

Tievalaistuksen energian käytön tehostaminen kustannustehok- kaasti

Jani Leppäjärvi

Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisalojen opinnäytetyö
Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma
Insinööri (YAMK)

KEMI 2014

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy:lle. Opinnäytetyön aihe on oma ja sen tarkoitus on kehittää omaa osaamistani sekä laajentaa yrityksen palveluita. Haluan kiittää yrityksen johtoa ja valaisinvalmistajien edustajia myönteisestä suhtautumisesta kyselyihini, jotka ovat vaikuttaneet opinnäytetyöni valmistumiseen.

Haluan kiittää myös valvojiani DI Jaakko Ettoa ja teknikko Arto Liisananttia, joilta sain ohjausta ja palautetta työn edistyessä.

19.5.2014 Jani Leppäjärvi

TIIVISTELMÄ

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU, Tekniikka

Koulutusohjelma:	Teknologiaosaamisen johtaminen
Opinnäytetyön tekijä:	Jani Leppäjärvi
Opinnäytetyön nimi:	Tievalaistuksen energian käytön tehostaminen kustannustehokkaasti
Sivuja (joista liitesivuja):	74 (17)
Päiväys:	19.5.2014
Opinnäytetyön ohjaajat:	DI Jaakko Etto Tekn. Arto Liisanantti
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella tievalaistuksen eri toteutusvaihtoehtoja ja energian kustannustehokasta käyttöä. Työn tavoitteena oli kehittää laskentatyökalu tievalaistuksen energiatehokkaaseen mitoittamiseen, millä voidaan noudattaa mahdollisimman hyvin EU direktiivin mukaisia energiatehokkuus tavoitteita.</p> <p>Työn teoriaosuudessa käsiteltiin tievalaistuksen teoriaa, valaistusteknisistä suureita ja tievalaistukseen liittyviä määräyksiä ja ohjeistusta sekä suunnittelun periaatteita. Tievalaistuksen energia- ja kustannustehokkuutta tarkasteltiin monesta eri näkökulmasta. Työssä selvitettiin elinkaarikustannuslaskennassa tarvittavat suuret ja laskettiin esimerkkikohteen elinkaarikustannukset eri toteutusvaihtoehdoilla. Saatujen tulosten perusteella tehtiin valaistuslaskennat esimerkkikohteeseen kahdella kustannustehokkaimmilla vaihtoehdoilla.</p> <p>Työn lähdeaineistona käytettiin kirjallisuutta, sähköisiä julkaisuja ja eri tievalaistuskohteista saatua käytännön kokemuksia. Valaisimien teknisten tietojen sekä hintojen tietojen kerääminen oli hidasta. Tiedot kerättiin eri valaisinvalmistajien edustajilta.</p> <p>Työssä kehitettiin suunnitteluun laskentatyökalu, jolla saadaan helposti kuhunkin kohteeseen energia- ja kustannustehokkain valaistus valittua. Laskentatyökalun pohjalta tullaan kehittämään tuotteistettu konsulttipalvelu Sähköurakointi ja –suunnittelu Liisanantti Oy:lle.</p>	
Asiasanat: Tievalaistus, suunnittelu, energiatehokkuus	

ABSTRACT

LAPLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology

Degree programme:	Technology Competence Management
Author:	Jani Leppäjärvi
Thesis title:	Cost-Effective Energy Intensification of Road Lighting
Pages (of which appendixes):	74 (17)
Date:	19 May 2014
Thesis instructors:	Jaakko Etto MSc (Tech.) Arto Liisanantti Tech.
<p>The objective of the thesis was to study the options of carrying out road lighting and the cost-effective use of energy. The aim was to develop a tool to calculate the most optimal solution concerning the effective use of energy as well as cost-effectiveness defined by the EU directive.</p> <p>The theoretical part consists of the theory of road lighting, technical quantities of lighting, also the regulations, instructions and principles of the road design lighting. The cost effectiveness and the saving of energy were surveyed from different viewpoints.</p> <p>The technical quantities needed to calculate lifespan efficiency were explained and the lifespan efficiency for the sample project was calculated with different alternatives. Based on the results the final calculations were made with the two most cost effective options.</p> <p>The sources used were books, information on the web and practical experience got from various road lighting projects. To compile the technical and price information of the light fittings was time-consuming. The information was gathered from the representatives of the light fittings manufacturers.</p> <p>As a result a tool was developed which easily calculates the most cost-effective and energy saving lighting solution to different kinds of road lighting projects. With the help of the tool will be developed a package of consultation services for Sähköura-kointi ja –suunnittelu Liisanantti Oy.</p>	
Key words: road lighting, planning, energy effectivity.	

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaus	7
1.2 Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy / Tmi Arto Liisanantti	8
1.3 Tutkimusmenetelmät ja aineisto	8
2 TIEVALAISTUS SUOMESSA	9
2.1 Tie ja katuvalaistuksen hyödyt ja haitat	9
2.2 Valaistusluokat	11
2.2.1 AL-luokat	12
2.2.2 AE-luokat	12
2.2.3 K-luokat	13
2.2.4 Lisäluokat	15
2.3 Valaistustekniset suureet	15
3 MÄÄRÄYKSET JA OHJEISTUS	18
3.1 Valaistustekninen standardi SFS-EN 13201	18
3.2 Sähkö standardi SFS 6000 ja urakointi	18
3.3 Kunnallisteknisten töiden yleinen työselostus 02	19
3.4 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset	19
3.5 Liikenneviraston tievalaistus työmaat	20
4 SUUNNITTELU	23
4.1 Yleistä	23
4.2 Lamput	24
4.2.1 Suurpainenatriumlamppu	25
4.2.2 Monimetallilamppu	25
4.2.3 Elohopeahöyrylamppu	26
4.2.4 LED (Light-Emiting Diode)	27
4.2.5 Valonlähteiden ominaisuudet	27
4.3 Valaisimet	28
4.3.1 Valaisimen rakenne vaatimukset	29
4.3.2 Asennus ja kaapelointi	29

4.4 Valaisinvarret.....	30
4.5 Pylväät	31
4.6 Jalustat	33
4.7 Pylväskalusteet.....	34
4.8 Kaapelit.....	35
4.9 Keskukset.....	35
4.10 Tievalaistuksen ohjaus.....	37
4.11 Tievalaistuksen sähkösuunnittelu.....	38
5 ENERGIATEHOKKUUS JA LASKENTA	39
5.1 Ecodesign direktiivi.....	39
5.2 Energiatehokkuus	40
5.3 Elinkaarikustannukset	44
5.4 Kostamon tievalaistuksen elinkaarikustannukset.....	49
5.5 Kostamon tievalaistuksen hoitokustannukset	51
6 VALAISTUSLASKELMAT	52
7 POHDINTA.....	53
LÄHTEET	55
LIITTEET.....	57

1 JOHDANTO

Suomessa tievalaistus on murrosvaiheessa. Euroopan energiasäästötavoitteiden ja valaistuksen teknisen iän myötä valaistuksen saneeraustarve on ajankohtainen. Pitkään käytössä olleiden elohopeahöyrylampujen myynti ja valmistus kielletään vuonna 2015 alkuun mennessä EU:n direktiivillä ((EY) 245/2009).

Asetuksella on suuri vaikutus Suomen ja kuntasektorin talouteen, koska merkittävä osa tie- ja katuvalaistuksesta on yhä toteutettu elohopeahöyrylampuilla. Korvaavia, energiaa säästäviä tievalaistuksen teknisiä toteutusvaihtoehtoja on useita. Tie- ja katuvalaistuksen saneerausta hidastaa monien kaupunkien ja kuntien heikko taloustilanne.

1.1 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaus

Työn tavoitteena on tarkastella tievalaistuksen saneerausta teorian, lainsäädännön, suunnittelun sekä energiatehokkuuden näkökulmasta ja luoda energia- ja kustannustehokkuuden selvittämiseksi tuotteistettu malli laskentatyökalun pohjalta. Laskentatyökallulla voitaisiin tarkastella yksinkertaisesti euromääräisesti eri vaihtoehtoja ja valita sen perusteella energia- ja kustannustehokkain ratkaisu valaistukseksi. Esimerkki kohteena on Kemijärven kaupungissa oleva Kostamon kylän valaistus, jonne pyritään löytämään energia- ja kustannustehokkain valaistusratkaisu ja tehdään kahdesta eri valaisin vaihtoehdosta valaistuslaskelmat.

Kemijärvellä tie-, katu- ja latuvalaistus on kartoitettu vuonna 2011 Tmi Arto Liisanantin toimesta ja tiedot on tuotu sähköiseen tietokantaan. Kemijärven tie- ja latuvalaistus käsittää 3400 valaistuspistettä. Suurin osa kaupungin valaistuksesta on jo yli 30 vuotta vanhaa ja saneeraustarve on ajankohtainen valaisimien teknisen eliniän ja energiatehokkuusdirektiivin vaatimusten kannalta.

Tievalaistusta on Suomessa tutkittu paljon ja aineistoa on paljon saatavilla. Työssä pyritään keskittymään suunnittelun kannalta olennaisiin asioihin ja laskenta työkalun kehittämiseen.

1.2 Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy / Tmi Arto Liisanantti

Tmi Arto Liisanantti on vuonna 2009 perustettu tie- ja aluevalaistukseen erikoistunut asiantuntijayritys. Yrityksen päätoimialana on tie- ja aluevalaistus suunnittelu, konsultointi, urakointi ja valvonta palvelut sekä sähköurakointi.

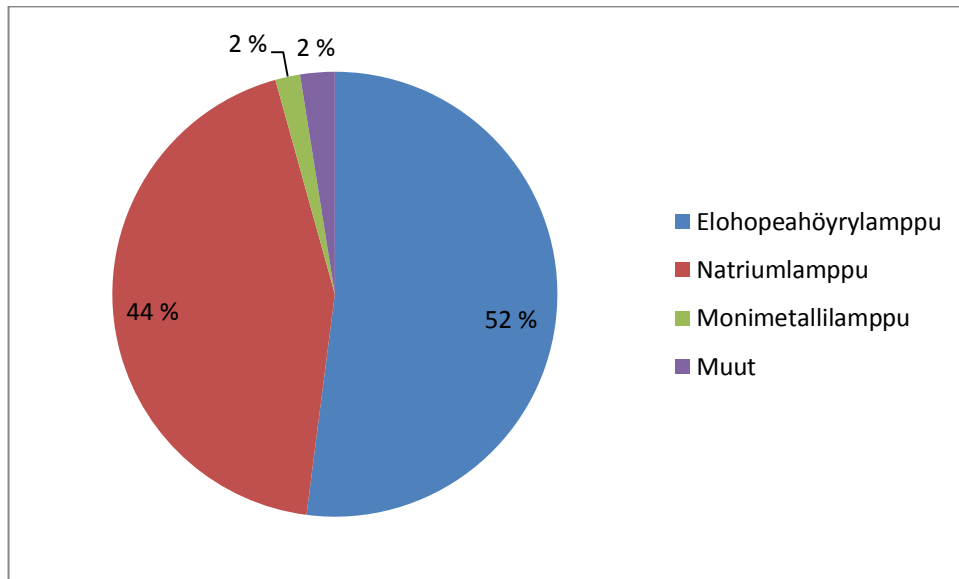
Vuoden 2014 alussa yrityksen nimi ja yritysmuoto muuttui Sähköurakointi ja – suunnittelu Liisanantti Oy:ksi. Yrityksen palveluksessa on projekteista riippuen 1 - 5 henkilöä. Yrityksen palveluita käyttävät mm. Liikennevirasto, useat kuntasektorin asiakkaat sekä yritykset ja yhteisöt.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

Tutkimusstrategiaksi kutsutaan periaatteellisia valintoja, jolla tutkimus on tarkoitus toteuttaa. Tutkimusstrategia on tutkimusmenetelmien ratkaisu kokonaisuus ja se ohjaa tutkimuksen menetelmien valintaa sekä käyttöä teoreettisella ja käytännöllisellä tasolla. Käsitteenä tutkimusstrategia on hyvin laaja ja sitä määritellään eri tavoin menetelmäkirjallisuudessa. Määrällisen tutkimuksen avulla selvitettiin laskentataulukon avulla millaisia elinkaarikustannuksia eri valaistusvaihtoehdoista muodostuu. Tuloksia vertailtiin laadullisen tutkimuksen menetelmillä tavoitteena löytää kohteeseen energiatehokkain ratkaisu. Tutkimustuloksia sovellettiin Kostamon tievalaistukseen. Aineistonhankintamenetelmänä käytetään Tiehallinnon, Kuntaliiton ja Rakennustiedon julkaisuja, Euroopan parlamentin direktiivejä, Suomen sähköturvallisuuslakia ja alan internet julkaisuja. (Jyväskylän Yliopiston www-sivut 2014)

2 TIEVALAISTUS SUOMESSA

Suomessa on arviolta 1,27 miljoonaa tie- ja katuvalaisinta, joista vuonna 2011 oli noin 52 % elohopeahöyrylamppuvalaisimia, noin 44 % suurpainenatriumlamppuvalaisimia, vajaa 2% monimetallilamppuvalaisimia ja muita valaisimia noin 2,5 % (kaavio 1). Näistä kuntien osuus on noin 1,048 miljoonaa ja Liikenneviraston osuus noin 222 000 valaisinta. Tievalaistuksen energiankulutus oli arviolta 800 GWh, joka on noin 12 % koko Suomen sähköenergian kulutuksesta. (Rantakallio & Ylinen 2011; Motiva Oy.)



Kaavio 1. Ulkovalaistuksen valonlähteet. (Ekovalo 2011, Toimintamalli, 5.)

Suomessa valta- ja kantateiden valaistuksen omistaa aina Liikennevirasto, joka niiden valaistuksen kunnossapidosta myös vastaa. Valaistuksen kunnossapito on kilpailutettu alueittain ja kullakin alueella on oma urakoitsija. Liikennevirastolla voi olla myös omistuksissaan ja vastuullaan seutu- ja yhdysteitä, jos valaistus näillä alueilla on koettu tarpeelliseksi. Muussa tapauksessa seutu- ja yhdysteiden valaistuksen omistaa kunta tai kaupunki. Suurin osa nykyisistä Liikenneviraston vaatimukset täyttävistä tievalaistuksista kuuluu valtion omistukseen. Uusissa tievalaistushankkeissa, voivat kunta ja Liikennevirasto sopia kustannuksista. Tällöin kunnan on mahdollista tehdä omistusoikeuden siirtoa koskeva sopimus, jossa määritellään noudatettavat ohjeet, asian valmisteluvastuu, valaistuslaitteiden ja -kalusteiden kuntoonpano, vastuu erikoisvalaistusten lisäkustannuksista, yhteiskäytösopimusten käsittely, tarvittavat suoritemäärät sekä kustannukset ja niiden jako ynnä aikataulu. (Tievalaistuksen toimintalinjat 2006, 7.)

2.1 Tie ja katuvalaistuksen hyödyt ja haitat

Tie- ja katuvalaistusta käytetään lisäämään alueen turvallisuutta ja viihtyvyyttä. Tievalaistus on asennettu yleensä tienvarteen joko metalliseen tai puiseen valaisinpylvääseen, mutta kaupunkien kaduilla käytetään rakennusten väliseen vaijeriin asennettua valaistusta. Tie- ja katuvalaistukseksi katsotaan mm. autoteiden, kevyenliikenteen väylien ja puistojen valaistus.

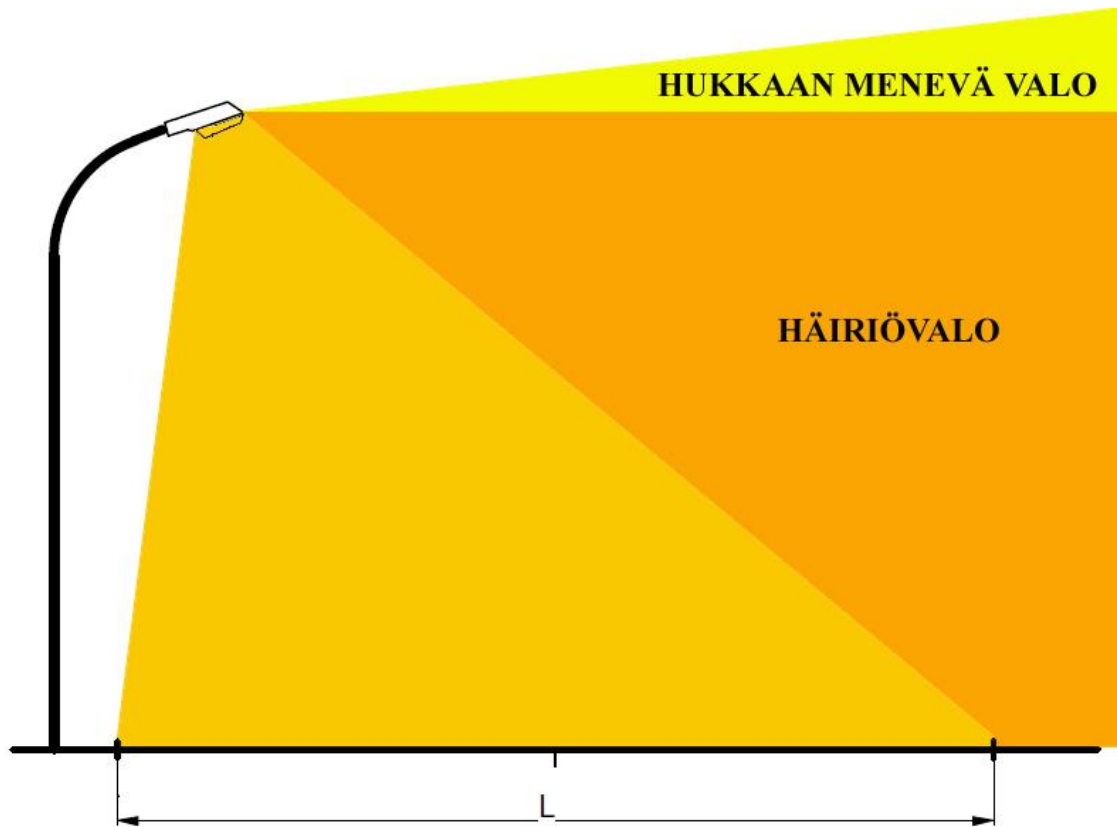
Eri tutkimusten mukaan tievalaistus vähentää yleisillä teillä pimeän ajan onnettomuuksia keskimäärin 30 %:lla. Eniten tievalaistus vähentää vakavia onnettomuuksia. Suurin vaikutus tievalaistuksella on sekaliikenneteillä ja vaikutus alenee tien standardin noustessa. (SITO Oy 2010, 15.)

Hyvin toteutettu tievalaistus mahdollistaa hyvän näkyvyyden ja turvallisen liikkumisen valaistulla alueella. Valaistuksen on sovittava valaistavaan ympäristöön sekä tuottamansa valon puolesta. Nykyisin toimivan valaistuksen kannalta tärkeimpiä ehtoja on myös ympäristöystävällisyys ja energiatehokkuus. (Kallasjoki 2011, 8.)

Valon kolme päätehtävää ovat näkyvyyden (toimintojen valaiseminen), hahmottaminen (tilan ja ympäristön muodostaminen) ja ilmapiirin parantaminen (varmuuden ja tunnelman synnyttäminen). Tievalaistuksella on myös merkittävä vaikutus taajamissa esteettömän liikkumisympäristön luomisessa. (Tiehallinto 2006, 9.)

Tie- ja katuvalaistuksen haittapuolena on valosaaste, joka mm. hankaloittaa tähtien tarkkailemista, sekoittaa kasvien vuosirytmiiä ja muuttolintujen lentoa. Keinovalolla on vaikutusta myös ihmisen terveyteen. Valoaltistuksella on tutkimusten mukaan yhteys syöpäriskien kasvuun, stressaantuneisuuteen, masentuneisuuteen, univaikeuksiin ja liikalihavuuteen. (Saavalainen & Pekonen 2013.)

Valosaastetta voidaan pienentää valaistuksen suunnittelulla ja valaistustarpeen uudelleen arvioimisella. Myös hyvin suunnitelluilla valaisimilla saadaan valosaasteen määrää vähennettyä. Joissakin tunturikeskuksissa valosaastetta on torjuttu valaistuksen yösammutuksen avulla, jolloin turistien revontulien ja tähtien tarkkaileminen helpottuu. Kuvassa 1 on havainne kuva tievalaistuksen häiriövalosta ja hukkaan menevästä valosta, mikä aiheuttaa mm. valosaastetta.



Kuva 1. Häiriö- ja hukkavalo havainnekuva. (Tiensuu 2010.)

2.2 Valaistusluokat

Suomessa tie- ja katuvalaistukselle on määritelty valaistusluokat, jotka parantavat liikenneturvallisuutta ja ympäristön vaikutuksia. Valaistus pysyy luokassaan, kun valaistustekniset ominaisuudet täyttävät näkemisen ja havaitsemisen edellyttämät vaatimukset ja ovat keskenään oikeassa suhteessa. (Tiehallinto 2006, 17.)

Suomessa tie- ja katuvalaistuksen tarpeellisuuden sekä tie- ja katuosuuksien vaatimien valaistusluokkien arvioinnissa käytetään Tiehallinnon julkaisua Tievalaistuksen suunnittelu. Valaistuksen suunnittelussa voidaan myös käyttää Tiehallinnon julkaisua. Valaistusluokan valintaan vaikuttavat tien sekä liikenteen ominaisuudet ja se valitaan tapauskohtaisesti. Valaistusluokkia käytetään, kun halutaan saada turvallinen, toimiva ja ympäristöön sopiva valaistus. (Tiehallinto 2006, 17.)

2.2.1 AL-luokat

AL-luokat on tarkoitettu teille ja kaduille, joilla ajonopeus on moottoriajoneuvolla ajettaessa kuivalla tai märällä päällysteellä, vähintään 50 km/h. Taulukossa 1 on AL – luokkien valaistusteknilliset vaatimukset. (Tiehallinto 2006, 17.)

Taulukko 1. AL-luokat (Tiehallinto 2006, 17.)

Luokka	Kuivan ja märän ajoradan luminanssi			Esto- häikäisy	Ympäristön valaistus	
	Kuiva		Märkä			
	Lm cd/m ² , min	Uo min	Ui min	Uo 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

2.2.2 AE-luokat

AE-luokkia käytetään yleisillä teillä, joissa liikkuu moottoriajoneuvon kuljettajia ja muita tienkäyttäjiä. AE-luokiteltuja ovat erityisesti konfliktialueet, kuten mutkikkaat kiertoliittymät ja tasoliittymät. AE-luokitusta käytetään, kun näkyvissä olevan, säännöllisen ajoradan osan pituus on alle 60 m. Taulukossa 2 on AE-luokkien valaistusteknilliset vaatimukset ja taulukossa 3 luminanssi- ja valaistusvoimakkuusluokkien vastaavuus. (Tiehallinto 2006, 18.)

Taulukko 2. AE-luokat. (Tiehallinto 2006, 18.)

Luokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus	
	Em lx, min	Uo 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

Taulukko 3. Luminanssi ja valaistusvoimakkuusluokkien vastaavuus. (Tiehallinto 2006, 18.)

Luminanssi	Valaistusvoimakkuus
AL 1	AE 1
AL2	AE 2
AL 3	AE 3
AL 4a	AE 3
AL 4b	AE 4
AL 5	AE 5

2.2.3 K-luokat

K-luokkia käytetään kevyenliikenteen väylillä, kuten jalkakäytävillä ja pyöräteillä, jotka sijaitsevat ajoradan vieressä, pysäköintialueilla tai piha- ja asuntokaduilla. Taulukossa 4 on K-luokkien valaistustekniset vaatimukset. (Tiehallinto 2006, 19.)

Taulukko 4. K-luokat. (Tiehallinto 2006, 19.)

Luokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus	
	Em 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

Riittävän tasaisuuden vuoksi hankekohtainen suure E_m keskiarvo ei saa ylittää 1,5-kertaista luokan edellyttämää keskiarvon minimiä. (Tiehallinto 2006, 19.)

Taulukossa 5 on esitetty kevyen liikenteen väylille ja alueille valaistusteknisesti riittävät valaistusluokat ja niiden valintaperiaatteet, joita valaistuksen suunnittelussa käytetään ohjeistuksena.

Taulukko 5. Erilaisilla kevyen liikenteen väylien valaistusluokat. (Tiehallinto 2006, 24.)

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	K1, K2
JA AUKIOT	
PYSÄKÖINTIALUEET	
- vilkkaat	K3
- vähäliikenteiset	K4
ULKOILUTIET	
- puistokäytävät	K3
- hiihtoladut, pururadat	K4
ERILLISET KEVYEN	
LIIKENTEEN TIET	
- vilkkaat	K4
- vähäliikenteiset	K6

2.2.4 Lisäluokat

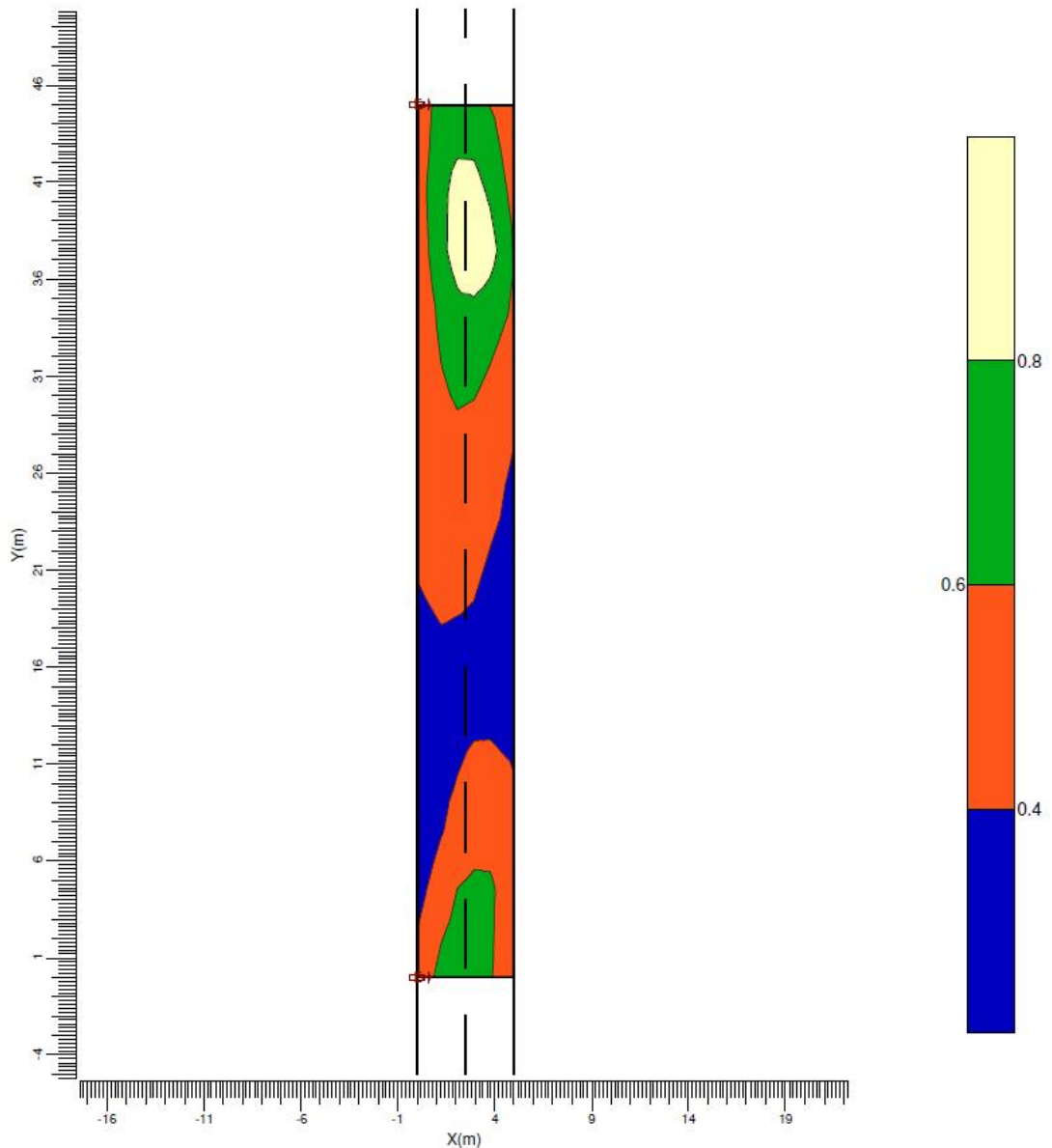
Lisäluokkia käytetään silloin, kun jalankulkijoille tarkoitetuilla alueilla halutaan vähentää rikollisuutta ja turvattomuuden tunnetta. Tällöin vaakatason valaistusvoimakkuuden lisäksi käytetään puolisynterivalaistusvoimakkuutta. Valaistusluokka valitaan standardin SFS-EN 13201-2 taulukosta 5 ja esitetään rakennussuunnitelmassa. Pystysuorien pintojen korostusta varten käytetään suunnittelussa pystytason valaistusvoimakkuutta, jonka luokka valitaan standardin SFS-EN 13201-2 taulukosta 6 ja esitetään rakennussuunnitelmassa. Tilanteissa, joissa ei estohäikäisyn rajoittamiseksi TI -arvoa ei voida laskea, suunnittelu tehdään valovoiman määrän ja suuntauksen avulla. Tällöin käytetään standardia SFS-EN 13201-2 liitettä A ja tulos esitetään rakennussuunnitelmassa. (Tiehallinto 2006, 19.)

2.3 Valaistusteknilliset suureet

Tie- ja katuvalaistusta koskevia valaistusteknillisiä suureita ovat luminanssi, häikäisy ja valaistusvoimakkuus. Nämä suureet on otettava huomioon, kun valaistusta suunnitellaan ja rakennetaan.

Luminanssi (L) kuvaa valon voimakkuutta tien pinnalta, eli kuinka suuri valovoimakkuus on tiellä pinta-alaa kohti. Luminanssin mittayksikkö on kandela per neliömetri (cd/m^2). Tien luminanssi on koko ajoradan luminanssiarvojen aritmeettinen keskiarvo. Tällöin havaitsija sijoitetaan jokaisen kaistan keskelle, joiden pienin arvo mitoitetaan. Kun keskimääräistä luminanssia nostetaan, parantaa se näköetäisyyttä, parantaa havaitsemista, lyhentää reaktioaikaa sekä suhteellisen liikkeen arviointia. (Tiehallinto 2006, 14.)

Kuvassa 2 on esitetty Philips Selenium SON-TPP 70W –valaisimen tuottama luminanssi tien pinnalle 45 metrin pylväs välillä CalcuLuX Road –valaistuslaskentaohjelmalla laskettuna.



Kuva 2. Philips Selenium SON-TPP 70W –valaisimen tuottama luminanssi tielle. (Philips 2011.)

Häikäisyyn aiheuttaa valaisimen väärä asennus ja suuntaus, valaisimen valonjako ja asennuskorkeus, joka aiheuttaa epämukavuutta ja heikentää esteiden sekä kohteiden näkemistä. Valaisimissa häikäisyä pyritään estämään erilaisilla ratkaisuilla, kuten häikäisysojilla. (Tiehallinto 2006, 14.)

Kuvassa 3 on esitetty Philips Selenium –valaisin, jossa valonlähde sijaitsee syvällä valaisimen rakenteen sisällä siten, ettei tiellä liikkuja sitä voi havaita sivulta katsottuna ja häikäistyä.



Kuva 3. Philips Selenium –valaisin. (Philips 2011)

Valaistusvoimakkuus (E) kuvaa pinnalle tulevan valovirran määrää. Valaistusvoimakkuuden mittayksikkö on luxi (lm/m^2). Valaistusvoimakkuuksia käytetään tievalaistuksen laadunvalvonnassa. Luminanssi ja valaistusvoimakkuus lasketaan samoissa pisteissä. Jos vastaavissa pisteissä mitatut valaistusvoimakkuusarvot ovat samat kuin lasketut arvot, voidaan luminanssinkin olettaa täyttävän vaatimukset. (Tiehallinto 2006, 14.)

3 MÄÄRÄYKSET JA OHJEISTUS

Suomessa tie- ja katuvalaistukselle on asetettu standardeja ja ohjeistuksia, jotka valaistuksen tulee täyttää. Standardit ja ohjeistukset ohjaavat valaistuksen suunnittelua ja toteutusta. Keskeisimmät valaistusalan standardit ovat SFS-käsikirjassa 608.

Liikenneviraston (ent. Tiehallinto) suunnitteluohjeet noudattavat näitä valaistukselle asetettuja standardeja. Valaistuksen suunnittelussa voidaan myös käyttää Suomen Valoteknillisen seuran valaistussuosituksia sekä kunnallisteknisissä valaistuskohdeissa Suomen Kuntaliiton kunnallisteknisille töille annettua ohjeistusta ja Infrarakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia.

3.1 Valaistusteknillinen standardi SFS-EN 13201

Tievalaistukselle asetettuja vaatimuksia käsitellään standardeissa SFS-EN 13201-2 ja SFS-EN 13201-3. Standardissa SFS-EN 13201-2 määritellään valaistusluokat ja niiden valaistusteknillisiä vaatimuksia. Standardissa SFS-EN 13201-3 käsitellään valaistuslaskentaa. (SFS-käsikirja 608 2009.)

3.2 Sähkö standardi SFS 6000 ja urakointi

Suomalaiset sähköalan standardit perustuvat pääasiassa maailmanlaajuisiin (IEC) tai eurooppalaisiin (CENELEC) standardeihin. Sähköalalla keskeisiä standardeja ovat pienjännitesähköasennuksia koskeva standardisarja SFS 6000, joka perustuu IEC:n standardisarjaa IEC 60 364. Näitä standardeja sovelletaan tievalaistuksen sähkösuunnittelussa ja –urakoinnissa. (SFS-käsikirja 600-1 2012.)

Sähköstandardit löytyvät SFS -käsikirja 600-1 osa 1 (Pienjänniteasennukset) ja SFS –käsikirja 600-2 osa2 (Säädökset, työturvallisuus, erityisasennukset ja liittyvät standardit). SFS –käsikirja pitää sisällään myös SFS –käsikirjan 600-3 ja kokoelman sähköasennusten turvallisuutta koskevia standardeja. (SFS-käsikirja 600-1 2012.)

Tievalaistus urakointia koskee myös Kauppa- ja teollisuusministeriön 14. kesäkuuta 1996 antama sähköturvallisuuslaki (410/96) sähköalan töiden ammattitaitovaatimukset, jossa on määritelty urakointioikeudet ja ammattipätevyys vaatimukset (Sähköturvallisuuslaki 410/1996.)

Tie- ja katuvalaistuksen urakoinnissa vaaditaan usein sähköpätevyys 1 (12 §) , vaikka sähköpätevyys 2 (13 §) täyttää sähköteknisen pätevyyden. Pätevyyden myöntää Henkilö ja yritysarviointi SETI Oy tietyin edellytyksin. Lisäksi tievalaistuksen parissa työskentelevien, tulee suorittaa SFS 6002 –sähköturvallisuuskoulutus ja se koskee kaikkia sähköitä tekeviä, mukaan luettuna työnjohto-, käyttö- ja asiantuntijatehtävissä työskenteleviä henkilöitä. Koulutus on pakollinen ja se on uusittava viiden vuoden välein. (Sähköturvallisuuslaki 410/1996; SETI Oy).

3.3 Kunnallisteknisten töiden yleinen työselostus 02

Kunnallisteknisten töiden yleinen työselostus 02 (KT 02) on Suomen Kuntaliiton julkaisema ohjeistus kunnallisteknisistä maanrakennustöistä, joihin myös tie- ja katuvalaistuksen rakentaminen kuuluu. Tie- ja katuvalaistus töiden osalta ohjeistus on luvussa 28000. (KT 02 2002.)

Luku 28000 pitää sisällään valaistus- ja kaapelikaivantoihin-, jakokaappeihin, kaapelikaivoihin-, pylväisiin- ja pylväsjalustoihin liittyvän ohjeistuksen sekä kaapelien vetoa ja asennusta koskevan ohjeistuksen. Ohjeistus sisältää myös työmaan viimeistelyyn liittyviä ohjeistuksia. (KT 02 2002.)

3.4 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset

Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset (InfraRYL) sisältää teknisten järjestelmien kuten vesihuollon-, sähköjakelujärjestelmien ja valaistusrakenteiden tekniset vaatimukset. Teknisiä vaatimuksia käytetään rakennusosien ja työvaiheiden laatua määrittäessä ja todettaessa. Ne määrittelevät rakenteiden valmistumishetken vaatimuksia. InfraRYL otetaan käyttöön hankekohtaisesti suunnittelua ja rakentamista koskevien tarjouspyyntöjen kautta. (InfraRYL 2006.)

InfraRYL ei ole virallinen määräys, mutta sitä käytetään työn tilaajan ja urakoitsijan välisissä sopimuksissa yleisesti sitovaksi laatumäärittelyksi. Kun viitataan suunnitelmassa InfraRYL:in yksilöityyn kohtaan, saadaan sen määräykset voimaan hankkeessa. InfraRYL myös määrittelee niin sanotun hyvän rakennustavan minimi vaatimukset. InfraRYL:n valaistusrakenteiden tekniset vaatimukset korvaa valaistusrakenteiden vaatimusten osalta Suomen kuntaliiton Kunnallisteknisten töiden yleisen työselostukset 02. (InfraRYL 2006.)

Edellä mainittujen määräysten ja ohjeiden lisäksi kunnallisissa tie- ja katuvalaistus koh-teissa voidaan antaa yksityiskohtaisempia ohjeita arkkitehtuurillisesta ilmeestä, mm. valaisimen ja pylvaiden väristä sekä pylvaiden ja valaisinvarsien muodosta. Kuvassa 4 on Tornion Länsirannan katuvalaistusta. Pylväiden muoto kuvaa Tornionjokea (Joki-pylväs).



Kuva 4. Tornion Länsirannan katuvalaistus.

3.5 Liikenneviraston tievalaistus työmaat

Liikenneviraston tievalaistus hankkeissa käytetään ohjeena tievalaistuksen tarpeen arvi-oinnissa ja tievalaistuksen suunnittelussa Tiehallinnon julkaisua Tievalaistuksen suunnittelu 2006. Julkaisua voidaan käyttää laatuvaatimuksena urakassa, johon kuuluu tien tai tievalaistuksen suunnittelu ja rakentaminen. (Tiehallinto 2006.)

Tiehallinnon julkaisussa käsitellään tievalaistusta laajasti arvioiden tievalaistuksen tarpeellisuutta, valaistusteknillisiä vaatimuksia, yleisiä teitä taajamissa ja niiden ulkopuo-llella, autoliikennetunnelien valaistusta, suunnittelua, valaistussuunnitelmia sekä materi-aalien hankintoja. (Tiehallinto 2006.)

Tievalaistuksen tarpeellisuutta arvioidaan liikenneturvallisuuden näkökulmasta ja erilaisilla kannattavuuslaskelmilla, kuten tievalaistuksen liikennetaloudellisella kannattavuudella ja saneerauksen kannattavuuslaskelmilla. (Tiehallinto 2006, 8-13.)

Valaistusteknisissä vaatimuksissa käsitellään valaistusteknillisiä suureita, valaistusluokkia sekä niiden valintaa, häiriövaloa, häiritsevää sivuvaloa, maisema- ja julkisivuvalaistuksen suosituksia. Julkaisun valaistustekniset vaatimukset perustuvat SFS-EN 13201-2 standardiin. (Tiehallinto 2006, 14-27.)

Taajamien ulkopuolisten yleisten teiden valaistuksessa käsitellään valaistus ratkaisun valintaa, käydään läpi hoitokustannus laskelmia sekä erilaisia valaistavia tiealueita, kuten rampeja, rampeja jne. (Tiehallinto 2006, 28-57.) Taajamien yleisten teiden valaistuksessa käsitellään valaistuksen lähtökohdat, tie- ja katuverkostoa, valaistustapoja eri kohteissa sekä valaistulaitteita. (Tiehallinto 2006, 58-66.)

Autoliikennetunneleiden valaistus vaatimuksissa käsitellään tunnelivalaistuksen yleiset periaatteet, sekä pitkän ja lyhyen tunnelin-, poistumisalueen- ja turvavalistus. Lisäksi tässä luvussa käsitellään optista ohjausta, valaisimien ja lamppujen vaatimuksia sekä kannatinrakenteiden vaatimuksia ja tunnelivalaistuksen ohjausta. (Tiehallinto 2006, 67-76.)

Suunnittelu luvussa käydään tievalaistuksen suunnittelun periaatteet, miten tievalaistuksen suunnittelussa määritellään oikea ja kokonaisvaikutuksiltaan edullisin valaistusratkaisu. Tämä käsittää valaistustekniikan-, pylväiden- ja perustuksien valinnan sekä sähkötekniillisen suunnittelun ja erilaiset kustannuslaskelmat valaistuksen ylläpitoon liittyen. (Tiehallinto 2006, 77-110.)

Valaistus suunnitelmassa käsitellään tie- ja katuvalaistuksen tarveselvityksen tekemistä, joka sisältää yleensä kaupunkiseudun, kaupungin tai kunnan valaistuksen kehittämisen ja parantamisen perusteet. Tarveselvitys sisältää esimerkiksi nykyiset lähtökohdat, tavoitteet, valaistusperiaatteet, suunnitelman, myöhemmät suunnitteluvaiheet, selvityksen valaistuksen parantamisesta, -saneerauksesta, -kunnossapidosta sekä jatkotoimenpiteistä. (Tiehallinto 2006, 111-112.)

Valaistussuunnitelmassa käsitellään lisäksi yleissuunnitelman tekemistä taajaman, kaupunginosan tai tien valaistuksesta. Tiesuunnitelmaan liitettävällä valaistusta koskevalla piirustuksella varmistetaan tievalaistuksen toteuttamismahdollisuus sekä vuorovaikutus muihin tierakenteisiin ja ympäristöön. Tievalaistuksen rakennussuunnitelma on valaistustietoihin perustuva tiekohtainen suunnitelma, joka kuvaa työn lopputulosta ja toimii työsuunnittelu lähtöasiakirjana. (Tiehallinto 2006, 112-113.)

Hankintatavoissa käsitellään yksityiskohtaisesti tievalaistuksen kolmea eri hankintatapaa, joissa rakennuttaja tekee tai teettää tarkan suunnitelman, rakennuttaja laatii ”tiesuunnitelman valaistustiedot” –nimisen asiakirjan tai rakennuttaja hankkii valaistuspalvelua ja mitä näihin kolmeen hankintatapaan sisältyy. (Tiehallinto 2006, 114-115.)

Tiehallinnon julkaisu Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset - Tievalaistus 2007, annetaan laatuvaatimukset tievalaistuksen rakentamiseen. Julkaisua voidaan soveltaa myös, kun Tiehallinto ei ole erikseen antanut määräyksiä Tiehallinnon asettamista tuotevaatimuksista. Liikenneviraston valaistushankkeissa voidaan käyttää laatuvaatimuksena myös InfraRYL valaistusrakenteiden teknisiä vaatimuksia. (Tiehallinto 2007.)

4 SUUNNITTELU

4.1 Yleistä

Tievalaistuksen suunnittelussa pyritään määrittelemään oikea sekä kustannus- ja energiatehokkain ja pitkän elinkaaren omaava valaistusratkaisu kullekin tiealueelle valaistusteknillisten vaatimusten ja valaistusperiaatteiden mukaisesti. Suunnittelussa on useita vaiheita ja tehtäviä sekä eriasteisia suunnitelmia. Suunnitelmat liittyvät kiinteästi muuhun tiensuunnitteluun tai ne laaditaan olemassa olevalle tielle erillistä valaistushanketta varten. (Tiehallinto 2006, 77.)

Tievalaistuksen suunnittelussa ensimmäinen vaihe on tarve selvitys. Tarve selvityksessä valaistuksen tarve analysoidaan. Tiehankeen tarveselvitys sisältää valaistusosan. Mikäli kyseessä on uusi valaistuskohde olemassa olevalle tielle, toimenpide ja sen kannattavuus tarkistetaan valaistuksen tarveselvityksellä. (Tiehallinto 2006, 111.)

Valaistuksen yleissuunnitelma tehdään taajaman, kaupunginosan tai tien valaistukseen. Se sisältyy koko tien yleissuunnitelmaan. Perinteisissä tievalaistuskohdeissa yleissuunnitelmaa ei tarvita. Tällöin sitä vastaavat näkökohdat esitetään tiesuunnitelman valaistustiedoissa. (Tiehallinto 2006, 112.)

Tiesuunnitelmaan liitettävässä piirustuksessa määritellään valaistavat tienosat (kartta 1:10 000 tai 1:20 000), valaistusluokka, valolaji, pylväslaji sekä kaapelointi, valaistustyyppi, asennuskorkeus ja laskennallisten hoitokustannusten referenssiarvo. Tiesuunnitelman valaistustiedot asettaa urakkaan sisältyvän rakennussuunnitelman lähtökohdaksi ja tavoitteeksi rakennuttaja tai tilaaja. (Tiehallinto 2006, 113.)

Tievalaistuksen rakennussuunnitelma on rakentamisen perusasiakirja, jonka tarkoitus on kuvata työn lopputulosta ja toimii työnsuunnittelun lähtöasiakirjana. Sen teettää rakennuttaja tai tilaaja, joka tekee itse tai teettää perusteellisen ja tarkan rakennussuunnitelman sekä siihen liittyvät sopimusasiakirjat. (Tiehallinto 2006, 113.)

Rakennussuunnitelma sisältää:

- työkohtaiset laatuvaatimukset ja selostukset
- työpiirustukset
- määräluettelot
- yleiset laatuvaatimukset ja selostukset.

(Tiehallinto 2006, 113.)

Rakennussuunnitelmaa varten rakennuttaja tai tilaaja itse tai ulkopuolinen suunnittelija, selvittää tiealueella kulkevien valokuitukaapelien, sähkökaapelien, viemärien ja lämpöputkien sijainnit sekä hankkii sijoitusluvan tiealueen omistajalta. Lisäksi tehdään kustannusarvio hankkeesta, jotta määräraha voidaan varata budjetissa. (Tiehallinto 2006, 113.)


4.2 Lamput

Suomessa tievalaistuksessa käytetään valonlähteinä yleensä erilaisia kaasupurkauslamppuja, kuten suurpainenatrium-, monimetalli- ja elohopeahöyrylamppuja. Niiden etuna on suuri valotehokkuus ja pitkä polttoikä. LED –valaisimet ovat yleistyneet kovaa vauhtia tievalaistuksessa. Ne ovat kehittyneet kovasti viime vuosina ja ne ovat nopeimmin kehittyvä valonlähde.

Lamppujen tärkeimmät ominaisuudet valaistuksen kannalta ovat valovirta, valotehokkuus (lm/W liitäntälaitteineen), hyötypolttokä (h), kuolleisuus, valovirran alenema (%), valon ja värin toisto, valon suunnattavuus sekä hinta. Valon värillä on merkitystä lähinnä ympäristön viihtyvyyden kannalta. Valon värillä on merkitystä myös jossakin määrin havaitsemisessa ja häikäisyssä. (Tiehallinto 2006, 77.)

Valaisimiin suositellaan liimattavan valonlähteestä kertova tarra huoltotyön helpottamiseksi. Taulukossa 6 on esitetty suositusten mukaiset tunnistintarrat.

Taulukko 6. 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

4.2.1 Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlamppuja käytetään yleisesti kaikilla teillä ja kaduilla ja niitä pidetäänkin kustannustehokkaimpina katuvaloina. Ne ovat hankintahinnaltaan edullisia ja valaistusominaisuuksiltaan tehokas. Suurpainenatriumlamppujen tuottama valo on keltävää, jonka takia kohteiden värit vääristyvät, mutta tavalliset esteet ovat havaittavissa yhtä hyvin kuin valkoisessa valossa. Suurpainenatriumlamppu tuottaa 70-150 lm/W valotehon. (Tiehallinto 2006, 78.)

Syttyessään suurpainenatriumlamppu saavuttaa lopullisen värin muutaman minuutin aikana vähitellen. Suurpainenatriumlampun toiminta perustuu siihen, että natriumhöyry lähettää näkyvää valoa. Suurpainenatriumlamppu tarvitsee kuristimen ja sytyttimen. Tievalaistuksessa yleisesti käytössä olevat suurpainenatriumlamppujen elinikä on 16 000 - 30 000 tuntia.

4.2.2 Monimetallilamppu

Monimetallilamppu on purkauslamppu, jonka valontuotto perustuu sen purkausputkessa käytettyyn useiden eri metallien seokseen. Lamppu on samankaltainen kuin elohopeahöyrylamppu, mutta sen tuottama valo on puhtaamman valkeaa ja värientoistokyky parempi. Monimetallilamppu tuottaa 75-125 lm/W valotehon. (Sippola 2010; Rantakallio & Ylinen 2011; Tiehallinto 2006.)

Monimetallilamppuja on kahta eri tyyppiä, kvartsilasisia ja keraamisia. Keraamisten lamppujen tekniikka on uudempaa ja halvempaa kuin kvartsilasisien lamppujen. Niiden etuna on, että ne säilyttävät valovirtansa ja värisävynsä hyvin koko elinikänsä ajan ja niiden valotehokkuus on vastaavia kvartsilasisia malleja parempaa. (Sippola 2010; Rantakallio & Ylinen 2011; Tiehallinto 2006; Honkanen 2009.)

Monimetallilamppuja ei käytetä kovin laajasti tievalaistuksessa lähinnä hinnan takia, joka on noin kolminkertainen suurpainenatriumlamppuihin verrattuna. Sitä käytetäänkin lähinnä puistojen, kaupunkikeskusten, torien ja aukoiden valaisemisessa, missä luonnollinen valon väri ja värintoistokyky ovat tärkeitä valaistuksen ilmeen ja viihtyvyyden kannalta. (Tiehallinto 2006, 79.)

Kvartsilasissa monimetallilampuissa on räjähdysvaara, koska ne toimivat suuressa paineessa. Keraamisilla monimetallilampuilla ei tällaista vaaraa juuri ole, mutta ne alkavat vuotamaan kupuun saaden sen sisäpinnan mustaksi. (Honkanen 2009.)

Monimetallilamppu tarvitsee suurpainenatriumlampun tapaan kuristimen ja sytyttimen syttyäkseen. Lamppuja voidaankin käyttää samoissa valaisimissa, mikäli niissä on sama kanta. Tievalaistuksessa käytössä olevien monimetallilamppujen elinikä on 12 000 – 30 000 tuntia.

4.2.3 Elohopeahöyrylamppu

Elohopeahöyrylamppu on yksi yleisimmistä lampputyypeistä Suomessa. Elohopeahöyrylamppu on kaasupurkauslamppu, joka tuottama valo syntyy sähköpurkauksista elohopeahöyryn ja loisteaineen avulla. Elohopeahöyrylamput ovat tuntuvasti halvempia hankintahinnaltaan, mutta ne ovat lyhytikäisempiä ja ne kuluttavat enemmän sähköä valovirran tuottamiseen kuin suurpainenatriumlampun. Elohopeahöyrylamppujen tuottama valo on valkoista. (Tiehallinto 2006, 78.)

Elohopeahöyrylampun virtaa rajoitetaan kuristimella. Erillistä sytytintä ei elohopeahöyrylamppu tarvitse toisinkuin suurpainenatrium- ja monimetallilampun. Tievalaistuksessa käytössä olevat elohopeahöyrylamppujen elinikä on 12 000 - 16 000 tuntia. Elohopeahöyrylamppujen valotehokkuus on noin 45-55 lm/W. (Tiehallinto 2006, 78.)

Euroopan energiatehokkuusdirektiivin (EuP) myötä elohopeahöyrylamput ovat poistumassa lähi vuosina käytöstä eikä uusia elohopeahöyrylamppu valaisimia enää asenneta uusiin tievalaistuskohteisiin. Vanhatkin valaisimet poistuvat käytöstä lähivuosina, sillä EuP-direktiivin myötä elohopeahöyrylamppujen myynti loppuu vuonna 2015. (Rantakallio & Ylinen 2011.)

4.2.4 LED (Light-Emitting Diode)

LED –tekniikka on nopeimmin kehittyvä valonlähde. LED –valaisimien tuotekehitykseen on panostettu paljon viimeisten vuosien aikana. Markkinoille on tullut erilaisiin kohteisiin sopivia LED –valaisimia, mutta niiden laadussa ja hinnoissa on suuria eroja.

Ledit ovat pienikokoisia ja mekaanisesti kestäviä sekä kevyitä. Lisäksi ne ovat pieni tehoisia, kirkkaita, erittäin pitkä ikäisiä ja sopivia mille tahansa valaisimen muodolle sekä materiaalille. Poikkeuksena muille tievalaistustekniikoille se ei ole purkausvalaisin. LED on puolijohdekomponentti, jonka läpi johdettu sähkövirta saa komponentin säteilemään valoa.

Tievalaistukseen ensimmäiset LED –valaisimet tulivat 2000-luvun puolessa välissä. Aluksi tekniikka oli epäluotettavaa ja kallista, mutta nykypäivänä laatu on parantunut huomattavasti ja hinta halventunut. LED –valaisimet ovat edelleen kalliimpia suurpainenatrium- ja monimetallilamppuihin verrattuna. LED –valaisimien etuina ovat valon värin ominaisuudet ja nopea syttyminen. Nopea syttyminen mahdollistaa kulunvalvonnan mukaisen sytytyksen, jossa ei muuten tarvita pitää valaistusta päällä.

Ledit tuottavat nykyään 60-120 lm/W valontehon. Tievalaistuksessa käytettävien LED –valaisimien eliniäksi annetaan 60 000 – 100 000 tuntia, jolloin niiden alkuperäisestä valotehosta on jäljellä 70-80 prosenttia. LED –valaisimien liitäntälaitteiden elinikä tosin on noin 50 000 tuntia, joten niitä joudutaan todennäköisesti huoltamaan ledejä aikaisemmin. LED –valaisimien etuina ovat valon värin ominaisuudet ja nopea syttyminen. Nopea syttyminen mahdollistaa kulunvalvonnan mukaisen sytytyksen, jossa ei muuten tarvita pitää valaistusta päällä. (Rantakallio & Ylinen 2011.)

4.2.5 Valonlähteiden ominaisuudet

Valonlähteiden ominaisuudet on taulukossa 7. Ominaisuudet ovat riippuvaisia valonlähteestä, tehosta ja mallista. taulukosta nähdään, että valotehokkuus, polttoaika ja värin-toistoindeksi ovat heikoimmat elohopeahöyrylamppuilla. Paras valotehokkuus on suurpainenatriumlampuilla ja paras polttoaika on LED –valaisimilla. Värin-toistoindeksiltään paras on monimetallilamppu.

Taulukossa 8 on esitetty valon väriä ja sen ihmiselle antamaa värivaikutelmaa. Värilämpötilaltaan 3500 kelvinin valon antaa monimetalli- ja elohopeahöyrylamppu, josta ihminen saa lämpimän valo vaikutelman. Suurpainenatriumlamppu antaa sitä matalamman värilämpötilan. LED tuottaa värilämpötilaltaan neutraalin tai kylmän väri vaikutelman.

Taulukko 7. Valonlähteiden ominaisuudet. (muokattu Tiehallinto 2006, 78.)

Valonlähde	Valotehokkuus lm/W	Värilämpötila K	Polttoaika x1000h	Värintoistoindeksi Ra
Elohopeahöyry	45-55	3200-4200	12	50
Monimetalli	75-125	3000-4200	12-30	90
Suurpainenatrium	70-150	2000-2200	16-48	20
LED	60-120	4000-6000	50-100	70

Taulukko 8. Valon värivaikutelma. (Tiehallinto 2006.)

K	Valon väri	Värivaikutelma
3500	Lämmin valkoinen	Lämmin
4500	Valkoinen	Neutraali
5500	Päivänvalo	Kylmä

4.3 Valaisimet

Valaisimen pääasiallinen tehtävä on suunnata lampun valo hyvällä hyötysuhteella ajoradalle ja sen lähi ympäristöön sekä suojata lamppua vaurioilta, joita voivat aiheuttaa mm. ilkivalta, pölyntyminen, sää olosuhteet, korroosio, värinä ja ilman epäpuhtaudet.

Valaisimet voidaan jakaa eri tyyppeihin esimerkiksi käyttötarkoituksen, lampputyypin, rakenteen, asennustavan tai valonjako-ominaisuuksien mukaan. Valaisimen käyttötarkoituksena voi olla valaista katua, liikennemerkkiä, tunnelia, siltaa tai aukiota, jolloin valaisintyyppi tulee valita sopivasti. Joskus tarkoituksenmukaista on käyttää valonheitintä tai epäsuoran valaistuksen kalustetta. Valaisin valitaan siten, että valaistusteknilliset vaatimukset täyttyvät ja valaisimen valonjako-ominaisuudet soveltuvat kohteeseen mahdollisimman taloudellisella tavalla. (Tiehallinto 2006, 80.)

4.3.1 Valaisimen rakenne vaatimukset

Valaisimien tulee olla lujia, tiiviitä, korroosionkestäviä, ilkivaltaa kestäviä, sekä helposti asennettavia ja huollettavia, kotelointiluokka IP 65 (pölyn ja suihkuveden pitävä). Valaisimien $\cos \phi$ tulee olla kompensoituja vähintään arvoon 0,9 ja ne tulee varustaa laitteella, joka mahdollistaa huoltotyöt jännitteettömänä (huoltokytkin). Ilkivaltalukuutus (IK) löytyy standardissa EN 50102, jossa määritellään valaisimen kestävä iskuenergia. Luokituksen skaala on 0-10. Luokan IK 10 kestää ilkivaltaa melko hyvin ja luokan IK 00 ei kestä ilkivaltaa ollenkaan. Markkinoilla on valaisimia, joiden ilkivalta luokitus ylittää standardin luokituksen, jopa IK 16. Lisäksi valaisimen tulee olla muodoltaan sellainen, että tuulikuorma tulee olla mahdollisimman pieni. Lisäksi valaisimien tulee olla CE –merkittyjä. (Tiehallinto 2006, 80.)

4.3.2 Asennus ja kaapelointi

Valaisimet tulee sijoittaa kohtisuoraan tietä vasten. Valaisimet sijoitetaan siten, että heijastuskuviot tulevat pääosin ajoradalle. Valaistusteknillisesti ja ulkonäkösyistä asennuskorkeus on yleensä samaa suuruusluokkaa kuin valaistavan tien leveys. Asennuskorkeuden tulee taajamateilla olla oikeassa suhteessa viereisten rakennusten keskimääräiseen korkeustasoon. Poikkeuksena ovat suurjännitelinjoiden läheisyydessä ja kiitoratojen jatkeella, joissa asennuskorkeus on oltava kohteen mukainen. Suuremmilla asennuskorkeuksilla valaisin voi olla kauempana ajoradan ulkopuolella. Valaisimen tulee sijaita keskempänä tietä, mitä symmetrisempi on valonjako. Nykyiset valaisimet on suunniteltu yleensä enintään 5 asteen kulmalle. (Tiehallinto 2006, 81.)

Valaisimen syöttö johtona on MMJ tai MPK-kaapeli tai MKEMP –johtot, joiden poikkipinta-ala on $2,5 \text{ mm}^2$. Kuvissa 5-7 on esitetty MMJ ja MPK –kaapeleiden sekä MKEMP –johtimen rakenne.

Johdot mitoitetaan standardin SFS 6000 mukaisesti siten, ettei niiden kuormitusvirta ylitä käytetyn sulakkeen nimellisvirtaa silloin, kun sulake on johdon ainoa suoja. Tällöin sulake toimii ylikuormitus ja oikosulkusuojana. (Tiehallinto 2006, 98.)



Kuva 5. MMJ –kaapelin rakenne. (Kajote Oy 2013.)



Kuva 6. MPK –kaapelin rakenne. (Kajote Oy 2013.)



Kuva 7. MKEMP –johtimen rakenne. (Kajote Oy 2013.)

4.4 Valaisinvarret

Valaisinvarret on valmistettu teräksestä ja ne galvanoidaan. Valaisinvarret, kuten myös metallipylväät, voidaan pulveri maalata RAL –väreillä. Metallipylväissä on yleensä kiinteä valaisinvarsi. Puupylväissä valaisinvarret asennetaan kyseistä pylvästyyppiä vastaavaksi ja asennuskorkeuden mukaan määritellään varren pituus (ulottuma).

Valaisinvartta ei tarvita, jos kyseessä on lyhyt ja metallinen ns. puistopylväs. Tällöin valaisin asennetaan suoraan pylvääseen suoraan tai erillisen adapterin avulla. Puupylväiden valaisinvarsien tulee olla standardin SFS 5559 mukaisia, joissa varsikulma on 5 –astetta. Taulukossa 9 on esitetty suositellut varsipituudet eri pylväs korkeuksille.

Taulukko 9. Suositellut varsipituudet. (Tiehallinto 2006, 81.)

Asennuskorkeus (H _A) m	Varren ulottuma (V _u) m
6	0
8	0; 1,5
10	0; 1,5; 2,5
12	0; 1,5; 2,5; 3,0
13,5	0; 1,5; 2,5; 3,5
15	0
18	0
20	0

4.5 Pylväät

Suomessa tievalaistuksessa käytetään metalli- ja puupylväitä. Metallipylväät ovat kestäviä ja helppoja asentaa. Hankintahinnaltaan ne ovat kalliimpia kuin vastaavat puupylväät. Metallipylväät tarvitsevat jalustan, joka on yleensä betoninen ja ne kaapeloidaan yleensä maakaapelilla. Metallipylväitä käytetään pääasiassa taajamissa.

Puupylväät ovat hankintahinnaltaan halvempia. Ne voidaan pystyttää suoraan maahan tai käyttää teräspaalujalustaa. Jalustan käyttö lisää puupylvään kestävyyttä, kun pylväs ei ole altis maan kosteudelle. Puupylväät kaapeloidaan joko maakaapelilla tai ilmakaapelilla.

Teillä, joissa on suuret nopeudet ja liikennemäärät suuria, käytetään törmäysturvallisia pylväitä. Metallipylväät ovat joko myötääviä tai törmäystilanteessa pois siirtyviä. Myötäävät pylväät taipuvat törmäyksessä auton alle minimoiden vahinkoja. Pois siirtyvissä pylväissä jalustan ja pylvään laippojen välissä oleva metallinen tai muovinen ns. liukulaippa rikkoontuu törmäyksen voimasta, jolloin henkilövahinkojen mahdollisuus minimoituu pylvään liukuessa pois edestä. Kuvassa 8 on metallipylvään liukulaippa ja kuvassa 9 myötäävä metallipylväs törmäyksen jälkeen.



Kuva 8. Metallipylvään liukulaippa.



Kuva 9. Myötävä metallipylväs törmäyksen jälkeen.

Törmäysturvallisuutta on puupylväissä parannettu kovertamalla puupylvään tyveä ontoksi, jolloin pylväs katkeaa törmäys tilanteessa. Nykyään puupylväiden törmäysturvallisuutta parannetaan käyttämällä myös metallipylväissä pylväiden liukulaippa tekniikkaa. Ajoneuvojen törmäykset pylväisiin voidaan myös estää käyttämällä kaiteita. Kuvassa 10 on törmäysturvallinen, koverrettu puupylväs törmäyksen jälkeen.



Kuva 10. Koverrettu puupylväs törmäyksen jälkeen.

4.6 Jalustat

Jalustoina metallipylväille käytetään betonisia jalustoja, jotka on valmiiksi mitoitettu eri pylväskorkeuksille. Markkinoilla on nykyään saatavilla teräsjalustoja puistopylväisiin, joiden enimmäispituus on 12 metriä.

Liikennevirasto on määritellyt betonisille jalustoille laatuvaatimukset, joissa määritellään betonin laatu ja raudoitteet. Puupylväs asennuksissa voidaan käyttää törmäysturvallista teräspaaluperustusta, johon pylväs asennetaan liukulaipan ja pylvääseen asennettavan metalliadapterin avulla kiinni.

4.7 Pylväskalusteet

Pylväskalusteessa tehdään valaisimen kytkentä sähköverkkoon ja ketjutetaan syöttö seuraavalle pylväälle. Pylväskalustetta voidaan käyttää kaikkiin teräs- alumiini- tai puupylväillä toteutettujen katuvalaistusten asennuksiin, joissa kaapelointi on tehty maakaapeleilla.

Kalustesarja sisältää yleensä neljä 4-napaista KO-liitintä vaihe- ja nollajohtimelle sekä yhden 6-napaisen KO-liittimen maadoitusjohtimille, joihin voidaan liittää alumiinijohtimia 10 - 35 mm² tai kuparijohtimia 1.5 - 25 mm². Kalustesarja sisältää myös varokapesän, joka on varustettu 10A pohjalla, 10 A sulakkeella ja kannella. Metallipylväissä käytetään pylväskalusteena esimerkiksi SV 15.115 (Kuva 11) ja puupylväissä SK 160.1 –valaisinpylväskaappia, joka sisältää pylväskalusteet SV 15.115. (Alltube.fi 2014.)



Kuva 11. Pylväskalustesarja SV 15.115. (Alltube.fi 2014)

4.8 Kaapelit

Tievalaistuksessa käytetään pääasiassa alumiinijohtimisia kaapeleita, jotka ovat hankintahinnaltaan kuparisia kaapeleita halvempia. Maakaapeleissa yleisesti käytettyjä kaapelityyppejä ovat kolmivaiheinen AXMK tai AMCMK, poikkipinta-alaltaan 16...35 mm². Ilmakaapeleina käytetään AMKA-tyyppistä riippukierrekaapelia. Erikoistapauksissa käytetään ulkovalaistukseen tarkoitettuja erikoiskaapeleita, kuten AMCMK 4x35Al+16Al/10Cu tai AMKA 4x35+16+50, jos tarvitaan kaksoiskuristin- ja vyöryntäohjaus. Kuvissa 12-14 on esitetty maakaapeleiden AXMK ja AMCMK sekä AMKA riippukierrekaapelin rakenne.

Kuva 12. AXMK-maakaapeli. (Sähkönumerot.fi)



Kuva 13. AMCMK-maakaapeli. (Kajote Oy 2005.)



Kuva 14. AMKA-riippukierrekaapeli (Sähkönumerot.fi, 2014)



4.9 Keskukset

Tievalaistus keskukset ovat pylvääseen asennettavia tai erillisellä jalustalla maahan asennettavia keskuksia. Keskukset voivat sijaita myös muuntamoissa. Maahan asennettavat keskuksia kutsutaan maajakokaapeiksi ja pylvääseen asennettuja kotelokeskuksiksi. Kuvassa 15 on perinteinen maajakokaappi ja kuvassa 16 pylvääseen asennettu keskus.



Kuva 15. Tievalaistuksen maajakokaappi.



Kuva 16. Tievalaistuksen pylväs keskus.

Jakokaapin laitteet sekä kojeet tulee koteloida ja kotelointiluokka tulee olla vähintään IP 34 (roiskevedenpitävä), kun kaapin ovi avataan. Jakokaapin rakenteen tulee mahdollistaa riittävä ilmanvaihto. Tievalaistuskeskuksen tehtävä on tievalaistuksen sähköistys sekä ohjaus. Tievalaistus keskuksessa voi olla yksi tai useampi tievalaistus ryhmä. Keskuksessa on yleensä varustettu omalla mittauksella, valaistusryhmiä suojaavilla sulakkeilla sekä niitä ohjaavilla kontaktoreilla. Keskuksessa voi olla ohjausjärjestelmä yksikkö.

Keskuksen sulakkeet ja johdonsuojakatkaisijat mitoitetaan vähintään 1,3-kertaiseksi lamppujen syttymisvirtaan verrattuna. Liikenneviraston keskuksien ryhmä sulakkeet tulee toteuttaa tulppasulakkeilla, koska johdonsuojakatkaisimet ovat alttiita laukeamaan liikenteen aiheuttaman tärinän takia. Kuntien valaistuskeskusten ryhmäsulakkeet voidaan toteuttaa johdonsuojakatkaisimilla, kun teiden liikennemäärät ja nopeudet ovat pieniä.

4.10 Tievalaistuksen ohjaus

Tievalaistusta voidaan ohjata pääasiassa neljällä eri vaihtoehdolla. Näitä ohjaustapoja ovat paikallisohjaus, ketjutus, keskitetty ohjaus ja älykäs ohjaus. Paikallisohjauksen ohjauksen tekee hämärä- tai kellokytkin valoisuuden muuttuessa sytyttäen tai sammuttaen valaistuksen.

Ketjutuksessa isäntäkeskuksen (master) ohjaus siirretään ohjauskaapeleiden kautta useisiin orjakeskuksiin (slave). Keskitettyä ohjausta käytetään silloin, kun halutaan saada tievalaistus syttymään samanaikaisesti yhdessä paikassa.

Älykäs ohjaus on yleistynyt MELKO-verkkokäsky-laitejärjestelmän poistuessa käytöstä, joka on ollut paikallisten sähkölaitosten vastuulla. Älykäs ohjausjärjestelmä on kiinteistöautomaatio logiikoista kehitetty ohjausjärjestelmä, joka lähettää ja vastaanottaa tietoja GSM-verkon tai radioverkon avulla.

Markkinoilla on nykyään useita älykkäiden ohjausjärjestelmien valmistajia, kuten Caverion Oy (Pyramide), C2 Smartlight Oy (C2 Smartlight Street) ja Ouman Oy (Ouman Lux). Kuvassa 17 on Caverion OY:n Pyramide –ohjausjärjestelmä asennettuna katuvalaistuskeskukseen.



Kuva 17. Pyramide –ohjausjärjestelmä keskuksessa

4.11 Tievalaistuksen sähkösuunnittelu

Tievalaistusverkon sähkö suunnittelussa pyritään mahdollisimman tasaisesti kuormitettuun symmetriseen 3–vaiheverkkoon. Samaa periaatetta käytetään sähköverkkojen suunnittelusta. Tällöin valaisimet ryhmitellään vuorotellen eri vaiheille, esimerkiksi L1, L2, L3, L1, L2, L3, L1 jne. Mikäli käytetään vaihesammutusta, ryhmittelyssä on otettava huomioon vilkkaasti liikennöityjen risteysalueiden valaistus, että ne jäävät palamaan mahdollisen yö ajan sammutusjakson aikana. (Tiehallinto 2006, 96.)

Valaistusryhmien syöttökaapelointi tulee aina tehdä kolmivaiheisena symmetrisen vaihevuorottelun takia. Paikoin on pieniä valaistusryhmiä johdotettu yksivaiheisena ketjuun. Tällöin yösammutus aikana tai vikatilanteessa (sulake palanut tms.), sammuvat kaikki vaiheella olevat tiealueen lamput.

5 ENERGIATEHOKKUUS JA LASKENTA

5.1 Ecodesign direktiivi

Kioton ilmastopimuksen myötä Suomi sitoutui vuonna 1990 energian kulutuksen vähentämiseen. Kansallisesti tämä tarkoittaa 9 % energiansäästö tavoitteet vuosien 2008-2016 väliselle ajanjaksolle vuoden 2005 tasosta. (Sippola 2010, 25; Ecodesign direktiivi 2005/32/EY.)

Euroopan unioni on säätänyt useita direktiivejä, joiden perusteella komissio on tehnyt asetuksia ja suosituksia tavoitteeseen pääsemiseksi. EU on myös säätänyt monia sähkölaitteita koskevia ympäristövaikutus direktiivejä ja asetuksia. (Sippola 2010, 25; Ecodesign direktiivi 2005/32/EY.)

Direktiivin myötä EU asettaa selkeät tavoitteet ja aikataulun jäsenmaille. Kukaan jäsenmaa päättää itsenäisesti, miten ne kansallisella tasolla lainsäädännössään toteuttaa. Asetus tulee voimaan kaikissa jäsenmaissa samanaikaisesti. (Sippola 2010, 25; Ecodesign direktiivi 2005/32/EY.)

Tievalaistukseen suurin vaikutus on Ecodesign -direktiivin (2005/32/EY) toimeenpanoasetuksilla, jonka ansiosta tie- ja katuvalaistuksessa yleisesti käytössä olevat elohopeahöyrylamput poistuvat myynnistä Euroopan Unionin alueelta. (Sippola 2010, 25; Ecodesign direktiivi 2005/32/EY.)

Ecodesign -direktiivi eli Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2005/32/EY on hyväksytty vuonna 2005 ja sitä kutsutaan myös ekosunnitteludirektiiviksi tai EuP-direktiiviksi (EuP = Energy-using Products). Direktiiviä on myöhemmin laajennettu ja siitä on tehty kokonaan uusi direktiivi 2009/125/EY, joka on hyväksytty vuonna 2009. Tästä direktiivistä käytetään nimitystä ErP-direktiivi (ErP = Energy related Products) ja se tulee korvaamaan direktiivin 2005/32/EY. (Sippola 2010, 27; ECO-design direktiivi 2005/32/EY.)

EuP –direktiivi itsessään on puitedirektiivi ja täytäntöönpanomääräykset annetaan kansallisesti. Suomessa Ecodesign –direktiivin pohjalta on laadittu laki tuotteiden ekologiselle suunnittelulle ja energiamerkinnälle asetettavista vaatimuksista (2008/1005) ja se astui voimaan vuoden 2009 alussa. Laki on kokonaisuudeltaan erittäin laaja ja se sisältää mm. CE-merkinnän käytön ohjeistuksen. Taulukossa 10 on esitetty direktiivin vaikutusta tievalaistus markkinoihin. (Sippola 2010, 27; Ecodesign direktiivi 2005/32/EY; 2008/1005 .)

Taulukko 10. Direktiivin vaikutus markkinoihin. (Sippola 2010, 32.)

Vuosi	Direktiivin vaikutus purkauslamppu markkinoihin
2010	Suurpainepurkauslamppujen tietyt tiedot vapaasti saatavilla teknisissä dokumenteissa tai netissä
2012	Monimetalli- ja suurpainenatriumlamppujen valotehokkuusvaatimukset kiristyvät ja minimirajan alittavat suurpainenatriumlamput poistuvat markkinoilta
2015	Elohopeahöyrylamput ja niitä korvaavat suurpainenatriumlamput poistuvat markkinoilta
2017	Monimetallilamppujen valotehokkuusvaatimukset kiristyvät ja kvartsilasiset monimetallilamput poistuvat markkinoilta

5.2 Energiatehokkuus

Tie- ja katuvalaistuksen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa suunnittelemalla tarpeeseen sopiva ja oikeanlainen valaistus. Energiasäästöjä saadaan optimoimalla valaistuksen paloajoja. Kaupunkien ja taajamien asuntoalueilla sekä sivukylillä valaistuksen paloajoja voidaan lyhentää sammuttamalla valaistus yöaikana, esimerkiksi klo 23-06 välisenä aikana. Yösammutus onnistuu, kunhan alueen turvallisuus ei kärsi eikä ongelmia synny risteysalueilla.

Kaupungeissa ja taajamissa voidaan käyttää vaihesammutusta, jolloin saadaan energiasäästöjä, mutta turvallisuus ei heikkene oleellisesti. Tällöin yksi valaistusvaihe sammutetaan yöaikana, ts. joka kolmas pylväs on pimeänä ja säästöpotentiaali on yöaikana noin kolmannes. Keskustoissa sekä vilkkaasti liikennöidyillä maanteilla valaistusta ei voi sammuttaa. Tällöin valaistuksen himmennys on paras ratkaisu. Tällöin purkauslampulla varustetussa valaisimessa tulee olla säästömuuntaja ja LED-valaisimessa älykäs järjestelmä.

Kuntopolkujen valaistuksessa ja latuvalaistuksessa valaistusta voidaan optimoida rajoittamalla valaistuksen paloaikaa, esimerkiksi klo 15-21 ja 1.11.-15.4. väliselle pimeälle ajalle. Ohjaukseen voidaan myös liittää hämärä- ja lämpötila-anturit, joilla valaistus on päällä vain hämärä aikaan asetetun ajan puitteissa sekä kovilla pakkasilla valaistus ei ole päällä ollenkaan.

Pienten kylien kuntopolkujen ja latujen valaistuksen ohjaukseen voidaan lisäksi asentaa kytkin, jota käyttäjä painaa tullessaan ja valaistus pysyy säädetyn ajan päällä (Kuva 18). Mikäli painiketta painetaan säädetyn ajan kuluessa uudestaan, lähtee säädetty aika kulumaan alusta.



Kuva 18. Kytkimellä varustettu latuvalaistuksen ohjaus Vuostimossa.

Energiasäästöjä saadaan lisäksi saneeraamalla vanhat elohopeaköyrylamppu valaisimet energiatehokkaampiin purkauslamppu- tai LED-valaisimiin. Taulukossa 11 on verrattu valovirraltaan vastaavien suurpainenatriumlampun, elohopeahöyrylamppun ja LED – valaisimen (EasyLED) energiakustannuksien kehitys 30 vuoden ajanjaksolla.

Taulukko 11. Valonlähteiden kustannusvertailu.

Valonlähde	Teho (lamppu + liitäntälaitte) [W]	Polttoai-ka [a]	Energia kustan-nus 1. vuosi [€]	Energia kustan-nus 10. vuosi [€]	Energia kustan-nus 20. vuosi [€]	Energia kustan-nus 30. vuosi [€]
Elohopeahöyrylamppu 125W	141	4000	73,32	733,2	1466,4	2199,6
Suurpainenatriumlamp-pu 70W	84	4000	43,68	436,8	873,6	1310,4
LED 52W	52	4000	27,04	270,4	540,8	811,2

Taulukosta nähdään, että energiatehokkain valonlähde energiakustannuksiltaan kolmenkymmenenvuoden käytön jälkeen on LED, joka on noin 62 % energiatehokkaampi kuin suurpainenatriumlamppu ja noin 171 % energiatehokkaampi kuin elohopeahöyrylamppu antaen saman valovirran. Laskelma ei huomioi inflaatiota ja energianhinnan korotuksia.

Esimerkki kohteessa Kemijärven Vuostimossa, valaistu latu/kuntopolku on 1,7 kilometrin pituinen ja käsittää 45 valaistuspistettä. Valaistus on toteutettu 125 W tehoisilla elohopeahöyrylamppu valaisimilla ja liittymäteho on 6,39 kW. Valaistusta ohjattiin aikaisemmin MELKO –verkkokäskylaitteella yhdessä hämäräkytkimen kanssa. Valaistuksen päällä oloajaksi oli säädetty 15.8.-3.5. klo 6:00-23:00 välisenä aikoina. Valaistuksen vuosittainen päällä oloaika oli noin 2350 tuntia, oli valaistulla ladulla/kuntopolulla käyttöä tai ei.

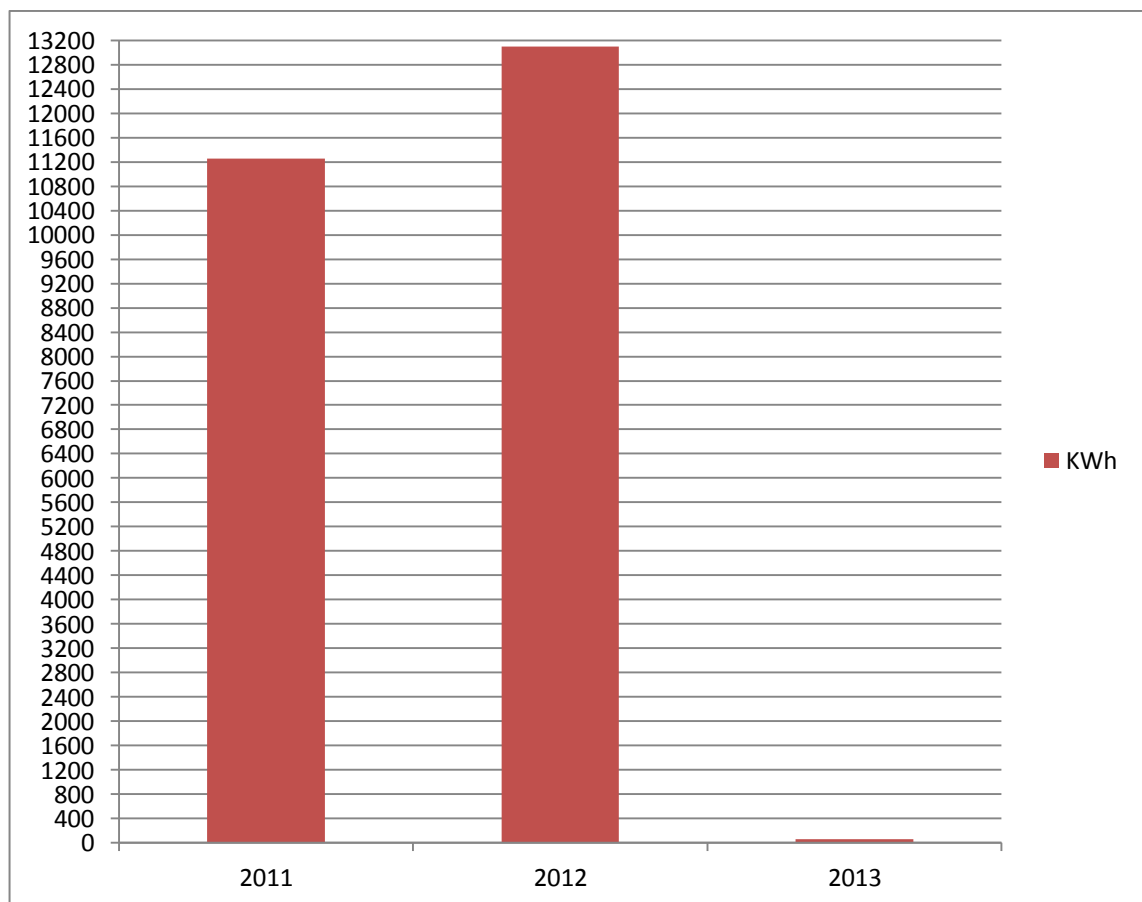
Kemijärven kaupunki hankki vuosien 2012-2013 aikana tie- ja latuvalaistuksien ohjaukseen alykkään YIT Pyramide –ohjausjärjestelmän. Samalla valaistuksien päällä oloaikoja tarkastettiin. Latuvalaistuksissa hiihtokeskusten ja kaupungin keskustan valaistuille laduille/-kuntopoluille ohjausjärjestelmän yhteyteen asennettiin pakkasanturit, joilla valaistuksen päällä oloa rajoitettiin siten, ettei valaistus ole päällä yli 25 asteen pakkasessa.

Pienten sivukylien valaistuilla laduilla/-kuntopoluilla ohjausjärjestelmän yhteyteen asennettiin käyttökytkin, jolla valaistus saadaan päälle asetetun ajan (1-2 tuntia) puitteissa 15.8.-3.5. klo 6:00-23:00 välisenä aikana. Jos valaistulla ladulla/-kuntopolulla on enemmän käyttäjiä, jokainen käyttäjä tullessaan painaa kytkintä, jolloin asetettu aika alkaa alusta ja valaistus on päällä asetetun ajan.

Sähköenergian kulutus vanhan ohjausjärjestelmän aikana vuosittain oli esimerkiksi kohteessa vuonna 2012 13 095 kWh, joka tekee noin 1700 euroa vuodessa. Ohjausjärjestelmän saneeraus ja ohjauksen järjeistämisen jälkeen sähkönkulutus on laskenut 61 kWh, eli noin 8 euroon. Tämä tarkoittaa, että valaistuille ladulle/-kuntopolulle oli käyttöä pimeinä aikoina vuonna 2013 vain 10 tuntia. Syitä alhaiseen kulutuslukemaan pimeinä aikoina voi olla useita, kuten vähäinen käyttö, ohjauksen vikaantuminen, ladun/kuntopolun käyttö valoisina aikoina tai huonot keliolosuhteet. Kaaviossa 2 on esimerkki kohteen, Vuostimon valaistun ladun/-kuntopolun sähköenergian kulutus vuosina 2011-2013.

Mikäli valaistus saneerataan vastaaviin 70 W –tehoisiin suurpainenatriumlamppu valaisimiin, saadaan energiansäästöstä noin 41 prosenttia lisää. Jos valaistus korvataan 27 W -tehoisilla LED–valaisimilla, energiasäästöä tulee noin 81 prosenttia. Tosin saneeraukseen ei kannata tehdä nykyisen tasoisella käytöllä ja elohopeahöyrylamppujen poistumisen myötä valaistus kannattaisi purkaa kokonaan.

Kaavio 2. Vuostimon valaistun ladun/-kuntopolun sähköenergian kulutus 2011-13.



5.3 Elinkaarikustannukset

Tie- ja katuvalaistuksen elinkaarikustannuksilla tarkoitetaan sen elinkaaren aikana aiheutuvia kustannuksia rakentamisesta käytöstä poistoon. Hankintakustannuksiltaan halvin vaihtoehto ei aina ole pitkällä aikavälillä elinkaaren aikana halvin mahdollinen. Elinkaarilaskelmissa huomioidaan hankintakustannusten lisäksi käyttökustannuksia (energia) ja hoitokustannuksia (huolto yms.).

Elinkaarikustannusten laskemiseen voidaan käyttää nykyarvo- tai vuosikustannusmenetelmää. Tässä työssä tutkitaan elinkaarikustannus laskemista pääasiassa nykyarvomenetelmällä ja esimerkkitapahtumana on Kostamon tievalaistus. Nykyarvomenetelmässä vuotuiset nettomenot muutetaan diskonttaamalla nykyarvoiksi. Kappaleen 5.4. taulukossa 13 on nykyarvomenetelmällä laskettu energia-, muut hoito- ja elinkaarikustannusten nykyarvot.

Tievalaistuksen rakennuskustannukset lasketaan pituusyksikköä (m) kohti kaavalla 1. (Tiehallinto 2006, 104.)

$$K_r = \frac{m * H_p * k_1 + n * H_v + S * H_{sv} * k_2}{S} \quad (1)$$

m = pylväiden lukumäärä poikkileikkauksessa

n = valaisimien lukumäärä poikkileikkauksessa

H_p = Pylvään (ja jalustan) perushinta (€/kpl)

k_1 = pylvään sijaintikerroin

H_v = Valaisimen ja ensimmäisen lampun hinta (€/kpl)

H_{sv} = Sähköverkon perushinta (€/m)

k_2 = Sähköverkon sijaintikerroin

S = Pylväsväli (m)

Rakennuskustannusten kaava on kolmiosainen, jossa rakennuskustannukset muodostuvat pylväs-, valaisin- ja sähköverkon rakennuskustannuksista pylväsmäärään suhteutettuna. Tie- ja katuvalaistuksen hoitokustannukset lasketaan pituusyksikköä kohti kaavalla 2. (Tiehallinto 2006, 105.)

$$K_{kk} = \frac{t_1 * n * P_1 * H_e + \frac{n * H_l * k_3}{t_2} + q * n * H_{ly} * k_3 + m * C * k_4}{S} \quad (2)$$

t_1 = Vuotuinen paloaika (h)

t_2 = Lampun polttoikä (a)

n = valaisimien lukumäärä poikkileikkauksessa

m = pylväiden lukumäärä poikkileikkauksessa

P_i = Valaisimen teho liitäntälaitteineen (kW)

H_e = Sähkön kokonaishinta (€/kWh)

H_l = Lampun ryhmävaihdon perushinta (€/kpl)

H_{ly} = Lampun yksittäisvaihdon perushinta (€/kpl)

k_3 = Sijaintikerroin

q = Yksittäisvaihtojen suhteellinen määrä vuosittain

C = Kiinteät kustannukset (€/pylväs)

k_4 = Hoitoluokkakerroin

S = Pylväsväli (valaisinmalli kohtainen)

Hoitokustannusten kaava pitää sisällään neljä eri kustannusta, joita ovat energia-, ryhmävaihto-, lamppujen yksittäisvaihto- ja pylvään kiinteät kustannukset. Sijainti- ja hoitoluokkakertoimet k_1 , k_2 , k_3 , ja k_4 voidaan laskea seurantatietojen lisääntyessä ja niitä käytetään taajamavalaukshankkeissa. Perinteisissä tievalaistuskohteissa kertoimien arvona käytetään arvoa 1. (Tiehallinto 2006, 103.)

Hoitokustannuksien laskentakaavassa ei oteta huomioon uuden tievalaistuksen kahden vuoden takuu-aikaa, jonka urakoitsija antaa rakentamalleen valaistukselle. Takuu-aikana urakoitsija vastaa hoitokustannuksista, kuten palaneiden lamppujen vaihdosta.

Hoitokustannuksien laskentakaava alkaa olemaan nykyvalaistuksen laskemiseen osittain vanhentunut, kun markkinoille on tullut LED-valaistus, jonka valaistusmoduulin polttoikä on purkauslamppuja huomattavan paljon suurempi ja ryhmävaihtoja ei tehdä purkauslamppujen tavoin (ryhmävaihtojen määrä = 0). Valaisimien eliniäksi luvataan jopa 100 000 tuntia ja käytännössä valaisin on riippuen vuosittaisesta polttoajasta, saavuttanut teknisen eliniän. Tällöin valaisin vaihdetaan uuteen.

Käyttökokemusta ei LED–valaistuksesta ole kovin pitkältä aikaa ja todellinen käyttöikä asennuksissa on vielä epävarmaa. Myöskään purkauslamppuille tyypillistä yksittäisvaihdon (huolto) tarvetta ei LED–valaistukselle tarkalleen tiedetä. Tämän hetkisten tietojen mukaan yksittäisvaihtoa ei tarvitse tehdä kuin harvoin. Liikennevirasto julkaisee vuoden 2014 loppupuolella valaistuksen elinkaarikustannusten laskentaan uudet kaavat, joissa huomioidaan LED–valaistuksen ominaisuudet.

Elinkaarikustannukset nykyarvomenetelmällä lasketaan kaavalla 3. (Tiehallinto 2006, 107.)

$$E_k = K_r + \frac{1-(1+p)^{-t}}{p} * K_{kk} + \frac{1}{(1+p)^t} * J \quad (3)$$

E_k = Elinkaarikustannusten nykyarvo

K_r = Rakennuskustannukset

p = Hallinnollisesti määrätty laskentakorko

t = tarkasteluajan pituus vuosina

K_{kk} = Hoitokustannukset

J = Jäännösarvo

Koron p tilalla voidaan käyttää reaalikorkoa, joka saadaan kaavalla 4. (Tiehallinto 2006, 107.)

$$r = \frac{i - f}{1 + f} \quad (4)$$

r = Reaalikorko

i = Nimelliskorko

f = Inflaatio

Laskennassa käytetään jäännösarvona 25 % rakennuskustannuksista. Jäännösarvoa käytettäessä tulee huomioida, että purkukustannus otetaan huomioon positiivisena ja jäljellä oleva käyttöaika negatiivisena. (Tiehallinto 2006, 107.)

Liitteessä 1 on laadittu elinkaarilaskentaan taulukko, joka laskee kustannustehokkaimman tievalaistus vaihtoehdon suunnittelijalle kuhunkin eri kohteeseen, jonka perusteella valaistus voidaan suunnitella. Taulukossa on tarkasteltu AL5-valaistusluokan valaisimien kustannustehokkuutta elinkaarikustannus laskennan avulla esimerkki kohteeseen.

Liitteen 1 taulukon laskentatulokset muuttuvat hintojen laskeessa ja noustessa sekä uusien valaisin mallien tullessa markkinoille koko ajan, jolloin suunnittelijan tulee tarkastaa tiedot valaisinvalmistajilta muutaman kuukauden välein. Valaisimien hinnan lisäksi muita tarkistettavia tekijöitä ovat lampun/moduulin hinta, ryhmävaihdon ja huollon, sähköverkon ja pylvään yksikköhinnat sekä pylväskohtaiset kiinteät kustannukset. Lisäksi suunnittelijan tulee selvittää sen hetkinen sähköenergian hinta ja korkotaso. Elinkaarikustannusten laskentaan epävarmuus tekijöinä ovat edellä mainitut sähköenergian hinta ja korkotaso, jotka muuttavat elinkaarikustannuksien todellista toteutumaa laskentaan verrattuna.

Vuosikustannusmenetelmällä voidaan laskea valaisinten kokonaistaloudellisuus. Vuosikustannusmenetelmässä koko elinkaaren ajan kustannukset jaetaan vuosittaisiksi tasakeriksi. Laskennassa huomioidaan rakennus- ja huoltokustannukset sekä inflaatio, laskentakorko ja valaistuksen tekninen käyttöikä. Menetelmällä voidaan vertailla eri valaistusratkaisujen aiheuttamia kokonaiskustannuksia luotettavasti koko elinkaaren ajalta. (Tiehallinto 2006, 108.)

Vuosikustannukset vuosikustannusmenetelmällä lasketaan kaavalla 5. (Tiehallinto 2006, 108.)

$$K_v = a_t * K_r + b_t * K_{kkl} \quad (5)$$

K_v = Keskimääräiset vuosikustannukset

a_t = Annuiteetti tekijä

K_r = Rakennuskustannukset

b_t = Hoitokustannusten kasvukerroin

K_{kkl} = Ensimmäisen vuoden hoitokustannukset

Annuiteettitekijä saadaan kaavalla 6. (Tiehallinto 2006, 108.)

$$a_t = \frac{p}{1-(1+p)^t} \quad (6)$$

a_t = Annuiteettitekijä

p = hallinnollisesti määrätty laskentakorko

t = tarkastelujakson pituus (a)

Kustannusten kasvukerroin saadaan kaavalla 7. (Tiehallinto 2006, 109.)

$$b_t = (1 + k_p)^t \quad (7)$$

b_t = Kasvukerroin

k_p = Hoitokustannusten vuotuinen kasvuprosentti

t = tarkasteluajan pituus (a)

Jos hoitokustannusten muutosta ei pystytä ennustamaan, voidaan olettaa kustannusten lisääntyvän 3 % vuodessa. Taulukossa 12 on esitetty hoitokustannusten 3 % vuotuisella kasvulla. (Tiehallinto 2006, 108.)

Taulukko 12. Hoitokustannusten ennuste 3% kasvulla. (Tiehallinto 2006, 108.)

Laskenta- aika (a)	Kasvukerroin b
1	1,03
5	1,16
10	1,34
15	1,56
20	1,81
25	2,09
30	2,43

5.4 Kostamon tievalaistuksen elinkaarikustannukset

Taulukoissa 13 ja 14 on esitetty esimerkkilaskelmat Kostamon kylätien tievalaistuksen kolmelle eri vaihtoehdolle, joista kaksi on suurpainenatriumlamppu valaisimilla toteutettu ja yksi LED-valaisimella. Taulukossa 13 on esitetty elinkaarikustannuslaskelmat kilometriä kohti ja taulukossa 14 koko esimerkkikohteen 2,45 kilometrin pituisen valaistus projektiin.

Taulukoista nähdään, että LED-valaistus on 30 vuoden tarkasteluajalla lähes yhtä edullinen vaihtoehto kuin 70 W tehoisella suurpainenatriumlamppu valaisimella toteutettu valaistus. Vaikka hankintahinta on korkeampi kuin suurpainenatriumlamppu valaisimilla, energia ja huoltokustannukset ovat halvempia kuin suurpainenatriumlamppu valaisimilla. Hinnan hiukan laskiessa, tulee LED-valaistus edullisimmaksi vaihtoehdoksi.

Hankintahinnaltaan suurpainenatriumlamppu valaisimella toteutettu vaihtoehto (Valaisin 3) on halvin, mutta sen elinkaarikustannukset ovat kolmesta eri vaihtoehdosta korkeimmat. Koska LED-tekniikka on suhteellisen uutta, ei luotettavia käyttökokemus tietoa ole vielä saatavilla. LED-valaisimen suhteellisten yksittäisten lampun (valaisimen) vaihtojen prosentuaalinen määrä on laskettu 5 % koko käyttöiän aikana.

Taulukko 13. Kostamon valaistuksen elinkaarikustannukset kilometriä ja esimerkki projektia kohti.

		Valaisin 1 (Sp-Na)	Valaisin 2 (LED)	Valaisin 3 (Sp-Na)
Valaisimen hinta	[€]	100	299	120
Lampun/modulin hinta	[€]	10	0	15
Pylvään ja perustuksen hinta	[€/kpl]	850	850	850
Sähköverkon perushinta	[€/tiometri]	30	30	30
Sähkön kokonaishinta	[€/kWh]	0,13	0,13	0,13
Valaisimen teho liitännälaitteineen	[W]	82	50	118
Tarkasteluajanjakson pituus	[a]	30	30	30
Nimelliskorko	[%]	6 %	6 %	6 %
Pylväsväli	[m]	45	44	48
Vuotuinen polttoaika	[h/a]	2600	2600	2600
Lampun polttoikä	[h]	16 000	100 000	16 000
Valaistuskohteen pituus	[km]	2,45	2,45	2,45
Investointikustannukset / km	[€/km]	51333	56114	50521
Energiakustannusten nykyarvo / km	[€/km]	616	384	831
Hoitokustannukset, nykyarvo / km	[€/km]	714	607	670
Elinkaarikustannusten nykyarvo / km	[€/km]	71879	72193	73376

Taulukko 14. Kostamon valaistus projektin kokonaiselinkaarikustannukset.

Investointikustannukset	[€]	125767	137478	123776
Energiakustannusten nykyarvo	[€]	1509	941	2036
Hoitokustannukset, nykyarvo	[€]	1750	1486	1641
Elinkaarikustannusten nykyarvo	[€]	176104	176872	179772

Tarkastellessa eri kustannus tekijöiden vaikutusta elinkaarikustannuksiin, merkittävimmät muutokset aiheuttivat elinkaarikustannuksiin esimerkki valaisimissa koron nousu prosentti yksiköllä ja sähkön hinnan nousu yhdellä sentillä. Koron nousu prosenttiyksiköllä vaikutti vähentävästi elinkaarikustannuksiin esimerkkinä käytetyissä suurpainenatriumlamppu valaisimissa noin 3,5 prosenttia ja esimerkki LED-valaisimessa 2,7 prosenttia. Yhden sentin sähkön hinnan nouseminen nosti elinkaarikustannuksia esimerkkinä käytetyissä suurpainenatriumlamppu valaisimissa noin prosentin verran ja esimerkki LED-valaisimessa vajaa 0,6 prosenttia.

5.5 Kostamon tievalaistuksen hoitokustannukset

Vuosikustannusmenetelmällä Kostamon tievalaistuksen keskimääräiseksi kokonaishuolto kustannukseksi saadaan 30 vuoden tarkasteluajalla kolmelle esimerkkivalaisimelle taulukon 15 mukaiset arvot. Taulukosta nähdään, että kokonaishoitokustannukset tulevat LED-valaisimella edullisimmaksi (Valaisin 2).

Taulukko 15. Kostamon tievalaistuksen hoitokustannukset vuosikustannus menetelmällä.

		Valaisin 1 (Sp-Na)	Valaisin 2 (LED)	Valaisin 3 (Sp-Na)
Hoitokustannukset / valaistusjakso	[€]	17051	15879	17920

6 VALAISTUSLASKELMAT

Valaistuslaskelmat on tehty Dialux 4.12 –valaistuslaskentaohjelmalla. Ohjelma on ilmainen ja se on ladattavissa internetistä Dialuxin kotisivuilta. (www.dialux.com.) Valaistuslaskelmat on tehty esimerkki kohteena olevaan Kostamon tievalaistukseen kahdella elinkaarikustannus laskemien parhaimmista valaisimista, Easy LED Oy PRO Wave 60 UP-FrostR ja Philips Selenium SGP340 PC 1xSON-TPP70W TP P5 valaisimilla.

Valaistuslaskelmat laskettiin ohjelman avustajan avulla. Huoltokertoimeksi määrättiin 0.8. Valaistusluokaksi valittiin ME5, joka vastaa Suomessa käytettävää valaistusluokkaa AL5. Kuivan kelin päällysteeksi valittiin R2, jollaista Suomessa teillä käytetään. Märän kelin päällysteeksi käytettiin valittiin W2.

Kostamossa tien leveys on 5 metriä ja ajorata on kaksikaistainen. Valopisteen korkeudeksi asetettiin 8 metriä elinkaarikustannuslaskelman mukaisesti. Selenium -valaisimen kallistuskulmaksi valittiin 5° ja PRO Wave –valaisimen 0°. Tämän jälkeen laskettiin tulokset ja valittiin paras tulos. Liitteessä 2 on valaistuslaskelma Easy LED Oy PRO Wave 60 UP-FrostR –valaisimella ja liitteessä 3 on valaistuslaskelma Philips Selenium SGP340 PC 1xSON-TPP70W TP P5 -valaisimella.

Liitteen 2 valaistuslaskelmassa Easy LED Oy PRO Wave 60 UP-FrostR –valaisimella pylväsväliksi saatiin 44 metriä valaistusluokalla AL5. Valaisimen nimellisteho on 50 W ja valovirta 5444 lm. Valaistustuloksista nähdään myös, että valaisin täyttää kuivan ja märän ajoradan luminanssi vaatimukset sekä esto häikäisylle asetetun vaatimuksen.

Liitteen 3 valaistuslaskelmassa Philips Selenium SGP340 PC 1xSON-TPP70W TP P5 –valaisimella pylväsväliksi saatiin 46 metriä valaistusluokalla AL5. Valaisimen nimellisteho on 80 W ja valovirta 5346 lm. Valaistustuloksista nähdään myös, että valaisin täyttää kuivan ja märän ajoradan luminanssi vaatimukset sekä esto häikäisylle asetetun vaatimuksen.

7 POHDINTA

Tie- ja katuvalaistusta tarkasteltiin teorian, määräysten ja ohjeistuksien, suunnittelun periaatteiden sekä energiatehokkuuden näkökulmasta. Elinkaarikustannusten laskemiseksi nykyarvomenetelmällä voitiin selvittää energia- ja kustannustehokkain valaistus kohde tiealueelle. Elinkaarikustannuslaskelmissa huomioidaan materiaalisia kustannuksia (valaisin, lamppu/moduuli, pylväs ja sähköverkko), huolloista aiheutuvia kustannuksia (ryhmävaihto ja huolto), energiakustannukset ja koron vaikutus.

Epävarmuustekijöiden, sähköenergian ja koron, vaikutusta tarkasteltiin elinkaarikustannuksiin muuttamalla laskentataulukon arvoja. Sähkön hinnan nousu esimerkkikohteessa kahdella sentillä nosti kustannuksia 1-2 prosenttia eri valaisinvaihtoehtoilla. Huoltokustannusten nousemisella ei elinkaarikustannuksiin ollut merkitystä. Korkotason nouseminen kahdella prosentilla pudotti elinkaarikustannuksia esimerkkikohteessa 4-5 prosenttia. Tämä johtuu siitä, että elinkaarikustannuslaskelma kaavassa jäännösarvoa käytettäessä purkukustannus otetaan huomioon positiivisena ja jäljellä oleva käyttöaika negatiivisena.

Tässä työssä saavutettiin sille asetetut tavoitteet tievalaistuksen energian käytön tehostamiseksi kustannustehokkaasti. Työssä kehitettiin tievalaistuksen suunnitteluun laskentatyökalu energia- ja kustannustehokkaimman valaistuksen selvittämiseksi, esimerkkinä oli Kemijärven Kostamo. Kehitettyä laskentatyökalua voidaan hyödyttää jatkossa muisakin tievalaistus kohteissa ja tuotteistaa. Vastaavaa laskentatyökalua tievalaistuksen suunnitteluun ei ole ollut saatavilla. Syy sellaisen kehittämiseen oli kustannusvaikutusten osatekijöiden vaikutuksen laskennan nopeuttaminen.

Energia- ja kustannustehokkaimman valaisin vaihtoehdon selvittämiseksi päädyttiin käyttämään elinkaarikustannusten laskemista nykyarvomenetelmällä. Elinkaarikustannusten laskemiseksi laadittiin Excel –taulukko, johon eri valaisinvalmistajilta saatiin tarvittavat valaisinkohtaiset tiedot. Tämän jälkeen tehtiin valaistuslaskelmat elinkaarikustannuslaskelmien parhaimmilla valaisimilla Dialux –valaistuslaskentaohjelmalla.

Tievalaistukseen liittyviä ohjeistuksia on olemassa useita, joiden sisältö on samankaltaista ja tieto osittain päällekkäistä. Ohjeistusta voisi kehittää laatimalla yhden yhteisen ohjeistuksen Liikenneviraston ja kunnallisteknisten tievalaistustöiden osalta. Eco-design direktiivi on pakottanut tievalaistuksen saneeraamiseen energiaa säästäväksi. Samanlaisesti tievalaistus Suomessa on ikääntynyt ja sitä olisi ollut muutenkin saneerattava mutta ei aivan näin nopeassa tahdissa. Lainsäädäntö ja halu uudistaa tievalaistusta ohjaavat tehokkaasti energiaa säästävän valaistuksen rakentamiseen.

Valaistuksen suunnittelussa energiatehokkuuden huomioiminen helpottuu ja perustuu valaisimien teknisiin arvoihin ja muihin kustannuksiin vaikuttaviin suureisiin. Laskenta eri kustannustekijöillä onnistuu helposti ja elinkaarikustannusten vertailu on selkeää.

Työ on ollut mielenkiintoinen ja aihe laaja. Oma osaamiseni on laajentunut työn myötä. Haastava kilpailutilanne vaikeutti kustannuslaskennassa tarvittavien yksikköhintatietojen saamista ja laskentaa. Opinnäytetyön tekemisen aikaan on valaisinvalmistajien edustajilla laskennassa useampi miljoonaluokan projekti, jonka takia osalta valaisinvalmistajalta en saanut tietoja ollenkaan.

Kehitettyä laskentatyökalua tullaan päivittämään ja kehittämään tulevaisuudessa, kun Liikennevirasto julkaisee uudet kaavat LED-valaistuksen elinkaarikustannusten laskentaan. Kehitetyn laskentatyökalun pohjalta päivitettävä laskentamenettely, kustannustehokkaan valaistusratkaisun valintatyökalu mahdollistaa uudenlaisen konsultti palvelupaketin tarjoamisen asiakkaille.

LÄHTEET

- Alltube.fi. Pylväskaluste SV 15.11. Hakupäivä 11.4.2014.
< http://www.alltube.fi/pylvaskaluste___sv_15.11_____ensto_un>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 6.7.2005 2005/32/EY.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 21.10.2009 2009/125/EY .
- Hautala, Pentti. Sito Oy. 2010. Tarvitaanko tievalaistusta? Hakupäivä 17.2.2014.
<http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/uutiset/tapahtumat/20110519_liikenneturvallisuus/Ke3_Hautala_Tarvitaanko%20tievalaistusta_Liikenneturvallis.pdf>
- Henkilö- ja yritysarviointi SETI Oy. Hakupäivä 24.4.2014.
<www.seti.fi>
- Honkanen, H, 2009. Valaistustekniikka.
<http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/STEK_Valaistustekniikka.pdf>
- Jyväskylän yliopisto. 2014. Tutkimusmenetelmät. Hakupäivä 7.5.2014.
<<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/metelmapolkuja/metelmapolku/tutkimusstrategiat>>
- Kajote Oy, 2005. AMCMK –voimakaapeli. Hakupäivä 10.4.2014.
<http://kajote.fi/tuotteet/fi_06/pdf/F60040@AMCMK.pdf>
- Kajote Oy, 2013. MMJ –asennuskaapeli. Hakupäivä 10.4.2014.
<http://kajote.fi/tuotteet/fi_04/pdf/F40340@MMJ%20300%20500%20V.pdf>
- Kajote Oy, 2011. MPK –asennuskaapeli. Hakupäivä 10.4.2014.
< http://kajote.fi/tuotteet/fi_04/pdf/F40255@MPK%20%2807VV-K%29.pdf>
- Kajote Oy, 2005. MKEMP –pylväsasennusjohto. Hakupäivä 10.4.2014.
<http://kajote.fi/tuotteet/fi_04/pdf/F40250@MKEMP.pdf>
- Kallasjoki, Tapio, 2011. Energiatehokas valaistus. Hakupäivä 29.1.2014.
< http://www.renewablesb2b.com/data/ahk_finland/publications/files/Kallasjoki.pdf>
- Laki tuotteiden ekologiselle suunnittelulle ja energiamerkinnälle asetettavista vaatimuksista 19.12.2008/1005.
- Motiva Oy. Eu-P direktiivin vaikutusten arviointi: Tie- ja katuvalaistus sekä toimistovalaistus. Hakupäivä 30.1.2014.
<http://www.motiva.fi/files/2648/EuP-direktiivin_vaikutusten_arviointi_Tie-ja_katuvalaistus_seka_toimistovalaistus.pdf>
- Puolakka, Marjukka & Rantakallio, Antti & Tähkämä, Leena & Ylinen Anne & Halonen Liisa, 2011. Toimintamalli - Elohopealampuista energiatehokkaampaan ulkova-laistukseen. Hakupäivä 30.1.2014.
<<http://lightinglab.fi/ekovallo/News/toimintamalli%20raportti.pdf>>
- Rakennustieto. 2006. InfraRYL Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset.
- Rantakallio, Antti & Ylinen, Anne. 2011. Elohopealamput pois – mitä tilalle ja millä hinnalla. Hakupäivä 19.3.2014.
< http://lightinglab.fi/ekovallo/News/3_ylinen_rantakallio_elohopealamput_pois.pdf>
- Saavalainen, Heli & Pekonen Juho-Pekka. Valosaaste peittää kaupunkien tähtitaivaan. Helsingin Sanomat 15.10.2013.
- Sippola, Vesa. 2010. Eco-design -direktiivin täytäntöönpanotoimenpiteiden vuoksi poistuvien lamppujen korvaaminen ulkova-laistuksessa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu. Espoo.
- Suomen kuntaliitto. 2002. Kunnallisteknisten töiden yleinen työselostus KT 02.
- Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2012. SFS-KÄSIKIRJA 600-1. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjänniteasennukset.
- Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2009 SFS-KÄSIKIRJA 608. Valaistusstandardit. Valaistusteknillinen standardi SFS-EN 13201.

- Suomen Valoteknillinen seura. 2008. Valaistushankintojen energiatehokkuus. Hakupäivä 23.4.2014.
<http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf>
- Sähköenergialiitto ry SENER. Verkostosuositukset. UR 1 :94.
- Sähkönumerot.fi. AMKA –riippukierrekaapeli. Hakupäivä 10.4.2014.
< <https://www.sahkonumerot.fi/0655054/> >
- Sähkönumerot.fi. AXMK –voimakaapeli. Hakupäivä 10.4.2014.
< <http://www.sahkonumerot.fi/0626215/>>
- Sähköturvallisuuslaki 14.6.1996/410.
- Tiehallinto. 2006. Tievalaistuksen suunnittelu. Hakupäivä 28.1.2014.
<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100034-v-06tievalaist_suunn.pdf>
- Tiehallinto, 2006. Tievalaistuksen toimintalinjat. Hakupäivä 29.1.2014.
<<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/1000105-v-06tievtoimlinj.pdf>>
- Tiehallinto, 2007. Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. Hakupäivä 17.3.2014.
<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2200048-v-07-tylt_7510_tievalaistus.pdf>
- Tiensuu, Antti. 2010. Uusi valaistuskirja. Viherympäristöliitto ry.

LIITTEET

- Liite 1. (Luottamuksellinen)
- Liite 2. Valaistuslaskelma Pro Wave 60 UP-FrostR
- Liite 3. Valaistuslaskelma Philips Selenium SGP340 PC 1xSON-TPP70W TP P5

Kostamo

Yhteyshenkilö:
Tilausnumero:
Toiminimi:
Asiakasnumero:

Päivämäärä: 16.04.2014
Tekijä: Jani Leppäjärvi

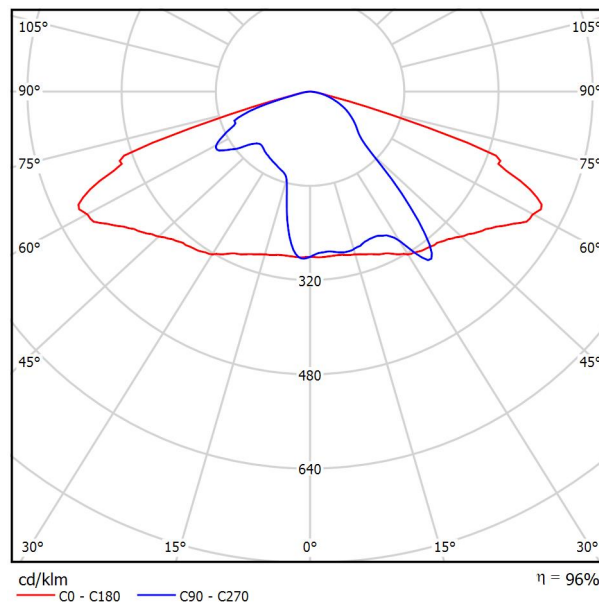
Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy

Tekijä Jani Leppäjärvi
 Puhelin
 Faksi
 Sähköpostiosoite jani.leppajarvi@elisanet.fi

Easy LED Oy PRO Wave 60 - UP-FrostR (6000K nominal) / Valaisintietoarkki

Valaistu alue 1:

Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.



Valaisinten luokittelu CIE: 100
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 39 74
 97 100 96

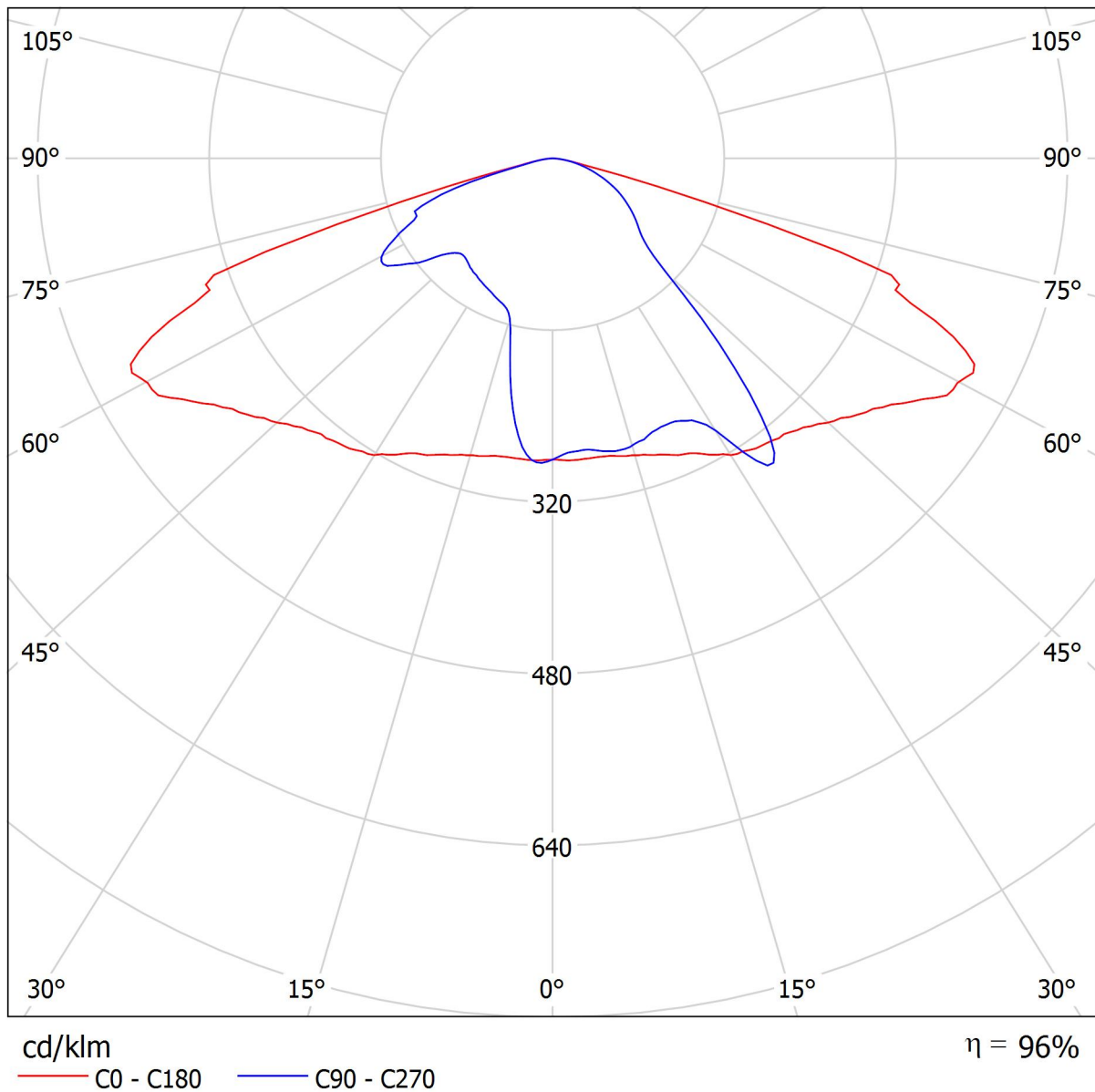
Puuttuvien symmetriaominaisuuksien takia ei tälle valaisimelle voida näyttää UGR-taulukkoa.

Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy

Tekijä Jani Leppäjärvi
 Puhelin
 Faksi
 Sähköpostiosoite jani.leppajarvi@elisanet.fi

Easy LED Oy PRO Wave 60 - UP-FrostR (6000K nominal) / Valonjakautumiskäyrä (polaarinen)

Valaisin: Easy LED Oy PRO Wave 60 - UP-FrostR (6000K nominal)
 Lamput: 1 x 30*LED



Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy

Tekijä Jani Leppäjärvi
 Puhelin
 Faksi
 Sähköpostiosoite jani.leppajarvi@elisinet.fi

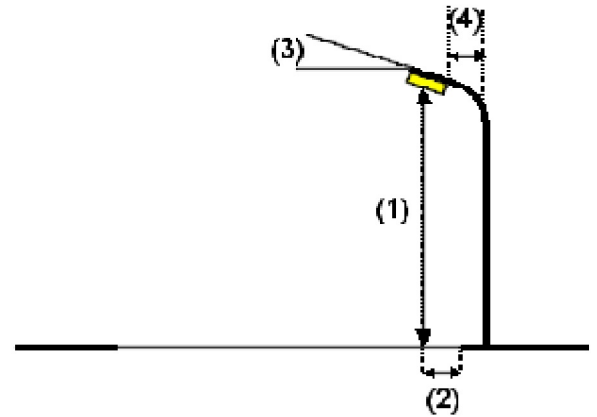
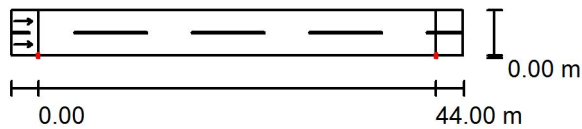
Kostamo / Suunnittelutiedot

Tien profiili

Ajorata 1 (Leveys: 5.000 m, Ajokaistojen lukumäärä: 2, Päällyste: R2, q0: 0.070)

Huoltokerroin: 0.80

Valaisinjärjestykset



Valaisin:	Easy LED Oy PRO Wave 60 - UP-FrostR (6000K nominal)	
Valovirta (Valaisin):	5444 lm	Valovoiman enimmäisarvot
Valovirta (Lamput):	5700 lm	tapauksessa 487
Valaisimien teho:	50.0 W	70°: cd/klm
Järjestely:	yksipuolisesti alapuolella	tapauksessa 27
Katuvalojen väli:	44.000 m	80°: cd/klm
Asennuskorkeus (1):	8.081 m	tapauksessa 0.00
Valopisteen korkeus:	8.000 m	90°: cd/klm
Etäisyys tien reunaan (2):	0.000 m	
Poikkivarren kallistuma (3):	0.0 °	Kaikkiin niihin suuntiin, jotka muodostavat ilmoitetun kulman alemman
Poikkivarren pituus (4):	0.650 m	pystysuoran kanssa, kun valaisin on asennettu käyttökuntoon.
		Valovoiman arvot eivät ylitä arvoa 90°.
		Sijoittelu täyttää valovoimaluokan vaatimukset
		G4.
		Sijoittelu täyttää häikäisyarvoluokan vaatimukset
		D.6.

Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy

Tekijä Jani Leppäjärvi
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite jani.leppajarvi@elisanet.fi

Kostamo / Luettelo valaisimista

Easy LED Oy PRO Wave 60 - UP-FrostR (6000K Löydät valaisimen kuvan nominal)

valaisinluettelosta.

Tavarnumero:

Valovirta (Valaisin): 5444 lm

Valovirta (Lamput): 5700 lm

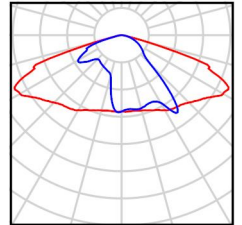
Valaisimien teho: 50.0 W

Valaisinten luokittelu CIE: 100

Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 39

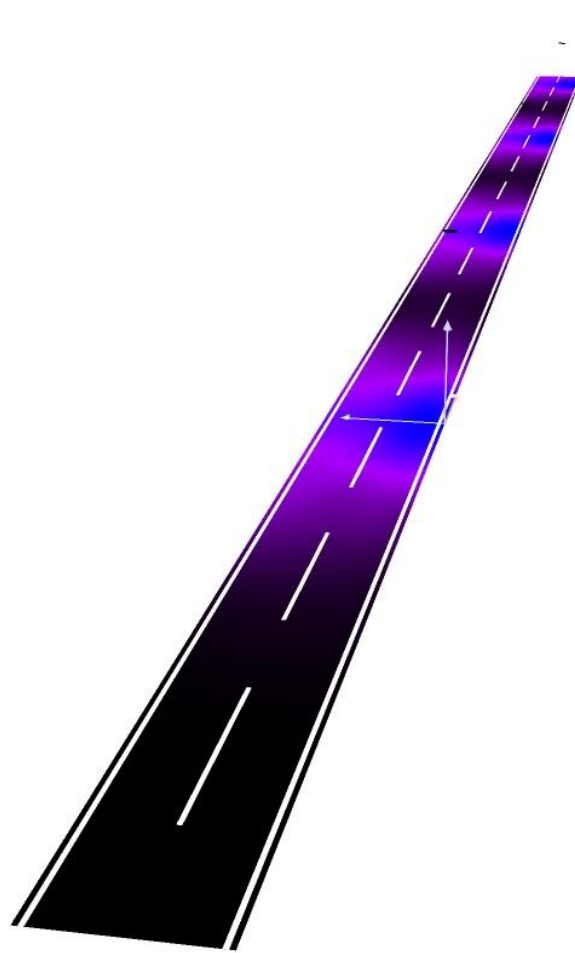
74 97 100 96

Varustus: 1 x 30*LED (Korjaustekijä 1.000).



Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy

Tekijä Jani Leppäjärvi
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite jani.leppajarvi@elisanet.fi

Kostamo / Vääräväri-kuvanmuodostus

0

10

20

30

40

50

60

70

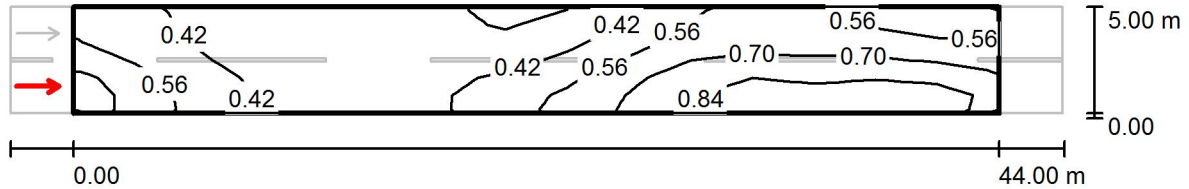
80

lx

Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy

Tekijä Jani Leppäjärvi
 Puhelin
 Faksi
 Sähköpostiosoite jani.leppajarvi@elisanet.fi

Kostamo / Arviointikenttä Ajourata 1 / Katsoja 1 / Isolux-käyrät (L)

Arvot (yksikkö) Candela/m², Mittakaava 1 : 358

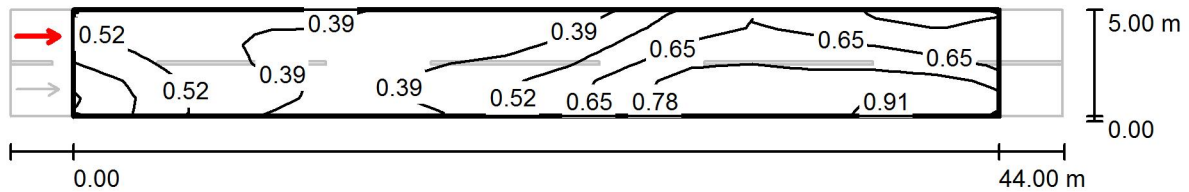
Rasteri: 15 x 6 Pisteet
 Katsojan sijainti: (-60.000 m, 1.250 m, 1.500 m)
 Päällyste: R2, q0: 0.070

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Lasketut tosiarvot:	0.54	0.46	0.41	11
Ohjearvot luokan perusteella ME5:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15
Täytetty/ei täytetty:	✓	✓	✓	✓

Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy

Tekijä Jani Leppäjärvi
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite jani.leppajarvi@elisanet.fi

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

Arvot (yksikkö) Candela/m², Mittakaava 1 : 358

Rasteri: 15 x 6 Pisteet
Katsojan sijainti: (-60.000 m, 3.750 m, 1.500 m)
Päällyste: R2, q0: 0.070

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Lasketut tosiarvot:	0.56	0.49	0.45	8
Ohjearvot luokan perusteella ME5:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15
Täytetty/ei täytetty:	✓	✓	✓	✓

Kostamon tievalaistus

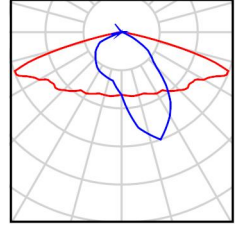
Yhteyshenkilö:
Tilausnumero:
Toiminimi:
Asiakasnumero:

Päivämäärä: 16.04.2014
Tekijä: Jani Leppäjärvi

Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy

Tekijä Jani Leppäjärvi
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite**Kostamon tievalaistus / Luettelo valaisimista**

4 Kappale PHILIPS SGP340 PC 1xSON-TPP70W TP P5
Tavaranumero:
Valovirta (Valaisin): 5346 lm
Valovirta (Lamput): 6600 lm
Valaisimien teho: 80.0 W
Valaisinten luokittelu CIE: 100
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 39
74 97 100 81
Varustus: 1 x SON-TPP70W (Korjaustekijä
1.000).



Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy

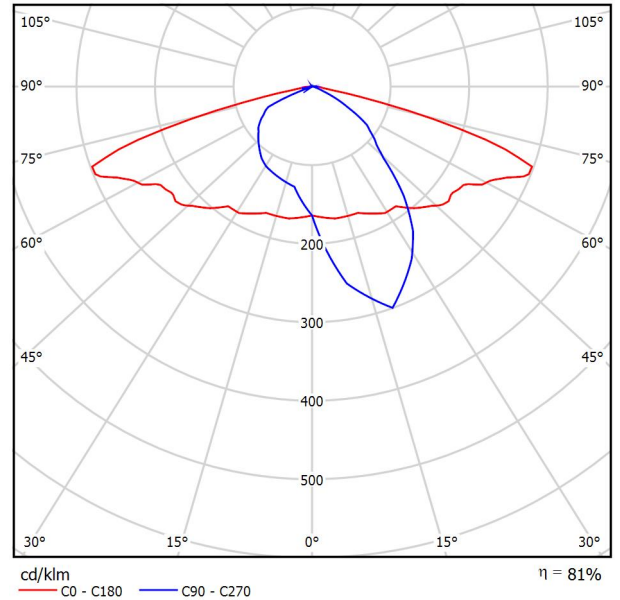
Tekijä Jani Leppäjärvi
 Puhelin
 Faksi
 Sähköpostiosoite

PHILIPS SGP340 PC 1xSON-TTP70W TP P5 / Valaisintietoarkki

Valaistu alue 1:



Valaisinten luokittelu CIE: 100
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 39 74
 97 100 81



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

Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy

Tekijä Jani Leppäjärvi
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

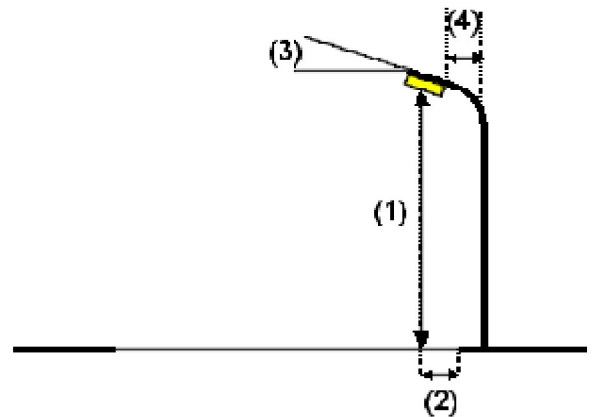
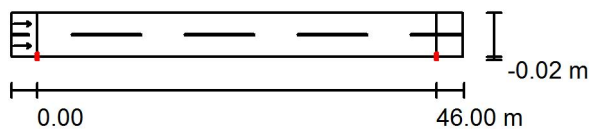
Kostamon valaistus / Suunnittelutiedot

Tien profiili

Ajorata 1 (Leveys: 5.000 m, Ajokaistojen lukumäärä: 2, Päällyste: R2, q0: 0.070)

Huoltokerroin: 0.80

Valaisinjärjestykset

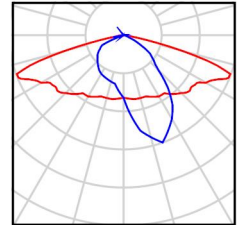


Valaisin:	PHILIPS SGP340 PC 1xSON-TPP70W TP P5	Valovoiman enimmäisarvot
Valovirta (Valaisin):	5346 lm	tapauksessa 533
Valovirta (Lamput):	6600 lm	70°: cd/klm
Valaisimien teho:	80.0 W	tapauksessa 49
Järjestely:	yksipuolisesti alapuolella	80°: cd/klm
Katuvalojen väli:	46.000 m	tapauksessa 4.84
Asennuskorkeus (1):	8.267 m	90°: cd/klm
Valopisteen korkeus:	8.000 m	Kaikkiin niihin suuntiin, jotka muodostavat ilmoitetun kulman alemman pystysuoran kanssa, kun valaisin on asennettu käyttökuntoon.
Etäisyys tien reunaan (2):	0.000 m	Sijoittelu täyttää valovoimaluokan vaatimukset G3.
Poikkivarren kallistuma (3):	5.0 °	Sijoittelu täyttää häikäisyarvoluokan vaatimukset D.6.
Poikkivarren pituus (4):	0.627 m	

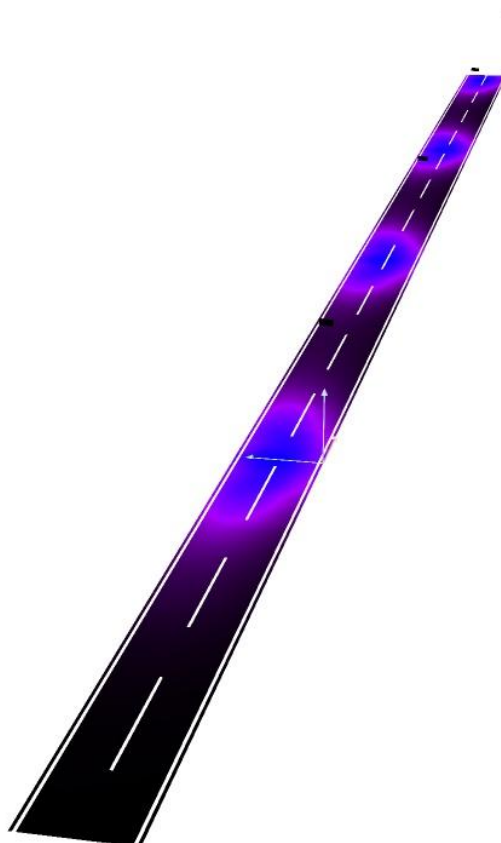
Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy

Tekijä Jani Leppäjärvi
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite**Kostamon valaistus / Luettelo valaisimista**

PHILIPS SGP340 PC 1xSON-TPP70W TP P5
Tavaranumero:
Valovirta (Valaisin): 5346 lm
Valovirta (Lamput): 6600 lm
Valaisimien teho: 80.0 W
Valaisinten luokittelu CIE: 100
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 39
74 97 100 81
Varustus: 1 x SON-TPP70W (Korjaustekijä
1.000).



Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy

Tekijä Jani Leppäjärvi
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite**Kostamon valaistus / Vääräväri-kuvanmuodostus**

0

10

20

30

40

50

60

70

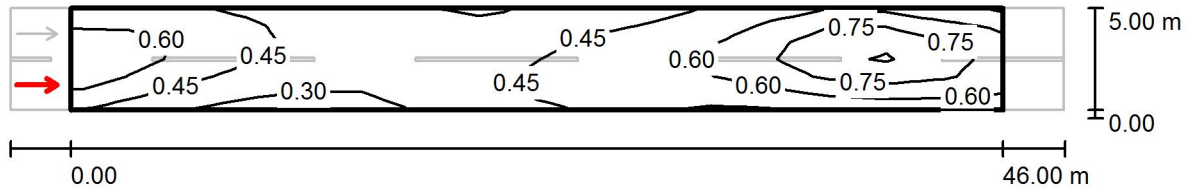
80

lx

Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy

Tekijä Jani Leppäjärvi
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Kostamon valaistus / Arviointikenttä Ajorata 1 / Katsoja 1 / Isolux-käyrät (L)

Arvot (yksikkö) Candela/m², Mittakaava 1 : 372

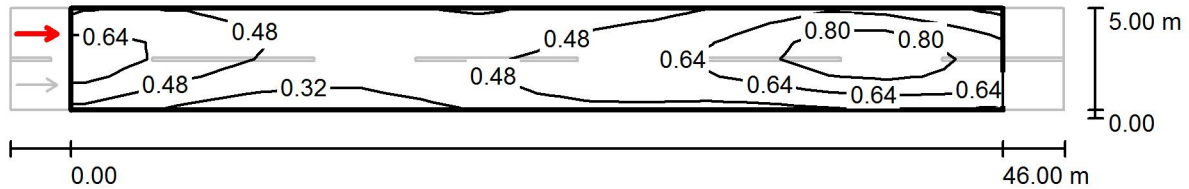
Rasteri: 16 x 6 Pisteet
Katsojan sijainti: (-60.000 m, 1.250 m, 1.500 m)
Päällyste: R2, q0: 0.070

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Lasketut tosiarvot:	0.52	0.50	0.41	13
Ohjearvot luokan perusteella ME5:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15
Täytetty/ei täytetty:	✓	✓	✓	✓

Sähköurakointi- ja suunnittelu Liisanantti Oy

Tekijä Jani Leppäjärvi
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Kostamon valaistus / Arviointikenttä Ajorata 1 / Katsoja 2 / Isolux-käyrät (L)



Arvot (yksikkö) Candela/m², Mittakaava 1 : 372

Rasteri: 16 x 6 Pisteet
Katsojan sijainti: (-60.000 m, 3.750 m, 1.500 m)
Päällyste: R2, q0: 0.070

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Lasketut tosiarvot:	0.54	0.44	0.40	14
Ohjearvot luokan perusteella ME5:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15
Täytetty/ei täytetty:	✓	✓	✓	✓