

## Jakeluaseman aluevalaistus led-tekniikalla

Neste Oil, Kuivaniemen jakeluasema

Seppo Kehusmaa

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Sähkövoimatekniikka

Insinööri (AMK)

KEMI 2013

## ALKUSANAT

Aluksi haluan esittää kiitokset Valopaa Oy:lle mahdollisuudesta tehdä tämä työ. Kiitokset myös Tälläri Oy:n toimitusjohtaja Veikko Södölle aiheesta opinnäytetyöhön. Lisäksi kiitän työn ohjaajaa, DI Jaakko Ettoa Kemi-Tornion ammattikorkeakoulusta, asiantuntevista neuvoista.

Eriyiskiitos puolisolleni Sainille hänen antamastaan tuesta opinnäytetyön tekemisen aikana.

Kuivaniemellä 31.1.2013

Seppo Kehusmaa

## TIIVISTELMÄ

## KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU, tekniikka

Koulutusohjelma:	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyön tekijä(t):	Seppo Kehusmaa
Opinnäytetyön nimi:	Jakeluaseman aluevalaistus led-tekniikalla
Sivuja (joista liitesivuja):	54(11)
Päiväys:	31.1.2013
Opinnäytetyön ohjaaja(t):	DI Jaakko Etto Kemi-Tornion AMK Tuotepäällikkö Ilkka Kaltiola Valopaa Oy
<p>Opinnäytetyö tehtiin Valopaa Oy:lle, joka suunnittelee ja valmistaa led-valaisimia ulkoalueiden tarpeisiin. Tavoite oli selvittää suunnittelun lähtökohtia ja tarkastella led-tekniikan soveltuvuutta jakeluaseman eri alueiden valaistuksessa. Ajatuksena oli esitellä uusinta led-valaisintekniikkaa sekä sen kilpailukykyä nimenomaan Valopaa Oy:n ulkovalaistusratkaisujen kautta.</p> <p>Työn alkupuolella on selvitetty led-tekniikan historia ja kehitys aina nykypäivään saakka. Tietoa led-valaistustekniikasta on runsaasti tarjolla monessa eri lähteessä. Vertailukohteina käytettiin muutamia vielä nykyisin käytössä olevia valaistusratkaisuja. Työssä esiteltiin myös erilaisia suunnitteluohjelmia sekä laskentamalleja, joita käytetään laadittaessa kokonaisvaltaisia aluevalaistusratkaisuja.</p> <p>Aineistoa valaistuksen eri ratkaisuihin ja suunnittelutyöhön on saatu monilta laite- ja komponenttivalmistajilta sekä Valopaa Oy:ltä itseltään. Yritykseltä saatiin myös tietoa kohteeseen tulleiden valaisimien teknisistä tiedoista ja suunnittelun etenemisestä. Näiden avulla voitiin selvittää suunnittelun vaatimat tekniset reunaehdot. Opinnäytetyössä on myös mukana tietoa eri asetuksista ja lakipykälistä, joita on noudatettava suunnittelussa ja asentamisessa.</p> <p>Opinnäytetyön lopputuloksena esitetyt laskelmat ja suunnitelmat näyttivät selkeästi, että led-valaistuksen käyttö myös ulkoalueilla on jo nyt kilpailukykyistä perinteisiin valaistusratkaisuihin verrattuna. Nopean kehityksen myötä led-tekniikan hyödyntäminen aluevalaistuksessa tulee lisäntymään huomattavasti tulevaisuudessa.</p>	
Asiasanat: led, sähkösuunnittelu, ulkovalaistus, jakeluasemat.	

## ABSTRACT

## KEMI-TORNIO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology

Degree programme:	Electrical Engineering
Author(s):	Seppo Kehusmaa
Thesis title:	Area Lighting of Service Station with LED Technology
Pages (of which appendixes):	54(11)
Date:	31 January 2013
Thesis instructor(s):	Jaakko Etto, MSc (tech.) Ilkka Kaltiola, Product Manager, Valopaa Oy
<p>The work was made to the Valopaa Oy, which designs and manufactures LED lighting lamps for outdoor areas. The objective was to examine the basis for the design and to determine the suitability of LED technology for different areas. The idea was to present the latest LED lighting technology as well as the competitiveness of the Valopaa outdoor lighting solutions.</p> <p>The work also explains the history and development of LED technology. Information about led lighting technology is abundant. LED lighting technologies were compared to some other still existing lightings. The work also presents a few design programs and calculation models which are used to make the lighting plans.</p> <p>The material for a variety of lighting solutions and design work was obtained from many hardware and component manufacturers as well as Valopaa itself. Technical specifications and information about the progress of the design process was also obtained from the company. These made it possible to determine the design specifications required by the technical conditions. The work also contains information about the regulations and the law concerning for installations and designs.</p> <p>The results of the calculations and plans clearly show that the use of LED lighting for outdoor areas is already competitive compared with conventional lighting solutions. With the rapid development of LED lighting technologies, the use of LED lighting in area lighting will therefore increase considerably in the future.</p>	
Keywords: LED, electrical design, outdoor lighting, service stations.	

## SISÄLLYS

ALKUSANAT .....	2
TIIVISTELMÄ .....	3
ABSTRACT .....	4
SISÄLLYS .....	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET .....	7
1 JOHDANTO .....	8
2 VALAISTUSTEKNIikka .....	10
2.1 Teoria.....	10
2.2 Käytettävät määritelmät ja yksiköt .....	11
3 LED-TEKNIikka .....	16
3.1 Yleistä.....	16
3.2 Rakenne .....	16
3.3 Toimintaperiaate.....	17
3.4 Liitännät ja ohjaukset .....	18
4 LEDIN KEHITYS .....	21
4.1 Historia .....	21
4.2 Nykytilanne .....	21
4.3 Tulevaisuuden mahdollisuudet valaisintekniikassa.....	22
4.4 Led-tekniikan edut ja haitat .....	24
5 MUUT ULKOVALAISTUSTEKNIikat .....	26
5.1 Hehkulamput .....	26
5.2 Halogeenilamput.....	26
5.3 Suurpainenatriumlamput .....	27
5.4 Monimetallilamput .....	27
6 SUUNNITTELU.....	29
6.1 Lähtökohdat.....	29
6.2 Työkalut.....	30
6.3 Asetukset ja ohjeistukset .....	31
6.4 Valaistussuunnittelun kulku .....	32
7 JAKELUASEMAN ALUEVALAISTUS.....	34
7.1 Kuivaniemen Nesteen jakeluasema.....	34
7.2 Valaistuksen toteutus.....	34

7.3	Ohjaustekniikat.....	35
7.4	Sähkön syöttö ja suojaukset.....	36
7.5	Kustannukset .....	37
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	40
	LÄHTEET.....	42
	LIITTEET .....	43

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

CE	direktiivikohtainen merkintä tuotteessa
VPM	Valopaa module
IEC	International Electrotechnical Commission
LCC	Life cycle costs
CIE	International commission on illumination

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä perehdytään aluksi led-tekniikkaan ja sen kehityskaareen aina valodiodin keksimisestä nykypäivään. Tarkoitus on tuoda esille led-tekniikan soveltuvuutta teiden ja muiden ulkoalueiden valaistukseen. Vertailukohteina käytetään tällä hetkellä hyväksytyjä ja eniten käytössä olevia valaistustekniikoita. Näitä ovat suurpainenatriumlamput, monimetallilamput sekä halogeenilamput.

Työn aihe on erittäin ajankohtainen. Euroopan unionin suositukset ja direktiivit ovat käytännössä poistaneet hehkulamppuvalaisimet ulkoalueilta ja elohopeahöyrylamppujen tuonti EU:n markkinoille kielletään vuoden 2015 alusta alkaen. Todistetusti energiatehokkaat ja ympäristöystävälliset led-valaisimet ovat kilpailukykyinen vaihtoehto jo tällä hetkellä. Led-tekniikka kehittyi koko ajan huimaa vauhtia ja sen suurimmat kehitystarpeet eli hinta ja valotehokkuus ovat jo erittäin kilpailukykyisiä.

Valopaa Oy on Oulussa vuonna 2007 toimintansa aloittanut täysin suomalainen yritys. Sen tuotteita ja ratkaisuja ovat led-valaisimet, älykkäät led-valaisinjärjestelmät sekä näiden teknologia-alustat. Yhteisenä tekijänä tuotteille ovat energiatehokkuus, kestävyys, helppo ylläpidettävyys ja hyvä valaisunhallinta. Valaisimet on erityisesti tarkoitettu haastaviin olosuhteisiin ja vaativiin kohteisiin.

Valopaa Oy on led-tekniikan ja älykkäiden valaistusratkaisujen asiantuntija. Yrityksen henkilöstöllä on pitkä ja monipuolinen kokemus elektroniikka- ja tietoliikenneteollisuudesta. Tuotteet valmistetaan pääosin itse. Yhteistyötä tehdään muun muassa Aalto-yliopiston valaistusyksikön, VTT:n sekä Oulun Yliopiston kanssa. Valopaa on myös mukana erilaisissa yhteistyöprojekteissa, esimerkiksi EU:n Enlight-Projektissa.

Kaikki Valopaan tuotteet ovat CE-merkittyjä ja niille on myönnetty Avainlippu- alkupe-  
rämerkki joka kertoo että tuote on valmistettu Suomessa. Valopaa Oy:n VPM led-  
moduulille on myönnetty FI-sertifiointimerkki. Lisäksi yrityksen valmistama VP1301  
led-katuvalaisin on saanut Liikenneviraston hyväksynnän K-luokissa eli se on todettu  
käyttökelpoiseksi maanteille.



Opinnäytetyössä perehdytään myös valaistussuunnittelun käytännön työkaluihin ja perehdytään varsinaisen valaistussuunnitelman tekoon Dialux-laskentaohjelman avulla. Tarkoitus on luoda kokonaiskuva siitä, miten suunnitteluprosessi etenee, minkälaisia teknisiä ongelmia tulee ratkaistavaksi ja mitä ovat ne viranomaismääräykset ja asetukset, joiden puitteissa lopullinen suunnitelma syntyy. Valaistussuunnittelun liittymistä varsinaiseen sähkösuunnitteluun tarkastellaan myös sekä teknisesti että taloudellisin lähtökohdin nimenomaan kohteena olevan jakeluaseman antamassa mittakaavassa.

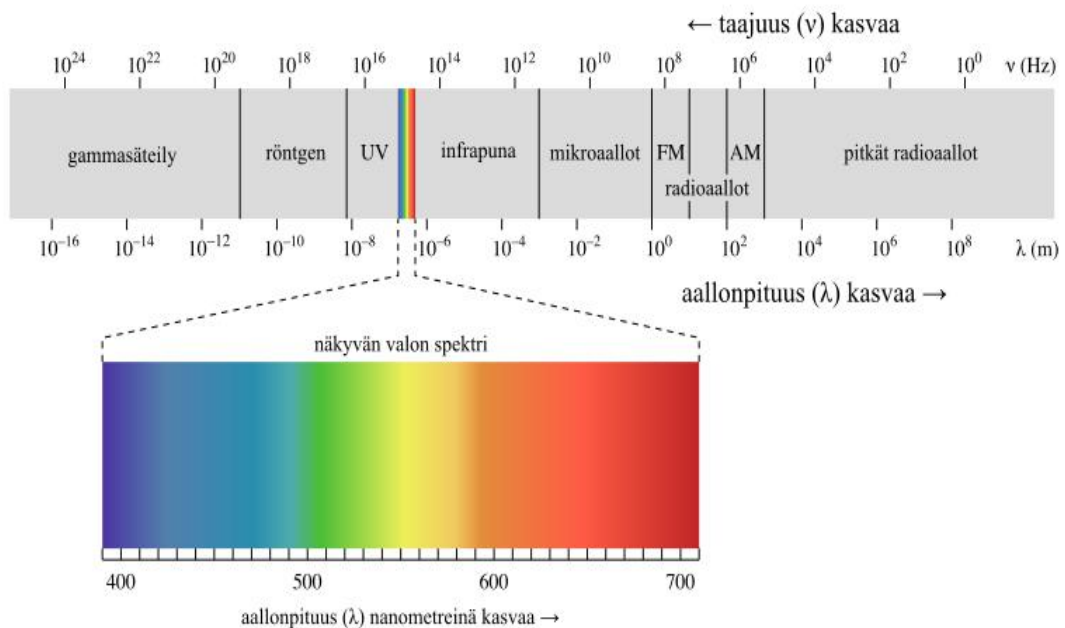
Led-valaistustekniikka on jo lyönyt itsensä läpi maailmalla ja sen tulevaisuuden näkymät ovat lähes rajattomat. Toivottavasti tämä työ osaltaan antaa kuvaa sen mahdollisuuksista jo pelkästään ulkoalueiden valaistusratkaisujen löytämisessä ja toteutuksessa.

## 2 VALAISTUSTEKNIikka

### 2.1 Teoria

Valo on ihmissilmällä nähtävää sähkömagneettista säteilyä ja sen aallonpituus on 400 – 700 nanometrin välillä. Sähkömagneettisessa spektrissä se vastaa 430 – 740 THz:n taajuutta. Jokaisella meistä on kuitenkin eroavaisuuksia valonäön suhteen, eli toiset näkevät valon aallonpituuksia pidemmälle tai lyhyemmälle kuin mitä ennalta mainitut arvot antavat ymmärtää. Yleensä ihminen näkee parhaiten vihreän ja keltaisen valon, jotka ovat noin 555 nanometrin aallonpituudella. (Ahponen, Kasurinen & Timonen 1996, 13, 14).

Valoalueen näkyvää säteilyä varten (kuva 1) on ihmisellä oma erityinen vastaanotin, eli silmä. Silmällä tarkoitetaan näköelintä kokonaisuudessaan. Valaistustarkoituksiin käytetyt keinovalot sisältävät yleensä suuren joukon valoalueen eri aallonpituuksilla tapahtuvia säteilyjä, joilla on kyky tuottaa erilaisia väriaistimuksia aallonpituudesta riippuen.



Kuva 1. Sähkömagneettisen säteilyn spektri (Manninen 2012, 9)

## 2.2 Käytettävät määritelmät ja yksiköt

Valaistusvoimakkuus [E] kuvaa valaistusjärjestelmän suorituskykyä eli kuinka paljon valoa saadaan tilaan määrätylle pinnalle. (kaava 1). Valaistusvoimakkuus ei ole nähtävissä oleva suure vaan vasta valon heijastuminen tekee valon näkyväksi. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luks (lx). Puhuttaessa ulkovalaistuksesta on sen voimakkuustaso yöllä suuruusluokkaa 1 – 15 luksia ja päivällä suora auringonpaiste tuottaa jopa 100 000 luksin valaistusvoimakkuuden.

$$E = \Phi / A, \quad (1)$$

missä

E on valaistusvoimakkuus lukseina

$\Phi$  on valovirta lumeneina

A on pinta-ala neliömetreinä.

Valovoima [ I ] kertoo sen, kuinka paljon valoa lähtee valonlähteestä määrättyyn suuntaan, eli sen avulla käytännössä ilmaistaan valaisimien valonjako-ominaisuudet. Valovoima ilmoitetaan tavallisesti niin sanotun valonjakokäyrän avulla (kuva 2). Siinä valonlähteen valovoima on ilmoitettu yleensä napakoordinaatistossa yhdessä tai useammassa pystyakselin suuntaisessa tasossa. Valovoiman yksikkö on kandela (cd). Esimerkiksi polkupyörän polttimon valovoima on ilman heijastinta suuruusluokkaa 1 cd ja heijastimella se on noin 250 cd. 50 watin kylmäsädelampun valovoima on kohtisuoraan eteenpäin 12500 cd. Valaisimen valonjako ilmoitetaan tavallisesti normalisoituna muodossa cd/klm, eli kaneloita tuhatta lumenia kohti. Näin voidaan valonjakokäyrää käyttää valovirraltaan erilaisille mutta samanmuotoisille lamputille. Valaistusvoimakkuus on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön ja suoraan verrannollinen tulokulman kosiiniin. (kaava 2).

$$E = I_{\gamma} * \cos \gamma / d^2, \quad (2)$$

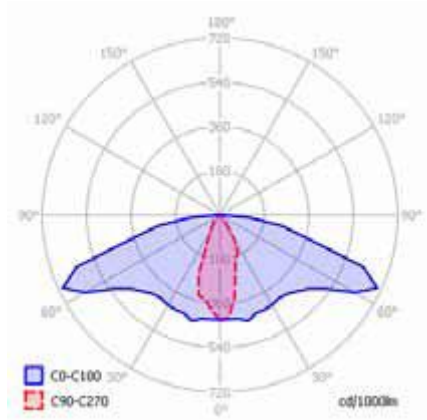
missä

E on valaistusvoimakkuus lukseina

$I_{\gamma}$  on valaisimen valovoima tarkastelusuuntaan  $\gamma$

$\gamma$  on valon tulokulma suhteessa pinnan normaaliin

d on valonlähteen etäisyys valaistavasta pisteestä.



Kuva 2. Valonjakokäyrä Valopaan VP1301- katuvalaisimelle V12-linssillä. (Valopaa Oy:n valaisintuotekortti 2012. Hakupäivä 20.1.2013)

Valovirtaa [ $\phi$ ] käytetään valonlähteen valontuoton ilmaisemiseen. Valmistajat ilmoittavat tuoteluetteloissaan lamppujensa valovirta-arvot ja niitä käytetään lähtötietona valaistuskennossa. Valovirran yksikkö on lumen (lm). Suuruusluokka ulkovalaistuksessa käytettävillä lampputyypeillä on 2 – 47 klm. Eri lampputyypeillä valovirta riippuu voimakkaasti ympäristön lämpötilasta, mutta se voi riippua myös polttoasennosta kuten pienloistelampuilla. Nimellisvalovirta mitataan standardin mukaisessa 25 °C:een lämpötilassa.

Luminanssi [L] ilmaisee kohdekappaleen pinnan valotiheyden, eli pintakirkkauden. (kaava 3). Tästä syystä luminanssi on ainoa valaistustekniikan suoranaisesti nähtävissä oleva suure. Mitä suurempi pinnan luminanssi on, sitä kirkkaammalta pinta näyttää. Luminanssin yksikkö on kandela neliömetrille ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). Esimerkiksi yöllä valaistun kadun pinta on suuruusluokkaa  $2 \text{ cd}/\text{m}^2$ , taivaankannen luminanssi noin  $8000 \text{ cd}/\text{m}^2$  ja 36W loistelampun pinta noin  $10000 \text{ cd}/\text{m}^2$ . Pinnan luminanssi riippuu sen valovoimasta ja projektiopinta-alasta tarkastelusuuntaan.

$$L = I/A, \tag{3}$$

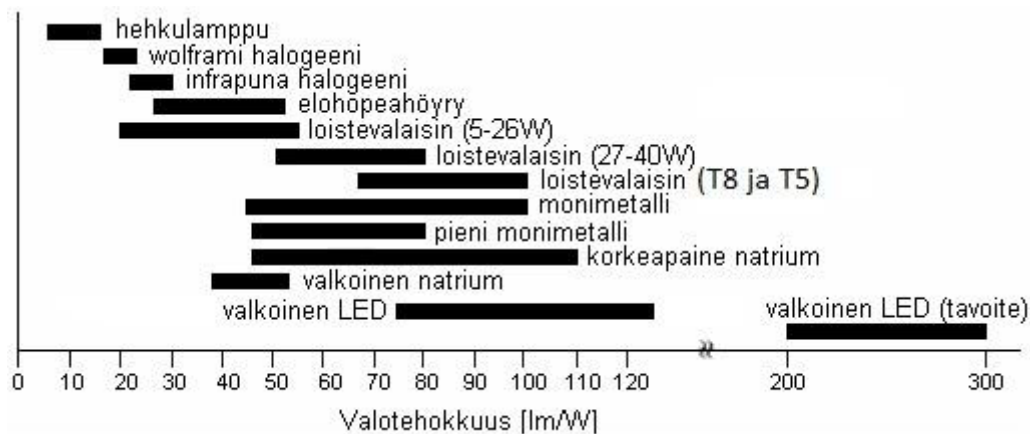
missä

L on Luminanssi

I on valovoima kandela

A on kohteen pinta-ala  $\text{m}^2$ .

Valotehokkuus on valonlähteestä saadun valomäärän suhde siihen käytettyyn sähkötehoon verrattuna ja se kuvaa suoraan valonlähteen hyötysuhdetta. Valotehokkuuden yksikkö on  $\text{lm/W}$  ja se on olennainen suure verrattaessa eri valonlähteiden energiatehokkuutta. Valonlähteen valotehokkuus saadaan jakamalla sen tuottama valomäärä  $\text{lm}$  sen kuluttamalla sähköteholla  $\text{W}$ . Mitä energiatehokkaampi, eli hyötysuhteeltaan parempi valonlähde on, sitä enemmän se tuottaa valovirtaa sähkötehoa kohti. Valotehokkuutta voidaan myös kuvata koko valaisimen valotehokkuutena (kuva 3), jolloin mukaan tulevat valaisimen sisällä häviötehoja aiheuttavat laitteet, kuten virtalähteet, kuristimet, elektroniset liitäntälaitteet jne. Näitten vaikutus valotehokkuuteen on määrästä ja laadusta riippuen heikentävä.



Kuva 3. Valotehokkuuksia erilaisille valaisintyypeille (Manninen 2012, 19).

Värintoistoindeksi [ $R_a$ ] kertoo, miten hyvin valonlähde toistaa pintavärit. Indeksien määrittelytapa on luotu CIE:ssä ja siinä verrataan lamppujen ominaisuuksia saman väriämpötilan testilamppujen tuottamiin pintavärintoisto-ominaisuuksiin. Kyseessä on siis testivärien ja vertailulamppujen välinen keskiarvo. Mitä korkeampi lampun indeksi on, sitä paremmin värit toistuvat. Hehkulampun indeksissä on paljon punaista eli se myös näyttää punaisen sävyiset pinnat hyvin. Päivänvalon spektrissä on paljon sinistä, eli sinisen sävyiset pintavärit heijastuvat hyvin. Hyvinkin erilaiset valonlähteet voivat siis saada hyvän värintoistoindexin, mutta värit eivät kuitenkaan näytä niiden valossa samanlaisilta. Lampunvalmistajat ilmoittavat omien valonlähteidensä värintoisto-ominaisuudet. Värintoistoluokat (taulukko 1) puolestaan ilmoittavat, missä rajoissa valon värintoistoindeksi liikkuu.

Taulukko 1. Värintoistoluokat (ST 58.08, 2)

1A	R <sub>a</sub> 90 – 100	Erittäin hyvä
1B	R <sub>a</sub> 80 – 90	Erittäin hyvä
2A	R <sub>a</sub> 70 – 80	Hyvä
2B	R <sub>a</sub> 60 – 70	Hyvä
3	R <sub>a</sub> 40 – 60	Tyydyttävä
4	R <sub>a</sub> 20- 40	Heikko

Lampun valon väri ilmaistaan värilämpötilana. Mittayksikkö on kelvin [K]. Kelvinasteikko alkaa absoluuttisesta nollapisteestä (0 K = - 273 °C). Valonlähteen värilämpötila määritetään ns. mustan kappaleen säteilyllä verraten. Mitä korkeampi on mustan kappaleen säteilyn lämpötila, sitä valkoisempi on väri. Esimerkiksi lämminvalkoisella valolla hehkulampun värilämpötila on 2600 K, päivänvaloloistelampujen värilämpötila on 5000 K. (taulukko 2). Huolimatta samanlaisesta värilämpötilasta voi lampujen värin-  
toistokyky olla niiden valon spektrialisesta koostumuksesta johtuen erilainen.

Taulukko 2. Värilämpötilan luokittelu värivaikutelman mukaan (Suomen valoteknillinen seura ry:n www-sivut 2008, hakupäivä 15.1.2013)

Valaistusvoimakkuus lx	Värivaikutelma		
	Lämmin < 3300 K	Neutraali 3300 - 5300 K	Kylmä >5300 K
	Valaistusvaikutelma		
≤ 500	Miellyttävä	Neutraali	Kylmä
500 - 1000	↓	↓	↓
1000 - 2000	Piristävä	Miellyttävä	Neutraali
2000 - 3000	↓	↓	↓
≥ 3000	Luonnoton	Piristävä	Miellyttävä

Muita valaistuksen suunnitteluun ja laskentaan liittyviä yksiköitä ovat:

- alenemakerroin, joka ottaa huomioon lampun iästä ja likaantumisesta aiheutuvan valovirran aleneman.
- häikäisy, joka vaikeuttaa yksityiskohtien näkemistä tai aiheuttaa epämu-  
kavuutta näkemisessä.
- häiriövalo on valaistavan alueen ulkopuolelle suuntautuva valo, joka  
määränsä, suuntansa tai spektrinsä takia rajoittaa oleellisen informaation  
näkyvyyttä.
- valotehokkuus, joka on valonlähteen tuottaman valon määrä kulutettua  
sähköenergiaa kohti. (ST 59.09, 2).

Lisäksi itse asennuksessa on huomioitava esimerkiksi:

- sähkölaitteiden kotelointiluokka.
- valaisimien rakenne- ja turvallisuusvaatimukset.
- ulkoisten tekijöiden vaikutukset. (SFS 6000-7-714.51–52).

### 3 LED-TEKNIikka

#### 3.1 Yleistä

LED on valoa emittoiva diodi, joka säteilee valoa ja perustuu puolijohdetekniikkaan. Ledin valmistusmateriaali määrää sen lähettämän valon värin ja sitä voidaan edelleen muokata pintaan lisättävillä kalvoilla sekä pinnoitteilla. Lediä on käytetty paljon mittalaitteissa ja nykyään yhä enemmän myös valaistukseen.

Ledin suosio perustuu muun muassa sen pieneen energiankulutukseen, pitkään käyttöikään ja elinkaarensa lopussa käytöstä poistamisen ympäristöystävällisyyteen. Ledvaloissa ei ole ympäristölle haitallista elohopeaa, johon esimerkiksi energiansäästölamppun toiminta perustuu.

#### 3.2 Rakenne

Led on puolijohdekomponentti kuten normaali diodikin, mutta sen lisäksi se säteilee valovirtaa ( $\Phi$ ). Sen kynnysjännite on myös suurempi kuin tavallisella silikonista valmistetulla diodilla. Ledit valmistetaan kiteisistä puolijohdemateriaaleista. Puolijohdeilla tarkoitetaan elektroniikassa käytettäviä komponentteja jotka nimensä mukaisesti johtavat sähköä heikommin kuin varsinaiset johteet. Muita puolijohdeita ovat mm. elektroniikasta tutut transistorit ja tyristorit. Käytetyimmät puolijohderaaka-aineet ovat pii ja germanium, mutta nykyään tehokkaimmat ledit valmistetaan pääosaltaan galliumnitridistä.

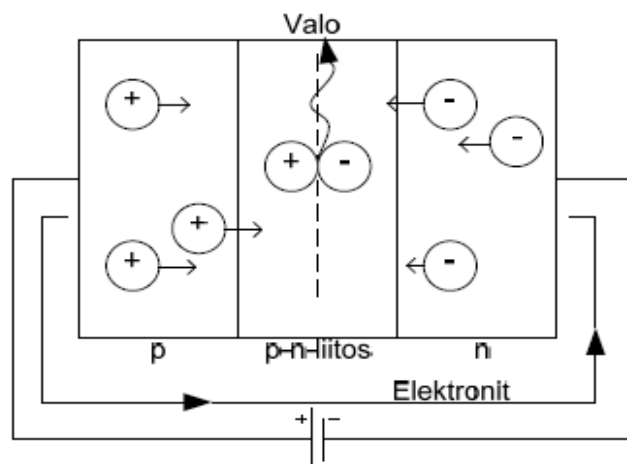
Yleisesti ottaen ledit ovat näkyvää valoa lähettäviä mutta myös ultravioletti- tai infrapuna-aallonpituuksilla toimivia todella kirkkaita valonlähteitä. Led-sanalla voidaan tarkoittaa myös orgaanista valodiodia (OLED) tai polymeeristä valodiodia (PLED).

Ledvaloissa ei ole hehkulankaa kuten perinteisissä valonlähteissä, joten niihin eivät myöskään vaikuta mekaaniset rasitukset. Ledit myös syttyvät ja sammuvat erittäin nopeasti, minkä ansiosta niitä voidaan käyttää esimerkiksi tiedonsiirrossa valokuitua pitkin. (Kallio 2012, hakupäivä 31.1.2013).



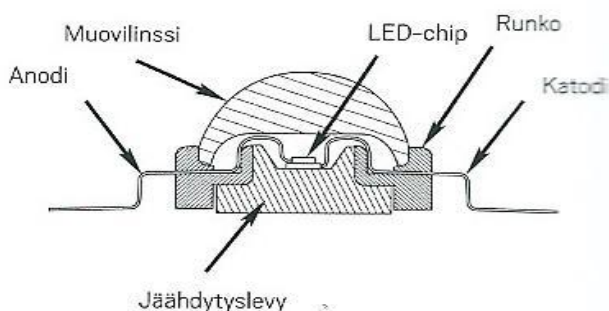
### 3.3 Toimintaperiaate

Led on valmistettu yhdistämällä kahta toisistaan hieman poikkeavaa puolijohdetta toisiinsa. Toinen on p-tyyppin positiivisesti varautunut ja toinen n-tyyppin negatiivisesti varautunut puolijohde. Kohtaa, jossa puolijohdeet on liitetty toisiinsa, kutsutaan p-n-liitokseksi. Valo ledissä syntyy juuri tämän liitoksen kohdalla. Kun ledin kynnsjännite ylitetään, alkavat p-tyyppin puolijohdeessa olevat positiiviset varaukset, eli aukot, liikkua kohti n-tyyppin puolijohdettä. Vastaavasti n-tyyppin negatiivisesti varautuneet elektronit liikkuvat kohti p-tyyppin puolijohdettä. (kuva 4). Kun positiiviset ja negatiiviset varaukset kohtaavat lähellä p-n-liitosta, vapautuu liitoksen kohdalla energiaa valoksi. (Kallio 2012, hakupäivä 31.1.2013).



Kuva 4. Ledin p-n-liitos ja varauksien liikesuunta (Hidealite 2012. LED valaisimet 2012. OEM Finland Oy)

Led asennetaan piirilevyyn mikä mahdollistaa hyvän sähköisen kytkennän ja samalla piirilevy johtaa lämpöä pois ledistä (kuva 5).



Kuva 5. Led-moduulin poikkileikkaus (Hidealite 2012. LED valaisimet 2012. OEM Finland Oy)

Ledillä itsellään ei ole sähköistä vastusta ja sen vuoksi virtapiirissä on oltava virranrajoitus. Ledin ohjauspiiri syöttää sille juuri oikean suuruista vakiovirtaa ja virran suuruus määrittää kuinka paljon led tuottaa valoa. Ledin käyttöjännite on noin 2 – 3 volttia. Erivärisille ledeille ilmoitettu kynnyksjännite on minimijännite, jolla led juuri valaisee riittävästi. Valaistakseen kunnolla ledit vaativat noin 20 mA:n myötävirran. Sopiva virta saadaan valmistajan datatiedoista. Yksinkertaisimmillaan virtaa voidaan rajoittaa etuvastuksella joka mitoitetaan kaavalla 4. Tavallisen diodin tehohäviö muuttuu lämmöksi, mutta ledissä osittain valoenergiaksi. (Volotinen 1997, 208 - 209).

$$R_S = U_S - U_F / I, \quad (4)$$

missä

$R_S$  on etuvastuksen resistanssi

$U_S$  on syöttöjännite

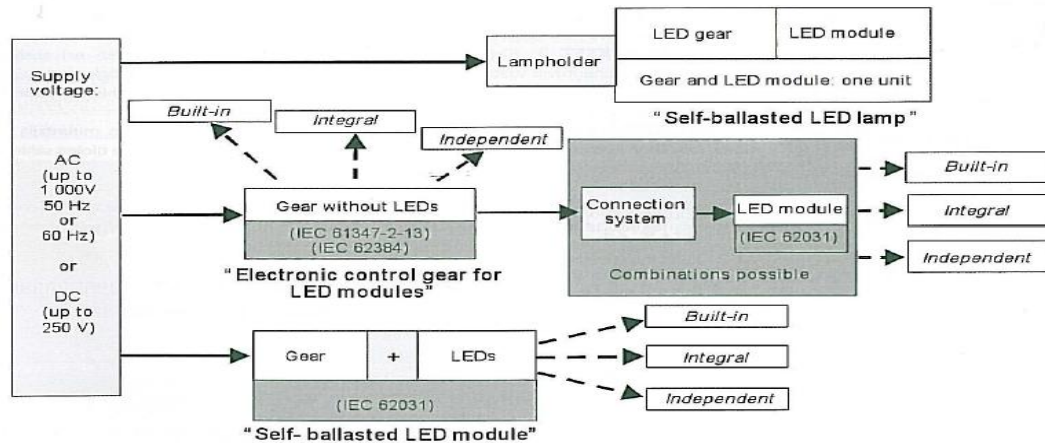
$U_F$  on diodin yli vaikuttava jännite

$I$  on diodin ottama virta (20mA).

### 3.4 Liitännät ja ohjaukset

Led-liitäntälaitteiden on täytettävä liitäntälaitteiden yleisiä turvallisuusvaatimuksia koskevan standardin IEC 61347-1 lisäksi led-liitäntälaitteiden erityisvaatimuksia koskevat standardin IEC 61347-13 vaatimukset. Liitäntälaitteiden suoritusvaatimukset on myös standardisoitu IEC 62384 A1 standardissa. Siinä määritellään muun muassa tarvittavat merkinnät, lähtöjännitteen ja – virran ominaisuudet eri käyttötilanteissa, tehokerroin sekä normaalin että epänormaaliin käyttöön liittyvät vaatimukset. Ledin on myös täytettävä säteilyn biologisia vaikutuksia koskevat vaatimukset.

Koska led-valaisimet sisältävät aktiivista elektroniikkaa, on varmistettava, etteivät ne häiritse muiden laitteiden toimintaa ja että niiden häiriönsieto-ominaisuudet ovat riittävät käyttöympäristössään. Led-moduuleita koskevan standardin IEC 62031 perusteella ledi ja niitä sisältävät kokoonpanot määritellään seuraavasti (kuva 6). (Vesa 2010, hakupäivä 31.1.2013).



Kuva 6. Yleiskuvaus led-moduulien ja liitäntälaitteiden yhdistelmästä. (Vesa 2010, hakupäivä 31.1.2013).

Liitäntälaitteiden tehtävänä on muuttaa verkkojännite 230 V (AC) ledille soveltuvaksi tasavirraksi (DC). Led-valonlähde vaatii aina liitäntälaitteen. Yksinkertaisimmillaan se on vastus, joka rajoittaa virran sopivaksi. Yleensä liitäntälaitteena toimii hakkuri. Hakuritekniikalla saadaan aikaan lähes samanlaiset jännitteet kuin perinteisillä muuntajilla, mutta niiden etuna on pieni koko, keveys ja hyvä hyötysuhde. Useimmiten ledin jännite on 1- 10 voltin välillä ja virta puolestaan 20mA – 3 A:n välillä. Huomioitavaa on, että led- valonlähteessä jännite, virta ja teho voivat olla suurempia, mikäli valonlähteessä on rinnan tai sarjassa kytkettynä useampia puolijohderajapintoja. (Nurmi 2010, 26 -28).

Koska ledit antavat uusia mahdollisuuksia liitäntälaitteille, saattavat perinteiset liitäntälaitteet jättää käyttämättä lisäominaisuuksia joita ovat esim. väri, värilämpötilat sekä kirkkauden matalapää eli pienempi kirkkaus kuin 5 %. Valaisinta valittaessa ST-kortin 57.45 perusteella tulee huomioida liitäntälaitteen osalta seuraavia asioita:

- asennettavien ledien määrä ja sähköiset arvot
- yliteho
- katkokset
- ledin paikallinen napajännite
- lämpötilan kompensointi
- käyttäjän antamat kirkkaudet ja väriasetukset.

Led-valaisimen ohjauksella voi olla seuraavia, käyttäjän toiveesta riippuvia ominaisuuksia:

- valon sytyttäminen ja sammuttaminen
- valon säätö erilaisille kirkkaustasoille
- valon säätö eri värisävyille eri kirkkauksina
- ajallinen automaatiotaso
- ohjain voidaan automatisoida ottamaan ympäristön ohjaussignaaleja huomioon
- ohjaus voidaan toteuttaa Internetin kautta.

Ledejä on mahdollista ohjata liitälaitteen jänniteohjauksella (1-10 V) tai väyläohjauksella. Mahdollisia väyläsovelluksia ovat esimerkiksi DALI, puhelinverkko tai sähköverkko. Järjestelmä on mahdollista saada tehokkaammaksi jos laitteet itsessään tuottavat informaatiota ja väylä on kaksisuuntainen. Näin ollen liitälaitteet havaitsevat valaisimilta tulevat virheet, lähettävät ne ohjaimille joka puolestaan suorittaa säädön tai ilmoittaa virhetilanteesta. (Nurmi 2010, 39–40).

Ledejä voidaan himmentää ohjaimen kautta liitälaitteella, yleisimmin pulssittamalla niitä tietyllä perustaajuudella, joka on 10 – 20 -kertainen verrattuna sähkövirran taajuuteen eli noin 100- 1000 Hertsiä. Pulssin tulee olla sellainen ettei ihmissilmä havaitse sitä, eikä se saa aiheuttaa aivoille alitajuisia ärsykyksiä ja tästä aiheutuvia terveydellisiä haittoja. Kytkeäntaajuudella ei ole merkitystä ledin elinikään, joten himmentäminen näin on mahdollista. Valoa pulssittamalla voidaan myös lähettää tietoa (esim. infrapunakaukosäädin). Himmennys olisi hyvä tehdä säädettävällä vakiovirtalähteellä. Nykyään valonsäätimellä annetaan haluttu kirkkaustieto ja ledit toteuttavat tämän lineaarisella säädöllä. Led reagoikin koko säätömatkaltaan pienemmästä kuin yhden promillen ohjausmuutoksesta (Nurmi 2010, 39–40).

## 4 LEDIN KEHITYS

### 4.1 Historia

Ensimmäinen valoa lähettävä diodi kehitettiin jo vuonna 1907, mutta kesti vielä pitkään enne kuin sitä keksittiin ruveta hyödyntämään mihinkään tarkoitukseen sellaisenaan. Ensimmäinen näkyvää valoa lähettävä punainen ledi kehitettiin General Electricissä vuonna 1962 mies nimeltä Nick Holonyak ja häntä pidetään yleisesti valoa säteilevän diodin isänä.

Ledin ensimmäiset käyttökohteet olivat erilaiset merkkivalot ja indikaattorit johtuen vielä tuolloin niiden heikosta valovoimakkuudesta. Ne yleistyivät 1970-luvulla nopeasti ja niitä käytettiin moniin eri sovelluksiin kuten radioihin, puhelimiin, laskimiin ja rannekelloihin. Japanilainen tutkija Shuji Nakamura esitteli vuonna 1993 uuden keksintönsä, kirkkaan sinisen ledin, joka täydensi ledien väriskaalan kattamaan koko näkyvän valon spektrin ja teki mahdolliseksi valkoisen ledin keksimisen. (Luoma-aho 2010. Hakupäivä 30.1.2013)

### 4.2 Nykytilanne

Nykyään led-tekniikka on levinnyt nopeasti kattamaan lähes kaiken, mitä valaistustekniikkaan voi sisällyttää. Sitä käytetään lähes kaikissa merkkivaloissa, liikennevalot on toteutettu ledeillä ja autojen ajovaloissa on ryhdytty korvaamaan perinteisiä halogeeneja led-valoilla.

Nopea kehitys on johtanut yhä suuritehoisempiin ledeihin, kuten esimerkiksi vuonna 2009 jolloin Amerikassa kehitettiin jo yli 100 lumenia wattia kohden antava led. Nämä suuritehoiset ledit ovat korvaamassa ja osin korvanneetkin hehkulamput, halogeenit ja loistelamput sisäkäytössä ja yhä enenevässä määrin myös ulkovalaistuksessa.

### 4.3 Tulevaisuuden mahdollisuudet valaisintekniikassa

Hehkulampuista ja kaasupurkauslamppuista luovuttaessa on tietenkin tarvetta uusille ratkaisuille. Ledien merkitys valonlähteinä korostuu jatkuvasti komponenttien ja valaistustuotteiden parantuvien ominaisuuksien sekä laskevien hintojen ansiosta. Led-valaisimien luotettavuus paranee koko ajan, kunhan niiden lämmöntuotto pidetään hallinnassa ja niiden valoteho yhdessä uusimpien linssitekniikoiden (kuva 7) kanssa on tehnyt niistä jo nyt varteen otettavan kilpailijan useimmille vanhoille valaistusratkaisuille. Lisäksi ledin koko pienenee edelleen eli valaisimien valotehon nosto koosta riippumatta on helpompaa.



Kuva 7. Valopaan VPM4 M4- led-moduuli. (Valopaa Oy:n tuotekuvasto syksy 2012, hakupäivä 20.1.2013)

Euroopan Unionin EuP-direktiivi ja sen täytäntöönpanosäädökset asettavat useita rajoituksia sähkölaitteiden käytölle. Ulkovalaistuksen suhteen suurin muutos on elohopeahöyrylamppujen poistuminen EU:n markkinoilta vuoden 2015 aikana. Toistaiseksi paras ja mm. kunnissa käytetyin tapa korvata nämä poistuvat valaisimet on vaihtaa tilalle suurpainenaatrium- tai monimetallivalaisimet. Muutostyöt ovat kuitenkin tarvikkeineen kalliita ja muutettavat valaisimet jo muutenkin huonokuntoisia. Lisäksi historiallisia tai arkkitehtien suunnittelemia erikoisvalaisimia ei useinkaan haluta vaihtaa vaikka energiatehokkuus niin vaatisikin.

Valopaa Oy:llä on tähän tulevaisuuden ongelmaan olemassa jo nyt ratkaisu ja sen tarjoavat ns. Retrofit-projektit. Vanhojen valaisimien sisälle asennetaan uusi led-tekniikka. Projektit ovat kokonaisedullisia, koska vain tekniikka vaihdetaan joten ne sopivat kohteisiin, joissa halutaan säilyttää vanha valaisin mutta siirtyä uuteen energia-  
tehokkaaseen tekniikkaan. (kuva 8).



Kuva 8. Idmanin cupola-valaisin VP9203 led-vaihtoyksiköllä toteutettuna. (Valopaan www-sivut 2013, hakupäivä 20.1.2013)

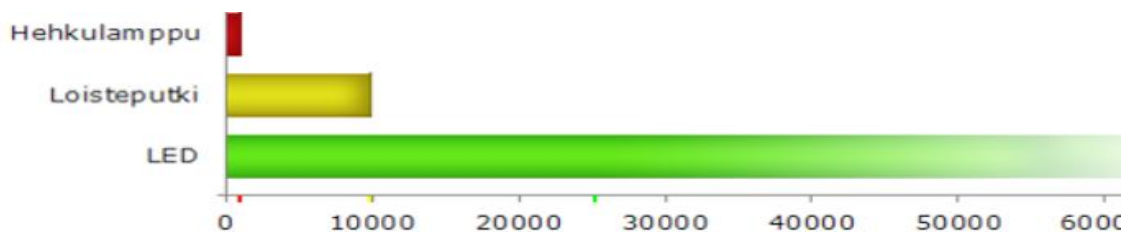
Pienen energiankulutuksen ansiosta led-valoja on ryhdytty käyttämään erilaisissa vaativissa kohteissa etenkin maailman köyhimmillä seuduilla, joilla sähkön saanti on hankalaa perinteisin keinoin. Esimerkiksi Himalajan vuoristoseudulla on voitu valaista syrjäseudun kyliä käyttäen led-tekniikkaa jolloin pienet puroihin rakennetut voimalaitokset ovat riittäneet valaisemaan suuriakin alueita. Lisäksi led-valaisimia yhdistetään aurinkopaneelitekniikkaan, jolloin energia saadaan suoraan valaisimen yhteydestä. Valaisimessa on sisäänrakennettu akusto, jolla valaistus toimii jopa 12 tuntia. (kuva 9)



Kuva 9. Ulkovalaisin- aurinkopaneeliyhdistelmä(Solarone Solutions 2008, hakupäivä 21.1.2013)

#### 4.4 Led-tekniikan edut ja haitat

Led-tekniikan edut perinteisiin valonlähteisiin ovat selkeästi edullisemmat käyttökustannukset eli vähäinen energian kulutus yhdistettynä lähes huoltovapaaseen tekniikkaan. Led-valo kestää hyvin värinöitä ja se syttyy ja sammuu välittömästi. Sen valotehokkuus ylittää jo hehku- ja halogeenilamput. Ledit ovat pitkäikäisiä, hyvän jäähdytyksen ansiosta laadukas valkoinen led voi kestää jopa 50000 tuntia. (kuva 10).



Kuva 10. Eri lamppujen kestoikä tunteina (Leditalo Oy:n www-sivut 2013, hakupäivä 21.1.2013)

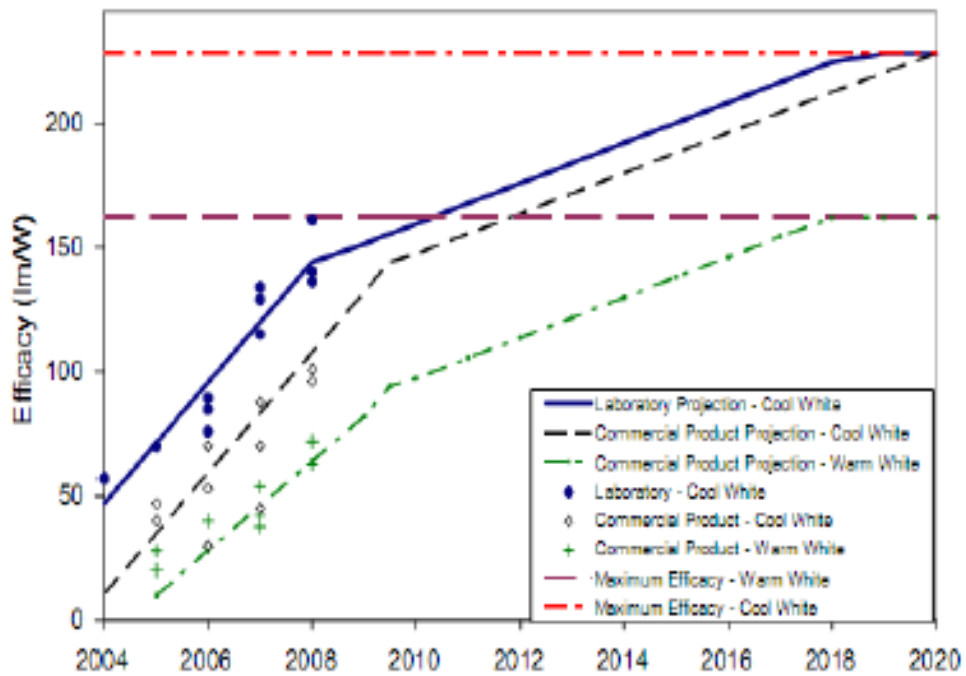
Haittapuolena on ledin lämpiäminen käytössä. Jopa 75 prosenttia sen tehosta muuttuu lämmöksi ja koska led ei säteile lämpöä pois, on se johdettava esimerkiksi valaisimen runkoon (kuva 11). Suunnittelussa onkin kiinnitettävä erityistä huomiota lämmönhallintaan. Led-valaisimien hinnat ovat vielä jonkin verran perinteisiä korkeammat mutta lisääntyvä käyttö tuo hintoja alas koko ajan. Myös ledin aikaisemmin huono valotehokkuus paranee koko ajan huimaa vauhtia. Yksi ledin ongelmista on sen kylmä värinsävy.



Tähän saadaan apua jo aikaisemmin mainitusta valkeasta ledistä johon tutkijat panostavat ja jolta odotetaan paljon tehokkuuteen ja värisävyyntkin liittyen. (kuva 12).



Kuva 11. Led-moduulit asennettuna valaisimen runkoon (Tuoteluettelo Valopaa 2013, 40)



Kuva 12. Valkoisen ledin valotehokkuus (Tetri 2009, hakupäivä 21.1.2013)

## 5 MUUT ULKOVALAISTUSTEKNIIKAT

### 5.1 Hehkulamput

Hehkulamput olivat aikaisemmin yleisimmin käytetty lampputyyppejä halvan hinnan ja hyvien värintoisto-ominaisuuksien vuoksi. Matalan energiatehokkuuden takia niistä on luovuttu varsinkin suurempien ulkoalueiden valaistuksessa. Hehkulampan valotehokkuus on noin 10 – 15 lm/W. Tämä johtuu siitä, että lamput muuttavat yli 90 % käyttämästään energiasta lämmöksi. Hehkulampan elinikä on myös suhteellisen lyhyt, noin 1000 tuntia.

### 5.2 Halogeenilamput

Halogeenilamppu on tekniikaltaan kuin hehkulamppu eli suojakuvun sisällä on ohut hehkulanka jonka lämpötila nostetaan sähkövirran avulla kunnes lanka alkaa hehkua. Halogeenilampan suojakupu on täytetty jodi- tai bromikaasulla, joka mahdollistaa hehkulangan polttamisen kuumempina ja kirkkampana tavalliseen hehkulamppuun verrattuna.

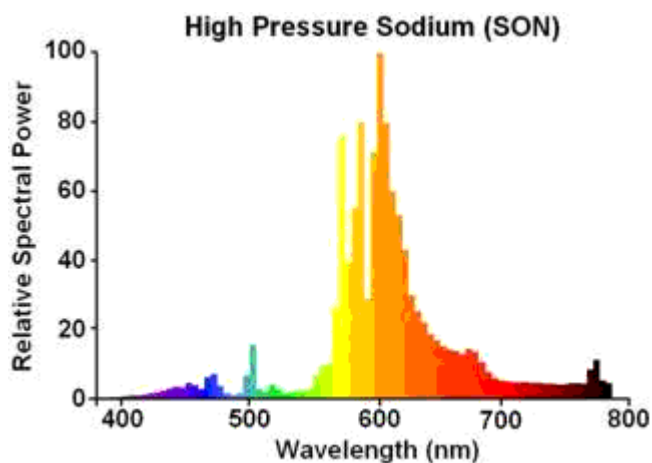
Halogeenilamput ovat tavallisia hehkulamppuja taloudellisempia, kestävämpiä ja tehokkaampia. Niiden valotehokkuus on jopa 50 % parempi kuin tavallisten hehkulamppujen. Halogeenilamppua voidaan säätää samanlaisella valonsäätimellä kuin hehkulamppuakin, mutta sen käyttöikä lyhenee jännitteen laskiessa merkittävästi. Se ei myöskään tarvitse erillistä liitäntälaitetta kytkettäessä sähköverkkoon.

Halogeenilamppuja on saatavilla EU:n alueella ainakin vuoteen 2016 syksyyn saakka. Markkinoille on myös tullut uudempia B-energiatehokkuusluokan lamppuja, jotka ovat entistä energiaystävällisempiä. Nämä lamput tullaan todennäköisesti sallimaan vuoden 2016 jälkeenkin ja niiden valikoiman odotetaan kasvavan voimakkaasti lähitulevaisuudessa.

### 5.3 Suurpainenatriumlamput

Suurpainenatriumlamppu toiminta perustuu kaasupurkaustekniikkaan ja natriumhöyryyn, jota on korkeassa paineessa lampun sisällä. Kun höyryn läpi johdetaan virtaa, se lähettää näkyvää, vaaleankeltaista valoa. Suurpainenatriumlamppu on yleisin teillä ja kaduilla nykyään käytössä oleva lamppu. Niillä on hyvä valontehokkuus, jopa 120 lm/W, sekä pitkä polttoikä, jonka ansiosta ne ovat suhteellisen energiatehokkaita ja käyttökustannuksiltaan edullisia.

Suurpainenatriumlamppu tuottama vaaleankeltainen valo on värilämpötilaltaan 1900 – 3000 kelviniä (kuva 13). Värintoistoindeksi on 20 – 80. Suurpainenatriumlamput ovat teholtaan tavallisesti 50 – 1000 wattia. Niiden kestoikä on jopa 20 000 tuntia (taulukko 3) eivätkä ne himmene merkittävästi elinikänsä aikana. Liitännät sähköverkkoon tehdään virtaa rajoittavan kuristimen ja sytyttimen avulla. Nykyään käytössä ovat niiden tilalla elektroniset liitäntälaitteet. (Luoma-aho 2010. Hakupäivä 30.1.2013)



Kuva 13. Suurpainenatriumlampun värintoistospektri. (Luoma-aho 2010. Hakupäivä 30.1.2013)

### 5.4 Monimetallilamput

Monimetallilamppu (kuva 14) on korkeapaineiseen kaasupurkaukseen perustuva purkauslamppu. Lampun valotekniset ominaisuudet poikkeavat huomattavastikin toisistaan käytettyjen metallien erilaisten purkausominaisuuksien johdosta. Monimetallien

väriämpötila on 3000 – 6000 K ja värintoistoindeksi 60 – 90. Valontehokkuus on lähes suurpainenatriumlampun luokkaa, mutta polttoikä on huomattavasti lyhempi.

Monimetallilamppu ja suurpainenatriumlamppu ovat yleensä vaihdettavissa keskenään käytettävissä valaisimissa. On kuitenkin muistettava, että monimetallilamppu toimii suuressa paineessa, joten niissä on räjähdysvaara. Tämän takia näissä valaisimissa onkin yleensä erillinen suojalasi rikkoontumisen takia. Tievalaistuksessa monimetallilamppu ei ole kovinkaan laajassa käytössä, vaan sitä käytetään lähinnä toreilla ja auki-oilla sekä esimerkiksi urheilustadioneilla hyvän värintoiston ja luonnollisen valonvärin ansiosta.(taulukko 3)



Kuva 14. Monimetallilampulla varustettuja valaisimia.

Taulukko 3. Valonlähteiden ominaisuuksia (Tiehallinto 2006, 78)

Valonlähde	Valo- tehokkuus lm/W	Polttoikä 1000 h	Värintoisto- indeksi $R_a$	Väriämpötila K
Suurpainenatrium	70-120	12-22	20-65	2000-2200
Monimetalli, keraaminen	80-95	5-12	80-95	3000-4200
Elchopea	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 tyyppiä, värejä ja arvoja			

## 6 SUUNNITTELU

### 6.1 Lähtökohdat

Suunnittelun perustana olivat asiakkaan esittämät vaatimukset ja toiveet valaistavan kohteen toteutuksen suhteen. Energiansäästö oli niistä päällimmäisenä. Mukana oli myös valaistuksen säädön helppous ja monimuotoisuus sekä huoltotarpeen minimointi. Energiansäästöä huolimatta ei valaistuksen laadusta tule kuitenkaan tinkiä.

Valaistussuosituksissa lähdetään siitä, kuinka hyvin kyseisessä valaistuksessa pystytään suorittamaan alueella tarkoitetut tehtävät. Suomessa on perinteisesti käytetty Suomen valoteknillisen seuran laatimia sisä- ja ulkotyöpaikkojen valaistussuosituksia. Valopaa Oy käyttää nimenomaan näitä suosituksia. Nykyään on käytössä myös uudet eurooppalaiset SFS-EN 12464-standardit, jotka korvaavat vanhat suositukset.

Ulkovalaistuksen päätehtävä on taata teiden ja katujen turvallinen käyttö pimeän aikana niin jalankulkijoille kuin autoilijoillekin. Lisäksi valaistuksella mahdollistetaan alueilla työn tehokkaan ja turvallisen tekemisen. Valaistus lisää sekä henkilöiden että omaisuuden turvaa ja luo samalla turvallisuuden tunnetta. Ulkotyöalueiden valaistusstandardi määrittelee erilaisille paikoille esimerkiksi keskimääräisen valaistusvoimakkuuden ( $E_m$ ) (taulukko 4), ja valaistuksen tasaisuuden raja-arvot.

Taulukko 4. Ulkoalueiden valaistussuositusten perusteet(Suomen valoteknillinen seura ry 2008, hakupäivä 23.1.2013)

Alueen käyttötarkoitus	$E_m$	$U_o$	GR_L	R_a	Huom.
Kuvaukset käyttötarkoituksista joille on määritelty valaistuksen raja-arvot	5–300	0,1–0,5	45–55	20–60	Esim. Osin poikkeavia vaatimuksia

Taulukon lyhenteet:

- $E_m$  = valaistusvoimakkuuden keskiarvon vähimmäisarvo lukseina

- $U_o$  on valaistuksen yleistasaisuuden vähimmäisarvo
- $GR_L$  on häikäisyn suurin sallittu arvo
- $R_a$  on värintoistoindeksin vähimmäisarvo.

Vaikka kyse on periaatteessa yksityisestä ulkotilasta, on sen käyttö kuitenkin verrattavissa yleiseen alueeseen ja se liittyy kiinteästi päivittäiseen jalankulkuun ja ajoneuvoliikenteeseen, joten nämä lähtökohdat on hyvä huomioida.

## 6.2 Työkalut

Valopaa käyttää valaistussuunnittelutyössään vapaasti käytössä olevaa Dialux-valaistussuunnitteluohjelmistoa. Dialux on vapaasti ladattavissa ohjelmiston kotisivuilta ja se löytyy myös lähes kaikkien valaisinvalmistajien kotisivuilta.

Dialux-ohjelmaan sisältyy lukuisien eri valmistajien valaisintiedot. Tiedoista käy ilmi valotehokkuus, valonjakokäyrät ja muut suunnitteluun tarvittavat tiedot. Dialux-ohjelma on varsin kattava valaistussuunnittelun työkalu sisä-, ulko- ja tievalaistuksen laskentaan. Eri valaisinvalmistajien valaisintietokannat voidaan ladata ohjelmaan valmistajien kotisivuilta. Lisäksi ohjelmaan voi ladata yksittäisiä valaisintietokantoja erikseen.

Ohjelmalla voidaan tehdä vertailevia laskelmia erilaisilla valaistusratkaisuilla ja simuloida oikeaa näkymää kolmiulotteisesti. Näin suunnittelija löytää kuhunkin kohteeseen tehokkaimmat valaisimet ja sopivan valaisinmäärän alueelle.

Valaistuksen suunnitteluun on olemassa monenlaisia laskentatapoja riippuen siitä, kuinka tarkat tekniset lopputulokset kohteesta halutaan saada. Suomen sähköurakoitsijaliitto ry ja Suomen valoteknillinen Seura ry ovat julkaisseet Valaistustekniikka-kirjasarjan, jonka ensimmäisessä osassa Valaistustekniikan käsikirja 1 on annettu valaistussuunnittelijalle hyvinkin yksityiskohtaista tietoa valaistuksen laskennasta. Siinä käydään myös läpi yleistä tietoutta valosta ja valaistuksesta perusteista lähtien. Kirja onkin tarkoitettu lähinnä opetuskäyttöön erilaisten yksittäisten valonlähteitten tarkkaa laskentaa varten.

Valaistussuunnitelma liittyy läheisesti sähkösuunnitelman tekoon, joten valaisinratkaisut täytyy olla myös sähkösuunnittelijan tiedossa, kun ulkoalueiden sähköistystä ryhdytään miettimään. Suomessa paljon käytössä oleva Cads Planner-suunnitteluohjelmaan voidaan ladata Dialux-valaistuskartat valaisintietoineen suoraan suunnittelijan käyttöön. Sen jälkeen sähkösuunnittelija laskee ja piirtää tarvittavat syöttökaapelit, tekee ohjauspiirikaaviot ja tarkistaa valaisimien lopulliset sijoitukset asemakaavaan. Valopaa Oy:llä ei tehdä varsinaista sähkösuunnittelua mutta valaistussuunnitelmat voidaan antaa sähkösuunnittelijan käyttöön.

Valaistuksen elinkaarilaskelmalla (LCC, Life cycle costs) voidaan tarkastella kaikkia yhteenlaskettuja kustannuksia valaistuksen koko elinkaaren aikana aina sen valmistuksesta käytöstä poistoon asti. Kustannukset voidaan jakaa kahteen eri lohkoon: vuotuisesta käyttöajasta riippumattomiin kiinteisiin kustannuksiin ja niistä johtuviin muuttuviin kustannuksiin. Ensin mainittuun kuuluvat esimerkiksi hankintakustannukset ja asennuskustannukset.

Muuttuvia kustannuksia ovat puolestaan energiankulutus, lamppukustannukset ja huolto- ja korjauskustannukset.

### 6.3 Asetukset ja ohjeistukset

Kohteen oleva Nesteen jakeluaseman valaistussuunnittelussa noudatetaan Valopaan mukaan Suomen Valoteknillisen Seuran alun perin 1990 julkaisemaa Valaistussuosituksia ulkotyö- ja piha-alueille – raporttia. Lisäksi Neste Oil on antanut omat valaistussuosituksensa jotka koskevat mittarikentän valaistusta. Sen mukaan mittarikentälle täytyy tulla valoa noin 500 luksia mitattuna kentän pinnasta.

Sähköasennuksissa käytettävien sähkölaitteiden on yleisesti ottaen täytettävä sähkölaitteiden turvallisuudesta annetun kauppaja- ja teollisuusministeriön päätöksen (1964/1993) sekä sähkölaitteistojen magneettisesta yhteensopivuudesta annetun asetuksen vaatimukset. Sähkölaitteen, joka on Euroopassa yhdenmukaistettujen standardien vaatimusten mukainen, katsotaan täyttävän turvallisuusvaatimukset. (Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus 2007, 66).

Ulkovalaistusasennuksissa sovelletaan lisäksi äsken mainitussa lähteessä standardin SFS 600-7-714 kohtaa ulkovalaistusasennuksista ja se koskee nimenomaan kiinteitä ulkovalaistusasennuksia.

Palavan nesteen valmistukseen, teknilliseen käyttöön, käsittelyyn tai varastointiin käytettävien tilojen sähköasennusten ja tiloissa käytettävien sähkölaitteiden osalta on noudatettava sähköturvallisuusmääräyksiä. (KTMP asetus palavista nesteistä 1198/95 313/85.66 §).

#### 6.4 Valaistussuunnittelun kulku

Valaistuksen tärkeimmät tehtävät ovat näkyvyyden lisääminen, ympäristön mahdollisimman hyvä hahmottaminen sekä ilmapiirin synnyttäminen. Jakeluaseman aluevalaistuksen tarkoitus on taata yrityksen tarjoamien palveluiden käytön turvallisuus. Suunnittelussa määritellään oikeanlainen ja kokonaisvaikutuksiltaan edullisin valaistusratkaisu kun otetaan huomioon kappaleessa 6.3 esitetyt vaatimukset. Valopaan led-valaisimet täyttävät kaikki vaatimukset, mitä ulkovalaistukselle on Suomessa asetettu.

Lähtökohtana on rakennuttajan esittämä rakennussuunnitelma, tässä tapauksessa alueelle tehty asemapiirros. Asemapiirroksesta käy selville alueen käyttösuunnitelma eli rakennukset, ajoväylät, parkkialueet sekä palvelupisteet. Lisäksi asemapiirroksesta käy ilmi yhteydet ympäröiviin yleisiin liikuntaväyliin, tässä tapauksessa nelostiehen ja sen viereiseen kevyen liikenteen väylään.

Rakennuttaja esittää omat toiveensa ja vaatimuksensa valaistuksen suhteen, jonka jälkeen varsinainen suunnittelutyö voi alkaa. Suunnittelija laskee alueitten valaistustarpeen ja valitsee sen jälkeen sopivat valaisintyypit ja määrittelee valaisinten lukumäärän. Dialux-suunnitteluohjelmaan syötetään asemapiirros johon valaisimet sijoitetaan. Ohjelmaan aikaisemmin liitetyt valaisintiedostot tulevat laskentaohjelman käyttöön. Kun valaisimet on sijoitettu paikoilleen, määritellään niille vielä asennuskorkeudet sekä asennuskulma suhteessa alustaan. Ohjelma laskee tämän jälkeen keskimääräisen valaistusvoimakkuuden ( $E_m$ ), antaa niistä ns. arvokaavion alueelle (liite 1) sekä näyttää myös valaisinten sijoittelun sekä kaksi- että kolmiulotteisesti. (liite 2).



Dialux-suunnitteluohjelma antaa tulokset alueen valaistusvoimakkuuden jakautumisesta niin sanottuina isolux-käyriinä. (liite 3). Isolux-käyristä suunnittelija näkee havainnollisesti valaistusvoimakkuuden jakautumisen alueen keskeltä reunoja kohti. Niistä näkee, onko valaistusvoimakkuus käytetyillä valaistusratkaisuilla riittävä annettujen arvojen suhteen.

Suunnitteluohjelmalla voidaan siis simuloida valaistustilanteita kokeilemalla erityyppisiä valaisinratkaisuja. Tällöin voidaan valita optimaalinen tulos sekä valaistusvoimakkuuden että valaisinten määrän ja asennustavan suhteen.

Valmis suunnittelutyö esitellään asiakkaalle ja mikäli tällä ei ole suunnitelmaan lisättävää, lasketaan lopuksi kustannukset valaisimien hankintahintojen perusteella. Valopaan tie- ja katuvalaisimet on suunniteltu sopiviksi normaaleihin käytössä oleviin valaisinpylväsratkaisuihin niin vaaka- kuin pystysuunnassa asennettaviksi. (kuvat 15 ja 16)



Kuva 15. VP 1302 led-katuvalaisin pystyyn asennettuna. (Tuoteluettelo Valopaa 2013)



Kuva 16. VP 1302 led-katuvalaisin vaakaan asennettuna. (Tuoteluettelo Valopaa 2013)

## 7 JAKELUASEMAN ALUEVALAISTUS

### 7.1 Kuivaniemen Nesteen jakeluasema

Nesteen Kuivaniemen jakeluasema sijaitsee aivan nelostien varrella otollisella paikalla asiakasvirtaa ajatellen. Uusi jakeluasema rakennetaan nykyisen paikalle ja samalle tontille, piha-alueen laajetessa nykyisestä nelostien suuntaan. (liite 4). Tässä opinnäytetyössä kuvattu valaistussuunnitelma kattaa uuden piha-alueen nelostien puoleiset paikoitusalueet sekä etupihan mittarikentän. Muista alueista tehdään valaistusratkaisut myöhemmin.

Liittymät Kirkonkyläntielle ja edelleen nelostielle on tarkoitus uusien leventämällä nykyisiä liittymiä. Samalla tullaan nelostien liittymään rakentamaan liikenteenjakaaja ja erilliset kaistat jakeluasemalle suuntautuvaa liikennettä ajatellen.

### 7.2 Valaistuksen toteutus

Valaistussuunnitelmassa päädyttiin käyttämään pysäköintialueiden osalta Valopaan tie- ja katuvalaistuskäyttöön tarkoitettua VP 1302 M3L v12-valaisinta. (liite 5). Se on erityisesti suunniteltu käytettäväksi katujen ja teiden valaisuun mutta soveltuu hyvin myös aluevalaistukseen. Valaisin asennetaan valaisinpylvään päähän ja sen asennuskulmaa voidaan säätää 5 asteen portain valaisimessa olevalla nivelellä. Led-moduulit ja liitäntälaitte ovat vaihdettavissa kukin erikseen ja ne ovat koteloituja vesi- ja pölytiiviksi. Ottoteho niillä on 30 wattia ja hyötyvalomäärä 2700 luminanssia.

Mittarikentän valaistus suunniteltiin tehtäväksi Valopaan VP2321i M8 V8 700mA-tyyppin valaisimella (liite 6). Tämä valaisin on suunniteltu käytettäväksi alikäytävissä, katoksissa ja teollisuushalleissa joten se soveltuu hyvin huoltoasemien mittarikenttien katosten valaisuun. Valaisin asennetaan yleensä upotettuna kattorakenteeseen, jolloin kattopinnan alapuolelle jäävät vain lämpöä luovuttava asennuslevy ja valoa tuottavat led-moduulien linssirakenteet. Ottoteho valaisimella on max. 145 wattia ja hyötyvalomäärä puolestaan 12800 lm.

VP1302- valaisimia asennetaan kaikkiaan 14 kappaletta, joista 6 kappaletta mallin yksi-puolista versiota ja 8 kappaletta kaksiosaista valaisinrakennetta. Mittarikentän katokseen VP2321-valaisimia tulee yhteensä 12 kappaletta suorakaiteen muotoisesti asennettuna.

### 7.3 Ohjaustekniikat

Valopaan valaisimien ohjaukset voidaan toteuttaa monin eri tavoin. Kuivaniemen jakeluaseman pysäköintialueiden ohjaus tullaan toteuttamaan perinteisesti. Toteutukseen kuuluvat normaali käyttökytkin sijoitettuna jakeluaseman sisätiloihin, yleensä valaistuksen ohjauskeskukseen. Hämäräkytkin sammuttaa valot, kun päivänvalo on riittävän voimakas ja viikko- ja vuorokausikellolla voidaan ohjata valaistus toimimaan vuosikalenterin mukaisesti huomioiden esimerkiksi kesä- ja talviajat.

Mittarikentän katokseen tulevat VP2321-valaisimet ovat tuotekortista poiketen suunniteltu toimimaan muuntuvan valaistusjärjestelmän kanssa. Niiden ohjaus ja säätö voidaan toteuttaa usealla eri tekniikalla. Muuntuvan valaistuksen määrän ratkaisulla valomäärää muutetaan tarpeen ja tilanteen mukaan ja sillä päästään jopa 80 % energiansäästöön. Se myös pidentää entisestään lamppujen elinikää ja kun tähän lisätään iän tuoman valomäärän vähenemisen kompensointi, niin valomäärä pysyy lähes samana koko valaisimen elinkaaren.

Älykäs valaistusjärjestelmä koostuu älykkäiden valaisimien lisäksi master – yksiköstä (liite 7), siihen liitettävistä antureista sekä Internet – yhteydestä, jota voidaan hoitaa esimerkiksi kannettavan tietokoneen avulla. Tällä käyttöliittymällä asetetaan halutut valaistustasot, niiden muutosnopeus ja pitoajat sekä ohjelmoidaan antureiden toiminnot. Anturit voidaan ohjelmoida toimimaan liiketunnistimena, kirkkausanturina tai hämäräkytkimenä. Master -yksikön kautta voidaan ohjelmointeja ja säätöjä muuttaa etäyhteydellä Internetin kautta tai GPRS -kommunikaation avulla.

Älykäs valaistusjärjestelmä ottaa huomioon ympäröivän tilan kirkkauden huomioimalla esimerkiksi onko asfaltti märkää tai onko lunta maassa, jolloin valaistuksen tasoa muutetaan tilanteeseen sopivaksi. Kun mittarikentällä ei havaita liikettä, valaistusjärjestelmä laskee valaistuksen tasoa aseteltujen arvojen mukaan. Asiakkaan saapuessa kentälle

valaistuksen taso nostetaan jälleen ylemmälle tasolle. Valaistuksen muutos tapahtuu nopeasti koska led-valaisintekniikalla toteutettuja valaisimia on helppo säätää hyvinkin lyhyellä aikavälillä.

#### 7.4 Sähkön syöttö ja suojaukset

Valaisimien sähkösyöttö ja siihen liittyvät suojaukset eivät kuulu valaistussuunnitelmaan, mutta ne ovat luonnollisesti olennainen osa valaistusjärjestelmää. Kuivaniemen liikenneasemalle ei ole vielä olemassa valmista sähkösuunnitelmaa, joten tässä osiossa tarkastellaan yleisiä sähkön syöttöön, kaapelointiin ja suojaukseen kuuluvia asioita ja laskelmia.

Syöttökaapelit sijoittuvat ajoratojen alle, joten ne asennetaan suojaputkiin. Putken halkaisija määräytyy kaapelin paksuuden ja niiden lukumäärän perusteella, matkan pituuden takia kannatta käyttää vähintään 110 mm kokoista putkea. Kaapelina käytetään MCMK- kaapelia poikkipinnan ollessa vähintään 2,5 mm<sup>2</sup>. Kaapeleiden kuormitettavuus on kuitenkin mitoitettava heikoimman referenssiasennustavan mukaan standardista SFS 6000 löytyvien taulukoitten avulla.

Jännitteen alenema on kohteen valaistussyötöissä vähäinen johtuen suhteellisen lyhyistä etäisyyksistä. Jakeluaseman lähistölle toimittaa sähkölaitos uuden muuntamon, joten jännitteen tasaisuus ja riittävyys eivät tuota ongelmia. Jännitteen alenema voidaan kuitenkin tarvittaessa laskea. Se lasketaan pääkeskukselta valaisinryhmän viimeiselle pylvälle kolmivaiheisella laskentatavalla (kaava 5). Led-valaisinten liitäntälaitteet sallivat suhteellisesti suuremman jännitevaihtelun toimiakseen kuin esimerkiksi purkauslamput, ylijännitteet ovat kaikkein haitallisimpia.

$$U_a = RI * \cos\varphi + XI * \sin\varphi \quad (5)$$

missä

$U_a$  on jännitteenalenema

$R$  on resistanssi ( $\Omega$ )

$X$  on reaktanssi ( $\Omega$ )

$\varphi$  on virran ja jännitteen välinen vaihekulma

Oikosulkusuojausta varten on selvitettävä oikosulkuvirrat. Ne määräävät suojaavan sulakkeen kokoluokan. Jos kyseessä on johdonsuojakatkaisija, oikosulkuvirran avulla määritellään myös katkaisijan tyyppi, yleensä se on B-tyyppi tai C-tyyppi (liite 8). Oikosulkuvirrat lasketaan yleisesti kaavalla, jossa vikapiirin impedanssit on laskettu aritmeettisesti yhteen (kaava 6). Laskennassa määritellään oikosulkuvirta vaihe- ja suoja-johtimen välisessä oikosulussa.

$$I_k = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (6)$$

missä

$I_k$  on pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta (A)

$c$  on jännitteenaleneman huomioiva kerroin, yleensä 0,95

$U$  on pääjännite (V)

$Z_k$  on vikapiirin kokonaisimpedanssi ( $\Omega$ )

Uusimmat säädökset määräävät käytettäväksi mitoitusvirraltaan enintään 30 mA vika-virtasuojia myös ulkovalaistusasennuksien yhteydessä.

Sähkölaitteiden kotelointiluokka pitää olla vähintään IP33. Kotelointiluokka IP23 kuitenkin riittää valaisimille, jos likaantumista esiintyy vähän ja valaisimet on sijoitettu yli 2,5 metrin korkeuteen maan pinnasta (SFS 6000-7-714, 490).

## 7.5 Kustannukset

Tarkempi kustannuslaskenta on tässä vaiheessa vaikeaa, koska käyttöaikaa ei vielä voida tarkemmin määritellä. Tehon kulutus teoriassa voidaan laskea valaisinten lukumäärän perusteella:

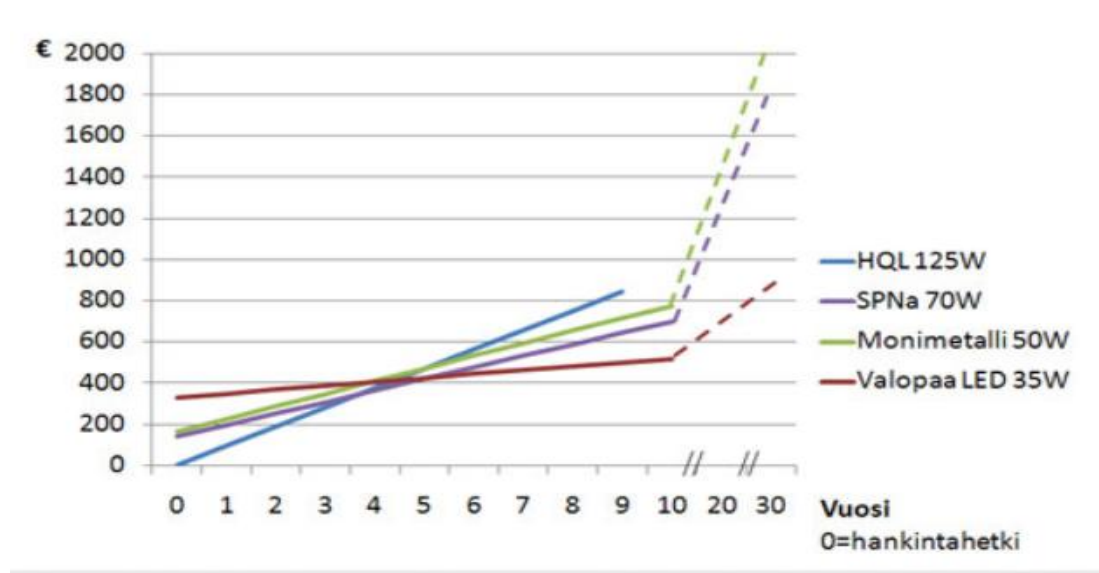
- 14 kpl 30W valaisinta kuluttaa yhteensä 420 wattia
- 12 kpl 145W valaisinta kuluttaa ns. kesikulutuksella yhteensä 840 wattia
- yhteenlaskettu kulutus on siis 1260 wattia.

Pylväsvalaisinten hankintahinta on Valopaan mukaan noin 350 euroa kappale ja katoksen valaisimet 600 euroa. Näin kokonaishankintahinnaksi tulee valaisinten osalta noin 12 000 euroa. Tämä voi kuulostaa suurelta summalta, mutta on muistettava että perinteiset tievalaisintyytit maksavat nykyään lähes yhtä paljon ja jos valotehokkuuden mukaan valitaan esimerkiksi vastaava monimetallivalaisin, voi hankintahinta nousta vieläkin suuremmaksi. Esimerkkinä erään tukkumyyjän hinnoista monimetalli- tai suurpainenatriumvalaisimen hinta liitäntälaitteineen oli 298 euroa.

Elinkaarikustannuslaskennalla tarkastellaan kaikkia yhteenlaskettuja kustannuksia valaistuksen koko elinkaaren aikana. Tarkkojen elinkaarikustannuslaskelmien ollessa kyseessä ovat laskutoimitukset melko monimutkaisia nykyarvolaskentamenetelmiin perustuvassa laskennassa. Laskentamallia voidaan yksinkertaistaa ottamalla huomioon asennus, ylläpito sekä sähkönkulutus. Lisäksi otetaan huomioon sähkön hinta ja työ kustannukset. Energiakustannukset ovat keskeinen tekijä elinkaaritarkastelussa (kuva 17).

Lähitulevaisuudessa elinkaarilaskentamallit tulevat olemaan yhä enemmän arvossaan, koska erityisesti sähköenergian hinta on voimakkaassa nousussa. Elinkaarilaskelman arvion käyttö mahdollistaa esimerkiksi sen tarkastelun, mikä on valaistuksen vaikutus elinkaaren aikana kertyviin käyttökustannuksiin. Luonnollisesti hankintahinta on asiakkailla etusijalla, mutta elinkaarilaskelmien avulla saadaan myös täsmällistä tietoa energiakustannuksista eri valaistusvaihtoehdoilla.

Esimerkissä sähkön hinta on 0,1€/kWh ja valaisimien vuotuinen käyttöaika on 4 500h. Elinkaarikustannuslaskelmissa on verrattu tämän hetkisiä purkauslamppuvalaisimia, uusia purkauslamppuvalaisimia ja led-valaisimia. Koska kyseessä on yksistään Valopaan valaisimista, led-valaisimen energiatehokkuutta ja ylläpidon kustannuksia ei pidä yleistää koskemaan kaikkia led-valaisimia. Laskelmista voidaan huomata, että led-valaisimen hankinnan jälkeiset vuotuiset kustannukset ovat huomattavan alhaiset suhteessa entisiin ja uusiin purkauslamppuvalaisimiin. Tulokset osoittavat myös, että vanhat purkauslamppuvalaisimet voidaan korvata hyvillä pitkän eliniän omaavilla led-valaisimilla vain noin 4 vuoden vuosikustannuksilla.



Kuva 17. Keskiarvoistettu, kumulatiivinen kustannus elinkaaren yli erilaisilla valaistustekniikoilla. (Valopaan www-sivut, hakupäivä 31.1.2013)

On huomattava, että yllä oleva tulos on esimerkki. Kustannukset voivat vaihdella toimittajasta riippuen. Laskelman yksityiskohtaisempi taulukko (taulukko 5) perustuu hinta- ja kustannustiedoilta keskimääräiseen, asiakkailta saatuun tietoon.

Taulukko 5. Elinkaarikustannukset erityyppisillä valaistusratkaisuilla. (Valopaan www-sivut, hakupäivä 31.1.2013)

	Yksikkö	HQL-125W	SPNa-70W	Monimetalli 50W	Valopaa LED 35W
Ottoteho	KW	0,16	0,08	0,058	0,035
Hankintahinta ja asennus	€	0	140	165	330
Energiakustannus vuodessa	€	72	36	26	16
Ryhmävaihto	€/vuosi	12	10	20	0
Korjauskustannus	€/vuosi	10	10	15	3
Hankintahetken kustannus	€	0	140	165	330
Kustannukset 1 vuoden jälkeen	€	94	196	226	349
Kustannukset 2 vuoden jälkeen	€	188	252	287	368
Kustannukset 3 vuoden jälkeen	€	282	308	348	386
Kustannukset 4 vuoden jälkeen	€	376	364	409	405
Kustannukset 5 vuoden jälkeen	€	470	420	471	424
Kustannukset 6 vuoden jälkeen	€	564	476	532	443
Kustannukset 7 vuoden jälkeen	€	658	532	593	461
Kustannukset 8 vuoden jälkeen	€	752	588	654	480
Kustannukset 9 vuoden jälkeen	€	846	644	715	499
Kustannukset 10 vuoden jälkeen	€		700	776	518
Kustannukset 20 vuoden jälkeen	€		1260	1387	705
Kustannukset 30 vuoden jälkeen	€		1820	2003	890

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Led-valaistustekniikka on noussut vauhdilla muutaman kymmenen vuoden takaisista, lähinnä merkkivaloista ja muista vastaavista käyttökohteista, hyvinkin varteenotettavaksi ratkaisuksi etenkin energiasäästöön pyrittäessä. Vaikka investointikustannukset voivat olla vielä moninkertaisia perinteisiin ratkaisuihin nähden, säästöt energia- ja huoltokustannuksissa tekevät led-valaisintekniikan kannattavaksi jo varsin lyhyelläkin tarkastelujaksolla.

Aikaisemmin, vanhan teknologian valaistusratkaisujen hankintapäätöksiä tehtäessä, ei elinkaarikustannuksista vielä puhuttu tällä nimellä. Pitkän aikavälin kustannuslaskelmia ja – malleja on kyllä ollut käytössä mietittäessä erilaisia valaisinvaihtoehtoja. Yleensä asiakkaalla oli tietty rahasumma budjetoituna hankintoihin jonka mukaan tavoiteltiin riittävä määrä valaisimia. Elinkaarilaskennan tarkoituksena onkin hahmottaa valaistusjärjestelmien takaisinmaksuaikaa.

Led-valaisimien aiheuttama kustannusrakenne on kuitenkin erilainen verrattuna vanhempiin valaistustekniikoihin, joten laskentamalleja on sen mukaan uudistettava. Led-valaisintekniikka tuo muutoksia esimerkiksi energiankulutukseen, tuotteiden elinikään ja ylläpitokustannuksiin. Kun näihin lisätään älykkäät ja monikäyttöiset valaistusten ohjaus- ja säätömahdollisuudet, päästään jo aika pitkälle uuden led-tekniikan hyödyntämisessä.

Led-tekniikka on tällä hetkellä vielä murrosvaiheessa ja sen kehitysmahdollisuudet nähdään maailmalla erittäin lupaavina. Parhaat kuluttajille suunnatut led-valaisimet ylittävät tänä päivänä perinteisten valaistusvaihtoehtojen valotehokkuuden. Tämä lisää valmistajien kiinnostusta led-valaisimien kehittämiseen ja on saanut monet suuret valaisinvalmistajat siirtymään yhä suuremmassa määrin pois vanhoista tekniikoista. Markkinoille on tullut jo paljon pelkästään led-teknoologiaan keskittyneitä yrityksiä, joista useimmat myös valmistavat itse tuotteensa. Valopaa Oy on tässä joukossa omalta osaltaan kehittämässä ledistä tulevaisuuden ehkä yleisintä valaistustapaa.



Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli antaa yksi varteenotettava vaihtoehto mietittäessä valaistusratkaisuja erilaisille ulkoalueille. Teemana oli energiansäästäminen ja yleinen energiatehokkuus, joten työ oli hyvinkin ajankohtainen ja tärkeä.

## LÄHTEET

- Ahponen, Veikko & Kasurinen, Esko & Timonen, Tapani 1996. Valaistuksen laskenta, mittaus ja huolto. Espoo: Suomen valoteknillinen seura ry.
- Azzam, Moneer 2005. The case for solar-powered LED lightning. Leds Magazine 10.6.2005, 2.
- Easy-led Oy:n www-sivut 2012. Hakupäivä 29.1.2013. <[www.led1.fi](http://www.led1.fi)>
- Hide-a-lite Oy:n www-sivut 2013. Hakupäivä 25.1.2013. [www.OEM.fi](http://www.OEM.fi)
- Kallio, Jyri 2012. Led-kortin tuotantotestin suunnittelu ja toteutus. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu, Turku.
- Laki radiotaajuuksista ja telelaitteista. Ktmp 1015/2001.
- Leditalo Oy:n www-sivut 2013. Hakupäivä 21.1.2013. [www.leditalo.com](http://www.leditalo.com)
- Luoma-aho, Johannes 2010. Teollisuusalueen valaistuksen vertailu ja toteutus. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu, Vaasa.
- Manninen, Jouni 2012. Led-valaistuksen ja ohjauksen hankinta-, käyttö- ja energiakustannusten laskenta sekä vertailu. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu, Mikkeli.
- Nurmi, Tommi 2010. Valaistuksen säädettävyyden vaikutus lamppujen, liitäntälaitteiden ja komponenttien elinikään ja elinkaarikustannuksiin. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, Tampere.
- SFS-käsikirja 600, 2007. Pienjänniteasennukset ja sähkötyöturvallisuus, SFS 6000-7-714.
- ST-kortisto 2002. ST 58.02. Valaistusohjeistus standardin EN 12464 mukaisesti. 15.9.2002.
- Tetri, Eino & Raunio, Johannes & Halonen, Liisa 2011. Opas hehkulamppujen korvaamiseksi. Hakupäivä 20.1.2013. <EkoValo <http://lightinglab.fi/ekovalo>>
- Valaistussuosituksen: Ulkotyö- ja piha-alueet 1991. Espoo: Suomen valoteknillinen seura ry.
- Valopaa Oy:n www-sivut 2013. Hakupäivä 28.1.2013. <[www.valopaa.com](http://www.valopaa.com)>
- Vesa, Juha 2010. Ledit valonlähteinä. Sähköala 8/2010.
- Volotinen, Vesa 1997. Analoginen elektroniikka, komponentit ja peruskytkennät. Helsinki: WSOY.

## LIITTEET

- Liite 1. Dialux-arvokaavio pysäköintialueesta
- Liite 2. Valaisinten sijoituskuvat
- Liite 3. Mittarikentän isolux-käyrästä
- Liite 4. Kuivaniemen Nesteen jakeluaseman asemapiirros
- Liite 5. Tuotekortti VP1302-valaisimesta
- Liite 6. Tuotekortti VP2321 M8-valaisimesta
- Liite 7. Tuotekortti Valopaan Master-ohjausyksiköstä
- Liite 8. gG-sulakkeiden ja johdonsuojakatkaisijoiden vaatimat oikosulkuvirrat

## Arvokaavio pysäköintialueesta

Neste Oil Kuivaniemi

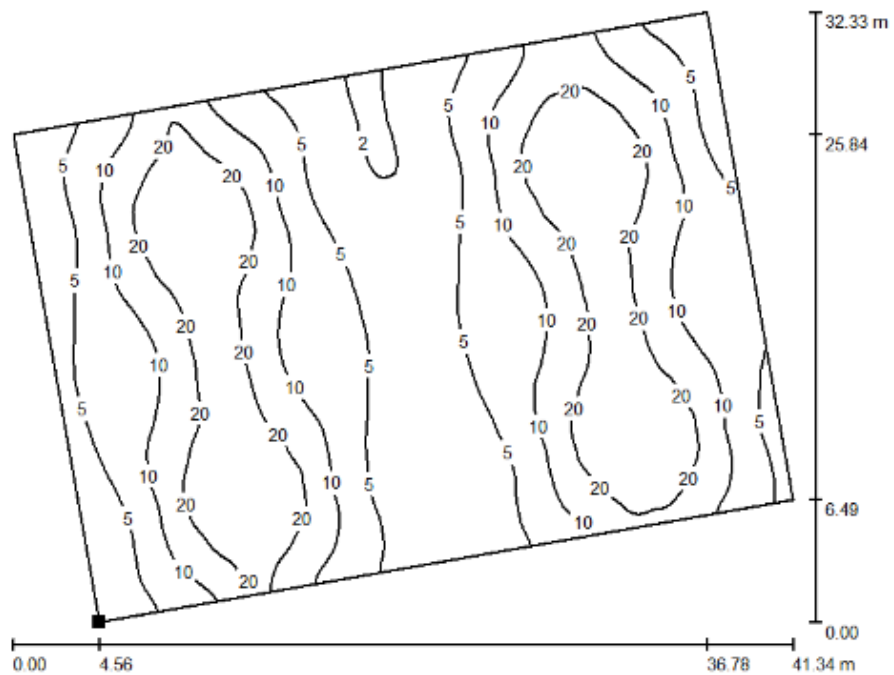
Valopaa Oy

Konekuja 2, 90630 Oulu  
Finland**DIALux**

30.01.2013

Tekijä Ilkka Kalliola  
Puhelin +358 40 568 6615  
Faksi  
Sähköpostiosoite ilkka.kalliola@valopaa.com

## Ulkotilanne 1 / Pysäköinti 2 / Isolux-käyrät (E, kohtisuora)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 296

Pinnan sijainti ulkotilanteessa:  
Merkitty piste:  
(81.537 m, 116.612 m, 0.000 m)

Rasteri: 128 x 128 Pisteet

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
11	1.59	30	0.139	0.053

## Valaisimien sijoittelu alueella

Neste Oil Kuivaniemi



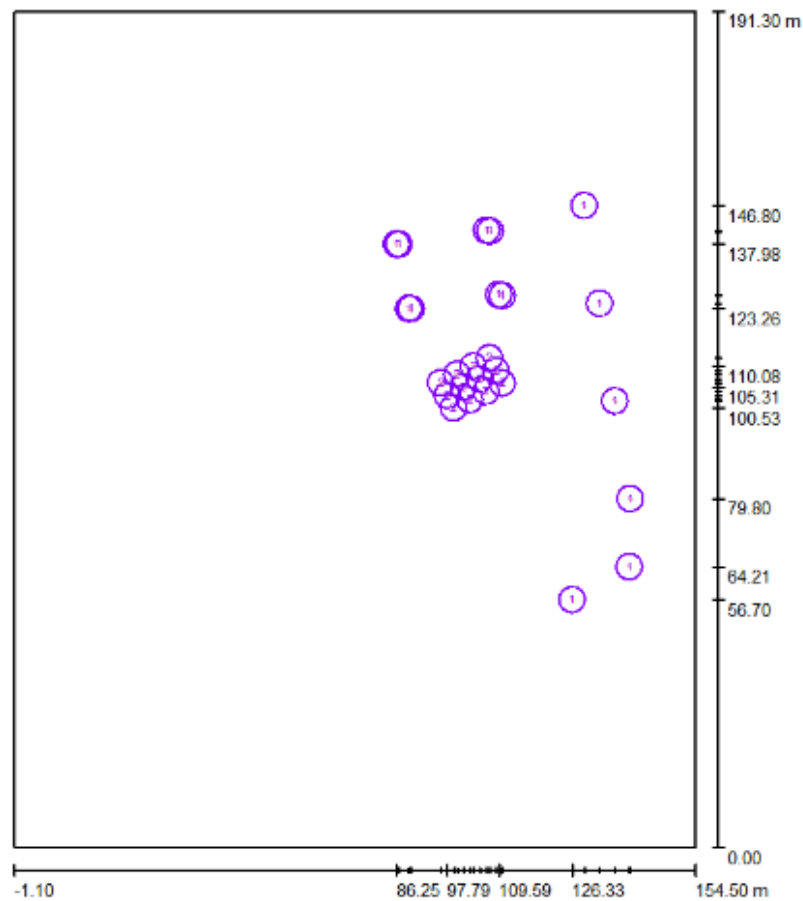
DIALux

30.01.2013

Valopaa Oy

Konekuja 2, 90630 Oulu  
FinlandTekijä Ilkka Kallio  
Puhelin +358 40 568 6615  
Faksi  
Sähköpostiosoite ilkka.kallio@valopaa.com

## Ulkotilanne 1 / Valaisimet (pohjakuva)



Mittakaava 1 : 1294

## Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus
1	14	Valopaa Oy VP1302 M3L v12
2	12	Valopaa Oy VP2321 M8 V8 700mA

## Isolux-käyrät mittarikentän osalta

Neste Oil Kuivaniemi



DIALux

30.01.2013

Valopaa Oy

Konekuja 2, 90630 Oulu  
Finland

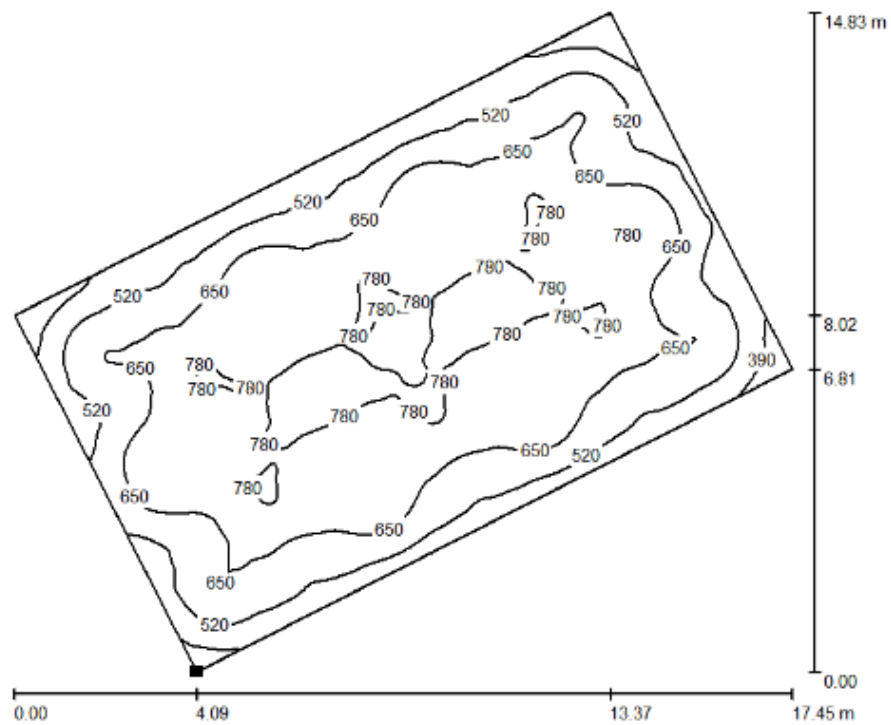
Tekijä Ilkka Kaitola

Puhelin +358 40 568 6615

Faksi

Sähköpostiosoite ilkka.kaitola@valopaa.com

## Ulkotilanne 1 / Mittarikenttä / Isolux-käyrät (E, kohtisuora)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 125

Pinnan sijainti ulkotilanteessa:  
Merkitty piste:  
(98.760 m, 98.986 m, 0.000 m)

Rasteri: 128 x 128 Pisteet

 $E_m$  [lx]  
639 $E_{min}$  [lx]  
258 $E_{max}$  [lx]  
859 $E_{mh} / E_m$   
0.404 $E_{min} / E_{max}$   
0.300



## Tuotekortti VP1302-valaisimesta

## VP 1302 led-katuvalaisin

VP1302 led-katuvalaisin on suunniteltu käytettäväksi katujen ja teiden valaisuun. Valaisin soveltuu myös mm. aluevalaisuun sekä liikuntareittien valaisuun. Valaisin on saatavilla sekä kaksipuolisena, että yksipuolisena versiona, jolloin valaistavalla alueella voidaan varioida valaisintyyppiä tarpeen mukaan. Valaisin soveltuu sekä uusaseennukseen, että vanhojen valaisimien tilalle asennettavaksi. Valaisin on asennettavissa valaisinpylvään päähän, yksipuolinen myös vaaka-aisaan. Sen asennuskulmaa voidaan säätää 5° portain valaisimessa olevalla niveellä, joka mahdollistaa valaisimen soveltuuden jo olemassa olevaan pylväs- ja aisa-rakenteeseen.

VP1302 led-katuvalaisin on saatavilla sekä yksi- että kaksipuolisena ja erilaisina yhdistelmänä.



Led-valaisimelle on tärkeää hyvä lämmön hallinta. Lämmön siirto pois elektroniikalta on toteutettu laajan alumiinisen rungon kautta ilmaan. Jäähölytyksellä on saavutettu hyvä energiatehokkuus ja valaisukyvyn säilyvyys. Led-moduulit ja liitäntälaite ovat vaihdettavissa, ja ne ovat koteloitu pöly- ja vesitiiviiksi.



### Tekniset ominaisuudet

	VP1302 M2	VP1302 M3	VP1302 M4	VP1302 M5	VP1302 M6	VP1302 M2+M6	VP1302 M6+M6
Käyttöjännite	230VAC/50Hz, suojausluokka I						
Ottoteho	22 W	30 W	39 W	48 W	56 W	73 W	106 W
Hyötывalomäärä	1800 lm	2700 lm	3600 lm	4500 lm	5400 lm	1800 lm + 5400 lm	5400 lm + 5400 lm
Tehokerroin	> 0,9c	Täyttää standardin EN 61000-3-2.					
Valon väriämpötila	4100 K. Muut väriämpötilat ovat mahdollisia led-valmistajan rajoituksiin.						
Kotelointi	IP65						
Käyttölämpötila	-40...+40 °C						
Mitat, p x l x k (mm)	228 x 172 x 50	281 x 172 x 50	334 x 172 x 50	387 x 172 x 50	440 x 172 x 50		
Lippa:							
Pyöräsovittinosa:	k 420, Ø 80						
Materiaalit	Metalliosat polttomaalettua alumiinia ja ruostumaton terästä.						
Väri	Harmaa, muut värit mahdollisia.						
Kinnitys	60 mm putkeen, vaaka- ja pystyasennus, hienosäätö 5° portain.						
Kytkenä	3 x 2,5 mm <sup>2</sup> -o						
Ledien valon alenema	Tyyppiaesti alle 10%/100000 h.						
Sähkönumero	45 016 15	45 016 31	45 016 32	45 016 33	45 016 34		45 016 39

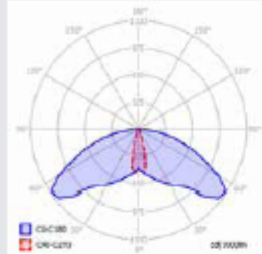
Huom! Valaisimet saatavilla yksi- ja kaksipuolisina, sekä kaikissa eri yhdistelmässä tuulukoissa esitettynä lisäksi.



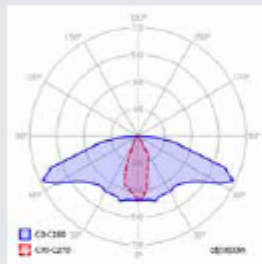
## Tuotekortti VP1302-valaisimesta

### Valonjako

VP1302 valaisimissa on käytettävissä kaikki VPM led-moduulisarjan optiset ratkaisut. Alla esitellyt linssit on suunniteltu erityisesti katuvälisäun. Toteutamme uusia optisia ratkaisuja asiakaspalautteen perusteella. Eulomdat-valonjakotiedostot ovat ladattavissa yrityksen verkkosivuilta.



Linssi V11. Viereinen kuva on katuvälisäun sopivasta valonjakoista, joka on suunniteltu kapealle tielle. Soveltuu mm. kevyen liikenteen väylille ja asuinalueiden kaduille, joissa halutaan välttää häiriövaloa.



Linssi V12. Viereinen kuva on katuvälisäun sopivasta valonjakoista, joka on suunniteltu tyypillisille asuinalueiden kaduille. Epäsymmetrinen valonjako tuottaa tasaisen valon tielle ja häikäisy on vähäisempää.

Muut soveltuvat linssit:



### Luotettavuus ja ylläpidettävyys

Valopaa Oy:n led-valaisimet ovat suunniteltu vaativien olosuhteiden pitää elin-ikää vaatimaan energiatehokkaaseen valaisäun. Tuotteissa käytetään korkealuokkaisia tunnettujen valmistajien komponentteja. Mekaaninen toteutus huolehtii lämmönhallinnasta ja mekaanisesta kestävydestä. Tuotteiden keskeisillä osilla, led-moduuli ja virtalähde, tiiveysluokka on korkea. Tuote on suunniteltu ylläpidettäväksi vaihdettavalla led-moduulilla ja virtalähteellä. Tuotteet kehitetään ja valmistetaan Suomessa.

Huomautus! Koska jatkuvasti kehitämme tuotteitamme, pidätämme oikeuden muutoksiin.

## Tuotekortti VP2321 m8-valaisimesta

## Led-valaisimet huoltoasemien mittarikentille

VP2221 ja VP2321 led-valaisimet on suunniteltu käytettäväksi kattovalaisimena mm. kevyenliikenteen ja teiden alikäytävissä, sillan aluisissa, katoksissa ja teollisuushalleissa. Valaisin asennetaan upotettuna kattorakenteeseen. Valaisin asennetaan kattorakenteessa olevan valaisinyvennyksen päälle siten, että kattopinnan alapuolelle jää vain lämpöä luovuttava etupaneeli ja led-moduulit tai niiden linssirakenne. Valaisimen muut osat jäävät katon rakenteen sisälle. Valaisimeen on saatavilla asennuslehtys, jolla valaisin voidaan asentaa myös pinta-asennuksena.



VP2321i M8 led-valaisin



VP2321i led-valaisin pinta-asennuskotelolla

Led-valaisimelle on tärkeää hyvä lämmönhallinta. Lämmön siirto pois elektronii kalta on toteutettu lasjan alumiinisen etulevyn kautta ilmaan. Jäähdytyksellä on saavutettu hyvä energiatehokkuus ja valaisukykyyn säilyvyys. Led-moduulit ja liitäntälaitte ovat vaihdettavissa, ja ne ovat koteloitua pöly- ja vesitiiviiksi.

### Tekniset ominaisuudet

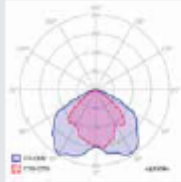
	VP2221 M4	VP2221 M6	VP2321 M8	VP2321i M4	VP2321i M6	VP2321i M8
Käyttöjännite	230VAC/50Hz, suojausluokka I					
Ottoteho	44 W (1) / 75 W (2)	55 W (1) / 109 W (2)	73 W (1) / 144 W (2)	0, 14-53 W	0, 18-110 W	0, 23-145 W
Hyötvalomäärä	3800 lm (1) / 6400 lm (2)	5400 lm (1) / 9600 lm (2)	7200 lm (1) / 12800 lm (2)	0, 1150- 4800 lm	0, 1800- 9600 lm	0, 2500- 12800 lm
Tehokerroin	Täyttää standardin EN 61000-3-2.					
Valon värielämpötilä	4100 K. Muut värielämpötilat ovat mahdollisia led-valmistajan rajoituksin.					
Kotelointi	IP 65		IP 44 (led-moduulit IP65)			
Käyttölämpötilä	-40...+40 °C					
Mitat, p x l x k	600 x 430 x 60 mm		590 x 390 x 80 mm			
Materiaalit	Metalliosat polttomaalattua alumiinia ja ruostumatonta terästä					
Väri	Hamaa, muut värit mahdollisia					
Kiinnitys	Ruuvikiinnitys kattomateriaaliin					
Kytkenä	5 x 2,5 mm <sup>2</sup> –o–					
Ledien valon alenema	Tyypillisesti alle 10%/100 000 h (1), 10%/50 000 h (2).			Kompensoitu.		
Sähkönumero	45 016 01 (1) 45 016 66 (2)	45 016 00 (1) 45 016 67 (2)	45 016 48 (1) 45 016 68 (2)	45 016 63	45 016 64	45 016 65

VP2221 M4, VP2221 M6 ja VP2321 M8 versiot saatavilla 350mA (1) ja 700mA (2) virroilla.

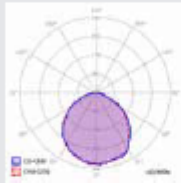
## Tuotekortti VP2321 m8-valaisimesta

### Valonjako

VP2221 ja VP2321 led-valaisimissa on käytettävissä kaikki VPM led-moduulisarjan optiset ratkaisut. Kehitämme uusia valonjakoratkaisuja asiakkaiden palautteen perusteella. Eulumaat-valonjakotiedostot ovat ladattavissa yrityksen verkkosivuilta.



Linssi V9B. Kattovalaistukseen erityisesti suunniteltu valonjako, esimerkiksi alikäytävien ja huoltoasemien mittarikenkien valaisuun, mutta soveltuu hyvin myös yleisvalaisuun niin sisälle kuin uloskin. Linssillä on erityisesti huomioitu häikäisyn minimoiminen mataliin katoksiin asennettaessa.

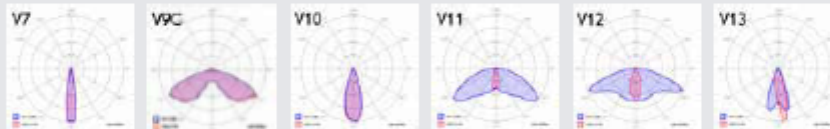


Linssi V9. Viereinen kuva on yleisvalaistukseen soveltuvasta valonjakoista. Lambertiaalinen valonjako. 200cd/moduuli.



Linssi V8. Viereinen kuva on mm. alikäytävä- ja kattovalaistukseen sopivasta valonjakoista, jonka valokeila on 90° ja 600 cd/moduuli.

Muut soveltuvat linssit:



### Lisävarusteet

Asennuskotelo. VP2221 ja VP2321 led-valaisimet voidaan asentaa pinta-asennukseksi tämän kehyksen avulla.

### Luotettavuus ja ylläpidettävyys

Valopaa Oy:n led-valaisimet ovat suunniteltu vaativien olosuhteiden pitkä elin-ikää vaatimaan energiatehokkaaseen valaisuun. Tuotteissa käytetään korkealuokkaisia tunnettujen valmistajien komponentteja. Mekaaninen toteutus huolehtii lämmönhallinnasta ja mekaanisesta kestävyydestä. Tuotteiden keskeisillä osilla, led-moduuli ja virtalähde, tiiveysluokka on korkea. Tuote on suunniteltu ylläpidettäväksi vaihdettavalla led-moduulilla ja virtalähteeellä. Tuotteet kehitetään ja valmistetaan Suomessa.

Huomautus! Koska jatkuvasti kehitämme tuotteitamme, pidätämme oikeuden muutoksiin.

LIGHT BY  
**LUXEON**

CE

FI

LEIFI OSMAN  
MADE IN FINLAND

## VPS Master-yksikkö

Älykkään valaistusjärjestelmän master-yksikkö ohjaa valaisimia ennalta asetettujen asetusten mukaisesti.

### Toiminnot:

- + Kaksisuuntainen radiokommunikaatio valaisimien kanssa
  - Ohjaus kellonajan, kalenterin tai anturitietojen perusteella
  - Parametrien päivitys
  - Ohjelmistojen päivitys
- + GPRS-kommunikaatio
  - Valaisimien ohjauksen, parametrien ja ohjelmistopäivitysten vastaanottaminen
  - Sisäisen ohjelmiston päivityksen vastaanotto SRD radion / GPRS:n kautta
  - Tilasto- / toimintatietojen lähettäminen
- + GPS-tietojen lukeminen
- + Kalenteri, kello

Järjestelmään on lisäksi saatavilla anturi-yksikkö, jolla ohjataan valaistusta yhdessä master-yksikön kanssa. Anturi-yksiköstä aktivoidaan joko liiketunnistin, kirkkausanturi tai hämäräkytkin asennuksen yhteydessä. Se asennetaan mitattavan asian vaatiman mukaisesti, mm. suunnatus on tärkeää ottaa huomioon. Anturi-yksikkö kommunikoi master-yksikön kanssa radioyhteydellä langattomasti.



### Tekniset ominaisuudet

	VPS Master C	VPS Master W	VPS Sensor
Käyttöjännite	90-264 VAC / 50-60Hz, suojausluokka II		
Kotelointi	IP65		
Käyttölämpötila	-40...+50 °C		
Mitat, p x l x k	318 x 170 x 61 mm		120 x 120 x 90 mm
Kinnitys	Ruuvikiinnitys		
SRD-antenni	855-880 MHz		
GSM-antenni	-	824-894 MHz / 1710-1990 MHz	-
WLAN-antenni	-	WLAN	-
GPS-antenni	-	1575.42 MHz ±3 MHz	-
Ethernet-yhteys	Kaapeli		-

VPS Master W saatavilla syksyllä 2012 (arvioitu julkaisu-aika).

Pitämme oikeuden muutoksiin.



Taulukko 8. Johdonsuojakatkaisijoiden vaatimat oikosulkuvirrat /4/.

Pienimmät oikosulkuvirrat, jolla erilaiset suojalaitteet toimivat 0,2, 0,4 tai 5,0 sekunnissa					
Suojalaitteen nimellisvirta A	Pienin sallittu yksivaiheinen oikosulkuvirta A				
	Johdonsuojakatkaisijat				
	B-tyyppi 0,2, 0,4 s ja 5,0 s	C-tyyppi 0,2 ja 0,4 s	C-tyyppi 5,0 s	D-tyyppi 0,2 ja 0,4 s	D-tyyppi 5,0 s
	Lask.arvo / mitattu arvo	Lask.arvo / mitattu arvo	Lask.arvo/ mitattu arvo	Lask.arvo / mitattu arvo	Lask.arvo / mitattu arvo
6	30 / 38	50 / 75	42 / 55	120 / 150	42 / 55
10	50 / 65	100 / 125	70 / 90	200 / 250	70 / 90
16	80 / 100	160 / 200	112 / 140	320 / 400	112 / 140
20	100 / 125	200 / 250	140 / 180	400 / 500	140 / 180
25	125 / 160	250 / 320	175 / 220	500 / 630	175 / 220
32	160 / 200	320 / 400	225 / 280	640 / 800	225 / 280
40	200 / 250	400 / 500	280 / 350	800 / 1000	280 / 350
50	250 / 320	500 / 630	350 / 440	1000 / 1250	350 / 440
63	315 / 400	630 / 790	440 / 550	1260 / 1600	440 / 550
80	400 / 500	800 / 1000	560 / 700	1600 / 2000	560 / 700
125	625 / 780	1250 / 1570	875 / 1100	2500 / 3130	875 / 1100

Taulukko 9. Sulakkeiden vaatimat oikosulkuvirrat /4/.

Sulakkeiden nimellisvirta A	Laukaisuaika	
	0,4 s	5,0 s
	Laskettu arvo / mitattu arvo	Laskettu arvo / mitattu arvo
2	16 / 20	9 / 12
4	32 / 40	18 / 23
6	46,5 / 58	28 / 35
10	82 / 103	46,5 / 58
16	110 / 138	65 / 81
20	145 / 180	85 / 105
25	180 / 225	110 / 138
32	270 / 340	165 / 210
35	290 / 365	175 / 220
40	315 / 395	190 / 240
50	470 / 590	250 / 315
63	550 / 690	320 / 400
80	840 / 1050	425 / 530
100	1000 / 1250	580 / 725
125	1450 / 1800	715 / 895
160	1600 / 2000	950 / 1190
200	2100 / 2625	1250 / 1560
250	2800 / 3500	1650 / 2065
315	3700 / 4625	2200 / 2750
400	4800 / 6000	2840 / 3550
500	6400 / 8000	3800 / 4750
630	8500 / 10625	5100 / 6375

