



Katuvalaistuksen energiatehokkuustutkimus

Valaistuksen säätö

Olli-Pekka Jaako

Sähkötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Sähkövoimatekniikka
Insinööri (AMK)

Kemi 2014

ALKUSANAT

Haluaisin kiittää Oulun Energia Urakointi Oy:tä ja mittauksissa, sekä työnohjaajana mukana ollutta DI Heikki Niskalaa.

TIIVISTELMÄ

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU, Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisala

Koulutusohjelma:	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä(t):	Olli-Pekka Jaako
Opinnäytetyön nimi:	Katuvalaistuksen energiatehokkuustutkimus. Valaistuksen säätö
Sivuja (joista liitesivuja):	49 (17)
Päiväys:	19.3.2014
Opinnäytetyön ohjaaja(t):	DI Jaakko Etto
<p>Oulun kaupungin valtuusto on myöntänyt yhdyskunta- ja ympäristöpalveluille 200 000 euron määrärahan vuonna 2012. Oulun yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut on yhteistyössä Oulun Energia Urakointi Oy:n kanssa valinnut katuvalaistuksen tutkimuskohteet Oulun alueella ja valmisteellut tutkimusohjelman, joka keskittyy erilaisiin valaistuksen säätömahdollisuuksiin.</p> <p>Tämä tutkimus on jatkoa diplomityölle, joka käsitteli katuvalaistuksen energiatehokkuuden parantamista. Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin katuvalaistuksen säätämiseen ja pyrittiin löytämään taloudelliset ratkaisut tuleville tieosuuksille. Valaistuksen säätäminen himmeämmäksi tarkoittaa tehojen pudotusta valaisimissa ja näin ollen energiakustannuksien pienenemistä. Iltojen pimennyttyä säädettiin valaisimia ja mitattiin kohteiden teho- ja valo-ominaisuuksia.</p> <p>Mittauskohteissa mitattiin valaistusvoimakkuutta ja värilämpötilaa. Näiden tulosten perusteella tutkittiin, miten Suomessa yleisesti käytössä olevat katuvalaistusluokkarvot täyttyvät. Työssä mitattiin lisäksi valaisimien kuluttama sähköteho.</p> <p>Kaikissa mittauskohteissa käytettiin monimetalli- ja LED-valaisimia. Kohteiden sähkönteho-, valovoimakkuus- sekä värilämpötilamittaukset tehtiin jokaiseen kohteeseen samalla tavalla. Näiden tulosten pohjalta tehtiin johtopäätökset. Mittaustuloksista voitiin päätellä, että katuvalojen säätämällä vaikutettiin merkittävästi energiasäästöihin. Jokaisella tieosuudella saatiin mittaustuloksien perusteella säädön avulla useiden eurojen säästöjä yhdelle valaisimelle vuodessa. Sähkötehoalliset säästöt olivat valaisimesta riippuen noin 15 - 31 W. Vaikka Oulun kaupungin vaatimat valovoimakkuusarvot eivät täyttyneet jokaisen valaisimen kohdalla säädön aikana, oli valaistus silti riittävän tehokas jokaisella tieosuudella.</p>	
Asiasanat: katuvalaistus, valaistusvoimakkuus, säätö, ohjaus, värilämpötila	

ABSTRACT

LAPLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology, natural resources

Degree programme:	Electrical engineering
Author(s):	Olli-Pekka Jaako
Thesis title:	Street lighting energy efficiency research lightning adjust.
Pages (of which appendixes):	49 (17)
Date:	19.3.2014
Thesis instructor(s):	Jaakko Etto, MSc (El.Eng)
<p>The council of the city of Oulu has granted 200 000 euros allocation to community – and environment services in year 2012. Community – and environment services in corporation with Oulun Energia Urakointi Ltd. have chosen the research locations for streetlights in area of Oulu and prepared research program, which focuses on different lighting adjustment options.</p> <p>This research is follow-up for master`s thesis, which dealt with the energy efficiency of the street lighting. In this thesis, the focus was on the street lighting adjustment and on an attempt to find the most economical solutions for future roads. Dimmning the lights means a drop in the power of the lights, and therefore lower energy costs. As night got darker streetlights were adjusted and power-and light features in the locations were measured.</p> <p>In measure objects illuminance and color temperature were measured. Based on these results it was researched how the street lighting class values commonly used in Finland are realized. In this thesis the electric power of the lighting consumptions was also measured.</p> <p>Metal-halide – and LED-streetlights were used in every measure location. The power of electricity-, luminous intensity – and color temperature measurements were done the same way in every location. Based on these results conclusions were drawn. The conclusion was that the remarkable energy savings were made by adjusting the street lights. On the grounds of these measurements, adjusting the street lights gave several euro savings for one street light in a year on each section of the road. Depending on the light fixture the wattage savings were about 15 to 31 W. Even though the light intensity values, demanded by the city of Oulu were not realized on every light fixture during the adjustment the light was still effective enough on each part of the road.</p>	
Tags: Street lighting, illuminance, adjust, color temperature	

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	9
2 VALAISTUSTEKNIikka	10
2.1 Valaisin ja lamppu katuvalaistuksessa	10
2.2 Tavalliset ohjaustavat	11
2.3 Älykkään ohjausjärjestelmän periaate	11
2.4 Valaisimien säätölaitteet	13
2.5 Valaistusta kuvaavat suureet	14
2.6 Värilämpötila	14
3 TUTKIMUKSEN LAMPUT JA VALAISIMET	18
3.1 Suurpainenaatriumlamppu	18
3.2 Monimetallilamppu	18
3.3 LED-lamppu	19
3.4 Tutkimuksessa käytetyt valaisimet	21
3.4.1 Philips Selenium	21
3.4.2 Sthril Mistral	22
3.4.3 Illuminazione a2	22
3.4.4 Valopää VP1402 LED	23
4 KATUVALAISTUKSEN SUUNNITTELU	24
4.1 Suunnittelu	24
4.2 Valaistusluokat	24
4.3 Valaistusvoimakkuus ja valovoimakkuus	27
4.4 Energian säästäminen suunnittelussa	29
5. MITTAUKSET JA TULOKSET	30
5.1 Mittausjärjestelyt ja työssä käytetyt mittauslaitteet	30
5.2 Mittauskohteet ja tulokset	31
5.2.1 Myllyojan testikenttä	31
5.2.2 Hiukkavaarantien mittaustulokset	32
5.2.3 Myllyojantien mittaustulokset	35

	6
5.2.4 Päätelmät.....	37
5.3.1 Kemiran pyörätie ja Kylmäniemenpolku.....	39
5.3.2 Kemiran pyörätien ja Kylmäniemenpolun mittaustulokset	40
5.3.3 Päätelmät.....	43
6 YHTEENVETO JA POHDINNAT	47
LIITTEET	50

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

LED	Loistediodi (engl. Light Emitting Diode), valoa säteilevä puolijohdekomponentti
SpNa	Suurpainenatriumlamppu
Lm	Lumen. Valaistusvoimakkuuden mittayksikkö. Kuvaa valonlähteestä lähtevää valon säteilyä tiettyyn suuntaan.
K	Kelvin on SI-järjestelmän yksikkö lämpötilalle.
Ra	Värintoistoindeksi. Mitataan valonlähteen kykyä toistaa värejä verrattuna vertailuvalonlähteeseen.
cd	Kandela. Mittayksikkö valon voimakkuudelle. Kuvaa valonlähteestä lähtevää valon määrää tiettyyn suuntaan.
L	Luminanssi. Kuvaa pinnalta lähtevää valon voimakkuutta. Yksikkö cd/m^2
AL-luokka	Katuvalaistusluokka. Käytetään luminanssiin perustuvia luokkia. Moottoroidulle ajoradoille.
AE-luokka	Katuvalaistusluokka. Käytetään valaistusvoimakkuuden arvojen avulla paikoissa, joissa luminanssille perustuva luokittelu ei ole käytännöllinen.
K-luokka	Katuvalaistusluokka. Käytetään valaistusvoimakkuuden arvojen avulla paikoissa, joissa luminanssille perustuva luokittelu ei ole käytännöllinen.

	tännöllinen. Kevyenliikenteen ja jalankulkijoiden alueet.
TI	Estohäikäisy. Suhdeluku joka kertoo valaistuksen näkemistä heikentävän vaikutuksen.
E	Valaistusvoimakkuus. Kuvaa pinta-alalle tulevan valovirran määrää. Yksikkö on Luksi (lx).
U _o	Yleistasaisuus on suhdeluku, joka lasketaan ajoradan luminanssi arvosta.
U ₁	Pitkittäistasaisuus on suhdeluku, joka lasketaan ajoradan luminanssi arvosta.

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö perustuu Euroopan parlamentin ja neuvoston ErP-direktiivin Energy related Products vaatimiin säännöksiin, jossa ulkovalaistukseen liittyvät tuotteet on siirrettävä ekologisempaan käyttöön. Komission asetuksen n:o 245/2009 mukaan huonojen hyötysuhteen omaavien lamppujen myynti kielletään vuonna 2015. Tämä tarkoittaa sitä että vanhat elohopealamput poistuvat markkinoilta. Euroopan komissio on asettanut tavoitteeksi vähentää energian kulutusta 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. (Euroopan komission asetus 245/2009.)

Aiheen valinta perustui tilaajan eli Oulun kaupungin tilaukseen Oulun Energia Urakointi Oy:ltä. Työn lähtökohtana oli uusien monimetallivalaisimien ja LED-valaisimien energiatehokkuustutkimus. Tutkimuksessa oli tarkoitus saada selville, miten paljon katuvalojen säätämällä säästetään tehoa ja kuinka paljon taloudellisia säästöjä saadaan katuvalojen tehon säätämällä. Tutkimuksessa huomioidaan, miten katuvalojen tehon säätäminen vaikuttaa valovoimakkuuteen ja sitä kautta yleisesti Suomessa vaadittuihin katuvalaistusluokka-arvoihin. Työkohteissa käytettiin viittä eri valaisinta ja neljän eri valmistajan valaisinta, joissa oli joko LED tai monimetallilamppu. Työhön liittyvät mitaukset tehtiin paikan päällä ja Oulun Energia Urakointi Oy:n testitiloissa.

Mittaustulosten perusteella tehdään johtopäätökset mitattuihin kohteisiin ja analysoidaan, kuinka paljon pystytään säästämään energiaa ja kuinka paljon säätämällä säästetään taloudellisesti kullakin katuosuudella.

2 VALAISTUSTEKNIikka

2.1 Valaisin ja lamppu katuvalaistuksessa

Valaisimen tehtävänä katuvalaistuksessa on saada valojako haluttuun lopputulokseen tienkäyttäjille. Valaisimen ominaisuuksiin kuuluu valonlähteen valonjaon muuttaminen halutulla tavalla. Tämä voidaan tehdä erilaisilla optiikoilla ja heijastavilla pinnoilla, jotka ovat valaisimessa sisällä. Valaisimen toinen tehtävä on toimia suojana itse lampulle, joka sijaitsee valaisimessa. Valaisimen kotelo suojaa lampua ja liitäntälaitteita ulkopuolisilta rasituksilta, kuten kosteudelta ja Suomessa myös lumelta. Valaisimen sisältöön kuuluvat kupu, taitin, jolla saadaan valon heijastus, lamppu, pidikkeet, runko ja liitäntälaitte, joka yhdistää lampun sähköverkkoon. Liitäntälaitte rajoittaa virtaa, ja se myös auttaa purkauslamppuja sytytyksessä. Se myös muuntaa verkkojännitteen lampulle sopivampaan muotoon. (Ahponen 1999, 169.)

Purkauslamppuja ovat monimetallilamppu ja suurpainenatriumlamppu. Kaikissa purkauslamppuissa on kojeistossa virranrajoitin, sytytin ja kompensointi verkkoon syntyvien loistehojen varalta. Virranrajoittimenä toimii induktiivinen tai kompensoitu kuristin, mikä estää virran hallitsemattoman kasvun. Elektroniset kuristimet kuluttavat vähemmän tehoa kuin induktiokuristimet. Tästä johtuen Euroopan komission asetukset pyrkivätkin saamaan induktiiviset kuristimet pois markkinoilta. (Ahponen 1999, 97.)

Monimetalli- ja suurpainenatriumlamput eivät kykene suoraan verkosta syttymään päälle pelkästään jännitteen avulla, joten yleensä ne tarvitsevat erillisen sytytyslaitteen. Tämä sytytyslaite antaa tarvittavan suuren yhden tai useamman jännitepulssein. Syttymiseen vaikuttavat pulssien huippujännitteen suuruus ja jännitepulslien määrä. Jännitepulssi on yleensä noin 1 - 5kV syttymishetkellä. Purkauslamppuissa käytetään yleisesti E27- ja E4-kantoja, jotka ovat käytössä kaikkialla. E27-kannat ovat suunniteltu kestämään jännitepulsseja 2,3 kV:hen asti ja E40-kannat 5 kV:hen asti. Purkauslamppujen sammuttua sytyttäminen on mahdollista, vasta kun lamppu on jäähtynyt tarpeeksi. Kylmät lamput sytyvät heti kun jännitepulssi on tullut sytytinlaitteesta. (Ahponen 1999, 99 - 100.)

Katuvalaistuksessa käytetään lähes poikkeuksetta valaisimissa 50W–250W:n lamppuja, mutta LED-valaisimissa voidaan käyttää pienempiäkin lamppuja. Valaisinta ja lampua

pidetään usein virheellisesti samana asiana. Valaisimeen sisältyy lamppu, joka tuottaa valon. Valaisimen liitäntälaitteet ovat erilaiset eri lampuille. Tutkittaessa tehon kulutusta valaisimessa täytyy ottaa huomioon myös valaisimessa tapahtuva tehonkulutus.

2.2 Tavalliset ohjaustavat

Katuvalaistuksen syöttö tulee katuvalokeskuksilta. Yhdestä keskuksesta voi lähteä syöttö jopa 150 valaisimelle. Ohjaustapoja on paljon erilaisia ja niitä käytetään erilaisissa olosuhteissa. Ohjaustapoja on muun muassa seuraavia:

- paikallisohjaus
- ketjuttaminen
- keskitetty ohjaus
- älykäs ohjausjärjestelmä

Paikallisohjaus on tarkoitettu pienten alueiden ohjaamisiin, ja siinä yleensä käytetään hämäräkytkintä valaisimien ohjaukseen. Ketjuttamisessa ohjaus tapahtuu katuvalokeskusten välille rakennetun yhteyden avulla. Viimeiseltä pylväältä vedetään ohjausjännite uudelle katuvalokeskukselle. Keskitetty ohjaus vaatii alueella yhtenäisen tievalaistusverkon. Tällä tavalla vältetään eriaikaisista syttymis- ja sammumisajoista. Keskitettyä ohjausta ei ole tarjolla pienissä kunnissa, koska se vaatii sähkölaitokselta valaistuksen verkkokäskyn. Neljäs tapa on älykäs tievalaistus, joka mikä on kaupungeissa käytössä. Älykkäitä tievalaistuksen ohjausjärjestelmiä on paljon ja ne käyttävät GSM-, GPRS- ja radiotaajuusyhteyksiä. C2 smartlight -järjestelmä on tunnetuin Suomessa käytetty ohjausjärjestelmä. (Kivioja 2012, 34 - 35.)

2.3 Älykkään ohjausjärjestelmän periaate

Älykkäät ohjausjärjestelmät ovat logiikoita, jotka antavat tietoja muun muassa energian kulutuksesta. Nämä ovat siis etäkäytettäviä järjestelmiä, mikä helpottaa ohjausta huomattavan paljon. Ohjausjärjestelmä vaatii kahdensuuntaisen tiedonsiirron, mutta tämä ohjaustapa on varma, koska vikaherkkää ohutta ohjauskaapelia ei välttämättä tarvita. (Kivioja 2012, 34–35.)

Katuvalaistuksen verkonvalvontajärjestelmä tai jokin muu keskusjärjestelmä toimii perustajana ja keskipisteenä älykkäässä ohjausjärjestelmässä. Tieto kulkee sen kautta kohteen ja käyttäjän välillä kumpaankin suuntaan. Tähän järjestelmään kytketään kaikki katuvalokeskukset, valopisteet ja valaistusta tarkkailevat laitteet, kuten hämäräkytkimet, näkyvyysmittarit, sääasemat ja näiden lisäksi hallinnointikäyttöliittymä. Verkonvalvontajärjestelmä siis toimii moneen eri suuntaan ja se vastaanottaa informaatiota kulutuskohteista. Valaistuksen ohjaukseen järjestelmä vastaanottaa ohjauspulsseja automaattikalta. Se sytyttää ja sammuttaa automaattikalta saadun tiedon avulla alueen valaistuksen sää olosuhteiden mukaan.

Hallinnointikäyttöliittymä on käyttöliittymä jonka avulla käyttäjä voi seurata verkon tilaa ja ohjata valaistusta myös manuaalisesti. Hälytykset tulevat käyttäjän tietoon hallinnointikäyttöliittymän kautta. Hallinnointi käyttöliittymän ja keskusjärjestelmän välillä on siis kokoajan yhteys. Tämä tarkoittaakin sitä, että puhelimen avulla pystytään ohjaamaan valaistusta soittamalla esimerkiksi tiettyyn numeroon mikä toimii puhelimen ja käyttöliittymän välillä. Yhteys muodostetaan määrättyillä liittymällä tai yleisen puhelinnumeron kautta. Kuvassa 1 on esitetty periaatekuva älykkäästä ohjausjärjestelmästä. (Valkonen 2008, 28.)



Kuva 1. Älykkään ohjausjärjestelmän periaatekuva (Valkonen 2008, 28)

2.4 Valaisimien säätölaitteet

Valaisimien säätölaitteilla voidaan säätää valaisimien valon tuottoa. Säätötapoja on useita, mutta yleisimmin käytettyjä säätötapoja on kaksi, ja tässä työssä on käytetty niistä kumpaakin. Laitteita on erilaisia valmistajasta riippuen, ja säätölaite voi olla valaisimen sisä- tai ulkopuolella. Valaisimien säätämisellä saavutetaan energiaystävällisempi lopputulos, koska esimerkiksi puolen yön hiljaisten tuntien aikana on turhaa polttaa katuvaloja täydellä teholla.

Säätömuuntaja on purkauslampuille tarkoitettu säätövaihtoehto. Se asennetaan katuvalokeskukseen tai sen yhteyteen, ja sillä pystytään säätämään kaikkia vaiheelle kytkettyjä valaisimia. Sitä pystytään ohjaamaan kellolla, hämäräkytkimellä tai manuaalisesti verkonvalvontajärjestelmästä. Säätömuuntaja pudottaa kaapelin jännitettä sen muuntajan avulla normaalista 230 voltin verkkojännitteestä jopa 190 volttiin tai jopa alle. Tällä alueella pystytään säätämään jännitettä haluttuun määrään ja näin saada pienempi tehonkulutus valaisimissa. Säätömuuntaja vaatii kuitenkin magneettisen kuristimen, jossa se pystyy säätämään jännitettä.

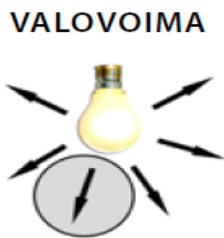
Toinen tapa säätää valaisimen valon tuottoa on valaisinkohtainen säätölaite. Kaksiteho-kuristimella voidaan syöttää purkauslamppuun ja nykyään myös LED-lamppuihin kahta eri tehoa. Toiminta perustuu valaisimessa olevaan kontaktoriin, joka ohjaa valaisimessa olevaa kuristinta säätämään valaisimen valontuottoa. Kuristimessa on 2 tehoa, toinen on lampun nimellisteho ja toinen esimerkiksi puolet nimellistehosta, mitä poltetaan hiljaisempina aikoina. Kuristin laskee, kuinka paljon katuvaloja on poltettu edellisinä öinä ja sen kautta kulutuksen keskiarvon. Vanhemmissa säädettävissä katuvalaistuskohdeissa on käytetty ohjauskaapelia katuvalopylväissä, mutta nykyisillä langattomilla laitteilla, kuten C2-smartlight-laitteella, ei tarvita ohjauskaapelia, vaan tiedonsiirto tapahtuu langattomasti. (Niskala 2012, 12 - 13.)

LED-valaisimille on olemassa omat säätölaitteet, ja niitä on erilaisia valmistajasta riippuen. Tässä opinnäytetyössä käytetty tapa on älykäs ajastin, johon on asetettu jo tilausvaiheessa säätöajat. Säätöaikoja voi olla useita led-lampuille.

2.5 Valaistusta kuvaavat suureet

Valovoima

Valovoiman tunnus on I. Se kuvaa valonlähteestä lähtevää valon määrää tiettyyn suuntaan (kuva 2). Valovoiman yksikkö on kandela (cd).



Kuva 2. Valovoima (Oulun kaupungin valaistuksen yleissuunnitelma 2010, 8, hakupäivä 13.2.2013)

Valovirta

Valovirta saadaan johdettua valovoimasta. Se kuvaa valonlähteestä lähtevää valon säteilyä tiettyyn suuntaan (kuva 3). Valovirran SI-järjestelmän mukainen mittayksikkö on lumen (lm) ja tunnus on Φ .



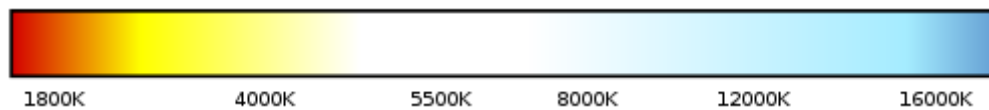
Kuva 3. Valovirta (Oulun kaupungin valaistuksen yleissuunnitelma 2010, 8, hakupäivä 13.2.2013)

2.6 Värilämpötila

Värilämpötila T on valon ominaisuus, joka kertoo tarkasteltavan valon värin. Värilämpötilan yksikkö on kelvin (K). Värilämpötila saa määrityksensä siitä, kun lisätään 273 siihen lukuun celsiusasteita, joka vaaditaan niin sanotun mustan kappaleen lämmittämiseksi kohteesta tulevan valon väriseksi. Mustaa kappaletta käytetään ”standardina”,

koska se ei heijasta valoa mihinkään suuntaan. Mustasta kappaleesta lähtee kuitenkin säteilyä, kun sitä kuumennetaan. Kelvin-asteikko alkaa 0 kelvinistä mikä vastaa -273 pakkasastetta celsiusasteikolla.

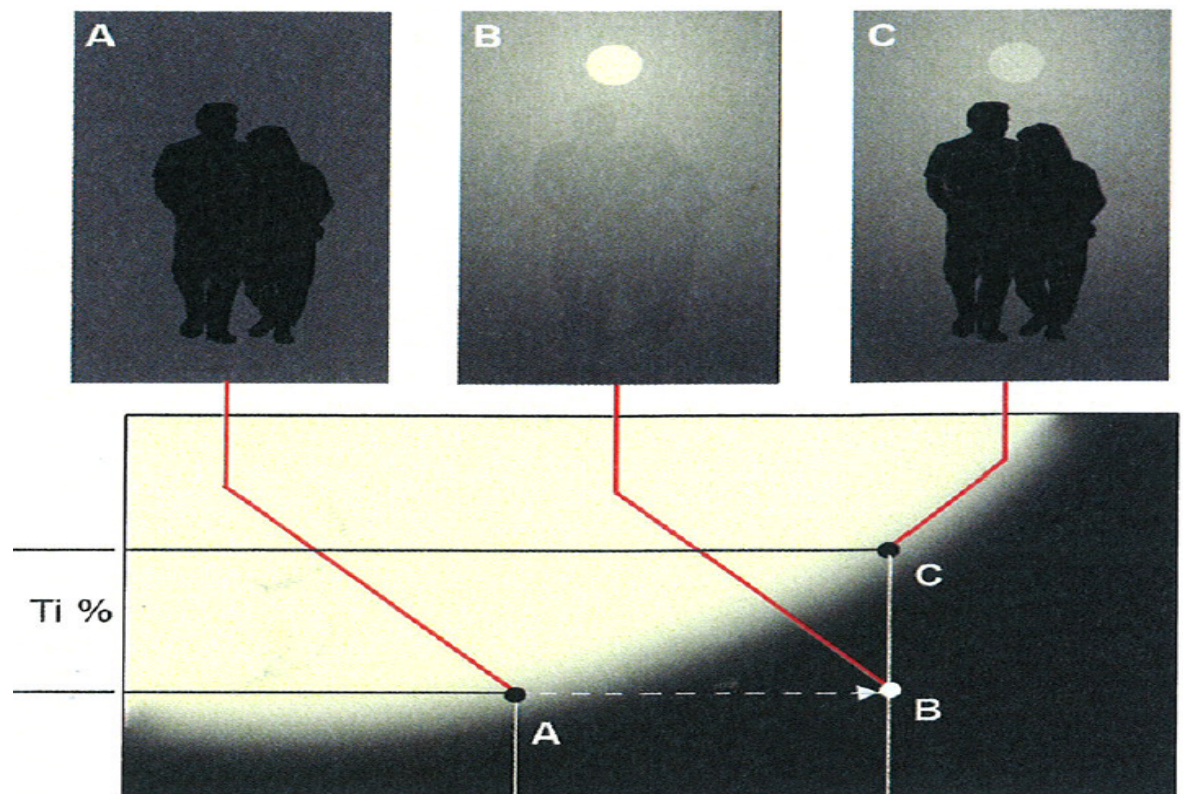
Mitä korkeampi kelvin-arvo on, sitä kylmempi ja sinertävämpi lampun tuottama valo on. Tämä tarkoittaa myös sitä, että kellertävällä valolla värilämpötila on pienempi kuin valkoisella valolla kuten kuvasta 4 voimme päätellä. Kuitenkaan itse katuvalaistuksen hahmottamiseen värilämpötilalla ei ole niin suurta merkitystä, joten värilämpötilaa ei juurikaan huomioida katuvalaistuksessa. (Valoa elämään 2009, 514, hakupäivä 16.12.2012.)



Kuva 4. Värilämpötila (Oversol www-sivut 2014, hakupäivä 11.3.2014)

2.7 Häikäisy

Häikäisy tarkoittaa tievalaistuksessa heijastuneen valon häiriötä tienkäyttäjille. Häikäisyä rajoitetaan oikeilla valaisimilla, valaisimien häikäisysuojilla ja valaisimien sijoittelulla pylväässä. Häikäisy luo tarvetta tehojen nostamiseen ja suurempien valaistustasojen käyttämiseen. Suunnittelu on avain asemassa välttämässä häikäisyä. Estohäikäisy on mitattavissa silmän kontrastinerotuskyvyn muuttumisena (TI = Threshold Increment) mikä on esitetty kuvassa 5. Tarkoitus estohäikäisyn mitattaessa on saada oikea valaistustila, jossa ei häikäisyä esiinny. Määritellään luminanssikynnys, jotta tiedetään, kuinka paljon valaistusta pitää lisätä. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 16, hakupäivä 15.4.2013 ; Tiensuu 2010, 8.)



Kuva 5. Estohäikäisy (Tiensuu 2010, 8)

Kuvasta voidaan päätellä seuraavaa:

- Kuva A. Kohteet ovat havaittavissa jollakin tavalla.
- Kuva B. Häikäisevä valonlähde on sijoitettu kohteen taakse, joten kohde ei ole hyvin havaittavissa.
- Kuva C. Valaistustaso on nostettu niin korkealle, että kohteet ovat havaittavissa samalla tapaa kuin kuvassa A. (Tiensuu 2010, 8.)

2.8 Värintoistoindeksi

Värintoistoindeksi eli Ra-indeksi (CRI, Colour rendering index) kertoo valonlähteen tuottaman valon kyvystä toistaa värejä vertailuvalonlähteeseen nähden. Paras mahdollinen värintoistoindeksi on 100, mikä on esimerkiksi hehkulampuissa ja myös luonnonvalolla. Värintoistoindeksi annetaan asteikolla 0 - 100, missä 0 tarkoittaa täysin monokromaattista valoa eli valoa, joka sisältää vain yhtä aallonpituutta. Värintoistoindeksin ollessa 0 valon värit eivät toistu lainkaan, kun taas sen ollessa 100 valo on jatkuvaspekt-ristä eli vertailuvalonlähteen kaltaista värintoistoa. Kuvan 6 vasemmanpuoleisessa ku-

viossa värit näkyvät erittäin hyvin, koska sitä valaisevalla valonlähteellä on korkea värintoistoindeksi, kun taas oikeanpuoleisessa kuviossa värit ovat tummat eli sen värintoistoindeksi on matala. Nykyään kuitenkin värintoistoindeksiä ei katsota tyydyttäväksi mittaamaan uusien monimetalli-, suurpaine- ja LED-lamppujen ominaisuuksia, joita tässä opinnäytetyössä tutkitaan, vaan kansainvälinen valaistuskomissio CIE valmistelee uutta tarkempaa menetelmää. (Mäntyharju 2013, 8.)



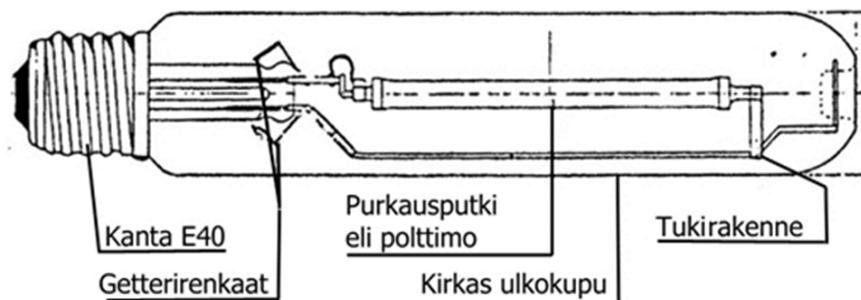
Kuva 6. Hyvän ja huonon värintoistoindeksin erot (Karhe 2012, 16)

3 TUTKIMUKSEN LAMPUT JA VALAISIMET

3.1 Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlamppua pidetään kustannustehokkuudeltaan parhaimpana vaihtoehtona katuvalaistuksen ylläpitämiseen. Suurpainenatriumlamppu on kaasupurkauslamppu. Se tuottaa hetkellisesti violettiä väriä, ja tämän jälkeen se muuttuu lopulliseen sävyynsä oranssiksi. Toiminnallisesti se perustuu natriumhöyryyn, joka lähettää tehokkaasti valoa. Polttimon läpi johdetaan tarpeeksi suuri virtatiheys, että natriumhöyryn paine putken seinämän lämmetessä nousee 30 - 35 kilopascaliin. (Ahponen 1999, 60.)

Valotehokkuus on suurpainenatriumlamputta hyvä, noin 82–128 lm/W. Polttoikä on noin 24000 - 32000 h, mikä on parempi kuin esimerkiksi monimetallilamputta. Sen valotehokkuus ei huonone eliniän aikana, vaan se pystyy tuottamaan samalla tehokkuudella valoa koko elinikensä. Suurpainenatriumlamputta värilämpötila on vain 2000 K, ja värintoistoindeksi (Ra) on noin 25. Värintoistokyky suurpainenatriumlamputta ei ole hyvä, mutta se ei vaikuta katuvalaistukseen heikolla tavalla, koska tien valaistuneisuus on tärkeämpi tekijä. Katuvalaistuksessa suurpainenatriumlamppu näkyy keltaisena värinä katukuvassa. Kuvassa 7 on kuvattu suurpainenatriumlamputta osat. Tässä opinnäytetyössä ei käytetty kuitenkaan suurpainenatriumlamppua. (Oulun kaupungin valaistuksen yleissuunnitelma 2010, 9, hakupäivä 13.4.2013.)

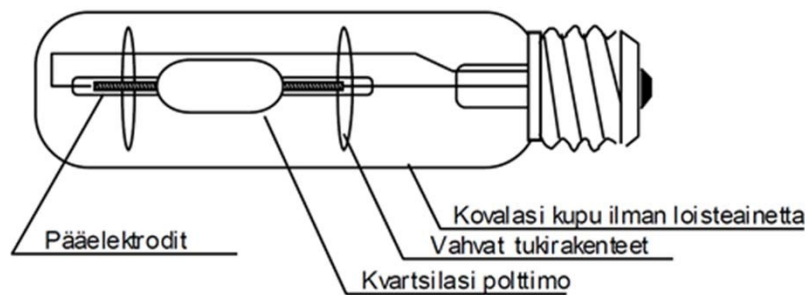


Kuva 7. Suurpainenatriumlamppu (Esala 2010)

3.2 Monimetallilamppu

Monimetallilamppu on rakenteeltaan melkein identtinen elohopealamputta kanssa. Se kuitenkin eroaa elohopealamputta hieman, koska siinä on myös muitakin metalleja seassa. Monimetallilamputta valontuotto perustuu eri metallien seoksiin, jotka ovat pur-

kausputkessa. Se toimii hyvin samankaltaisesti kuin elohopealamppu, eli putkea lämmitettäessä sen sisällä olevan metalliseoksen paine kasvaa ja paineen kasvaessa näkyvää valoa alkaa säteillä. Monimetallilampun valotehokkuus on myös huomattavasti parempi kuin elohopealampussa. Monimetallilampun värintoisto-ominaisuudet ovat tällä hetkellä kirkkaan valon ansiosta paras katuvalaistuksessa. Sen Ra (värintoistoindeksi) on 75 - 85, joka on katuvalaistuksessa erittäin hyvä. Monimetallilamppu näkyy katuvalaistuksessa valkoisena. Sen käyttöikä valmistajasta riippuen kuitenkin suhteellisen lyhyt (12000 – 20000 h) verrattuna LED- ja suurpainenatriumlamppujen ikään. Monimetallilamppua ei käytetä niin paljon katuvalaistuksessa kuin suurpainenatriumlamppua. Kuitenkin paikoissa joissa värintoisto on yleisen viihtyvyyden kannalta tärkeää, kuten kaupunkien keskustoissa, käytetään myös monimetallilamppua. Monimetallilamppu on energiatehokkaampi kuin suurpainenatriumlamppu, ja se tulee vielä kehittymään lampuna katuvalaistuksessa. Kuvassa 8 on kuvattu monimetallilampun osat. (Oulun kaupungin valaistuksen yleissuunnitelma 2010, 9, hakupäivä 13.4.2013.)

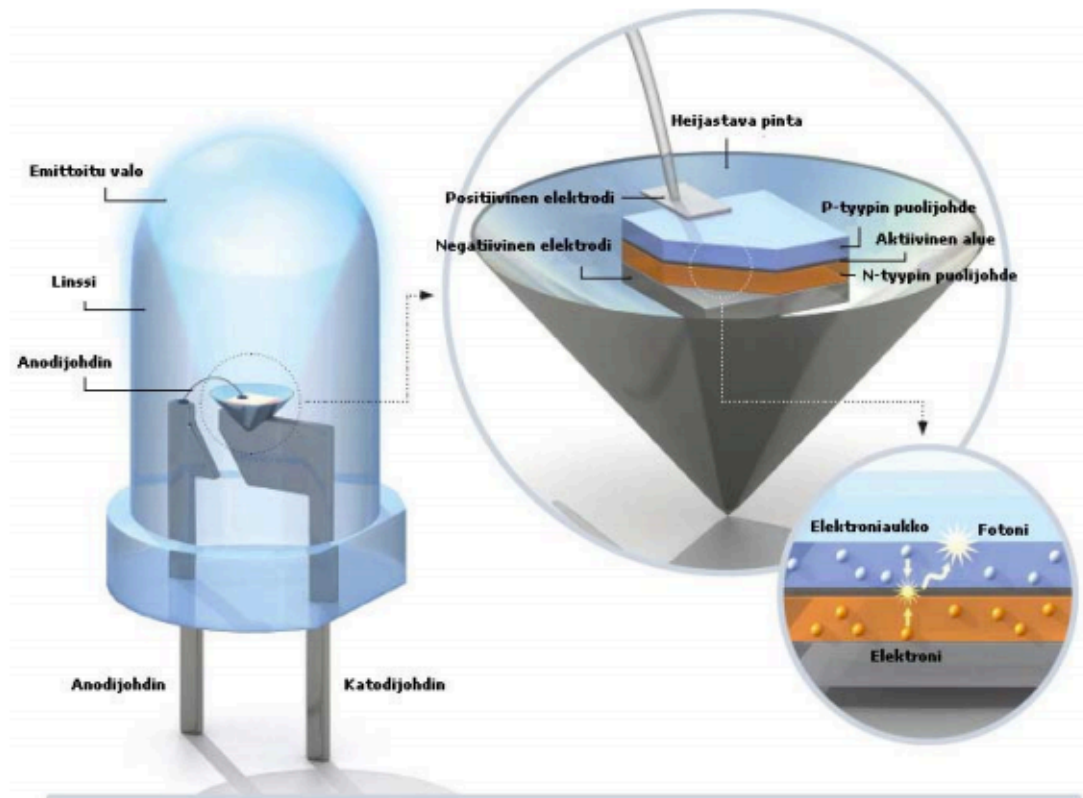


Kuva 8. Monimetallilamppu (Esala 2010)

3.3 LED-lamppu

LED (Light Emitting Diode) on puolijohdekomponentti. Sen perustana on sähköenergian muuttaminen suoraan valoksi. Ledin valontuotto perustuu elektroniin, joka siirtyy materiaalista toiseen luovuttaen energiaa. Ledit koostuvat kahdesta puolijohdealueesta: Positiivisesta (p-alue) ja negatiivisesta (n-alue) alueesta. Negatiivisellä P-alueella on puute elektroneista, kun taas n-alueella on runsaasti elektroneja. Kun näihin kahteen alueeseen johdatetaan jännitettä, elektronit liikkuvat liitoskohdan läpi n-alueelle, josta vapautuu energiaa. Syntyneen energian dispersio tuottaa fotoneja ja samalla näkyvän aallonpituuden. Mitä vähemmän energiaa elektroneilta vapautuu, sitä suurempi fotonin aallonpituus on. Ledeissä käytetyt puolijohteet määräävät valon värin. Katuvalaistuksessa käytettävät LED-lamput hohtavat valkoisina. Valkoinen valo saadaan aikaan sini-

sellä ledillä, jossa on keltainen fosforipinnoite. Kuvassa 9 on esitetty LED-komponentin rakenne. (Sinkkonen 1996, 283 – 285.)



Kuva 9. LED komponentin rakenne (Bryan Christie 2008, hakupäivä 12.12.2013)

LED-lamput ovat tulevaisuutta myös katuvalaistuksessa. Niiden käyttöikä on huomattavasti pitempi kuin normaaleissa purkauslamppuissa, mutta teholtaan ledit jäävät vielä purkauslamppujen varjoon. Kuitenkin ledit pystyvät haastamaan tavallisesti käytetyt monimetalli- ja suurpainenatriumlamput jokaisella osa-alueella. Ledeillä on siis pitkä elinikä ja niiden energiankulutus on alhainen. Ledeissä on siis paljon hyviä puolia, mutta on niissä myös huonoja puolia. Ledit ovat kooltaan pieniä, joten tämä aiheuttaa lämpenemisen lampussa ja tätä kautta myös energiahäviöitä. Ledien valontuotto heikkenee ajan myötä ja siksi monet valmistajat lupaavat nostaa ledien virran määrää, jotta pystytään pitämään samaa valotehoa koko ajan. Taulukossa 1 on esitelty erilaisten lamppujen ominaisuuksia.

Taulukko 1. Erilaisten lamppujen ominaisuuksia (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 78, hakupäivä 13.3.2013)

Lampputyyppi	Valotehokkuus [lm/W]	Polttoikä 1000 tuntia	Värintoistoindeksi [Ra]	Väriämpötilat [K]
Suurpainenatrium	70 - 120	12 - 22	20 - 65	2000 - 2200
Monimetalli	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 tyypejä, värejä ja arvoja			

3.4 Tutkimuksessa käytetyt valaisimet

Tutkimuksessa käytettiin 70 W:n tehoisia monimetallivalaisimia, sekä 54 W:n LED-valaisimia. Valaisimet ovat joko 6 tai 8 metrin korkeudella mittaustaikasta riippuen. Tässä tutkimuksessa käytettiin neljän eri valmistajan valaisimia. Valaisimen säätö tapahtuu säätömuuntajan, kaksitehokuristimen avulla tai valaisimen sisällä olevan kellon avulla.

3.4.1 Philips Selenium

Philips Selenium monimetallivalaisin on Hiukkavaarantielle asennettu valaisin, joka sijaitsee Myllyojan testikentällä. Se on ergonominen ja tehokas katuvalaistuksessa käytetty valaisin. Seleniumin T-POT-tekniikka takaa erinomaisen optisen suorituskyvyn. Sen kaltevuuskulmaa voidaan säätää kahdella eri tavalla. Selenium-valaisin on hyvin yleinen katuvalaisin. Kuvassa 10 on Selenium-valaisin. (Voltimum 2013, hakupäivä 1.2.2014.)



Kuva 10. Philips Selenium -valaisin (Voltimum 2013, hakupäivä 1.2.2014)

3.4.2 Sthril Mistral

Sthril Mistral on Myllyojantielle asennettu katuvalaisin, joka sijaitsee Myllyojan testikentällä. Mistral-valaisin on arvostettu sen hienon muotoilun vuoksi, ja se sopii moniin katuvalaistuskohteisiin. Se on häikäisysojattu, syvä ja sen säädettävä heijastin parantaa liikenneturvallisuutta. Valaisimen kaltevuuskulmaa voidaan säätää erillisillä adaptereilla 140° , mikä mahdollistaa optimaalisen valaisinvälin ja energiatehokkuuden ilman häiritsevää häikäisyvaloa. Valonlähteen vaihtaminen tässä valaisimessa onnistuu ilman työkaluja. Kuvassa 11 on Mistral-valaisin (Sthril www-sivut 2013, hakupäivä 11.3.2014.)



Kuva 11. Sthril Mistral -valaisin (Sthril www-sivut 2014, hakupäivä 11.3.2014)

3.4.3 Illuminazione a2

Illuminazione a2 -valaisin on tässä opinnäytetyössä LED versiona ja myös monimetalliversiona. A2-valaisin on uudenajan monipuolinen valaisin, joka takaa energiatyövällisen ratkaisun moneen eri katuvalaistuksen käyttökohteeseen. Valaisimissa on sisällään säätötoiminto, jolla voidaan ohjata valaistusta. Lisäksi sen ohjaus onnistuu Power line carrierin kauko-ohjaimella. Kuvassa 12 on a2-monimetallivalaisin ja kuvassa 13 LED-valaisin. (Illuminazione www-sivut 2014, hakupäivä 11.3.2014.)



Kuva 12. Illuminazione a2 HID (Illuminazione www-sivut 2014, hakupäivä 11.3.2014)



Kuva 13. Illuminazione a2 LED-valaisin (Illuminazione www-sivut 2014, hakupäivä 11.3.2014)

3.4.4 Valopää VP1402 LED

Valopää VP1402 LED on älykäs katuvalaisin. Toisin kuin muissa tutkimuksen valaisimissa valopään valaisinta voidaan ohjata radiotaajuuksien kautta kaksisuuntaisesti. Valaisin hoitaa itsenäisesti elinkaaren yli tapahtuvan ledien hiipumisen kompensoinnin. Valopään valaisimet edustavat uuden sukupolven katuvalaisimia, jotka edustavat energiaystävällisiä katuvalaistuksen vaihtoehtoja. Kuten muissakin valaisimissa valopään valaisimessa on kaltevuuskulman säätömahdollisuus. Kuvassa 14 on Valopää VP1402 -valaisin. (Valopää www-sivut 2014, hakupäivä 11.3.2014.)



Kuva 14. Valopää VP1402 LED-valaisin. (Valopää www-sivut 2014, hakupäivä 11.3.2014)

4 KATUVALAISTUKSEN SUUNNITTELU

4.1 Suunnittelu

Katuvalaistuksen suunnittelussa huomioidaan monia eri asioita. Halutulle katuosuudelle suunnitellaan ympäristön, turvallisuuden ja yleisen viihtyvyyden mukaisesti valaistustaso, johon halutaan pyrkiä. Varsinkin taajama-alueilla pyritään mahdollisimman hyvin toteuttamaan edellä mainittuja kriteerejä esteettömän liikkumisen mahdollistamiseksi. Valaistuksen on oltava sellainen, että tienkäyttäjä havaitsee ajoradalla tai sen välittömässä läheisyydessä olevan esteen tarpeeksi helposti. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 14, hakupäivä 13.3.2013.)

Haluttuun valaistustasoon on olemassa suunnitteluohjelmia, joilla pystytään laskemaan kullekin katuosuudelle valaistusvoimakkuus. Katuvalaistusta suunniteltaessa pyritään mahdollisimman edullisiin ratkaisuihin, mutta samalla pyritään siihen, että edellä mainitut kriteerit sekä kappaleessa 4.2 esitetyt valaistusluokat täyttyvät. Yleensä kaupungeilla tai kunnilla on omat tarveselvityksensä, missä on määritelty katuvalaistuksen kehittäminen sekä parantaminen pitkällä tähtäimellä. Tarveselvityksessä on seuraavanlaisia osioita: lähtökohdat, tavoitteet, valaistusperiaatteet, suunnitelma, myöhemmät suunnitteluvaiheet, valaistuksen rakentaminen ja saneeraus, valaistuksen kunnossapito sekä jatko-toimenpiteet. Yleissuunnitelman tarkoituksena on esittää katuvalaistusalueita koskeva selvitys valaistuksesta. Yleissuunnitelman tarkoituksena on myös auttaa päätöksenteossa ja sen takia siinä on hyvä olla perusteellisia kuvia valaisimista ja koko alueesta. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 14, hakupäivä 13.3.2013.)

4.2 Valaistusluokat

Valaistuksen suunnittelu hoidetaan seuraavanlaisesti: Halutulle tielle suunnitellaan valaistustaso eli mihin katuvalaistuksenluokkaan halutaan pyrkiä. Tämän jälkeen tien valaistus suunnitellaan valaistustason mukaisesti ja mahdollisimman taloudellisella tavalla. Tien valaistuksen jälkeen suunnitellaan suunnitteluohjelmalla sopiva valaisin- ja katuvalaistusluokka hyödyntäen pylväiden optimaalista korkeutta ja välimatkaa suhteessa toisiinsa. Tässä opinnäytetyössä ei suunniteltu katuosuuksien katuvalaistusta. Työn suunnittelun ja toteutuksen jälkeen vielä mitataan todelliset luminanssi- (cd/m^2) ja va-

laistusvoimakkuuden (lx) arvot (taulukko 3), jotta haluttu katuvalaistusluokka saavutetaan. Koska näkemisvaatimukset vaihtelevat liikenneolosuhteissa on katuvalaistusluokat jaettu kolmeen eri luokkaan, joita käytetään standardina yleisesti katuvalaistuksessa.

- Taulukossa 1 AL-luokat on tarkoitettu tie- ja katuvalaistukseen, jossa moottoriajoneuvon kuljettajalla on kuivalla tai märällä päällysteellä ajonopeus vähintään 50 km/h. AL-luokassa käytetään luminanssiin perustuvia luokkia.
- Taulukossa 2 AE-luokat poikkeavat AL-luokasta sillä tavalla, että AE-luokat perustuvat lumanssin sijaan valaistusvoimakkuuksien perusteella tehtyihin laskelmiin. Luminanssiin perustuva tarkastelu ei ole siis käyttökelpoinen. Konfliktialueet, kiertoliittymät ja mutkikkaat tasoliittymät kuuluvat AE-luokkaan.
- Taulukossa 4 K-luokat on tarkoitettu kevyen liikenteen väylän käyttäjille, lisäksi K-luokkaan kuuluu pysäköintialueet ja pihat.

Oulun kaupunki jaottelee katutyypit kolmeen ryhmään seuraavasti:

1. Tonttikadut

- Katuvalaistusluokka: AL5
- Pylväsväli: 33 - 35 m
- Pylväskorkeus: 8 m + varsi
- Etäisyys tiestä: 1 m
- Tien leveys: 5 m

Tonttikaduilla eli omakotitaloalueilla käytetään yleisesti katuvalaistusluokkaa AL 5.

Pylvään korkeus on yleensä 8 metriä, mikäli pyörätietä ei ole erikseen. Jos on pyörätie, pylväskorkeus on 10 metriä.

2. Kevyen liikenteen väylät:

- Katuvalaistusluokka: K4
- Pylväsväli: 35 - 40 m
- Pylväskorkeus: 6 m
- Etäisyys tiestä: 1m

- Tien leveys: 3 m

Keveyen liikenteen väylillä ja piha-alueilla (K-luokka) käytetään poikkeuksetta 6 metrin pylvästä ja pylväsväli voi olla hiukan pidempi kuin tonttikadulla.

3. Kokoojakadut

- Katuvalaistusluokka: AL4
- Pylväsväli: 40 - 54 m
- Pylväskorkeus: 10 m + varsi
- Etäisyys tiestä: 1 m
- Tien leveys: 6 m

Kokoojakaduilla eli kaduilla, jossa keveyen liikenteen väylä kulkee vieressä ja joukkoliikenne kulkee tällä alueella, käytetään yleensä 10 metrin metrin pylväitä.

Taulukoissa 2 - 5 on esitetty Oulun kaupungin käyttämät AL-luokka, AE-luokka, luminanssi- ja valaistusvoimakkuusluokkien vastaavuusarvot sekä K-luokka-arvot. Nämä arvot ovat Oulun kaupungin suunnitteleman energian säästöön perustuvat taulukot, joista pidetään kiinni katuvalaistuksen suunnittelussa Oulun kaupungin alueella. (Oulun kaupungin valaistuksen yleissuunnitelma 2010, 58, hakupäivä 14.3.2013.)

Taulukko 2. AL-luokat (Oulun kaupungin valaistuksen yleissuunnitelma 2010, 58, hakupäivä 14.3.2013)

Luokka	Kuivan ja märän ajoradan luminanssi				Esto- häikäisy	Ympäristön valaistus
	Kuiva			Marka		
	L_m cd/m ² , min	U_o min	U_l min	U_e 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

Taulukko 3. AE-luokat (Oulun kaupungin valaistuksen yleissuunnitelma 2010, 57 hakupäivä 14.3.2013)

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

Taulukko 4. Luminanssi- ja valaistusvoimakkuusluokkien vastaavuus (Oulun kaupungin valaistuksen yleissuunnitelma 2010, 57, hakupäivä 14.3.2013)

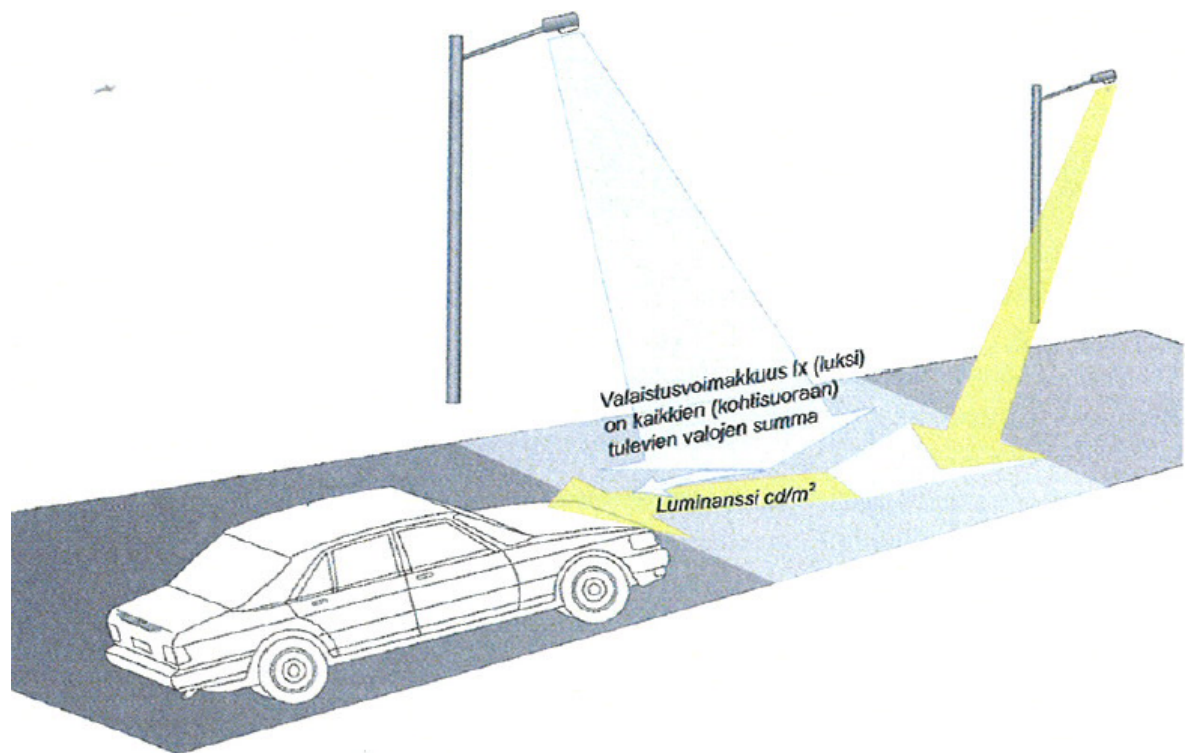
Luminanssi	Valaistusvoimakkuus
AL 1	AE 1
AL 2	AE 2
AL 3	AE 3
AL 4a	AE 3
AL 4b	AE 4
AL 5	AE 5

Taulukko 5. K-luokat (Oulun kaupungin valaistuksen yleissuunnitelma 2010, 57 hakupäivä 14.3.2013)

Luokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus	
	E_m ¹⁾ lx, min	E lx, min
K1	15	5
K2	10	3
K3	7,5	1,5
K4	5	1
K5	3	0,6
K6	2	0,6
1) Riittävän tasaisuuden vuoksi hankekohtainen keskiarvo ei saa ylittää 1,5-kertaista luokan edellyttämää keskiarvon minimiä		

Valaistusvoimakkuus eli luks (lx) kuvaa valovirran määrää kohtisuoraan maahan ($lx=lm/m^2$). Valaistusvoimakkuuden suuruudesta saadaan selville, miten paljon luksiarvo heikkenee kun säädetään valoja himmeämmälle. Täten myös pystytään selvittämään katuvalaistusluokan pitävyys.

Katuvalaistuksessa käytettävä keskimääräinen luminanssi (L) kuvaa pinnalta lähtevää valon voimakkuutta. Mitä suurempi pinnan luminanssi on, sitä kirkkaammalta pinta näyttää. Luminanssin SI-järjestelmän mukainen mittayksikkö on kandela per neliömetri (cd/m^2). Se on koko ajoradan luminanssiarvojen aritmeettinen keskiarvo. Kuvassa 15 on havainnollistettu luminanssi ja luksit tievalaistuksessa. (Tiensuu 2010, 7.)



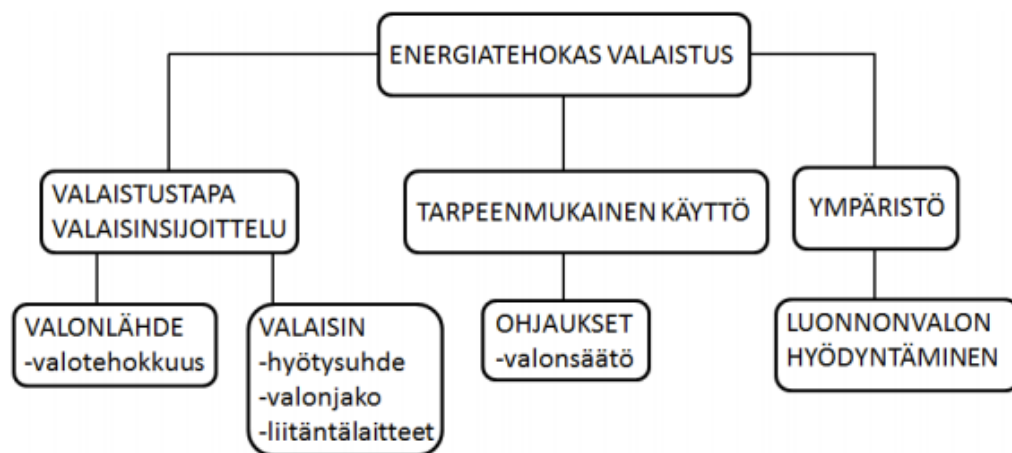
Kuva 15. Luminanssi ja luksit tievalaistuksessa (Tiensuu 2010, 7)

Keskimääräistä luminanssia (L) nostamalla saadaan kohteelle parempi näköetäisyys, havaitseminen, ja se lyhentää autoilijoiden ja jalankulkijoiden reaktioaikaa. Yleistasaisuus U_0 vaikuttaa näkösuorituskykyyn. Se lasketaan koko ajoradan pienimmän ja keskimääräisen luminanssin osamääränä jokaiselle kaistalle. Pitkittäistasaisuus U_1 on merkittävä ajo- ja näkömukavuuden kannalta. Se lasketaan kunkin kaistan keskellä ja samassa kohdassa olevan havaitsemispisteen kautta kulkevalla suoralla olevien pienimmän ja suurimman luminanssin osamääränä. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006, 14, hakupäivä 13.3.2013.)

Riittäväillä katuvalaistukseen liittyvillä ominaisuuksilla varmistetaan turvallinen liikkuminen liikenteessä autolijoille, pyöräilijöille ja jalankulkijoille. Erilaisille tieosuuksille on olemassa omat katuvalaistusluokat. Tärkeimmät ominaisuudet ovat luminanssin taseisuus, keskimääräinen luminanssi ja häikäisyn rajoitus.

4.4 Energian säästäminen suunnittelussa

Katuvalaistusta suunnitellessa pitää myös huomioida energiasäästöön liittyviä asioita. Energiatehokas valaistus koostuu kuvassa 16 esitetyistä tekijöistä. Vaikka energiaa pyritään säästämään lähtökohtaisesti oikealla lamppu- ja valaisinyhdistelmällä, tällä ei kuitenkaan välttämättä saavuteta pienintä mahdollista energiankulutusta. Valaistuksen ohjaamisella ja oikealla säätämällä säästetään energiankulutuksessa. Myös liitäntälaitteilla, huoltotoimenpiteillä, valaisten oikealla sijoittelulla ja ylimateittamisen ehkäisyllä voidaan energiankulutusta pienentää ja samalla myös parantaa valaistusolosuhteita. (Nousiainen 2012 , 16).



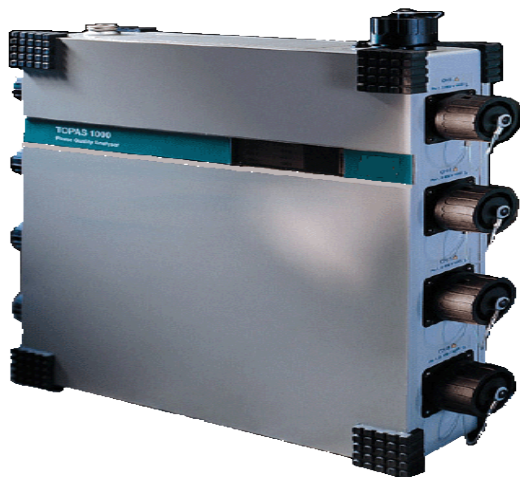
Kuva 16. Energiatehokas valaistus (Nousiainen 2012, 16)

5. MITTAUKSET JA TULOKSET

5.1 Mittausjärjestelyt ja työssä käytetyt mittauslaitteet

Kaikki työhön liittyvät mittaukset tehtiin Oulun kaupungin alueella marraskuun ja joulukuun aikana vuonna 2012. Mittauspaikkoja, jotka kuuluivat tähän opinnäytetyöhön, oli kolme. Ensin mittaukset tehtiin Oulun Energia Urakointi Oy:n testikentällä Myllyojalla, missä mitattiin kahdelta tonttikadulta (Myllyojantie ja Hiukkavaarantie) tehomittaukset säädön ollessa päällä ja ilman säätöä. Valovoimakkuus- ja värilämpötilamittaukset saatiin valovoimakkuusmittarilla. Nämä tehtiin myös pimeään aikaan ilman säätöä ja säädön ollessa päällä. Kemiran alueen pyörätien ja Kylmäniemenpolun valovoimakkuusmittaukset tehtiin paikan päällä, mutta tehomittaukset Oulun Energia Urakointi Oy:n testitiloissa osoitteessa Kasarmintie 6. Valaisimet siis irrotettiin mittausta varten pylväistä. Tämä sen takia, että tehomittauksia ei pystytty suorittamaan paikan päällä, koska työssä käytettyä Fluken-sähköanalysaattoria ei saatu kytkettyä paikan päällä näissä kohteissa.

Työssä käytettiin Fluken Topas 1000 -sähköanalysaattorimittaria. Topas 1000 mittari on kolmivaiheinen sähkönlaadun analysointimittari, joka on tarkoitettu pien- ja keski-jänniteverkkoihin. Topas-mittarissa on lähdöt kummallakin puolella. Toisen puolen lähdöt on tarkoitettu jännitteen mittaamiseen ja toisen puolen lähdöt on tarkoitettu virran mittaamiseen. Topas 1000 liitetään tietokoneeseen liitântäkaapelilla, josta saadaan myös tehokäyrät diagrammimuodossa. Ne on esitetty liitetiedostoina tässä opinnäytetyössä. Kuvassa 17 on Topas 1000 -mittari.



Kuva 17. Topas 1000 -mittari (Fluke 1760 manual 2006, 48)

Valovoimakkuus- ja värilämpötilamittaukset tehtiin kahden pylvään väliseltä matkalta yhteensä 15:sta eri pisteestä: viisi mittauspistettä oli tien suuntaisesti ja kolme mittauspistettä tien leveyden suuntaisesti. Mittaukset tehtiin mittaustaikasta ja valaisimesta riippuen eri jännitteellä. Näin saatiin verrattua, miten tehon pudotus vaikuttaa valovoimakkuuteen ja värilämpötilaan. Polttamalla yöaikaan katuvaloja pienemmällä jännitteellä saatiin taloudellisia säästöjä ja samalla seurattiin, pitivätkö Oulun kaupungin vaatimat katuvalaistusluokkien valovoimakkuusvaatimukset. Mittaustuloksissa huomioitiin pylväiden välinen matka (m) sekä tien kaltevuudesta aiheutuvat virhemarginaalit.

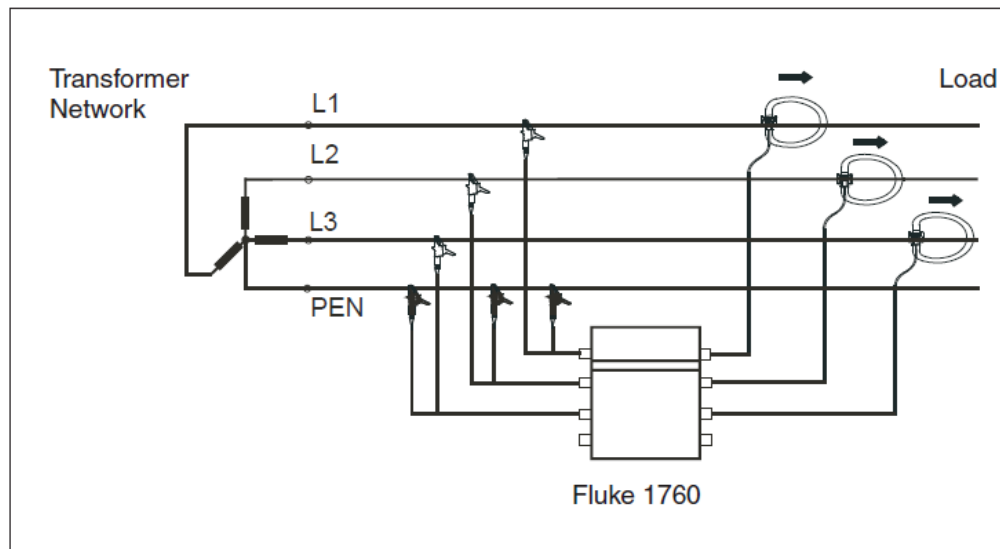
5.2 Mittauskohteet ja tulokset

5.2.1 Myllyojan testikenttä

Myllyojan testikentällä on käytössä katuvalokeskuksessa säätömuuntaja, minkä avulla jännitettä saadaan pudotettua 233 V:sta noin 180 V:iin. Kyseisellä säätömuuntajalla voidaan kellokytkimen avulla säätää, mihin kellon aikaan illasta halutaan säätö päälle ja piikin avulla, kuinka alas jännitettä halutaan pudottaa. Säätömuuntajalla pystytään pudottamaan jännitettä portaattomasti aina 180 V:iin asti. Vaihejärjestys kytketään sillä tavalla, että jokaiselle vaiheelle on kytketty eri valaisin. Kytkejärjestys on seuraava:

- L1 Siteco streetlight 51W LED ja Philips Iridium 31W LED
- L2 Strihl Mistral 70W monimetalli
- L3 Philips Selenium 70W monimetalli LED

Liian suuri jännitteen pudotus Myllyojan testikentällä aiheutti kuitenkin sen, että monimetallivalaisimet eivät pysyneet enää päällä. Syynä voidaan pitää pakkasia tai sitä, että vaiheella on liian monta valaisinta kytkettynä. Pudottaessa jännitettä alemmaksi, virta pysyy samana ja valaisimen ottama teho pienenee. Kun kaikki oli valmista, kytkettiin Topas 1000 -mittari kannettavaan tietokoneeseen. Katuvalokeskuksen lähdon sulakkeet ruuvattiin pois ja tilalle laitettiin liitäntälaitte, josta vedettiin banaani johdolla vaihe Topas-mittariin ja nolla PEN-johtoon katuvalokeskuksessa. Kuvassa 18 on Fluke 1760 -kytkentäkuva.



Kuva 18. Fluke 1760 kytkentä (Fluke 1760 2006, 48)

Topas-mittauksien jälkeen suoritettiin pimeään aikaan valovoimakkuus- sekä värilämpötilamittaukset luksimittarilla. Silloin mitattiin katuosuudet, joissa on Philipsin Selenium sekä Strihl Mistral -valaisimet. Mittaukset tehtiin kahden pylvään väliseltä matkalta yhteensä viidestätoista eri pisteestä, kuten edellä on mainittu. Ensin tehtiin mittaukset täydellä teholla, jonka jälkeen laitettiin säätö päälle samaan 214 volttiin. Näin saatiin verrattua, miten tehon pudotus vaikuttaa valovoimakkuuteen ja värilämpötilaan, sekä minkä verran säästöjä saatiin aikaan säätämällä. Mittauksissa on huomioitu pylväiden välinen matka sekä tien kaltevuudesta aiheutuvat virhemarginaalit.

5.2.2 Hiukkavaarantien mittaustulokset

Taulukoissa 6 - 8 on Hiukkavaarantien valovoimakkuus- ja värilämpötilamittausten tulokset. X-akseli kulkee tien pituuden suuntaisesti ja Y-akseli kulkee tien leveyden suuntaisesti.

- Valaisin: Philips Selenium monimetalli 70W/50W
- Matka x: 39 m
- Matka y: 5,5 m

Taulukko 6. Philips Selenium täydellä jännitteellä

16,3 lx 2680 K	8,6 lx 2767 K	1,2 lx 2660 K	4,7 Lx 2732 K	16,7 Lx 2625 K
18,2 lx 2701 K	4,3 lx 2698 K	0,7 lx 2692 K	2,4 Lx 2640 K	14,6 Lx 2680 K
10,9 lx 2706 K	2,2 lx 2738 K	0,5 lx 2685 K	2,3 Lx 2682 K	10,6 Lx 2717 K
Pylväs			Pylväs	

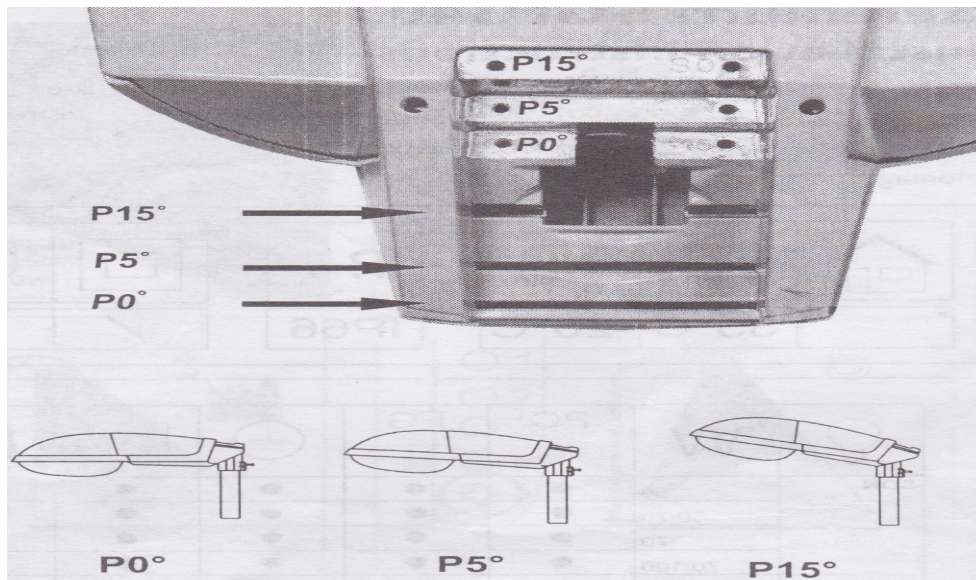
Taulukko 7. Philips Selenium säätöominaisuudella

12,1 lx 2827 K	6,6 lx 2733 K	1 lx 3213 K	3,9 Lx 2966 K	15,1 Lx 2883 K
14,4 lx 2865 K	3 lx 2824 K	0,7 lx 3500 K	2,2 Lx 3114 K	12,5 Lx 2884 K
9,2 lx 2875 K	1,7 lx 3002 K	0,5 lx 3583 K	1,9 Lx 2965 K	9,1 Lx 2893 K
Pylväs			Pylväs	

Taulukko 8. Täyden jännitteen ja säätöominaisuuden erotus

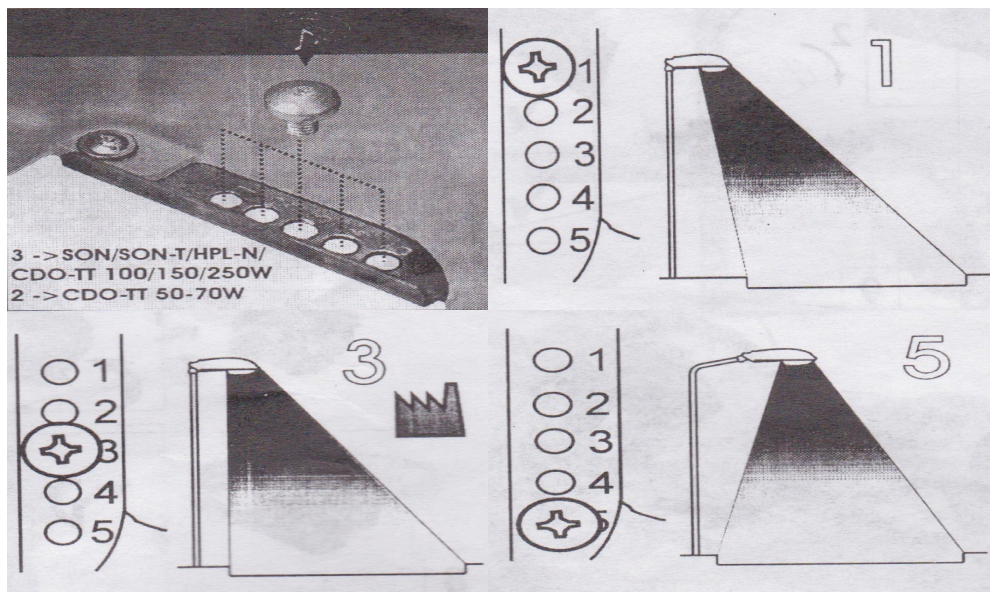
-4,2 lx 147 K	-2 lx -34 K	-0,2 lx 553 K	-0,8 Lx 234 K	-1,6 Lx 258 K
-3,8 lx 164 K	-1,3 lx 126 K	0 lx 808 K	-0,2 Lx 474 K	-2,1 Lx 204 K
-1,7 lx 169 K	-0,5 lx 264 K	0 lx 898 K	-0,4 Lx 283 K	-1,5 Lx 176 K
Pylväs			Pylväs	

Kuten taulukoista 6 - 8 näkyy, valovoimakkuus on parhaimmillaan pylvästä katsottuna tien toisella puolella. Näin on siksi, koska Seleniumin kaltevuuskulma on säädetty kuvan 19 osoittamaan asentoon P15°. Värilämpötiloista voidaan päätellä, että kun säätö on päällä, värilämpötila-arvo on korkeampi, koska valo muuttuu niin sanotusti kylmemmäksi.



Kuva 19. Selenium-valaisimen säätökulma. (Selenium installation instructions, 2009)

Selenium-valaisinta voidaan säätää myös valaisimen sisällä olevan taittimen avulla, kuten kuvassa 20 näkyy.



Kuva 20. Selenium-valaisimen taittimen säätö (Selenium installation instructions, 2009)

Hiukkavaarantien valaisimet on kytketty vaiheelle kolme, ja niiden kuluttama teho on täydellä jännitteellä 784.09 W ja säädön mennessä päälle 654.21 W. Vaiheelle on kytketty yhdeksän kappaletta 70 W:n tehoista Philips Selenium -valaisinta. Näin ollen yhden valaisimen tehonkulutus saadaan täydellä teholla ja säädöllä seuraavasti:

$$\frac{\text{Valaisimien teho (W)}}{\text{Valaisimien lukumäärä (kpl)}} = \text{Yhden valaisimen teho (W)} \quad (1)$$

esim. Selenium täydellä teholla. $\frac{784,09W}{9 \text{ kpl}} = 87W$

Selenium-valaisimet pääsevät täydellä verkkojännitteellä keskimääräiseen valaistusvoimakkuudelta (Em) vaadittuun katuvalaistusluokkaan (AL5), mutta niiden minimiarvot ja säädön aikana saadut valovoimakkuusarvot eivät riitä. Hiukkavaarantien pylväs-väli on noin 37 metriä. Se kuuluu Myllyojantien tavoin AL5-katuvalaistusluokkaan, joka on tonttikatujen katuvalaistusluokka. Selenium antaa täydellä verkkojännitteellä 87 wattia ja säädön aikana 73 wattia.

5.2.3 Myllyojantien mittaustulokset

Taulukoissa 9 - 11 on Hiukkavaarantien valovoimakkuus- ja värilämpötilamittausten tulokset. X-akseli kulkee tien pituuden suuntaisesti ja Y-akseli kulkee tien leveyden suuntaisesti.

- Valaisin: Sthirl Mistral monimetalli 70W/50W
- Matka x: 39 m
- Matka y: 5,5 m

Taulukko 9. Sthril Mistral täydellä jännitteellä

7,3 lx 2664 K	3 lx 2677 K	2,8 lx 2588 K	4,8 Lx 2746 K	8 Lx 2762 K
15,3 lx 2654 K	7,6 lx 2540 K	3,3 lx 2554 K	6,9 Lx 2750 K	15,3 Lx 2781 K
16,1 lx 2620 K	4,7 lx 2579 K	2,4 lx 2651 K	3,4 Lx 2965 K	16 Lx 2756 K
Pylväs			Pylväs	

Taulukko 10. Sthril Mistral säätöominaisuudella

6,4 lx 2890 K	2,4 lx 2965 K	2,4 lx 2965 K	4 Lx 3104 K	6,1 Lx 3081 K
12,9 lx 2850 K	6,2 lx 2789 K	2,8 lx 2953 K	5,7 Lx 3053 K	12,7 Lx 3050 K
13,6 lx 2849 K	4 lx 2690 K	2,1 lx 3003 K	3 Lx 3119 K	13,4 Lx 3010 K
Pylväs				Pylväs

Taulukko 11. Täyden jännitteen ja säätöominaisuuden erotus

-0,9 lx 226 K	-0,6 lx 288 K	-0,4 lx 377 K	-0,8 Lx 358 K	-1,9 Lx 319 K
-2,4 lx 196 K	-1,4 lx 249 K	-0,5 lx 399 K	-1,2 Lx 303 K	-2,6 Lx 269 K
-2,5 lx 229 K	-0,7 lx 111 K	-0,3 lx 352 K	-0,4 Lx 154 K	-2,6 Lx 254 K
Pylväs				Pylväs

Taulukoissa 9 - 11 on esitetty Myllyojantien valovoimakkuus- sekä värilämpötilamittaukset. Toisin kuin Hiukkavaarantien valaisimissa Myllyojantien Misthral-valaisimissa paras valovoimakkuus kohdistuu suoraan pylvään alapuolelle ja tien keskelle huomattavasti tasaisemmin kuin Selenium-valaisimella Hiukkavaarantiellä. Nämä seikat johtuvat valaisinkohtaisesta kaltevuuskulmasta ja taittimen säädöstä, jota on siis mahdollista säätää. Mistral-valaisimessa on myös kaltevuuskulman säätömahdollisuus lisäadapterilla, kuten kuvasta 21 näkyy.



Kuva 21. Säätöadapteri. (Sthril www-sivut 2014, hakupäivä 11.3.2013.)

Mistral-valaisimella päästään täydellä verkkojännitteellä vaadittuun katuvalaistusluokka-arvoon minimiarvon osalta. Säädön aikana päästään vaadittuun katuvalaistusluokka-arvoon minimiarvon osalta, mutta keskiarvon perusteella ei päästä vaadittuun katuvalaistusluokkaan AL5. Myllyojantiellä on noin 39 metrin pylväsväli. Mistral-valaisin antaa paremmat valovoimakkuusarvot kuin Selenium, vaikka pylväsväli on 2 metriä pitempi. Tehot ovat Seleniumin ja Mistralin osalta suunnilleen samoissa lukemissa. Mistralin valojakotiedostoja ei saatu valmistajalta.

5.2.4 Päätelmät

Taulukossa 12 on esitetty Hiukkavaarantien Selenium-valaisimen ja Myllyojantien Mistral-valaisimen lasketut ja mitatut keskimääräiset luminanssi- eli valovoimakkuusmäärät. Vihreällä merkityt lukemat pääsevät Oulun kaupungin vaatimiin valovoimakkuusarvoihin ja punaisella värillä merkityt jäävät vaatimuksien alapuolelle. Taulukon yläosassa näkyvät vaaditut valovoimakkuusarvot. Em lx, min tarkoittaa kaikista mittauspisteistä mitattujen valovoimakkuusarvojen keskiarvoa, eli tässä opinnäytetyössä on mitattu viidestätoista eri pisteestä valovoimakkuusarvot. E lx, min tarkoittaa näistä viidestätoista pisteestä pienintä mitattua arvoa. Kulutettu teho näkyy valaisinkohtaisesti myös taulukossa 12.

Laskettu arvo tarkoittaa valmistajalta saatuja arvoja, joita ei valitettavasti saatu Mistral-valaisimien toimittajalta. Laskettujen arvojen osalta Selenium-valaisin ei läpäise vaadittuja arvoja. Keskimääräinen valovoimakkuus (Em lx) on molemmilla melkein sama ja ylittää vaaditun 7,5 lx:a. Tämä tietysti on positiivinen asia, koska siihen aikaan, kun valaisimet palavat täydellä teholla, liikenne on kovimmillaan. Yöaikaan, jolloin säätö on normaalisti päällä, kumpikaan valaisimista ei ihan läpäise vaadittua 7,5 lx:n rajaa. Valaistus on kuitenkin tarpeeksi hyvä, vaikka Oulun kaupungin vaatimiin arvoihin ei päästäkään. Selenium-valaisin antaa pylväiden välissä vain 0,5 lx:n arvon, kun taas Mistral-valaisin paljon paremmat ja samalla riittävät valovoimakkuusarvot. Tätä ei kuitenkaan pidä katsoa valaisimen kannalta huonona ominaisuutena, koska Selenium-valaisimen kaltevuuskulma on säädetty kuvan 19 esittämällä tavalla 15° kulmaan, joka on tähän asennuspaikkaan soveltumaton asennuskulma. Tämän takia yhden mittauspisteen minimiarvo on noinkin pieni.

Nämä 70 watin monimetallivalaisimet ovat juuri sopivia tonttikatujen valaistukseen, vaikka eivät saavutakaan vaadittuja katuvalaistusluokka-arvoja. Kuitenkin kummankin katuosuuden valaisimet valaisevat tarpeeksi myös yöaikaan, kun säätö on päällä. AL5-luokassa eli tonttikatujen luokassa on 8 metriä korkeat pylväät ja varsi samoin kuin Myllyojan testikentälläkin. Säättömuuntajaa kesti pudottaa 213 voltin jännitteeseen, mutta muuntajaa pystytään pudottamaan 180 volttiin asti. Mikäli lamput olisivat kestäneet suuremman jännitteen pudotuksen, ei niiden valaistusvoimakkuus olisi luultavasti riittänyt valaisemaan tienkäyttäjiä tarpeeksi.

Taulukko 12. Valaisimien lasketut ja mitatut tulokset

	Luokka	Em lx,min	E lx,min
	AL5	7,5	1,5
	K4	5	1
	K5	3	0,6

Valaisin	Laskettu		Mitattu			
Selenium 70W(AL5) Misthral 70W (AL5)	Normaali		Normaali		Säätö	
	Em lx	Em lx,min	Em lx	E lx,min	Em lx	E lx,min
	4,8	1,13	7,6	0,5	6,2	0,5
	-	-	7,8	2,4	6,5	2,1

Sähkönkulutusta mitataan kWh-arvoina. Kun katuvaloja poltetaan vuodessa kaiken kaikkiaan noin 1980 tuntia, ja valaisimien kuluttamat tehot ovat selvillä, saadaan kaavalla 3 todelliset kWh-arvot, sekä kaavalla 4 taloudelliset säästöt vuodessa.

$$E = P \times t \quad (2)$$

jossa P on teho, t on käyttöaika ja E on energia

esim. Selenium täydellä teholla.: $1980 \text{ h} \times 87 \text{ W} = 172,26 \text{ kWh}$ vuodessa

Sähkön energian hinta ja siirtohinnot vaihtelevat pörssissä. Määritetään kWh:n hinnaksi 10 senttiä, joten valaisimien kuluttaman sähköenergian hinta vuodessa (€/v) saadaan seuraavalla kaavalla;

$$H = E \times h \quad (3)$$

jossa E on energia, h sähkön siirto- ja energiahinta ja H on €/vuosi

esim. Selenium täydellä teholla: $172,26 \text{ kWh/v} \times 0,10 \text{ €/kWh} = 17,23 \text{ €/vuosi}$

Taulukossa 13 on Mistral- ja Selenium-valaisimien tehot ja taloudelliset säästöt täydellä teholla ja säädön ollessa päällä. Taulukosta näkee, että yksi Selenium-valaisin säästää 5,4 euroa vuodessa, kun siinä on säätöominaisuus. Mistral-valaisin säästää 5,8 euroa vuodessa.

Taulukko 13. Valaisimien tehot ja taloudelliset säästöt 6 tunnin säätöajalla ja 0,10 €/kWh:lta

				Säädöllä			
Valaisin				säästöt vuodessa			
	Teho	kWh	€/v	Teho	kWh	€/v	€/valaisin
Selenium 70W (AL5)	87W	172,3	17,2	73W	118,26	11,8	5,4
Mistral 70W (AL5)	90W	178,2	17,8	74W	119,88	12	5,8

5.3.1 Kemiran pyörätie ja Kylmäniemenpolku

Kemiran pyörätien ja Kylmäniemenpolun Topas-mittaukset suoritettiin Oulun Energia Urakointi Oy:n testihuoneessa, koska paikan päällä mittaaminen ei ole mahdollista. Kemiran pyörätien ja Kylmäniemenpolulla ei ole katuvalokeskuksessa säätömuuntajaa. Mittasimme vuorokauden ajan Topas-mittarilla kolmea eri valaisinta. Rakensimme testihuoneeseen yksinkertaisen telineen ja kytkimme työmaakeskuksen, mistä syötimme verkkovirtaa. Kemiran pyörätien pohjoispuolella käytetään valopään LED-valaisinta ja eteläpuolella Illuminazione A2 -monimetallivalaisinta ja Kylmäniemenpolulla Illuminazione A2 LED-valaisinta. Kemiran pyörätien ja Kylmäniemenpolun valaisimissa ei ole säätöä, jolla se pystyisi pudottamaan jännitettä alemmaksi, vaan niissä on kello, jolla pystytään vaikuttamaan säätöön ja säätöaikaan. Valaisimet saavat verkkovirtaa normaalisti 230 voltia, mutta itse valaisimessa on 2-tehokuristin, joka pudottaa tehon kulutusta

automaattisesti sen mukaan, mitä valaisimeen on säädetty. Valopään valaisimet tarvitsevat master-yksikön ohjaamaan säätöä. Master-yksikköä ei kuitenkaan ollut näissä valaisimissa, joten valmistaja kävi paikan päällä säätämässä valaisimet pienemmälle teholle.

5.3.2 Kemiran pyörätien ja Kylmäniemenpolun mittaustulokset

Taulukoissa 14 - 16 on Kemiran pyörätien itäpuolella valovoimakkuus- ja värilämpötilamittausten tulokset. X-akseli kulkee tien pituuden suuntaisesti ja Y-akseli kulkee tien leveyden suuntaisesti. Mittauspaikka sijaitsee pyörätien varressa K5 luokassa.

- Valaisin: Illuminazione A2 monimetalli 70W
- Matka x: 30 m
- Matka y: 3m

Taulukko 14. A2 täydellä jännitteellä

18,5 lx	12,3 lx	3,8 lx	8,1 lx	17 lx
2862 K	3008 K	2654 K	2954 K	2917 K
36 lx	10,2 lx	3,4 lx	9,4 lx	25 lx
2918 K	2769 K	2607 K	2884 K	2930 K
33,1 lx	9,1 lx	3 lx	7,6 lx	33,8 lx
2910 K	2801 K	2597 K	2817 K	2979 K
Pylväs			Pylväs	

Taulukko 15. A2 2-tehokuristimen säädöllä

12,2 lx	4,5 lx	1,2 lx	5,2 lx	11,2 lx
3200 K	3660 K	3078 K	3273 K	3256 K
21,1 lx	4,4 lx	1,1 lx	7 lx	22,7 lx
3233 K	3082 K	3030 K	3300 K	3266 K
21,6 lx	3,3 lx	1 lx	6,8 lx	21,8 lx
3235 K	3157 K	3064 K	3327 K	3273 K
Pylväs			Pylväs	

Taulukko 16. Täyden jännitteen ja säätöominaisuuden erotus

-6,3 lx 338 K	-7,8 lx 652 K	-2,6 lx 424 K	-2,9 lx 319 K	-5,8 lx 339 K
-14,9 lx 315 K	-5,8 lx 313 K	-2,3 lx 423 K	-2,4 lx 416 K	-2,3 lx 336 K
-11,5 lx 325 K	-5,8 lx 356 K	-2 lx 467 K	0,8 lx 510 K	-12 lx 293 K
Pylväs		Pylväs		

Taulukoissa 17 - 19 on Kemiran pyörätien länsipuolen valovoimakkuus- ja värilämpötilamittausten tulokset. X-akseli kulkee tien pituuden suuntaisesti ja Y-akseli kulkee tien leveyden suuntaisesti. Mittauspaikka sijaitsee pyörätien varressa K5 luokassa.

- Valaisin: Valopää VP1402i 54W
- Matka x: 39 m
- Matka y: 3m

Taulukko 17. VP1402i täydellä jännitteellä

22,4 lx 4149 K	5,0 lx 3887 K	1,8 lx 3834 K	5,3 lx 4119 K	19,7 lx 4140 K
41,5 lx 4154 K	7,3 lx 3912 K	2,1 lx 3816 K	8,7 lx 4157 K	37 lx 4149 K
44,5 lx 4195 K	6,3 lx 3966 K	2,1 lx 3821 K	10,5 lx 4033 K	46,1 lx 4177 K
Pylväs		Pylväs		

Taulukko 18. VP1402i valaisimen omalla säädöllä

-7,8 lx 3736 K	3,8 lx 3335 K	2 lx 2839 K	4,3 lx 3350 K	8 lx 3720 K
15,6 lx 3872 K	4,1 lx 3403 K	2,1 lx 2989 K	5 lx 3451 K	16,2 lx 3898 K
18,8 lx 3965 K	5,2 lx 3618 K	2,1 lx 2831 K	6,6 lx 3603 K	20,5 lx 2926 K
Pylväs		Pylväs		

Taulukko 19. Täyden jännitteen ja säätöominaisuuden erotus

-14,6 lx	-5,8 lx	0,2 lx	-1 lx	-11,7 Lx
-413 K	-552 K	-995 K	-769 K	-420 K
-25,9 lx	-3,2 lx	0 lx	-3,7 lx	-20,8 Lx
-282 K	-509 K	-827 K	-706 K	-251 K
-25,7 lx	-1,1 lx	0 lx	-3,9 lx	-25,6 Lx
-226 K	-384 K	-990 K	-430 K	-251 K
Pylväs			Pylväs	

Taulukoissa 20 - 22 on Kylmäniemenpolun valovoimakkuus- ja värilämpötilamittausten tulokset. X-akseli kulkee tien pituuden suuntaisesti ja Y-akseli kulkee tien leveyden suuntaisesti. Mittauspaikat sijaitsee pyörätien varressa K5 luokassa.

- Valaisin: Illuminazione A2 LED 54W
- Matka x: 38m
- Matka y: 3m

Taulukko 20. A2 LED täydellä jännitteellä

28,5 lx	8 lx	2,5 lx	13,8 lx	27,8 Lx
4043 K	3970 K	4433 K	3955 K	4145 K
37,4 lx	6,5 lx	2,4 lx	12,7 lx	36,2 Lx
4055 K	3883 K	4412 K	3990 K	4151 K
38,5 lx	5,9 lx	1,9 lx	11 lx	39,8 Lx
3873 K	3980 K	4585 K	3859 K	3898 K
Pylväs			Pylväs	

Taulukko 21. A2 LED 2-tehokuristimen säädöllä

16,8 lx	5,5 lx	2,2 lx	7,4 lx	17 Lx
3920 K	3682 K	3443 K	3680 K	3975 K
21,7 lx	4 lx	2 lx	7,2 lx	19,8 Lx
3960 K	3603 K	3535 K	3708 K	3976 K
21,5 lx	4 lx	1,3 lx	5,6 lx	20,2 Lx
3802 K	3585 K	3374 K	3588 K	3771 K
Pylväs			Pylväs	

Taulukko 22. Täyden jännitteen ja säätöominaisuuden erotus

-11,7 lx	-2,5 lx	-0,3 lx	-6,4 lx	-10,8 lx
-123 K	-288 K	-990 K	-275 K	-170 K
-15,7 lx	-2,5 lx	-0,4 lx	-5,5 lx	16,4 lx
-95 K	-280 K	-877 K	-282 K	-175 K
-17 lx	-1,9 lx	-0,6 lx	-5,4 lx	-19,6 lx
-71 K	-395 K	-1211 K	-271 K	-127 K
Pylväs			Pylväs	

Taulukoista voidaan päätellä, että LED-valaisimet ovat valovoimakkaampia kuin monimetallivalaisimet. Kemiran pyörätien LED-valaisin on säädetty siten, että pylvään alla on paras valovoimakkuus, kun taas Kemiran pyörätien monimetallivalaisimen antamat valovoimakkuusarvot vaikuttavat hieman poikkeavilta. Siinäkin kuitenkin paras valovoimakkuus on suoraan pylvään alla. LED-valaisimen valo on kirkkaampi kuin monimetallivalaisimissa, joten myös värilämpötila on korkeampi. Kun verrataan Kemiran pyörätien värilämpötilamittaustuloksia, pystytään huomaamaan, että monimetallivalaisimen himmentyessä niiden värilämpötila kasvaa ja lediä himmennettäessä värilämpötila taas pienenee. Tämä johtuu siitä, että LED-lamppua himmennettäessä sen valon väri hieman muuttuu.

5.3.3 Päätelmät

Taulukossa 23 on esitetty Kemiran pyörätien ja Kylmäniemenpolun valaisimien lasketut ja mitatut valovoimakkuusmäärät. Kummatkin mittauskohteet ovat siis pyöräteitä ja kuuluvat valovoimakkuusluokkaan K4. K4-luokan vaadittu valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 5 lx:a ja yhden mittauspisteen minimi 1 lx.

Kuten taulukosta 23 näkyy, kaikkien valaisimien valovoimakkuusarvot riittävät normaalilla poltolla jopa kolminkertaisesti ylittämään 5 lx:n vaaditun arvon. Tämä kertoo selvästi siitä, että pyörätien 6 metrin pylväs ja tienleveys vaikuttavat tähän seikkaan. Tämä asia vaikuttaa siihen, että kaikkien kolmen valaisimen valovoimakkuusarvot on jopa

selvästi paremmat kuin Myllyojan testikentän valaisimista saadut mittaustulokset. Pylväiden välinen etäisyys on Kemiran pyörätiellä A2-valaisimissa 30 m ja ledeillä 37 m. Kylmäniemenpolun valaisimien välimatka on 38m. Kaikki kolme valaisinta pääsevät Oulun kaupungin vaatimiin K4-luokan vaatimuservoihin jopa kevyesti.

Taulukko 23. Valaisimien lasketut ja mitatut tulokset

	Luokka	Em lx,min	E lx,min			
	AL5	7,5	1,5			
	K4	5	1			
	K5	3	0,6			
Valaisin	Laskettu		Mitattu			
	Normaali		Normaali		Säätö	
	Em lx	Em lx,min	Em lx	E lx,min	Em lx	E lx,min
	15	3,9	15,4	3	9,7	1
	7,09	1,9	18,2	1,9	10,2	1,3
	14,2	2	17,4	1,8	8,1	2

A2-monimetallivalaisimessa on myös 70 W:n tehoinen lamppu, mutta sen todellinen tehonkulutus on normaalilla poltolla 72 W ja säädön aikana vain 41 W kuten taulukosta 24 voidaan päätellä.

Taulukko 24. Valaisimien tehot ja taloudelliset säästöt

				Säädöllä			
Valaisin	Teho	kWh	€/v	Teho	kWh	€/v	säästöt €/valaisin vuodessa
A2 monimetalli 70W (K4)	72W	142,6	12,3	41W	81,1	8,1	4,2
A2 LED 54W (K4)	54W	106,9	10,7	28W	55,4	5,5	5,2
VP1402i 54W (K4)	54W	106,9	10,7	23W	45,4	4,5	6,2

A2-monimetalli kuluttaa tehoa normaalipoltolla siis noin 15 - 18 wattia vähemmän kuin Myllyojan testikentän valaisimet, mutta silti sen parhaasta valovoimakkuuspisteestä mitattu arvo on jopa kaksi kertaa isompi kuin Myllyojan testikentän valaisimissa. Säädön aikana lampun teho on 41 W, mikä huomattavasti pienempi kuin Myllyojan testikentän valaisimissa ja silti A2-monimetallivalaisimen valovoimakkuusarvot ovat jopa säädön aikana korkeammat kuin 90 W Selenium-valaisimen. Välimatka (30 m) A2-

monimetallivalaisimissa on lyhyempi kuin Myllyojan testikentän valaisimissa, joten A2-valaisinta voidaan pitää kaiken puolin tehokkaampana ja taloudellisesti kannattavampana vaihtoehtona käytön kannalta. Se kuluttaa noin 142 kWh vuodessa (laskettu kaavalla 3) ja säädöllä 81 kWh vuodessa. Näin ollen täydellä teholla poltettuna yhden valaisimen rahallinen kulutus on 12,3 € vuodessa (laskettu kaavalla 4) ja säädöllä 8,1 € vuodessa. Pitää kuitenkin huomioda että Kemiran pyörätien ja Kylmäniemenpolun tehomittaukset tehtiin Oulun Energian testitiloissa ja yhdelle vaiheelle oli kytketty vain yksi valaisin, kun taas Myllyojan testikentällä oli kymmenen valaisinta kytkettynä yhdelle vaiheelle, tästä johtuen mittaustuloksissa on virhemarginaali ja myös pylväiden korkeus, pylväiden välinen etäisyys ja valonjakokäyrät vaikuttaa suoraan valovoimakkuus tuloksiin.

Taulukoissa 23 ja 24 on myös LED-valaisimien mittaustulokset. Kuten taulukosta 23 näkyy, LED-valaisimien valovoimakkuusarvot ovat kaikista parhaimmat, joten 54 watin tehoisen LED-valaisimen valovoimakkuus on parempi kuin sitä suurempien tässä työssä mitattujen monimetallivalaisimien arvot. LED-valaisimien valovoimakkuudet ovat selvästi paremmat suoraan pylvään alla, mutta kohtuullisen alhaiset mittauspisteiden keskellä. Kylmäniemenpolun pylväsväli on 38 metriä, joten valovoimakkuus laskee keskellä pienimmillään 1,9 lx:iin. Tämä on kuitenkin vielä parempi kuin Myllyojan testikentän valaisimissa, missä pylväsväli on melkein sama.

Edellä olevassa taulukossa 24 nähdään, kuinka vähän tehoa LED-valaisimet käyttävät verrattuna monimetallivalaisimiin. Tässä työssä käytettiin 54W:n tehoisia LED-lamppuja. Lopputuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että pienemmät ledit riittäisivät helposti täyttämään Oulun kaupungin vaatimat valovoimakkuusrajat. Kylmäniemenpolun ja Kemiran pyörätiellä riittäisi jopa 23W:n tehoiset LED-lamput.

Taulukosta 24 voidaan myös päätellä, että LED-valaisimilla saadaan pienemmät energiakustannukset. LED-lampun elinikä katuvalaistuksessa on noin 50000 tuntia ja sen alkuperäisestä valotehosta on vielä 70 % jäljellä siinä vaiheessa. Tämän ja tulosten perusteella perusteella LED-valaisimilla pienemmät energiakustannukset kuin tavallisilla valaistustavoilla. Taulukossa 25 on esitetty kevyen liikenteen väylän kustannusvertailu. Kuvasta näkyy, kuinka LED-valaisimien hankintahinnat ovat suurempia, hoitokulut pienempiä ja takaisinmaksuaika vaihtelee valaisin kohtaisesti.

Taulukko 25. Kustannusvertailu (Myllyojan katuvalaistuksen testikentän raportti 2012, hakupäivä 19.3.2014.)

Valaisimen nimi	Lamppu + liitäntälaitte(W)	Hankintahin- nan nykyarvo 30v.(€)	Energiakustan- nus 30v. (€)	Hoitoku- lut 30v.(€)	Kokonaisustannuk- set 30v.(€)	Valaisimen takaisinmak- su aika (a)
Monimetalli 35W	47	224,74	492,82	261,21	978,77	13
Monimetalli 35W	42	319,91	440,39	261,21	1021,50	15
LED	37	454,25	548,73	177,21	1180,19	18
LED	39	407,10	445,84	167,11	1020,06	15
Monimetalli 70W	94	281,68	985,63	261,21	1528,52	30
LED	37	639,26	422,98	216,82	1279,07	23
SpNa 70W	77	189,74	807,38	190,44	1187,55	13
LED	37	693,45	422,98	228,43	1344,86	25
Elohopeavalaisin 125W	133	0,00	1394,56	150,63	1545,19	-

6 YHTEENVETO JA POHDINTA

Euroopan komission asetus nro 245/2009 pakottaa Suomen kaikki kunnat ja kaupungit vaihtamaan elohopealamput pois katuvalaistuksesta ja siirtymään energiaystävällisempiin ratkaisuihin. Uusia energiaystävällisiä valaisimia tulee koko ajan lisää markkinoille ja näiden pitäisi kuluttaa vähemmän energiaa mutta samalla täyttää tiehallinnon antamat katuvalaistusluokkien vaatimukset.

Työssä käytetyllä Topas 1000 -mittarilla saatiin todelliset valaisimien kuluttamat sähkötehot. Tutkimuksessa käytettiin 70 watin monimetallilamppuja ja 54 watin LED-lamppuja. 54 watin LED-lamppujen tilalle olisi riittänyt 23 watin tehoiset lamput pyörätielle. Sähkötehon kulutukseen voidaan pitää virhemarginaalina sitä, että valaisimien tehomittaukset tehtiin kahdella eri tavalla. Myllyojan testikentän valaisimien kuluttamat tehot mitattiin katuvalokeskuksen yhden vaiheen kokonaiskulutus, kun taas pyöräteiden valaisimet mitattiin valaisinkohtaisesti sisätiloissa. Työssä saaduista mittaustuloksista voidaan päätellä, että tämän opinnäytetyön valaisimia säätämällä saadaan pienemmät energiakustannukset.

Tutkimuksessa mitattiin viiden valaisimen tehon säätöä ja taloudelliseksi säästökseen saatiin noin 4 - 7 euroa vuodessa valaisinta kohden (44 % - 65 %). Vaikka säästö ei kuulosta suurelta yhden valaisimen kohdalla, niin Oulun Kaupungin alueella todellinen säästö valaisimilla, joissa on säätöominaisuus, on merkittävä, koska Oulun kaupungin alueella on kymmeniä tuhansia valaisimia.

Tutkimuksessa seurattiin myös, miten valaisimien säätö vaikuttaa Oulun Kaupungin vaatimiin katuvalaistusluokka-arvoihin. Tutkimuksessa huomattiin, että valaisimen säätökulma on yksi suurimmista vaikuttajista tienpinnan tasaiseen valaisuun. Valaisimesta riippuen säätötapa on joko valaisimen sisällä olevan heijastimen avulla säätäminen tai valaisimen kaltevuuskulman säätäminen. Tuloksista voidaan päätellä, että LED-valaisimet osoittautuivat paljon valovoimakkaammiksi kuin monimetallivalaisimet. Tutkimuksen viidestä valaisimesta ainoastaan yksi monimetallivalaisin ei läpäissyt vaadittuja katuvalaistusluokka-arvoja. Tälläkin valaisimella kuitenkin valaistus on riittävä myös säädön aikana ainakin silmämääräisesti.

Valaisimien säätötavoilla oli myös vaikutusta lopputuloksiin. Säättömuuntajan avulla jännitettä ei saatu haluttuun jännitteeseen, koska lamput sammuiivat jännitteen pudotessa yli 20 voltia. Kaksitehokuristimen avulla jännitteen säätö toimi kuitenkin paremmin sillä tavalla, että valaisimen kuluttamaa jännitettä saatiin pudotettua enemmän. Kaikki valaisimet eivät kuitenkaan olleet ns. samalla lähtöviivalla, koska osa valaisimista oli pyörätiellä ja osa taas tonttikaduilla. Lopputulokseksi saadaan kuitenkin jokaisen valaisimen säädön avulla säästöä taloudellisesti.

Tutkimus oli kaiken kaikkiaan mielenkiintoinen. Energiatehokkuusprojektit ovat ajankohtaisia, koska Euroopan Komission asetusten vaatimien eri vuosien rajoitukset alkavat vaikuttaa. Uudet, säädettävät ja energiatehokkaat valaisimet tulevat entistä voimakkaammin vaikuttamaan säästöjen määrään katuvalaistustekniikassa.

LÄHTEET

- Ahponen, Veikko 1999. Lamput ja valaisimet. Espoo: Sähköinfo Oy.
- Bryan Christie 2009. The LED's dark secret. Hakupäivä 12.12.2013.
<<http://spectrum.ieee.org/semiconductors/optoelectronics/the-leds-dark-secret>>
- Fluke Corporation 2006. Fluke 1760 Power quality recorder 1760 Manual book.
- Esala, Tapani. 2010. Purkauslamput, erikoislamput. Opetusmateriaali.
- Euroopan komission asetus 245/2009.
- Illuminazione 2014. Illuminazione A2. Hakupäivä 11.3.2014.
- Karhe Mika 2012. LED-tekniikka Pirkanmaan osuuskaupan kohteissa. Opinnäytetyö. Tampereen AMK, Tampere.
- Kivioja, Niko 2012. Tie- ja aluevalaistuksen sähkötekniinen suunnittelu. Opinnäytetyö. Metropolia AMK, Helsinki.
- Männistö Arto 2012. Valon värin ja värilämpötilan säätö ja niiden vaikutus ihmiseen. Tampereen AMK, Tampere.
- Mäntyhärju Vesa 2013. Ympäristöystävällisen uutisstudion valaistusjärjestelmä. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu, Helsinki.
- Niskala Heikki 2012. Katuvalaistuksen Energiatohokkuus. Diplomityö. Oulun Yliopisto, Oulu.
- Nousiainen Sebastian 2012. Katuvalaistuksen sähköenergian säästöjen kohdentaminen. Tampereen AMK, Tampere
- Oulun Kaupunki 2010. Oulun Kaupungin valaistuksen yleissuunnitelma. Hakupäivä 11.2.2013.
- Oulun Kaupunki 2012. Myllyojan katuvalaistuksen testikentän raportti. Hakupäivä 19.3.2014.
- Oversol 2014. Värilämpötila. Hakupäivä 11.3.2014
- Philips Electronics 2009. Valoa elämään. Hakupäivä 3.2.2012.
<http://www.lighting.philips.fi/connect/tools_literature/outdoor_catalogue/pdf/Outdoor_09_FI_k.pdf>
- Selenium installation instructions 2009.
- Sinkkonen, Janne 1996. Puolijohdeteknologian perusteet. Helsingin teknillinen korkeakoulu, Helsinki.
- Sthril 2014. Sthril Mistral. Hakupäivä 11.3.2014.
- Tiensuu Antti 2010. Uusi valaistuskirja. Helsinki: Viherympäristöliitto.
- Tiehallinto 2006. Tievalaistuksen suunnittelu. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Valkonen Markus 2008. Tampereen ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmän uusiminen. Opinnäytetyö. Tampereen AMK, Tampere.
- Valopää 2014. Valopää VP1402. Hakupäivä 11.3.2014.
- Voltimum 2013. Philips Selenium SGP340. Hakupäivä 1.2.2014
<<http://www.voltimum.co.uk/e-catalogue/brand/philips/product/12710100>>

LIITTEET

- Liite 1. Philips Selenium
- Liite 2. Valopää VP1402i
- Liite 3. Illuminazione a2 HID
- Liite 4. Illuminazione a2 LED
- Liite 5. Sthril Mistral

Projekti 1

DIALux

24.02.2014

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

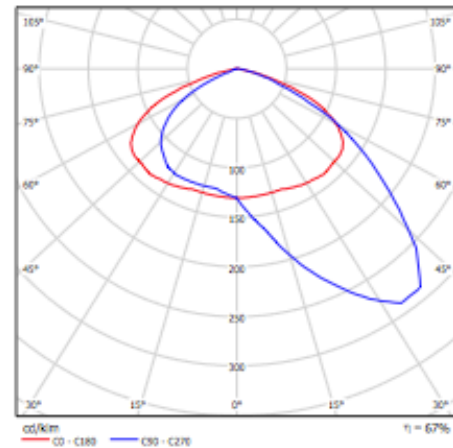
PHILIPS SGP340 FG 1xSON-I-70W-CO TP P1 / Valaisintietoarkki

Valaistu alue 1:



Valaisinten luokittelu CIE: 100
Elektronikkakomponenttien valovirtakoodi: 40 80
98 100 67

Selenium – timeless design
Selenium SGP340 is an efficient, ergonomic road-lighting luminaire. Its simple, rounded form reduces its daytime visual impact, allowing it to integrate into any kind of environment. Selenium incorporates the renowned T-PQT reflector for excellent optical performance. Energy savings are possible by means of dimming with a switch or stand-alone Chronosense system (without pilot cable).



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

Projekti 1**DIALux**

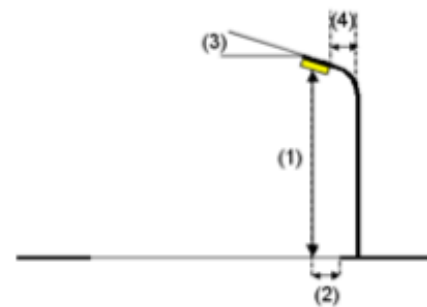
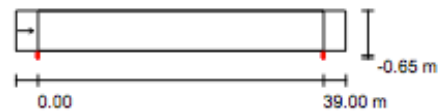
24.02.2014

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Katu 1 / Suunnittelutiedot**Tien profiili**

Ajorata 1 (Leveys: 5.500 m, Ajokaistojen lukumäärä: 1, Päällyste: R3, q0: 0.070)

Huoltokerroin: 0.67

Valaisinjärjestykset

Valaisin:	PHILIPS SGP340 FG 1xSON-I-70W-CO TP P1
Valovirta (Valaisin):	3752 lm
Valovirta (Lamput):	5600 lm
Valaisimien teho:	80.0 W
Järjestely:	yksipuolisesti alapuolella
Katuvalojen väli:	39.000 m
Asennuskorkeus (1):	8.000 m
Valopisteen korkeus:	7.793 m
Etäisyys tien reunaan (2):	-0.650 m
Poikkivarren kallistuma (3):	0.0 °
Poikkivarren pituus (4):	0.500 m

Projekti 1

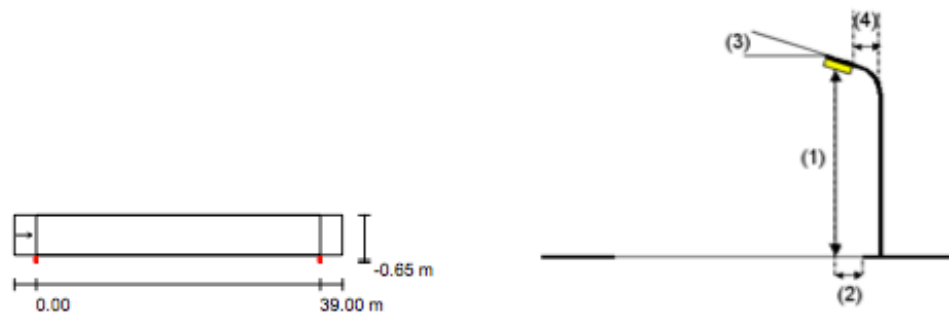
DIALux

24.02.2014

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Katu 1 / Suunnittelutiedot

Valaisinjärjestykset



Valaisin:	PHILIPS SGP340 FG 1xSON-I-70W-CO TP P1
Valovirta (Valaisin):	3752 lm
Valovirta (Lamput):	5600 lm
Valaisimien teho:	80.0 W
Järjestely:	yksipuolisesti alapuolella
Katuvalojen väli:	39.000 m
Asennuskorkeus (1):	8.000 m
Valopisteen korkeus:	7.793 m
Etäisyys tien reunaan (2):	-0.650 m
Poikkivarren kallistuma (3):	0.0 °
Poikkivarren pituus (4):	0.500 m

Liite 1 4(5)

Projekti 1

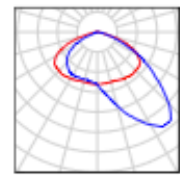
DIALux

24.02.2014

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

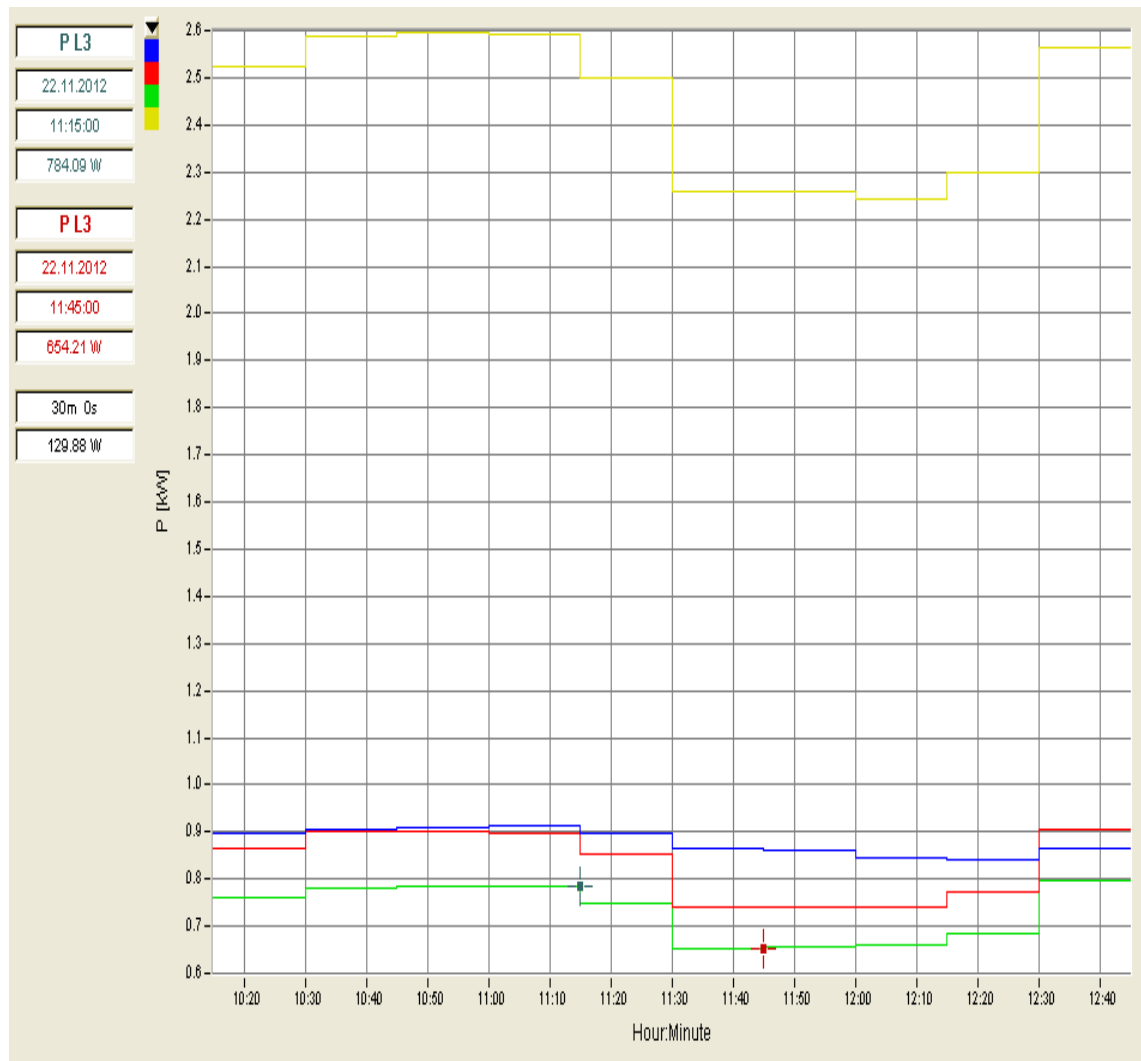
Katu 1 / Luettelo valaisimista

PHILIPS SGP340 FG 1xSON-I-70W-CO TP P1
Tavaratunnus:
Valovirta (Valaisin): 3752 lm
Valovirta (Lamput): 5600 lm
Valaisimien teho: 80.0 W
Valaisinten luokittelu CIE: 100
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 40
80 98 100 67
Varustus: 1 x SON-I-70W-CO/220 (Korjaustekijä
1.000).



Tehon pudotus säätöominaisuudella

Liite 1 5(5)



Projekti 5

DIALux

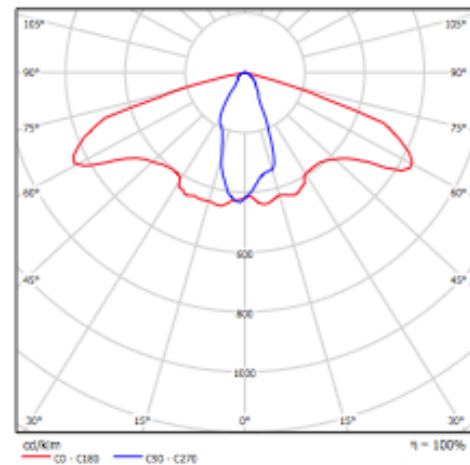
11.03.2014

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Valopaa Oy VP1402 M4 V12 350mA / Valaisintietoarkki

Valaistu alue 1:

Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.



Valaisinten luokittelu CIE: 100
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 48 79
98 100 100

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

Projekti 5

DIALux

11.03.2014

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

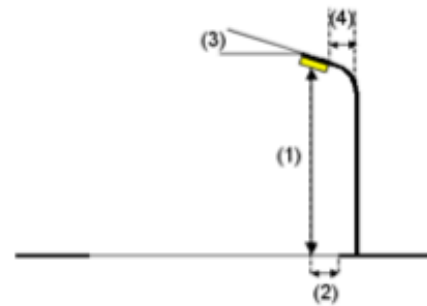
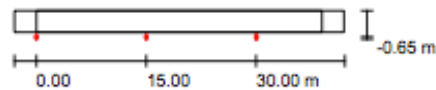
Kemira Valopää / Suunnittelutiedot

Tien profiili

Valopää (Leveys: 3.000 m)

Huoltokerroin: 0.67

Valaisinjärjestykset



Valaisin:	Valopää Oy VP1402 M4 V12 350mA	Valovoiman enimmäisarvot
Valovirta (Valaisin):	3590 lm	tapauksessa 542
Valovirta (Lamput):	3600 lm	70°: cd/klm
Valaisimien teho:	39.0 W	tapauksessa 15
Järjestely:	yksipuolisesti alapuolella	80°: cd/klm
Katuvalojen väli:	15.000 m	tapauksessa 2.25
Asennuskorkeus (1):	4.000 m	90°: cd/klm
Valopisteen korkeus:	3.820 m	Kaikkiin niihin suuntiin, jotka muodostavat ilmoitetun kulman alemman pystysuoran kanssa, kun valaisin on asennettu käyttökuntoon.
Etäisyys tien reunaan (2):	-0.650 m	Valovoiman arvot eivät ylitä arvoa 90°.
Poikkivarren kallistuma (3):	0.0 °	Sijoittelu täyttää valovoimaluokan vaatimukset G3.
Poikkivarren pituus (4):	0.000 m	Sijoittelu täyttää häikäisyluokan vaatimukset D.6.

Projekti 5

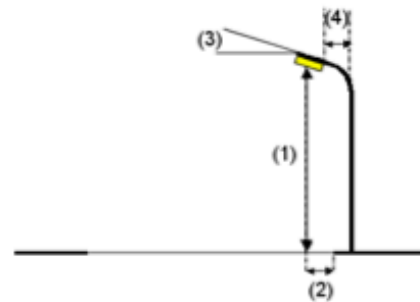
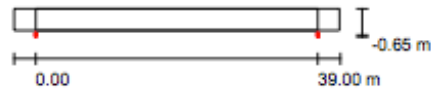
DIALux

11.03.2014

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Kemira Valopää / Suunnittelutiedot

Valaisinjärjestykset



Valaisin:	Valopaa Oy VP1402 M4 V12 350mA	Valovoiman enimmäisarvot
Valovirta (Valaisin):	3590 lm	tapauksessa 542
Valovirta (Lamput):	3600 lm	70°: cd/klm
Valaisimien teho:	39.0 W	tapauksessa 15
Järjestely:	yksipuolisesti alapuolella	80°: cd/klm
Katuvalojen väli:	39.000 m	tapauksessa 2.25
Asennuskorkeus (1):	6.000 m	90°: cd/klm
Valopisteen korkeus:	5.820 m	Kaikkien niihin suuntiin, jotka muodostavat ilmoitetun kulman alemman
Etäisyys tien reunaan (2):	-0.650 m	pystysuoran kanssa, kun valaisin on asennettu käyttökuntoon.
Poikkivarren kallistuma (3):	0.0 °	Valovoiman arvot eivät ylitä arvoa 90°.
Poikkivarren pituus (4):	0.000 m	Sijoittelu täyttää valovoimaluokan vaatimukset
		G3.
		Sijoittelu täyttää häikäisyarvoluokan vaatimukset
		D.6.

Liite 2 4(4)

Projekti 5**DIALux**

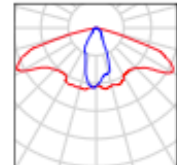
11.03.2014

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Kemira Valopää / Luettelo valaisimista

Valopää Oy VP1402 M4 V12 350mA
Tavaratunnus:
Valovirta (Valaisin): 3590 lm
Valovirta (Lamput): 3600 lm
Valaisimien teho: 39,0 W
Valaisinten luokittelu CIE: 100
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 48
79 98 100 100
Varustus: 4 x Led moduuli (Korjaustekijä 1.000).

Löydät valaisimen kuvan
valaisinluettelosta.


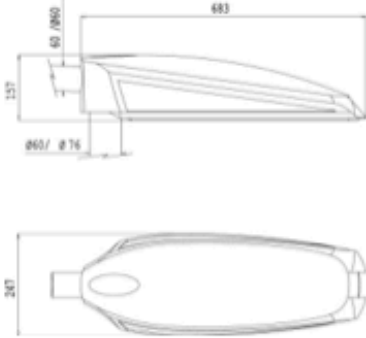


Product Sheet



TECHNICAL DIVISION

Rev. JUN-13

A2

A2 HID	
MAIN CHARACTERISTICS	
Applications	Street lighting
Optic	ST: Asymmetric optic for street lighting Photometric classification : Cut-off
Insulation class	II
Protection degree	IP66
Impact protection degree	IK08
Tilt angle	Post-top: 0° Bracket: 0°, -5°, -10°, -15°
Fixing	Post-top: Ø60-Ø76mm Bracket: Ø60mm
Gear tray	Removable, without use of tools
Dimensions and weight	683x157x247mm 7.5Kg
Side surface	0,08m ²
Top surface	0,14m ²
Main reference standards	EN 60598-1, EN 60598-2-3, EN 62471, EN 55015, EN 61547, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3

ELECTRICAL CHARACTERISTICS	
Rated voltage	230V 50Hz (other on request) Electromagnetic or electronic power supply
Power factor	>0.9 (at full load)
Ignitor	Superimposed pulse, with timer (on request)
Lamp powers	50,70,100,150W SHP-T 50,70,100,150W CDO-TT 45,60,90,140W CPO-TW
Lamp cap	E27, E40, PGZ-12
On-load switch	Included with integrated cable clamp
Connection	2x4mmq

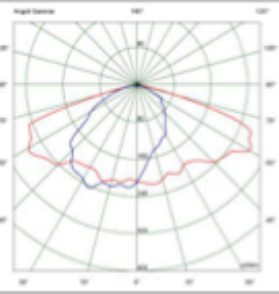
MATERIALS	
Fixing	Die-cast aluminium
Frame	Die-cast aluminium
Upper canopy	Die-cast aluminium
Closing hook	Extruded aluminium
Optic	99,85% aluminium, moulded, anodized and polished
Lamp cap	Ceramic
Screen	Flat tempered glass, 4mm thickness
Gasket	Polyurethane
Colour	Upper canopy: Grey satin semi-gloss cod. 2B Frame: Black smooth matte cod. 0C

Note: The characteristics of the product listed above are subjected to change.
They will be confirmed in case of order.

AEC Illuminazione S.r.l.
www.aecilluminazione.it - aec@aecilluminazione.it

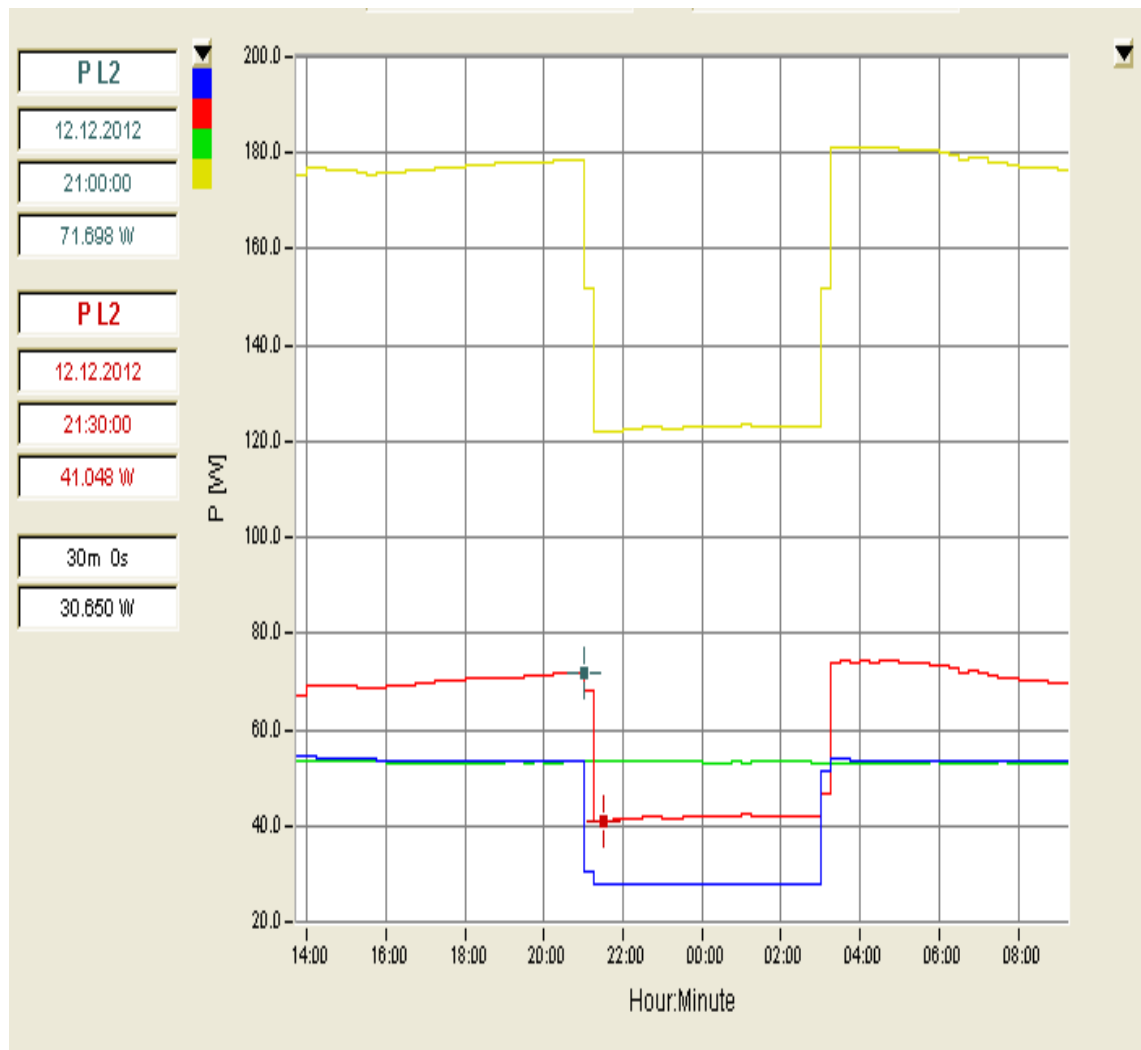
ST Optic

All the published photometrical data
has been obtained according to
EN 13032-1



Tehon pudotus säätöominaisuudella.

Liite 3 2(2)



Illuminazione A2 LED valonjakokäyrät

Liite 4 1(4)

Projekt 4

DIALux

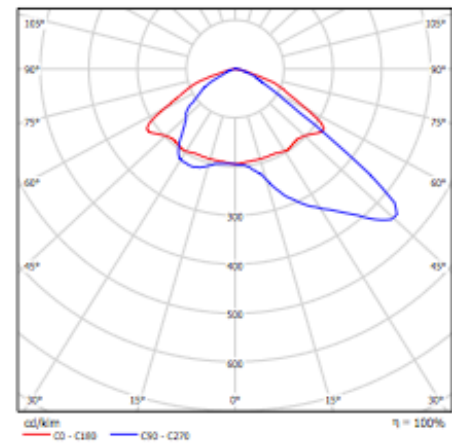
11.03.2014

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

AEC ILLUMINAZIONE SRL A2-0C-STL-VP-012 A2 LED 0C STL VP 4.5-30 /
Valaisintietoarkki

Valaistu alue 1:

Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.



Valaisinten luokittelu CIE: 100
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 36 76
98 100 100

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

Projekti 4**DIALux**

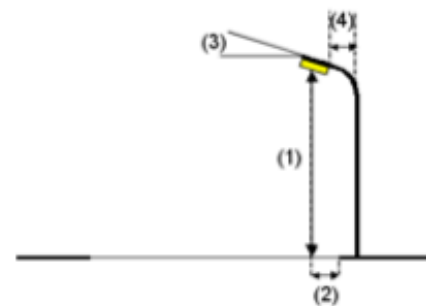
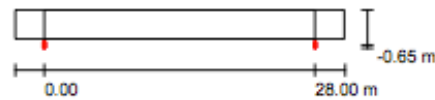
11.03.2014

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

a2 LED / Suunnittelutiedot**Tien profiili**

a2 (Leveys: 3.000 m)

Huoltokerroin: 0.67

Valaisinjärjestykset

Valaisin:	AEC ILLUMINAZIONE SRL A2-0C-STL-VP-012 A2 LED 0C STL VP 4.5-30
Valovirta (Valaisin):	4370 lm
Valovirta (Lamput):	4370 lm
Valaisimien teho:	52.0 W
Järjestely:	yksipuolisesti alapuolella
Katuvalojen väli:	28.000 m
Asennuskorkeus (1):	6.000 m
Valopisteen korkeus:	5.844 m
Etäisyys tien reunaan (2):	-0.650 m
Poikkivarren kallistuma (3):	0.0 °
Poikkivarren pituus (4):	0.000 m

Liite 4 3(4)

Projekti 4

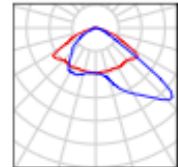
DIALux

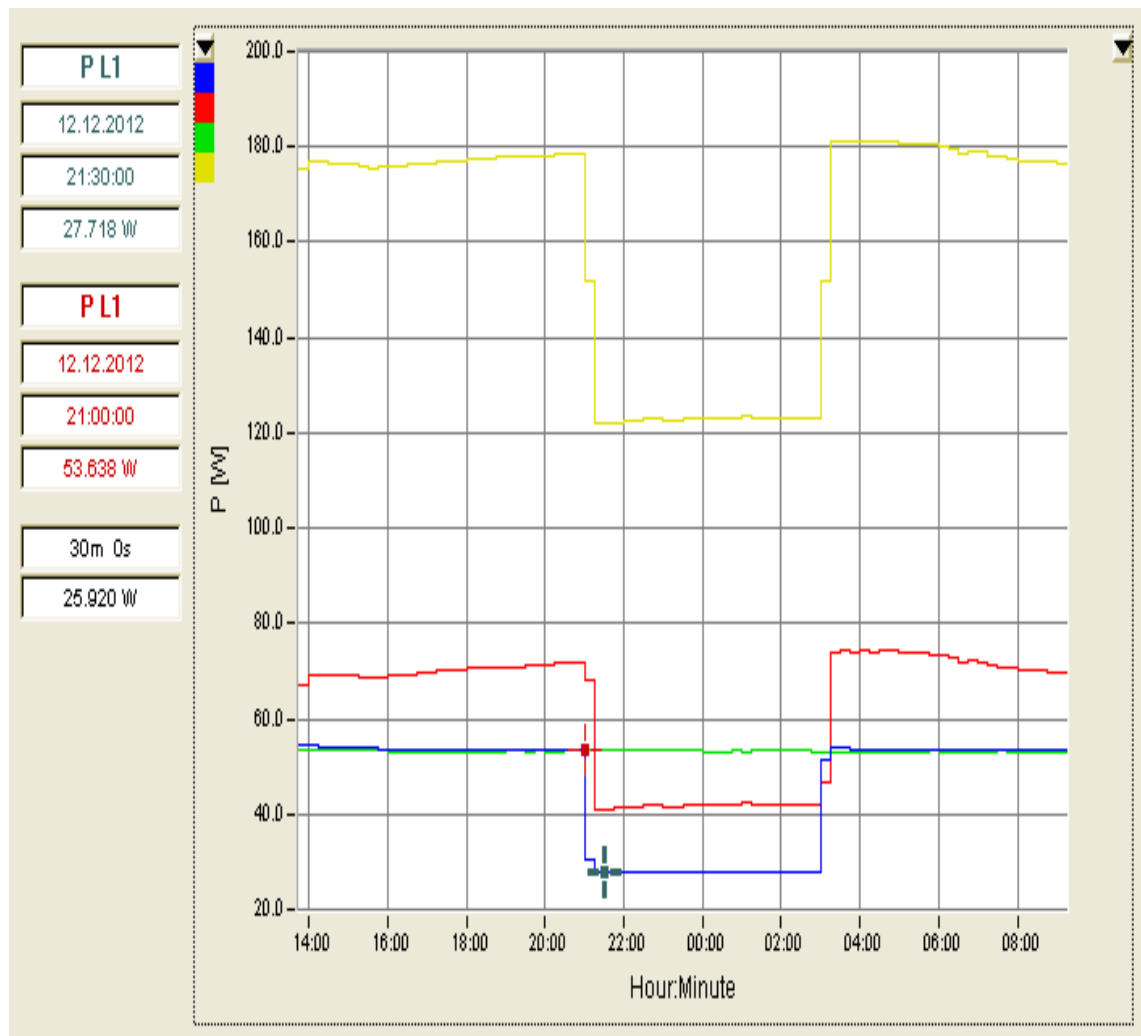
11.03.2014

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

a2 LED / Luettelo valaisimista

AEC ILLUMINAZIONE SRL A2-0C-STL-VP-012 Löydät valaisimen kuvan
A2 LED 0C STL VP 4.5-30 valaisinluettelosta.
Tavaratunnus: A2-0C-STL-VP-012
Valovirta (Valaisin): 4370 lm
Valovirta (Lampun): 4370 lm
Valaisimen teho: 52.0 W
Valaisimen luokittelu CIE: 100
Elektronikkakomponenttien valovirtakoodi: 36
76 98 100 100
Varustus: 1 x L-A2-0C-4000-525-30
(Korjaustekijä 1.000).





Tehon pudotus säätöominaisuudella

Liite 5 2(2)

