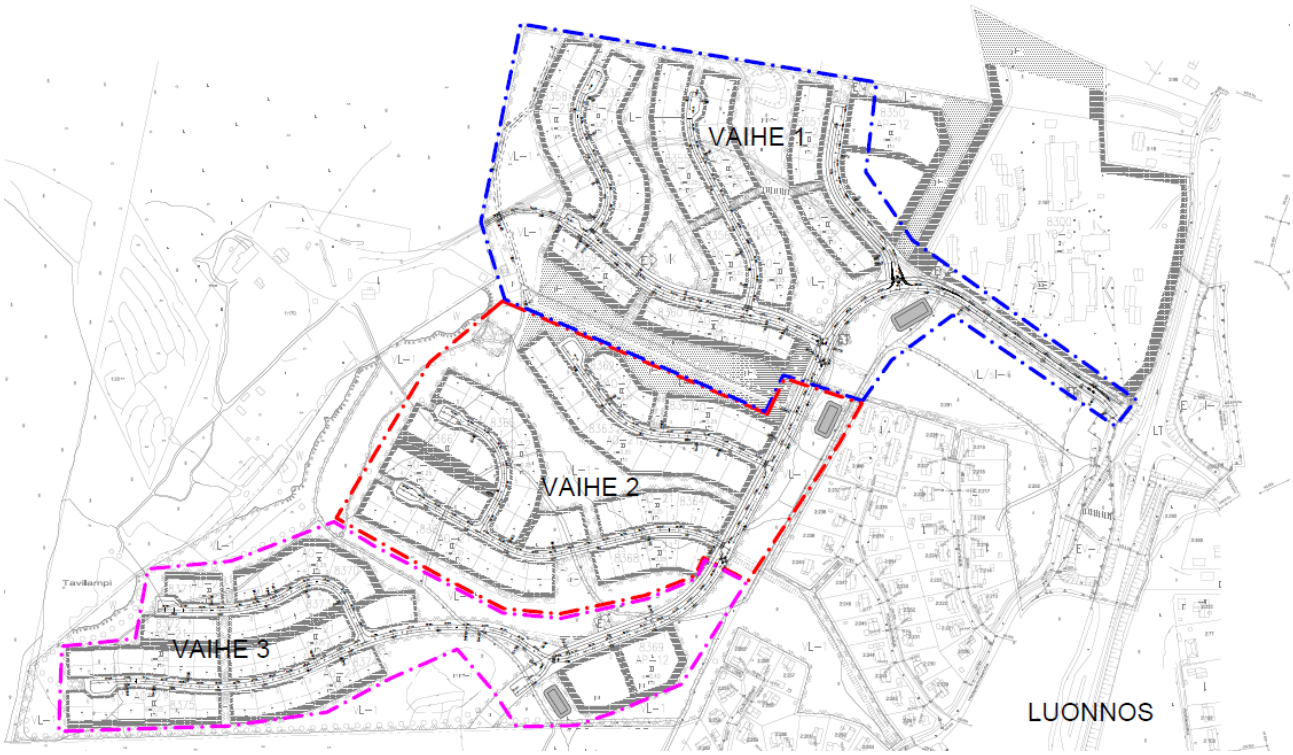
Seuraavissa alaluvuissa esitellään Siilinjärven Haapamäen asuinalueen katuvalaistuksen suunnittelua. Haapamäki on Siilinjärvelle rakentuva uusi asuinalue, joka sijaitsee Toivalan, Metsäkoulun ja Haaparinteen asuinalueiden länsipuolella. Asuinalueelle on kaavailtu 142 omakotitalorakennuspaikkaa sekä 4 rivitalorakennuspaikkaa. Haapamäen asuinalueen on tarkoitus rakentua vaiheittain 3-4 vuoden aikana alkaen vuonna 2023. Suunnittelun tilaajana toimi Siilinjärven kunta. (Haapamäen uusi asuinalue N.d.)

5.1 Lähtötiedot

Asuinalueen rakentaminen on vaiheistettu kolmeen osaan kuvion 11 mukaisesti. Kaikkien vaiheiden läpi kulkee kokoojakatuna toimiva Haapamäentie. Haapamäentiestä lähtee haarautumaan yhteensä yhdeksän muuta katua. Kaikille kaduille suunnitteellaan uusi valaistus. Haapamäentien varteen on suunniteltu myös kaksi suojatietä, näihin suunnitellaan tehostettu suojatievalaistus. Haapamäentien alusta puretaan kuusi kappaletta vanhoja puupylväitä heti rakentamisen alkaessa, muuta olemassa olevaa valaistusta alueella ei ole.

Alueelle suunnitellaan uusi katuvalaistuskeskus suunnittelijan esittämään ja tilaajan hyväksymään sijaintiin. Kaikki uudet pylväät suunnitellaan teräspylväinä sekä valaistuslaskennat tehdään käyttäen Philips Iridium-tuoteryhmän valaisimia. Tilaajan toiveesta valaisimissa tulee olla myös Zhaga-liitin valaisinkohtaista ohjainta varten.

Lähtömateriaaleina saatiin alustavat katusuunnitelmakartat sekä luonnokset valaistuksen tyyppipoikkileikkauksista PDF- ja DWG-muodossa.



Kuvio 11 Yleiskartta Haapamäen vaiheistuksesta

5.2 Valaistuslaskenta

Valaistuslaskenta toteutettiin Dialux evo-valaistussuunnittelu ohjelmalla. Valaistuslaskennan avulla määritettiin tarkat valaisintyypit sekä pisimmät pylväsvälit, joilla kaduille määritetyt valaistusluokat täyttyvät.

Ennen valaistuslaskentaa katujen valaistusluokat määriteltiin käyttäen taulukkoa 8. Kokoojakaduille määritettiin valaistusluokka M4 ja tonttikaduille M5. Kaikilla kevyenliikenteenväylillä käytettiin valaistusluokkaa P4. Haapamäentiestä haarautuvalle Siimeläntielle määritettiin myös tilaajan toiveesta valaistusluokka M4, koska se voi toimia kokoojakatuna tulevaisuudessa, jos asuinaluetta laajennetaan kyseiseen suuntaan. Myös pylväiden pituudet määritettiin ennen valaistuslaskentaa.

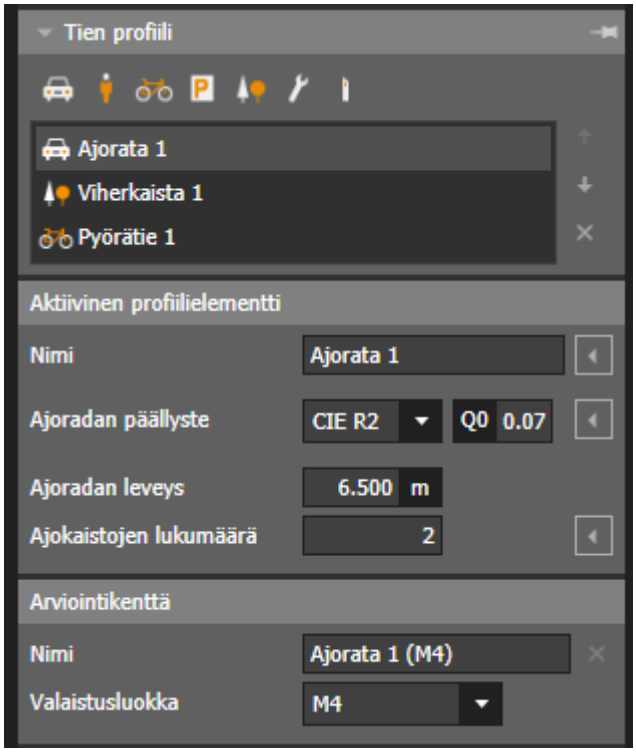
M4 valaistusluokan kaduilla päätettiin käyttää kahdeksan metrin pylväitä ja M5 luokan tonttikaduilla sekä suojateillä kuuden metrin pylväitä. Seuraavaksi esitellään valaistuslaskennan kulku pääpiirteittäin.

Laskennan vaiheistus

Laskennan aluksi määritettiin valaistuslaskennassa käytettävä alenemakerroin kohdan 2.5 mukaisesti. Valaistukseen aiotaan käyttää vain vakiovalovirtaohjauksella varustettuja ledivalaisimia sekä tiedetään, että valaisimet asennetaan yli neljän metrin korkeuteen. Tässä tapauksessa alenemakertoimena voidaan käyttää arvoa 0,90.

Seuraavaksi Dialuxiin täytyi luoda katujen tyyppipoikkileikkauksia vastaavat katuprofiilit. Profiilit tulee määrittää tarkasti kaikkien eri valaistustilanteiden mukaan. Vaihtelevia tekijöitä ovat mm. ajoratojen, viherkaistojen ja kevyenliikenteenväylien leveydet sekä niiden välinen järjestys suhteessa pylvään sijaintiin. Tässä vaiheessa määritetään myös, mitä valaistusluokkaa laskennassa käytetään sekä ajoradan päällyste parhaiten vastaamaan tulevia olosuhteita.

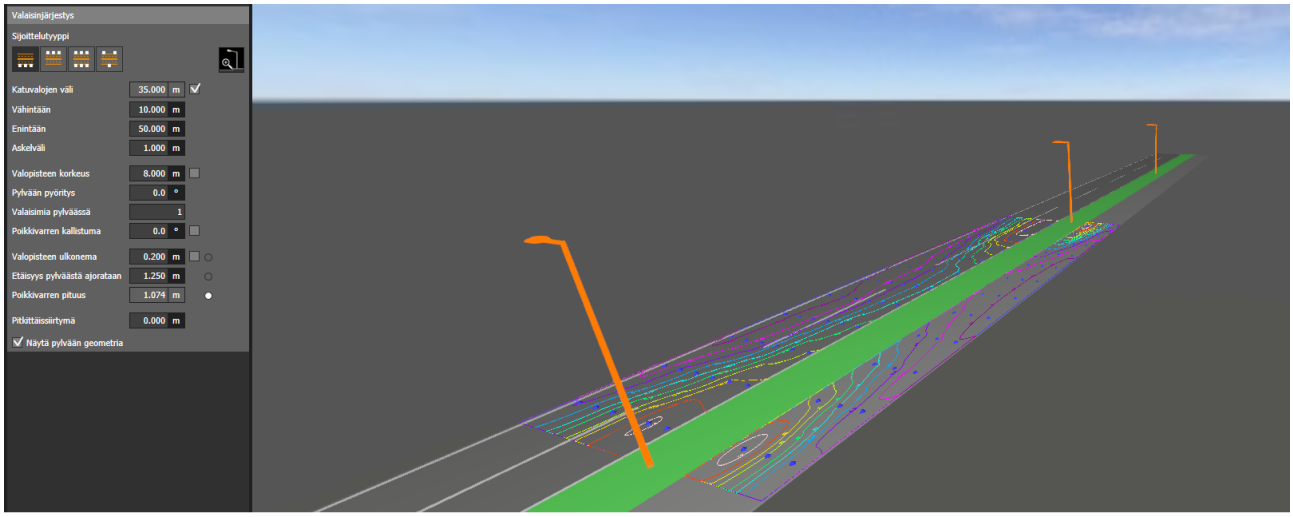
Haapamäessä erilaisia katuprofiileja tuli yhteensä kuusi kappaletta. Haapamäentien osalta tuli kaksi erilaista profiilia, koska tien alussa kevyenliikenteenväylä on pylvään edessä heti ajoradan jälkeen ja tien loppupäässä taas valaisinpylvään takana. Lähtötiedoissa saatuihin tyyppipoikkileikkauksiin tuli muutoksia suunnittelun aikana, joten myös Dialuxin katuprofiileja päivitettiin useammassa vaiheessa suunnittelua. Liitteessä 2 valaistuksen tyyppipoikkileikkaukset kaikkien katujen osalta.



Kuvio 12. Katuprofiilin määritys

Katuprofiilien määrityksen jälkeen Philipsin verkkosivuilta ladattiin kattava paketti Iridium gen4 tuoteryhmän valaisinten LDT-tiedostoja. LDT-tiedostot sisältävät kaikki valaisimen valaistus- ja sähkötekniset ominaisuudet, joita valaistuslaskennassa tarvitaan. Myös valaisimen fyysiset ominaisuudet ja geometria sisältyvät tyypillisesti LDT-tiedostoon. Tästä ladatusta paketista valikoitiin useita eri tehoisia ja eri optiikoilla varustettuja valaisimia, jotka tuotiin Dialuxiin vertailtaviksi. Kaikki vertailuun otetut valaisimet olivat varustettu vakiovalovirtaohjauksella sekä varmistettiin, että tämä on huomioitu valaisimien LDT-tiedostoissa.

Seuraavaksi määritettiin alustava pylvästys kaikille katuprofiileille, jotta päästiin testaamalla hakemaan soveltuvimpia valaisimia kuhunkin valaistustilanteeseen. Pylväät sijoitettiin tyyppipoikkileikkausten mukaisesti.



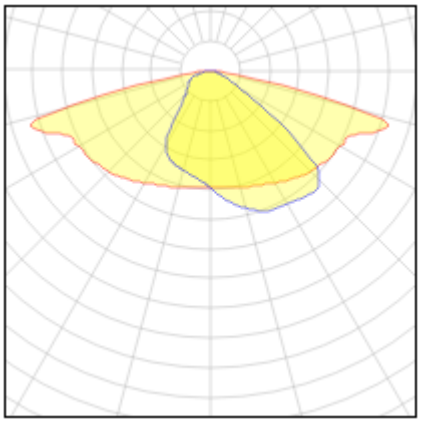
Kuvio 13 Pylväiden sijoitus katuprofiilille

Dialux laskee automaattisesti kuviossa 14 nähtävät arviointikentän suureet ja vertaa niitä käyttäjän asettaman valaistusluokan vaatimuksiin, kun valaisin syötetään kyseiselle katuprofiilille tai, kun sitä vaihdetaan. Tarkkojen valaisintyyppien valinta tehtiin tällä tavalla vertailemalla eri tehoisia ja eri optiikoilla varustettuja valaisimia niin, että saatiin jokaiseen katuprofiilin sopiva yhdistelmä. Valaistus ylimitoitettiin tarkoituksella, koska tiedettiin, että sitä voidaan himmentää jälkikäteen valaisinkohtaisen ohjaimen avulla, mikäli sille nähdään tarvetta.

Arviointikenttä (M4)		Ajorata 1 (M4)				
L_m	[cd/m²]	≥	0.75			1.02
U_o		≥	0.40			0.61
U_l		≥	0.40			0.63
TI	[%]	≤	15			14
R_{EI}		≥	0.30			0.64
Arviointikenttä (P4)		**Pyörätie 1 (P4)**				
E_m	[lx]	≥	5.00	≤	7.50	7.26
E_{min}	[lx]	≥	1.00			2.12

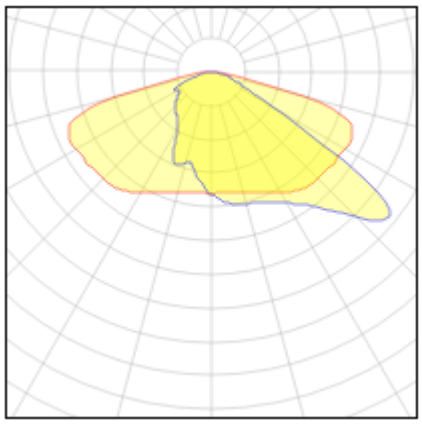
Kuvio 14 Haapamäentien loppuosan valaistuslaskenta

Valaisintyyppejä valikoitui yhteensä kolme kappaletta kahdella eri teholla ja optiikalla. Haapamäentielle ja Ikimetsäntielle määritettiin valaisintyypiksi BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10 86W. Kyseisessä valaisimessa riittää tehoa täyttämään hyvin M4 valaistusluokka ja DM10 optiikka antaa valoa ajoradan lisäksi myös pylvään takana sijaitsevalle kevyenliikenteenväylälle. Kyseisen optiikan on todettu toimivan hyvin myös suojateillä, joten kyseinen valaisin määritettiin myös Haapamäentiellä sijaiseville suojateille. Suurempi valaistusteho lyhyemmällä pylväsvälillä auttaa myös suojateitä erottumaan muusta liikenteestä.



Kuvio 15 DM10 optiikan valonjakautumiskäyrä (Product data sheet IRIDIUM GEN4 BGP502 T25 1 XLED120-4S/840 DM10 2023)

Siimeläntielle määritettiin muuten sama valaisin, mutta optiikka täytyi vaihtaa. Siimeläntiellä kevyenliikenteenväylä sijaitsee pylvään etupuolella, mutta välissä on ajorata sekä kolmen metrin levyinen viherkaista, joten DM10 optiikalla P4 valaistusluokkaa ei saada täyttymään. Optiikaksi vaihdettiin DW10, joka suuntaa valon pidemmälle eteenpäin. DW10 optiikka todettiin valaistuslaskennan avulla soveltuvan hyvin myös tonttikatujen valaisemiseen. Tonttikatujen valaistusluokan M5 vaatimuksiin riittää pienempi tehoinen valaisin, joten valaisintyypiksi määritettiin BGP502 T25 1 xLED55-4S/740 DW10 34,5W. Valaistuslaskennassa huomattiin myös 1,5 m valaisinvarren toimivan paremmin Haapamäentien alussa sekä Siimeläntiellä, joissa kevyenliikenteenväylä on kauempana pylvään edessä. Muilla kaduilla, joissa käytettiin 8 m pylväitä, todettiin 1 m valaisinvarsi riittäväksi.



Kuvio 16 DW10 optiikan valonjakautumiskäyrä (Product data sheet IRIDIUM GEN4 BGP502 T25 1 XLED55-4S/740 DW10 2023)

Valaisintyyppien valinnan jälkeen Dialuxiin haettiin pisimmät pylväsvälit jokaiselle katuprofiilille, joilla valaistus pysyy hyväksyttävissä rajoissa. Tämä on hyvä tehdä ennen kuin lähdetään suunnittelemaan pylväiden sijoitusta suunnitelmakartalle. Lopulliset valaistuslaskennat tehtiin pylväiden sijoituksen jälkeen toteutuneilla pylväsväleillä.

5.3 Pylväiden valinta ja sijoitus

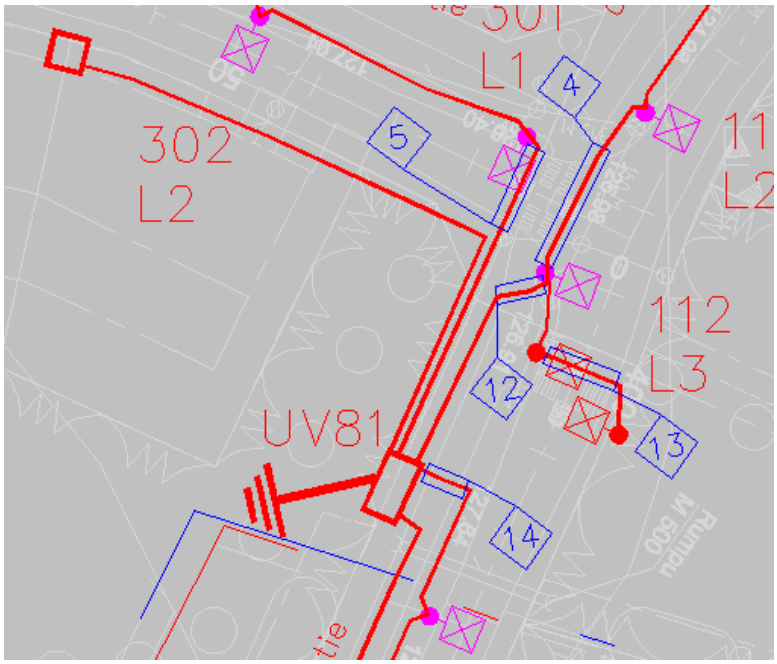
Pylväinä päädyttiin käyttämään sinkittyjä kartiopylväitä. Liitteen 9 taulukosta valittiin ennalta määritettyjen pylväs- ja varsipituuksien avulla soveltuvimmat teräspylväät. Tonttikaduille ja suojateille valittiin 6 m korkeat suorat kartiopylväät, tyyppinä A106SK. Muille kaduille valittiin 8 m korkeat yksivartiset kartiopylväät. Tyyppinä P110B108K tai P115B108K riippuen tarvittavasta valaisinvarren pituudesta. Pylväsjalustoiksi valikoitui SJ-malliston betonijalustat (ks. Liite 10). 6 m pylväille valittiin jalusta SJ-1.3 ja 8 m pylväille SJ-3.

Pylväiden sijoitus aloitettiin pakkopisteistä. Pakkopisteet tarkoittavat kohtia, jotka osaltaan määrittävät pylväiden sijoituksen. Tällaisia kohtia ovat esimerkiksi risteykset ja ajoliittymät, joiden kohdalle pylvästä ei voida sijoittaa. Pylväät on siis hyvä sijoittaa pakkopisteiden välittömään läheisyyteen. Pakkopisteiden huomioimisen jälkeen lähdettiin pylväsvälejä täydentämään. Pylväät pyrittiin sijoittamaan tonttien rajoille, koska tonttien liittymien sijainteja ei ollut suunnitteluvaiheessa tiedossa. Pylväiden sijoittelussa huomioitiin myös muut pohjakartoissa esiintyvät rakenteet, kuten hulevesiputket ja viemärit. Lopuksi pylväsvälit tasoitettiin pylväsluetteloa (liite 6) apuna käyttäen

sekä tarkastettiin valaistulaskenta suurimmalla pylväsvälillä, kunkin katuprofiilin osalta. Pylväät numeroitiin suunnitelmakarttaan sekä pylväsluetteloon.

5.4 Keskus ja kaapelointi

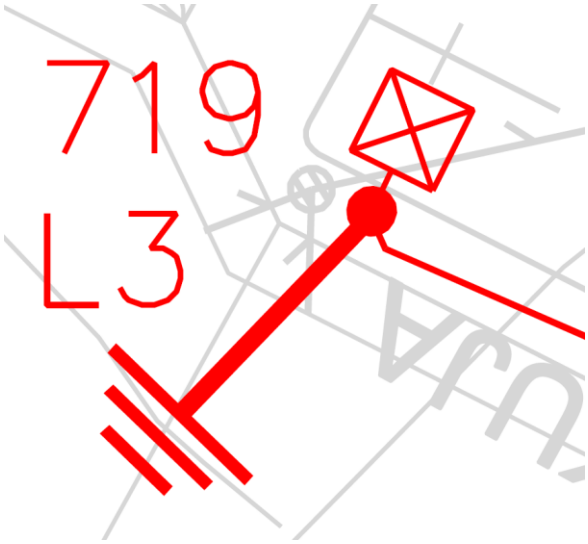
Uusi katuvalaistuskeskus UV81 suunniteltiin vaiheen 1 alueelle tilaajan toiveesta. Sijoitus tehtiin mahdollisimman lähelle vaiheen 2 rajaa, jotta valaistusryhmien pituudet pysyvät kohtuullisina eikä tule haasteita oikosulkusuojauksen kanssa. Valaistuskeskuksen syöttö kaapeloidaan Savon Voiman jakokaapilta (kuvion 17 vasen yläkulma) käyttäen AXMK 4x50S kaapelia. Keskus kalustettiin liitteen 3 pääkaavion mukaisesti.



Kuvio 17 Detaljikuva UV81 sijoituksesta ja kaapeloinnista

Valaistusryhmät kaapeloidaan AXMK 4x25S kaapelilla. Vaiheet jaettiin mahdollisimman tasaisesti valaisimien välille, jotta kuormitus pysyy symmetrisenä. Vaiheen numero on merkitty suunnitelmakarttaan pylväsnumeron alle. Päällysteen, kulkureittien ja liittymien alituksissa kaapelit asennetaan TEL 110 A – suojaputkiin. Suojaputket ovat numeroitu ja niiden sijainnit on eriteltyinä suojaputkiluettelossa sekä suunnitelmakartassa.

Maadoitukset suunniteltiin kohdassa 3.5 esiteltyjen vaatimusten mukaisesti. Maadoitukset sijoitettiin valaistuskeskukselle, kaikkien ryhmäjohtojen päihin sekä niin, että jokaiselta pylväältä tarkasteltuna lähin maadoitus löytyy korkeintaan 200 m päästä. Pylväiden maadoitukseen suunniteltiin käytettäväksi 16 mm^2 nimellispoikkipinta-alaista kuparikaapelia ja valaistuskeskuksen maadoitukseen 25 mm^2 kaapelia.



Kuvio 18 Suunnitelmakarttaan piirretty maadoitus-symboli

5.5 Sähkötekninen laskenta

5.5.1 Oikosulkuvirrat

Vikatilanteessa valaistusverkon syötön automaattinen poiskytkentä tulee toteutua alle viidessä sekunnissa standardin SFS-6000-4-41 kohdan 411.3.2 mukaisesti. Mikäli valaistusverkon jännitteelle alttiit osat ovat helposti kosketeltavissa esimerkiksi piha- ja puistoalueilla eikä käytössä ole erillisiä suojalaitteita pylväillä, noudatetaan kaikkia kohdan 411.3.2 asettamia vaatimuksia. Oikosulkusuojauksessa käytettävät gG-sulakkeet mitoitetaan tässä tapauksessa taulukon 10 avulla. (SFS-käsikirja 600-1 2022, 554.)

Taulukko 10 gG sulakkeiden vaaditut oikosulkuvirrat (Tiainen 2022, 89)

Pienimmät toimintavirrat gG-sulakkeille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta	gG-sulake 0,4 s	Vaadittu mitattu arvo	gG-sulake 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
2	16	20	9	11,3
4	32	40	18	22,5
6	46,5	58,2	28	35
10	82	102,5	46,5	58,2
16	110	137,5	65	81,3
20	145	181,3	85	106,3
25	180	225	110	137,5
32	270	337,5	150	187,5
35	-	-	175	218,8
40	315	393,8	190	237,5
50	470	587,5	250	312,5
63	550	687,5	320	400
80	-	-	425	531,3
100	-	-	580	725
125	-	-	715	893,8
160	-	-	950	1187,5
200	-	-	1250	1562,5
250	-	-	1650	2062,5
315	-	-	2200	2750
400	-	-	2840	3550
500	-	-	3800	4750
630	-	-	5100	6375

Mikäli valaistusverkossa käytetään virtapiirien suojalaitteiden lisäksi esimerkiksi pylvässulakkeita, jotka toimivat standardin kohdan 411.3.2 vaatimassa ajassa tai jännitteelle alttiit osat eivät ole normaalisti henkilöiden kosketeltavissa, voidaan valaistusverkon suojaus toteuttaa jakeluverkon tavoin. Tässäkin tapauksessa vikatilanteen syötön automaattinen poiskytkentä tulee toteutua enintään viidessä sekunnissa. Tässä tapauksessa mitoitus voidaan tehdä taulukon 11 avulla. (SFS-käsikirja 600-1 2022, 554.)

Taulukko 11 Sulakkeen mitoitusvirran valinta jakeluverkossa (ST 58.25 2022)

Ylivirtasuoja	Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta jakeluverkossa
gG-tyypin sulake $I_n \leq 63$ A	$2{,}5 \times I_n$
gG-tyypin sulake $I_n > 63$ A	$3{,}5 \times I_n$

Käytännössä aina valaistuverkon suojaus voidaan mitoittaa jakeluverkon tavoin. Metallisilla valaisinpylväillä, joissa itse pylväs voi vikatilanteessa tulla jännitteiseksi on tapana käyttää tyypillisesti 6-10 A pylvässulakkeita. Puupylväs-ilmajohto asennuksissa erillistä sulaketta ei tarvita, koska jännitteelle alttiit osat eivät ole kosketeltavissa ja käytössä on eristävä rakenne. Tästä huolimatta katuvalaistuksen sulaketarkastelussa voidaan aina käyttää taulukon 10 arvoja, sillä vaatimukset oikosulkuvirralle ovat siinä suuremmat, kuin jakeluverkolle tarkoitetussa taulukossa 11. Mikäli taulukon 10 vaatimukset täyttyvät, tiedetään että täyttyy myös taulukon 11 kevyempi vaatimus oikosulkuvirran suuruudelle.

Oikosulkuvirtojen laskennassa käytetään usein VDE:n (lVerband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik) laatimaa likiarvomenetelmää. Menetelmän antama virhe todelliseen verrattuna on yleensä korkeintaan 10 %, mutta aina sähköteknisesti turvallisempaan suuntaan. Menetelmän suurin yksinkertaistus on osaimpedanssien aritmeettinen yhteen laskenta. Kokonaisimpedanssi on todellisuudessa pienempi ja täten vikatilanteen oikosulkuvirta suurempi, kuin tällä menetelmällä laskettu. Laskennassa käytetään alla olevaa kaavaa 2. (Tiainen 2022, 90.)

$$I_k = \frac{(c * U)}{\sqrt{3} * Z} \qquad (2)$$

Jossa

I_k on pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta (A)

c on vakiokerroin 0,95, jolla otetaan huomioon mm. johdoissa ja sulakkeissa syntyvät jännitteenalenemat

U on verkon pääjännite (V)

Z on kokonaisimpedanssi (Ω)

Oikosulkuvirran kaavasta (kaava 2) saadaan johdettua kaava katuvalaistuskeskusta edeltävän verkon impedanssin ratkaisemiseksi. Jotta kaavalla 3 saadaan ratkaistua edeltävän verkon impedanssi, tarvitaan tietää katuvalaistuskeskusta syöttävän jakokaapin tai muuntajan pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta I_k. Tämä tieto saadaan liittymän tarjoavalta sähköverkkoyhtiöltä.

$$Z = \frac{(c * U)}{\sqrt{3} * I_k} \quad (3)$$

Haapamäen alueella sähköverkkoyhtiönä toimii Savon Voima Verkko Oy. Savon voimalta saatiin uutta katuvalaistuskeskusta lähimmän jakokaapin pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta I_k = 3278A. Tältä jakokaapilta kaapeloidaan syöttö uudelle katuvalaistuskeskukselle käyttäen AXMK 4x50S kaapelia.

Jakokaapin oikosulkuvirran avulla saadaan edeltävän verkon impedanssi laskettua seuraavasti:

$$Z = \frac{0{,}95 * 400\ V}{\sqrt{3} * 3278\ A} = 0{,}0669\ \Omega$$

Jotta saadaan laskettua katuvalaistuskeskuksen oikosulkuvirta, täytyy ensiksi selvittää sen kokonaisimpedanssi. Keskuksen kokonaisimpedanssi koostuu edeltävän verkon impedanssista sekä syöttökaapelin impedanssista. Kaapelien impedanssi lasketaan seuraavalla kaavalla 4.

$$Z_{kaapeli} = s * 2 * z \quad (4)$$

Jossa

s on kaapelin pituus kilometreinä (km)

2 on vakiokerroin

z on kaapelin ominaisimpedanssi (Ω/km)

Tarkat tiedot kaapelin ominaisuuksista saadaan kaapelin valmistajalta. Suunnitteluvaiheessa ei ole tapana määrittää valmistajaa, joten laskennoissa käytetään taulukon 12 mukaisia likimääräisarvoja.

Taulukko 12 Likimääräisiä ominaisarvoja eri poikkipintaisille kaapeleille 80 °C johdinlämpötilassa (Tiainen 2022, 91)

Johtimien poikkipinta mm^2	Kupari			Alumiini		
	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z
4 × 1,5	14,620	0,115	14,620			
4 × 2,5	8,770	0,110	8,770			
4 × 4	5,480	0,107	5,480			
4 × 6	3,660	0,100	3,660			
4 × 10	2,244	0,094	2,246			
4 × 16	1,415	0,090	1,418	2,324	0,090	2,326
4 × 25	0,898	0,086	0,902	1,489	0,086	1,492
4 × 35	0,652	0,083	0,657	1,086	0,083	1,089
4 × 50	0,482	0,083	0,489	0,796	0,083	0,800
4 × 70	0,336	0,082	0,346	0,551	0,082	0,557
4 × 95	0,244	0,082	0,257	0,398	0,082	0,406
4 × 120	0,195	0,080	0,211	0,316	0,080	0,326
4 × 150	0,155	0,080	0,174	0,258	0,080	0,270
4 × 185	0,125	0,080	0,148	0,207	0,080	0,222
4 × 240	0,095	0,079	0,124	0,162	0,079	0,180
4 × 300	0,078	0,079	0,111	0,133	0,079	0,155

Kaavan 4 sekä taulukon 12 avulla saadaan ratkaistua syöttökaapelina käytettävän AXMK 4x50S kaapelin impedanssi. Syöttökaapelin pituus arvioitiin tehdystä suunnitelmakartasta. Arvioinnissa

otettiin huomioon myös hyväksi todettu 5 metrin kytkentävara sekä tulosta pyöristettiin sähkötekнisesti turvallisempaan suuntaan eli ylöspäin.

$$Z_{syöttökaapeli} = 0{,}082\ km * 2 * 0{,}8 = 0{,}1312\ \Omega$$

Katuvalaistuskeskuksen UV81 impedanssi saadaan siis laskemalla yhteen edeltävän verkon impedanssi sekä syöttökaapelin impedanssi.

$$Z_{UV81} = 0{,}0669\ \Omega + 0{,}1312\ \Omega = 0{,}1981\ \Omega$$

Seuraavaksi saadaan ratkaistua katuvalaistuskeskuksen UV81 oikosulkuvirta kaavan 2 avulla

$$I_{kUV81} = \frac{0{,}95 * 400\ A}{\sqrt{3} * 0{,}1981\ \Omega} \approx 1107\ A$$

Oikosulkuvirtalaskenta tulee tehdä myös kaikille keskukselta lähteville valaistusryhmille. Ryhmien osalta I_k lasketaan aina ryhmän päähän viimeiselle pylväälle. Laskennassa käytetään kaavoja 2 ja 4 sekä taulukkoa 12.

Laskennassa tulee huomioida, että ryhmän kokonaisimpedanssi muodostuu katuvalaistuskeskuksen impedanssista Z_{UV81} sekä ryhmäjohdon omasta impedanssista. Taulukosta 12 saadaan ryhmäjohtona käytettävän AXMK 4x25S kaapelin ominaisimpedanssiksi 1,492 Ω/km. Ryhmien pituudet arvioitiin suunnitelmakartasta sekä niihin lisättiin kytkentävaraa aina 5 m pylvästä kohden.

Ryhmä 1:

$$Z_{R1} = 0{,}1981\ \Omega + 0{,}5\ km * 2 * 1{,}492\ \frac{\Omega}{\mathrm{km}} = 1{,}6901\ \Omega$$

$$I_{kR1} = \frac{0{,}95 * 400\ A}{\sqrt{3} * 1{,}6901\ \Omega} \approx 129\ A$$

Ryhmä 2:

$$Z_{R2} = 0{,}1981\ \Omega + 0{,}603\ km * 2 * 1{,}492\ \frac{\Omega}{\mathrm{km}} = 1{,}9975\ \Omega$$

$$I_{kR2} = \frac{0{,}95 * 400\ A}{\sqrt{3} * 1{,}9975\ \Omega} \approx 109\ A$$

Ryhmä 3:

$$Z_{R3} = 0{,}1981\ \Omega + 0{,}630\ km * 2 * 1{,}492\ \frac{\Omega}{\mathrm{km}} = 2{,}0780\ \Omega$$

$$I_{kR3} = \frac{0{,}95 * 400\ A}{\sqrt{3} * 2{,}0780\ \Omega} \approx 105\ A$$

Ryhmä 4:

$$Z_{R4} = 0{,}1981\ \Omega + 1{,}04\ km * 2 * 1{,}492\ \frac{\Omega}{\mathrm{km}} = 3{,}3015\ \Omega$$

$$I_{kR4} = \frac{0{,}95 * 400\ A}{\sqrt{3} * 3{,}3015\ \Omega} \approx 66\ A$$

Valaisinryhmien sulakkeiksi valittiin yleisen käytännön mukaan 16 A gG-sulakkeet. Taulukosta 10 saadaan vaadituksi oikosulkuvirraksi 5 s laukaisuajalla 65 A. Tämä vaatimus täyttyy kaikkien ryhmien osalta. Kaikille pylväille suunniteltiin asennettavaksi 6 A pylvässulake, joten tarkastelun voi tehdä myös jakeluverkon tavoin taulukon 11 avulla. Tällöin vaatimukseksi saadaan 40 A.

Kunnilla voi olla omia vaatimuksia oikosulkuvirroille. Nämä voivat poiketa standardin SFS 6000 vaatimuksista, mutta aina korottaen niitä. Kuopion kaupungin ulkovalaistuksen suunnitteluohjeessa esitetään, että tulee välttää ratkaisuja, joissa ryhmäjohdon päässä minioikosulkuvirta alittaisi 100 A riippumatta käytetystä sulakekoosta (Kuopion kaupungin ulkovalaistuksen suunnitteluohje 2020, 53). Helsingin kaupungin suunnitteluohjeessa vastaava 100 A oikosulkuvirta vaatimus on esitetty 35 A sulakkeelle (Helsingin kaupungin ulkovalaistuksen suunnitteluohje 2022, 67). Mikä kunnalla ei ole omia ohjeistuksia, käytetään mitoituksessa aina standardin SFS 6000 vaatimuksia.

5.5.2 Jännitteenalenema

Jatkuva yli- tai alijännite heikentää valaisimen oletettua käyttöikää. Alijännite aiheuttaa valaisimien eriaikaista syttymistä sekä satunnaista sammumista jännitteen alittaessa valaisimen vaatiman vähimmäisjännitteen. Jatkuva ylijännite puolestaan vaurioittaa valaisimien liitäntälaitteita sekä aiheuttaa valaisimien jaksoittaista palamista. (ST 58.25 2022.)

Ulkovalaistuverkon osalta sallittu jännitteenalenema on valittava käytettävän valaisin- ja lamputyypin mukaan (SFS-käsikirja 600-1 2022, 555). Tilaajan toiveesta suunnittelussa käytettiin Philips Iridium gen4 tuoteryhmän valaisimia, joiden datalehdiltä saatiin jännitteen sallituksi vaihteluväliksi 220-240 V. Tässä tapauksessa sallittu jännitteenalenema on noin 4 %. Oikosulkuvirran tavoin jännitteenalenema lasketaan aina ryhmän viimeiselle pylväälle. Kolmivaiheisella vaihtojännitteellä jännitteenalenema saadaan laskettua kaavan 5 avulla.

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (r cos\varphi \pm sin\varphi) \quad (5)$$

Jossa

ΔU on jännitteenalenema volteissa (V)

I on kuormitusvirta (A)

l on johdon pituus (km)

r on johtimen ominaisresistanssi (Ω/km)

ϕ on jännitteen ja virran välinen vaihekulma

Kaavassa 5 plusmerkkiä käytetään, kun kyseessä on induktiivinen kuorma ja miinusmerkkiä kapasitiivisella kuormalla. Valaistuskuorma oletetaan induktiiviseksi. Mikäli tarkkaa cosϕ arvoa ei tunneta, voidaan käyttää arvoa 0,9 ja sinϕ osalta arvoa 0,436.

Vastaavasti suhteellinen jännitteenalenema saadaan kaavan 6 avulla

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100\ \% \tag{6}$$

Jossa

Δu on suhteellinen jännitteenalenema (%)

ΔU on jännitteenalenema volteissa (V)

U_n on nimellisjännite (400 V)

Seuraavaksi esitellään valaistusryhmän 4 jännitteenaleneman laskenta. Jännitteenaleneman tarkastelu päätettiin tehdä ryhmälle 4, koska se on huomattavasti muita ryhmiä pidempi sisältäen suurimman osan tonttikaduista. Mikäli vaatimus jännitteenalenemalle täyttyy ryhmän 4 osalta, tiedetään, että se täyttyy muissakin ryhmissä. Laskujen kuormitusvirrat on saatu liitteestä 5 löytyvän kuormitustaulukon avulla ja kaapeleiden ominaisarvot taulukosta 12.

Jännitteenalenema keskuksella UV81 saadaan seuraavasti:

$$\Delta U_{UV81} = 9{,}33\ A * 0{,}082\ km * \sqrt{3} * \left(0{,}796\ \frac{\Omega}{km} * 0{,}9 + 0{,}083\ \frac{\Omega}{km} * 0{,}436\right) = 0{,}9973\ V$$

Ryhmän 4 viimeinen pylväs 909 on suunniteltu kytkettäväksi vaiheeseen 3, joten jännitteenalenema lasketaan sen osalta. Laskennassa on huomioitava, että vaiheen 3 kokonaiskuormitusvirta laskee jokaisen valaistusverkon haaran myötä. Kuormitusvirrasta vähennetään aina kyseisen haaran vaiheeseen 3 kytkettyjen valaisimien ottama virta.

UV81–pylväs 601:

$$\Delta U_{UV81-P601} = 2{,}7\ A * 0{,}122\ km * \sqrt{3} * \left(1{,}489\ \frac{\Omega}{km} * 0{,}9 + 0{,}086\ \frac{\Omega}{km} * 0{,}436\right) = 0{,}7860\ V$$

Pylväsväli 601–701:

$$\Delta U_{P601-701} = 2{,}25\ A * 0{,}107\ km * \sqrt{3} * \left(1{,}489\ \frac{\Omega}{km} * 0{,}9 + 0{,}086\ \frac{\Omega}{km} * 0{,}436\right) = 0{,}5744\ V$$

Pylväsväli 701–801:

$$\Delta U_{P701-801} = 1{,}35\ A * 0{,}252\ km * \sqrt{3} * \left(1{,}489\ \frac{\Omega}{km} * 0{,}9 + 0{,}086\ \frac{\Omega}{km} * 0{,}436\right) = 0{,}8117\ V$$

Pylväsväli 801–909:

$$\Delta U_{P801-909} = 0{,}9\ A * 0{,}56\ km * \sqrt{3} * \left(1{,}489\ \frac{\Omega}{km} * 0{,}9 + 0{,}086\ \frac{\Omega}{km} * 0{,}436\right) = 1{,}2026\ V$$

Ryhmän 4 jännitteenalenemien yhteenlaskettu tulos:

$$\Delta U_{tot} = \Delta U_{UV81} + \Delta U_{UV81-P601} + \Delta U_{P601-701} + \Delta U_{P701-801} + \Delta U_{P801-909} \approx 4{,}4\ V$$

Jännite on siis tämän verran alhaisempi ryhmän viimeisellä pylväällä, kuin ryhmän alussa. Suhteellinen jännitteenalenema saadaan vertaamalla alenemaa volteissa pääjännitteeseen seuraavan laskun mukaisesti:

$$\Delta u_{R4} = \frac{4{,}4\ V}{400\ V} * 100\ \% \approx 1{,}1\ \%$$

Huomataan, että jännitteenalenema on käytetyille valaisimille sallituissa rajoissa.

5.6 Valaistuksen ohjauksen toteutus

5.6.1 Katuvalaistus

Katuvalaistuskeskukselle UV81 asennetaan seuraavat ohjauslaitteet, joiden toiminnankuvaukset on esitetty kohdassa 4.1.1:

- C2PU-virtalähde
- C2CU-keskusyksikkö + antenni
- C2 LuconC + antenni

Valaistuksen päälle-pois ohjaus tapahtuu valoisuustiedon perusteella. Siilinjärvellä on kolmelle valaistuskeskukselle asennettu valoisuusmittausanturit. Valaistus ohjataan päälle, kun mittausten keskiarvo alittaa käyttöliittymässä määritetyn raja-arvon ja ohjataan pois päältä, kun arvo ylitetään.

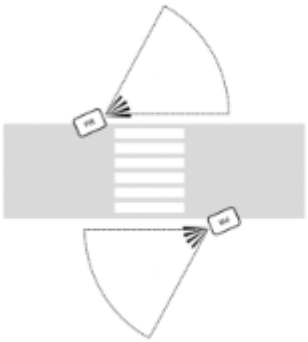
Kaikkiin valaisimiin asennetaan C2 SmartLumo Z valaisinkohtaiset ohjaimet. Asennus tapahtuu valaisimen päällä olevaan Zhaga-liittimen. Valaistusryhmien sähköjen ollessa päällä, Lumot himmentävät valaisimia kellonaikatiedon perusteella. Lumot saavat kellonaikatiedon langattomasti radioverkon kautta C2CU-keskusyksiköltä. Lumoille ohjelmoidaan alla olevan taulukon 13 mukainen himmennysprofiili.

Taulukko 13 M4 Himmennysprofiili

Klo	Ohjaus
23-01	70 %
01-05	40 %
05-07	70 %
07-23	100 %

5.6.2 Suojatiet

Suojateiden valaistuksen ohjaus toteutetaan liiketunnistimien avulla. Liiketunnistimet asennetaan molemmin puolin suojatietä valaisinpylväisiin ja suunnataan siten, että jalankulkijat tunnistetaan mahdollisimman hyvin, mutta niin ettei liiketunnistus reagoi ohi ajaviin ajoneuvoihin (ks. kuvio 20). Normaali tilassa valaistus on himmennettynä 30 % tasolle ja liiketunnistimien havaitessa liikettä valot kirkastuvat 100 % tasolle.



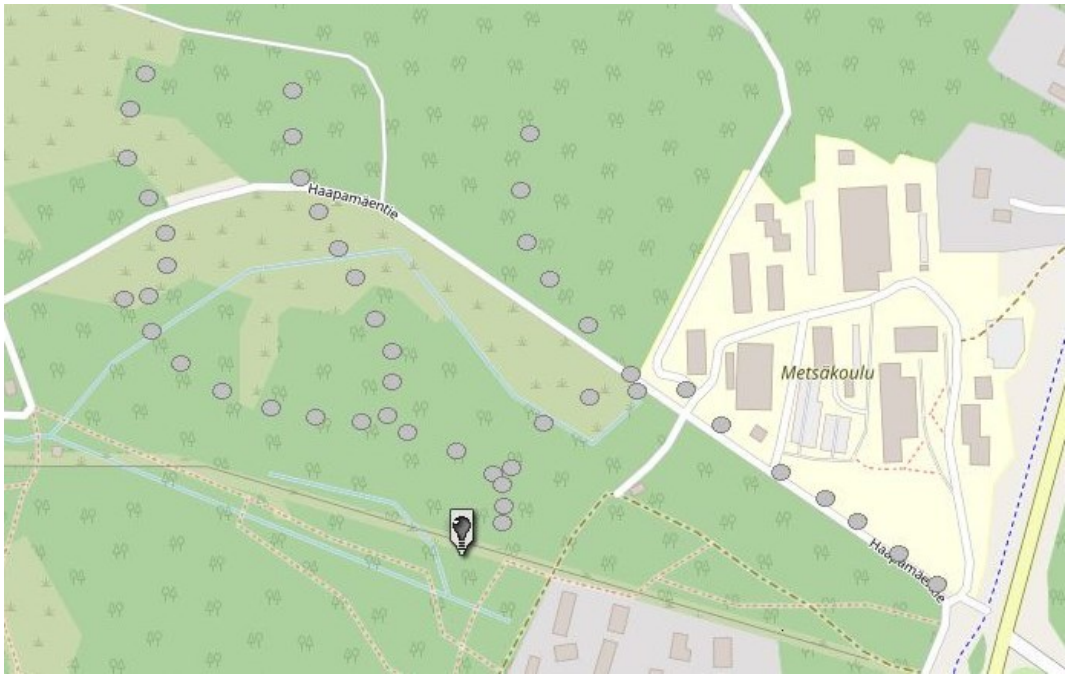
Kuvio 19. Liiketunnistimien suuntaus

6 Dokumentit

Haapamäen katuvalaistuksen suunnittelusta tehtiin kattava dokumentaatio. Tilaajan toiveesta kaikista kolmesta vaiheesta luotiin omat dokumentit, koska myös rakentaminen etenee vaiheittain. Suunnittelusta luotiin seuraavat dokumentit:

- Suunnitelmakartat
- Valaistuslaskennat
- Valaistuksen tyyppipoikkileikkaukset
- Piirustusluettelot
- Tarvikeluettelot
- Pylväsluettelot
- Suojaputkiluettelot
- Keskuksen pääkaavio
- Ohjauspiirikaavio
- Kuormitustaulukko
- Työselitykset
- Turvallisuusasiakirja

Opinnäytetyön liitteisiin sisällytettiin koko suunnitellun alueen suunnitelmakartta, valaistuksen tyyppipoikkileikkaukset sekä vaiheesta 1 luotu dokumentaatio työn kannalta soveltuvimmin osin. Opinnäytetyön tekohetkellä vaihe 1 toteutettiin. Alla olevassa kuviossa 20 vaiheen 1 valaisinkohtaiset Lumo-ohjaimet asennettuina ja nähtävillä C2 SmartCity -käyttöliittymässä.



Kuvio 20 Lumot käyttöliittymässä

7 Pohdinta

Opinnäytetyössä noudatettiin Hyvän tieteellisen käytännön (HTK) perusperiaatteita sekä Jyväskylän ammattikorkeakoulun raportointiohjetta. Lähde- ja tekstiviitteet tehtiin raportointiohjeen mukaisesti.

Työn tavoitteena oli koota uudiskohteen älykkään katuvalaistuksen suunnitteluun tarvittava teoria selkeäksi kokonaisuudeksi. Havainnollistavana esimerkkinä suunnittelusta käytettiin Haapamäen uudiskohteen suunnittelua. Lopputuloksena saatiin koottua tavoitteenmukainen kokonaisuus, jota voidaan hyödyntää toimeksiantajayrityksen tulevissa suunnitteluhankkeissa. Opinnäytetyötä voidaan myös hyödyntää esimerkiksi uusien sähkö- ja valaistussuunnittelijoiden perehdytyksessä esimerkkihanketta vastaaviin projekteihin.

Älykkään katuvalaistuksen suunnittelu on hyvin laaja aihe. Haasteena oli rajata aihealueista vain työn kannalta oleellisin tieto, niin ettei opinnäytetyöstä tule liian laaja kokonaisuus. Työssä on käsitelty laajasti erilaisia sähkö- ja valaistussuunnitteluun liittyviä aihealueita katuvalaistuksen näkökulmasta, jonka vuoksi kaikkia aihealueita ei voitu käsitellä kovinkaan tarkasti. Työn aihealuetta olisi voitu rajata tarkemmin, jolloin haluttuihin aihealueisiin olisi voitu syventyä vielä enemmän.

Tarkemmalla rajauksella työssä ei kuitenkaan olisi voitu käsitellä aihealueita niin monipuolisesti, mikäli opinnäytetyölle sopivassa laajuudessa halutaan pysyä.

Toimeksiantajayrityksessä voitaisiin jatkokehityksenä tehdä tämän työn pohjalta yksityiskohtaisempia suunnitteluohjeita, joissa paneudutaan haluttuun aihealueeseen vielä tarkemmin. Yrityksessä voitaisiin laatia tarkempi ohje esimerkiksi valaisimen valintaan liittyen. CAD-piirtoa ei sisällytetty tähän työhön, mutta siitä voitaisiin myös jatkossa laatia erillinen ohjeistus.

Lähteet

AXMK alumiinivoimakaapeli. 2023. 4x25 S Tuotedatalehti. Reka. Viitattu 18.10.2023. https://www.reka.fi/tuoteryhma/axmk/

C2 LuconC. N.d. Tuotesivu. C2 SmartLight. Viitattu 5.12.2023. https://c2smartlight.com/ratkaisut/tuotteet-ja-palvelut/c2-luconc/

C2RU-releyksikkö. N.d. Tuotesivu. C2 SmartLight. Viitattu 5.12.2023. https://c2smartlight.com/ratkaisut/tuotteet-ja-palvelut/c2ru-releyksikkoc2-2614106/

C2 SmartLight järjestelmäkuvaus. 2023. Yrityksen sisäinen ohje.

C2 SmartLight Street. N.d. Käyttöohje. C2 SmartLight. Viitattu 5.12.2023. https://drive.google.com/file/d/12YKVhlQ-42MrDSFCENhkGKMtu3b-Ejib/view

Draka asennuskaapeli. N.d. Tuotesivu. Sonepar. Viitattu 18.10.2023. https://verkkokauppa.sonepar.fi/fi/asennuskaapeli-draka-mmj-3x1-5-s-pk300-eca-0456772

Haapamäen uusi asuinalue. N.d. Siilinjärven kunnan verkkosivu. Viitattu 17.11.2023. https://www.siilinjarvi.fi/haapamaki/

Helsingin kaupungin ulkovalaistuksen suunnitteluohje. 2022. Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön toimialan julkaisu. Viitattu 11.11.2023. https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/ohjeet/ulkovalaistus/Helsingin%20kaupungin%20ulkovalaistuksen%20suunnitteluohje%20(pdf).pdf

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kuopion kaupungin ulkovalaistuksen suunnitteluohje. 2020. Kunnallisteknillisen suunnittelun julkaisu. Viitattu 11.11.2023. https://publish.kuopio.fi/kokous/2020652269-6-1.PDF

Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu. 2023. Väylävirasto ohjeita. Viitattu 4.9.2023. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-33_maantie_rautatiealueiden_valaistusohje_web.pdf

Moderni katuvalaistus mukautuu tarpeisiin. 2019. Artikkeli Greenledin sivustolla. Viitattu 6.12.2023. https://greenled.fi/ajankohtaista/moderni-katuvalaistus-mukautuu-tarpeisiin/

Product data sheet IRIDIUM GEN4 BGP502 T25 1 XLED120-4S/840 DM10. 2023. Datalehti. Dialux Luminaire Finder. Viitattu 10.12.2023. https://luminaires.dialux.com/en/article/pdf/f5-yC8HCQGa-flJ0fqSc4Xw

Product data sheet IRIDIUM GEN4 BGP502 T25 1 XLED55-4S/740 DW10. 2023. Datalehti. Dialux Luminaire Finder. Viitattu 10.12.2023. https://luminaires.dialux.com/en/article/pdf/BSyLZ0q4StOyQ3oXMTGyaA

SFS-käsikirja 600-1. 2022. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

ST 57.40. 2017. Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät. Sähköinfo. Viitattu 15.11.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/6532?search=ST%2057.40.

ST 58.04. 2022. Ohjeita valaistuksen suunnitteluun ja toteutukseen. Sähköinfo. Viitattu 4.9.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/672?search=st%2058

ST 58.25. 2020. Ulkovalaistusverkon mitoitus. Sähköinfo. Viitattu 10.11.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/664?search=ST%2058.25

Sähkö-Jokinen. 2021. Tuote-esite Sähkö-Jokisen sivustolla. Viitattu 23.9.2023. https://sahkojokinen.fi/wp-content/uploads/2021/08/sa%CC%88hko%CC%88jokinen_tuoteesite_24062021_lowres.pdf

Tiainen, E. 2022. D1-2022 käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.

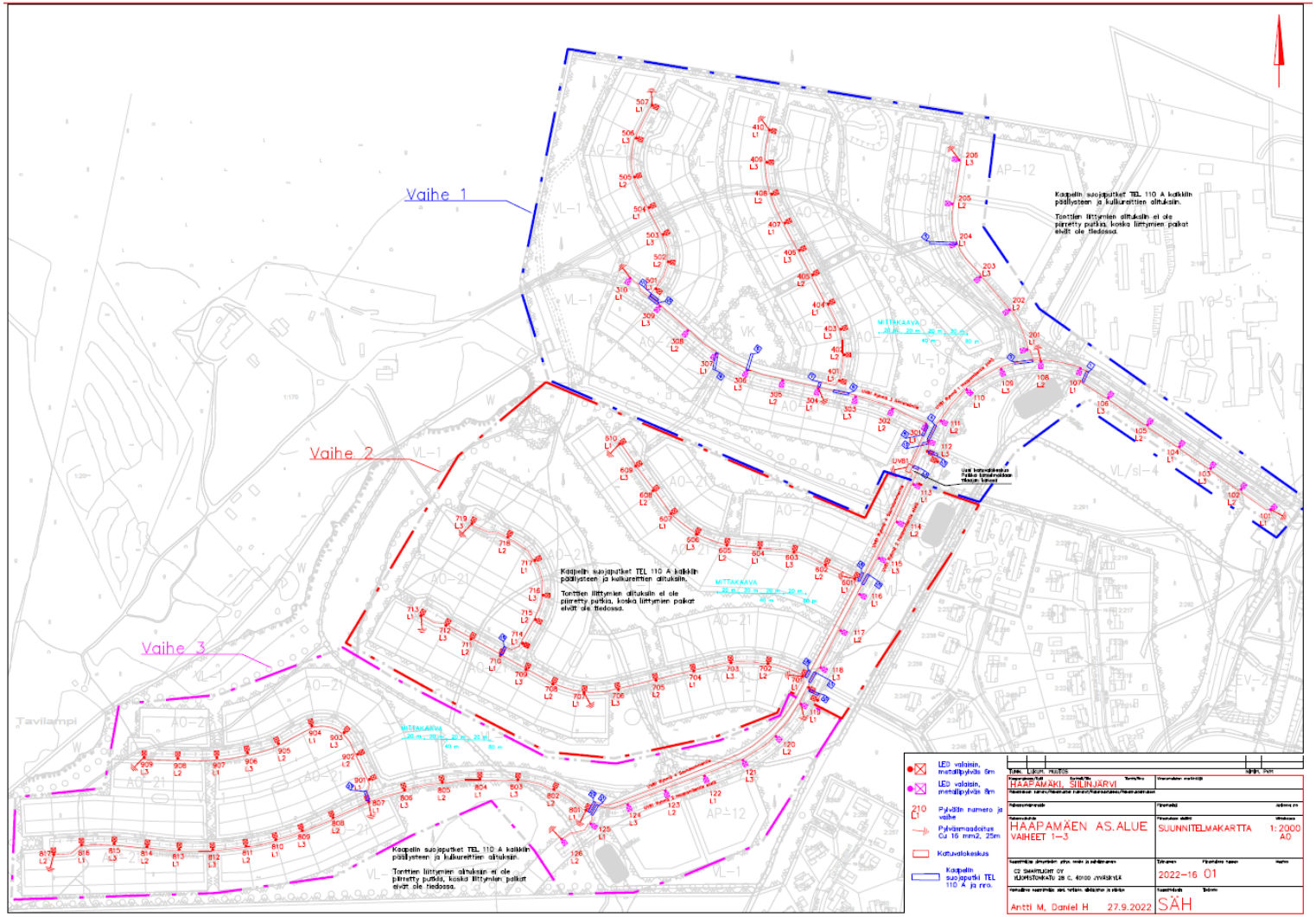
Tien valaisinpylväiden ja jalustojen laatuvaatimukset. 2022. Väyläviraston ohjeita. Viitattu 23.9.2023. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-23_tien_valaisinpylvaiden_21.12.2022.pdf

Valaisinpylväskalustesarja LCK5-16-06A. N.d. Tuotesivu. Ensto. Viitattu 20.10.2023. https://www.ensto.com/fi/sahkoverkonrakennus/tuotteet/pienjanniteratkaisut/valaisinpylvaskalusteet/pylvaskalustesarjat/lck5-16-06a/

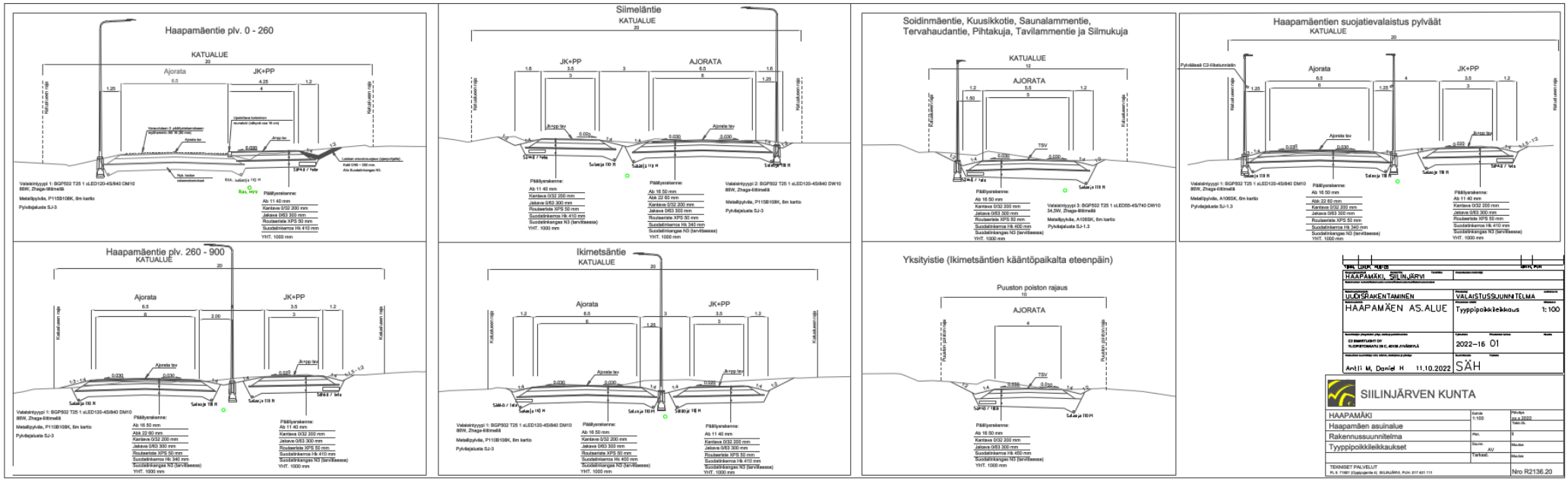
What is mesh topology?. N.d. Artikkeli Lenovon sivustolla. Viitattu 6.12.2023. https://www.lenovo.com/us/en/glossary/mesh-topology/?orgRef=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

Liitteet

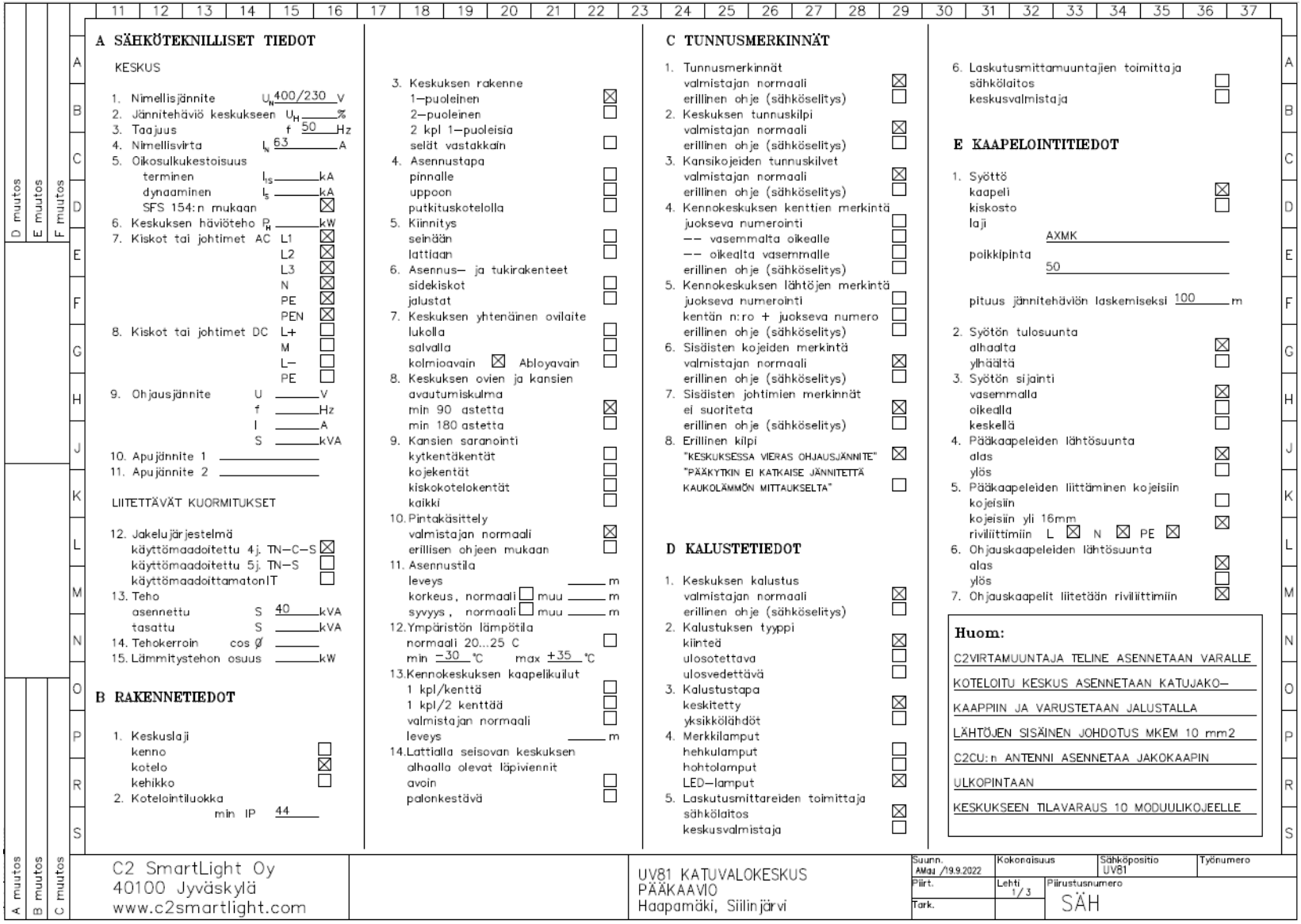
Liite 1. Suunnitelmakartta

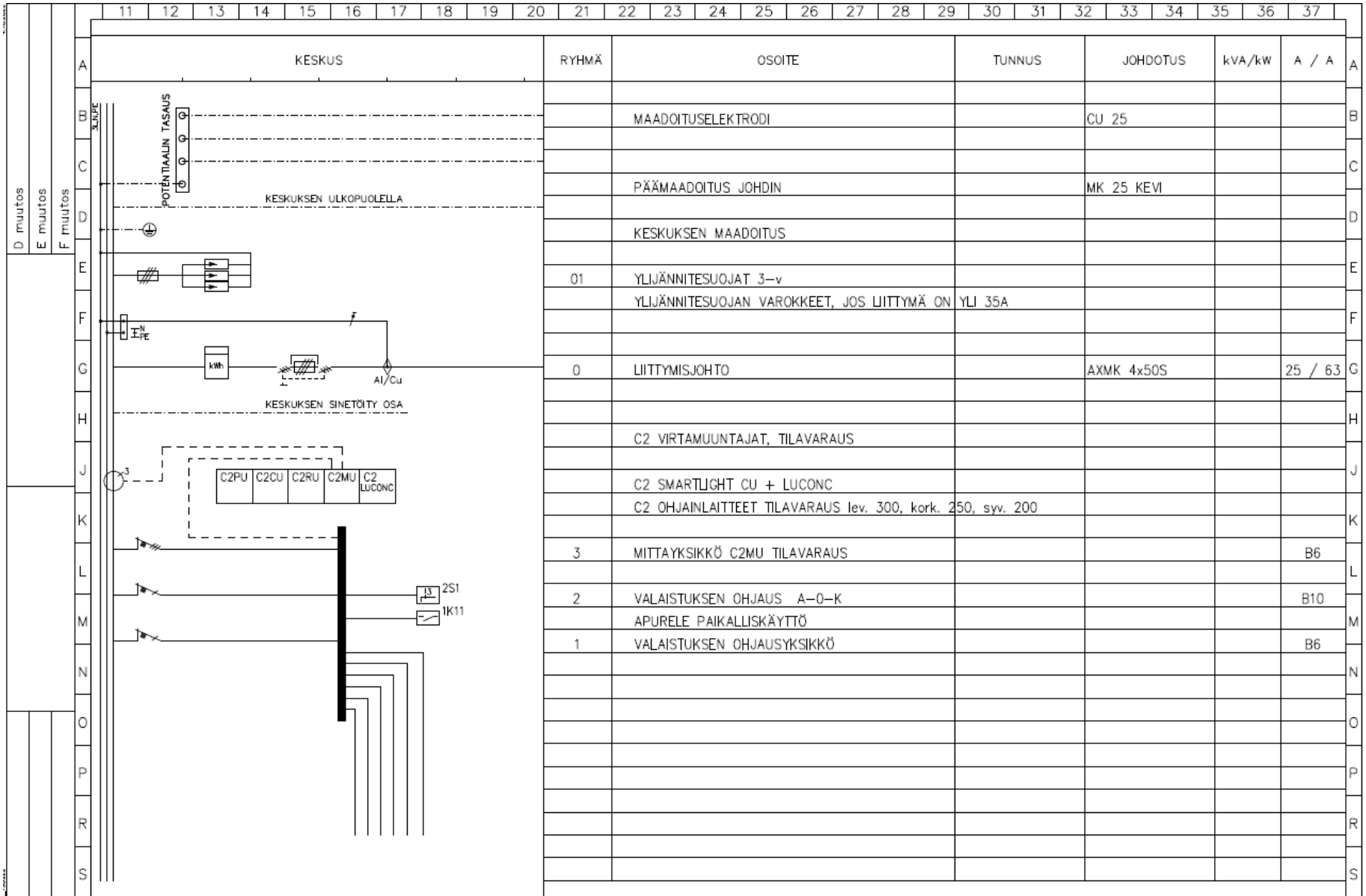


Liite 2. Valaistuksen tyyppipoikkileikkaukset



Liite 3. UV81 Pääkaavio





KESKUS	RYHMÄ	OSOITE	TUNNUS	JOHDOTUS	kVA/kW	A / A
		MAADOITUSELEKTRODI		CU 25		
		PÄÄMAADOITUS JOHDIN		MK 25 KEVI		
		KESKUKSEN MAADOITUS				
	01	YLIJÄNNITESUOJAT 3–v				
		YLIJÄNNITESUOJAN VAROKKEET, JOS LIITTYMÄ ON	YLI 35A			
	0	LIITTYMISJOHTO		AXMK 4x50S		25 / 63
		C2 VIRTAMUUNTAJAT, TILAVARAUS				
		C2 SMARTLIGHT CU + LUCONC				
		C2 OHJAINLAITTEET TILAVARAUS lev. 300, kork. 250, syv. 200				
	3	MITTAYKSIKKÖ C2MU TILAVARAUS				B6
	2	VALAISTUKSEN OHJAUS A–0–K				B10
		APURELE PAIKALLISKÄYTTÖ				
	1	VALAISTUKSEN OHJAUSYKSIKKÖ				B6

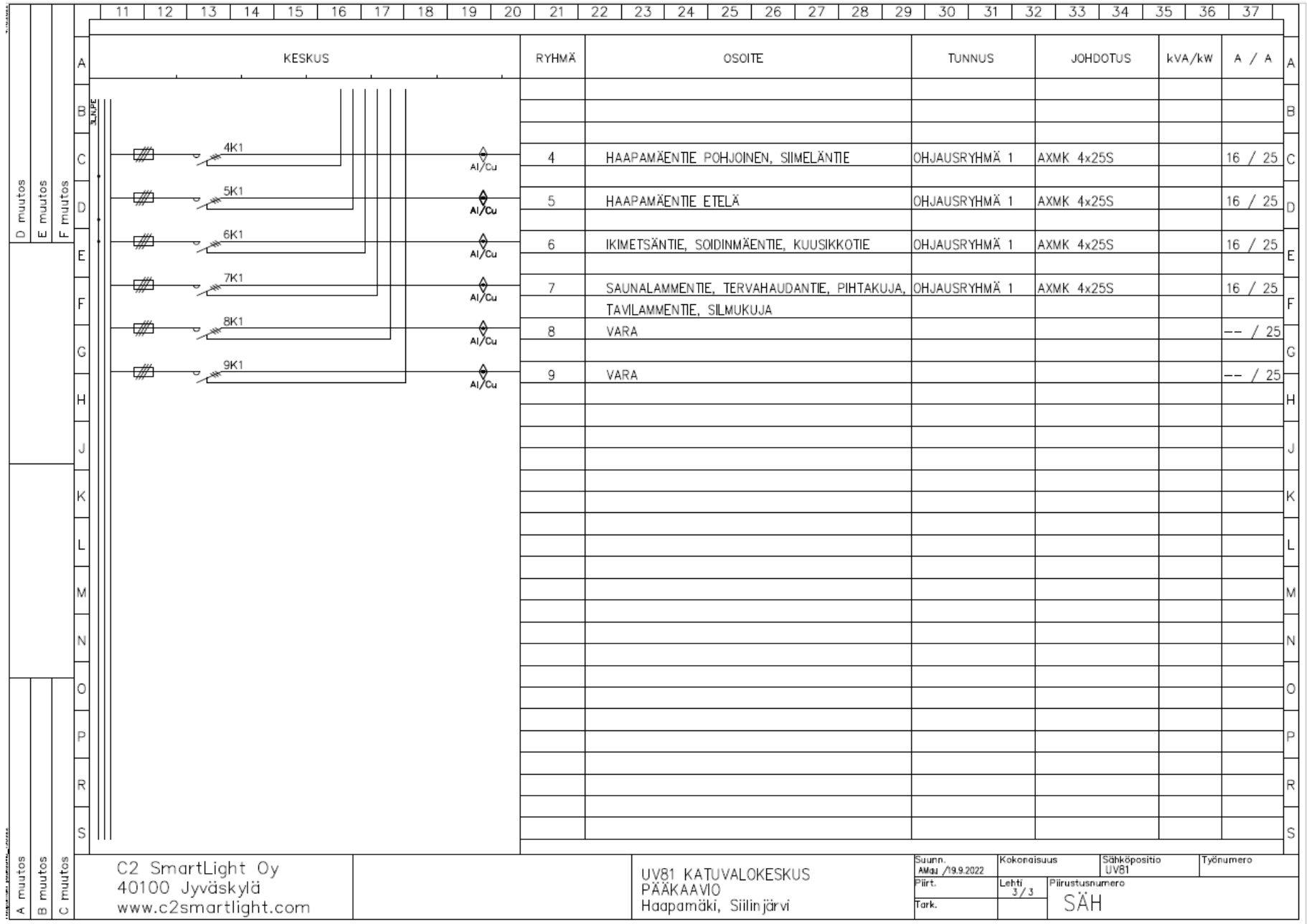
D muutos E muutos F muutos

A muutos B muutos C muutos

C2 SmartLight Oy
40100 Jyväskylä
www.c2smartlight.com

UV81 KATUVALOKESKUS
PÄÄKAAVIO
Haapamäki, Siilinjärvi

Suunn. AMau /19.9.2022	Kokonaisuus	Sähköpositio UV81	Työnumero
Piirt.	Lehti 2 / 3	Piirustusnumero SÄH	
Tark.			



RYHMÄ	OSOITE	TUNNUS	JOHDOTUS	kVA/kW	A / A
4	HAAPAMÄENTIE POHJOINEN, SIIMELÄNTIE	OHJAUSRYHMÄ 1	AXMK 4x25S		16 / 25
5	HAAPAMÄENTIE ETELÄ	OHJAUSRYHMÄ 1	AXMK 4x25S		16 / 25
6	IKIMETSÄNTIE, SOIDINMÄENTIE, KUUSIKKOTIE	OHJAUSRYHMÄ 1	AXMK 4x25S		16 / 25
7	SAUNALAMMENTIE, TERVAHAUDANTIE, PIHTAKUJA, TAVILAMMENTIE, SILMUKUJA	OHJAUSRYHMÄ 1	AXMK 4x25S		16 / 25
8	VARA				-- / 25
9	VARA				-- / 25

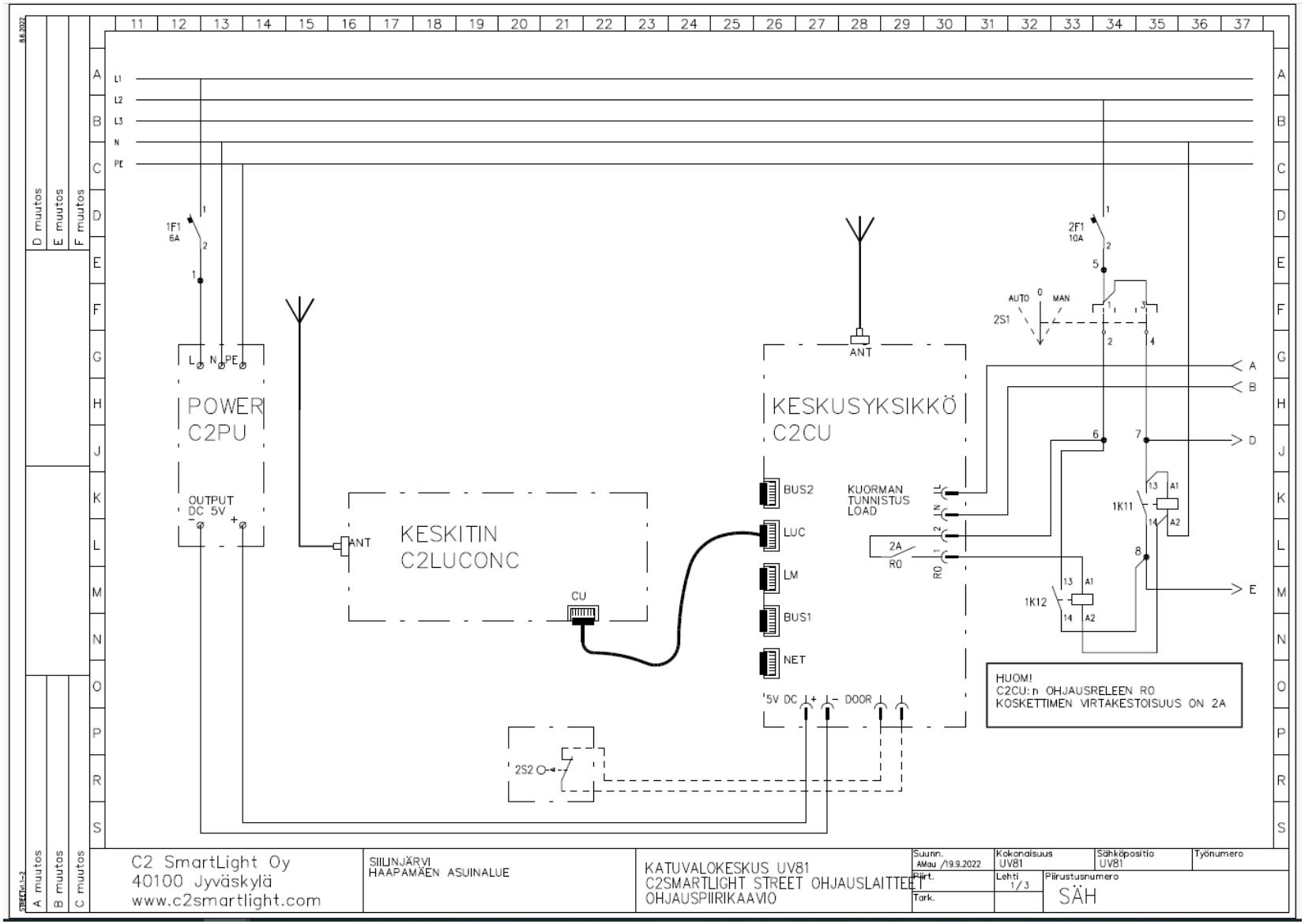
D muutos
E muutos
F muutos
A muutos
B muutos
C muutos

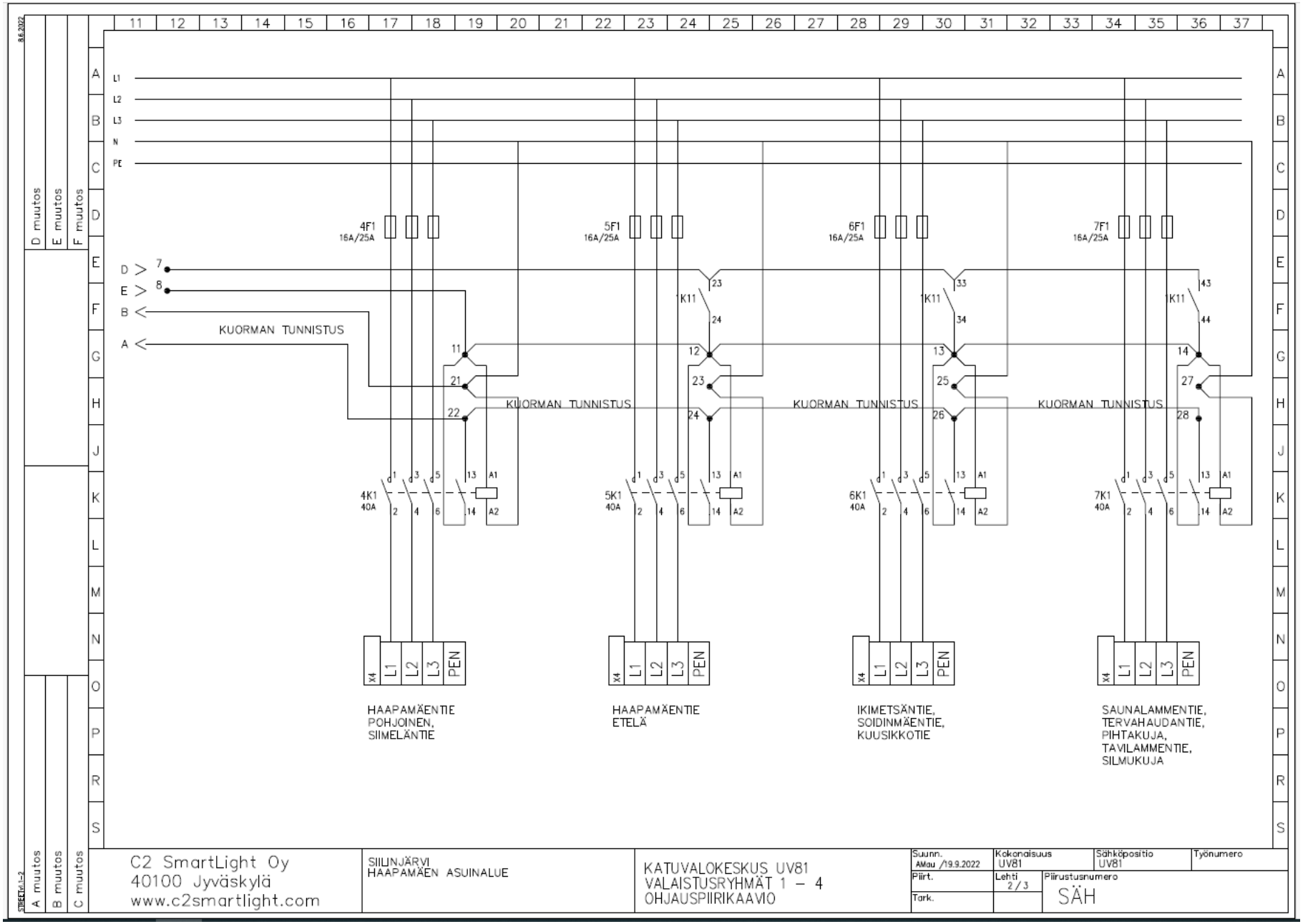
C2 SmartLight Oy
40100 Jyväskylä
www.c2smartlight.com

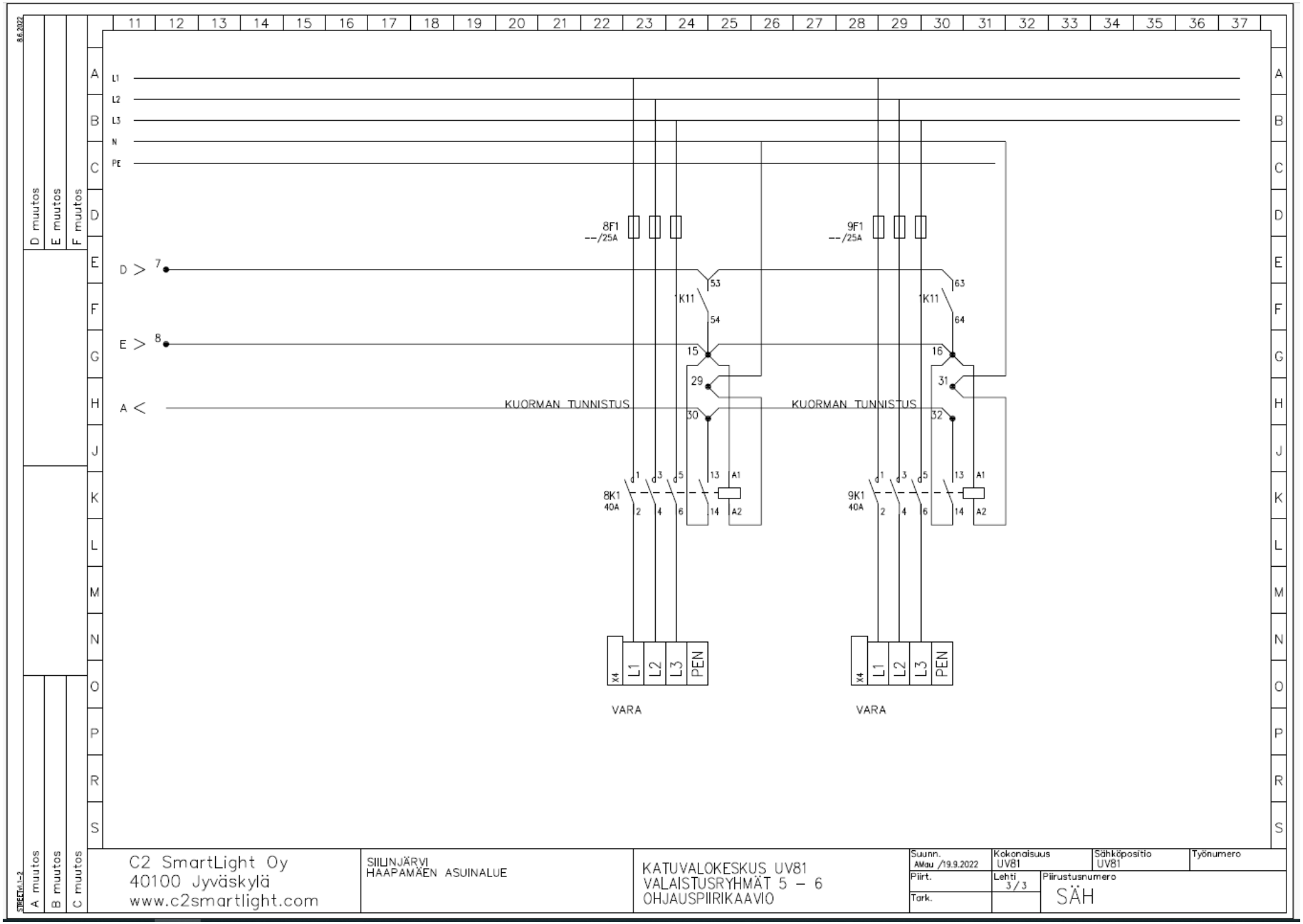
UV81 KATUVALOKESKUS
PÄÄKAAVIO
Haapamäki, Siilinjärvi

Suunn. AMau /19.9.2022	Kokonaisuus	Sähköpositio UV81	Työnumero
Piirt.	Lehti 3 / 3	Piirustusnumero SÄH	
Tark.			

Liite 4. UV81 Ohjauspiirikaavio




L1
L2
L3
N
PE
4F1
16A/25A
5F1
16A/25A
6F1
16A/25A
7F1
16A/25A
KUORMAN TUNNISTUS
4K1
40A
5K1
40A
6K1
40A
7K1
40A
HAAPAMÄENTIE
POHJOINEN,
SIIMELÄNTIE
HAAPAMÄENTIE
ETELÄ
IKIMETSÄNTIE,
SOIDINMÄENTIE,
KUUSIKKOTIE
SAUNALAMMENTIE,
TERVAHAUDANTIE,
PIHTAKUJA,
TAVILAMMENTIE,
SILMUKUJA
C2 SmartLight Oy
40100 Jyväskylä
www.c2smartlight.com
SIILINJÄRVI
HAAPAMÄEN ASUINALUE
KATUVALOKESKUS UV81
VALAISTUSRYHMÄT 1 – 4
OHJAUSPIIRIKAAVIO
SÄH


L1
L2
L3
N
PE
8F1
--/25A
9F1
--/25A
D >
E >
A <
7
8
KUORMAN TUNNISTUS
KUORMAN TUNNISTUS
1K11
53
54
63
64
15
16
29
30
31
32
8K1
40A
9K1
40A
1
3
5
13
A1
2
4
6
14
A2
X4
L1
L2
L3
PEN
VARA
VARA
D muutos
E muutos
F muutos
A muutos
B muutos
C muutos
C2 SmartLight Oy
40100 Jyväskylä
www.c2smartlight.com
SIILINJÄRVI
HAAPAMÄEN ASUINALUE
KATUVALOKESKUS UV81
VALAISTUSRYHMÄT 5 – 6
OHJAUSPIIRIKAAVIO
Suunn.
AMau /19.9.2022
Piirt.
Tark.
Kokonaisuus
UV81
Lehti
3/3
Sähköpositio
UV81
Työnumero
Piirustusnumero
SÄH

Liite 5. Kuormitustaulukko

C2 Smartlight Oy	**SIILINJÄRVEN KUNTA**	**KUORMITUSTAULUKKO**	
Yliopistonkatu 28 C	HAAPAMAEN ASUINALUE	**SUUNITELMA PIIRUSTUKSET**	**Piir.nro** 6
40100 Jyväskylä	UV81		27.9.2022

Pääsulake 3x25 A			LAMPPUJEN LUKUMÄÄRÄ [SYTTYMISVIRTA/LIITÄNTÄTEHO]												LED VALAISIMET					RYHMÄ SULAKE [A]	SYTTYMISVIRTA/ VAIHE [A]	TEHO [kW]
	lampun teho														34,5W		86W					
	palamisvirta														0,15		0,37391					
	syttymisvirta														0,15		0,37391				cos ø = 0.9	
	liitäntäteho														34,5		86					
Kadun nimi	Lähtö																					
HAAPAMÄENTIE POHJOINEN	K1 - 1	L1															7			16 / 25	2,62	0,6
SIIMELÄNTIE		L2															7			16 / 25	2,62	0,6
		L3															6			16 / 25	2,24	0,5
HAAPAMÄENTIE ETELÄ	K1 - 2	L1															6			16 / 25	2,24	0,5
		L2															5			16 / 25	1,87	0,4
		L3															5			16 / 25	1,87	0,4
IKIMETSÄNTIE	K1 - 3	L1													6		4			16 / 25	2,40	0,6
SOIDINMÄENTIE		L2													6		3			16 / 25	2,02	0,5
KUUSIKKOTIE		L3													5		3			16 / 25	1,87	0,4
SAUNALAMMENTIE	K1 - 4	L1													19					16 / 25	2,85	0,7
TERVAHAUDANTIE, PIHTAKUJA		L2													18					16 / 25	2,70	0,6
TAVILAMMENTIE, SILMUKUJA		L3													18					16 / 25	2,70	0,6
	K1 - 5	L1																			0,00	0,0
		L2																			0,00	0,0
		L3																			0,00	0,0
	K1 - 6	L1																			0,00	0,0
		L2																			0,00	0,0
		L3																			0,00	0,0
	K1 - 7	L1																			0,00	0,0
		L2																			0,00	0,0
		L3																			0,00	0,0
	K1 - 8	L1																			0,00	0,0
		L2																			0,00	0,0
		L3																			0,00	0,0
	YHTEENSÄ		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72	0	46	0		9,33	6,4

Liite 6. Valaisinpylväs- ja jalustaluettelo

VALAISINPYLVÄÄT

Nro	Sijainti X, Y ,Z			6m pylv.	8m pylv.	pylväsväli	Paaluluku	Pylvään tunnus J=jäyk / M=myöt.	Jalustan tyyppi	Valaisin-tyyppi	Lampun tyyppi
	X	Y	Z								
	Haapamäentie										
101							15,00	Metallipylväs, P115B108K, 8m kartio	SJ-3	BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10	LED 86W
102						34,00	49,00	Metallipylväs, P115B108K, 8m kartio	SJ-3	BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10	LED 86W
103						34,00	83,00	Metallipylväs, P115B108K, 8m kartio	SJ-3	BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10	LED 86W
104						34,00	117,00	Metallipylväs, P115B108K, 8m kartio	SJ-3	BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10	LED 86W
105		Pakkopiste ajoliittymä				35,00	152,00	Metallipylväs, P115B108K, 8m kartio	SJ-3	BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10	LED 86W
106						36,00	188,00	Metallipylväs, P115B108K, 8m kartio	SJ-3	BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10	LED 86W
107						35,00	223,00	Metallipylväs, P110B108K, 8m kartio	SJ-3	BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10	LED 86W
108		Pakkopiste risteys				35,00	265,00	Metallipylväs, P110B108K, 8m kartio	SJ-3	BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10	LED 86W
109						35,00	300,00	Metallipylväs, P110B108K, 8m kartio	SJ-3	BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10	LED 86W
110						35,00	335,00	Metallipylväs, P110B108K, 8m kartio	SJ-3	BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10	LED 86W
111		Pakkopiste risteys				35,00	370,00	Metallipylväs, P110B108K, 8m kartio	SJ-3	BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10	LED 86W
112		Pakkopiste risteys				21,00	391,00	Metallipylväs, P110B108K, 8m kartio	SJ-3	BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10	LED 86W
ST1		SUOJATIE	Haapamäentie PL400					Metallipylväs, A106SK, 6m kartio	SJ-1.3	BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10	LED 86W
ST2		SUOJATIE	Haapamäentie PL400					Metallipylväs, A106SK, 6m kartio	SJ-1.3	BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10	LED 86W
	HUOM. KAIKISSA VALAISIMISSA ZHAGA-LIITIN JA C2SMARTLIGHT LUMO OHJAIN										

PYLVÄSKOORDINAATIT TÄYDENNETÄÄN ENNEN ASENNUSTYÖN ALKUA

Hankkeen nimi **Haapamäen asuinalue vaihe 1**	Muutos	Pvm	Suunn.	Tark.
Piirustuksen sisältö **Valaisinpylväs- ja jalustaluettelo** **Sivu 1 / 1**				
SIILINJÄRVEN KUNTA Kasurilantie 1 PL 5, 71801 Siilinjärvi	C2 SmartLight Oy Yliopistonkatu 28 C, 40100 JYVÄSKYLÄ			
Pvm. / Katsuunnittelija	Pvm. **27.9.2022**	Valaistussuunnittelija **Antti Maukonen, Daniel Hugg**		
Tierekisteritunnus	Mittakaava		Piir. Nro	**3**

Liite 7. Tarvikeluettelo

C2 SmartLight Oy — **TYÖ 2022-16**

TARVIKELUETTELO — 27.9.2022
SUUNNITELMAPIIRUSTUKSET — 02

SIILINJARVEN KUNTA
Haapamäen asuinalue
Katuvalaistus 1 vaihe 1

Positio	Nimitys	määrä	yksikkö			pylväs nro
	Valaisintyyppi 1: BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10 86W, Zhaga-liittimellä, kaapeli 9m	22	kpl			1)
	Valaisintyyppi 2: BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DW10 86W, Zhaga-liittimellä, kaapeli 9m	6	kpl			2)
	Suojatievalaisin: BGP502 T25 1 xLED120-4S/840 DM10 86W, Zhaga-liittimellä, kaapeli 6m	2	kpl			ST1 ja ST2
	Metallipylväs, P110B108K, 8m kartio	16	kpl			107-112, 301-310
	Metallipylväs, P115B108K, 8m kartio	12	kpl			101-106, 201-206
	Valaisintyyppi 3: BGP502 T25 1 xLED55-4S/740 DW10 34,5W, Zhaga-liittimellä, kaapeli 6m	17	kpl			3)
	Metallipylväs, A106SK, 6m kartio	19	kpl			3), ST1 ja ST2
	Pylväsjalusta SJ-1.3, suojakumeineen	19	kpl			3), ST1 ja ST2
	Pylväsjalusta SJ-3, suojakumeineen	28	kpl			1) ja 2)
	Putkipylväskaluste LCK4-16-06A, (sulake 6A)	47	kpl			Kaikki valaisimet
	Kaapelin suojaputki TEL 110 A, keltainen	162	m			Suojaputkiluettelo
	AXMK 4x25S	1790	m			ks. Suunnitelmakartta
	Merkkinauha, "Sähkökaapeli"	1790	m			ks. Suunnitelmakartta
	Haaroitussuoja SBO 4.1 AXMK 4x25S kaapelille	100	kpl			katuvalokeskus, kaikki pylväät
	Pylväsmaadoitus Cu 16 mm2, 25m maassa	7	kpl			1), 2), 3), ST1 ja ST2
	Katuvalokeskus kalustettuna piirikaavioiden mukaisesti	1	kpl			Haapamäentien keskus
	Keskuksen maadoitus Cu 25 mm2, 30m maassa	1	kpl			Haapamäentien keskus
	C2 liiketunnistin suojatien pylvälle ST1 ja ST2	2	kpl			ST1 ja ST2
	Valaisinkohtainen ohjain Zhaga-liittimeen C2 SmartLumo Z	47	kpl			Kaikki valaisimet
	1) 8m pylväät: 101-112, 301-310 22kpl					
	2) 8m pylväät: 201-206 (Siimeläntie)					
	3) 6m pylväät: 401-410, 501-507 17kpl					
	Merkinnät ST1, ST2, ST3 ja ST4 tarkoittavat Haapamäentien suojateiden pylväitä					

Tilaajan hyväksyntä: — pvm: — suunnittelija: A. Maukonen, D. Hugg

Liite 8. Suojaputkiluettelo

Suojaputkiluettelo vaihe 1

C2 SmartLight Oy TYÖ 2022-16

SUOJAPUTKILUETTELO 27.9.2022
SUUNNITELMAPIIRUSTUKSET 04

SIILINJÄRVEN KUNTA
Haapamäen asuinalue
Katuvalaistus vaihe 1

Putki nro	Sijainti, tie / katu	pituus / m	määrä / kpl	Yht. pituus m	huom.
	Vaihe 1				
1	Haapamäentie alitus, PL230	12	1	12	
2	Siimeläntie alitus, PL10	18	1	18	
3	Siimeläntien ja KLV alitus, PL130	12	1	12	
4	Ikimetsäntie alitus, PL10	18	1	18	
5	Ikimetsäntie alitus, PL15	12	1	12	
6	Soidinmäentie alitus, PL10	12	1	12	
7	Ikimetsäntie KLV alitus, PL120	6	1	6	
8	Ikimetsäntie KLV alitus, PL180	12	1	12	
9	Ikimetsäntien ja KLV alitus, PL210	12	1	12	
10	Kuusikkotie alitus, PL0	12	1	12	
11	Kuusikkotie alitus, PL10	12	1	12	
12	Haapamäentie KLV alitus, PL390	6	1	6	
13	Haapamäentie suojatie alitus, PL400	12	1	12	
14	Haapamäentie KLV alitus, PL420	6	1	6	
	Yht	162	14	162	

Tilaajan hyväksyntä: pvm: suunnittelija: A. Maukonen
D. Hugg

Liite 9. Pylväivästyyppien valinta Sähkö-Jokisen taulukosta (Sähkö-Jokinen 2021, muokattu)

TEKNISET TIEDOT

Pylväät 401-410, 501-507 sekä ST1 ja ST2

SUORAT KARTIOPYLVÄÄT

SÄHKÖNUMERO	TYYPPI	KORKEUS h / m	d1 mm	d2 mm	S mm	K mm	AUKKO mm	PAINO kg	JALUSTAN TYYPPI
4627737	A203SK	3	109	60	3	500	75x400	23	SJ-08, SJR-08
4627740	A204SK	4	110	60	3	500	75x400	30	SJ-08, SJR-08
4627741	A205SK	5	121	60	3	500	85x400	38	SJ-0808, SJR-08
4627742	A106SK	6	132	60	3	600	85x400	48	SJ-1, SJR-1
4627743	B108SK	8	156	60	3	950	85x400	67	SJ-2, SJR-2
4627728	B208SK	8	172	76	3	950	85x400	81	SJ-4/1500, SJR-4/1500
4627744	B110SK	10	178	60	3	950	85x400	102	SJ-4/1500, SJR-4/1500
4627729	B210SK	10	194	76	3	950	85x400	112	SJ-4/1500, SJR-4/1500
4627745	B112SK	12	211	60	3	950	85x400	147	SJ-4/1500, SJR-4/1500
4627730	B212SK	12	227	76	3	950	100x400	152	SJ-5/1800
4627731	B312SK	12	227	89	3	950	100x400	160	SJ-5/1800

PYSTYVARTISET KARTIOPYLVÄÄT

SÄHKÖNUMERO	TYYPPI	KORKEUS h / m	d1 mm	d2 mm	d3 mm	S mm	K mm	AUKKO mm	PAINO kg	JALUSTAN TYYPPI
4627747	S108B110K	8	138	60	60	3	950	85x400	67	SJ-1.3, SJR-1.3
4627749	S100B110K	10	161	60	60	3	950	85x400	86	SJ-2, SJR-2
4627751	S200B210K	10	176	76	76	3	950	85x400	95	SJ-4/1500, SJR-4/1500
4627752	S200B112K	12	200	76	76	3	950	85x400	125	SJ-4/1500, SJR-4/1500
4627753	S200C212K	12	222	89	89	3	950	85x400	153	SJ-4/1500, SJR-4/1500
4627754	S200C312K	12	222	89	89	4	950	85x400	197	SJ-4/1800, SJR-4/1800

Pylväät 107-112, 301-310

YKSIVARTISET KARTIOPYLVÄÄT

SÄHKÖNUMERO	TYYPPI	KORKEUS h / m	V mm	d1 mm	d2 mm	d3 mm	S mm	K mm	AUKKO mm	PAINO kg	JALUSTAN TYYPPI
4627738	P110B108K	8	1	138	60	60	3	950	85x400	70	SJ-1.3, SJR-1.3
4627739	P115B108K	8	1,5	138	60	60	3	950	85x400	72	SJ-1.3, SJR-1.3
4627748	P125B108K	8	2,5	138	60	60	3	950	85x400	76	SJ-2, SJR-2
4627745	P210B208K	8	1	154	76	76	3	950	85x400	83	SJ-2, SJR-2
4627750	P110B110K	10	1	161	60	60	3	950	85x400	89	SJ-2, SJR-2
4627755	P115B110K	10	1,5	161	60	60	3	950	85x400	91	SJ-2, SJR-2
4627774	P120B110KK	10	2	161	60	60	3	950	85x400	93	SJ-3, SJR-3
4627757				161	60	60	3	950	85x400	95	SJ-3, SJR-3
4627756				176	76	76	3	950	85x400	108	SJ-4/1500, SJR-4/1500
4627758	P225B210K	10	2,5	176	76	76	3	950	85x400	118	SJ-4/1500, SJR-4/1500
4627759	P210B112K	12	1	200	76	76	3	950	85x400	140	SJ-4/1800, SJR-4/1800
4627760	P215B112K	12	1,5	200	76	76	3	950	85x400	144	SJ-4/1800, SJR-4/1800
4627761	P225B112K	12	2,5	200	76	76	3	950	85x400	150	SJ-4/1800, SJR-4/1800
4627762	P225C212K	12	2,5	222	89	89	3	950	100x400	166	SJ-4/1800, SJR-4/1800
4627763	P240C212K	12	4	222	89	89	3	950	100x400	179	SJ-4/1800, SJR-4/1800
4627764	P240C312K	12	4	222	89	89	4	950	100x400	223	SJ-4/1800, SJR-4/1800

Pylväät 101-106, 201-206

T-VARTISET KARTIOPYLVÄÄT

SÄHKÖNUMERO	TYYPPI	KORKEUS h / m	V mm	d1 mm	d2 mm	d3 mm	S mm	K mm	AUKKO mm	PAINO kg	JALUSTAN TYYPPI
4627765	T110B108K	8	1	138	60	60	3	950	85x400	76	SJ-1.3, SJR-1.3
4627766	T115B108K	8	1,5	138	60	60	3	950	85x400	80	SJ-1.3, SJR-1.3
4627767	T210B208K	8	1	154	76	76	3	950	85x400	93	SJ-2, SJR-2
4627768	T110B110K	10	1	161	60	60	3	950	85x400	95	SJ-2, SJR-2
4627769	T115B110K	10	1,5	161	60	60	3	950	85x400	99	SJ-2, SJR-2
4627775	T120B110K	10	2	1601	60	60	3	950	85x400	103	SJ-3, SJR-3
4627770	T210B210K	10	1	176	76	76	3	950	85x400	118	SJ-4/1500, SJR-4/1500
4627771	T225B210K	10	2,5	176	76	76	3	950	85x400	138	SJ-4/1500, SJR-4/1500
4627772	T325B310K	10	2,5	189	89	89	3	950	85x400	157	SJ-4/1500, SJR-4/1500
4627773	T210B112K	12	1	200	76	76	3	950	85x400	150	SJ-4/1800, SJR-4/1800
4627732	T310B212K	12	1	222	89	89	3	950	100x400	165	SJ-4/1800, SJR-4/1800
4627733	T325B212K	12	2,5	222	89	89	3	950	100x400	186	SJ-4/1800, SJR-4/1800
4627734	T225C312K	12	2,5	222	89	89	4	950	100x400	230	SJ-5/1800, SJR-4/1800
4627735	T240C212K	12	4	222	89	89	3	950	100x400	207	SJ-5/1800, SJR-4/1800
4627736	T140C312K	12	4	222	89	89	4	950	100x400	251	SJ-5/1800, SJR-4/1800

47

Liite 10. Jalustatyyppien valinta Sähkö-Jokisen taulukosta (Sähkö-Jokinen 2021, muokattu)

TEKNISET TIEDOT

Pylväisiin 401-410, 501-507 sekä ST1 ja ST2

SJ-JALUSTAT

SÄHKÖ-NUMERO	JALUSTA-TYYPPI	PYLVÄÄN HALKAISIJA mm	PYLVÄÄN KORKEUS m	JALUSTAN PAINO kg	h mm ± 20	d 1 mm	d 2 mm	u mm ± 10	u 1 mm	b 1 mm	b 2 mm ± 2	b 3 mm ± 2	SÄÄTÖ-RUUVIT	JUURI-KUMI	DL³	PAKKA-US KPL/lava
4607612	SJ-08	100-136	1-5	100	800	370	240	430	80	80	138	150	3xM16	JK 0-1	0,11	8
4607615	SJ-1	100-136	1-6	130	1000	370	240	430	80	80	138	150	3xM16	JK 0-1	0,22	8
4607619	SJ-1.3	100-143	5-8	250	1300	490	285	480	120	80	145	153	4xM16	JK 0-1	0,60	6
4607621	SJ-2	128-168	6-10	290	1200	550	330	570	80	120	180	190	4xM16	JK 2-3	0,53	4
4607627	SJ-3	128-168	6-10	380	1500	570	330	570	80	120	180	190	4xM16	JK 2-3	1,23	4
4607633	SJ-4/1100	159-224	8-12	415	1170	500	420	690	110	120	225	245	6xM16	JK-4	*	2
4607636	SJ-4/1500	159-224	8-12	560	1500	620	420	690	110	120	225	245	6xM16	JK-4	1,32	2
4607639	SJ-4/1800	159-224	8-15	680	1800	630	420	690	110	120	225	245	6xM16	JK-4	2,40	2
4607645	SJ-5/1800	215-282	12-18	1015	1800	780	520	730	140	120	285	300	6xM16	JK-5	3,0	1
[illegible]	SJ-5/2200	222-295	15-18	1300	2150	780	520	710	150	120	300	325	8xM16	JK-5	5,9	1

Pylväisiin 101-112, 201-206, 301-310

LAATALLISET SJ-JALUSTAT

SÄHKÖ-NUMERO	JALUSTA-TYYPPI	PYLVÄÄN HALKAISIJA mm	PYLVÄÄN KORKEUS m	JALUSTAN PAINO kg	h mm ± 20	d 1 mm	d 2 mm	u mm ± 10	u 1 mm	b 1 mm	b 2 mm ± 2	b 3 mm ± 2	SÄÄTÖ-RUUVIT	JUURI-KUMI	LAATAN KOKO pit x lev x kork mm
4607690	SJ-4a	159-224	8-12	1800	1300	laatta	420	680	110	120	225	245	6xM16	JK-4	1550x1550x250
4607693	SJ-4b	159-224	8-15	2200	1300	laatta	420	680	110	120	225	245	6xM16	JK-4	1750x1750x250
4607696	SJ-4c	159-224	8-15	2570	1300	laatta	420	680	110	120	225	245	6xM16	JK-4	1900x1900x250
4607602	SJ-5A/1800	215-282	12-16	2000	1300	laatta	520	730	140	120	285	300	6xM16	JK-5	1550x1550x250
4607604	SJ-5A/2200	222-295	16-18	2000	1300	laatta	520	710	150	120	300	325	8xM16	JK-5	1550x1550x250

SJ-JALUSTAT NELJÄLLÄ KAAPELIAUKOLLA

SÄHKÖ-NUMERO	JALUSTA-TYYPPI	PYLVÄÄN HALKAISIJA mm	PYLVÄÄN KORKEUS m	JALUSTAN PAINO kg	h mm ± 20	d 1 mm	d 2 mm	u mm ± 10	u 1 mm	b 1 mm	b 2 mm ± 2	b 3 mm ± 2	SÄÄTÖ-RUUVIT	JUURI-KUMI	DL³	PAKKAUS KPL/lava
4627711	SJ-1/4KA	100-136	1-6	130	1000	370	240	430	80	80	138	150	3xM16	JK 0-1	0,22	8
4627712	SJ-1.3/4KA	100-143	5-8	250	1300	490	285	480	120	80	145	153	4xM16	JK 0-1	0,60	6
4627713	SJ-2/4KA	128-168	6-10	290	1200	550	330	570	80	120	180	190	4xM16	JK 2-3	0,53	4
4627714	SJ-3/4KA	128-168	6-10	380	1500	570	330	570	80	120	180	190	4xM16	JK 2-3	1,23	4
4627716	SJ-4/1500/4KA	159-224	8-12	560	1500	620	420	690	110	120	225	245	6xM16	JK-4	1,32	2
4627717	SJ-4/1800/4KA	159-224	8-15	680	1800	630	420	690	110	120	225	245	6xM16	JK-4	2,40	2
4627719	SJ-5/1800/4KA	215-282	12-15	1015	1800	780	520	730	140	120	285	300	6xM16	JK-5	3,0	1
4627720	SJ-5/2200/4KA	222-295	15-18	1300	2150	780	520	710	150	120	300	325	8xM16	JK-5	5,9	1

- Pidätetään oikeudet teknisiin muutoksiin.
- Kaikissa tämän sivun SJ-jalustoissa on muovinen kaapeliaukko ø 110 mm.
- * SJ-4/1100 kalliokiinnityksellä. Jalusten pohjassa on 10 kpl tartuntateräksiä työmaalla tehtävää betonilaatan valua varten.

SJ-JALUSTA | SJ-JALUSTA NELJÄLLÄ KAAPELIAUKOLLA | LAATALLINEN SJ-JALUSTA | SJ-KALLIOMALLI