

TAKK:n harjoituskentän valaistuksen ohjaus

Eskelinen Tomi

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2013
Sähkötekniikka
Sähkövoimateknikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

TOMI ESKELINEN:
TAKK:n harjoituskentän valaistuksen ohjaus

Opinnäytetyö 77 sivua, joista liitteitä 15 sivua
Huhtikuu 2013

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin tievalaistuksen rakentamisen ja suunnittelun nykyisiä käytäntöjä. Työn tilaajana toimi Tampereen Aikuiskoulutuskeskus (TAKK), joka järjestää aiheeseen liittyvää koulutusta.

Aluksi perehdyttiin tievalaistuksen tarpeen määrittelyyn ja Liikenneviraston rooliin laadunohjaajana. Myös valaistuksen perussuureet käytiin läpi, sillä tievalaistuksessa käytetään monia sisävalaistuksessa tuntemattomia käsitteitä. Tämän jälkeen tutustuttiin valaistuksen laadunmittareina toimiviin valaistusluokkiin.

Eriyisen tarkasti perehdyttiin valonlähteisiin. Niiden keskinäisessä vertailussa ei luotettu vanhentuvaan kirjallisuuteen, vaan tuotiin esille valmistajien ilmoittamat tämänhetkiset ominaisuudet, kuten käyttöikä, energiatehokkuus ja hinta.

Koska tievalaistusta ohjataan nykyään älykkäiden GSM-siirtotietä hyödyntävien ohjausjärjestelmien avulla, tutustuttiin tarkemmin Tampereen kaupungin käyttämään C2 Smart Light Street -laitteistoon. Lisäksi kartoitettiin, mitä muita järjestelmiä Suomessa on käytössä.

Työstä pyrittiin tekemään selkeä suunnitteluohje, minkä vuoksi Valtimon kunnassa sijaitsevalle Ylä-Valtimon kylälle tehtiin tietokoneavusteinen tievalaistuslaskenta. Työhön olennaisena osana kuului verkoston mitoitus. Tätä varten tehtiin laskentataulukko LibreOffice-ohjelmistolla.

Lopuksi laskettiin karkea kustannusarvio esimerkkien valaistuksen rakentamisesta ja ylläpidosta. Tievalaistusurakoiden lopullinen hinta selviää aina vasta tarjouskilpailussa, sillä yritysten tavoittelema voitto, kilpailutilanne ja työvoimakustannukset vaihtelevat alueittain.

Asiasanat: valaistuksen ohjaus, tievalaistus, katuvalaistus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Option of Electrical Power Engineering

TOMI ESKELINEN:
The lighting control of TAKK's training field

Bachelor's thesis 77 pages, appendices 15 pages
April 2013

The current routines of building and planning road lighting were researched in this thesis. This task was assigned by Tampere Adult Education Centre (TAKK).

At the beginning of the work, the focus was on determining the need for road lighting and on the role of Liikennevirasto as a quality controller. The common core of the lighting was also processed because there were lots of new terms which are not used in planning indoor lighting. The next part of the thesis was about lighting classes which define the quality of road lighting.

Light sources were a particular focus. When comparing the light sources, aging literature wasn't used as a source. Instead the properties, such as working life, energy efficiency and price, which had been reported by manufacturers were highlighted.

One chapter tells about modern lighting control systems which use GSM as a data transfer bus. The city of Tampere uses C2 Smart Light Street -system for controlling street lighting. That's the reason why the system has been taken into closer analysis. In addition, the most common lighting control systems used in Finland were surveyed.

Because the work is meant to be a planning guide, the computer-aided road lighting calculation was completed for a village called Ylä-Valtimo in the town of Valtimo. An important part of the thesis was dimensioning a grid. For this purpose a spreadsheet was made using a software called LibreOffice.

At the end of the work, a rough estimate was calculated about the building and maintaining of the road located in Ylä-Valtimo. Competitive bidding will always define the final price of road lighting contracts. That's because the profit of the companies are seeking, the competitive situation and the labor costs may vary according to the location.

Key words: lighting control, road lighting, street lighting

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	7
2 TIEVALAISTUKSEN SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT.....	8
2.1 Valaistuksen tarve ja valaistustavat.....	8
2.2 Suunnittelutasot.....	9
2.3 Valaistuksen perussuureet.....	10
2.4 Valaisimien huolto.....	13
3 TIEVALAISTUKSEN SUUNNITTELU.....	15
3.1 Valaistusluokat.....	15
3.2 Häiriövalo.....	18
3.3 Valonlähteet.....	19
3.3.1 Monimetallilamppu.....	20
3.3.2 Suurpainenatriumlamppu.....	21
3.3.3 Elohopeahöyrylamppu.....	22
3.3.4 Induktiolamppu.....	23
3.3.5 LED-lamppu.....	23
3.3.6 Pienpainenatriumlamppu.....	25
3.3.7 Sekavalolamppu.....	25
3.4 Valaisimen runko.....	25
3.5 Pylväsasennukset.....	27
3.6 Pylväiden sijoitus.....	29
3.7 Valaistuksen laskenta.....	32
4 TIEVALAISTUKSEN OHJAUS.....	37
4.1 Valaistuksen himmennys yöajaksi.....	37
4.2 Ohjausjärjestelmät.....	38
4.2.1 Tampereen kaupungin ohjausjärjestelmä: C2 Smart Light Street. .	39
4.2.2 Ouman LUX.....	41
4.2.3 Satmatic.....	42
4.2.4 Leveltec SLC-2000.....	42
4.2.5 Autolog SaveLight.....	42
4.2.6 Computec technologies.....	43
5 TIEVALAISTUSVERKON SÄHKÖINEN MITOITUS.....	44
5.1 Valaisimien ryhmittely.....	44
5.2 Suojalaitteen valinta.....	44
5.3 Kaapelinmitoitus.....	46
5.3.1 Esimerkin lähtötiedot.....	46
5.3.2 Kuormitettavuus.....	46

5.3.3 Jännitteenalenema kauimmaisessa valaisimessa.....	47
5.3.4 Oikosulku- ja kosketusjännitesuojaus.....	51
6 KUSTANNUSLASKENTA.....	55
6.1 Rakennuskustannukset.....	55
6.2 Käyttö- ja kunnossapitokustannukset.....	56
6.3 Kustannusten kokonaisvaikutus.....	57
POHDINTA.....	59
LÄHTEET.....	60
LIITTEET.....	63
Liite 1. Yleisten teiden valaistusluokan valinta.....	63
Liite 2. Katujen valaistusluokan valinta.....	64
Liite 3. Kevyen liikenteen valaistusluokan valinta.....	65
Liite 4. Laskentatulokset.....	66
Liite 5. Purkauslamppujen syttymisvirrat.....	72
Liite 6. Keskuskaavio.....	73
Liite 7. Valaisimien sijoituskuva.....	75
Liite 8. Ryhmitystaulukot.....	77

ERITYISSANASTO

TAKK	Tampereen Aikuiskoulutuskeskus
lm	lumen
lx	luksi
cd	kandela
sr	avaruuskulma eli steradiaani
<i>Ra, CRI</i>	värintoistoindeksi
HID	purkauslamppu
HIE, HIT	monimetallilamppu
HSE, HST	suurpainenatriumlamppu
HME	elohopeahöyrylamppu
<i>G</i>	kiosahäikäisy
<i>TI %</i>	estohäikäisy
<i>UR %</i>	valaisimesta taivaalle suuntautuva valo
HE	energiaa vaimentavan pylvään vaimennusluokka
DALI	digitaalinen valaistuksenohjausjärjestelmä

1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tievalaistuksen oppimisympäristön kehittäminen Tampereen Aikuiskoulutuskeskukselle eli TAKK:lle. TAKK on Tampereella Nirvan kaupunginosassa toimiva koulutusorganisaatio, jota ylläpitää Tampereen Aikuiskoulutussäätiö. Koulussa opiskelee vuoden aikana lähes 16 000 opiskelijaa 25:llä eri alalla. Tutkintojen suoritustapa on näyttötutkintojen teko oppilaiden omilla työpaikoilla. Vuonna 2011 henkilökuntaan kuului 349 ammattilaista.

Koulurakennusten välittömässä läheisyydessä on noin 1,5 hehtaarin kokoinen harjoituskenttä, jonka laitaan on pystytetty tievalaisimia kytkentäharjoituksia varten. Käytössä on puu- ja metallipylväitä, jolloin eri asennustavat tulevat havainnollisesti esille.

Tällä hetkellä kentällä on Elkamon valmistama tievalaistuksen ohjauskaappi. Tämän lisäksi pääkeskukselle on varattu tilaa ohjausjärjestelmän asennusta varten. Tässä työssä selvitetään, mitä ohjausjärjestelmää Tampereen kaupunki käyttää ja tutustutaan lyhyesti muidenkin valmistajien järjestelmiin.

Oppilaiden täytyy tuntea myös erilaiset tie- ja ulkovalaistuksessa käytetyt valonlähteet sekä niiden tekniset ominaisuudet. Koska tievalaistuksessa suuri kustannuserä tulee polttimoiden vaihdosta, on tarkoituksena tutustua niiden tämän hetken hintoihin ja käyttöikään.

Tämä työ on jäsenelty siten, että sitä voidaan käyttää tievalaistuksen suunnitteluohjearkiksi. Tämän vuoksi mukaan on otettu myös valaistuksen tietokoneavusteisen laskennan perusteet sekä kaapelinmitoitus.

Erityiskiitokset Valtimon Sähkötyö Oy:n toimitusjohtaja Jarmo Komulaiselle mahdollisuudesta suorittaa harjoittelu yrityksen palveluksessa sekä sinnikkästä opastuksesta ja neuvoista. Kiitokset myös yrityksen työntekijöille asennusvinkeistä ja muusta opastuksesta työmailla. Lisäksi kiitän opinnäytetyön teossa auttaneita Timo Talvitietä (TAKK), rakennuttajainsinööri Mika Heikkilää (Tampereen kaupunki), ulkovalaistuksen rakentamisesta vastaavaa Päivi Paukkosta (Tampereen Vera Oy) ja sähkövastaavaa Markku Ijästä (Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus).

2 TIEVALAISTUKSEN SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

2.1 Valaistuksen tarve ja valaistustavat

Pimeällä liikenneonnettomuuden riski voi olla jopa kolminkertainen valoisaan aikaan verrattuna. Tievalaistuksen avulla voidaan vähentää onnettomuuksia keskimäärin noin 30 % tietyypistä riippuen. Valaistuksen rakentamista voidaan perustella myös ilkvallan estolla. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Tievalaistus on Liikenneviraston vastuulla valta- ja kantateillä. Yhdys- ja seututeillä valaistuksen omistaa kunta, jos Liikennevirasto ei pidä sitä tarpeellisena. Kunta vastaa myös lisäkustannuksista, mikäli valaistus halutaan Liikenneviraston linjausta korkealuokkaisemmaksi. Tunnelit, lossi- ja lauttalaiturit, avattavat sillat ja raja-asetat valaistaan kuitenkin aina. Valaistavat kohteet on määritelty tarkemmin Liikenneviraston ohjeissa Tievalaistuksen toimintalinjat. (Tievalaistuksen toimintalinjat 2006)

Tievalaistuksen toteutuksessa on käytössä kaksi valaistustapaa: perus- ja korkealaatuinen. Peruslaadulla tarkoitetaan standardikalusteiden käyttämistä, kun taas korkealaatuisessa tavassa käytetään esimerkiksi maalattuja tai koristeltuja pylväitä (kuva 1). Puistokatuvalaistuksessa tie- ja katualueen on muodostettava yhtenäinen kokonaisuus puistoalueen kanssa. Valaistuksen suunnitteluun vaikuttavat maastonmuodot, puusto ja kadun asema maanpintaan nähden. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)



KUVA 1. Esimerkki korkealaatuisesta valaistustavasta (kuvattu 4.3.2013)

Suuripiirteinen katuvalaistus toteutetaan pitkillä pylväsväleillä, suurella asennuskorkeudella ja näyttävillä kalusteilla. Pienipiirteisessä katuvalaistuksessa käytetään rakennusten korkeuteen suhteutettua pientä pylväskorkeutta, tiheää pylväsväliä, häikäisyn rajoitusta ja kiinnitetään muutenkin enemmän huomiota esteettisiin seikkoihin. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

2.2 Suunnittelutasot

Liikennevirastolla on käytössä neljä tarkkuudeltaan erilaista suunnitelmaa: tarveselvitys, yleissuunnitelma, valaistustiedot ja rakennussuunnitelma. Monilla paikkakunnilla on käytössä vastaavanlaiset suunnittelutasot, mutta nimitykset saattavat hieman vaihdella. Esimerkiksi Tampereen kaupungin suunnitteluohjeissa on määritelty tarveselvitys, yleissuunnitelma ja toteutussuunnitelma. Näissä yleissuunnitelmaan on käytännössä sisällytetty tievalaistuksen valaistustiedot ja toteutussuunnitelma vastaa Liikenneviraston määrittämää rakennussuunnitelmaa. Kaupungissa on tehty tarveselvitys vuonna 2003. Lisäksi keskusta-alueelta on olemassa yleissuunnitelma. (tampere.fi 2013, Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Tarveselvityksessä selvitetään valaistuksen parantamisen perusteet kokonaisen paikkakunnan osalta. Siinä kartoitetaan nykyiset lampputyypit ja käytössä olevat valaistusluokat. Lisäksi siinä pureudutaan valaistuksen ongelmakohtiin ja määritellään tavoitteet niiden poistamiseksi. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Yleissuunnitelma on tarveselvityksen pohjalta tehty tarkennus kaupungin, kaupungin osan tai tien suunnitteluun. Siinä esitetään valaisimien sijoitteluperiaatteet kartalla. Lisäksi se sisältää havainnollisia perspektiivi- ja leikkauskuvia valaistuista kohteista. Yleissuunnitelmaa on markkinoitava ja esiteltävä. Siinä opastetaan myös kiinteistönomistajia heille kuuluvan osuuden toteuttamisessa. Lisäksi opastetaan päätöksentekijöitä tuotevaatimusten määrittelyssä. Perinteisissä tievalaistuskohdeissa yleissuunnitelmaa ei tarvita, vaan se on sulautettu tiesuunnitelman valaistustietoihin. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Tiesuunnitelman valaistustiedot on yleissuunnitelmaa tarkempi suunnittelutaso. Siinä määritellään valaistusluokka, valolaji, pylväslaji, kaapelointitapa, valaistustyyppi, asennuskorkeus, laskennalliset hoitokustannukset ja 1:1000 kartta valaistavista teiden osista. Lisäksi varmistetaan lopullisesti tievalaistuksen toteuttamismahdollisuus. Merkittävää tässä suunnittelutasossa on, että asiakirjat ovat urakkaan kuuluvan tievalaistuksen rakennussuunnitelman lähtökohtana. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Valaistuksen rakennussuunnitelma on edellisiin suunnittelutasoihin perustuva tarkka tiekohtainen suunnitelma. Sen avulla urakka voidaan toteuttaa kokonaisuudessaan. Rakennussuunnitelmaan sisältyvät laatuvaatimukset, työpiirustukset ja määräluettelot. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

2.3 Valaistuksen perussuureet

Tievalaistuksen laadusta kertovat luminanssi, sen tasaisuus ja häikäisyn esto. Nämä taas riippuvat valaisimien valovirrasta, sijoittelusta, valonjako-ominaisuuksista ja päällysteen heijastusominaisuuksista. Alla on esitetty tarkemmin tievalaistuksen kannalta oleelliset valaistuksen perussuureet. (Verkostosuositukset UA 1:94)

Valovirta [Φ] kuvaa valaisimen tuottaman näkyvän valon kokonaissäteilytehoa, joka on painotettu suhteellisella silmäherkkyydellä. Sen yksikkönä on lumen (lm). Valovirtaa käytetään vertailtaessa eri polttimoiden kokonaisvalotuottoa. Kapeakeilainen ja kirkas valonlähde voi tuottaa saman valovirran, kuin laajakeilainen ja himmeämpi. Kannattaa myöskin huomioida, ettei valaisimen teho kerro välttämättä mitään sen kirkkaudesta, vaan valovirta. (Harsiala)

Valotehokkuus kuvaa polttimon kykyä tuottaa valoa sen ottamaan sähkötehoon nähden (lm/W). Vertailtaessa tekniikaltaan erilaisia valonlähteitä, kannattaa ottaa huomioon myös liitäntälaitteen kuluttama teho. (Harsiala)

Valovoima [I] on SI-järjestelmän perusyksikkö, joka ilmaisee valonlähteestä tiettyyn suuntaan lähtevän valon voimakkuuden eli valovirran tiettyä avaruuskulmaa (ω) kohti. Sen yksikkö on kandela (cd). Valovoiman ja valovirran yhteys on kaavan 1 mukainen.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (1)$$

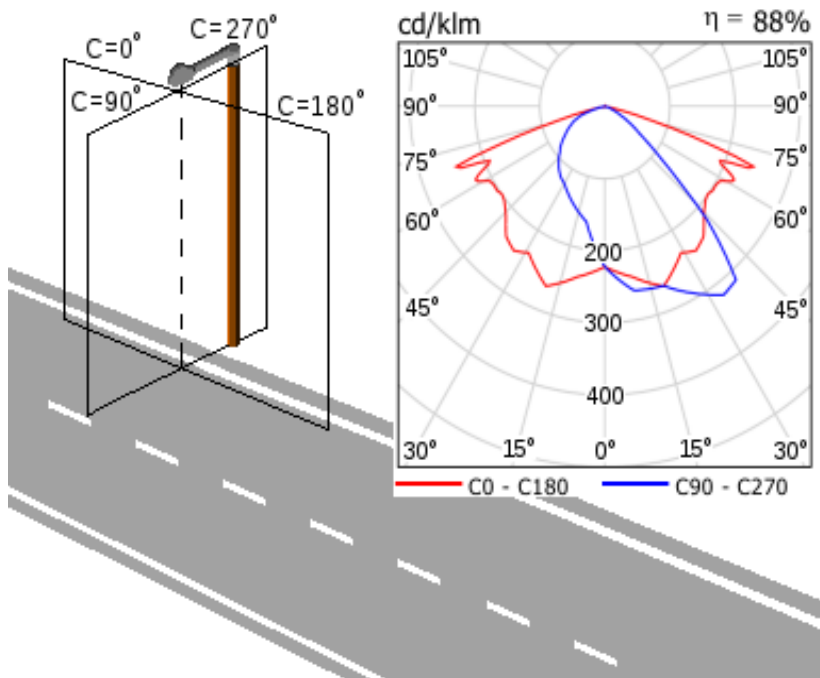
jossa

I on valovoima (cd)

Φ on valovirta (lm)

Ω on avaruuskulma eli steradiaani (sr)

Valovoimaa käytetään kuvaamaan valaisimen valonjako-ominaisuuksia. Eri valaisimien valonjakoa voidaan vertailla niiden valonjakokäyrien avulla (kuva 2).



KUVA 2. Valonjakokäyrän periaate (tehty Kolourpaint -ohjelmalla)

Yllä olevassa kuvassa käyrän punainen viiva kuvaa valonlähteeseen nähden poikittaista eli tiensuuntaista tasoa ja sininen taas valonlähteen pituusakselin suuntaista tasoa. Lisäksi käyrät on skaalattu vastaamaan valovirraltaan 1000 lumenin valonlähdettä valaisimien vertailun helpottamiseksi (Fagerhult 2013, Philips).

Valaistusvoimakkuus [E] kertoo pinta-alaa kohti tulevan valovirran määrän. Sen yksikkönä on luks (lx). Etäisyyden kasvaessa valonlähteestä pienenee valaistusvoimakkuus kääntäen verrannollisesti etäisyyden neliöön. Tievalaistuksessa valaistusvoimakkuutta käytetään alueilla, joissa näkyvyys on alle 60 metriä. Tällaisia ovat esimerkiksi

kiertoliittymät. Valaistuslaskentaa tehtäessä se voidaan laskea vaakataso- (E_m), pystytason- (E_h), puolipallo- (E_{hs}) ja puolisyylinterivalaistusvoimakkuutena (E_{sc}). Näistä puolipallovalaistusvoimakkuus vaikuttaa kolmiulotteisten kappaleiden, kuten esteiden havaitsemiseen ja puolisyylinterivalaistusvoimakkuus puolestaan kasvojen tunnistukseen. Ympäristön valaistus otetaan huomioon suhdelukuna SR, jossa ajoradan vieressä olevan puolikkaan ajoradan levyisen kaistaleen valaistusvoimakkuus jaetaan lähimmän kaistan valaistusvoimakkuudella. Valaistusvoimakkuuden yhteys valovirtaan on kaavan 2 mukainen. (Honkanen)

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2)$$

jossa

E on valaistusvoimakkuus (lx)

Φ on valovirta (lm)

A on pinta-ala (m^2)

Luminanssi [L] kertoo kohdekappaleen pintakirkkauden eli pinnalta lähtevän valovoiman tarkastelusuunnassa olevaa projektiopinta-alaa kohti. Sen yksikkö on kandela neliömetriä kohti (cd/m^2). Tummat pinnat heijastavat vaaleita vähemmän valoa, jolloin niiden luminanssi on pienempi. Koko ajoradan luminanssiarvojen aritmeettinen keskiarvo eli keskimääräinen luminanssi kertoo, kuinka valoisalta tienpinta näyttää. Tievalaistusta suunniteltaessa havaitsija sijoitetaan jokaisen kaistan keskelle ja pienin arvo on mitoittava. Jotta valaistus täyttäisi vaatimukset myös valaisimien likaantumisen myötä, käytetään laskennassa alenemakertoimia taulukon 1 mukaisesti.

TAULUKKO 1. Alenemakertoimet (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Kotelointiluokka	Perusarvo	Liikenneympäristö	
		Puhdas	Likainen
IP 6X	0,80	0,85	0,70
IP 5X	0,70	0,75	0,60
IP 4X	0,60	0,65	0,50

Luminanssin yleistasaisuus U_0 vaikuttaa näkösuorituskykyyn. Se lasketaan jokaiselle kaistalle erikseen koko ajoradan pienimmän ja keskimääräisen luminanssin osamääränä. Luminanssin pitkittäistasaisuus U_1 taas vaikuttaa ajo- ja näkömukavuuteen. Se lasketaan jokaisen kaistan keskellä kulkevalla suoralla olevien pienimmän ja suurimman lumi-

nanssin osamääränä. Sekä yleis- että pitkittäistasaisuutta laskiessa pienin arvo on mitoitettava. (Good lighting for safety on roads, paths and squares)

Suuret luminanssierot näkökentässä aiheuttavat häikäisyä. Häikäisy jaetaan **esto-** ja **kiusahäikäisyyn**. Uusille lamputille täytyy laskea estohäikäisy TI (%) jokaiselle kaistalle erikseen suunniteltaessa tievalaistusta. Se on mitattavissa silmän kontrastiherkkyiden muuttumisena ja nimensä mukaisesti se heikentää näkemistä. Estohäikäisyä voidaan kompensoida nostamalla tien pinnan luminanssia. Kiusahäikäisyä taas kuvaa häikäisyrajoituksen tunnusluku G . Se aiheuttaa epämiellyttävän tunteen katsottaessa, muttei heikennä näkemistä. Kevyen liikenteen väylillä ja alueilla, joissa käytetään puistovalaisintyyppisiä valaisimia, käytetään häikäisyrajoitusarvoa. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, Harsiala, Verkostosuositukset US 1:88)

Väriämpötila [T_{CP}] kertoo lampun tuottaman valon värisävyn. Se ilmoitetaan kelvineinä (K). Väriämpötilaltaan alle 3000 kelvinin valoa kutsutaan lämpimäksi väriksi kun taas yli 5300 kelviniä on kylmän värinen. Tältä väliltä olevan valon väri on neutraali. (Harsiala)

Värintoistoindeksi eli *Ra-indeksi* tai *CRI* (colour rendering index) kuvaa lampun kykyä toistaa värejä. Hehkulamput Ra on 100, mikä on suurin mahdollinen värintoiston arvo. Värit näyttävät sitä luonnollisemmilta, mitä enemmän eri aallonpituuksia valo sisältää. Värintoistoindeksi ei ole riippuvainen valon väriämpötilasta; kaksi keskenään samenväristä lamppua toistavat värit erilaisina, mikäli niiden spektrit eroavat toisistaan. (Harsiala)

Keskimääräinen elinikä eli **loppuunpalamis aika** on valmistajan ilmoittama taulukkoarvo, jolloin puolet lamputa on sammunut standardiolosuhteissa. **Hyötypolttoikä** taas kuvaa aikaa, jolloin lamppujen valaistusvoimakkuus on laskenut 30 % nimellisestä arvosta. Tämä tapahtuu, kun esimerkiksi valovirran alenema on noin 20 % ja kuolleisuus noin 10 %. Tievalaistuksessa käytettyjä kaasupurkauslamppuja ei käytännössä polteta loppuun niiden valovirran aleneman ja räjähdysherkkyyden vuoksi. Sen vuoksi niiden tyyppillistä käyttöikää kuvaa parhaiten hyötypolttoikä. (Tievalaistuksen suunnittelu (2006)

2.4 Valaisimien huolto

Valaisimien valovirran alenema johtuu valonlähteiden valovirran alenemisesta, kuolleisuudesta, likaantumisesta sekä ilkeivallasta. Näihin taas vaikuttaa valaisimen asennuskorkeus ja rakenne sekä ympäristön ja liikenteen aiheuttamat olosuhteet. Jotta valaistusluokan vaatimukset täyttyvät, tarvitaan valaistusverkon säännöllistä tarkistusta ja huoltoa. (Verkostosuositukset UT 1:88)

Ryhmähuoltotyönä vaihdetaan kerralla kokonaisen alueen polttimot ja tehdään mahdolliset puhdistus- ja huoltotyöt, kuten sytyttimen vaihdot ja rakenteelliset tarkastukset. Samankäisillä polttimoilla saavutetaan tasainen valaistus. Myös valon väri pysyy näin menetellen tasaisena. Lamppuihin on merkittävä asennusviikko- ja vuosi, sillä niiden takuuvaihto edellyttää polttoain määrittelyä. (Verkostosuositukset UT 1:88)

Yksittäishuollossa vaihdetaan ryhmävaihtovälin aikana palaneita tai rikottuja lampuja. Lisäksi takuuajana palaneet lamput saadaan selville. Lisäksi voidaan tehdä korjaustoimenpiteitä, joita yksittäiset lamput vaativat, mutta varsinaista huoltoa niille ei tehdä. Yksittäishuoltoa tehdään suunnitellun kierron mukaisesti siten, että lamppujen tarkastusväli on kolmesta kuuteen viikkoa. (Verkostosuositukset UT 1:88)

Tampereen kaupungin tarveselvityksessä määritellään kunnossapidon periaatteet. Näihin kuuluu valaisinten vaihto taulukon 2 mukaisesti.

TAULUKKO 2. Tampereen ulkovalaistuksen tarveselvityksen määrittämät vaihtovälit

Valonlähde	Valovirran alenema	Kuolleisuus	Ryhmävaihtoväli
Suurpainenatrium	5%	5%	4-5 vuotta
Monimetalli	15%	5%	2-3 vuotta
Induktio & LED	15%	5%	10-12 vuotta

Lisäksi kaupungissa tehdään valaisimien puhdistus ryhmävaihtojen yhteydessä, mutta kuitenkin niin, että puhdistusväliksi tulee korkeintaan 5 vuotta. Lisäksi eri korjaustoimenpiteille on asetettu kiireysjärjestys. (Tampereen ulkovalaistuksen tarveselvitys)

Valaisimen hoitokustannuksista noin kaksi kolmasosaa muodostuu sähkölaskusta ja noin kolmasosa kunnossapidosta. Tämän vuoksi halvin valaistusratkaisu on yleensä se, jonka energiankulutus kilometriä kohti on pienin. (Tie & Liikenne 2007)

3 TIEVALAISTUKSEN SUUNNITTELU

3.1 Valaistusluokat

Jotta voidaan yksiselitteisesti määrittellä tievalaistuksen laatuvaatimukset, on määritelty erityyppisille teille omat valaistusluokkansa. Liikenneviraston suunnitteluohjeen luokat perustuvat suurelta osin eurooppalaiseen standardiin SFS EN 13201-2. Tievalaistuksen laskentaohjelmille on määritelty omat vaatimuksensa standardissa SFS EN 13201-3. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

AL-luokat perustuvat luminanssivaatimuksiin. Niissä käytetään sekä kuivalle, että märälle päällysteelle asetettuja raja-arvoja. Käyttökohteina ovat yleiset tiet, joissa moottoriajoneuvojen nopeus on vähintään 50 km/h. Taulukossa 3 on esitetty AL-luokkien vaatimukset.

TAULUKKO 3. AL-luokan vaatimukset (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Luokka	Kuivan ja märän ajoradan luminanssi				Estohäikäisy	Ympäristön valaistus
	Kuiva			Märkä		
	L_m cd/m ² , min	U_o min	U_l min	U_o min	TI % max	SR min
AL1	2,0	0,4	0,6	0,15	10	0,5
AL2	1,5	0,4	0,6	0,15	10	0,5
AL3	1,0	0,4	0,6	0,15	15	0,5
AL4a	1,0	0,4	0,4	0,15	15	0,5
AL4b	0,75	0,4	0,4	0,15	15	0,5
AL5	0,5	0,4	0,4	0,15	15	0,5

Mikäli mitoituksessa käytetään pelkästään kuivaa päällystettä, käytetään standardin SFS EN 13201-2 taulukon 1a esittämiä vaatimuksia.

AE-luokan määrittelyt perustuvat valaistusvoimakkuuden raja-arvoihin. Niitä käytetään moottoriajoneuvoille alueilla, joissa näkyvässä olevan säännöllisen ajoradan pituus on alle 60 metriä. Tällaisia ovat esimerkiksi kiertoliittymät ja mutkikkaat tasoristeykset.

Taulukon 4 mukaisesti AE-luokissa asetetaan vähimmäisvaatimukset vaakatason valaistusvoimakkuuden keskiarvolle ja tasaisuudelle. Standardissa SFS EN 13201-2 vastaavat luokat on nimetty: CE0...CE5.

TAULUKKO 4. AE-luokat (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Luokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus	
	E_m lx, min	U_o min
AE 0	50	0,4
AE 1	30	0,4
AE 2	20	0,4
AE 3	15	0,4
AE 4	10	0,4
AE 5	7,5	0,4

Taulukossa 5 on esitetty luminanssi- ja valaistusvoimakkuuksien vastaavuus.

TAULUKKO 5. AL- ja AE luokkien vastaavuus (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Luminanssi	Valaistusvoimakkuus
AL 1	AE 1
AL 2	AE 2
AL 3	AE 3
AL 4a	AE 3
AL 4b	AE 4
AL 5	AE 5

K-luokat on tarkoitettu kevyen liikenteen väylille, jalankulkualueille, pysäköintialueille, asunto- ja pihakaduille, kävelykaduille sekä pihaille. K-luokissa on taulukon 6 mukaisesti vaatimukset keskimääräisen valaistusvoimakkuuden lisäksi valaistusvoimakkuuden minimiarvoille. Standardissa SFS EN 13201-2 vastaavat luokat on nimetty kirjainyhdistelmillä S0...S6.

TAULUKKO 6. K-luokkien vähimmäisvaatimukset

Luokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus	
	Em ¹⁾ lx, min	E lx, min
K1	15	5
K2	10	3
K3	7,5	1,5
K4	5	1
K5	3	0,6
K6	2	0,6

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

Mikäli valaistuksella halutaan parantaa turvallisuuden tunnetta esimerkiksi kevyen liikenteen väylällä, kannattaa kiinnittää huomiota myös ympäristön valaistusvoimakkuuteen. Rikollisuutta voidaan torjua tehokkaimmin käyttämällä puolisynterivalaistusvoimakkuutta, jolloin kasvojen tunnistettavuus paranee. Tällöin käytetään hyväksi standardin SFS EN 13201-2 taulukkoa 5. Jos halutaan käyttää puolipallovalaistusvoimakkuutta, valitaan luokka standardin SFS EN 13201-2 taulukosta 4.

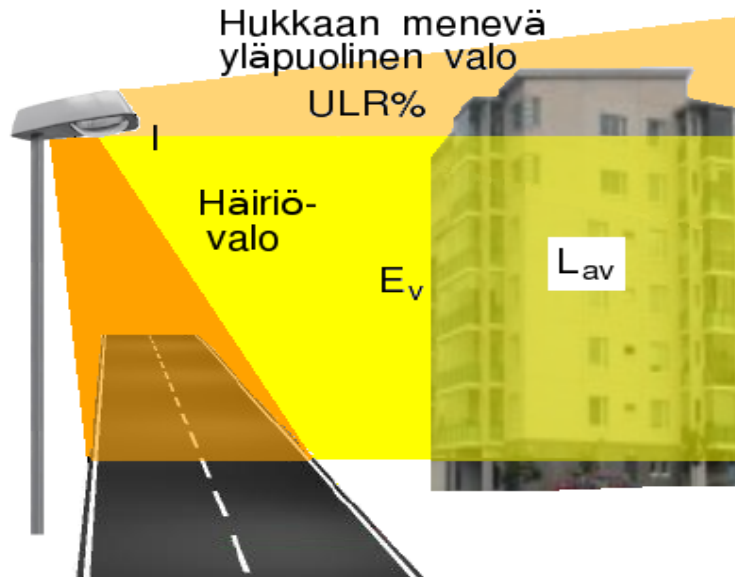
Valaistusluokan valinta tehdään väylän ja liikenteen ominaisuuksien perusteella. Mikäli kyseessä on yleinen tie, käytetään liitteen 1 mukaista taulukkoa. Kaduille valinta tehdään liitteen 2 mukaan. Kun siirrytään valaistulta tieltä valaisemattomalle, täytyy AL1-AL4a -luokan teillä olla sopeutumisalue, jotta silmä ehtisi tottua pimeyteen. Siinä keskimääräisen luminanssin on oltava välillä 15-25 % valaistusluokan määrittämästä arvosta. Käytännössä tämä toteutuu, kun pudotetaan sopeutumisalueen lampputeho noin kolmasosaan mitoitetusta tehosta. Sopeutumisalueen pituudet metreinä valaistusluokittain ja nopeusrajoituksen mukaisesti on esitetty taulukossa 7. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

TAULUKKO 7. Sopeutumisalueiden pituudet (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Valaistusluokka	Mitoitusnopeus				
	120	100	80	60	50
AL1	225	175	125	75	50
AL2	200	150	100	50	-
AL3, AL4a	150	100	60	-	-

3.2 Häiriövalo

Tievalaistuksen aiheuttamalle häiriövalolle on määritetty raja-arvot standardissa EN 12464-2. Siinä otetaan huomioon taivaan valottuminen, ikkunoihin kohdistuva valo, valaisimen valovoima kohteen suuntaan ja rakennusten pinnan luminanssi (kuva 3).



KUVA 3. Häiriövalon suuret (tehty Kolourpaint -ohjelmalla)

Valaistusasennuksesta vaakatason yläpuolelle suuntautuvan valon enimmäisosuutta kuvataan suurella $ULR\%$. Rakennuksen ikkunoihin suuntautuvaa pystypinnan valaistusvoimakkuutta puolestaan kuvaa E_v . Valaistavasta kohteesta poispäin suuntautuvan valovoiman tunnus on I . L_{av} taas kertoo valaistusasennuksen ympäröivien rakennusten seinäpinnan luminanssin. Edellä mainitut häiriövalon suuret määräytyvät ympäristöluokkien mukaan (taulukko 8). Tievalaistus voi siis häiritä tien varrella asuvia, mutta asia voi olla myös toisinpäin; tien ulkopuoliset kirkkaat valonlähteet voivat häiritä autoilijoita. Häiriön kompensoimiseksi saatetaan joutua valitsemaan korkeampitasoinen valaistusluokka. (Tiensuu 2010)

TAULUKKO 8. Häiriövalon ympäristöluokat (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Alue	Ympäristö	Valoisuus	Esimerkkejä
E1	Luonnontila	Pimeä	Kansallispuisto
E2	Maaseutu	Vähäinen aluevalaistus	Teollisuus- tai asuinalueet
E3	Esikaupunki	Kohtalainen aluevalaistus	Teollisuus- tai asuinalueet
E4	Kaupungin keskusta	Voimakas aluevalaistus	Keskustat tai kauppa-alueet

Ympäristöluokkien mukaiset häiriövalon rajat on esitetty taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Häiriövalon raja-arvot (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Ympäristön alue	Asennuksen yläpuolinen valo ULR %	Valaistusvoimakkuus ikkunoissa		Valaisimen valovoima kohteen suuntaan		Rakennusten luminanssi	
		E_v		I		L_m	L_{max}
		lx		kcd		cd/m^2	cd/m^2
		Ilta	Yö	Ilta	Yö	Ilta	
E1	0	2	1	2,5	0,5	0	0
E2	5	5	1	7,5	0,5	5	10
E3	15	10	2	10	1	10	60
E4	25	25	5	25	2,5	25	150

Mitä pimeämpi on valaistavan tien ympäristö, sitä pienemmät raja-arvot on asetettu häiriövalolle. Tämä johtuu siitä, ettei esimerkiksi valoisassa kaupunkiympäristössä ikkunaan kohdistuvaa valoa koeta yhtä häiritseväksi, kuin pimeämmässä maaseutu-ympäristössä.

3.3 Valonlähteet

Ulkovalaistuksessa käytetään pääasiassa purkauslamppuja (HID), joita ovat monimetalli-, natrium ja elohopeahöyryvalaisimet. Lisäksi jonkin verran käytössä on pienpainenatrium-, sekavallo- ja induktiovalaisimia. Tulevaisuuden valaistusratkaisuissa myös LED-valaisimilla saattaa olla merkittävä rooli, jos tekniikka kehittyy odotusten mukaisesti. Eri valonlähteiden vertailun helpottamiseksi on taulukkoon 10 kerätty valovirraltaan samansuuruisia polttimoita Philipsin mallistosta ja niille on etsitty ALV 0 % tukkuhinnat SLO:n www-sivuilta. Induktiolampun hinta on otettu CP-lighting verkkokaupasta. Koska vertailussa on mukana vain yksi valmistaja ja kaksi tukkuliikettä, ei taulukon avulla voida päätellä keskimääräisiä hintoja, vaan se on tarkoitettu ainoastaan eri valonlähteiden keskinäiseen vertailuun.



















TAULUKKO 10. Eri valonlähteiden tukkuhinnat

Tyyppi	Malli	Teho (W)	Hinta alv 0% (€)	Valovirta (lm)	Tehokkuus (lm/W)	Väri (K)	Värin-toisto Ra	Elinikä ka (h)	Kanta
Elohopeahöyry	HPL 4	125	11,90	6200	50	4200	57	24 000	E 27
Monimetalli	Keraaminen CDO-TT Plus	70	74,50	7500	103	2800	90	20 000	E 27
Suurpainenatrium	SON-T Apia Plus Xtra	70	39,50	6600	91	1950	25	40 000	E 27
Pienpainenatrium	SOX 55W BY22d 1SL	55	82,50	7800	140	1800	≈0	18 000	BY22d
Sekavallo	ML 250W E27	250	55,00	5500	20,4	3400	65	10 000	E27
Induktio	QL 85/830	85	113,70	6000	71	3000	80	100 000	A110
Led	PGB303 Led 73/740	83	280,00	6428	78	4000	70	55 000	

Induktiolampussa huomattavaa on, että itse polttimo voi kestää yhtä kauan, kuin liitäntälaitte. Liitäntälaitteineen hinta on 215 puntaa eli noin 260 €. Philipsin PGB303 LED-valaisimen tukkuhinta on 846 €. Yhtiön avainasiakaspäällikön mukaan vaihdettavan LED-moduulin hinta on noin kolmannes itse valaisimen hinnasta. Taulukossa näkyvä hinta ei siis ole mitenkään tarkka, vaan ainoastaan suuntaa antava. Purkausvalaisimien polttimoiden hintoja etsiessä tuli ilmi, ettei tarvittava teho vaikuta juurikaan polttimon hintaan. Näin yhtä teholuokkaa pienempi lamppu voi olla jopa kalliimpi, mikäli sen valmistusmäärät ovat pienemmät.

Huoltotöiden helpottamiseksi on suositeltavaa liimata lamppuun kiinni valonlähteestä kertova tarra. Verkostosuositusten mukaiset tarrat on esitetty taulukossa 11.

TAULUKKO 11. Lampun tunnistintarrat (Verkostosuositukset UR 1:94)

Valonlähde	50 W	70 W	80 W	100 W	125 W	150 W	250 W	400 W	Väri
Elohopea HME									Sininen
Monimetalli HIE									Vihreä
SpNa HSE (ellipsoidi)									Keltainen
SpNa HST (sylinteri)									Punainen

E= External eli valaisin varustettu erillisellä sytytinlaitteistolla I= Internal eli sytytin lampun sisäisessä rakenteessa

3.3.1 Monimetallilamppu

Monimetallilamppuja (HIE/HIT) käytetään, kun valaistukselta vaaditaan hyvää värin-toistoa. Sen toiminta perustuu purkausputkessa olevien eri metallien seokseen. Jokainen metalli tuottaa tietyn aallonpituuden valoon ja niiden yhteisvaikutuksena valon väri on lähellä luonnonvaloa. Ne jaotellaan purkausputken materiaalin perusteella kvartsilasiin ja keraamisiin. Keraamisilla polttimoilla värin-toistoindeksi voi olla lähes 100 ja valotehokkuus yli 100 lm/W. Lähes kaikki markkinoilla olevat pienemmän teholuokan poltti-

mot ovat keraamisia ja ne ovat yleistymässä koko ajan. Mitä suurempaa teholuokkaa valaisin on, sitä yleisempiä kvartsilasiset polttimot ovat. Niiden värintoistoindeksi on yleisesti noin 65-95. Valontuotto on valmistajasta ja mallista riippuen noin 80 lm/W, mutta polttimon tehon kasvaessa se suurenee. Kvartsilasisia polttimoita valmistetaan pääasiassa tehoalueelle 70-2000 W.

Yli 100 W:n monimetallipolttimoissa on yleensä E40- eli goljatkanta. Pienemmissä käytetään tavallisesti E27 -kantaa. Valonheittäjiä varten on olemassa omat kantansa, R7s ja Fc2. Liitäntälaittevaatimuksena on virtaa rajoittava kuristin sekä sytytin. Monimetallipolttimon elinikä 50 %:n kuolleisuudella on yleisesti 10 000 – 20 000 tuntia, mikä on kaasupurkausvalojen lyhyimpiä. (Halonen & Lehtovaara 1992, Nurmi, Philips, Sandström 2009)

Monimetallipolttimoita käytettäessä on valittava suojakuvullinen valaisin, sillä varsinkin kvartsilasiset polttimot saattavat räjähtää käyttöikänsä lopussa. Lampun valovirran alenema on kuitenkin kohtuullisen suuri ja ne yleensä pyritään vaihtamaan jo ennen käyttöänsä päättymistä. Monimetallilampun syttyminen kestää useita minutteja. Lisäksi purkausputken täytyy olla kylmä syttyäkseen, joten esimerkiksi sähkökatkon sattuessa uudelleensytytys voi kestää jopa useita minutteja. Asennuksessa huomioitavaa on lampun polttoasento, sillä väärässä asennossa esiintyy värieroja purkauskäytössä. Monimetallilamppu on melko kallis valinta, mutta vaadittaessa hyvää värintoistoa se on lähes ainoa vaihtoehto. (Nurmi, Philips)

3.3.2 Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlamppujen (HSE/HST) valotehokkuus on 70-140 lm/W, minkä vuoksi niitä käytetään runsaasti katu- ja ulkovalaistuksessa. Alhaisen tehotason polttimot voivat kuitenkin jäädä valotehokkuudeltaan keraamisista monimetallilampuista. Nimensä mukaisesti lampun valontuotto perustuu purkausputken natriumhöyryyn. Sen tuottama valo on oranssin keltaista värilämpötilaltaan 1900-2800 K. Ongelmana lampputyypissä on vaatimaton värintoistoindeksi, joka on välillä 18-25. Se vääristää värejä ja asettaa siten rajoituksia lampun käytölle.

Suurpainenatriumlamppuja pidetään kustannustehokkaimpana vaihtoehtona tie- ja ulkovalaistuksessa sen valotehokkuuden, edullisten polttimoiden ja pitkän käyttöikänsä

vuoksi. Keskimääräinen käyttöikä 50 %:n kuolleisuudella onkin yleensä välillä 20 000-40 000 tuntia. Valovirran alenema on pienehkö verrattuna muihin purkauslamppuihin. Elinikänsä lopussa suurpainenatriumvalaisimessa tapahtuu lamppujännitteen kasvua, jolloin kuristin ei enää kykene pitämään lamppua toiminnassa. Tämä aiheuttaa lamppujen ennalta arvaamattomia sammumisia, minkä jälkeen ne syttyvät uudelleen jäähtyttyään ensin tarpeeksi. Tällaisen jakson pituus voi olla muutamista minuuteista jopa useisiin tunteihin.

Saatavilla on myöskin värikorjattuja vaihtoehtoja, joissa värintoistoindeksi on yli 60. Näissä valotehokkuus on merkittävästi tavallista poltinta huonompi ja hinta on jopa vastaavan suuruista monimetallilamppua kalliimpi. Tavalliseen suurpainenatriumlamppuun verrattuna sen käyttöikä on yleensä hieman lyhyempi.

Liitäntälaitteeksi tarvitaan kuristin ja sytytinlaite, joka antaa usean kilovoltin jännitepiikin sytytyksen aikana. On olemassa myöskin elohopealamppuja korvaavia suurpainenatriumlamppuja, joille riittää pelkkä kuristin. Nämä polttimot voidaan siis asentaa suoraan elohopealampun tilalle ilman liitäntälaitteisiin koskemista, mutta niiden maahan tuonti lopetetaan vuonna 2015 ErP-direktiivin seurauksena. Myös elektronisia liitäntälaitteita on olemassa. Niillä lampun tehokerroin saadaan arvoon 1,0 ilman kompensointikondensaattoria, minkä lisäksi välkyntä poistuu käytännössä kokonaan. Elektronisten liitäntälaitteiden häviöt ovat pienemmät verrattuna kuristimeen. Natriumvalaisimissa käytetään samoja kantoja, E40 ja E27, kuin muissakin purkausvalaisimissa. (Nurmi, Philips, Sandström 2009)

3.3.3 Elohopeahöyrylamppu

Elohopeahöyrylamppu (HME) on yleinen valaisintyyppi katu- ja ulkovalaistuksessa. Tämä tulee kuitenkin olennaisesti muuttumaan, sillä vuodesta 2015 lähtien ei elohopeahöyrylamppuja saa tuoda enää markkinoille Euroopan unionin säätämän Energy Related Products- eli ErP-direktiivin mukaisesti.

Tekniikan etuna on ollut alhainen polttimoiden hinta ja kohtalainen värintoistoindeksi, joka on välillä 45-60. Elohopeahöyrylamppujen kiellon taustalla on niiden huono valotehokkuus, joka on noin 50 lm/W. Valovirran alenema polttimon ikääntyessä on melko suuri, mutta käyttöikä on hieman monimetallipolttimoita parempi. Elohopeahöyrylamp-

pua korvattaessa jollakin toisella vaihtoehdolla, täytyy koko valaisin vaihtaa, sillä optiikka ja liitäntälaitte eivät yleensä sovellu muille lampputyypeille. (Nurmi, Philips)

3.3.4 Induktiolamppu

Induktiolamppujen merkittävin etu muihin ratkaisuihin verrattuna on niiden 60 000-100 000 tunnin käyttöikä. Esteenä lampputyypin yleistymiselle on kuitenkin niiden korkea hinta ja vähäinen valikoima. Induktiolampun toiminta perustuu sekä induktioon, että kaasupurkaukseen. Siinä suurtaajuinen noin 250 kHz virta kelassa indusoi sähkövirran kaasutäytteenä, joka toimii tavallaan muuntajan toisiokelana. Se aiheuttaa ionisoitumisen, jolloin syntyy ultraviolettisäteilyä. Loisteputken tavoin lampun sisäseinämässä olevat loisteaineet muuttavat sen näkyväksi valoksi. Induktiolamppu ei sisällä lainkaan elohopeaa.

Energiatehokkaan ohjauksen kannalta induktiolampulla on puolellaan kaksi merkittävää etua. Se antaa täyden valovirran välittömästi sytyttämisen jälkeen minkä lisäksi sytytyskertojen määrällä ei ole vaikutusta sen elinikään. Valontuotto on noin 70 lm/W ja värin- toistoindeksi on yleensä 80:n tienoilla. Parhaina käyttökohteina induktiolampulle voidaan pitää paikkoja, joissa lampun vaihto on hankalaa tai joissa oleskellaan lyhyitä aikoja kerrallaan.

Induktiolamppu asettaa haasteita valaisimen optiikan suunnittelulle, sillä se on muihin lampputyyppeihin verrattuna kookas. Se tarvitseekin juuri induktiolampuille suunnitellun valaisimen. Markkinoilla on pienitehoisia sisäisellä kuristimella varustettuja polttimoita, jotka on tarkoitettu elohopeahöyrylampun tilalle. Tosin valonjako jää tällöin arvoitukseksi. Suuritehoisissa polttimoissa on aina erillinen elektroninen liitäntälaitte. (Nurmi)

3.3.5 LED-lamppu

LED-valaisimia on pidetty tulevaisuuden lupauksena. Suomestakin löytyy valmistajia, kuten Valopää Oy ja Easy Led Oy. Liitäntälaitteena käytetään LED-driveriksi kutsuttua hakkurivirtalähdettä, joka muuttaa verkon AC-jännitteen LED:in vaatimaksi DC:ksi. Puolijohdetekniikkaan perustuvaa LED:iä ei ohjata purkauslamppujen tavoin jännitteensäädöllä, vaan sen virtaa tehoelektronikan keinoin, yleensä pulssinleveysmodulaa-

tio-ohjauksella. Joillakin valmistajilla LED-yksikkö on integroitu valaisimeen, mutta yleensä sen voi vaihtaa. Valaisimen käyttöiäksi valmistajat ilmoittavat 50 000-135 000 tuntia. Tästä ei kuitenkaan ole vielä käytännön kokemusta, sillä tekniikka on vielä uutta. Käyttöikää rajoittaa paitsi liitäntälaitteen kesto, myös lämmön aiheuttama valovirran alenema. LED-moduuli ei yleensä sammu kokonaan käyttöikänsä lopussa, vaan sen valovirta alenee pikkuhiljaa. Salossa tästä saatiin käytännön esimerkki, kun LED-katuvalaisimien valovirta aleni merkittävästi ja ne on jouduttu vaihtamaan suurpainenatriumlamppuihin.

Valotehokkuudeksi valmistajat ilmoittavat nykyisin noin 50-120 lm/W. Luotettavia lukuja on kuitenkin hankala saada ylikuumentuneen markkinoinnin johdosta. Yleensä kylmän sävyiset LEDit ovat energiatehokkaampia, sillä niiden pinnassa on ohuempi kerros loistainetta. Kaasupurkauslamppuista poiketen polttimoiden valotehokkuus ei kasva tehotason suurentuessa. Värintoistoindeksi on yleensä 80:n molemmin puolin.

LED-valaisimien sovelluskohteet ovat melko samat, kuin induktiolampullakin, sillä myös ne syttyvät välittömästi. Myöskään LEDin käyttöikään sytytyskertojen määrällä ei ole merkitystä. Tämän vuoksi valaisimiin on mahdollista lisätä läsnäolotunnistimia ja muuta virransäästöautomaatiikkaa. Joissakin malleissa myös valaisimen valovirran alenemaa kompensoidaan, mutta valotehokkuuden laskuun käyttötuntien lisääntyessä sillä ei luonnollisestikaan ole vaikutusta. Tällä hetkellä LEDien energiansäästöpotentialiaali ei olekaan suuressa valotehokkuudessa, vaan jopa induktiolamppuja pidemmässä käyttöiässä ja älykkäissä ohjausratkaisuissa, joita ei hitaasti syttyvillä kaasupurkauslamppuilla kyetä hyödyntämään.

LED-ulkovalaisimien hinnat ovat vielä melko korkeita, mikä osaltaan jarruttaa niiden yleistymistä. Mikäli päädytään rakentamaan valaistus LED-tekniikalla, on otettava huomioon valaisimen huollettavuus. Valovirran aleneman seurauksena LED-valonlähdekin joudutaan joskus vaihtamaan ja tällöin kustannukset nousevat suuriksi, jos se ei ole irrotettava. Koko valaisimen uusiminen maksaa monin verroin pelkkään LED-moduuliin verrattuna. (Sippola 2010, Honkanen)

3.3.6 Pienpainenaatriumlamppu

Pienpainenaatriumlamppu on hyötysuhteeltaan paras sähkölamppu, sillä sen valotehokkuus on yleisesti noin 100-200 lm/W. Valaisintyyppin ongelmana pidetään sen lyhyttä käyttöikää, mikä on noin puolet suurpainenaatriumlampun vastaavasta. Lisäksi polttimoiden hinta on siihen verrattuna noin kaksinkertainen. Pienpainenaatriumlamppujen käyttö on sallittu ainoastaan moottoriteillä ja niilläkin käyttö on vähenemään päin polttimoiden lyhyehkön käyttöiän vuoksi. Lampun käyttöä muuhun tarkoitukseen rajoittaa sen olematon värintoisto, joka on käytännössä nolla. Syttyäkseen pienpainenaatriumlamppu vaatii 700 V:n jännitteen. Tämä toteutetaan liitäntälaitteena käytettävällä hajakenttämuuntajalla. Polttimon täytyy olla lähes vaaka-asennossa toimiakseen. Kantana käytetään yleisesti Swan-kannaksi kutsuttua B 22 pistokekantaa. (Monni 2002)

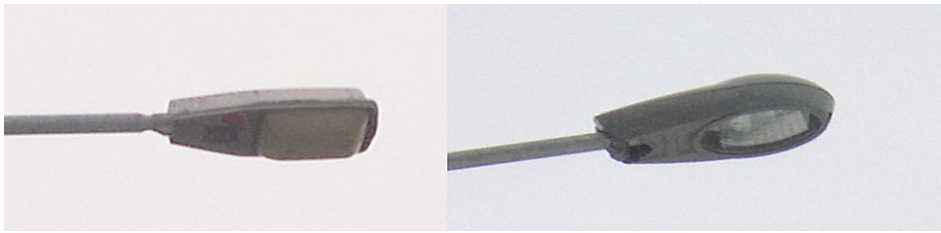
3.3.7 Sekavalolamppu

Sekavalolampun toiminta perustuu sekä elohopeapurkaukseen, että hehkulangan säteilyyntä. Lampun sisäpinnalla on lisäksi loisteainekerros. Sekavalolamppu ei vaadi ollenkaan liitäntälaitetta, sillä elohopeapolttimon kanssa sarjaan kytketty hehkulanka toimii virranrajoittajana. Sen polttoikä on noin 6000-10 000 tuntia. Niitä valmistetaan tehoalueelle 100-500W. Koska niiden valotehokkuus on noin 20 lm/W paikkeilla, ei pienempitehoisilla olisi ulkovalaistuksessa juurikaan käyttöä. Sekavalolampun värintoistoindeksi on yleensä yli 60. Tulevaisuudessa valaisimen käytöstä tullaan luopumaan sen alhaisen energiatehokkuuden vuoksi. Tällä hetkellä sekavalolamppujen hinnat ovat korkeita niiden pienen valmistusmäärän johdosta. (Mäkinen & Kallio 2004)

3.4 Valaisimen runko

Valaistuslaskennan kannalta on olennaista tietää, onko käytössä tasolasi- vai kupuvalaisin (kuva 4). Kupuvalaisimet mahdollistavat noin 3-6 metriä pidemmän pylväsvälin, joten saneerauksen yhteydessä niitä ei yleensä pysty korvaamaan tasolasivalaisimilla. Tasolasivalaisimia käytetään pääasiassa keskusta-alueilla, sillä niiden häikäisy on vähäisempää. Kupuvalaisimien käyttökohteet ovat taas maantievalaistuksessa niiden paremman kustannustehokkuuden ja energiatalouden vuoksi. Joissakin valaisinmalleissa häikäisyä pystytään rajoittamaan niihin asennettavilla erillisillä häikäisysojilla. Aikaisemmin on käytetty paljon avoimia valaisimia, joissa ei ole lainkaan suojakupua. Nykyisin

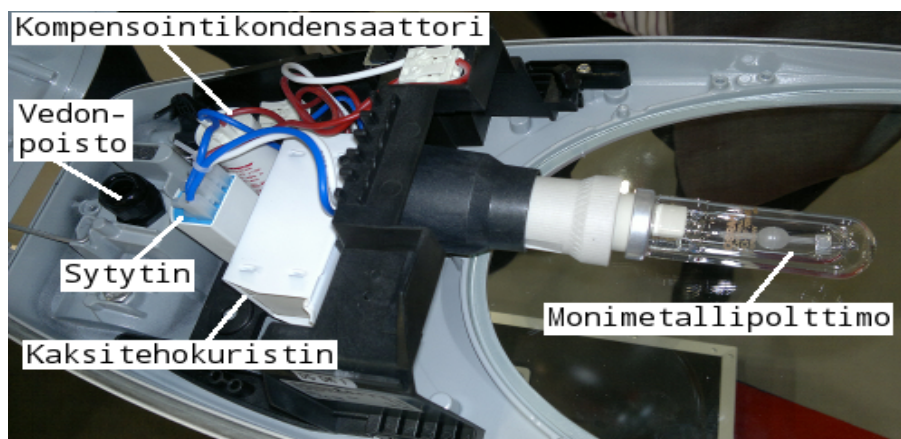
niitä ei enää asenneta, sillä ne ovat alttiita ilkivallalle ja likaantumiselle. (Tie & Liikenne 2012, Verkostomessut Tampere 2013, Monni 2012)



KUVA 4. Kupuväläisin vasemmalla ja tasolasiväläisin oikealla (kuvattu 31.1.2013)

Valaisinta valittaessa kannattaa ottaa huomioon sen pitkä käyttöikä. Tänä päivänä asennetun valaisimen elinkaaren aikana voi LED-teknologia kehittyä niin pitkälle, että sitä aletaan käyttää tievalaistuksessa yleisesti. Mahdollisuuksien mukaan kannattaa suosia sellaisia valaisimia, joiden sisuskalut lähtevät helposti irti ja johon valmistajalla on olemassa tarvittavat LED-komponentit. Tällöin saadaan varmistettua tulevaisuuden kestävä ratkaisu.

Suurpainenatrium- ja monimetallilamput sisältävät kuvan 5 mukaiset osat.



KUVA 5. Alppilux -tasolasiväläisimen osat (kuvattu 30.1.2013)

Virran rajoittajana käytetään tavallisesti magneettista kuristinta, mutta varsinkin pienitehoisille valaisimille on olemassa elektronisia liitäntälaitteita. Sytytin on kytketty sarjaan kuristimen ja polttimon väliin. Kuristimen ja sytyttimen yhdistelmän tehokerroin on pieni, joten valaisimissa käytetään kompensointikondensaattoria. (Teollisuuden sähköasennukset)

Liikennevirasto asettaa tilaamilleen valaisimille erilaisia vaatimuksia. Kestävyyden vuoksi niissä täytyy olla alumiinirunko. Tämän lisäksi niiden IP-luokan täytyy olla vähintään IP65. Valaisimen rungolle voidaan määrittellä myös paikallisista olosuhteista johtuvia vaatimuksia. Esimerkiksi keskusta-alueella valaisimia saattaa tuhoutua runsaasti ilkvallan ja matalan asennuskorkeuden seurauksena. Standardissa EN 50102 on esitetty IK- luokitus, joka määrittää valaisimen kestämän iskuenergian. Luokan IK00 valaisin ei kestä iskuja, mutta sen sijaan IK09 ja IK10 luokan laitteet sietävät ilkvallaa jonkin verran. On kuitenkin huomattava, ettei mikään valaisin ole täysin hajoamaton. (Tiensuu 2010)

3.5 Pylväsasennukset

Tievalaistuksen yleissuunnitelmassa tai vaihtoehtoisesti tiesuunnitelman valaistustiedoissa määritellään alueella käytettävä pylväslaji. Puupylväitä käytetään, jos alueella on muitakin vastaavia asennuksia sähköjakeluverkossa. Valaisinkeskukselta tulevana ryhmäjohtona käytetään varsinkin taajamissa ja risteysalueilla alumiinista maakaapelia (AMCMK, AXMK), jolloin pylvään alaosassa sijaitsevasta kytkentäkotelosta eli ns. siirtymäkotelosta vedetään valaisinjohto pylvään runkoa pitkin valaisimeen. SFS 6000 kohdan 522.15.2 mukaan kaapeli täytyy suojata liikenneväylän varrella 2 m korkeudelle maan pinnasta. Valaisinjohtona käytetään poikki-pinnaltaan 2,5 mm² monisäikeistä MPK-kaapelia ja sen oikosulkusuoja on kytkentäkotelon sisällä. (Monni 2002, Tievalaistuksen suunnittelu 2006, Ijäs 2013)

Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää edullisempaa ilmajohtoratkaisua, jossa AMKA-johdon kiinnikkeet asennetaan valaisinvarren alapuolelle. Myös tässä ratkaisussa käytetään MPK -kaapelia valaisinjohtona. Monilla alueilla pylväisiin kiinnitetään sähköjakeluverkon ilmajohtoja, jolloin saadaan vähennettyä pylväsmäärää. Ilmajohtoa käytettäessä joudutaan varsinkin kulmapylväisiin asentamaan haruksia tai tukipylväitä, joten risteysalueilla pyritään käyttämään maakaapelia. Puupylväiden pystytykseen ei tarvita erillistä jalustaa, vaan riittävä upotussyvyys takaa pylvään pystyssä pysymisen. (Monni 2002)

Valaisinvarsi kiinnitetään puupylvääseen kansiruuveilla, sankasiteellä tai näiden molempien yhdistelmällä. Valaisin tulee yleensä ajoradan reunan kohdalle mahdollisimman tasaisen valonjaon aikaansaamiseksi. Varren pituus valitaan sen perusteella, kuinka kaukana itse pylväs on tiestä. Mitä korkeampia pylväät ovat, sitä kauemmaksi tien reu-

nasta valaisimet voidaan asentaa. Mitä symmetrisempi kuvio valaisimessa on, sitä keskeemmälle tietä se on asennettava. Myös sileäksi kulunut tienpinta tai sisäkaarteeseen sijoitetut pylväät vaativat valaisimen asennusta keskeemmälle tietä. Varsien yleisimmät pituudet ovat 500, 1000, 1500 ja 2500 mm. (Monni 2002, Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Metallipylväitä käytetään usein kaupunkimaisilla alueilla tai kun halutaan energiaa vaimentavat (HE) pylväät esimerkiksi vilkasliikenteisillä väylillä. Yleensä niille tuodaan ryhmäjohto maakaapelina mutta joskus voidaan kustannussyistä käyttää ilmajohtoa. Metallipylväitä on saatavilla kiinteällä varrella ja näitä valmistetaan 3-18 metrin korkuisina. Valaisinpylväitä, joihin tarvitaan erillinen valaisinvarsi, on saatavilla 7-12 metrin korkuisina. Valaisinvarsien pituuden vaihtelevat 0,5-3 metrin välillä. Valaisinvarren ja pylvään kiinnitysmekanismi täytyy aina tarkistaa, sillä ne eivät standardoinnista huolimatta ole aina yhteensopivia. Pylväiden materiaali on terästä tai seosalumiinia. Lisäksi on olemassa muovisia pylväsrunkoja. Kuvassa 6 on esitetty eri vaihtoehdot valaisinten johdotukseen. (Monni 2002)



KUVA 6. Valaisimen johdotusvaihtoehdot (kuvattu 31.1.2013)

Metallipylväiden alaosassa on kytkentätila, johon valaisimen oikosulkusuoja asennetaan. Valaisinjohto on yleensä MPK-kaapelia. Se pujotetaan pylvään rungon sisään ylhäältä päin. Metallipylväille käytetään teräksisiä tai betonisia jalustoja. Voimakkaasti syövyttävässä maassa tosin betonijalusta on suositeltavin vaihtoehto. Käytettävien jalustojen korkeudet vaihtelevat 580-2300 millimetriin. (Monni 2002, Verkostosuositukset UR1:94)

Pylväät voidaan jakaa neljään eri luokkaan niiden törmäysturvallisuuden mukaan. Jäykä pylväs pysäyttää auton ja ainoa törmäystä vaimentava tekijä on ajoneuvon konepelti. Taipuva pylväs taipuu auton alle ja pysäyttää sen turvallisen hitaasti. Jalustasta irtoava pylväs irtoaa kokonaan ja auto jatkaa törmäyssuuntaansa käytännössä entisellä nopeudella. Vaarana tässä on törmäys johonkin pylvään takana olevaan esteeseen. Kaatuneen pylvään ei ole kuitenkaan todettu aiheuttavan vahinkoja Suomessa. Pylväs voi olla myös alaosastaan murtuva, jolloin se hidastaa autoa hieman enemmän, kuin irtoava pylväs. (Verkostosuositukset UR 1:94)

Liikenneviraston ohjeen mukaan pylväiden tulee olla törmäysturvallisia, mikäli liikennemäärä ylittää 700 autoa päivässä ja nopeusrajoitus on yli 50 km/h. Lisäksi pylväiden tulisi olla energiaa vaimentavia, jos pylvään takana on paljon käytetty kevyenliikenteen väylä, metsä, kalliroleikkaus tai jokin muu vaarallinen este. Jäykkiä pylväitä voi käyttää aina, jos ne tulevat kaiteen taakse ja otetaan huomioon kaiteen joustovara. Vanhat pylväät on saneerattava törmäysturvallisiksi, mikäli liikennemäärä on yli 800 autoa päivässä ja nopeusrajoitus yli 40 km/h. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

3.6 Pylväiden sijoitus

Pylväiden sijoittelun perustyyppit ovat: yksirivinen reunasijoitus, kaksirivinen vuorottainen reunasijoitus, kaksirivinen vastakkainen reunasijoitus, yksi- tai kaksirivinen vaijeriasennus, kaksirivinen keskikaista-asennus ja keskitieasennus. Valittaessa valaistustyyppiä, on otettava huomioon taloudellisten seikkojen ohella valaistustekniset vaatimukset, ulkonäkökysymykset ja käytettävissä oleva tila. (Verkostosuositukset UA 1:94)

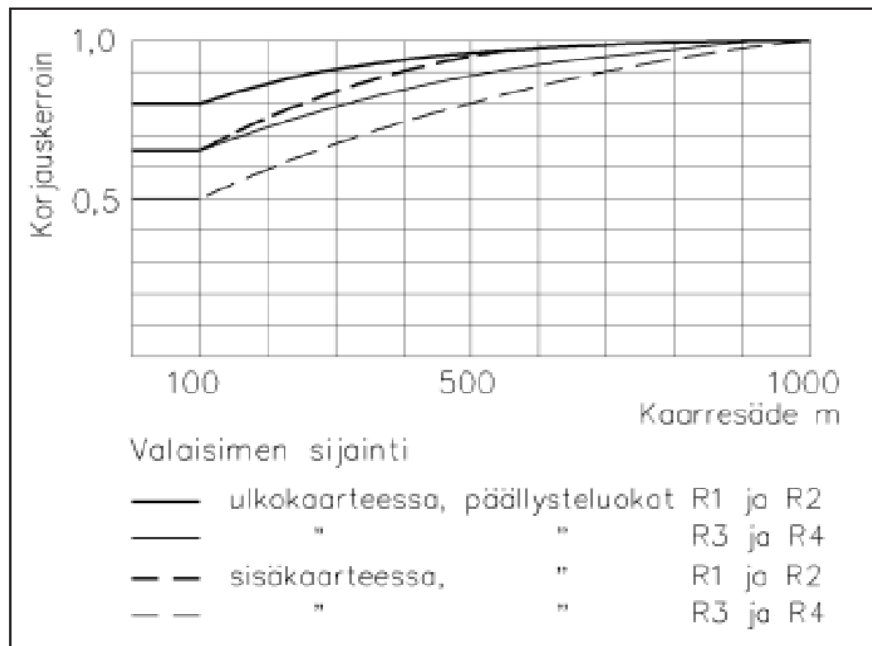
Pylvään keskikohta sijoitetaan pääosin 1,6 metrin päähän pientareen reunasta. Tällä helpotetaan huoltotöitä ja esimerkiksi erikoiskuljetusten perille pääsyä. Ahtaissa paikoissa voidaan joutua käyttämään 0,8 metrin etäisyyttä. Sivuojan pohjan tulisi normaalisti olla puolen metrin etäisyydellä pylvästä, mutta pohjavesialueilla vaatimuksena on 1 metri. Risteysalueilla on pylväiden sijoittelussa huomioitava suurien ajoneuvojen kääntäminen. Maastosuunnittelijan rooli korostuu sijoituspaikkoja määriteltäessä. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Kevyen liikenteen väylällä pylväiden sijoituspaikka on metrin päässä väylän reunasta. Ahtaissa paikoissa taas voidaan käyttää puolen metrin väliä. Jos väylällä on jyrkkiä alamäkiä, on etäisyyttä syytä kasvattaa jopa 2-3 metriin. Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Tiheästi rakennetulla alueilla ja pienipiirteistä valaistustapaa käytettäessä ulkonäköseikat vaikuttavat valaistuksen suunnitteluun ja mitoitukseen. Pylväiden tulee olla pituudeltaan samaa luokkaa ympäröivien rakennusten kanssa. Häikäisyn rajoittamiseksi käytetään yleensä tasolasivalaisimia, jolloin pylväsväli pidetään lyhyenä. Suunnittelussa kannattaa selvittää, onko varsien kiinnittäminen seinään mahdollista. Näin päästään eroon katujen kunnossapitoa haittaavista pylväistä. Tällöin varsien pituus täytyy valita oikein, jottei katolta putoava lumi riko valaisimia. Vaijeriasennusta käytettäessä on varmistettava, etteivät lamput ja vaijeri peitä taakseen arvokkaita rakennuksia. Pylvää saadaan näkymättömiin myös sijoittamalla ne puurivistöön. (Verkostosuositukset UA 1:94)

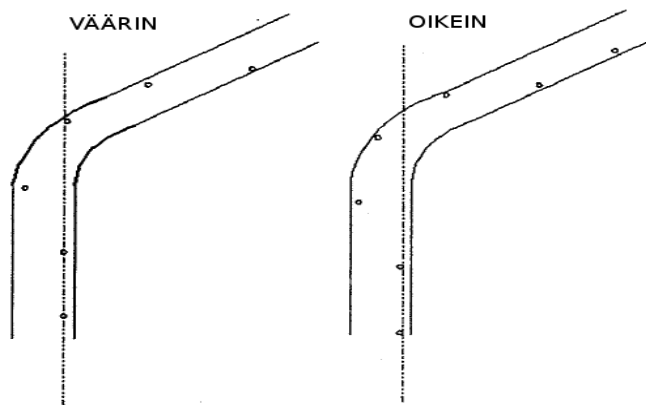
Pylväiden sijoittelu aloitetaan pakkopisteistä, kuten silloista ja risteyksistä. Tämän jälkeen ne pyritään sijoittamaan mahdollisimman lähelle laskennallista pylväsväliä. Lisäksi sijoitteluun vaikuttavat kaarteet ja optinen ohjaus.

Pienisäteisessä kaarteessa pylväsväliä lyhennetään kuvaajan 1 mukaisesti. Korjausker-toimeen vaikuttaa merkittävästi, onko pylvää sijoitettu sisä- vai ulkokaarteeseen. Mikäli kaarten säde on yli kilometrin, ei tarvetta pylväsvälin lyhentämiselle ole. Kaarresäteen ollessa alle 500 m, sijoitetaan pylvää ulkokaarteeseen. Lyhyissä peräkkäisissä kaarteissa, joissa tarvitaan enintään kolme pylvästä, ei valaisinjonoa siirretä ulkokaarteeseen. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)



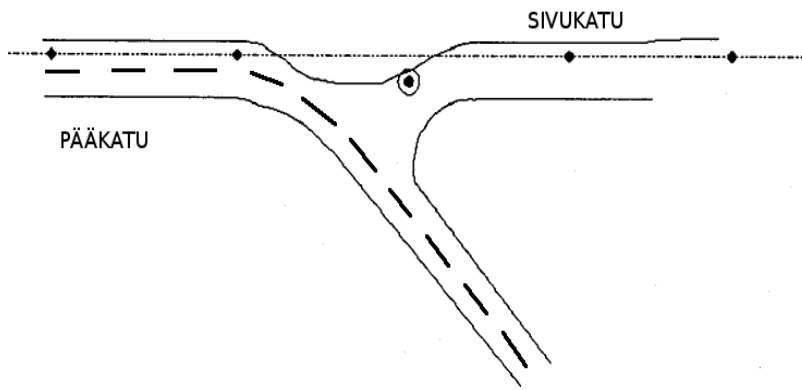
KUVAAJA 1. Pylväsvälin lyhennys kaarteessa (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Pylväiden sijoittelua on tarkasteltava optisen ohjauksen kannalta. Kuvassa 7 vasemmanpuoleisella tiellä valaisinrivistö antaa autoilijoille kuvan tien jatkumisesta suoraan. Oikealla sijoittelulla valaisimet saadaan korostamaan mutkaa. (Verkostosuositukset UA 1:94)



KUVA 7. Pylväiden sijoittelu kaarteessa (Verkostosuositukset UA 1:94)

Kuvassa 8 taas esitetään pylväiden sijoittelu risteysalueella. Mikäli ympyröity pylväs olisi sijoitettu suoraan linjaan muiden pylväiden kanssa, pääkatu näyttäisi autoilijan silmissä jatkuvan suoraan, vaikka todellisuudessa edessä on sivutie. (Verkostosuositukset UA 1:94)



KUVA 8. Pylväiden sijoittelu risteysalueella (Verkostosuositukset UA 1:94)

3.7 Valaistuksen laskenta

Suunniteltaessa valaistusta uudelle alueelle, voidaan tarvittavaa valovirtaa arvioida hyötysuhdemenetelmän avulla (Kaava 3).

$$\Phi = \frac{EA}{\eta_L \eta_V} \quad (3)$$

,jossa

Φ on tarvittavien valaisinten kokonaisvalovirta (lm)

E on tavoiteltu valaistusvoimakkuus (lx)

A on valaistavan alueen pinta-ala (m²)

η_L on valaisimen hyötysuhde (%)

η_V on valaistuksen hyötysuhde (%)

Tievalaisimien hyötysuhde on tavallisesti välillä 0,75 – 0,85. Valaistuksen hyötysuhde taas kuvaa valaisimen likaantumisesta ja valovirran laskusta aiheutuvaa valaistustason alenemaa. Sen arvo saadaan taulukosta 1. (Tiensuu 2010)

Valaistuksen tarkempi laskenta saadaan tehtyä siihen tarkoitetuilla suunnitteluohjelmilla. Tielaskennassa käytettäviä ohjelmia ovat esimerkiksi Dialux, Relux, Calculux ja Easy Light. Laskentaohjelman täytyy noudattaa laskentamenetelmiltään standardia EN 13201-3. Laskennassa käytettäviä päällysteitä ovat kuivalle kelille (R2) ja märälle (W3), mikäli tarkempia tietoja päällysteestä ei ole saatavilla.

Tietokonepohjaista laskentaa havainnollistaa alla oleva esimerkkilaskelma, joka on suoritettu Dialux 4.10.0.2 -ohjelman avulla. Siinä on otettu tarkasteluun Ylä-Valtimon kylällä Valtimolla sijaitseva poikkileikkaukseltaan 8/7 kaksikaistainen maantie, jossa liikennemäärä on alle 1000 ajoneuvoa päivässä. Nopeusrajoitus on 60 km/h ja kevyt liikenne on sallittu pientareella. Tie valaistaan kahden kilometrin pituudelta. Mikäli tiesuunnitelman valaistustiedoissa olisi määritelty valaistusluokka, käytettäisiin sitä laskennassa. Maantien valaistusluokkaa voidaan karkeasti arvioida liitteen 1 taulukon avulla. Valinnassa voidaan käyttää apuna myös Dialuxin avustinta, joka ottaa huomioon risteystiheyden kilometriä kohti, häiriövalon, liikennemäärän ja kevyen liikenteen. Tässä esimerkissä käytetään luokkaa AL4a.

Dialux ei tunne kaikkia Liikenneviraston määrittelemiä luokkia, joten ohjelman alasve-tovalikosta asetetaan esimerkiksi luokka MEW3. Arvot muutetaan AL4a-luokan mukaiseksi laskennan myöhemmässä vaiheessa. Tien leveydeksi säädetään 8 m. Standardin mukaiset havaittajan paikat ohjelma osaa asettaa automaattisesti tien leveyden mukaan. Niiden paikka on tässä tapauksessa molempien kaistojen keskellä ja 60 metrin päässä ensimmäisestä valaisimesta. Märän päällysteen (W3) tasaisuuden arvo vaihdetaan Liikenneviraston luokittelun mukaiseksi $q_0 = 0,097$, sillä ohjelma ehdottaa tähän kohtaan virheellistä arvoa.

Maantiellä voidaan käyttää kuvullista valaisinta, jotta saadaan pylväsväli mahdollisimman pitkäksi. Kun valinta tehdään liikenneviraston hyväksymien valaisinten joukosta, saadaan aikaan kannattava valaistustyyppe. Otetaan esimerkkilaskelmaan Philipsin Iridium SGS253 GB 1xSON-TPP150W CX P1, jossa voidaan käyttää valonlähteenä 150 watin suurpainenaatrium lamppua. Pisin mahdollinen pylväsväli saadaan valmistajan lanseeraaman CX-optiikan avulla. Ennen laskennan suorittamista täytyy ohjelmaan ladata ja asentaa valaisintietokanta valmistajan sivuilta. Philips ei ilmoita valitun valaisimen IP-luokkaa, mutta Liikenneviraston hyväksymänä se on vähintään IP65. Käytetään alenemakertoimena taulukon 1 mukaista perusarvoa 0,8. (Tiensuu 2010)

Seuraavaksi lasketaan valaistusluokan mukainen pylväsväli optimoidun katusijoittelun avustajalla. Painetaan ylhäältä ”Sijoita”, josta valitaan ”Valaisinjärjestys” → ”Valaisinavustajat” → ”Optimoidun katusijoittelun avustaja”. Painetaan ”Seuraava” ja vaihdetaan avautuvaan ikkunaan AL4a-luokan arvot taulukosta 4. Tämän jälkeen nopeutetaan laskentaa antamalla siihen erilaisia rajoituksia tutkittaville suureille (kuva 9).

Parametrit, jotka saavat muuttua optimoinnin yhteydessä:

Parametri	Vähintään	Enintään	Askelväli	Yksikkö
<input checked="" type="checkbox"/> Katuvalojen väli	20.000	60.000	1.000	m
<input checked="" type="checkbox"/> Valopisteen korkeus	6.000	12.000	1.000	m
<input checked="" type="checkbox"/> Valopisteen ulkonema	-2.000	2.000	0.500	m
<input type="checkbox"/> Kaltevuus				°

Tutkittavien yhdistelmien lukumäärä: 2583

Kiinteät parametrit optimointia varten

Pylväiden väli: m


Valopisteen korkeus: m

Valopisteen ulkonema: m

Kallistuskulma: °

Etäisyys pylväs-ajorata: m

Puomin pituus: m

Sijoittelutyyppi: 

Kiinteä etäisyys

Kiinteä puomin pituus

KUVA 9. Laskennan optimointi

Katuvalojen välin asettelulla voidaan laskentaa nopeuttaa poistamalla epätodennäköiset luvut laskennasta. Valmistaja suosittelee suurimmaksi pylväskorkeudeksi 12 metriä, joten asetetaan se ylärajaksi seuraavaan sarakkeeseen. Myös valopisteen ulkonemaa eli sijaintia ajorataan nähden voidaan optimoida parhaan laskentatuloksen saamiseksi. Kallistuskulmaksi syötetään valmistajan ilmoittama 5°. Liikenneviraston suunnitteluohjeen mukaan maaseutumaisessa ympäristössä kyseinen kulma varmistaa häiriövalolle asetettujen vaatimusten täyttyminen. Asetetaan lisäksi pylvään etäisyys ajoradasta pienimpään suositeltuun arvoon 1,6 m. Valopisteen ulkonema määrittää optimaalisen varren pituuden valaisimelle. Laskennan valmistuttua saadaan tulokset pylväsvälin mukaan järjestettynä (kuva 10).

Etäisyys [m]	Korkeus [m]	Etäisyys tien reunaan [m]	Kaltevuus [°]	Tyyppi	Lm [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR	U0 (märkä)
47.000	10.000	0.000	5	(1)	1.00	0.46	0.47	12	0.56	0.19
47.000	10.000	-0.500	5	(1)	1.00	0.56	0.52	13	0.54	0.18
46.000	10.000	0.500	5	(1)	1.00	0.40	0.43	12	0.58	0.21
46.000	10.000	0.000	5	(1)	1.02	0.48	0.49	12	0.56	0.19
46.000	10.000	-0.500	5	(1)	1.02	0.58	0.54	12	0.54	0.17
46.000	10.000	-1.000	5	(1)	1.01	0.61	0.60	13	0.54	0.15
				Tavoit...	1.00	0.40	0.40	15	0.50	0.15

KUVA 10. Alustavat laskentatulokset

Jotta saadaan valopiste sen todelliseen paikkaan, voidaan nyt mennä valikossa taaksepäin ja vaihtaa kohtaan ”valopisteen ulkonema” todellista valaisinvartta vastaava kiinteä arvo (kuva 11). Tässä tilanteessa optimaalisimmat arvot saadaan, kun valaisin on puolen metrin päässä ajoradan ulkopuolella. Valitaan 1 metrin pituinen varsi. Koska pylväs on 1,6 m päässä tiestä, tulee valopisteen ulkonemaksi tiestä tällöin -0,6 m.

Parametrit, jotka saavat muuttua optimoinnin yhteydessä:

Parametri	Vähintään	Enintään	Askelväli	Yksikkö
<input checked="" type="checkbox"/> Katuvalojen väli	20.000	60.000	1.000	m
<input checked="" type="checkbox"/> Valopisteen korkeus	6.000	12.000	1.000	m
<input type="checkbox"/> Valopisteen ulkonema				m
<input type="checkbox"/> Kaltevuus				°

Tutkittavien yhdistelmien lukumäärä: 287

Kiinteät parametrit optimointia varten

Pylväiden väli: m

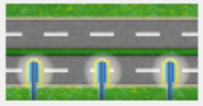
Valopisteen korkeus: m

Valopisteen ulkonema: m

Kallistuskulma: °

Etäisyys pylväs-ajorata: m

Puomin pituus: m

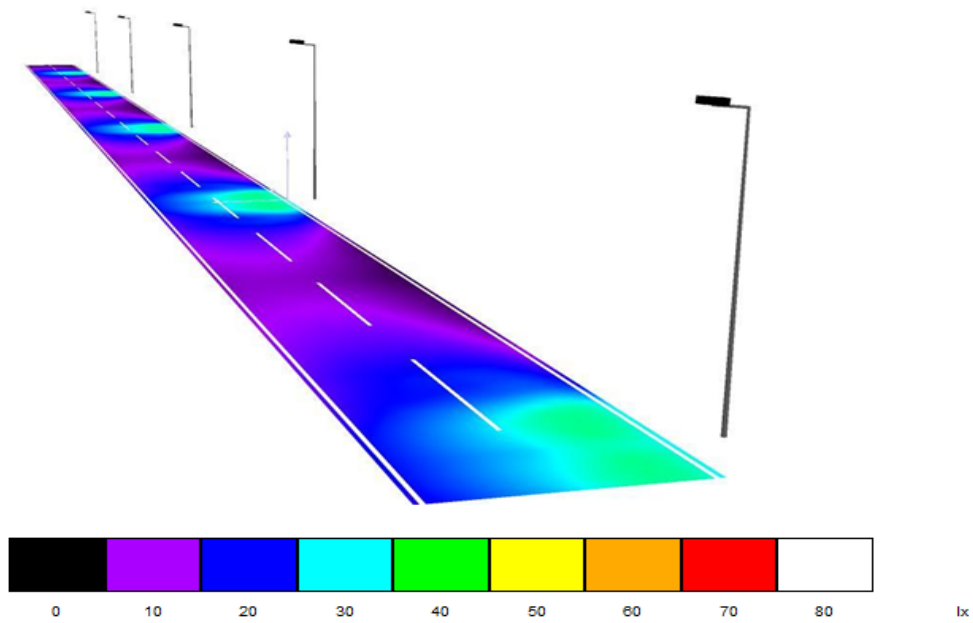
Sijoittelutyyppi: 

Kiinteä etäisyys

Kiinteä puomin pituus

KUVA 11. Laskentaparametrien tarkennus

Nyt voidaan suorittaa laskenta loppuun. Valitsemalla seuraavaksi aukeavaan ikkunaan vaihtoehdon ”Erittäin tarkka” saadaan tarkat laskentatulokset, eikä laskenta-aikakaan ole merkittävästi pidempi ”Vakio” vaihtoehtoon verrattuna. Tuloksia voidaan havainnollistaa ohjelmasta saatavalla vääräväri kuvalla (kuva 12).



KUVA 12. Väärävärikuva

Väärävärivallalla ei kuitenkaan voida todistaa laskentatulosten vaatimuksen mukaisuutta. Sitä varten laskentaohjelmasta saa haluamansa tulokset (liite 3). Taulukkoon 12 on koottu laskennan kannalta määräävät arvot.

TAULUKKO 12. Laskentatulokset kaistakohtaisesti

	L_m (cd/m ²)	U_0	U_1	TI (%)	SR	U_0 märkä
Mitoittava arvo	1,00	0,59	0,53	13	0,54	0,17
Kaista 1	1,00	0,64	0,53	13		0,20
Kaista 2	1,06	0,59	0,75	11		0,17
Vaatimus	$\geq 1,00$	$\geq 0,40$	$\geq 0,40$	≤ 15	$\geq 0,50$	$\geq 0,15$

4 TIEVALAISTUKSEN OHJAUS

4.1 Valaistuksen himmennys yöajaksi

Liikennemäärät putoavat tavallisesti yöaikana. Tällöin tievalaistuksen pitäminen täydellä teholla ei välttämättä ole tarkoituksen mukaista. Käytettävissä olevat himmennyskeinot riippuvat ohjauskeskuksen ja -järjestelmän ominaisuuksista sekä kaapeloinnista.

Eräs keino himmentää valaisimet on käyttää liitälaitteena vaihtokuristinta (kaksiteho-
kuristin), jossa on kaksinapainen ulostulo. Lamppuun asennettavan vaihtoreleen (tehon-
alennusrele) avulla saadaan valittua käytetty ulostulo, joista toinen antaa polttimolle ni-
mellisen virran ja toinen rajoittaa sitä himmentäen valaisimen. Tällöin vaatimuksena on
ohjauskeskukselta valaisimille tuleva ylimääräinen ohjausjohdin, jolla rele saadaan
vaihtamaan tilaa. Ylimääräisen johtimen vaatimus luonnollisesti rajoittaa kytkennän
käyttöä saneerauskohteissa.

Mikäli valaisimessa on elektroninen liitälaitte, saadaan sille portaaton säätö 1-10 V
jänniteviestillä tai DALI- ohjaussignaalilla. Purkauslamppujen valovirran säätöalue ei
kuitenkaan ole rajaton, sillä esimerkiksi suurpainenaatriumlamppu vaatii vähintään 185
V toimintajännitteen. LED-valaisimien valovirran säätöalue on sen sijaan 0-100 %. Nii-
den himmennys tapahtuu myöskin 1-10 V jänniteviestillä, jolloin LED-driverin syöttä-
mä virta muuttuu samassa suhteessa. (C2 Smart Light Oy 2013)

Mikäli ohjausjohdinta ei ole käytettävissä tai siihen ei haluta investoida, on olemassa it-
senäisesti toimivia automaattireleitä. Ne tutkivat kolmen päivän ajan valojen sytyttämis-
tä ja sammuttamista, josta ne osaavat päätellä itsenäisesti parhaimman ajankohdan him-
mennykselle. Päivän pituuden vaihdellessa eri vuodenaikoina muuttuu myös himmen-
nysajankohta automaattisesti. Himmennyksen kesto taas säädetään dippikytkinten avul-
la tai joissakin releissä käyttämällä valoja pulssimaisesti tietyn ajanhetken päällä päivä-
aikaan. (Verkostomessut 2013 Tampere)

Tievalaistusta voidaan himmentää myös ohjauskeskuksessa sijaitsevalla säästömuunta-
jalla. Tällöin ei tarvita erillisiä valaisimille meneviä ohjausjohtimia ja sen avulla vältty-

tään releiden asentamiselta jokaiseen lamppuun erikseen. Säästömuuntaja on kuitenkin suhteellisen kallis ratkaisu, minkä lisäksi se vaatii suuren tilan ohjauskeskukselta.

Energiaa voidaan säästää myös sammuttamalla osa lampuista. Esimerkiksi Tampereella kokeiltiin vuoden 2012 lokakuussa joka kolmannen valaisimen sammuttamista yöajaksi muutamissa kaupunginosissa. Lisäksi kokeilun loppuajaksi sammutettiin aamuyöstä valaisimet siten, että vain joka kolmas lamppu paloi. Sammutuksen lisäksi käytettiin rinnalla myös himmennystä. Kokeilusta tulleen positiivisen palautteen seurauksena sammutusta on tarkoitus laajentaa suuremmalle alueelle. Vaihesammutusten ongelmana on polttimoiden epätasaiset eliniät. Tämä johtaa helposti yöajaksi sammutettujen polttimoiden vaihtamiseen liian aikaisin, mikä syö osan sammutuksesta saatavista säästöistä. Sammutettavan vaiheen takana ei saa olla risteyksessä sijaitsevia valaisimia. (Paukko-nen, Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

4.2 Ohjausjärjestelmät

Tie- ja katuvaloverkosto saa syöttönsä valaisinkeskuksilta. Yhden keskuksen perässä on tilanteesta riippuen muutamista kymmenistä jopa noin 150:een valaisinta. Yleensä jokaisella keskuksella on oma sähköliittymä ja mittarointi, mutta niillä saattaa olla myös alakeskuksia. Keskusvalmistaja varustaa ne tavallisesti varokkeilla ja ohjauskontakto-reilla. Ohjausjärjestelmävalmistaja on useimmiten keskusvalmistajasta erillinen yhtiö. Yleensä on järkevää käyttää saman paikkakunnan sisällä vain yhtä ohjausjärjestelmää, mutta keskuksat saattavat olla peräisin lukuisilta eri valmistajilta. (Paukkola)

Pienillä erillisillä alueilla, kuten yksittäisillä pihilla, voidaan käyttää paikallisohjausta. Siinä valaisimet sytytetään hämärä- ja kellokytkimen avulla paikallisesta ohjauskeskuksesta. Tämän ohjaustavan etuina ovat tekniikan yksinkertaisuus ja edullinen toteutuksen hinta. Haittapuolena järjestelmässä on, että vähänkin pidempien sähkökatkojen jälkeen kello täytyy käydä asettamassa paikanpäällä oikeaan aikaan. (Tievalaistuksen suunnitte-lu 2006)

Laajoissa valaisinverkoissa on valaisinten samanaikainen syttyminen välttämätöntä, sillä jatkuvasti vaihteleva valaistustaso haittaa näkemistä. Tämä saadaan estettyä ketjutta-malla valaisinkeskuksat yhteen. Se voidaan toteuttaa keskusten välisellä ohjauskaape-

loinnilla. Vaihtoehtona on ottaa ohjaus naapurikeskuksen lähimmältä valaisinpylväältä välisulakkeen kautta. Ketjutuksen ongelmana on suuren alueen pimentyminen ohjauskaapelivian seurauksena, sillä useat keskuksat saattavat jäädä tällöin ilman ohjauskäskyä. Ketjutuksen ongelmia saadaan rajattua käyttämällä esimerkiksi langatonta GSM-yhteyttä ohjaukseen. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Keskitetty ohjaus saadaan toteutettua varmimmin verkkokäskyohjauksen avulla. Kaikilla verkkoyhtiöillä ei ole kuitenkaan tarjota verkkokäskyohjausta, mikä rajaa sen käyttömahdollisuuksia. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Älykkäällä tievalaistuksella tarkoitetaan kelin mukaan säätyvää ohjaustapaa. Siinä järjestelmä valitsee valaistusluokan liikennemäärän perusteella, minkä ansiosta hiljaisen liikenteen aikana saadaan aikaan energiansäästöä. Lisäksi siinä voidaan mitata ajoradan luminanssia sekä tarkkailla päällysteen olotilaa. Tiedonsiirrossa käytetään joko langatonta GSM- tai radioyhteyttä tai vaihtoehtoisesti ryhmäjohtossa liikkuvaa korkeataajuista signaalia. Erillisiä ohjauskaapeleita ei järjestelmässä tarvita. (C2 Smart Light Oy, Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

4.2.1 Tampereen kaupungin ohjausjärjestelmä: C2 Smart Light Street

Tampereella on käytössä jyväskyläläisen C2 Smart Light Oy:n toimittava Street -ohjausjärjestelmä. Kaupungin alueella on toiminnassa 4 kappaletta ns. master keskusta, joissa jokaisessa on valoisuudenmittausasema. Näistä lähtee ohjauskäskyjä kaikille noin 320:lle orjakeskukselle. Koska jokaisen master-keskuksen piirissä olevat alueet ovat laajoja, ei alueiden eriaikaista syttymistä käytännössä huomaa. Tiedonsiirtoyhteytenä keskuksille toimii verkko-operaattori DNA:n toimittama GSM -yhteys. (Heikkilä)

Jokaisessa keskuksessa on 4 ohjausrelettä ja -kontaktoria mahdollistaen vaihekohtaisen sammutuksen ja himmennuksen. Valaistuksen sytytys ja sammutus tapahtuvat valoisuusanturin tietojen tai ohjelmoidun viikkoaikataulun mukaisesti. Toimitus sisältää palvelinkapasiteetin, jonka kautta valojen ohjausta voidaan säätää keskuskohtaisesti tai esimerkiksi ohjata valoja manuaalisesti. Se tapahtuu internet-selaimella toimivalla karttapohjaisella käyttöliittymällä ja onnistuu miltä tahansa tietokoneelta. Tunnistautuminen palvelun tapahtuu käyttäjätunnuksen ja salasanan turvin. Palvelinvika ei sotke valojen

toimintaa, vaan estää ainoastaan ohjelmoinnin ja manuaalisen ohjauksen etäkäytön. (Heikkilä)

Mikäli valaisinkeskus ei saa tiedonsiirto-ongelmien vuoksi sytytyskäskyä, sisältää järjestelmä paikallisen varajärjestelmän. Tällöin valaisimia ohjataan laskennallisten aurin-
gon lasku- ja nousuaikojen perusteella. Järjestelmä osaa lisäksi tehdä hälytyksen seuraavista vikatilanteista: katkenneesta syöttöjännitteestä, häiriöstä tietoliikenteessä ja valoisuusmittauksessa sekä kuormituksen käyttäytymisestä ohjauksen vastaisesti. (Smart Light Oy)

Laitteistona Smart Light koostuu DIN -kiskoon kiinnitettävistä moduuleista (kuva 13). Järjestelmästä on olemassa kolme eritasoista ratkaisua: Alone, Street ja City. Alone sisältää yhden ohjausreleen, joten se ei mahdollista vaihekohtaista sammutusta tai himmennystä. Sen voi kuitenkin laajentaa Street -tasolle, jossa äsken mainitut ominaisuudet ovat mahdollisia neljän ohjausreleen ansiosta. Street -paketin taas voi laajentaa City -paketiksi, mikä sisältää seitsemän ohjausrelettä. Paketti mahdollistaa valaisinkohtaisten ohjauksen ja himmennuksen. Tiedonsiirtoon valaisimille käytetään sekä sähköverkon välityksellä toimivaa PLC-, että langatonta RF-tekniikkaa. (Smart Light Oy)



KUVA 13. C2 Smart Light -järjestelmä (C2 Smart Oy)

Kuvassa on esitetty järjestelmän moduulit. Ne ovat vasemmalta lukien: virtalähde, keskusyksikkö, releyksikkö, mittausyksikkö ja valaisinkohtaisten ohjainten tukiasema. Keskusyksikkö sisältää itsessään ainoastaan yhden releen, joten lisätoimintojen saamiseksi tarvitaan erillinen releyksikkö. Mittausyksikkö mahdollistaa virta- ja jännitemittauksen.

Tampereen Vuoreksessa on käytössä valaisinkohtainen ohjausjärjestelmä, mikä mahdollistaa vaikka jokaisen valaisimen ohjauksen ja himmennuksen erikseen. Se on toteutettu City -tuotepaketilla ja valaisinkohtaisilla Lucont IP67 -valaisinkohtaisilla ohjaimilla. Kaupunginosa on valaistu pääkatua lukuun ottamatta LEDeillä, mikä mahdollistaa esimerkiksi nopean valaistustason säädön ilman valonlähteen eliniän tippumista. (C2 Smart Light Oy)

4.2.2 Ouman LUX

Ouman LUX vastaa ominaisuuksiltaan pitkälti C2 Smart Lightia. Käyttö ja ohjelmointi onnistuu sekä internet selaimen välityksellä, että matkapuhelimella. Toimitukseen kuuluu tarvittava palvelinkapasiteetti. Järjestelmä mahdollistaa vaihekohtaisen sammutuksen ja yöaikaisen himmennuksen.

Järjestelmän sydämenä toimii Oumanin EH-686 ohjaysyksikkö, jossa on 6 potentiaalivaapaata erikseen ohjattavaa relettä (kuva 14). Tämän lisäksi yksikössä on 2 analogista 0-10 V lähtöä, joilla pystytään himmentämään esimerkiksi elektronisia liitäntälaitteita. Sisääntuloja on yhteensä 8 kappaletta ja niihin saadaan kytkettyä esimerkiksi valoisuus- tai lämpötila-anturi. Tiedonsiirto hoituu SMS- viestien tai pakettidatan avulla. Tätä varten tarvitaan erillinen GSM-moduuli.



KUVA 14. Ouman LUX järjestelmän tärkeimmät laitteet (Ouman 2013)

Tiedonsiirtoyhteyden katkeaminen ei pysäytä valaistuksen ohjausta, mutta estää järjestelmän manuaalisen käytön ja ohjelmoinnin kokonaan. Toimitukseen sisältyy erillinen keskusotelo, sillä järjestelmä on melko kookas. Yhtiön pääkonttori, tuotekehitys ja tuotanto sijaitsevat Kempeleessä. (Ouman LUX)

4.2.3 Satmatic

Satmatic Satlight katuvalojen ohjausjärjestelmä mahdollistaa muiden järjestelmien tavoin vaihesammutuksen tai himmennuksen. Ohjausta hallinnoidaan GPRS -yhteyden välityksellä internetin avulla. Järjestelmä käyttää muiden tavoin keskitettyä valmistajan hallussa olevaa palvelinta. Mikäli tiedonsiirtoyhteys katoaa, toimii valojen ohjaus edellisen päivän asetusten mukaisesti. Toistaiseksi järjestelmä on testikäytössä, eikä referenssi kohteita ole. Tuotekehitystä on tehty Ulvilan kunnassa. (Satmatic)

4.2.4 Leveltec SLC-2000

Leveltecin toimittaman järjestelmän ohjaukseen käytetään SMS-viestejä. Se koostuu PC:stä ja ohjattavista ala-aseamista. PC:hen liitetään hämäräkytkin ja GSM-moduuli. Lisäksi tarvitaan ProMod Katuvalo -ohjelmisto, jolla määritellään valojen syttymis- ja sammumisajat. Laitteistolla valaistus saadaan sammutettua määritellyksi ajaksi esimerkiksi aamuyöstä. Myös pakko-ohjaus esimerkiksi huoltotöitä varten onnistuu.

Ala-asemat tekevät päivittäin yhteyskokeilun PC:hen soittamalla ”hälyn”, mistä ei tule tiedonsiirtokuluja. Valaistuksen sytytys- ja sammutusajankohdat muuttuvat automaattisesti vuodenaajan mukaan, sillä PC:n hämäräkytkimen aikoja verrataan päivittäin toteutuneisiin käyttöaikoihin. Mikäli käyttöajat poikkeavat ohjelmaan asetetun minuuttimäärän verran hämäräkytkimen ehdottamista ajoista, lähetetään ala-asemille uudet sytyttämisaajat. Muutoin ala-asemat hoitavat ohjauksen itsenäisesti. Ohjelmistoon voi asettaa hämäräkytkimen suodatusajan, jottei se tulkitse ohiajavan auton valoja päiväajaksi. (Leveltec)

4.2.5 Autolog SaveLight

FF-Automationin Autolog SaveLight valaistuksen ohjausjärjestelmä toimii internetse-laimen välityksellä. Kotimaassa järjestelmää on myyty ValoVarma nimellä. Se mahdollistaa vaihekohtaisen sammutuksen ja valaistuksen himmennuksen neljän erikseen ohjattavan releen ansiosta. Palamisajat saa säädettyä vaihekohtaisesti haluamakseen. Myös säästömuuntajan ohjaus on mahdollista.

Järjestelmään voi liittää esimerkiksi valoisuusanturin ja liikenteenseurantasensorin, joiden avulla ohjaus tapahtuu. Vian seuranta tapahtuu jännite- ja virtamittausten avulla. Yhteys hoidetaan GPRS -verkon välityksellä, minkä yli tapahtuu valojen pakko-ohjaus ja palamisaikeiden ohjelmointi.

Tuotteen valmistus tapahtuu Valkeakoskella ja pääkonttori sijaitsee Vantaalla. FF-automation on aikaisemmin toimittanut järjestelmänsä C2 Smart Lightille, minkä vuoksi yritykset ilmoittavat referenssikohteikseen samoja kaupunkeja. Nykyään C2 Smart Light markkinoi omaa järjestelmänsä. (FF-Automation, Valkama 2012)

4.2.6 Computec technologies

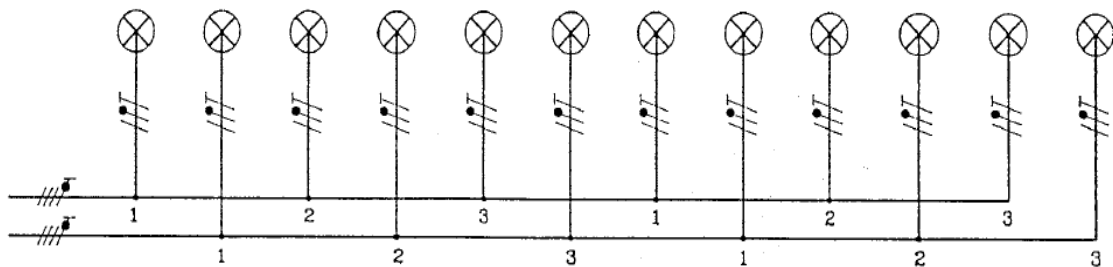
YIT markkinoi itse kehittämänsä järjestelmää nimeltä Computec technologies. Siinä ohjaus tapahtuu ympäri suomea sijoitettujen valoisuusantureiden avulla, joista kahden lähimmän tuottamat arvot noteerataan. Lisäksi järjestelmä sisältää ohjelmallisen hämäräkytkimen, joka varmistaa ohjauksen toimimisen.

Järjestelmä mahdollistaa vaihekohtaisen ohjauksen ja himmennuksen valoisuusmittausten tai kalenteriohjauksen mukaan. Lisäksi pakko-ohjaus voidaan hoitaa etäkäyttönä. Keskukseen voidaan liittää virtamittaus, jolloin voidaan seurata lamppujen vikaantumisia. Vikatiedot voidaan lähettää SMS-viesteinä tai sähköpostina. Tiedonsiirtoon käytetään GPRS- tai 3G yhteyttä. Järjestelmään kuuluu palvelin, joka välittää tietoa käyttäjän, tievalokeskuksen ja YIT:n valvomon välillä.

5 TIEVALAISTUSVERKON SÄHKÖINEN MITOITUS

5.1 Valaisimien ryhmittely

Esimerkkien ryhmitystaulukot on esitetty liitteessä 8. Valaisimien ryhmitys tehdään pääosin vaiheita vuorottelemalla, eli järjestyksessä 1-2-3-1-2-3 jne. Tällä varmistetaan symmetrinen verkon kuormitus. Mikäli käytössä oleva ohjausjärjestelmä mahdollistaa vaihekohtaisen sammutuksen, tulee ryhmitys suorittaa siten, ettei risteysalueita sammuteta. Lisäksi optisen ohjauksen tulee säilyä, vaikka mihin tahansa yksittäiseen vaiheeseen tulisi vika. Tien samassa poikkileikkauksessa olevat valaisimet ryhmitellään eri vaiheille. Ruskea johdin on aina osatehovaihe. Toisin sanoen, jos käytössä on vaihesammutus, sammutetaan ruskeaan valaisinjohtoon kytketyt valaisimet aina ensisijaisesti. Kun valaistava matka on pitkä, voidaan käyttää kahta rinnakkaista kaapelia tai johtoa. Tällöin ryhmitys tapahtuu kuvan 15 mukaisella tavalla. (Verkostosuositukset US 4:92, Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset 2007)



KUVA 15. Pitkän tiepätkän valaistus (Verkostosuositukset US 4:92)

5.2 Suojalaitteen valinta

Otetaan esimerkiksi luvussa 3.7 tehty valaistuslaskelma ja tehdään sille sähköinen mitoitus. Dialux -laskentaohjelmalla saatiin pylväsväliksi 47 m (liite 4 osa 2/6). Tällöin 2 km pituiselle tielle tarvittaisiin valaisimia 43 kappaletta. Koska pylväitä sijoittaessa täytyy ottaa huomioon kaarteet, suurempien risteysten valaisemistarpeet ja esimerkiksi alueella sijaitseva urheilukenttä, lasketaan teho 53:lle pylväälle. Valaisimien sijoituskuvat on esitetty liitteessä 6 ja keskuskuva liitteessä 7. Kompensoitujen valaisimien tehokerroin saattaa olla alimmillaan 0,9 polttimoiden käyttöiän lopussa (Runkle & Bugbee 2010). Ryhmässä 2 on 24 ja ryhmässä 3 taas 29 valaisinta. Kun molempiin ryhmiin huo-

mioidaan lisäksi tulevaisuuden laajennusvara esimerkiksi valomainoksille tai risteysvalaistukselle, lasketaan ryhmän 2 kuormitusvirta käyttäen 30 valaisimen edellyttämää tehoa kaavalla 4.

$$I = \frac{P_{\text{kok}}}{\sqrt{3} U \cos \Phi} = \frac{30 \cdot 169}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 8,131 \text{ A} \approx 8,2 \text{ A} \quad (4)$$

,jossa

I on ryhmän vaihevirta (A)

P_{kok} on ryhmän kokonaisteho (W)

U on pääjännite (V)

$\cos \Phi$ on kompensoitujen valaisimien tehokerroin huonoimmillaan

Koska korkeat syttymisvirrat lyhentävät oikosulku- ja ylikuormitussuojien käyttöikä, mitoitetaan ne seuraavien kokemusperäisten sääntöjen mukaan:

Sulakkeet: $I_n = 1,3$ kertaa lamppujen palamistilanteen aikainen kokonaisvirta

Johdonsuojakatkaisijat: $I_n = 1,3$ kertaa syttymistilanteen aikainen kokonaisvirta

Lasketaan sopivat tulppasulakkeet ryhmäjohton suojaksi:

$$I_n > 1,3 \cdot I_{\text{palamisvirta}} \rightarrow I_n > 1,3 \cdot 8,2 \text{ A} \rightarrow I_n > 10,570 \text{ A}$$

Valitaan ryhmän 1 suojalaitteeksi 16 A gG -sulake. Sijoitetaan ryhmään 3 laajennusvara mukaan luettuna 35 valaisinta, jolloin kaavalla 4 laskettu virta on 9,486 A. Tästä 1,3-kertainen virta on 12,332 A, joten valitaan ryhmän 2 suojalaitteeksi myös 16 A gG -sulake.

Keskuksen pääsulakkeina voidaan käyttää 25 A gG-tyyppin tulppasulakkeita, sillä tätä pienempiä liittymiä ei sähkölaitokselta yleensä saa.

5.3 Kaapelinmitoitus

5.3.1 Esimerkin lähtötiedot

Liittymisjohtona on 75 m pitkä AXMK 4X25 S. Liittymisjohdon poikkipinta-ala määräytyy paikkakunnan sähkölaitoksen ohjeiden ja liittymän pääsulakkeiden mukaan. Tievalaistuskeskukselta lähtevät ryhmäjohdot menevät tien ali ensimmäiselle valopisteelle asti AXMK-maakaapelina ja ne nostetaan pylväisiin AMKA nauloilla. Tämän osan pituus on 60 m ryhmällä 2 ja 20 m ryhmällä 3. Koska esimerkin tie sijaitsee maaseutumaisella alueella, muutetaan johto ensimmäisestä pylvästä lähtien AMKA:ksi. AXMK:ssa ja AMKA:ssa käytetään samaa poikkipintaa, joka lasketaan ylikuormituksen, jännitteenalenen, kosketusjännitesuojauksen ja oikosulkuvirran perusteella.

Liikenneviraston ohjeen mukaan valaisinkaapelissa tulee olla metri ylimääräistä pituutta valaisimen kytkennän helpottamiseksi. Koska varren pituus on metri ja kaapelia tarvitaan myös AMKA-liitoksen yhteyteen, tehdään laskelmat 3 metrin pituiselle valaisinjohdolle. AMKA:n pituuteen lisätään metri jokaisen pylvään välillä sen riippuman vuoksi. Tievalaistuskeskusta syöttää 250 kVA jakelumuuntaja, jonka suhteellinen impedanssi on 4 %.

5.3.2 Kuormitettavuus

Maakaapeliverkossa kyseessä on palonkestävä asennus, joten ylikuormitussuojaa ei välttämättä tarvita. On kuitenkin tarkistettava, ettei johtimen jatkuva kuormitusvirta ylitä sille sallittua arvoa. Tievalaistusverkossa tämä ei yleensä ole mitoittava tekijä johdolle. AMKA-riippukierrejohto ei sen sijaan ole palonkestävä, joten ylikuormitussuoja on sijoitettava johdon alkupäähän. Käytännössä ryhmäjohto on mitoittettava siten, että se kestää sulakkeen salliman kuormituksen. Tievalaistuksessa keskukselta lähtevän ryhmäjohton poikkipinta-ala on yleensä väliltä 16-35 mm². (ST 58.25)

Koska molemmat ryhmät suojataan 16 A gG -sulakkeella, tulee ryhmien kuormitettavuuden tulla vähintään:

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$$

$$1,6 \cdot I_N \leq 1,45 \cdot I_Z$$

$$\frac{1,6}{1,45} \cdot I_N \leq I_Z$$

$$17,655 \text{ A} \leq I_Z$$

jossa

I_2 on suojalaitteen toiminta virta (A)

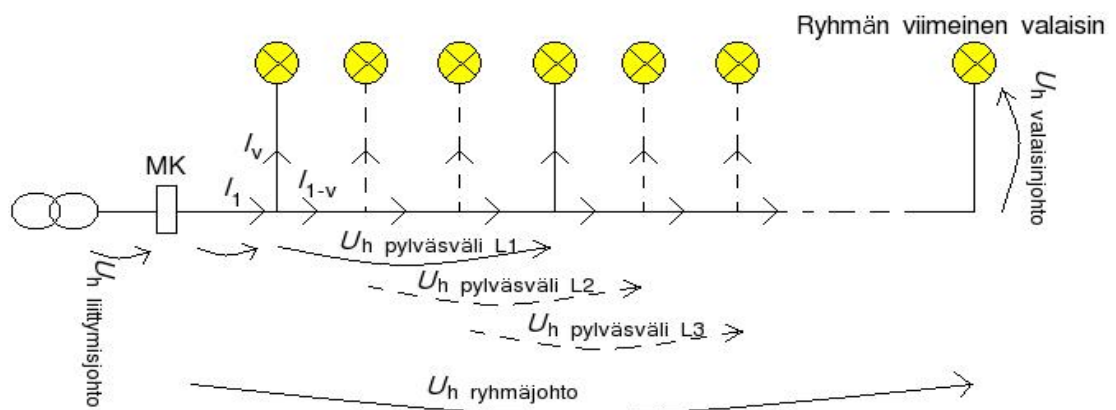
I_Z on johtimen jatkuva kuormitettavuus (A)

I_N on suojalaitteen mitoitusvirta (A)

Asennustapa ei aiheuta korjauskertoimien käyttöä. Käytetään SFS 6000-5-52 taulukkoa A52-9 kuormituksen määrittämiseksi. Siinä 3x16+35 AMKA:n kuormitettavuus on 70 A (referenssiasennustapa G) ja AXMK 4X25 -maakaapelilla vastaava arvo on 78 A (referenssiasennustapa D). Kuormitettavuus ei siis ole mitoittava tekijä tässä. (SFS 6000-5-52 Liite 52B)

5.3.3 Jännitealenema kauimmaisessa valaisimessa

Standardin SFS-6000 mukaan jännite saa vaihdella sähkön luovuttamiskohdassa välillä -10 % ...+6 %. Standardin sallimalla pienimmällä jännitteellä purkauslamput saattavat syttyä eriaikaisesti ja osa lampuista voi sammua satunnaisesti. Tämän vuoksi mitoitetaan verkko kokemusperäisen 6 %:n jännitealeneman mukaan. Laskenta tehdään kuvan 16 esittämän periaatteen mukaisesti.



KUVA 16. Jännitealeneman laskenta

Kuvassa vaihe L1 on piirretty ehjällä viivalla ja muut vaiheet katkoviivalla laskennan havainnollistamiseksi. Jännitteenalenemaan vaikuttavat liittymis-, ryhmä- ja valaisinjohtojen impedanssit. Laskenta tehdään lamppujen syttymisvirralla, jotta varmistetaan kaikkien lamppujen yhtäaikainen syttyminen. Liitteessä 5 on esitetty tyypillisiä syttymisajaisia virtoja eri tehoisille ja tyyppisille polttimoille. Laskennassa käytetyt Philipsin 150 W suurpainenaatriumlamput ottavat 1,20 A virran syttyessään. Laskennan tekee työlääksi se, että virta pienenee jokaisen lampun jälkeen. Siksi se kannattaa tehdä esimerkiksi taulukkolaskentaohjelman avulla. Tämän opinnäytetyön jännitteenaleneman laskenta on tehty LibreOffice -ohjelmistoa käyttäen. Laskentaa on yksinkertaistettu siten, että kuormituksen oletetaan olevan täysin symmetrinen. Tällöin kolmivaiheisessa järjestelmässä virta pienenee laskennallisesti jokaisen valaisimen jälkeen yhden kolmasosan lampun sytytysvirrasta. Kolmivaiheinen jännitteenalenema yhdellä pylväsvälillä lasketaan kaavalla 5.

$$\Delta U = I_{\text{sytytys}} \cdot l \cdot (r \cos \Phi + x \sin \Phi) \quad (5)$$

,jossa

ΔU on kolmivaiheinen jännitteenalenema pylväsvälillä (V)

I_{sytytys} on pylväiden välillä kulkeva lamppujen kokonaissytytysvirta (A)

l on pylväiden välisen johdon pituus (m)

r on johdon resistanssi (Ω/m)

x on johdon reaktanssi (Ω/m)

Φ on tehokertoimesta laskettava kulma ($^\circ$)

Liittymis- ja ryhmäjohtojen lisäksi myös valaisinjohto on otettava laskuissa huomioon. Siinä tapahtuva yksivaiheinen jännitteenalenema voidaan laskea kaavalla 6.

$$\Delta U = 2 \cdot I_{\text{sytytys}} \cdot l \cdot (r \cos \Phi + x \sin \Phi) \quad (6)$$

,jossa

ΔU on yksivaiheinen jännitteenalenema valaisinjohtossa (V)

l on valaisinjohtojen pituus (m)

Piirustuksissa ilmoitetaan jännitteenalenema suhteellisena arvona, joka lasketaan kaavalla 7.

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100\% \quad (7)$$

jossa

u on suhteellinen jännitteenalenema (%)

ΔU on jännitteenalenema liittymis-, ryhmä-, ja valaisinjohtossa (V)

U_n on vaihejännite (V)

Ryhmässä 3 on 29 lamppua ja keskukselta päin lasketusta 10:stä lampusta haarautuu 5 lampun ryhmä rivitalon pihan ja urheilukentän valaistukseen. Tällöin saadaan taulukko-laskentaohjelmalla jännitteenalenemaksi 6,9 %, joka on hieman liian suuri (kuva 17).

Ryhmän sytytysvirta yhteensä	30,5 A
Liittymisjohton jännitteenalenema	5,8 V
Ryhmäjohton jännitteenalenema	10,3 V
Valaisinjohton jännitteenalenema	0,0 V
Kokonaisjännitteenalenema	16,1 V
Suhteellinen jännitteenalenema	7,0 %
Jännitteenalenema on	LIIAN SUURI!

KUVA 17. Jännitteenaleneman laskentatulokset

Laskennassa käytettiin AXMK:n ja AMKA:n osalta Verkostosuositus SA2:08 antamia sähköisiä arvoja. MPK- kaapelin ominaisuudet on saatu Kajoten internetsivuilta. Arvot olivat taulukon 13 mukaiset.

TAULUKKO 13. Laskentaparametrit 16 mm² ryhmäjohdolla.

Keskuksen valaisinmäärä	53 <i>kpl</i>
Ryhmän valaisinmäärä	29 <i>kpl</i>
Valaisimen sytytysvirta	1,2 <i>A</i>
Tehokerroin $\cos \varphi$	0,9
Liittymisjohdon pituus	0,075 <i>km</i>
Liittymisjohdon resistanssi	1,298 Ω/km
Liittymisjohdon induktanssi	0,280 <i>mH/km</i>
Johdon pituus keskus-1.pylväs	0,020 <i>km</i>
Resistanssi keskus-1.pylväs	2,064 Ω/km
Induktanssi keskus-1.pylväs	0,290 <i>mH/km</i>
Ryhmäjohdon pituus pylväiden välillä	0,048 <i>km</i>
Ryhmäjohdon resistanssi	2,064 Ω/km
Ryhmäjohdon induktanssi	0,334 <i>mH/km</i>
Valaisinjohdon pituus	0,003 <i>km</i>
Valaisinjohdon resistanssi	7,980 Ω/km
Valaisinjohdon induktanssi	0,000 <i>mH/km</i>

Vaihdetaan ryhmäjohdon poikkipinta kokonaisuudessaan 25 mm² paksuiseksi sekä AXMK:n, että AMKA:n osuudella. Tällöin saadaan jännitteenalenemaksi 5,3 % (kuva 18).

Ryhmän sytytysvirta yhteensä	30,5 A
Liittymisjohdon jännitteenalenema	5,8 V
Ryhmäjohdon jännitteenalenema	6,6 V
Valaisinjohdon jännitteenalenema	0,0 V
Kokonaisjännitteenalenema	12,3 V
Suhteellinen jännitteenalenema	5,3 %
Jännitteenalenema on	OK!

Kuva 18. Jännitteenalenema suuremmalla ryhmäjohdolla

Laskentaparametrit suuremmalla poikkipinnalla on esitetty taulukossa 14.

TAULUKKO 14. Laskentaparametrit suuremmalla poikkipinnalla

Keskuksen valaisinmäärä	53 <i>kpl</i>
Ryhmän valaisinmäärä	29 <i>kpl</i>
Valaisimen sytytysvirta	1,2 <i>A</i>
Tehokerroin $\cos \varphi$	0,9
Liittymisjohdon pituus	0,075 <i>km</i>
Liittymisjohdon resistanssi	1,298 Ω/km
Liittymisjohdon induktanssi	0,280 <i>mH/km</i>
Johdon pituus keskus-1.pylväs	0,020 <i>km</i>
Resistanssi keskus-1.pylväs	1,298 Ω/km
Induktanssi keskus-1.pylväs	0,280 <i>mH/km</i>
Ryhmäjohdon pituus pylväiden välillä	0,048 <i>km</i>
Ryhmäjohdon resistanssi	1,297 Ω/km
Ryhmäjohdon induktanssi	0,334 <i>mH/km</i>
Valaisinjohdon pituus	0,003 <i>km</i>
Valaisinjohdon resistanssi	7,980 Ω/km
Valaisinjohdon induktanssi	0,000 <i>mH/km</i>

Ryhmän 2 jännitteenalenema 16 mm² poikkipintaisella ryhmäjohdolla on 6,3 %, mikä ylittää niukasti suositellun 6 % rajan. Kun ryhmäjohdon poikkipinta suurennetaan 25 mm²:iin, tulee jännitteenalenemaksi hyväksyttävä 4,9 %.

5.3.4 Oikosulku- ja kosketusjännitesuojaus

Tievalaistuksessa tulee käyttää suojaeristettyjä tai suojamaadoitettuja valaisimia ja laitteistoja niiden käyttöolosuhteiden vuoksi. Maadoitukseen on käytettävä nollajohtimesta erillistä PE-johdinta. Ryhmäjohdon taas voi tuoda TN-C nelijohdinjärjestelmänä, mikäli sen poikkipinta on vähintään 10 mm² kuparia tai 16 mm² alumiinia. Valaisinjohdon PE-johdin kytketään ryhmäjohdon PEN-johtimeen. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Kun kosketusjännitesuojaus toteutetaan suojamaadoittamalla, tulee ylivirtasuojan täyttää ns. ensimmäisen ja toisen nollausehdon vaatimukset. Ensimmäisen nollausehdon mukaan on yksivaiheinen oikosulku kytkettävä pois taulukon 15 mukaan. (Verkostosuositukset US 4:90)

TAULUKKO 15. Ensimmäisen nollausehdon vaatimukset (SFS 6000-8-801.411.3.2)

Suojalaite	Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta
$I_N \leq 63 \text{ A}$	$2,5 \times I_N$
$I_N \geq 63 \text{ A}$	$3,0 \times I_N$

Taulukon mukaista mitoitusta voidaan käyttää, kun tievalaistusverkossa on valaisinkoh-
taiset sulakkeet. Tällöin ryhmäjohto rinnastetaan jakeluverkkoon. AMKA verkko tulki-
taan jakeluverkoksi verkostosuosituksen mukaan, vaikkei siinä olisikaan valaisinkoh-
taisia sulakkeita. Tällöin kertoimen 2,5 rajana pidetään 35 A:n gG -tyyppisiä sulakkeita.
Nollausehdon toteutumisen lisäksi uuden SFS 6000-4-41 standardin kohdan 411.3.2.3
mukaan sallitaan korkeintaan 5 sekunnin poiskytkentäaika pääjohdoille ja piireille.
(Verkostosuositukset US 4:92, SFS 6000-4-41)

Ensimmäisen nollausehdon vaatima yksivaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea kaa-
valla 8.

$$I_{kl} = \frac{3 U_v}{\sqrt{[2 R_m + R_{m0} + 3L(R_v + R_0)]^2 + [2 X_m + X_{m0} + L(2 X_v + X_{v0} + 3X_0)]^2}} \quad (8)$$

jossa

I_k on yksivaiheinen oikosulkuvirta (A)

U_v on vaihejännite (V)

R_m on muuntajan oikosulkuresistanssi (Ω)

R_{m0} on muuntajan nolaresistanssi (Ω)

L on johdon pituus (km)

R_v on vaihejohtimen resistanssi (Ω/km)

R_0 on nollajohtimen resistanssi (Ω/km)

X_m on muuntajan oikosulkureaktanssi (Ω)

X_{m0} on muuntajan nolareaktanssi (Ω)

X_v on vaihejohtimen myötäreaktanssi (Ω/km)

X_{v0} on vaihejohtimen nolareaktanssi (Ω/km)

X_0 on nollajohtimen reaktanssi (Ω/km)

Lasketaan aikaisemmin käytetyn esimerkin pienin oikosulkuvirta verkon kauimmaisessa
pisteessä eli ryhmän 3 viimeisessä lampussa. Laskentaan tarvittavat arvot on saatu Ver-
kostosuositus SA2:08:sta. Standardin SFS 6000-8-801.411.3.2 mukaan johtimen lämpö-
tilana tulee laskennassa käyttää vähintään +40 °C:tta.

Taulukkolaskentaohjelmalla laskettu pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta on 81,740 A
 \approx 82 A. ST-53.25 -kortin mukaan 16 A gG-sulake vaatii vähintään 65 A virran, jotta

palaminen tapahtuu 5 sekunnissa. Toisin sanoen verkko on suositusten mukainen. Vastaavasti ryhmän 2 pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta on $89,912 \text{ A} \approx 89 \text{ A}$.

Jos muuntajasta ei ole saatavilla tarkempia tietoja, voidaan sen oikosulkuresistanssi ja -reaktanssi laskea myös kaavojen 9- 11 avulla. Nollaresistanssi on lähes samansuuruisen oikosulkuresistanssin kanssa ja vastaavasti nollareaktanssi on hyvin lähellä oikosulkureaktanssia. Aluksi tarvitaan muuntajan oikosulkuimpedanssi, joka saadaan kaavalla 9.

$$Z_m = \frac{z_k \cdot U^2}{S_n} = \frac{0,04 \cdot 400^2}{200 \text{ k}} = 0,032 \Omega \quad (9)$$

jossa

Z_k on muuntajan oikosulkuimpedanssi (Ω)

z_k on muuntajan suhteellinen impedanssi (%)

S_n on muuntajan nimellinen näennäisteho (kVA)

Josta saadaan muuntajan resistanssi kaavalla 10.

$$R_m = \frac{P_k \cdot U^2}{S_n^2} = \frac{2295 \cdot 400^2}{(200 \text{ k})^2} = 9,18 \text{ m} \Omega \quad (10)$$

jossa

P_k on muuntajan kuormitushäviöt (W)

Muuntajien oikosulkureaktanssi lasketaan kaavalla 11.

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2} = \sqrt{0,03200^2 - 0,00918^2} = 0,0307 \Omega \quad (11)$$

Jos oikosulkuvirta on liian pieni, voidaan ensimmäisen nollausehdon toteutumista helpottaa välisulakkeiden avulla. Tämä ei ole kuitenkaan suositeltavaa verkon selväpiirteisyden ja selektiivisyyden kannalta, mutta se on edullisempi ratkaisu verrattuna ryhmäjohdon poikkipinnan kasvattamiseen.

Toinen nolausehto koskee verkon maadoitusta. Jakeluverkkoja koskevan standardin SFS 6000-8-801.411.4 mukaan PEN-johdin on maadoitettava korkeintaan 200 metrin päässä verkon syöttöpisteestä ja jokaisen yli 200 metriä pitkän johdon loppupäässä tai korkeintaan 200 metrin päässä siitä. Lisäksi tievalaistuskeskuksilla tulee olla oma maadoituselektrodi. Mikäli johdon lähettyvillä on sopiva maadoituselektrodi, on suositeltavaa kytkeä maadoitus myös siihen. Maadoitusolosuhteiden salliessa suositellaan maadoitusresistanssin olevan pienempi, kuin 100Ω . Maadoitusjohtimena käytetään kupariköyttä, jonka paksuus on 16 mm^2 . Maadoituselektrodina taas kupariköyttä tai -sauvoja. (SFS 6000-8-801)

6 KUSTANNUSLASKENTA

6.1 Rakennuskustannukset

Tievalaistuksen rakennuskustannuksia voidaan arvioida kaavan 12 avulla.

$$K_r = \frac{m H_p + n H_v + S H_{sv}}{S} \quad (12)$$

jossa

K_r on rakennuskustannukset (€/m)

m on pylväiden lukumäärä poikkileikkauksessa

n on valaisimien lukumäärä poikkileikkauksessa

H_p on pylvään ja jalustan perushinta (€/kpl)

H_v on valaisimen ja ensimmäisen lampun hinta (€/kpl)

H_{sv} on sähköverkon perushinta (€/m)

S on pylväsväli (m)

Verkon rakennuksen ALV 0 % keskimääräisiä hintatietoja löytyy Verkostosuositusten julkaisusta KA 2:10. Lasketaan esimerkkitielle suunnitellun 2 km pituisen valaistusverkon rakennuskustannukset.

$$K_r = \frac{1 \cdot 550 + 1 \cdot 482 + 47 \cdot 6,7}{47} \cdot 1,24 = 35,54 \text{ €/m}$$

Koska verkoston pituus on 2 km, tulee kokonaiskustannuksiksi noin 71 000 €. Mikäli ryhmäjohtona olisi käytetty maakaapelia, kasvaisivat rakennuskustannukset noin 104 000 €:oon, sillä kaapelointikustannukset ovat Liikenneviraston suunnitteluohjeen mukaan jopa 20 €/m. Huomioitavaa on, että kaava 12 on tarkoitettu ainoastaan kustannusten arviointiin. Urakkalaskentaa tehdessä täytyy laskea tarvikekustannukset niiden oikeilla määrillä ja haluttavalla kateprosentilla, minkä lisäksi täytyy huomioida tarkemmat palkkakustannukset. (Verkostosuositukset UA 3:94, Verkostosuositukset KA 2:10, Tievalaistuksen suunnittelu 2006, SLO)

6.2 Käyttö- ja kunnossapitokustannukset

Investointikustannuksiltaan edullisin ratkaisu ei automaattisesti tarkoita alhaisinta mahdollista hintaa, mikäli tarkasteluun otetaan koko tievalaistuksen elinkaari. Merkittävä osa kuluista johtuu huolto- ja energiakustannuksista. Huoltokulujen kurissa pitämiseksi on lamppujen yksittäisvaihtojen optimointi tärkeässä roolissa. Käyttö- ja kunnossapitokustannukset voidaan laskea kaavalla 13.

$$K_{kk} = \frac{t_1 n P_i H_e + \frac{n H_l}{t_2} + p n H_{ly} + m C}{S} \quad (13)$$

jossa

K_{kk} on käyttö- ja kunnossapitokustannukset (€/m·a)

t_1 on vuotuinen polttoaika (h)

t_2 on lampun polttoikä (a)

n on valaisimien lukumäärä poikkileikkauksessa (kpl)

m on pylväiden lukumäärä poikkileikkauksessa (kpl)

P_i on valaisimen teho liitäntälaitteineen (kW)

H_e on energian hinta (€/kWh)

H_l on lampun ryhmävaihdon perushinta (€/kpl)

H_{ly} on lampun yksittäisvaihdon perushinta (€/kpl)

p on yksittäisvaihtojen suhteellinen määrä vuosittain

C on kiinteät kustannukset (€/pylväs)

S on pylväsväli (m)

Lasketaan esimerkissä esitetyle tielle käyttö- ja kunnossapitokustannukset.

$$K_{kk} = \frac{4000 \cdot 1 \cdot 0,17 \cdot 0,1 + \frac{1 \cdot 21}{4} + 0,15 \cdot 1 \cdot 36 + 1 \cdot 30}{47} = 2,312 \text{ €/m} \cdot \text{a}$$

Tällöin tieosuuden ensimmäisen vuoden kustannukset ovat noin 4600 €.

(Verkostosuositukset UA 3:94, Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

6.3 Kustannusten kokonaisvaikutus

Valaisinten kokonaistaloudellisuus saadaan selville esimerkiksi vuosikustannusmenetelmällä (kaava 14), jossa koko elinkaaren ajalta kertyvät kustannukset jaetaan vuosittaisiksi tasaeriksi. Siinä otetaan huomioon rakennus- ja hoitokustannukset, minkä lisäksi määritellään inflaatioprosentti, laskentakorko ja valaistuksen odotettu käyttöikä. Menetelmällä voi vertailla luotettavasti eri valaistusratkaisujen aiheuttamia kokonaiskustannuksia niiden koko elinkaaren ajalta. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

$$K_v = a \cdot K_r + b_t \cdot K_{kkl} \quad (14)$$

jossa

K_v on keskimääräiset vuosikustannukset laskenta-ajan puolivälissä (€/m·a)

a_t on annuiteettitekijä

K_r on rakentamiskustannukset (€)

b_t on hoitokustannusten kasvukerroin laskenta-ajan puolivälissä

K_{kkl} on ensimmäisen vuoden hoitokustannukset

Annuiteettitekijä saadaan laskettua kaavalla 15.

$$a = \frac{p}{1 - (1 + p)^{-t}} \quad (15)$$

jossa

p on hallinnollisesti määrätty laskentakorko

t on tarkasteluajanjakson pituus vuosissa (a)

Kustannusten kasvukerroin saadaan laskettua kaavalla 16.

$$b_t = (1 + k_p)^t \quad (16)$$

jossa

b on kasvukerroin

k_p on kasvuprosentti (hoitokustannusten vuotuinen lisäys)

t on tarkasteluajanjakson pituus vuosissa (a)

Lasketaan edellä mainittua vuosikustannusmenetelmää käyttäen esimerkkiteiden keskimääräiset vuosikustannukset. Liikenneviraston ohjeen mukaan yleisimmin käytetty laskentakorko on 6 %. Mikäli hoitokustannusten muutosten ennustetta ei ole käytettävissä, voidaan käyttää vuotuisena kustannusten kasvuna 3 %. Valaistuksen käyttöajaksi oletetaan yleensä 30 vuotta. Lasketaan annuiteettitekijä kaavalla 15.

$$a = \frac{0,06}{1 - (1 + 0,06)^{-30}} = 0,0726$$

Kaavalla 16 saadaan selville kasvukerroin laskenta-ajan puolivälissä.

$$b_t = (1 + 0,03)^{15} = 1,558$$

Nyt voidaan laskea keskimääräiset vuosikustannukset kaavalla 14.

$$K_v = 0,073 \cdot 35,54 + 1,558 \cdot 2,31 = 6,18 \text{ €/m} \cdot \text{a}$$

Esimerkkiteiden kahden kilometrin pituisen valaistuksen keskimääräiset vuosittaiset kustannukset laskenta-ajan puolivälissä ovat siis noin 12 400 €. Kun sama laskenta tehdään 30 vuodelta, saadaan keskimääräisiksi vuosikustannuksiksi 8,19 €/m·a. Tällöin valaistun tieosuuden vuosikustannuksiksi tulee 16 000 €.

POHDINTA

Tehty esimerkkilaskelma osoitti, ettei tievalaistusverkon mitoitus etene samalla tavalla, kuin tavallisen pienjänniteverkon. Johdon kuormitettavuus ei tule käytännössä koskaan määrääväksi tekijäksi, vaan yleensä pitkistä etäisyyksistä johtuen mitoittava suure on jännitteenalenema tai pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta. Koska tievalaistuksen kuormitus on pientä ja se jakautuu tasaisesti koko verkolle, voi ryhmä johdon pituus olla helposti yli kilometrin. Vertailun vuoksi tavallisen pienjännitejakeluverkon suurin teknistaloudellinen pituus on alle puolikilometriä. (Partanen 2010)

Laajoissa tievalaistusverkossa kello- ja hämäräkytkinohjaus on korvautumassa älykkäimmillä ohjausjärjestelmillä. Tämän vuoksi myös Tampereen Aikuiskoulutuskeskuksella on tarve perehdyttää oppilaat näihin järjestelmiin. Tampereen kaupungin käyttämä C2 Smart Light Street onkin ensisijainen vaihtoehto harjoituskentälle, jotta työllistymismahdollisuudet koulutuspaikkakunnalle paranisivat. Ohjausjärjestelmissä on pieniä eroavaisuuksia, mutta jo yhden järjestelmän perusteellinen tuntemus auttaa asentajia työskentelemään eri valmistajien toimittamien laitteiden parissa.

Yksi tämän opinnäytetyön haasteista liittyi tiedonhankintaan. Tievalaistuksen vaatimukset määrittelee Liikennevirasto, jonka ohje oli lähes ainoa kattava julkaisu aiheesta. Työn tarkoituksena on olla ajantasainen suunnitteluohje, minkä vuoksi uusinta tietoa täytyi kysellä tievalaistuksen parissa työskenteleviltä ihmisiltä. Myös SFS 6000 standardiin tulleet tuoreimmat muutokset on otettu huomioon työssä esitettävissä esimerkkilaskuissa. Valaistustekniikkaa käsittelevässä osiossa on tehty katsaus valonlähteiden tämän hetken ominaisuuksiin tunnetuimpien valmistajien ilmoittamiin lukuihin luottaen.

LÄHTEET

Mäkinen, M. & Kallio, R. 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Helsinki: Otavan Kirjapaino Oy.

Monni, M. 2002. Maakaapeliverkostotyöt, Katu- ja tievalaistustyöt. Sähkölaitosasentajan ammattioppi 2. Helsinki: Kirjapaino Laine Direct Oy.

Good lighting for safety on roads, paths and squares. Fördergemeinschaft Gutes Licht. Frankfurt.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2007. CEN/TR 13201-1 & EN 13201-2...4 Road lightning part 1...4.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2007. SFS käsikirja 600 Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus. Helsinki.

Sähköenergialiitto ry SENER. Verkostosuositukset. UA 1 :94, UR 1 :94, US 4:92, SA 2:08, US 4:90, KA 2:10, UA 3:94, US 1:88, UT 1:88.

Sandström, J. 2009. Ulkovalaistus – suuria muutoksia edessä. Maarakennuspäivä 2009. Luettu 15.1.2013. http://www.mank.fi/Sandstr%F6m_Ulkovalaistus.pdf

Tie & Liikenne. 7/2012. Tieliikenteen ammattilehti. Tievalaistus. Sivut 6-8. Suomen Tiejhdistys. 2012.

Liikennevirasto. 2006. TIEH 2100034-06 Tievalaistuksen suunnittelu. Luettu 2.2.2013. http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100034-v-06tievalaist_suunn.pdf

Liikennevirasto. 2006. TIEH 1000105-06 Tievalaistuksen toimintalinjat. Luettu 2.2.2013. <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/1000105-v-06tievtoimlinj.pdf>

Tampereen kaupunki. 2013. Ulkovalaistus. Luettu 3.2.2013. <http://www.tampere.fi/liikennejakadut/ulkovalaistus.html>

Tampereen kaupunki. 2010. Tampereen alueen ulkovalaistuksen suunnitteluohje. Luettu 3.2.2013. <http://www.tampere.fi/material/attachments/t/5t6oa7bES/valaistuksensuunnitteluohje2010.pdf>

Harsiala, P. Ensto Pro. Valaistus. Luettu 15.1.2013. <http://www.ensto.com/fi/tukipalvelut/koulutus>

Honkanen, H. Valaistustekniikka. Kajaanin AMK. Luettu 15.1.2013. http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/STEK_Valaistustekniikka.pdf

Fagerhult. 2003. Valaistussuunnittelijan käsikirja. np.netpublicator.com/np/n30265811/tekniskinfo_FI_09.pdf

Sippola, V. 2012. Diplomityö. Ecodesign -direktiivin täytäntöönpanotoimenpiteiden vuoksi poistuvien lamppujen korvaaminen ulkovalaistuksessa.

- Nurmi, T. Sähkövoimatekniikkaopetus. Valaistustekniikka. Luettu 15.1.2013. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/13valaistustekniikka.pdf
- Philips. Tuotetiedot. Ammattivalaistus. Luettu 15.1.2013. <http://www.ecat.lighting.philips.fi/l/lamput-ammattivalaistus/kaasupurkauslamput-hid/40287/cat/>
- SLO. Sähkötukku. Luettu 15.1.2013. <http://www.slo.fi>
- CP-lighting. Verkkokauppa. Luettu 15.1.2013. <http://www.cp-lighting.co.uk/Lamps/Philips-Master-QL-85W>
- Halonen, L., Lehtovaara, J. 1992. Valaistustekniikka. Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino Oy.
- Tampereen kaupunki. 2011. Tampereen ulkovalaistuksen tarveselvitys. Luonnos 10.6.2011. <http://www.punakyna.net/media/attachments/307432.pdf>
- Tiensuu, A. 2010. Uusi valaistuskirja. Julkaisija: Viherympäristöliitto ry. Helsinki: Oy Fram Ab
- Runkle, E. & Bugbee B. 2010. Correcting Problems With HPS Lamps. Luettu 17.2.2013. <http://www.flor.hrt.msu.edu/assets/uploads/correctinghpsproblems.pdf>
- Tampereen sähkölaitos. 2011. Liittymisjohdon mitoitus ohje. Luettu 18.2.2013. https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/sahkoverkkoonliittyminen/TSV-urakoitsijalle/Documents/Liittymisjohdon_mitoitus_110101.pdf
- ABB:n TTT-Käsikirja 2000-07. Luku 21: Valaistustekniikka.
- Kajote. 2013. MPK. Pylväsvalaisinkaapeli. Luettu 20.2.2013. http://www.kajote.fi/documents/MPK_esittely.pdf
- Partanen. 2011. Pienjänniteverkot. Sähkönjakelutekniikka. Luentomateriaali. Lappeenranta University of Technology. <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0500/luennot/pienjanniteverkot.pdf>
- Sähkötieto ry. ST-kortisto. ST-53.25, ST 58.25
- Valkama, J. 2012. Katuvalaistuksen modernisointi. Opinnäytetyö. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu.
- C2 Smart Light Oy. 2013. Suomen yleisin ulkovalaistuksen ohjausratkaisu. Markkinointimateriaali.
- C2 Smart Light Oy. 2013. C2 Smart Light Street. Markkinointimateriaali.
- Ouman LUX. Ohjausjärjestelmän www-sivut. Luettu 25.2.2013. http://www.ouman.fi/fi/ouman_lux/
- Satmatic. Ohjausjärjestelmän www-sivut. Luettu 25.2.2013. <http://www.satmatic.fi/fi/tuotteet/satlight-katuvalo-ohjaus.html>

Leveltec. Ohjausjärjestelmän www-sivut. Luettu 25.2.2013.

<http://www.leveltec.fi/index.php?page=33&lang=1&phpMyAdmin=2d8c4f835266t404f5677r2b96>

FF-Automation. 2011. Autolog SaveLight – Street Light Management System.

Markkinointimateriaali. Luettu 25.2.2013. http://www.ff-automation.com/download/Documents/English/AutoLog_Presentations/AutoLog_SaveLight_StreetLightControlSystem.pdf

YIT Oy. 2013. Ohjausjärjestelmä Suomen tievalaistuksen kapellimestarina. Markkinointimateriaali.

Paukkonen, P. Tampeeren Vera Oy. Puhelu.

Heikkilä, M. Tampereen kaupunki. Puhelu.

Ijäs, M. Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Sähköpostiviesti.

Verkostomessut Tampere 2013. Alppilux Oy:n tuote-esittely.

LIITTEET

Liite 1. Yleisten teiden valaistusluokan valinta

Toiminnallinen luokka	Poikkileikkaus	Liikenne	Ajo-nopeus	Liittymät	Valaistusluokka	
					Valoisa	Pimeä ymp
Moottoriväylät	2x12,50/7,50+15,00 	M				
	2x12,50/7,50+4,50 	M	≥ 80	Eritaso	AL2	AL3
	12,50/7,50 	M				
Päätiet	2x9/7+4,50 	M+Pp+Jk	≥ 60	Taso Eritaso	AL1 AL2	AL2 AL3
		M+E(Pp+Jk)			AL2+K2	AL3+K4
	17,50/14,50 	M+Pp+Jk	≥ 60	Taso	AL1	AL2
		M+E(Pp+Jk)			AL2+K2	AL3+K4
	10,50/7,50 	M+Pp+Jk	≥ 60	Taso	AL4a	AL4a
	8/7 	M+E(Pp+Jk)			AL4a+K4	AL4b+K6
Muut tiet	8/7 	M+Pp+Jk	< 60	Taso	AL4a	AL4b
		M+E(Pp+Jk)			AL4b+K6	AL4b+K6
	7/6 	M+Pp+Jk	< 60	Taso	AL4b	AL4b
	4...6 	M+Pp+Jk	< 40		AL4b	AL4b
	Laiturit 				AL1	AL2

M=moottoriajoneuvoliikenne

Jk=jalankululiikenne

Pp=polkupyöriäliikenne

E=erillinen liikenne

Ympäristö on valoisa, jos tien ulkopuolelta tulee häiritsevää valoa esim. läheisestä toisesta tie- tai katuvalaistuksesta, huoltoasemilta, pysäköintialueilta, urheilukentiltä, julkisivuvalaistuksista, mainosvaloista, valotaideteoksista yms.. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Liite 2. Katujen valaistusluokan valinta

Toiminnallinen luokka	Poikkileikkaus	Liikenne	Nopeusrajoitus	Liittymät	Valaistusluokka
Pääkadut					AL2+K2
Keskustassa		M+E(Pp+Jk)	50	Taso	AL2+K2
					AL1+K1
Muilla alueilla		M+E(Pp+Jk)	80 60	Eritaso Taso	AL2+K2 AL3+K4
		M+Pp+Ejk	50	Taso	AL4a+K4
Kokoojakadut		M+E(Pp+Jk)	50	Taso	AL3+K4
Keskustassa		M+Pp+Ejk			AL3+K4
		M+E(Pp+Jk)	60	Taso	AL4a+K6
Muilla alueilla		M+Pp+Ejk	50		AL4b+K6
Tonttikadut		M+Pp+Ejk	50	Taso	AL4a+K4
Keskustassa					
		M+Pp+Ejk	40	Taso	AL4b+K6
Muilla alueilla		M+Pp+Jk	30		AL5

M=moottorijoneuoliikenne

Jk=jalankulkuliikenne

Pp=polkupyöräliikenne

E=erillinen liikenne

(Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Liite 3. Kevyen liikenteen valaistusluokan valinta

VÄYLÄ TAI ALUE	VALAISTUSLUOKKA
KÄVELYKADUT	
Kaupungin keskusta	
- vain kevytliikenne	K2
- huoltoajo sallittu	K1
Kaupungin muut alueet	
- vain kevytliikenne	K3
- huoltoajo sallittu	K2
Maaseututaajamat	
- vain kevytliikenne	K3, K4
- huoltoajo sallittu	K2
HIDAS- JA PIHAKADUT	
- vilkkaat	K2
- vähätoimintaiset	K4, K5
JALANKULKUALUEET	
KESKUSTASSA, TORIT JA AUKIOT	K1, K2
PYSÄKÖINTIALUEET	
- vilkkaat	K3
- vähäliikenteiset	K4
ULKOILUTIET	
- puistokäytävät	K3
- hiihtoladut, pururadat	K4
ERILLISET KEVYEN LIIKENTEEN TIET	
- vilkkaat	K4
- vähäliikenteiset	K6

(Tievalaistuksen suunnittelu 2006)

Liite 4. Laskentatulokset

(1/6)

Kirkonkylän ohitustie

DIALux

16.02.2013

Opinnäytetyö tmi

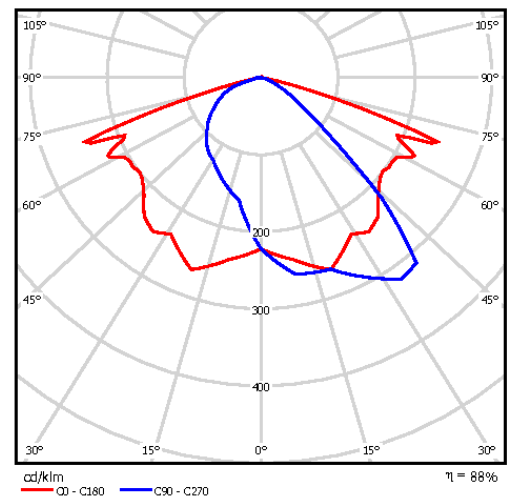
Tekijä Tomi Eskelinen
 Puhelin
 Faksi
 Sähköpostiosoite

Philips SGS253 GB 1xSON-TPP150W CX P1 / Valaisintietoarkki

Valaistu alue 1:



Valaisinten luokittelu CIE: 100
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 41 77
 98 100 86



Puuttuvien symmetriaominaisuuksien takia ei tälle valaisimelle voida näyttää UGR-taulukkoa.

Liite 4.

(2/6)

Kirkonkylän ohitustie

DIALux

16.02.2013

Opinnäytetyö tmi

Tekijä Tomi Eskelinen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

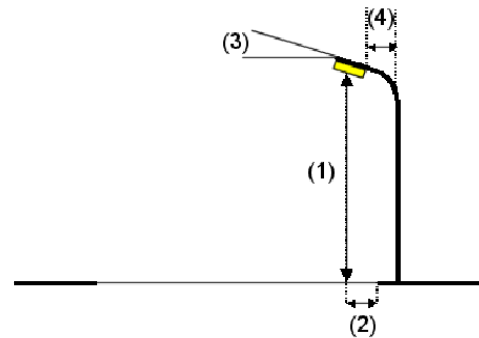
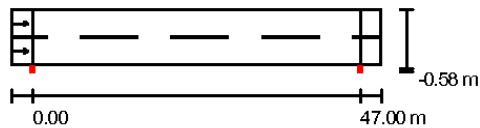
Katu 1 / Suunnittelutiedot

Tien profilli

Ajorata 1 (Leveys: 8.000 m, Ajokaistojen lukumäärä: 2, Päälyste: R2, q0: 0.070)

Huoltokerroin: 0.80

Valaisinjärjestykset



Valaisin:	Philips SGS253 GB 1xSON-TTP150W CX P1	Valovoiman enimmäisarvot
Valovirta (Valaisin):	15400 lm	tapauksessa 564
Valovirta (Lamput):	17500 lm	70°: cd/klm
Valaisimien teho:	169.0 W	tapauksessa 30
Järjestely:	yksipuolisesti alapuolella	80°: cd/klm
Katuvalojen väli:	47.000 m	tapauksessa 1.55
Asennuskorkeus (1):	9.777 m	90°: cd/klm
Valopisteen korkeus:	10.000 m	Kaikkiin niihin suuntiin, jotka muodostavat ilmoitetun kulman alemman pystysuoran kanssa, kun valaisin on asennettu käyttökuntoon.
Etäisyys tien reunaan (2):	-0.600 m	Sijoittelu täyttää valovoimaluokan vaatimukset G3.
Poikkivarren kallistuma (3):	5.0 °	Sijoittelu täyttää häikäisyarvoluokan vaatimukset D.6.
Poikkivarren pituus (4):	1.020 m	

Liite 4.

(3/6)

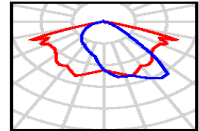
Kirkonkylän ohitustie**DIALux**

16.02.2013

Opinnäytetyö tmi

Tekijä Tomi Eskellinen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite**Katu 1 / Luettelo valaisimista**

Philips SGS253 GB 1xSON-TPP150W CX P1
 Tavarnumero:
 Valovirta (Valaisin): 15400 lm
 Valovirta (Lamput): 17500 lm
 Valaisimien teho: 169,0 W
 Valaisinten luokittelu CIE: 100
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 41
 77 98 100 86
 Varustus: 1 x SON-TPP150W (Korjaustekijä
 1.000).



Liite 4

(4/6)

Kirkkokylän ohitustie

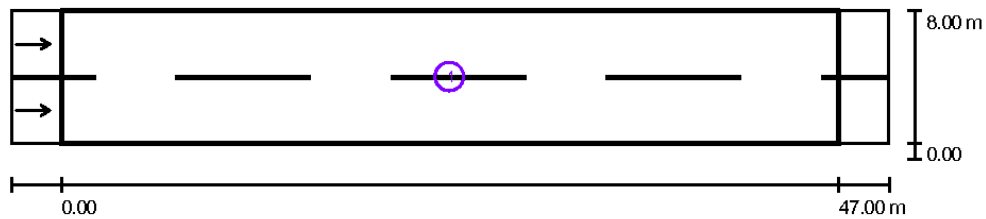
DIALux

17.02.2013

Opinnäytetyö tmi

Tekijä Tomi Eskelinen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Katu 1 / Valaistustekniset tulokset



Huoltokerroin: 0.80

Mittakaava 1:379

Arviointikenttien luettelo

1 Arviointikenttä Ajorata 1

Pituus: 47.000 m, Leveys: 8.000 m

Rasteri: 16 x 6 Pisteet

Sijoitetut tie-elementit: Ajorata 1.

Päällyste: R2, q0: 0.070, Päällyste (märkä): W3, q0 (märkä): 0.097

Valittu valaistusluokka: MEW3

(Kaikki fotometriset vaatimukset on täytetty.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR	U0 (märkä)
Lasketut tosiarvot:	1.00	0.59	0.53	13	0.54	0.17
Ohjearvot luokan perusteella:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.40	≤ 15	≥ 0.50	≥ 0.15
Täytetty/ei täytetty:	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Liite 4.

(5/6)

Kirkonkylän ohituslie

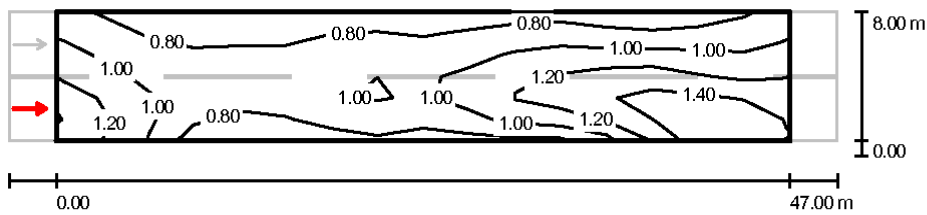
DIALux

16.02.2013

Opinnäytetyö tmi

Tekijä Tomi Eskelinen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Katu 1 / Arviointikenttä Ajorata 1 / Katsoja 1 / Isolux-käyrät (L)

Arvot (yksikkö) Candela/m², Mittakaava 1 : 379

Rasteri: 16 x 6 Pisteet

Katsojan sijainti: (-60.000 m, 2.000 m, 1.500 m)

Päällyste: R2, q0: 0.070, Päällyste (märkä): W3, q0 (märkä): 0.097

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	U0 (märkä)
Lasketut tosiarvot:	1.00	0.64	0.53	13	0.20
Ohjearvot luokan perusteella MEW3:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.40	≤ 15	≥ 0.15
Täytetty/ei täytetty:	✓	✓	✓	✓	✓

Liite 4

(6/6)

Kirkonkylän ohitustie

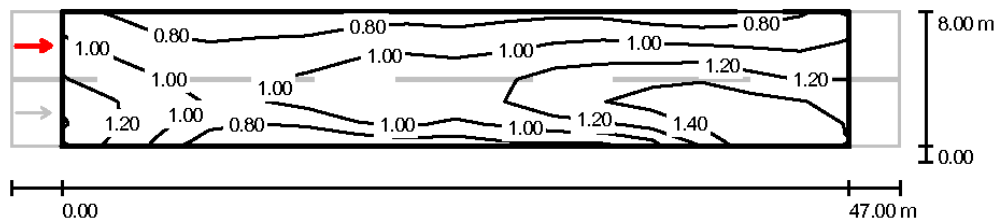
DIALux

16.02.2013

Opinnäytetyö tmi

Tekijä Tomi Eskelinen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Katu 1 / Arviointikenttä Ajourata 1 / Katsoja 2 / Isolux-käyrät (L)

Arvot (yksikkö) Candela/m², Mittakaava 1 : 379

Rasteri: 16 x 6 Pisteet

Katsojan sijainti: (-60.000 m, 6.000 m, 1.500 m)

Päällyste: R2, q0: 0.070, Päällyste (märkä): W3, q0 (märkä): 0.097

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	U0 (märkä)
Lasketut tosiarvot:	1.06	0.59	0.75	11	0.17
Ohjearvot luokan perusteella MEW3:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.40	≤ 15	≥ 0.15
Täytetty/ei täytetty:	✓	✓	✓	✓	✓

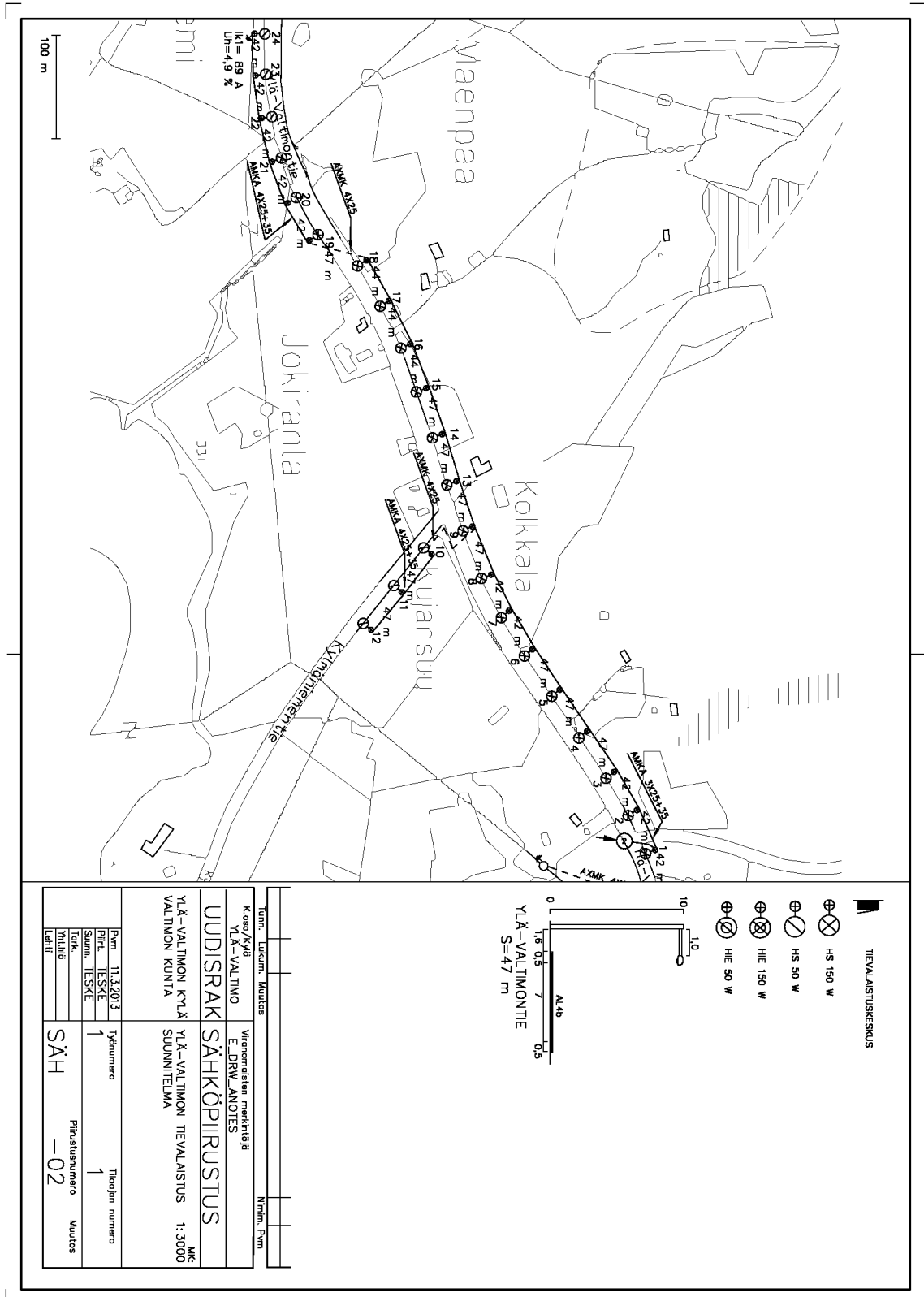
Liite 5. Purkauslamppujen syttymisvirrat

Purkauslamput $U_N = 230\text{ V}$								
Teho (W)	Palamisvirta (A)			Syttymisvirta (A)			Kond. (μF)	Kok.teho (W)
	Elohopea							
	GE/Thorn	Osram	Philips	GE/Thorn	Osram	Philips		
50	0,30	0,32	0,30	0,32	0,45	0,40	8	61
80	0,45	0,45	0,45	0,70	0,86	0,65	8	90
125	0,70	0,70	0,70	1,00	1,15	1,10	10	139
250	1,33	1,30	1,35	2,00	1,90	2,20	16	271
400	2,20	2,10	2,15	3,00	3,50	3,90	25	425
	Monimetalli							
	GE/Thorn	Osram	Philips	GE/Thorn	Osram	Philips		
70	-	0,43	-	-	0,60	-	12	85
150	-	1,10	-	-	1,50	-	20	179
250	1,30	1,40	1,35	1,50	1,90	2,20	2x16	278
400	2,00	1,95	2,15	3,50	2,60	3,19	16+20	429
1000 (230 V)	5,40	5,25	5,30	9,00	9,40	8,00	2x25+ 2x20	1044
2000 (380V)	-	6,05	6,00	-	10,90	10,00	37,5	2062
	Suurpainenatrium							
	GE/Thorn	Osram	Philips	GE/Thorn	Osram	Philips		
50	0,30	0,30	0,30	0,35	0,45	0,45	8	62
70	0,40	0,40	0,45	0,55	0,55	0,60	12	85
100	-	0,60	0,65	-	0,80	1,00	12	115
150	0,70	0,85	0,85	0,80	1,00	1,20	20	170
250	1,30	1,45	1,40	1,50	2,40	2,30	2x16	278
400	2,15	2,20	2,20	3,00	3,50	3,60	2x25	432
1000	5,40	5,50	5,60	6,00	7,00	7,30	4x25	1050
	Pienpainenatrium							
	GE/Thorn	Osram	Philips	GE/Thorn	Osram	Philips		
35	-	0,24	0,24	-	0,39	0,39	6	44
55	-	0,34	0,34	-	0,39	0,39	6	63

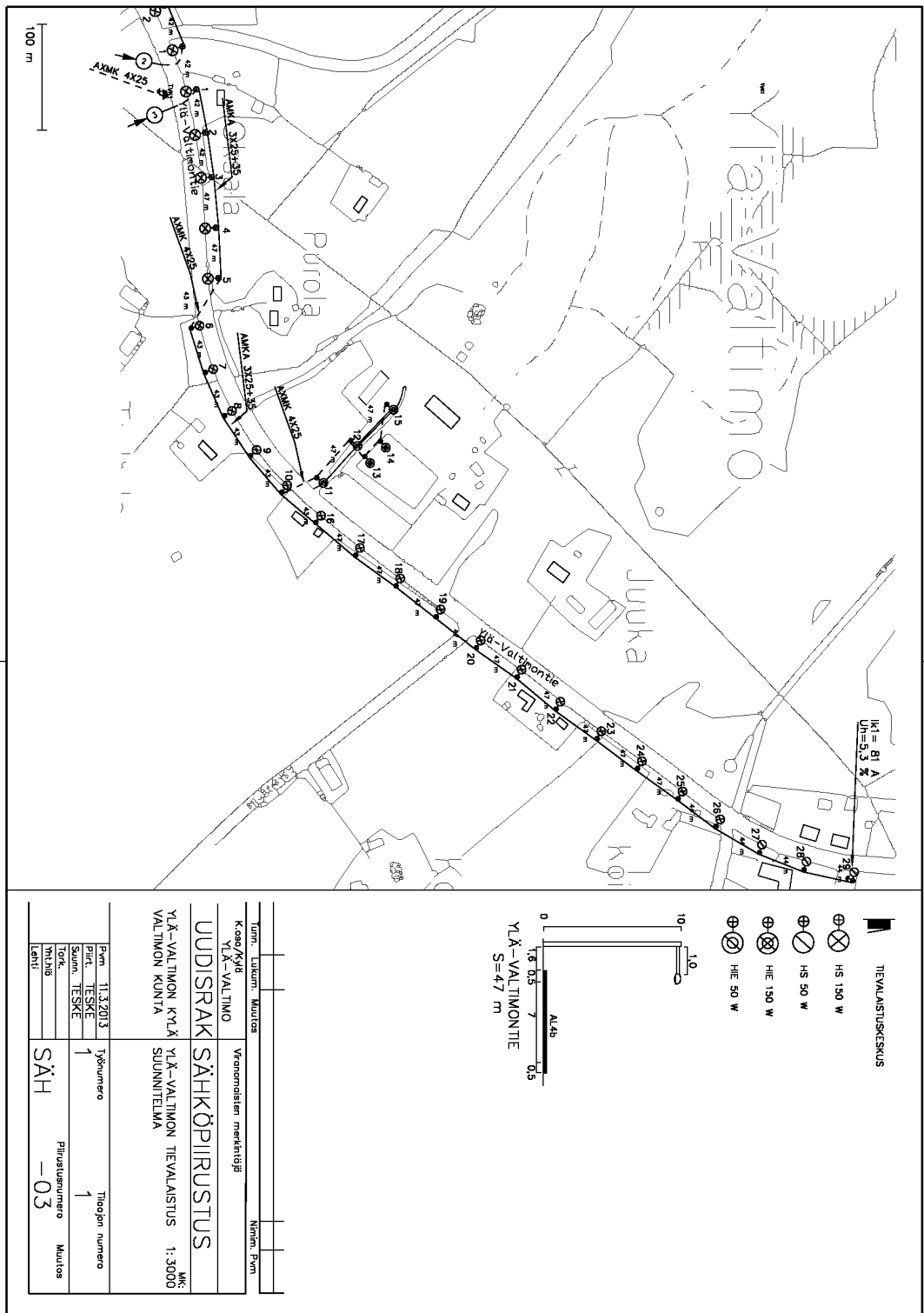
(ABB:n TTT-käsikirja)

Liite 7. Valaisimien sijoituskuva

(1/2)



(2/2)



Liite 8. Ryhmitystaulukot

Ryhmitystaulukko R2

Pylväs nro	Vaihe	Valonlähde
1	L3	HS 150 W
2	L1	HS 150 W
3	L2	HS 150 W
4	L3	HS 150 W
5	L1	HS 150 W
6	L2	HS 150 W
7	L3	HS 150 W
8	L1	HS 150 W
9	L2	HS 150 W
10	L3	HS 50 W
11	L2	HS 50 W
12	L3	HS 50 W
13	L3	HS 150 W
14	L1	HS 150 W
15	L2	HS 150 W
16	L3	HS 150 W
17	L1	HS 150 W
18	L2	HS 150 W
19	L3	HS 150 W
20	L1	HS 150 W
21	L2	HS 150 W
22	L3	HS 50 W
23	L2	HS 50 W
24	L3	HS 50 W

Yösammutus vaiheella L1
Etäisyys tien reunasta 1,6 m

Ryhmitystaulukko R3

Pylväs nro	Vaihe	Valonlähde
1	L2	HS 150 W
2	L1	HS 150 W
3	L3	HS 150 W
4	L2	HS 150 W
5	L1	HS 150 W
6	L3	HS 150 W
7	L2	HS 150 W
8	L1	HS 150 W
9	L3	HS 150 W
10	L1	HS 150 W
11	L3	HIE 50 W
12	L1	HIE 50 W
13	L2	HIE 150 W
14	L2	HIE 150 W
15	L3	HIE 50 W
16	L3	HS 150 W
17	L2	HS 150 W
18	L1	HS 150 W
19	L3	HS 150 W
20	L2	HS 150 W
21	L1	HS 150 W
22	L3	HS 150 W
23	L2	HS 150 W
24	L1	HS 150 W
25	L3	HS 150 W
26	L2	HS 150 W
27	L1	HS 50 W
28	L3	HS 50 W
29	L1	HS 50 W

Yösammutus vaiheella L2
Etäisyys tien reunasta 1,6 m