



**LED-KATUVALAISTUKSEN  
KANNATTAVUUS  
VALAISTUSLUOKAN AL5  
AJORADOILLA**

Niko Puurtinen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2014  
Talotekniikka  
Sähköinen talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Sähköisen talotekniikan suuntautumisvaihtoehto

PUURTINEN NIKO:

Led-katuvalaistuksen kannattavuus valaistusluokan AL5 ajoradoilla

Opinnäytetyö 58 sivua, joista liitteitä 10 sivua  
Huhtikuu 2014

---

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin katuvalaistus suunnitteluun, katuvalaistuksen energiansäästöihin, led-katuvalaisimen hyötyihin katuvalaistuksessa ja kannattavuuteen AL5-valaistusluokan ajoradoilla. Energiansäästämisen direktiiveihin on määritelty korkeita vaatimuksia sekä Suomessa, että muualla maailmassa. Siksi on tärkeää päivittää tietämystä aiheesta mm. katuvalaistuksen suunnittelun osalta.

Katuvalaistussuunnittelussa on tärkeää määritellä energiatehokkain valaisin ja tavoitella kohteen valaistusluokan täyttävää energiatehokkainta valaistusratkaisua. Tällä hetkellä Suomessa katuvalaistuksia uusitaan ja pyritään näin säästämään energiakustannuksissa vaihtamalla valaisinta ja ohjausjärjestelmiä. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin energiatehokkaimman valaistusratkaisun löytämiseen valaisinta vaihtamalla.

Led-katuvalaisimen käyttö on lisääntynyt katuvalaistuksessa, mikä johtuu led-katuvalaisimien hinnan alenemisesta ja niiden valaisintekniikan paranemisesta. Led-katuvalaisimella on todettu hyvät valon himmennysominaisuudet, mutta liitäntälaitteen aiheuttama virtapiikki on tuonut haasteita katuvalaistusverkon suunnitteluun.

Opinnäytetyön lopussa perehdyttiin kahteen erilaiseen katuvalaistusratkaisuun kahdessa kohteessa. Kohteiden katuvalaistusratkaisuja vertailtiin toisiinsa valaistusominaisuuksiltaan ja elinkaarikustannuksiltaan. Elinkaarikustannuksia laskettaessa on käytetty hypoteettista 1000 metrin pituista tieosuutta, kuitenkin samoja valaistusratkaisuja käyttäen, jotta päästäisiin vielä tarkempiin vertailutuloksiin.

Katuvalaistuksia suunniteltaessa on pyrittävä ottamaan vertailun kohteeksi parikin led-valaistusratkaisua ja otettava huomioon katuvalaisimien himmennysmahdollisuudet ja valaisimen virtapiikin vaikutukset katuvalaistusverkon suunnittelussa. Nämä kaikki asiat edistävät sitä, että päästäisiin mahdollisimman hyviin lopputuloksiin katuvalaistuksia suunniteltaessa.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
Electrical Building Services

**PUURTINEN NIKO:**

Viability of LED Lighting in Street Lighting in AL5 Lighting Class

Bachelor's thesis 58 pages, appendices 10 pages

April 2014

---

The objective of this thesis was to gather information on the basic knowledge of street lighting design, energy savings in street lighting and the benefits and profitability of LED street lamps in street lighting, especially on the roads of AL5 lighting class. The current energy savings directives impose heavy requirements both in Finland and elsewhere in the world. Therefore, it is nowadays important to update knowledge of the subject more and more often, in every field. The design of street lighting is one of those fields.

It is important to determine the most energy-efficient lighting fixture in the design of street lighting, and reach for the illumination solution of the target lighting class that meets energy efficiency requirements in the design of street lighting. At the moment street lighting in Finland is being renewed. The best methods to save on energy cost are to change the lighting fixture and control system of street lighting. This thesis focused on finding an energy efficient lighting solution by changing the lighting fixture.

The use of LED street light fixture has increased in street lighting, and this is due to lower prices and improvements in the lighting technology of LED street light fixtures. The LED street light fixture has been credited for good dimming control features, but for ballast, the power surge by the connection device was found problematic.

Finally, this thesis focused on two different street lighting solutions in two different locations. The street lighting solutions in the two locations were compared with each other, as for the illumination features and life cycle costs. Life cycle costs were calculated for a hypothetical stretch of road, however, using the same lighting solutions, in order to obtain more detailed results.

The design of street lighting should make every effort to compare at least a couple of LED lighting solutions and to take into account the significantly reduction of street light fixture as well as the effects of the power surge in lighting fixture in the design of street lighting network, in order to achieve the best results in the design of street lighting.

---

Key words: street lighting, LED, lighting fixture, life cycle costs

## ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyön valmistumiseen ovat vaikuttaneet useat henkilöt, joille haluan lausua kiitoksen. Haluan kiittää opinnäytetyöni ohjaajaa Pirkko Harsiaa erinomaisesta ohjauksesta ja rakentavasta palautteesta. Haluan kiittää myös Tampereen kaupungilta Mika Heikkilää hyvästä yhteistyöstä. Kiitoksen ansaitsee myös Pöyry Finland Oy:n Electrical Capital Area:n henkilökunta, joista erityisesti haluaisin kiittää Harri Stenmanina, Mika Alènia, Jussi Vartiaista ja Juuso Korpelaa. Lisäksi haluaisin kiittää perhettäni ja ystäviäni, jotka ovat auttaneet ja olleet tukenani.

Tampere 28.4.2014

Niko Puurtinen

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	9
2	KATUVALAISTUSSUUNNITTELUN OHJEITA.....	11
	2.1. Yleistä .....	11
	2.2. Valaistustekniset laitteet.....	12
	2.3. Valaisimen sijainti .....	13
	2.4. Valaistusvaatimukset .....	14
	2.5. Katuvalaistuksen sähköjärjestelmät.....	16
	2.5.1 Katuvalaistuksen ohjaus.....	16
	2.5.2 Katuvalaistuksen himmentäminen .....	17
	2.5.3 Katuvalaistuksen kaapelit ja valaistusryhmät .....	17
	2.5.4 Katuvalaistuksen maadoittaminen .....	18
	2.5.5 Katuvalaistuksen keskuskeskukset .....	19
	2.6. Katuvalaistussuunnittelun ohjeiden yhteenveto.....	19
3	KATUVALAISTUKSEN ENERGIAKULUTUKSEN PIENENTÄMINEN .....	20
	3.1. Katuvalaistuksen energiakulutuksen pienentämistavoitteet .....	20
	3.2. Katuvalaistuksen energiakulutuksen pienentäminen Suomessa.....	20
	3.3. Katuvalaistuksen energiakulutuksen pienentämisen vaihtoehdot.....	21
	3.4. Led-katuvalaisimen mahdollisuudet energiakulutuksen pienentämisessä.....	22
	3.4.1 Led-valonlähteen lumenet.....	23
	3.4.2 Led-valaisin verkonmitoituksessa.....	24
	3.4.3 Led:ien käyttö maailmalla.....	26
4	ESIMERKKIRATKAISUT.....	27
	4.1. Runeberginkatu .....	28
	4.1.1 Valaistusratkaisut .....	29
	4.1.2 Runeberginkadun tarkastelut.....	30
	4.2. Muinaishaudankatu .....	35
	4.2.1 Valaistusratkaisut .....	36
	4.2.2 Muinaishaudankadun tarkastelut.....	37
	4.3. Esimerkkiratkaisujen kustannukset.....	42
	4.3.1 Runeberginkadun kustannukset .....	43
	4.3.2 Muinaishaudan kustannukset .....	44
5	POHDINTA.....	46
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET .....	49
	Liite 1. Vanhat piirrosmerkinnät (Tampereen kaupunki).....	49
	Liite 2. Uudet piirrosmerkinnät (Katuvalaistuksen kehitysryhmä, SITO) .....	50

Liite 3. Runeberginkadun kokonaiskustannukset (Kustannuslaskenta-tulokset).....	51
Liite 4. Runeberginkadun elinkaarikustannukset (Kustannuslaskenta-tulokset).....	52
Liite 5. Runeberginkadun käyttöajat (Kustannuslaskenta-tulokset).....	53
Liite 6. Runeberginkadun energiakustannukset (Kustannuslaskenta-tulokset).....	54
Liite 7. Muinaishaudankadun kokonaiskust. (Kustannuslaskenta-tulokset) .....	55
Liite 8. Muinaishaudankadun elinkaarikust. (Kustannuslaskenta-tulokset).....	56
Liite 9. Muinaishaudankadun käyttöajat (Kustannuslaskenta-tulokset).....	57
Liite 10. Muinaishaudankadun energiakust. (Kustannuslaskenta-tulokset).....	58

## LYHENTEET JA TERMIT

LED	LED (Light-Emitting Diode) eli hohtodiodi tai ledi on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirta. Ledien valmistusmateriaali määrää komponentin lähettämän valon värin, jota voidaan edelleen muokata ledin pintaan lisätyillä kalvoilla ja pinnoitteilla
AL-luokka	AL-luokat ovat vaatimuksia valaistukselle ajoradoilla
$L_m$	Keskimääräinen luminanssi, tien pinnan ”valoisuus”
$U_0$	Luminanssi-arvojen yleistasaisuus, pinnan minimiluminanssin suhde pinnan luminanssiin, ( $L_{min}/L_m$ )
$U_i$	Luminanssi-arvojen pitkittäistasaisuus, kunkin kaistan keskellä minimiluminanssin suhde suurimpaan tietyssä pisteessä ( $L_{min}/L_{max}$ )
$E_m$	Vaakatason keskimääräinen valaistusvoimakkuus, valovirta pinta-alayksikköä kohti
TI	Estohäikäisyn näkemistä heikentävä vaikutus, mitattavassa silmän kontrastierotuskyvyn muuttumisen arvona(%)
SR	Ajoradan vieressä olevan puolen ajoradanlevyisen kaistan valaistusvoimakkuuden suhdetta lähimmän ajokaistan valaistusvoimakkuuteen. Ns. ympäristön valaistus
DM	Philips Clearway -valaisimen keskileveä optiikka
GSM	Matkapuhelinjärjestelmä, jota käytetään maailmanlaajuisesti, (Global System for Mobile Communications)
LPV	Siteco -valaisimen lampun kulman asento
RP	Siteco -valaisimen heijastimen kulman asento
MAAD CU25	Poikkipinnaltaan 25 mm <sup>2</sup> maadoitusköyden tunnus
AXMK	Alumiinivoimakaapelin tunnus
CO2	Hiilidioksidi
CRI	Värintoistoindeksi

EuP (ErP) -direktiivi	EuP -direktiivi (Eco Design -direktiivi, jatkossa Erp -direktiivi; Energy Related Products Directive) on puitedirektiivi energiaa käyttävien tuotteiden ekologisen suunnittelun vaatimuksista.
lm/W	Valontehokkuuden yksikkö. Se määrittelee miten hyvin lamppu toimii valontuottamisessa. Eli miten hyvin lamppu muuttaa sähkötehon valovirraksi.
lm	Lumen eli valovirran yksikkö on arvo, jolla mitataan valonlähteen valontuottoa.



## 1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli perehtyä katuvalaistussuunnitteluun ja erityisesti led-valaisimiin katuvalaistuksessa. Lisäksi selvitetään miten led-valaisin vaikuttaa katuvalaistuksen verkonmitoitukseen ja elinkaarilaskentaan.

Tässä työssä tutkitaan mitä valaisinta kannattaisi käyttää AL5-valaistusluokan teillä, kahta eri valonlähdetä keskenään vertailemalla. Valonlähteet ovat suurpainenatriumlamppu ja led-valonlähde. Työn alussa tutustutaan yleisesti katuvalaistussuunnittelu ohjeisiin ja EU:n energiankulutusta koskeviin säädöksiin. Lisäksi tutkitaan led-valaisimen teknisiä ominaisuuksia ja sen käyttömahdollisuuksia katuvalaistuksessa.

Vuonna 2008 Valtioneuvosto on määritellyt Suomessa tavoitteeksi, että energian loppukulutus ei enää kasvaisi nykyisestä vaan pysyisi likimain samana, joka tarkoittaa 2020 loppukulutuksen suuruudeksi 310 TWh. Energiatehokkuuden täytyisi parantua vuodesta 2007 20% vuoteen 2020 mennessä. Suomelle on myös tehty päästövähennysvelvoite, joka tarkoittaa 16%:n vähennyksiä 2005 vuoden päästöistä vuoteen 2020 mennessä, ja vuosien 2013-2020 välissä päästöjen oltava sille määrättyllä janalla tai sitä alhaisemmat. Energiatehokkuus on nykypäivänä suurimpia puheenaiheita, ja yksi energiatehokkuuden parantamisen kohteista on katuvalaistus.

Tällä hetkellä katuvalaistuksia uusitaan joka puolella maailmaa ja Suomea. Suomessa käytetyimmät katuvalaisimet ovat olleet elohopeahöyrylampullisia valaisimia, joita pyritään poistamaan teiltä ja puistoista, niiden suurten energiankulutusten ja siitä aiheutuvien suurien hiilidioksidipäästöjen takia. EU:n määräämien energiankulutusta koskevien määräyksien myötä ollaan tarkkoja siitä, mitä valaisinta suunnitellaan elohopeavalaisimien tilalle. Esimerkillistä toimintaa on näyttänyt Tampereen kaupunki, jossa on määritelty puistoihin ja kevyenliikenteenväylille käytettäväksi led-valaisinta. Muille teille suunnitellaan suurpainenatrium-valaisinta tai led-valaisinta.

Tiet luokitellaan eri valaistusluokkiin kaupunkikohtaisesti. Valaistusluokat eli AL-luokat kertovat tien pinnalle kohdistuvan valon suureiden vaatimukset. Nämä valaistusluokat määritellään tien käytettävyyden mukaan. Esim. moottoriteillä tarvitaan enemmän valoa kuin puistoissa ja pienillä kadunpätkillä. AL-luokat lähtevät liikkeelle AL5-

valaistusluokasta ja päättyvät AL1-valaistusluokkaan. Mitä pienempi AL-numero on, sitä enemmän tie tarvitsee valoa.

## 2 KATUVALAISTUSSUUNNITTELUN OHJEITA

### 2.1. Yleistä

Tie –ja katuvalaistuksella tarkoitetaan valaistusta, jolla valaistaan ajorataa, kevyenliikenteenväyliä ja puistoja. Katuvalaistuksen tarkoituksena on luoda valaistus, jolla varmistetaan riittävä näkyvyys valaistavassa kohteessa ja tarpeellinen vaikutus yleiseen turvallisuuteen ja viihtyvyyteen. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 9.)

Pimeällä tiellä ajettaessa onnettomuusriski kasvaa jopa 3 -kertaiseksi heikentyneen näkemisedellytyksen takia verrattuna valoisaan aikaan. Katuvalaistus vähentää yleisillä teillä pimeän ajan onnettomuuksia keskimäärin 30 %:lla. Esimerkiksi moottori -ja moottoriliikenneteillä 20%, muilla autoliikenneteillä 25% ja sekaliikenneteillä 30%. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 8.)

Katuvalaistuksen suunnittelussa määritellään oikea ja kokonaisvaikutuksiltaan edullisin valaistusratkaisu ottaen huomioon kohteen eri valaistusteknilliset vaatimukset. Suunnitteluprosessiin kuuluu peräkkäisiä osavaiheita ja tehtäviä sekä eriasteisia suunnitelmia. Suunnitelmat liittyvät kiinteästi muuhun tiesuunnitteluun tai ne laaditaan olemassa olevalle tielle erillistä valaistushanketta varten. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 79.)



*Kuva 1. Katuvalaistus, moottoritie (Ins. Jarno J Laine, 2014, Silverframe.fi)*

## 2.2. Valaistustekniset laitteet

Valaistusteknisiä laitteita ovat kaikki valaistuksessa tarvittavat kiinteät rakenteet, laitteet ja kalusteet kuten lamput, valaisimet, pylväät, valaisinvarret, perustukset, sähköjohdelliset laitteet sekä johtoverkko. Lisäksi ajoradan päällyste toimii välillisenä valaistuselementtinä. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 79.)

Yleisimmät valonlähteet tällä hetkellä katuvalaistuksessa ovat elohopea-, monimetalli-, suurpainenatrium- ja induktiolamppu. Sekä uusimpana led-valonlähde.

Käytetyimpiä kaasupurkaustekniikkaan perustuviin lamppuihin kuuluu suurpainenatriumlamppu ja monimetallilamppu. Suurpainenatriumlamppu (SpNa-lamppu) on näistä valonlähteistä käytetyin hyvän valontehokkuuden, pitkän polttoajan ja edullisen hinnan takia. SpNa-lampun tunnistaa hyvin kadulla sen kellertävästä valokeilasta. Elohopealamppu on nykyisin vältetty valonlähde, jota pyritään poistamaan kaduilta suuren energiakulutuksen takia. Taas puolijohdekomponentteihin kuuluvia led-valonlähteitä yritetään lisätä katuvalaistukseen pienen kokonaistehon ja pitkän huoltovälin takia.

Seuraavassa taulukossa on vertailtu näitä erilaisia valonlähteitä valontehokkuuden, polttoajan, värinsoistoindeksin ja värilämpötilan arvoja toisiinsa

TAULUKKO 1(1/2). Valonlähteiden ominaisuudet (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 82.)

Valonlähde	Valotehokkuus lm/W	Polttoikä 1000 h	Värinsoistoindeksi $R_a$	Värilämpötila K
Suurpainenatrium	70-120	12-22	20-65	2000-2200
Monimetalli, keraaminen	80-95	5-12	80-95	3000-4200
Elohopea	40-55	12-16	50-60	3200-4200
Loistelamppu	60-100	11-40	80-90	2700-4000
Pistokantaloistelamppu	60-80	8-12	80-90	2700-4000
Induktiolamppu	60-80	60	80	2700-4000
LED	Useita tyyppejä, värejä ja arvoja			

TAULUKKO 1(2/2). Valonlähteiden ominaisuudet (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 82.)

K	Valon väri
3000	lämmin valkoinen
4000	valkoinen
5000	päivänvalo

R <sub>a</sub>	Värintoisto
> 90	erittäin hyvä
80-60	hyvä
0	olematon

Valaisimen tärkein tehtävä on suunnata valo hyvällä hyötysuhteella lampusta ajoradalle ja sen lähiympäristöön sekä lampun suojaaminen erilaisilta rasituksilta: esim. likaantuminen, sään vaihtelu, värinä, korrosio, pöly, ilkivalta sekä ilman epäpuhtaudet. Valaisimen tulee olla helppo huoltaa ja muodoltaan sellainen, että tuulikuorma on mahdollisimman pieni. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 82.)

Nykyisin valaisimen perusominaisuuksiin kuuluu heijastimen ja lampun hyvä säädettävyys. Koska ajoratojen leveydet vaihtelevat paljon, tarvitaan hyvää valaisimen säädettävyttä. Näin päästään mahdollisimman energiatehokkaihin valaistustuloksiin kadun leveydestä riippumatta. Silloin myös pitenee kahden pylvään välinen etäisyys, joka on myös katuvalaistussuunnitelman energiatehokkuuteen vaikuttava tekijä.

### 2.3. Valaisimen sijainti

Valaisimet tulee sijoittaa kohtisuoraan tietä vastaan. Valaisimet sijoitetaan siten, että heijastuskuviot tulevat pääosin ajoradalle. Kaikkien valaisimien aiheuttamat heijastuskuviot muodostavat yhdessä ajoradalle luminanssimallin, joka riippuu myös katselijan paikasta. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 83.)

Valaistusteknillisesti ja ulkonäkösyistä asennuskorkeus on yleensä samaa korkeusluokkaa kuin valaistavan tien leveys. Tarkempi korkeus valitaan laskelmien perusteella. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 83.)

Valaisimen sijoitteluun vaikuttaa pääasiassa pylvään korkeus, pylvään varren pituus ja pylväsväli. Tavoiteltaessa parasta mahdollista valaisimen sijaintia, kahden pylvään välinen etäisyys täytyisi olla mahdollisimman suuri ja valaisimen ottama tehomäärä mah-

dollisimman pieni. Lisäksi kohteessa pitää täytyä tietyt valaistus- ja ulkonäkövaatimukset.

TAULUKKO 2. Varsien pituudet eri pylväskorkeuksissa (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 17.)

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

#### 2.4. Valaistusvaatimukset

Tien valaistusvaatimukset tarkoittavat ajoradan ja kevyenliikenteenväylien valonsuureita, joita tarkastellaan eri valaistusluokilla. Valaistusluokat esitetään yleisesti kaupungin tarveselvityksessä, josta nähdään paljonko tarvitaan valoa milläkin tiellä.

Ajoradan valaistuksessa on tarkat vaatimukset ja valaistusluokat, jotta saadaan tien pintaan mahdollisimman turvallinen ja tehokas valaistus. Tällainen valaistus saadaan noudattamalla standardin SFS-EN 13201 mukaisia AL-valaistusluokkia. AL-luokat lähtevät liikkeelle AL5-valaistusluokasta ja päättyvät AL1-valaistusluokkaan. Mitä pienempi AL-numero on, sitä enemmän tie tarvitsee valoa.

AL-luokat on tarkoitettu kuivalla ja märällä päällysteellä moottorinajoneuvon kuljettajille teillä ja kaduilla, joilla ajonopeus on korkeahko tai suuri, vähintään 50 km/h. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 17.)

AL-luokan vaatimuksissa tarkkaillaan luminanssiarvoja kuivalla ja märällä ajoradalla. Näitä arvoja ovat:

- $L_m$ , tien pinnalle kohdistuva keskimääräinen luminanssi

- $U_0$ , tien pinnalle kohdistuva luminanssin yleistasaisuus, pinnan minimiluminanssin suhde pinnan keskimääräiseen luminanssiin, ( $L_{min}/L_m$ )
- $U_i$ , tien pinnalle kohdistuva luminanssin pitkittäistasaisuus, kunkin tien kaistan keskellä minimivalaistusluminanssin suhde suurimpaan tietyssä pisteessä ( $L_{min}/L_{max}$ )
- $T_i$ , tien pinnalle kohdistuva estohäikäisyn näkemistä heikentävä vaikutus, mitattavassa silmän kontrastierotuskyvyn muuttumisen arvona(%)
- SR, Ajoradan vieressä olevan puolen ajoradanlevyisen kaistan valaistusvoimakkuuden suhde lähimmän ajokaistan valaistusvoimakkuuteen. Ns. ympäristön valaistus.

TAULUKKO 3. AL-luokat (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 17.)

Luokka	Kuivan ja märän ajoradan luminanssi				Estohäikäisy	Ympäristön valaistus
	Kuiva			Märkä		
	$L_m$ cd/m <sup>2</sup> , min	$U_0$ min	$U_1$ min	$U_0$ min	TI % max	SR min
AL1	2,0	0,4	0,6	0,15	10	0,5
AL 2	1,5	0,4	0,6	0,15	10	0,5
AL3	1,0	0,4	0,6	0,15	15	0,5
AL 4a	1,0	0,4	0,4	0,15	15	0,5
AL4b	0,75					
AL 5	0,5	0,35	0,4	0,15	15	0,5

Kevyenliikenteenväylillä valaistuksella varmistetaan riittävä turvallisuuden ja viihtyvyyden tunne kadunkäyttäjälle. Kadunkäyttäjä pystyy havaitsemaan esteen riittävän ajoissa ajoradalla tai sen läheisyydessä. Valaistus ei saisi häiritä kadunkäyttäjää. Näistä valaistukseen liittyvistä vaatimuksista käytetään standardin SFS-EN 13201 mukaisia valaistusluokkia eli K-luokkia. (Ulkovalaistuksen tarveselvitys, Suunnitelmaselostus 2002, 9.)

K-valaistusluokat on tarkoitettu kevyenliikenteenväylille, puistoille, asunto- ja pihakaduille, jalankulkukaduille, pysäköintialueille ja pihaille.

K-luokkien taulukossa tarkastellaan kevyenliikenteenväylän keskimääräistä ja pienintä valaistusvoimakkuutta.

TAULUKKO 4. K-luokat (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 17.)

Luokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus	
	$E_m$ <sup>1)</sup> 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

## 2.5. Katuvalaistuksen sähköjärjestelmät

Katuvalaistuksen sähkölaitteina käytetään vain tuotteita, jotka ovat sertifioituja suomalaisiin olosuhteisiin. Tai tuotteita, joilla on voimassaoleva eurooppalaisten esikuvastandardien mukaiset sertifioinnit, joissa on otettu huomioon suomalaiset asennus-ym. olosuhteet. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 92.)

Katuvalaistuksen sähköjärjestelmiin kuuluu muun muassa katuvalaistuksen ohjaus, kaapelointi, johtoverkko, maadoitukset ja katuvalaistuksen keskukset.

### 2.5.1 Katuvalaistuksen ohjaus

Ohjauksen tulee toimintojen ja teknillisten ratkaisujen puolesta olla tiepiirin vaatimusten mukainen. Ohjaus toteutetaan joko paikallisesti hämäräkytkimin ja kellolaittein tai keskitetysti, jolloin ohjauskäskyt välitetään tievalaistusverkon tai erillisen viestiverkon kautta. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 92.)



Ohjaustapa valitaan yksilöllisesti kohteesta riippuen. Ohjaustavan määrittämiseen vaikuttaa kohteen suuruus, sijainti ja resurssit. Ohjaustapoja ovat paikallishjaus, ketjuttaminen ja älykäs ohjaustapa.

## 2.5.2 Katuvalaistuksen himmentäminen

Katuvalaistuksen järjestelmäteholla tarkoitetaan lampun ja liitäntälaitteen yhteiskuormitustehoa, johon sisältyy johtoverkossa ja laitteissa syntyvät tehohäviöt.

Järjestelmätehoa voidaan säädellä tehonpudotusreileillä tai ohjattavilla liitäntälaitteella, jolloin valaistuksen ei aina tarvitse olla joko päällä tai pois päältä. Muutamissa valaisimissa löytyy jo suoraan valmius ohjelmoida tehonpudotuksen ajanjaksot. Voidaan siis pudottaa valaistuksen tehoa ajankohdasta ja tarpeesta riippuen, jolloin saadaan mahdollisimman energiatehokas valaistus. Tehonpudotuksen ajanjaksot määritellään aina kaupunkikohtaisesti. Taulukko 5 nähdään esimerkkinä Tampereen kaupungin led-valaistuksen himmennystaulukko.

TAULUKKO 5. Tampereen kaupungin himmennystaulukko (Tampereen kaupunki)

LED-valaistuksen himmennystaulukko		Valaistuksen päälläoloaika (alkava tunti)																		
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
Valaistusluokka	Luokat himmennyksessä	Valaistuksen prosenttimäärä (jäljellä oleva taso)																		
K1	K1>K2>K3>K2>K1	100	100	100	100	100	100	65	65	65	50	50	50	50	50	65	100	100	100	
K2	K2>K3>K4>K3>K2	100	100	100	100	100	100	75	75	75	50	50	50	50	50	75	100	100	100	
K3	K3>K4>K5>K4>(K3)	100	100	100	100	100	100	60	60	40	40	40	40	40	40	60	90	90	90	
K4	K4>K5>K6>K5>(K4)	100	100	100	100	100	100	60	60	40	40	40	40	40	40	60	90	90	90	
		Valaistuksen prosenttimäärä (jäljellä oleva taso)																		
AL1	AL1>AL2>AL3>AL2>AL1	100	100	100	100	100	100	75	75	75	50	50	50	50	50	75	75	100	100	100
AL2	AL2>AL3>AL4b>AL3>AL2	100	100	100	100	100	100	65	65	65	50	50	50	50	50	65	65	100	100	100
AL3	AL3>AL4b>AL5>AL4b>AL3	100	100	100	100	100	100	75	75	75	50	50	50	50	50	75	75	100	100	100
AL4a	AL4a>AL4b>AL5>AL4b>AL4a	100	100	100	100	100	100	75	75	75	50	50	50	50	50	75	75	100	100	100
AL4b	AL4b>AL5>AL6>AL5>(AL4b)	100	100	100	100	100	100	65	65	40	40	40	40	40	40	65	65	90	90	90
AL5	AL5>AL6>K5>AL6>(AL5)	100	100	100	100	100	100	60	60	40	40	40	40	40	40	60	60	90	90	90
(Suluissa oleva arvo jää vajaaksi)		Valaistuksen prosenttimäärä (jäljellä oleva taso)																		
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
		Valaistuksen päälläoloaika (alkava tunti)																		

## 2.5.3 Katuvalaistuksen kaapelit ja valaistusryhmät

Nykyisin katuvalaistuksen kaapelointi on tehty maakaapelina tai ilmakaapelina. Ilmakaapelointi pyritään poistamaan samalla kun katuvalaistuksia uusitaan ja tilalle asennetaan maakaapelointi. Katuvalaistusryhmät erotellaan toisistaan jakorajoilla. Jakorajan tehtävä on päättää syöttävä ryhmä ja erotella syöttävät ryhmät toisistaan. Jakorajan avulla saadaan syötettyä ryhmää vaihtoehtoisesti toisesta ryhmästä, jos toinen ryhmistä on vikatilanteessa. Jakorajoja siirtelemällä voidaan muuttaa syöttävän ryhmän kuormitetta-

vuotta, eli valaisimien määrää ryhmässä. Uusia katuväläistusrhymiiä suunniteltaessa ja katuväläistusrhymiiä saneerattaessa on otettava huomioon nykyiset kaapeloinnit ja tarkastettava ryhmien toiminta.

Katuväläistuksen maakaapelina käytetään poikkipinnaltaan 16-35 mm<sup>2</sup> alumiinikaapelia AMCMK tai AXMK. Uusittavan maakaapelin poikkipinta-ala määräytyy katuväläistusrhymän suuruudesta ja ryhmän pituudesta. Kaupunkikohtaisesti on suositeltu minkä kokoista kaapelointia halutaan käytettävän. Ryhmät suunnitellaan siten, että automaattinen poiskytkentä toimii vaaditulla tavalla, ja jännitteenalenema sekä kuormitus eivät nouse liian suuriksi. Maadoituselektrodina käytetään poikkipinta-alaltaan 16 mm<sup>2</sup> kirkasta kupariköyttä. Jossain kunnissa suositellaan myös 25 mm<sup>2</sup> käyttöä.

Valittaessa väläistusrhymien suojaustapaa, käytetään esimerkiksi 25 A tai 35 A gG -sulaketta tai johdonsuojakatkaisijaa. Tämä riippuu taas ryhmän kuormitettavuudesta, kaapeloinnista ja ryhmän kaapeleiden pituuksista. Pyritään käyttämään mahdollisimman pieniä ryhmiä, enintään 25 A sulaketta tai johdonsuojakatkaisijaa, jotta pystyttäisiin minimoimaan vika-alue vikatilanteessa.

#### **2.5.4 Katuväläistuksen maadoittaminen**

Katuväläistukset maadoitetaan yleensä kahden vierekkäisten pylväiden välille. Nollajohdin on maadoitettava enintään 200 m etäisyydelle verkon syöttöpisteestä ja jokaisen yli 200 m pituisen johdon tai johtohaaran loppupäässä, tai enintään 200 m:n etäisyydelle loppupäästä. Maadoitusimpedanssin arvoksi on mahdollisuuksien mukaan pyrittävä saamaan alle 100 ohmia. (SFS 6000)

Katuväläistyskeskukset on varustettava omalla maadoituselektrodilla ja PEN- johdin pitäisi maadoittaa muualtakin, kuten paikoissa, missä on maadoituselektrodi tai muuten vaan hyvät maadoitusmahdollisuudet. Vierekkäiset katuväläistyskeskuksen ryhmät on kytkettävä yhteen erillisellä Cu 16 -köydellä.

### **2.5.5 Katuvalaistuksen keskukset**

Katuvalaistuskeskukset sijoitetaan yleensä maahan sellaiselle sijainnille, jotta saataisiin mahdollisimman lyhyet ryhmäjohtojen pituudet ja huoltotyöt pystyttäisiin toteuttamaan vaivattomasti.

Keskus eli jakokaappi on omalla jalustallaan seisova joko metallilevystä tai lasikuidusta tehty yhtenäinen kaappi. Jakokaapin tulee olla standardin SFS 2533 mukainen kaapeli-jakokaappi ja jalustan tulee täyttää standardin SFS 2534 vaatimukset. Jakokaapin avaimen tulee olla standardin SFS 2581 mukainen. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 94.)

### **2.6. Katuvalaistussuunnittelun ohjeiden yhteenveto**

Nämä katuvalaistussuunnittelun ohjeiden pääkohdat liittyvät katuvalaistuksen saneeraus kohteisiin ja energiakulutukseen vaikuttaviin tekijöihin katuvalaistuksia suunniteltaessa. Kyseiset pääkohdat ovat tärkeimpiä tässä tutkielmassa, joten yksityiskohtaisempaan aineiston kertomiseen ei perehdytä. Katuvalaistuksen suunnitteluohjeet löytyvät Tiehallinnon sivuilta. Tiehallinto vastaa katuvalaistussuunnittelun ohjeistuksesta. Tiehallinnon sivuilla kerrotaan tarkemmin ja yksityiskohtaisemmin katuvalaistussuunnitteluun liittyvät asiat.

### **3 KATUVALAISTUKSEN ENERGIAKULUTUKSEN PIENENTÄMINEN**

#### **3.1. Katuvalaistuksen energiakulutuksen pienentämistavoitteet**

Katuvalaistuksessa käytetyn elohopealampun poistaminen markkinoilta on suurin EuP-direktiivin aiheuttama tie- ja katuvalaistukseen kohdistuva muutos. Markkinoilta poistuvat elohopealamput voidaan korvata esim. monimetalli- tai SpNa-lampulla, joiden valontehokkuus on elohopealamppua parempi. Vaihtoehtoisesti korvattavana valaisimena voidaan käyttää led-valaisinta, mikäli led-valaisimella saadaan yhtä suuri hyöty kuten SpNa- ja monimetallilampullakin. (VALOA design, EuP-direktiivin vaikutuksen arviointi)

Katuvalaistuksen suunnittelussa on tärkeää määritellä oikea ja kokonaisvaikutuksiltaan edullisin valaistusratkaisu ottaen huomioon valaistusteknilliset vaatimukset ja eri valaistusperiaatteet. Suunnitteluprosessiin sisältyy monenlaisia osavaiheita ja tehtäviä sekä eriasteisia suunnitelmia. Suunnitelmat liittyvät konkreettisesti muuhun tiesuunnitteluun tai ne laaditaan jo olemassa olevalle kadulle esimerkiksi valaistuksen saneerauskohteisiin. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 79.)

Tarkasti harkitulla katuvalaistussuunnitelmalla saadaan pienennettyä sekä kokonaiskustannuksia että energiankulutusta katuvalaistushankkeissa. Valonlähteet kehittyvät ja halpenevat hurjaa vauhtia. On tärkeää tietää tämänhetkisistä vaihtoehdoista enemmän, jotta energiatehokkaat valaistusratkaisut saadaan toteutettua.

#### **3.2. Katuvalaistuksen energiakulutuksen pienentäminen Suomessa**

Suomen kaupunkien ja taloyhtiöiden hallinnoima ulkovalaistus on yleensä toteutettu elohopea-, SpNa - tai monimetallilampuilla. Näiden lamppujen energiatehokkuudelle on nyt asetettu uusia raja-arvoja, joiden ansiosta energiasyöpöt ratkaisut poistuvat markkinoilta lähivuosina. (Energy Using Products – direktiivin ohjaus)

Konkreettisimmin täytäntöönpanosäädös vaikuttaa Suomen ulkovalaistukseen kieltämällä nykyisenkaltaisten elohopelamppujen markkinoille tulon 2015 alkaen. Elohopealamppuja on käytössä paljon erityisesti puistoissa, pienkaduilla ja taloyhtiön pihaluilla. (Energy Using Products – direktiivin ohjaus)

ECO2-Ekotehokas Tampere 2020 on Tampereen kaupungin strateginen hanke, jonka tavoitteena on kaupungin ilmastositoumusten toteuttaminen, vähähiilisen kaupunkikehityksen sekä ympäristöliiketoiminnan kehittäminen ja edelläkävijyys ilmastoasioissa. USA:n suurlähettiläs Bruce Oreck totesi Tampere-vierailullaan: ”Suomi on asettanut itselleen kovat tavoitteet CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisessä. Se ei onnistu, ellei katuvalaistusta vaihdeta. Energian tuottaminen perinteiseen valaistukseen aiheuttaa enemmän päästöjä kuin autot.”

(ECO2 - Ekotehokas Tampere 2020.)

### **3.3. Katuvalaistuksen energiakulutuksen pienentämisen vaihtoehdot**

Katuvalaistuksia uusittaessa tavoitteena on saada pienennettyä nykyisen katuvalaistuksen energiankulutusta. Saneerauskohteissa on kaksi erilaista vaihtoehtoa, jolla saadaan pienennettyä energiankulutusta. Ensimmäinen on vaihtaa katuvalaistuksen ohjausjärjestelmää. Toinen vaihtoehto on katuvalaisimen vaihtaminen vähemmän energiaa kuluttavaan vaihtoehtoon.

Katuvalaistuksen ohjausjärjestelmillä saadaan alennettua energiakulutusta älykkäillä tehonpudotuslaitteilla pienentämällä tehoa ajanjaksolla, jolloin ohjattavasta katuvalaisimesta ei tarvitse hyödyntää 100 %:sti valaisimesta normaalikäytössä saatavaa tehoa. Ohjaustapa valitaan kohteeseen sopivaksi.

Paikallisohtausta käytetään, jos valaistava kohde ei ole suuri, vaan esim. jokin erillinen alue, jossa ei olla lähellä verkkokäskyjärjestelmää. Ohjauskäskyt suoritetaan hämäräkytkinten ja kellon avustuksella.

Ohjauksen ketjuttaminen on yksinkertainen ja edullinen. Menetelmässä keskuksat on kytketty toisiinsa erillisillä ohjauskaapeleilla, tai ohjaus voidaan ottaa välisulakkeen kautta toisen keskuksen valaisinpylväästä. Ohjaustapa on muuten hyvä, mutta yhden pylvään ohjauksen vika vaikuttaa kaikkiin muihin ketjutettuihin pylväisiin.

Älykkään katuvalaistuksen ohjaustavassa tieto liikkuu järjestelmässä esimerkiksi korkeataajuisena signaalina ryhmäjohtaja pitkin tai GSM- tai radioyhteyden välityksellä valaisimille, joten järjestelmässä ei tarvita erillisiä ohjauskaapeleita tiedonsiirtoon.

Valaisinta vaihtamalla energiatehokkaampaan hyöty saadaan normaalikäytössä, koska valaisin kuluttaa energiaa yhtäjaksoisesti vähemmän. Tutkielmassa keskitytään tähän energiankulutuksen vähentämistapaan ja siihen, mikä valaisin olisi hyvä vaihtaa elohopeavalaisimen tilalle.

### **3.4. Led-katuvalaisimen mahdollisuudet energiakulutuksen pienentämisessä**

Nykyään katuvalaistuksen saneerausurakoissa tavoitteena on saada pienennettyä katuvalaisimen kokonaistehoa, jotta päästäisiin pienempiin sähkönkulutusarvoihin teiden valaistuksessa. Elohopeavalaisimien tilalle ajoradoille tulisi SpNa-valaisimia ja puistoihin ja kevyenliikenteen väylille led-valaisimia. Seuraavissa kappaleessa perehdytään valaisimien ja eritoten led-valaisimien perusominaisuuksiin ja sen positiivisiin valaistustuloksiin valonlähteenä.

Valaisimen valintaan vaikuttavat seuraavat valaistusominaisuudet:

- valovirta
- valotehokkuus (lm/W) liitännälaitteineen
- hyötypolttoikä (h)
- kuolleisuus
- valovirran alenema (%)
- valon väri
- värintoistoindeksi
- valon suunnattavuus
- hinta

Tärkeimmiksi ominaisuuksiksi osoittautuvat kuitenkin värintoistoindeksi, valon suunnattavuus, valaisimen/lampun vaihtoväli, valontehokkuus ja hinta.

Led-valonlähteellä on hyvä värintoistoindeksi. Värintoistoindeksi, CRI eli Ra-indeksi on suure, jolla mitatetaan valonlähteen kykyä toistaa värejä verrattuna vertailtavaan valonlähteeseen. SpNa-lampulla CRI arvo on noin 22, monimetallilampulla noin 65 ja Led-valolla yli 75. (HR light Oy, LED-valot)

Valon suunnattavuus on yksi tärkeimpiä tekniikoita valaisimen suunnittelussa. Valon suunnattavuuteen löytyy erilaisia tapoja. Niillä saadaan valo oikeaan suuntaan, ajoradan

pinnalle niin, että pylväiden välinen pituus olisi mahdollisimman suuri. Valaisinvalmistajat pyrkivät samaan parhaan mahdollisen valon ajoradan pinnalle käyttämällä linssi-tekniikkaa tai heijastintekniikkaa. SpNa-valaisimella ja monimetallivalaisimella nämä ovat yleisimmät tavat. Led-valaisimelle ei ole niin suurta merkitystä kumpaa tekniikka käytetään, koska led-valonlähde toimii eri tavalla kuin SpNa- tai monimetallilampuilla. Led-valonlähteessä valo säteilee suoraan eteenpäin ja muilla lampuilla valo säteilee joka suuntaan, jolloin valoa joudutaan ohjaamaan heijastimien tai linssien avulla. Tämä vaikuttaa valaisimien hyötysuhteeseen, jolla on vaikutusta valaistusratkaisun energiatehokkuuteen. (HR light Oy, LED-valot)

Led-katuvalaisin on tärinän ja iskunkestävä, pienikokoinen ja kevyt, lämmöntuotannoltaan alhainen, kirkas ja valonjakaumaltaan helposti säädettävissä, erittäin pitkäikäinen, tehonkulutukseltaan alhainen ja lähes huoltovapaa. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 79.)

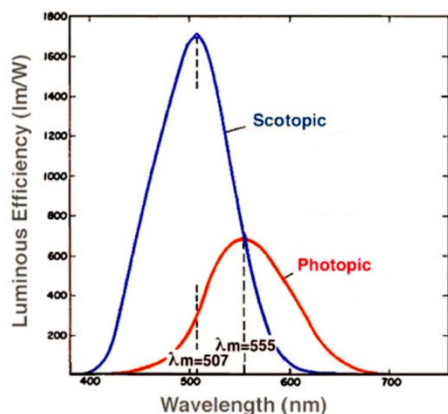
Suomessa lämpötila on alhainen suurimman osan vuotta, mikä lisää led-valaisimen hyötysuhdetta. Kun mitataan lumen-arvoja alhaisemmassa lämpötilassa, silloin led-valonlähde toimii paremmin ja valontehon putoaminen ei ole niin suuri. Näin ollen voidaan sanoa, että led saa optimaalisen hyötysuhteen kylmässä lämpötilassa, esimerkiksi käytettäessä ulko- ja katuvalaistuksessa. (HR light Oy, LED-valot)

### **3.4.1 Led-valonlähteen lumenet**

Valaistustekniikka kehittyy vauhdilla, ja niin kehittyy sitä myötä aiheeseen liittyvä tietämyksen taso. Silmä reagoi aallonpituuksiin eri tavalla valoisalla ja hämärässä. Tutkimuksissa on todettu, että lumen-arvot voidaan jakaa kahteen eri arvoon. Photooppisiin ja skotooppisiin lumeneihin. Silmä erottelee nämä arvot keskenään siten, että photooppisiin arvoihin silmä reagoi paremmin päivällä ja skotooppisiin arvoihin paremmin hämärässä. Kuten kuvasta voidaan todeta, lumen-arvoissa on huomattava ero.

Tutkimus photooppisista ja skotooppisista lumeneista vaikuttaa merkittävästi led-valonlähteen valovirran laskentaan eri käyttötilanteissa, led valonlähteen skotooppisten lumen-arvojen suuruuden takia. Varsinkin vaikutus led-katuvalaisimiin on suuri, koska valaistava ajankohta on hämärän aikaan, jolloin silmä reagoi skotooppisiin lumeneihin.

Koska aiheesta ei ole tehty vielä ohjeita valaistussuunnitteluun, tähän ei tarkemmin perehdytä.



KUVA 2. Scotopic -Photopic lumeneiden vaikutukset eri aallonpituuksilla (Photopic and Scotopic lumens -luento 4)

### 3.4.2 Led-valaisin verkonmitoituksessa

Katuvalaistuksen verkonmitoituksella varmistetaan katuvalaistusverkon toimivuus. Verkonmitoituksessa vertaillaan led- ja SpNa-valaisimien kuormitustaulukon (taulukko 6 ja 7) tuloksia, tarkastellaan jännitteenalenemaa ja automaattisen poiskytkennän toimintaa yhtä 25A ryhmää kohden AXMK 4x25 maakaapelia käyttäen ja eri ryhmäjohtojen kokonaispituuksia vaihdellen.

Ryhmän jännitteenalenemassa ja automaattisen poiskytkennän -toiminnassa ei havaittu suuria eroavaisuuksia eri valonlähteillä, joten asian tarkastelu jätettiin pois tutkimuksista. Katuvalaistuksia suunniteltaessa on laskettava silti nämä arvot, jotta voidaan varmistua verkonmitoituksessa katuvalaistusverkon toimivuus.

Kuormitustaulukolla testataan ryhmään kytkettyjen valaisimien vaikutukset suojalaitteeseen. Suojalaitteena katuvalaistusryhmissä voidaan käyttää gG-sulaketta tai johdonsojajakatkaisijaa. Tässä tutkimuksessa suojalaitteena käytettiin C-tyypin johdonsojajakatkaisijaa. Sulake A -sarakeesta nähdään suojalaitteen koko ja Virta -sarakeesta nähdään valaisimista aiheutuvat yhteenlasketut syttymisvirrat suojalaitteelle. Kuormitustaulukoista, taulukko 6 ja 7 huomataan valaisimien määrien erot ryhmää kohden. Led-valaisimia voidaan asentaa maksimaalinen määrä 25 A johdonsojajakatkaisijan taakse 24 kappaletta vaihetta kohden. Kun taas SpNa-valaisimia jopa 44 kappaletta. Tämä johtuu



led-valaisimelle ominaisesta suuresta syttymisvirrasta. Led-valaisimen tehonkulutus on vähäinen, mutta sen liitälaitteen aiheuttama ensimmäinen virtapiikki on suuri, joten se vähentää kuormitettavuuden määrää johdonsuojakatkaisijaa kohden. Johdonsuojakatkaisijan tyyppinä käytetään 25A C-tyypin johdonsuojakatkaisijaa. B-tyypin johdonsuojakatkaisijaa käytettäessä on huomioitava, että johdonsuojakatkaisijan taakse asennettavien valaisimien määrät pienenevät.

SpNa-, induktio-, monimetalli- ja elohopeavalaisimien syttymisvirran arvoina voidaan käyttää samoja arvoja riippumatta valaisinvalmistajasta. Led-valaisimilla liitälaitteet vaihtelevat paljon, joten sitä myötä vaihtuu syttymisvirran arvo. Tämä tarkoittaa sitä, että led-valaisinta käytettäessä ryhmäkoko on otettava huomioon suunnittelun ensimmäisissä vaiheissa. Valaisimien liitälaitteiden tekniset tiedot ja niiden syttymisvirrat kannattaa selvittää valaisinvalmistajilta.

Esimerkkitaulukot ovat esimerkkinä siitä, miten paljon valaisimen liitälaitte voi vaikuttaa verkon kuormitettavuuteen.

#### TAULUKKO 6. Kuormitustaulukko (Pöyry Finland Oy)

KUORMITUSTAULUKKO KV-XXXX																									
RUNEBERGINKATU																				Pvm Suunn.		Pvm Tark.		Pvm Hyv.	
Ryhmässä 1 Philips Clearway LED-valaisimet																									
Ryhmässä 2 Suurpainatrium-valaisimet																									
TAMPEREEN KAUPUNKI																				PÖYRY FINLAND OY		Päristusnumero			
KAUPUNKIYMPÄRISTÖN KEHITTÄMINEN																						Päristusversio			
Keskus KV-XXXX																									
Ryhmä	SpNa Lamput					Induktio			Monimetalli			Hg-lamput				LED(Philips Clearway -valaisin)		Sulake	Virta	Teho	Huom.				
	50 W	70 W	100 W	150 W	400 W	85 W	70 W	100W	150 W	50W	80W	125W	250W	49W	73W		A	A (cosφ=0.9)	kVA						
Syttymis.	0,4	0,56	0,8	1,04	2,94	0,56	0,47	1,2	1,8	0,4	0,7	1,2	2,4	1,04	1,04										
	63	83	116	170	446	85	83	115	170	60	91	141	270	57	82										
<b>R1:</b>																				Yht.	<b>4,10</b>				
L1														24			25	25,0		1,37					
L2														24			25	25,0		1,37					
L3														24			25	25,0		1,37					
<b>R2:</b>																				Yht.	<b>10,96</b>				
L1			44														25	24,6		3,65					
L2			44														25	24,6		3,65					
L3			44														25	24,6		3,65					

#### TAULUKKO 7. Kuormitustaulukko (Pöyry Finland Oy)

KUORMITUSTAULUKKO KV-XXXX																									
MUNAISHAUDANKATU																				Pvm Suunn.		Pvm Tark.		Pvm Hyv.	
Ryhmässä 1 LED-valaisimet(Philips Clearway)																									
Ryhmässä 2 Suurpainatriumilla																									
TAMPEREEN KAUPUNKI																				PÖYRY FINLAND OY		Päristusnumero			
KAUPUNKIYMPÄRISTÖN KEHITTÄMINEN																						Päristusversio			
Keskus KV-XXXX																									
Ryhmä	SpNa Lamput					Induktio			Monimetalli			Hg-lamput				LED(Philips Clearway -valaisin)		Sulake	Virta	Teho	Huom.				
	50 W	70 W	100 W	150 W	400 W	85 W	70 W	100W	150 W	50W	80W	125W	250W	49W	73W		A	A (cosφ=0.9)	kVA						
Syttymis.	0,4	0,56	0,8	1,04	2,94	0,56	0,47	1,2	1,8	0,4	0,7	1,2	2,4	1,04	1,04										
	63	83	116	170	446	85	83	115	170	60	91	141	270	57	82										
<b>R1:</b>																				Yht.	<b>5,90</b>				
L1														24			25	25,0		1,97					
L2														24			25	25,0		1,97					
L3														24			25	25,0		1,97					
<b>R2:</b>																				Yht.	<b>10,70</b>				
L1			31														25	24,8		3,60					
L2			31														25	24,8		3,60					
L3			31														25	24,8		3,60					

### 3.4.3 Led:ien käyttö maailmalla

Tällä hetkellä energiatehokkaan katuvalaistus edellä kävijäksi voitaisiin verrata USA:ta ja erityisesti Los Angeles:ta. Los Angeles:n kaupungissa saatiin kesällä 2013 päätökseen neljä vuotta kestänyt katuvalaistuksen parantamishanke, jossa vaihdettiin 140 000 katuvalaisinta led-valaisimiksi. Tämän projektin ansiosta saatiin pienennettyä katuvalaistuksen energiakulutusta 63,3 prosenttia. Säästöjä syntyy yli 6,7 miljoonaa dollaria vuodessa ja CO<sub>2</sub>-päästöt pienentyivät n. 44 500 tonnilla vuodessa. (Los Angeles Completes World's largest LED street light retrofit.)



*KUVA 3. Los Angeles Completes World's Largest LED Street light Retrofit, Los Angeles' Hoover katu ennen...(Forbes)*



*KUVA 4. Los Angeles Completes World's Largest LED Street light Retrofit, ...Los Angeles' Hoover katu jälkeen. (Forbes)*

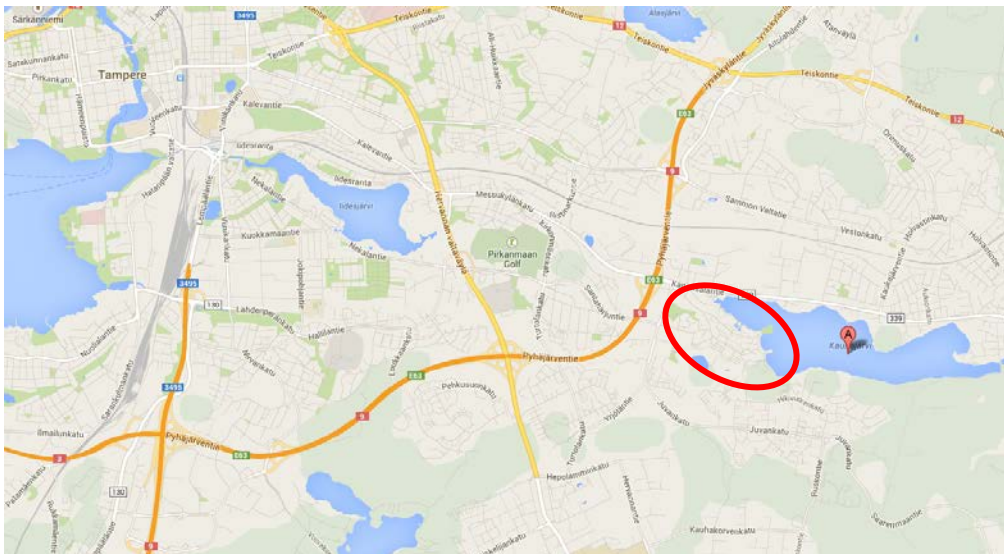
## 4 ESIMERKKIRATKAISUT

Kappaleessa tutustutaan kahteen erilaiseen kohteeseen ja niiden valaistusratkaisuihin. Kohteet sijaitsevat Tampereella Kaukajärven alueella. Kohteisiin on suunniteltu valaistusratkaisut kahdella erilaisella valonlähteellä, led ja SpNa. Ensimmäisessä kohteessa tarkastellaan kapeaa ajorataa, jossa ei ole kevyenliikenteenväylää. Toisessa kohteessa hieman leveämpää ajorataa, jossa on kevyenliikenteenväylä. Molemmat kohteet kuuluvat Tampereen kaupungin määrittämään valaistusluokkaan AL5.

TAULUKKO 8. AL5-valaistusluokan vaatimukset (Tievalaistuksen suunnittelu)

Luokka	Kuivan ja märän ajoradan luminanssi				Estohäikäisy	Ympäristön valaistus
	Kuiva		Märkä			
	$L_m$ cd/m <sup>2</sup> , min	$U_o$ min	$U_1$ min	$U_o$ min	TI % max	SR min
AL 5	0,5	0,35	0,4	0,15	15	0,5

Elinkaarivertailussa tutustutaan energiankulutukseen ja kustannuksiin kohteiden eri valaistusratkaisujen pohjalta. Vertailussa pyritään vertailemaan niitä mahdollisimman laajasti, jotta voidaan sanoa, mikä olisi edullisin ja mikä energiatehokkain valaistusratkaisu kohteissa.



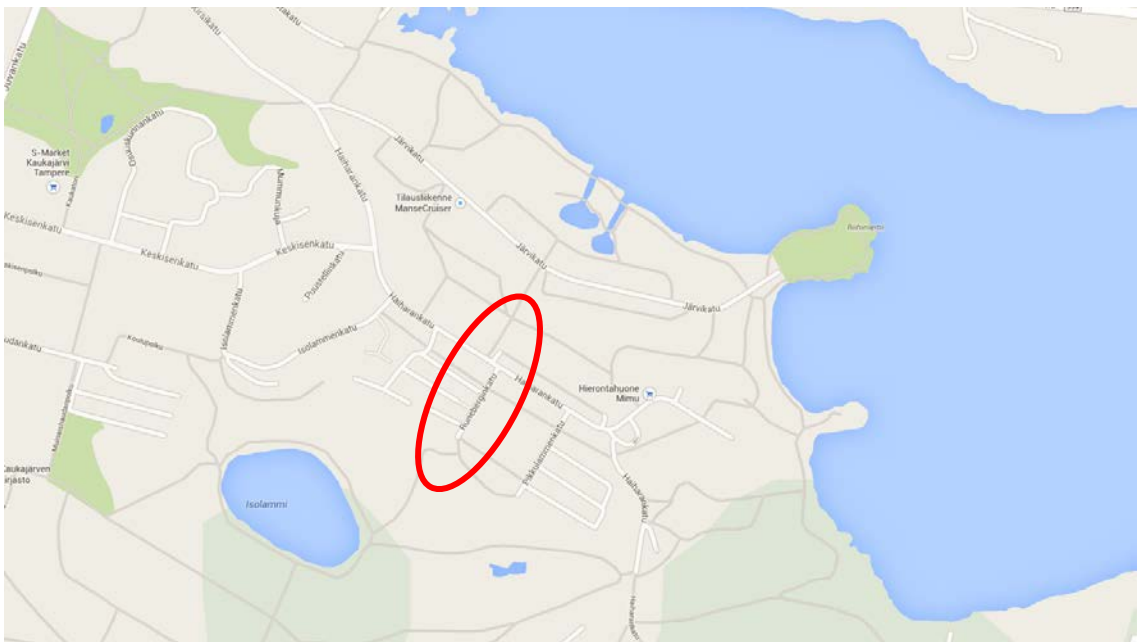
KUVA 5. Kohteiden sijainti merkattuna, Kaukajärvi (Google Maps)

#### 4.1. Runeberginkatu

Ensimmäinen kohde on Runeberginkatu, joka sijaitsee Pirkanmaalla, Tampereella, Kaukajärven alueella. Tie on pieni sivukatu rivitaloalueella. Tie on asfaltoitu ja reunoille on asennettu reunakivet.

Runeberginkatu on ajorata, jossa ei ole kevyenliikenteenväylää. Ajorata on 5,1 metriä leveä. Ajoradan tarpeelliseksi valaistusluokaksi on merkitty AL5. Tien viherkaistaleen ahtauden takia, kaapelikaivannot on tehtävä tien puolelle, joten asfalttipäällystettä on rikottava sitä varten. Tiellä esiintyy poikkikatuja ja tien reunassa on puita ja pensaikkoa, mikä on otettava huomioon pylväiden sijoittelussa.

Tavoitteena on saada aikaan toimiva valaistusratkaisu, joka täyttää ajoradan AL5-valaistusluokan vaatimukset, ja joka on myös energiatehokas ja hankinta hinnaltaan mahdollisimman edullinen katuvalaistusratkaisu. Toteutus pyritään toteuttamaan luotettavilla ja helposti huollettavilla valaisimilla.



KUVA 6. Runeberginkatu (Google Maps)

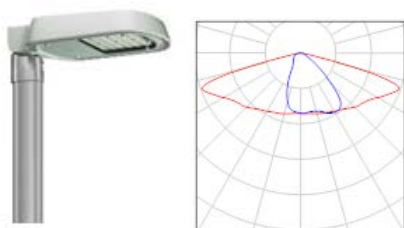
### 4.1.1 Valaistusratkaisut

#### Suunnitelma 1

Vertailtavana led-valaisimena käytetään Philips ClearWay 1xLED49/740 DM, käyttäen 1,5 metrin valaisinvartta, joka asennetaan 8 metrin korkeaan pylvääseen. Valaisimen kokonaisteho on 57 W. Valaisinta voidaan säätää pylvään ja valaisinvarren päässä -15 asteesta +15 asteeseen ajoradan pintaan nähden.

Kyseinen led-valaisin soveltuu hyvin kapeille ajoradoille. Led-valaisimen tuottama valo pyritään suuntamaan pelkästään tietylle alueelle, jotta tulisi mahdollisimman vähän ”hukkavaloa” ympäristöön.

Valaisinta valittaessa on pyrittävä löytämään tehonkulutukseltaan mahdollisimman pieni oleva valaisin ja siihen sopivan korkuinen pylväs. Niitä sovittelemalla keskenään yritetään saada mahdollisimman pitkät pylväiden väliset etäisyydet. Myös valaisinvartta voidaan käyttää, jos sen avulla saadaan aikaan parempia valaistustuloksia. Kuvasta 7 nähdään kyseinen led-valaisin ja sen valonjakokaavio.



KUVA 7. ClearWay LED49 (Philips)

#### Suunnitelma 2

Vertailtavana SpNa-valaisimena käytetään Siteco SC 50(LPV=3,RP=5), joka asennetaan 8 m korkuiseen pylvääseen. Pylvääseen ei lisätä valaisinvartta. Siteco SC 50 on tasolasinen, ja sen kokonaisteho on 83 W. Valaisimessa käytetään heijastintekniikka. Valaisimen lampun ja heijastimen asentoa voidaan säädellä seitsemään eri kulmaan. Valaisimen tekniset tiedot LPV=3 ja RP=5 kertovat valaisimen lampun ja heijastimen asennon.

Kyseisellä SpNa -valaisimella pyritään saamaan valoa runsaasti ajoradalle ja sitä myöten valoa tulee myös ympäristöön runsaasti, tällöin valon kontrastiero saadaan mahdollisimman vähäiseksi. Kuvassa 9. nähdään kyseinen SpNa -valaisin ja sen valonjakokaavio.



KUVA 8. Siteco SC50 (Siteco)

#### 4.1.2 Runeberginkadun tarkastelut

Kappaleessa vertaillaan valaistusratkaisujen Dialuxista saatuja valaistustuloksia. Lisäksi perehdytään uusimpiin katuvalaistuspiirustuksissa käytettyihin valaisinsymboleiden käyttöön.

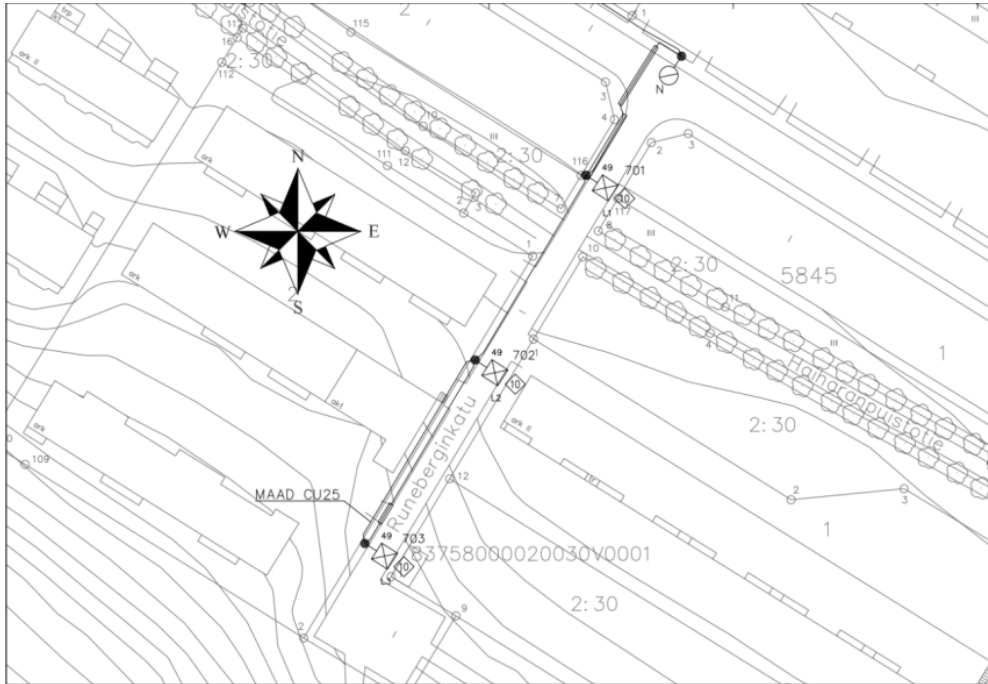
#### Dokumentointi

Kuvassa 9 on esitetty katu, jossa on katuvalaistuksen valaisinsymbolit, kaapelit, suoja-putket ja maadoitus. Valaisinsymbolit uudistettiin maaliskuussa 2013. Nyt näitä piirustusmerkintöjä on alettu käyttämään myös Pöyry Finland -yhtiön suunnittelupuolella. Ennen eriteltiin symbolit ainoastaan valaisimen tehon mukaan ja led oli ainoa, jota ei voinut eritellä senkään perusteella. Kun led-valaisimet ovat yleistyneet ja led-symbolien tarve on lisääntynyt. Tämän vuoksi kehitettiin uudet symbolit, joilla voitaisiin ensinnäkin saada eroteltua led-symbolit toisistaan ja toiseksi saada symboleista tarkempia ja helpommin luettavia.

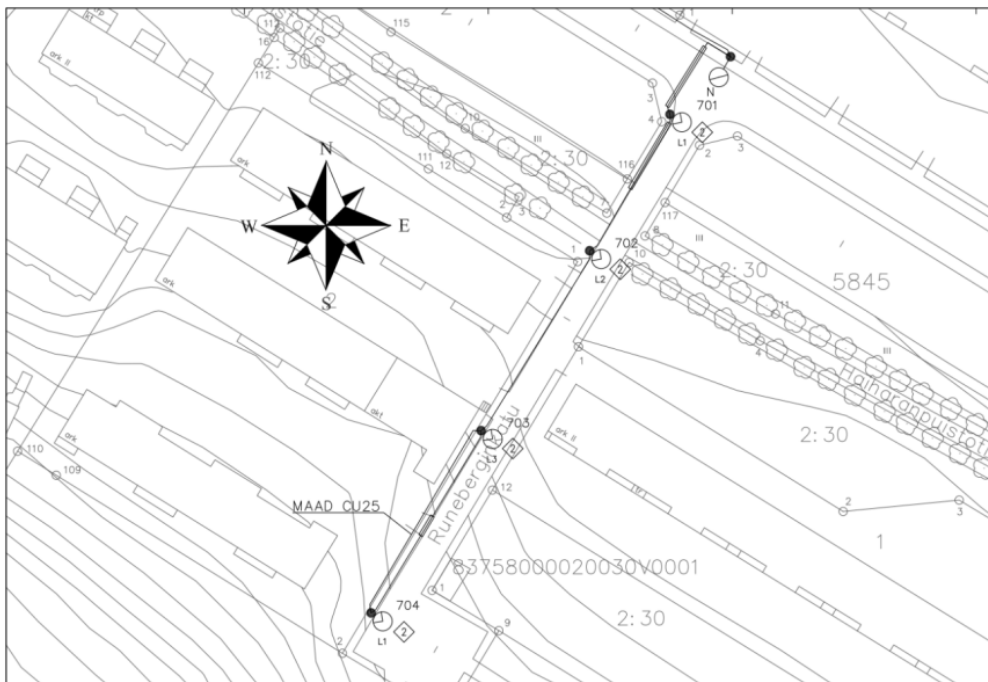
Led-valaisin pylväät sijoitetaan 0,75 metrin etäisyydelle ajoradasta ja 39–40 metrin etäisyydelle toisistaan. SpNa-valaisin pylväät sijoitetaan 0,75 metrin etäisyydelle ajoradasta ja 30–38 metrin etäisyydelle toisistaan. Pylväiden väliset etäisyydet saadaan DIALuxista valaistuslaskelmista. Pylväiden välinen etäisyys on maksimaallinen asennusetäisyys, jossa vielä AL5-valaistusluokan vaatimukset täyttyvät kyseisillä valaisimilla käyttäen.

Pylväiden etäisyys ajoradasta riippuu kohteesta. Runeberginkadulla led-valaisimia näytetään riittävän kolme kappaletta ja SpNa-valaisimia neljä kappaletta.

Kuvassa 9 ja 10 voidaan vertailla pylväiden sijoituksia ja symboleita keskenään. Esimerkiksi kuvassa 9 on esitetty led-valaisin, teho 49 W, varrellinen, ja kuvassa 10 näkyy SpNa-valaisin, teho 70 W, ei vartta. Symbolien tarkemmat merkinnät ja selitykset löytyvät liitteistä. (Liite 1. ja Liite 2.)



*KUVA 9. Runeberginkadun suunnitelma 1, Led (MagiCAD)*



*KUVA 10. Runeberginkadun suunnitelma 2, SpNa (MagiCAD)*

## Valaistustulokset

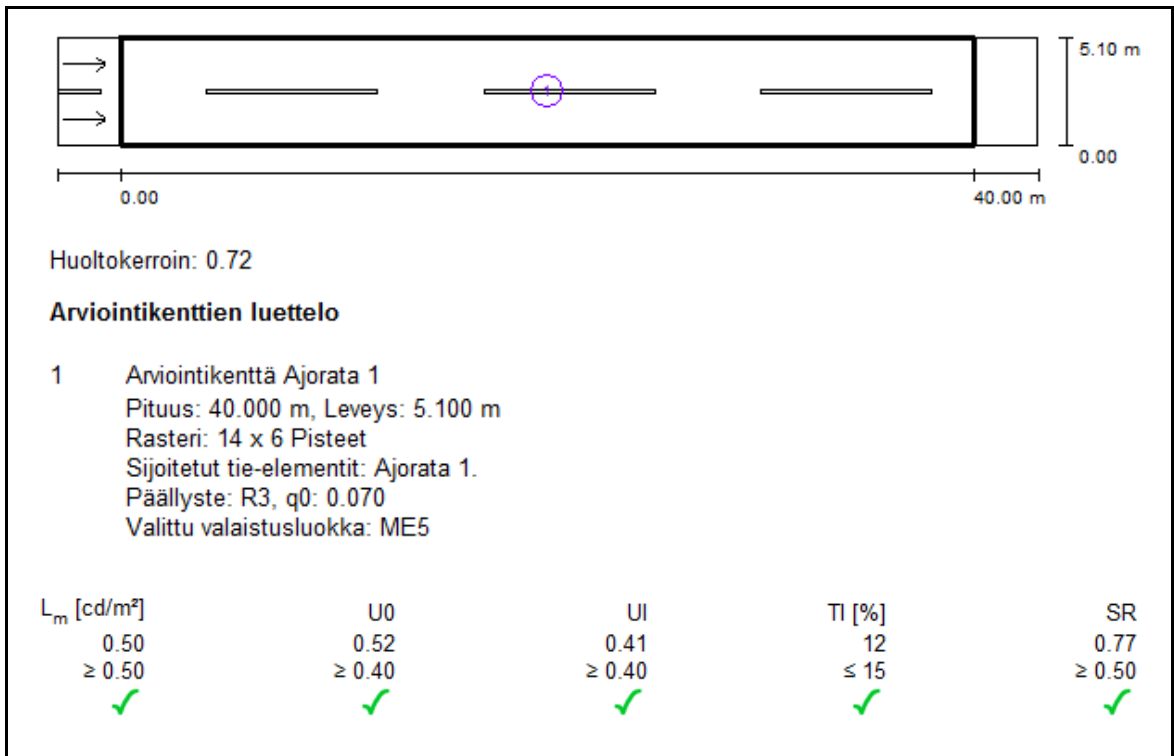
AL5-ajoradan vaatimukset ja niiden täyttyminen näkyvät DIALuxista saadusta valaistusteknisistä tuloksista (kuva 11 ja kuva 12). Tuloksia tarkastellaan suureiden keskimääräinen luminanssi (Lm), luminanssi-arvojen yleis- ja pitkittäistasaisuus (U0 ja Ui), estohäikäisyn näkemistä heikentävä vaikutus (TI) ja ns. ”ympäristön valaistus” (SR) avulla. Alempi lukema kertoo valaistusluokan vaatiman arvon ja ylempi lukema kertoo valaistusratkaisun tulokset. Kun tulokset ovat valaistusvaatimuksien mukaiset, saadaan vihreä hyväksyty -merkki.

Valaisimet likaantuvat ajan myötä ja valon määrä vähenee vuosien kuluessa, joten tämä asia on otettava huomioon laskelmissa huoltokerroimen avulla. Laskennassa on käytetty led-valaisimelle arvoa 0,72 ja SpNa-valaisimelle arvoa 0,80. Kyseinen kerroin on määriteltä varten, koska eri valaisimet vaihdetaan useammin kuin toiset valaisimet ja eri valaisimilla valon määrä pienenee ajan myötä eri tavalla.

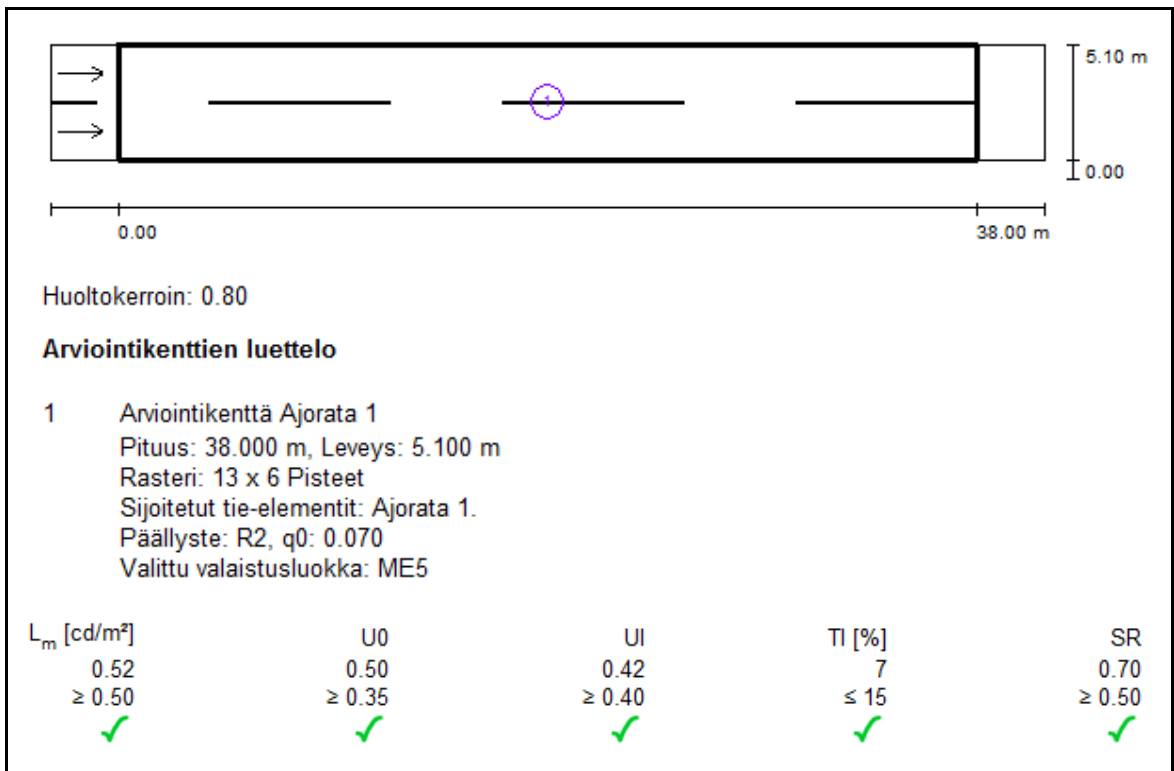
Tuloksista on nähtävissä myös ajoradan valaistusluokka, joka on DIALuxissa ME5. Tätä valaistusluokkaa on käytetty laskuissa, koska sillä on samat vaatimukset kuin AL5 -valaistusluokassakin.

Kuvaa 11 ja 12 vertailtiin toisiinsa. SpNa-valaisimilla huoltokerroin on suurempi kuin led-valaisimilla. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että led-valaisimilla on polttoikä suurempi. Polttoikä määräytyy valaisimen liitäntälaitteen ohjausvirrasta. Mitä pienempi on liitäntälaitteen ohjausvirta, sitä suurempi on valaisimen polttoikä. Esimerkiksi SpNa -valaisimella polttoikä on 24000 h eli noin 6 vuotta ja led -valaisimella 50000-100000h, riippuen led-valaisimesta.





KUVA 11. Suunnitelma 1, Led, Valaistustekniset tulokset (Dialux)

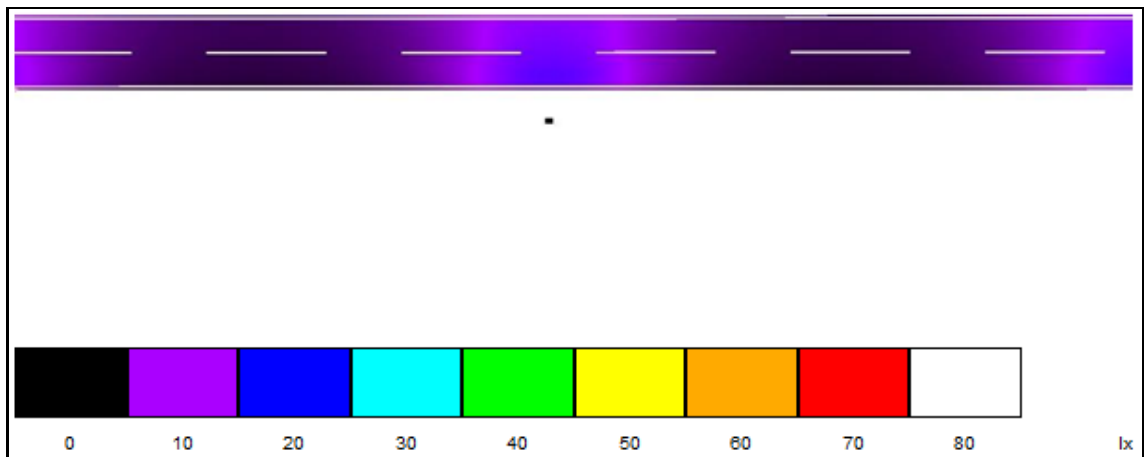


KUVA 12. Suunnitelma 2, SpNa, Valaistustekniset tulokset (Dialux)

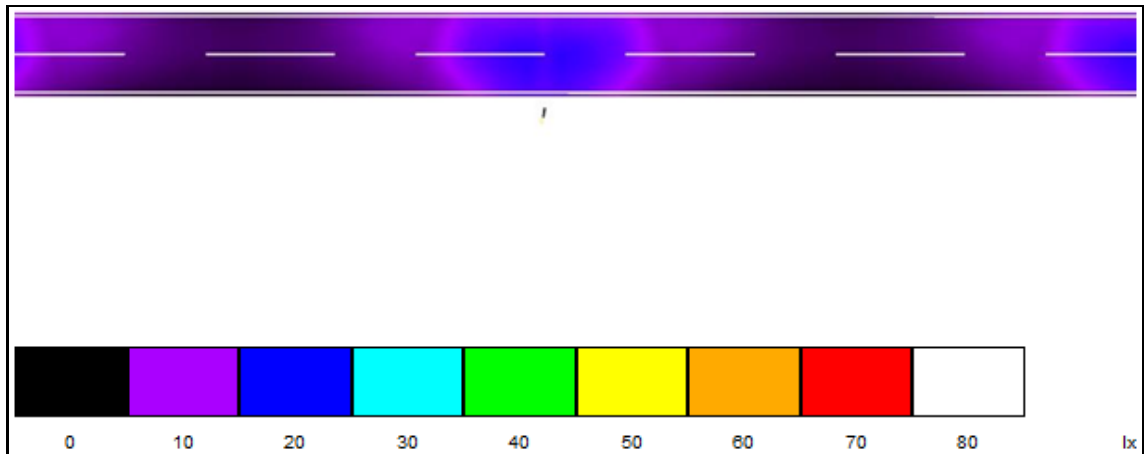
Kuvasta 13 on Dialux -ohjelman tuloksista otetut vääränvärintulokset. Siinä on kuvastettu valonvoimakkuudet 10 luksin (lx) välein eri värein, jotta voidaan havaita valaistusratkaisun tasaisuus ajoradan pintaan nähden. Kuvasta huomataan miten valo on suunnat-

tu valaisimen alapuolelta sivuille, jolloin valaisimen alapuolelle ei jää suuria valaistusvoimakkuuksia ja saadaan aikaan tasainen valaistus ajoradan pinnalle, sekä pienet kontrastieroavaisuudet.

Kuvasta 14 nähdään SpNa-valaisimen valaistusominaisuudet. Kyseisellä SpNa-valaisimella on yleistä valon kohdistaminen suoraan valaisimen alapuolelle ja siitä sivuille mahdollisimman paljon. Kun valonvoimakkuus on merkittävästi suurempi valaisimen alapuolella valaistavaan alueeseen verrattuna, kontrastiero on tällöin suurempi.



*KUVA 13. Valaistuksen vääränvärintulokset, Led (Dialux)*



*KUVA 14. Valaistuksen vääränvärintulokset, SpNa (Dialux)*

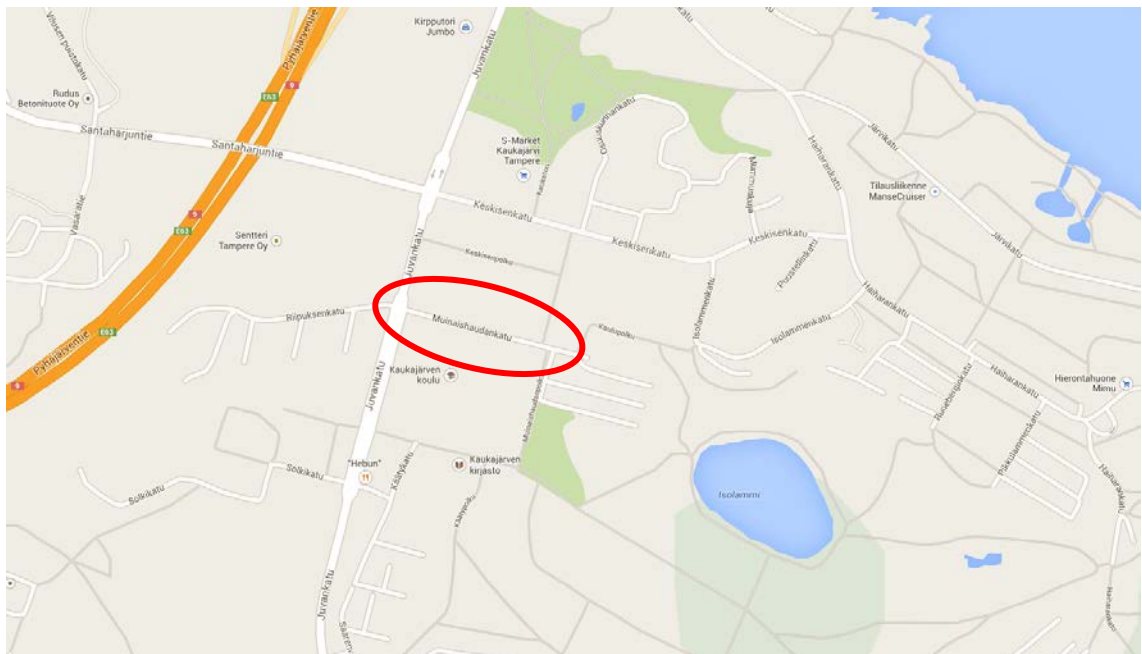
Valaistusteknisten- ja vääränvärintuloksien tarkastelun perusteella, voidaan määrittää kummankin valaistusratkaisujen olleen hyväksytyjä AL5-valaistusluokan ajoradalle.

## 4.2. Muinaishaudankatu

Muinaishaudankatu on toinen kohde, joka sijaitsee samalla Kaukajärven alueella, jossa sijaitsee ensimmäinen kohdekin. Tie on normaalin kokoinen päättyvä katu. Tie on asfaltoitu ja reunoilla on reunakivet ajoradan ja jalkakäytävän välissä.

Muinaishaudankatu on ajorata, jossa on kevyenliikenteenväylä. Ajorata on 7,1 metriä leveä ja kevyenliikenteenväylä on 2,4 metriä leveä. Ajoradan tarpeelliseksi valaistusluokaksi on merkitty AL5. Tien viherkaistaleen ahtauden takia kaapelikaivannot on tehtävä kevyenliikenteenväylän puolelle, joten asfalttipäällystettä on rikottava sitä varten. Tien reunassa on puita ja pensaikkoo, jotka on otettava huomioon pylväiden sijoittelussa.

Tavoitteena saada aikaan toimiva valaistusratkaisu, joka täyttää ajoradan AL5-valaistusluokan vaatimukset, sekä on energiatehokas ja hankintahinnaltaan mahdollisimman edullinen. Toteutus pyritään toteuttamaan luotettavilla ja helposti huollettavilla valaisimilla.



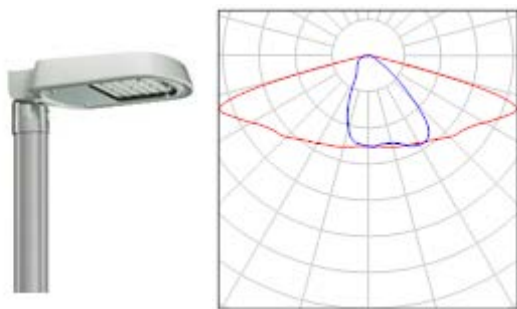
KUVA 16. Muinaishaudankatu (Google Maps)

## 4.2.1 Valaistusratkaisut

### Suunnitelma 1

Vertailtavana led-valaisimena käytetään Philips ClearWay 1xLED73/740 DM, käyttäen 2,5 metrin valaisinvartta, joka asennetaan 10 m korkeaan pylvääseen. Valaisimen kokonaisteho on 86 W. Valaisinta voidaan säätää pylvään- ja valaisinvarren päässä -15 asteesta +15 asteeseen ajoradan pintaan nähden.

Kyseinen led-valaisin soveltuu hyvin myös leveille ajoradoille, koska sen tuottama valo pyritään suuntamaan pelkästään tietylle alueelle, jotta tulisi mahdollisimman vähän ”hukkavaloa” ympäristöön. Kuvassa 17 nähdään kyseisen led-valaisin ja sen valonjakokaavio.



KUVA 17. ClearWay LED73 (Phillips)

### Suunnitelma 2

Vertailtavana SpNa-valaisimena käytetään Siteco SC 100(LPV=2,RP=3), joka asennetaan 10 m korkeeseen pylvääseen, käyttäen 1 metrin valaisinvartta. Siteco SC 100 on tasolasinen, ja sen kokonaisteho on 116 W. Valaisimessa käytetään heijastintekniikka. Valaisimen lampun ja heijastimen asentoa voidaan säädellä seitsemään eri kulmaan, jolla mahdollistetaan paras mahdollinen energiatehokkuus kohteesta riippumatta.

Kyseisellä SpNa-valaisimella pyritään saamaan valoa runsaasti ajoradalla ja sitä myöten valoa tulee myös ympäristöön runsaasti, jolloin valon kontrasti ero saadaan mahdollisimman vähäiseksi. Kuvasta 18. nähdään kyseinen SpNa-valaisin ja sen valonjakokaavio.



KUVA 18. Sitecon SC100 (Siteco)

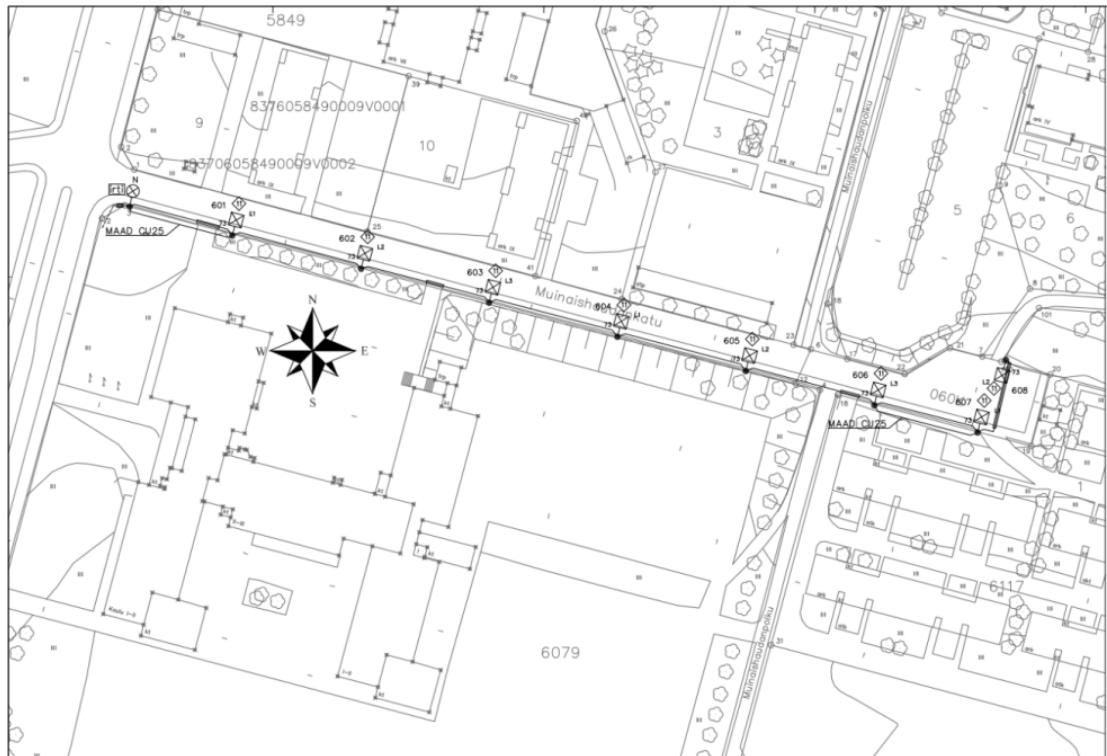
#### 4.2.2 Muinaishaudankadun tarkastelut

Kappaleessa vertaillaan valaistusratkaisujen Dialuxista saatuja valaistustuloksia. Lisäksi perehdytään uusimpiin katuvalaistuspiirustuksissa käytettyihin valaisinsymboleiden käyttöön.

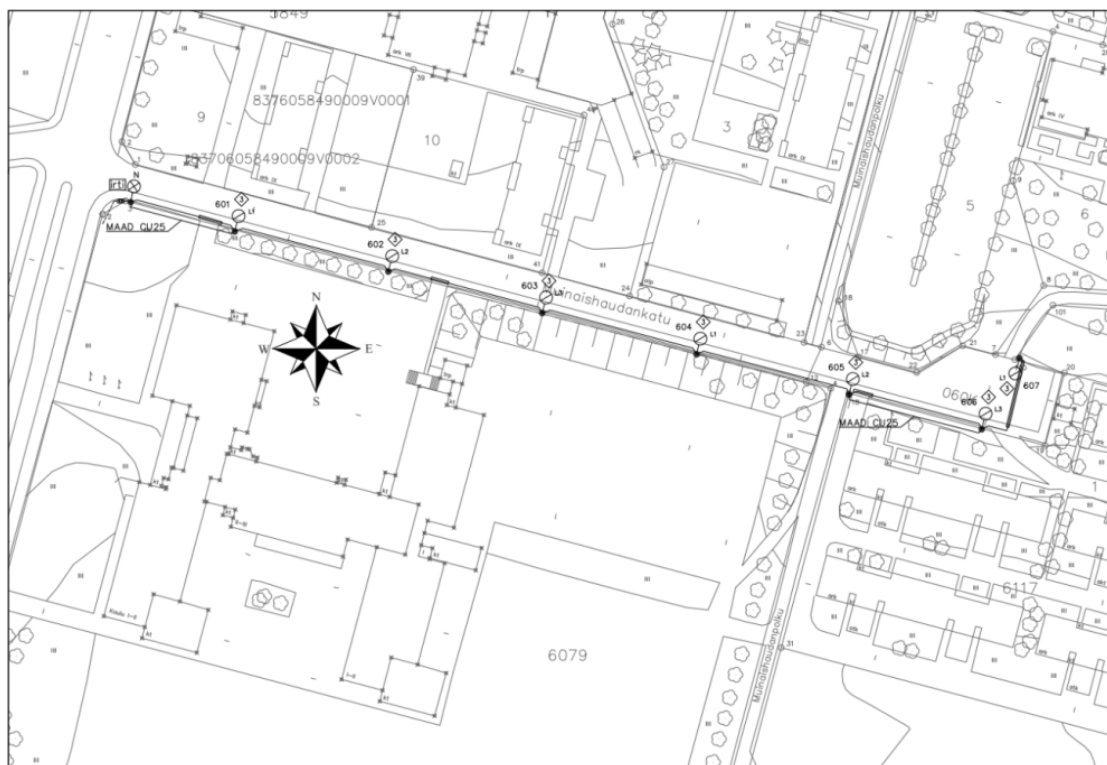
#### Dokumentointi

Led-valaisimen pylväät sijoitetaan 0,75 metrin etäisyydelle ajoradasta ja 41,5 metrin etäisyydelle toisistaan. SpNa-valaisin pylväät sijoitetaan 0,75 metrin etäisyydelle ajoradasta ja 42,5 metrin etäisyydelle toisistaan. Muinaishaudankadulla led-valaisimia näyttää riittävän kahdeksan kappaletta ja SpNa -valaisimia seitsemän kappaletta.

Kuvassa 19 ja 20 voidaan vertailla pylväiden sijoituksia ja symboleita keskenään. Esimerkiksi kuvassa 19 näkyy led-valaisin, teho 73 W, varrellinen, ja kuvassa 20 näkyy SpNa-valaisin, teho 100 W, varrellinen. Symbolien tarkemmat merkinnät ja selitykset löytyvät liitteistä. (Liite 1. ja Liite 2.)



KUVA 19. Muinaishaudankadun suunnitelma 1, Led (MagiCAD)



KUVA 20. Muinaishaudankadun suunnitelma 2, SpNa (MagiCAD)

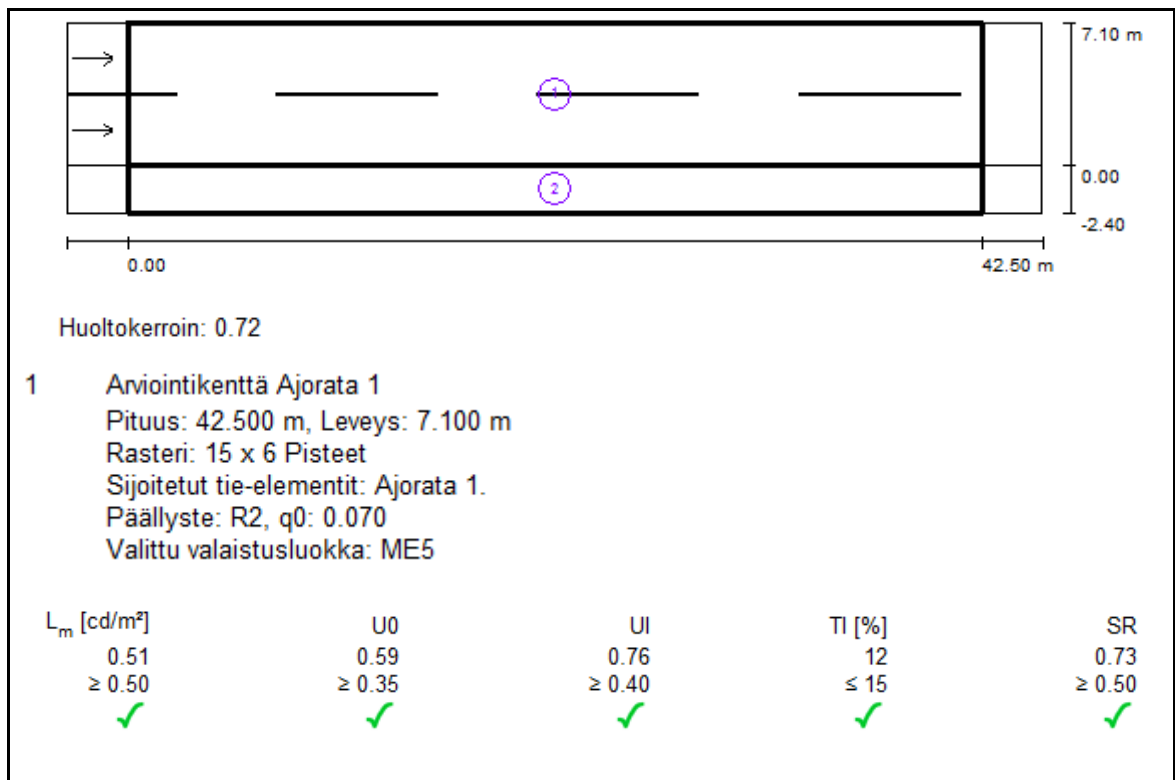
## Valaistustulokset

Valaistustuloksia voidaan tarkastella AL5-valaistusluokan vaatimuksia verraten. Lisäksi ajoradanvieressä olevan kevyenliikenteenväylän K4-valaistusluokan vaatimuksia.

TAULUKKO 9. K4 -valaistuluokan vaatimukset (Tievalaistuksen suunnittelu)

Luokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus	
	$E_m^{D1}$ lx, min	E lx, min
K4	5	1
1) Riittävän tasaisuuden vuoksi hankekohtainen keskiarvo ei saa ylittää 1,5-kertaista luokan edellyttämää keskiarvon minimiä		

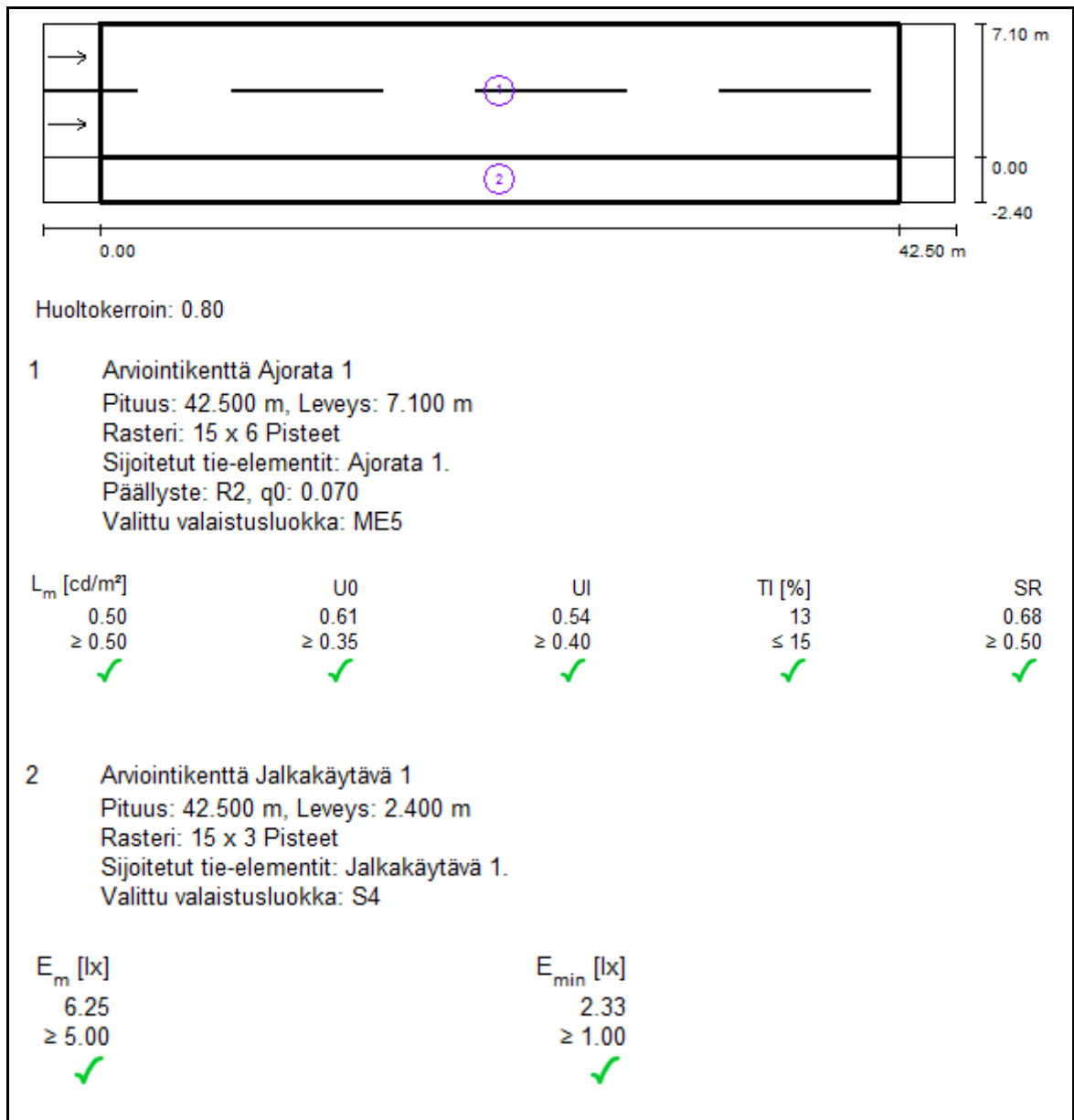
Tuloksissa nähdään kevyenliikenteen valaistusluokka, joka on DIALuxissa S4. Tätä valaistusluokkaa on käytetty laskuissa, koska sillä on samat vaatimukset kuin K4 – valaistusluokassakin, jotka näkyvät DIALuxin 2. arviointikentän jalkakäytävä 1 -osiossa. (Kuva 21 (2/2))



KUVA 21(1/2). Suunnitelma 1, Led, Valaistustekniset tulokset (Dialux)

2	Arviointikenttä Jalkakäytävä 1 Pituus: 42.500 m, Leveys: 2.400 m Rasteri: 15 x 3 Pisteet Sijoitetut tie-elementit: Jalkakäytävä 1. Valittu valaistusluokka: S4
$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]
7.11	2.79
$\geq 5.00$	$\geq 1.00$
✓	✓

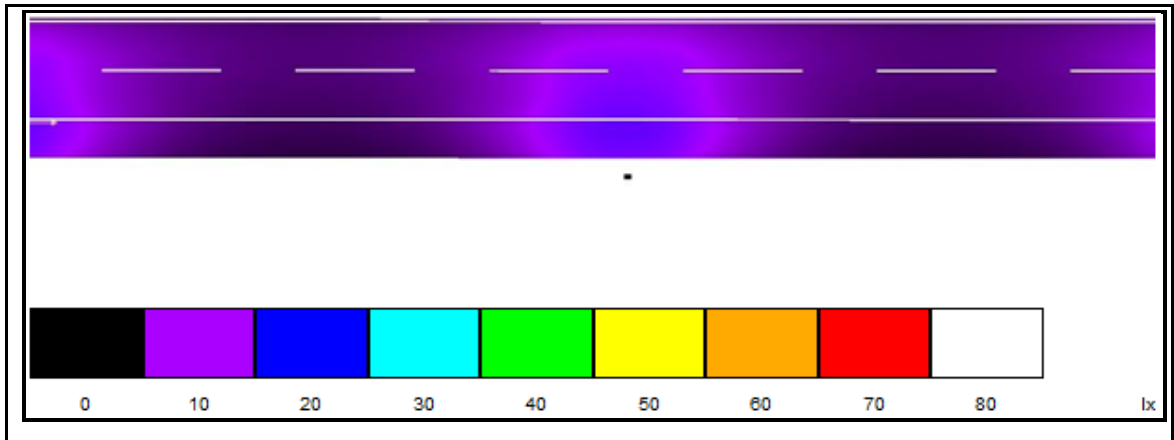
KUVA 21(2/2). Suunnitelma 1, Led, Valaistustekniset tulokset (Dialux)



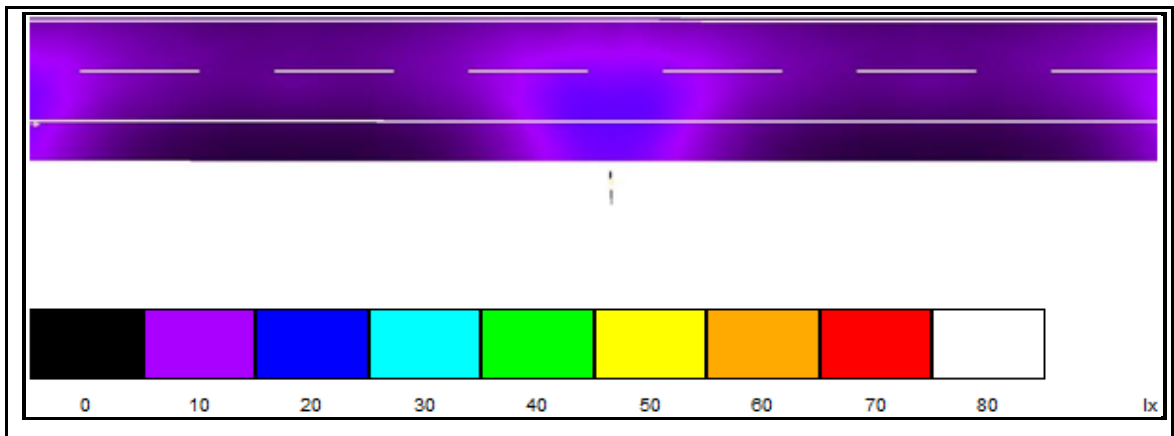
KUVA 22. Suunnitelma 2, SpNa, Valaistustekniset tulokset (Dialux)



Kuvasta 23 ja 24 on DIALux -ohjelman tuloksista otetun vääränvärintulokset. Valaistusratkaisut näyttävät olevan yhtä tasaisia valaistuksia tässä kohteessa.



*KUVA 23. Valaistuksen vääränvärintulokset, Led (Dialux)*



*KUVA 24. Valaistuksen vääränvärintulokset, SpNa (Dialux)*

Valaistusteknisten- ja vääränvärintuloksien tarkastelun perusteella, voidaan määrittellä kummankin valaistusratkaisujen olleen hyväksytyjä AL5-valaistusluokan ajoradalle.

### 4.3. Esimerkkiratkaisujen kustannukset

Kustannukset on laskettu hypoteettiselle 1000 metrin tieosuudelle. Kustannusvertailussa otetaan huomioon valaistusratkaisujen urakka-, käyttö-, huolto- ja kunnossapitokustannukset. Muita huomioita:

- Laskenta-aika on 30 vuotta, joka on tilaajan haluama elinkaaritarkastelu ajanjakso.
- Urakkakustannukset eli investointikulut on jaettu tasaisesti laskenta-ajan joka vuodelle, jotka lasketaan neljän prosenttiyksikön(%) korolla.
- Huolto- ja kunnossapitokustannukset ovat vuosittain tapahtuvia kuluja, joten niissä ei oteta korkoa huomioon.
- Energiahinnan korkona on käytetty kolmen prosenttiyksikön(%) korkoa, johon kuuluu inflaation vaikutukset. Inflaation vaikutukset otetaan huomioon pelkäämään energiakustannuksien hinnannousussa.
- Kustannusvertailussa on käytetty kohteiden valaistusratkaisuja, ja tarkastelu on sijoitettu 1000 metrin pituiselle tieosuudelle tarkempien tuloksien saamiseksi.

Urakkakustannuksissa vertaillaan valaistusratkaisujen valaisimien, pylväiden, varsien ja jalustojen määriä ja niiden hintoja toisiinsa. Muut urakkakustannukset on jätetty tarkastelusta vähäisten valaistusratkaisujen hinnan eroavaisuuksien takia. Valaisimen hinnat on laskettu tukkumyynnistä saatujen hintojen arvonlisävero 0 prosenttina, joka on vielä kerrottu kertoimella. Kerroin on määritelty aikaisempien työprojektien perusteella.

Käyttökustannuksissa vertaillaan valaistusratkaisujen valaisimien kuluttamaa kokonais-tehoa ja valaisimien himmennysmahdollisuuksia. Lisäksi huoltokustannuksista aiheutuvia kuluja.

Led-valaisimessa on säädettävä elektroninen liitännälaitte, jota ohjataan Dynadimmerilla. Dynadimmer on itsenäinen valonohjauksyksikkö 1-10 V:n elektroniselle liitännälaitteelle. Taulukosta 9 nähdään Tampereen kaupungin määrittelemän himmennystaulukon led-valaistukselle AL5-valaistusluokan ajoradoilla, jota on käytetty laskennassa. SpNa-valaisin himmennetään Tridonicin ZMR U6M A001 Powerswitch -releellä. Releeseen ohjelmoidaan tehonpientämisjakso, joka alkaa 2 tuntia ennen ja jatkuu 5 tuntia jälkeen pimeän ajan keskipisteen. Tehonpientämisjaksolla Runeberginkadulla valaisi-

men teho pienenee 70 watista 50 wattiin ja Muinaishaudankadulla valaisimen teho pienenee 100 watista 70 wattiin.

Laskennassa otetaan huomioon myös kesän ja talven pimeyden ajanjakson muutokset. Pimeyden ajanjaksot vaihtelevat Suomessa paljon, johtuen Suomen sijainnista maapallon leveyspiireillä.

TAULUKKO 10. Tampereen kaupungin himmennystaulukko (Tampereen kaupunki)

LED-valaistuksen himmennystaulukko		Valaistuksen päälläoloaika (alkava tunti)																		
Valaistuluokka	Luokat himmennyksessä	15	16	17	18	19	20	21	22	23	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
AL5	AL5>AL6>K5>AL6>(AL5)	100	100	100	100	100	100	60	60	40	40	40	40	40	40	60	60	90	90	90
	(Suluissa oleva arvo jää vajaaksi)	Valaistuksen prosenttimäärä (jäljellä oleva taso)																		
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
		Valaistuksen päälläoloaika (alkava tunti)																		

Huoltokustannuksissa vertaillaan katuvalaistusratkaisujen valaisimen ja lampunvaihdon kustannuksia toisiinsa. Huomioitavaa huoltokustannuksissa on se, että SpNa-valaisimen huoltotoimenpiteessä vaihdetaan pelkästään lamppu, mutta led-valaisimella vaihdetaan koko valaisin.

#### 4.3.1 Runeberginkadun kustannukset

Kustannuksien tulokset kertovat valaistusratkaisujen eroavaisuudet urakka-, käyttö- ja huoltokustannuksia vertailemalla, jotka nähdään taulukosta 11, sekä elinkaarikustannuksien vertailut 1.-, 10.-, 20.- ja 30. vuoden ajanjaksoilla taulukosta 12.

Led-valaistusratkaisun urakkakustannukset eli investointikustannukset kustantavat yhteensä 19 % enemmän SpNa-valaistusratkaisuun verrattuna. Vaikka valaisinmäärät eivät eroa merkittävästi valaistusratkaisuissa, led-valaisin on silti hankintahinnaltaan kalliimpi kuin SpNa-valaisin.

Led-valaistusratkaisun energiakulutuksen kustannukset ovat 50 % vähemmän kuin SpNa-valaistusratkaisussa. Led-valaisimen himmennysmahdollisuuksilla saadaan suuret säästöt aikaiseksi vuoden käyttökustannuksia tarkasteltaessa.

Led-valaistusratkaisun huoltokustannuksissa saadaan 16 % säästöä SpNa-valaistusratkaisuun verrattuna. Led-valaisimella luvataan polttoajan olevan suuri, mutta

käytännössä ei voida vielä sanoa kuinka pitkään todellisuudessa led-valaisinta voidaan polttaa tämän hetkisten käyttökokemusten vajavaisuuden vuoksi.

*TAULUKKO 11. Kustannusvertailun välituloksia (Kustannuslaskenta-tulokset)*

	SpNa	LED	LED verrattuna SpNa(%)
Urakka			
Urakkakulut yhteensä:	22005	26225 €	19 %
Käyttö			
Käyttökulut 1 vuodessa	1069	539 €	-50 %
Huolto			
1 vuodessa keskimäärin.	640	535 €	-16 %

Elinkaarikustannuksien tuloksissa saatiin 16 % säästöt joka vuodelle led-valaistusratkaisun puolesta ja näiden säästöjen yhteenlaskettu summa laskenta-ajan lopussa on suuri kokonaiskustannuksiin verrattuna. (Taulukko 11.)

*TAULUKKO 12. Kustannusvertailun elinkaarikustannukset (Kustannuslaskenta-tulokset)*

Elinkaarikustannukset yhteensä	SpNa	LED	LED verrattuna SpNa(%)
1. vuosi	2442	2053 €	-16 %
10.vuosi	30622	25729 €	-16 %
20. vuosi	63364	53308 €	-16 %
30.vuosi	111193	93860 €	-16 %
Kustannuksien erotus 30. vuoden elinkaarella			17333 €

Kustannuslaskennan tuloksia tulkiten voidaan sanoa 30 vuoden elinkaarilaskenta-aikaa käyttäen kyseisen led-valaistusratkaisun olevan edullisempi SpNa-valaistusratkaisuun verrattuna tässä kohteessa. Tarkemmat kustannuslaskennan tulokset löytyvät liitteistä. (Liitteet 3.-6.)

#### **4.3.2 Muinaishaudan kustannukset**

Led -valaistusratkaisun urakkakustannukset kustantavat yhteensä 29 % enemmän SpNa-valaistusratkaisuun verrattuna.

Led-valaistusratkaisun käyttökustannukset eli energiakulutuksen kustannukset ovat 39 % vähemmän kuin SpNa-valaistusratkaisussa.

Led-valaistusratkaisun huoltokustannuksissa saadaan 23 % säästöä SpNa-valaistusratkaisuun verrattuna.

*TAULUKKO 13. Kustannusvertailun välituloksia (Kustannuslaskenta-tulokset)*

	SpNa	LED	LED verrattuna SpNa(%)
Urakka			
Urakkakulut yhteensä:	22022	28307 €	29 %
Käyttö			
Käyttökulut 1 vuodessa	1286	781 €	-39 %
Huolto			
1 vuodessa keskimäärin.	730	563 €	-23 %

Elinkaarikustannuksien tuloksissa saatiin n.10 % säästöt joka vuodelle led-valaistusratkaisun puolesta ja näiden säästöjen yhteenlaskettu summa laskenta-ajan viimeisenä vuotena on suuri kokonaiskustannuksiin verrattuna. (Taulukko 14.)

*TAULUKKO 14. Kustannusvertailun elinkaarikustannukset (Kustannuslaskenta-tulokset)*

Elinkaarikustannukset yhteensä	SpNa	LED	LED verrattuna SpNa(%)
1. vuosi	2750	2454 €	-11 %
10.vuosi	34397	30757 €	-11 %
20. vuosi	71008	63683 €	-10 %
30.vuosi	124243	111978 €	-10 %
Kustannuksien erotus 30. vuoden elinkaarella			12265 €

Kustannuslaskennan tuloksia tulkiten voidaan sanoa 30 vuoden elinkaarilaskenta-aikaa käyttäen kyseisen led-valaistusratkaisun olevan energiatehokkaampi kuin SpNa-valaistusratkaisu tässä kohteessa. Tarkemmat kustannuslaskennan tulokset löytyvät liitteistä. (Liitteet 7.-10.)

## 5 POHDINTA

Led-valonlähteenä tuottaa enemmän valoa samalla sähköenergian määrällä ja on hankintahinnaltaan kalliimpi kuin jokin toinen valonlähde. Led-valaisimien liitäntälaitteen aiheuttama suuri syttymisvirta on otettava huomioon verkonmitoituksessa. Päälimmäinen kysymys on se, onko led-valaisimen investointi kannattava. Katuvalaistussuunnitelmassa vaihtoehtoisille valaistusratkaisuille on hyvä tehdä elinkaaritarkastelu. Tärkein vaikuttava asia on kohde, johon valaisinta ollaan valitsemassa. Tässä tutkimuksessa keskityttiin AL5-valaistusluokan ajorataan, josta huomattiin led-valaistusratkaisujen olevan parempi valaistusratkaisu ainakin näissä tarkastelukohteissa. Nämä tekniset tarkastelut on pyritty tekemään niin, että voitaisiin hyödyntää samaa tarkastelutapaa myös muilla valaistusluokan ajoradoilla.

Kannattaisi harkita eri valonlähteiden käyttöä eri valaistusluokan teillä. Kannattaisiko tiet jaotella eri valonlähteisiin tien valaistusluokan mukaan? Tampereen kaupunki oli määrittellyt led-valaisimet puistoihin ja kevyenliikenteenväylille eli K4- ja K3-valaistusluokan kohteisiin energiansäästön ja ekologisuuden takia. Voitaisiin luokitella muut valaistusluokan kohteet samalla tavalla? Kun puhutaan saman valaistusluokan määrittelystä kadusta tai tiestä, olisi hyvä käyttää samanlaista valonlähdettä. Silloin tiedettäisiin milloin voitaisiin käyttää led-valaisinta, ja milloin SpNa-valaisinta.

Katuvalaistuksen saneeraushankkeet yleistyvät päivä päivältä enemmän ja enemmän. Nykyisin olisi myös hyvä miettiä, millä tavalla saataisiin aikaan energiatehokkain valaistusratkaisu saneerauskohteissa. Jos katuvalaistuksen saneerauskohteissa vaihdetaan paljon kuluttavien elohopeavalaisimien tilalle energiatehokkaammat SpNa-valaisimet, niin miksi ei voitaisi käyttää SpNa-valaisimien tilalla led-valaisimia, jos niiden elinkaarikustannukset ovat pienemmät. SpNa-valaisimet ovat hankintahinnaltaan edullisempia kuin led-valaisimet, mutta led-valaisimet saattavat olla parempi ratkaisu pidemmällä aikavälillä tarkasteltuna.

## LÄHTEET

Tievalaistuksen suunnittelu. 2006. Tiehallinto. Luettu 8.10.2013.

<http://alk.tiehallinto.fi>

Ulkovalaistuksen tarveselvitys, Suunnitelmaselostus. 2002. Suomen Kuntaliitto, Helsinki. Luettu 8.10.2013

<http://shop.kunnat.net/download.php?filename=uploads/p040209144133W.pdf>

Los Angeles completes world's largest LED street light retrofit. Justin Gerdes. Forbes. Luettu 14.10.2013.

<http://www.forbes.com/sites/justingerdes/2013/07/31/los-angeles-completes-worlds-largest-led-street-light-retrofit/>

Suomen kasvihuonepäästöt. 1990-2010. Tilastokeskus. Luettu 14.10.2013.

<http://tilastokeskus.fi>

Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. Motiva. Luettu 14.10.2013.

<http://www.motiva.fi>

EuP-direktiivi ohjaa valistuneisiin valaistusuudistuksiin toimistoissa, kouluissa, myymälöissä, teollisuudessa ja ulkoalueilla. Valosto. Luettu 11.1.2014.

<http://www.valosto.com>

Pauli Reinikainen: Led mullistaa valaistuksen. Energia virtaa, Vantaan Energia Oy:n asiakaslehti 4/2006. Luettu 11.1.2014.

Tampereen kaupunki. 2010. Tampereen kaupunkiseudun ilmastostrategia 2030. Luettu 25.2.2014.

[http://pirkkala-fi-](http://pirkkala-fi-bin.directo.fi/@Bin/f3ba16a117bf9d0225dd6ee07022c203/1336325148/application/pdf/1422116/6%25c2%20Ilmastostrategia%20SH%203%202010.pdf)

[bin.directo.fi/@Bin/f3ba16a117bf9d0225dd6ee07022c203/1336325148/application/pdf/1422116/6%25c2%20Ilmastostrategia SH 3 2 2010.pdf](http://pirkkala-fi-bin.directo.fi/@Bin/f3ba16a117bf9d0225dd6ee07022c203/1336325148/application/pdf/1422116/6%25c2%20Ilmastostrategia%20SH%203%202010.pdf)

Tampereen kaupunki. 2011. Ulkovalaistus Luettu 25.2.2014.

<http://www.tampere.fi/liikennejakadut/ulkovalaistus.html>

Tampereen kaupunki. 2011. Ulkovalaistus. Katuvalaistuksen energiankulutus. Luettu. 25.2.2014.

<http://www.tampere.fi/material/attachments/k/5t6ncWmvc/katuvalotilasto2011.pdf>

Tampereen kaupunki. 2011. Tampereen alueen ulkovalaistuksen suunnitteluohje. Luettu. 25.2.2014.

<http://www.tampere.fi/material/attachments/t/5t6oa7bES/valaistuksensuunnitteluohje2010.pdf>

Rantakallio, A & Ylinen, A. 2011. Elohopealamput pois -mitä tilalle ja millä hinnalla. Aalto-yliopisto. Luettu 25.2.2014.

[http://lightinglab.fi/ekovalo/News/3\\_ylinen\\_rantakallio\\_elohopealamput\\_pois.pdf](http://lightinglab.fi/ekovalo/News/3_ylinen_rantakallio_elohopealamput_pois.pdf)

ST kortisto. 2013. ST 58.03. Valaistuslaskennan lähtötiedot ja laskennan tulosten arviointi. Luettu 12.2.2014.

ST kortisto. 2013. ST 58.10.01. Taajamateiden ja kevyen liikenteen väylien valaistus. Luettu 12.2.2014.

ST kortisto. 2013. ST 58.25. Ulkovaistusverkon mitoitus. Luettu. 12.2.2014.

HR light Oy, Kannattaako katuvalojen vaihtaminen LED-valoihin? Luettu 27.2.2014.  
<http://www.hrlight.fi/index.php?page=Katupaketti>

Photopic and Scotopic lumens -4: When the photopic lumen fails us. Luettu 27.2.2014.  
[http://www.visual-3d.com/Education/LightingLessons/Documents/PhotopicScotopiclumens\\_4%202\\_.pdf](http://www.visual-3d.com/Education/LightingLessons/Documents/PhotopicScotopiclumens_4%202_.pdf)

P. Mullins. 2010. Reported Scotopic Advantage with LEDs. Luettu 27.2.2014.  
[http://www.patmullins.com/scotopic\\_spin.html](http://www.patmullins.com/scotopic_spin.html)

LEDs Magazine. 2010. DOE questions recent NLPIP LED street light report (updated). Luettu 27.2.2014.  
<http://www.ledsmagazine.com/articles/2010/10/doe-questions-recent-nlPIP-led-street-light-report-updated.html>

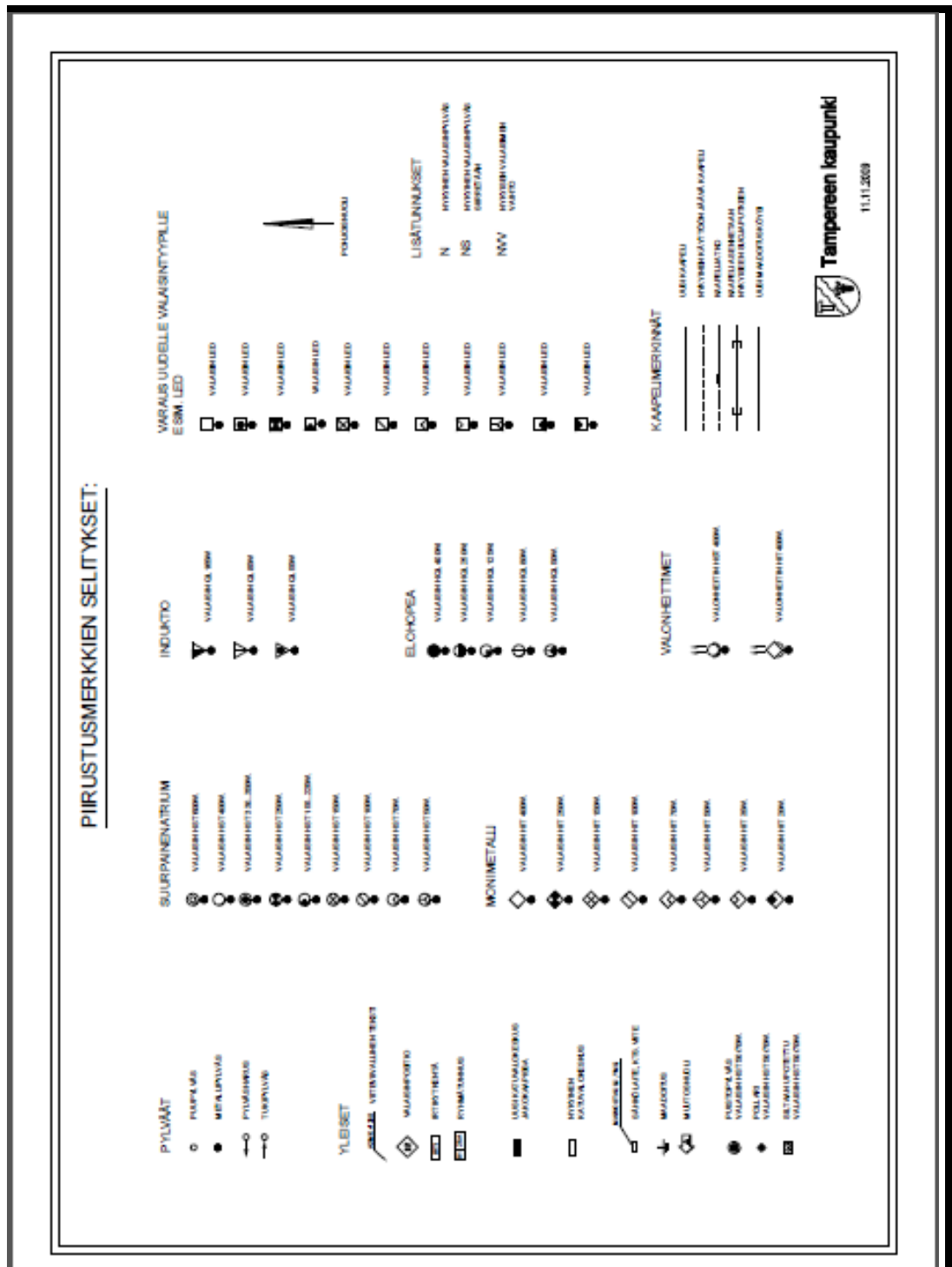
Philipsin kotisivut, Valaisin sivusto.  
<http://www.lighting.philips.fi/>

Osramin kotisivut, Valaisin sivusto.  
[http://www.osram.fi/osram\\_fi/index.jsp](http://www.osram.fi/osram_fi/index.jsp)



## LIITTEET

Liite 1. Vanhat piirrosmerkinnät (Tampereen kaupunki)



## Liite 2. Uudet piirrosmerkinnät (Katuvalaistuksen kehitysryhmä, SITO)

### VALAISIMET JA LAMPUT

<p><b>Suurpainenatrium</b></p> <p>● S-600 ○ S-400 ● S-250 ⊗ S-150 ○ S-100 ○ S-70 ○ S-50</p>	<p><b>Monimetalli</b></p> <p>◇ M-400 ◆ M-250 ◇ M-150 ◇ M-100 ◇ M-70 ◇ M-50 ◇ M-35</p>	<p><b>Induktio</b></p> <p>▶ QL-185 ▶ QL-85 ▶ QL-55 ⊗ Suurpainenatrium korvaava xxx ◆ Monimetalli korvaava xxxX ⊗ LED xxx</p> <p>X Muu valaisin (mm. xxx loisteputki, halogeeni jne.)</p>
<p><b>Bohopea</b></p> <p>● QE-400 ● QE-250 ● QE-125 ○ QE-80 ○ QE-50</p>	<p style="text-align: center;"><b>VALONHEITTIMET JA LAMPUT</b></p> <p>⊗ Suurpainenatrium (S-150) ◆ Monimetalli (M-250) ⊗ LED, 29W 29</p>	

Ledien tapauksessa valaisimen kuluttama kokonaisteho esitetään numeroilla (xxx) piirustusmerkinnän vieressä.

Korvaavien suurpainenatrium- ja monimetallilamppujen tapauksessa nimellisteho esitetään numerolla (xxx) piirustusmerkinnän vieressä. Korvaavien monimetallilamppujen tapauksessa merkitään myös lampun asento, ks. lisämerkinnät.

Suunnitelmissa suurpainenatrium- ja monimetallilamppujen muoto esitetään lisäämällä laittunnuksen jälkeen E (ellipsoidi) tai T (putkilo), esim. ST-70, SE-70.

### ESIMERKIT

<p>⊗</p> <p>◆</p> <p>⊗ 40</p>	<p>Suurpainenatrium, ST-150, asennus valaisinvarteen, puupylväs</p> <p>Monimetalli, MT-70, varreton asennus, metallipylväs</p> <p>LED, puistovalaisin, 40W, metallipylväs</p>
-----------------------------------	---

### PYLVÄÄT

<p>●</p> <p>○</p> <p>◀○</p> <p>→○</p> <p>◆</p>	<p>Metaliputkipylväs</p> <p>Puupylväs</p> <p>Haruspylväs</p> <p>Tukipylväs</p> <p>Puistovalaisin (M-70)</p>
--	---

### LISÄTUNNUKSET

<p>N</p> <p>NS</p> <p>NW</p> <p>NWV</p> <p>NPV</p> <p>V</p> <p>P</p>	<p>Nykyinen valaisinpylväs</p> <p>Nykyisen valaisinpylvään siirto</p> <p>Nykyisen valaisimen vaihto</p> <p>Nykyisen valaisinvarteen ja valaisimen vaihto</p> <p>Nykyisen pylvään ja valaisimen vaihto</p> <p>Lampun asento, vaaka</p> <p>Lampun asento, pysty</p>
--	---

**PIRUSTUSMERKINNÄT**  
SITO, 4.3.2013

## Liite 3. Runeberginkadun kokonaiskustannukset (Kustannuslaskenta-tulokset)

	Ajanjaksolla	30 vuotta	
	Elinkaarikustannukset/katu	4 %	indeksikorko
Urakka		SC50 70W	ClearWay LED49
	Valaisin	Esimerkki 1	Esimerkki 2
	Valaisimen määrä	27	25
	Yhden valaisimen hinta	250	464
	Pylväiden määrä	27	25
	Yhden pylvään hinta	400	400
	Varsien määrä	0	25
	Yhden varren hinta	20	20
	Yhden jalustan hinta	165	165
	Urakkakulut yhteensä:	22005	26225
Käyttö			
	Valaisimen kuluttama teho, W	70	49
	Liitälaitteen teho, W	13	8
	1. Himmennyksen aika tunteina	7	3
	1. Himmennyksen taso(prosentteina)	71	90
	2. Himmennyksen aika tunteina	12	4
	2. Himmennyksen taso(prosentteina)	100	60
	3. Himmennyksen aika tunteina	0	6
	3. Himmennyksen taso(prosentteina)	0	40
	4. Himmennyksen aika(tunteina)	0	6
	4. Himmennyksen taso(prosentteina)	0	100
	Käyttökulut Wattitunteina(Wh):	246695535	124353082
	30 vuodessa/kWh	246696	124353
	1 vuodessa/kWh	8223	4145
	Energian hinta, €/kWh	0,13	0,13
	Käyttökulut yhteensä:	32070	16166
	Käyttökulut 1 vuodessa	1069	539
Huolto			
	Valaisimen/lampun vaihtoväli tunteina	24000	70000
	Huoltoväli vuosina	7	24
	Valaisimen/lampun vaihdon hinta	105	464
	Valaisimen puhdistusväli tunteina	24000	70000
	Valaisimen puhdistuksen hinta	50	50
	Huoltokulut yhteensä:	19196	16048
	1 vuodessa keskimäärin.	640	535

## Liite 4. Runeberginkadun elinkaarikustannukset (Kustannuslaskenta-tulokset)

Kulut yhteensä	30v(ilman korotuksia)	73271	58439 €
	1. vuosi	2442	2053 €
	2. vuosi	4946	4157 €
	3. vuosi	7513	6314 €
	.....	10147	8526 €
		12848	10795 €
		15619	13123 €
		18464	15512 €
		21384	17965 €
		24381	20484 €
		27460	23071 €
	10.vuosi	30622	25729 €
		33871	28461 €
		37210	31269 €
		40641	34155 €
		44168	37124 €
		47794	40178 €
		51523	43320 €
		55359	46553 €
		59304	49881 €
	20. vuosi	63364	53308 €
		67542	56836 €
		71842	60471 €
		76269	64215 €
		80826	68073 €
		85519	72049 €
		90353	76147 €
		95332	80373 €
		100461	84730 €
		105746	89224 €
	30.vuosi	111193	93860 €



## Liite 6. Runeberginkadun energiakustannukset (Kustannuslaskenta-tulokset)

Vuodet	Energikustannuksien hinnannousu Suurpainematrium		Energikustannuksien hinnannousu Led		Urakkakustannuksien hinnannousu Suurpainematrium		Urakkakustannuksien hinnannousu Led	
	per.vuosi	yh.t.per.vuosi	per.vuosi	yh.t.per.vuosi	per.vuosi	yh.t.per.vuosi	per.vuosi	yh.t.per.vuosi
1	1069	1069 €	539	539 €	734	734 €	874	874 €
2	1101	2170 €	555	1094 €	763	1496 €	909	1783 €
3	1134	3304 €	572	1666 €	793	2290 €	946	2729 €
4	1168	4472 €	589	2254 €	825	3115 €	983	3712 €
5	1203	5676 €	606	2861 €	858	3973 €	1023	4735 €
6	1239	6915 €	625	3486 €	892	4865 €	1064	5798 €
7	1276	8191 €	643	4129 €	928	5793 €	1106	6904 €
8	1315	9506 €	663	4792 €	965	6759 €	1150	8055 €
9	1354	10860 €	683	5474 €	1004	7762 €	1196	9251 €
10	1395	12255 €	703	6177 €	1044	8806 €	1244	10495 €
11	1437	13692 €	724	6902 €	1086	9892 €	1294	11789 €
12	1480	15171 €	746	7648 €	1129	11021 €	1346	13135 €
13	1524	16696 €	768	8416 €	1174	12196 €	1400	14535 €
14	1570	18266 €	791	9207 €	1221	13417 €	1456	15990 €
15	1617	19882 €	815	10022 €	1270	14687 €	1514	17504 €
16	1665	21548 €	840	10862 €	1321	16008 €	1574	19078 €
17	1715	23263 €	865	11727 €	1374	17382 €	1637	20716 €
18	1767	25030 €	891	12617 €	1429	18811 €	1703	22418 €
19	1820	26850 €	917	13535 €	1486	20297 €	1771	24189 €
20	1875	28725 €	945	14479 €	1545	21842 €	1842	26031 €
21	1931	30656 €	973	15453 €	1607	23449 €	1915	27946 €
22	1989	32644 €	1002	16455 €	1671	25121 €	1992	29939 €
23	2048	34693 €	1033	17488 €	1738	26859 €	2072	32010 €
24	2110	36802 €	1063	18551 €	1808	28667 €	2155	34165 €
25	2173	38975 €	1095	19647 €	1880	30547 €	2241	36406 €
26	2238	41214 €	1128	20775 €	1955	32503 €	2330	38736 €
27	2305	43519 €	1162	21937 €	2034	34536 €	2424	41160 €
28	2375	45894 €	1197	23134 €	2115	36651 €	2521	43680 €
29	2446	48340 €	1233	24367 €	2200	38851 €	2621	46301 €
30	2519	50859 €	1270	25637 €	2288	41138 €	2726	49028 €
	Yht.	50859	Yht.	25637	Yht.	41138	Yht.	49028

## Liite 7. Muinaishaudankadun kokonaiskust. (Kustannuslaskenta-tulokset)

	Ajanjaksolla	30 vuotta	
	Elinkaarikustannukset/katu	4 %, indeksikorotus	
<b>Urakka</b>		SC100 100W	ClearWay LED73
	Valaisin	Esimerkki 1	Esimerkki 2
	Valaisimen määrä	24	25
	Yhden valaisimen hinta	276	491
	Pylväiden määrä	24	25
	Yhden pylvään hinta	400	400
	Varsien määrä	24	25
	Yhden varren hinta	20	20
	Yhden jalustan hinta	221	221
	Urakkakulut yhteensä:	22022	28307
<b>Käyttö</b>			
	Valaisimen kuluttama teho, W	100	73
	Liitännälaitteen teho, W	13	10
	1. Himmennyksen aika tunteina	7	3
	1. Himmennyksen taso(prosentteina)	70	90
	2. Himmennyksen aika tunteina	12	4
	2. Himmennyksen taso(prosentteina)	100	60
	3. Himmennyksen aika tunteina	0	6
	3. Himmennyksen taso(prosentteina)	0	40
	4. Himmennyksen aika(tunteina)	0	6
	4. Himmennyksen taso(prosentteina)	0	100
	Käyttökulut Watteina(Wh):	296788386	180301042
	30 vuodessa/kWh	296788	180301
	1 vuodessa/kWh	9893	6010
	Energian hinta, €/kWh	0,13	0,13
	Käyttökulut yhteensä:	38582	23439
	Käyttökulut 1 vuodessa	1286	781
<b>Huolto</b>			
	Valaisimen/lampun vaihtoväli tunteina	24000	70000
	Huoltoväli vuosina	7	24
	Valaisimen/lampun vaihdon hinta	150	491
	Valaisimen puhdistusväli tunteina	24000	70000
	Valaisimen puhdistuksen hinta	50	50
	Huoltokulut yhteensä:	21887	16896
	1 vuodessa keskimäärin.	730	563

## Liite 8. Muinaishaudankadun elinkaarikust. (Kustannuslaskenta-tulokset)

<b>Kulut yhteensä</b>	30v(ilman korotuksia)	82491	68642 €
	1. vuosi	2750	2454 €
	2. vuosi	5567	4970 €
	3. vuosi	8455	7549 €
	.....	11416	10194 €
		14452	12907 €
		17565	15690 €
		20759	18546 €
		24037	21478 €
		27400	24489 €
		30852	27581 €
		34397	30757 €
		38037	34021 €
		41775	37375 €
		45616	40823 €
		49562	44369 €
		53617	48015 €
		57785	51765 €
		62070	55624 €
		66476	59595 €
	20. vuosi	71008	63683 €
		75669	67891 €
		80463	72224 €
		85397	76687 €
		90474	81284 €
		95699	86021 €
		101079	90902 €
		106617	95932 €
		112320	101118 €
		118193	106464 €
	30.vuosi	124243	111978 €





## Liite 10. Muinaishaudankadun energiakust. (Kustannuslaskenta-tulokset)

Vuodet	Energiakustannuksien hinnannousu Suurpainatrium per.vuosi yht.per.vuosi	Energiakustannuksien hinnannousu Led per.vuosi yht.per.vuosi	Energiakustannuksien hinnannousu Suurpainetrium per.vuosi yht.per.vuosi	Energiakustannuksien hinnannousu Led per.vuosi yht.per.vuosi	Urakkakustannuksien hinnannousu Suurpainetrium per.vuosi yht.per.vuosi	Urakkakustannuksien hinnannousu Led per.vuosi yht.per.vuosi
1	1286	1286	781	781	734	944
2	2611	1325	805	1586	763	981
3	1364	3975	829	2415	794	1021
4	1405	5380	854	3269	826	1061
5	1447	6828	879	4148	859	1104
6	1491	8319	906	5054	893	1148
7	1536	9855	933	5987	929	1194
8	1582	11436	961	6948	966	1242
9	1629	13065	990	7937	1005	1291
10	1678	14744	1019	8957	1045	1343
11	1728	16472	1050	10007	1087	1397
12	1780	18252	1082	11088	1130	1453
13	1834	20086	1114	12202	1175	1511
14	1889	21974	1147	13350	1222	1571
15	1945	23920	1182	14531	1271	1634
16	2004	25923	1217	15749	1322	1699
17	2064	27987	1254	17002	1375	1767
18	2126	30113	1291	18294	1430	1838
19	2189	32302	1330	19624	1487	1911
20	2255	34558	1370	20994	1547	1988
21	2323	36880	1411	22405	1608	2067
22	2392	39273	1453	23859	1673	2150
23	2464	41737	1497	25356	1740	2236
24	2538	44275	1542	26898	1809	2326
25	2614	46890	1588	28486	1882	2419
26	2693	49582	1636	30122	1957	2515
27	2774	52356	1685	31807	2035	2616
28	2857	55213	1736	33542	2117	2721
29	2942	58155	1788	35330	2201	2829
30	3031	61186	1841	37171	2289	2943
Yht.	61186	Yht.	37171	Yht.	41170	Yht.
						52920