

Anssi Pietilä

# Valaistusohjauksella saavutettavat säästöt logistiikkakeskuksen ulkovalaistuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

30.4.2015

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Anssi Pietilä Valaistuksella saavutettavat säästöt logistiikkakeskuksen ulkovalaistuksessa</p> <p>67 sivua + 1 liite 30.4.2015</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>Insinööri (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>Sähkötekniikka</p>
<p>Suuntautumisvaihtoehto</p>	<p>Sähkövoimatekniikka</p>
<p>Ohjaajat</p>	<p>Aluepäällikkö Perttu Raitala Lehtori Tapio Kallasjoki</p>
<p>Tässä työssä tutkittiin ISS Palvelut Oy:n asiakaskohteen valaistuksen energiansäästömahdollisuuksia. Työn tarkoituksena oli selvittää kohteen valaistuksen nykytila ja suunnitella entistä energiatehokkaampi valaistuksenohjaus. Työssä tutkittiin myös led-valaisimien asentamisen tuomia säästöjä.</p> <p>Tarve valaistuksenohjauksen modernisoinnille on ollut pitkään, sillä valojen ohjauksessa on havaittu virheitä. Osasyynä uudelle suunnitelmalle olivat EU:n valonlähteitä koskevat kiristyneet määräykset. Näillä määräyksillä halutaan vähentää energian ja haitallisten aineiden käyttöä.</p> <p>Työn kirjallisuusosuudessa kerrataan tarvittavat valaistustekniikan suureet ja esitellään ulkovalaistuksen suunnittelussa huomioon otettavia asioita, kuten erilaisia ulkovalaistuksen toteutustapoja, valonlähteitä ja ulkovalaistuksen teknisiä ratkaisuja. Lisäksi esitellään valaistuksenohjauksen vaihtoehtoja ja ohjausjärjestelmien asennuksen erityiskysymyksiä.</p> <p>Työssä selvitettiin, millaiset ohjauskomponentit asiakaskohteen valaistuksenohjauksen uusimiseen tarvitaan ja laskettiin energiansäästöinvestoinnin takaisinmaksuajat.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selvitettyä säästöpotentiaali, asennustyön hinta ja hankkeen edellyttämien ohjainlaitteiden materiaalikustannukset.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>ISS Palvelut Oy, valaistuksenohjaus, C2 Smartlight Oy, energiansäästö</p>

Author(s) Title	Anssi Pietilä Energy Savings in Outdoor Lighting of a Logistics Center by Lighting Control
Number of Pages Date	67 pages + 1 appendix 30 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor	Perttu Raitala Regional Manager Tapio Kallasjoki Principal Lecturer
<p>The aim of this thesis work was to find out the energy saving potential attainable through better lighting control at the logistics center operated by a customer of ISS Palvelut Ltd. Another goal was to get a clear picture of the current state of lights and control systems at the logistics centre. The thesis also discusses planning of a new and more energy efficient control system for lighting and explores savings from installing led fixtures.</p> <p>The need for the control system renovation was noticed because of failed controls. Another reason for this study is the new EU regulations, which ban many light sources commonly used in outdoor-lighting. These new regulations are intended to reduce energy consumption and control the usage of harmful material, such as mercury.</p> <p>The study clarified what components are needed for the lighting control at the logistic centre. Payback time for the investment was calculated assuming annual energy savings constant. Maintenance costs were left out of the calculations.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selvitettyä säästöpotentiaali, asennustyön hinta ja hankkeen edellyttämien ohjainlaitteiden materiaalikustannukset.</p> <p>As a result, the saving potential is shown in numbers together with a budget for the renovation costs, including labor costs and material costs for the control systems.</p>	
Keywords	ISS Palvelut Ltd, light control, C2 Smartlight Ltd, energy savings

## Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Käsitteet ja lyhenteet

1	Johdanto	7
1.1	Työn tausta ja tavoite	7
1.2	Työn rajaus	8
2	Keskeisimmät valaistussuureet	8
3	Investointeihin liittyviä termejä	16
4	Ulkovalaistuksen suunnittelussa huomioon otettavaa	17
4.1	Ulkovalaistuksen toteutustavat	17
4.2	Ulkovalaistuksessa yleisemmin käytetyt valonlähteet	20
4.3	Ulkovalaistuksen teknisiä ratkaisuja	26
4.3.1	Ohjainlaitteen asentaminen katuvalokeskukseen	27
4.3.2	Pylväsasennus	29
4.3.3	Ryhmäkeskusasennus	30
5	Valaistuksen ohjaus	30
5.1	Perinteiset ohjaustavat	30
5.2	Nykyaikaiset ohjaustavat	31
5.2.1	Tiedonsiirto sähköverkossa	31
5.2.2	Digitaalinen osoitteellinen ohjusjärjestelmä	31
5.3	C2-ohjausjärjestelmä	32
5.3.1	Ohjausjärjestelmän yleiskatsaus	33
5.3.2	Valaisinkohtaisen ohjauksen toteutus C2:lla	36
5.3.3	C2-valaistusmittausasema	39
5.4	Valaistuksessa tapahtuvat häviöt	41
5.4.1	Jännitteen alenema	41
5.4.2	Valaisimen häviöitä	42
6	Ilmalan logistiikkakeskus	45

6.1	Käyttäjän taustatiedot	45
6.2	Kohteen taustatiedot	46
6.2.1	Tievalaistus	48
6.2.2	Lastauslaiturit	48
6.2.3	Pysäköintialueiden valaistus	51
6.2.4	Kiinteistön julkisivujen valaistus	51
6.3	Kohteen valaistuksen suunnittelussa huomioon otettavia määräyksiä	52
6.3.1	Valaistustasot	52
6.3.2	Häiriövalon rajoittaminen	53
6.3.3	Tievalaistuksen mitoitus	54
6.4	Valaistusohjauksen optimointi	57
6.5	Kohteen suunnittelu C2-tuotteilla	61
6.6	Investoinnin takaisinmaksuaika	63
7	Lopuksi	65
	Lähteet	66
	Liitteet	
	Liite 1. Excelillä tehty eri kellonajat, valaistustasot ja valaisintyytit huomioon ottava simulointi energiankulutuksesta	

## Lyhenteet

led	Light-Emitting Diode, hohtodiodi. Puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa kun sen läpi kulkee sähkövirta
SpNa	Suurpainenatriumlamppu, purkauslamppu, jonka sisällä on natriumia
CRI	Color Rendering Index, värintoistoindeksi
VPN	Virtual Private Network, virtuaalinen erillisverkko. Verkko jossa tieto välitetään julkisen verkon yli näennäisesti yksityisessä verkossa
3G	Third Generation, kolmannen sukupolven matkapuhelinverkko
SIM	Subscriber Identity Module, älykortti jota käytetään matkapuhelinliittymän yksilöimiseen ja tiedon tallentamiseen
CU	Central Unit, keskusyksikön lyhenne C2 Smartlight Oy:n tuotteesta
RU	Relay Unit, releyksikkö
PU	Power Unit, jännitelähde
MU	Measurement Unit, virran mittausyksikkö

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta ja tavoite

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää Posti Group Oyj:n (aiemmin Itella Oy:n) Ilmalan logistiikkakeskuksen ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmän ja valaisimien valonlähteiden tila. Selvityksen tuloksena saadaan esitettyä energiatehokkaita ratkaisuja ohjauksen optimoimiseksi ja valonlähteiden ja valaisimien vaihtamiseksi. Työssä otetaan huomioon kohteessa olevat eri valaistustarkoitukset ja huomioidaan näiden tarvitsemat valaistustasot ja laadulliset erot.

Työn alussa kerrataan valaistustekniikan suureet, niiden mittaustavat sekä, mitä arvojen tulisi olla. Lisäksi annetaan esimerkkejä hyvän valaistuksen tunnistamiseen ja käydään läpi muutamia investointilaskelmiin liittyviä termejä. Tämän jälkeen esitellään ulkovalaistuksen suunnittelussa huomioon otettavia asioita, kuten erilaisia ulkovalaistuksen toteutustapoja, valonlähteitä ja ulkovalaistuksen teknisiä ratkaisuja. Seuraavaksi esitellään valaistuksenohjauksen vaihtoehtoja. Työn lopussa teoriaa sovelletaan Ilmalan logistiikkakeskuksen ulkovalaistushankeen suunnitteluun.

Työ tehtiin ISS Palvelut Oy:lle toimiessani yrityksessä työnjohtajana. Valaistuksen ohjaukseen suunniteltuja komponentteja on käytetty ISS:n muissa kohteissa jo yli 2000 kappaletta.

ISS Palvelut Oy on Postin käyttämä monialatoimija, joka toimii kumppanina useissa Postin kohteissa. ISS toimittaa monissa kohteissa siivous-, aula-, vartiointi- ja huolto- palveluita. Ilmalan kohteessa toimii ISS:ltä kaksi huoltomiestä ja yksi sähkömies. ISS on tehnyt monissa Postin kohteissa lampunvaihtoja ja valaisinkunnostusta. Tätä tietoa käytetään hyväksi tässä työssä. Lampunvaihdot ovat monissa kohteissa jokavuotista toimintaa. Tätä työtä varten on kerätty listat lamppujen tyypeistä ja määristä.

Logistiikkakeskuksen varastohalleja on suunniteltu ja toteutettu useassa osassa ja tämä on johtanut siihen, että valaisimia on useaa eri tyyppiä ja ohjaustapoja on monia. Valaistustarkoituksiakin on useita erilaisia johtuen kentillä tapahtuvien toimien erilaisuudesta.

Työssä lasketaan kohteen tietojen avulla ohjausjärjestelmän päivittämistä koituvan energiansäästöinvestoinnin takaisinmaksuaika.

Työn aikana astuu asteittain voimaan EU:n Ecodesign-direktiivi. Tämän direktiivin tuomat tiukennukset energian kulutuksessa ja haitallisten aineiden käytössä rajaavat en-tuudestaan tuttuja valonlähdevaihtoehtoja pois.

Työn tuloksena kohteen valaistusta voidaan parantaa ja samalla saavuttaa energiansäästöä. Energiansäästö on tarkoitus saavuttaa sekä ohjauksen oikea-aikaisuutta parantamalla että vaihtamalla valaisimia ja lamppeja energiatehokkaampiin. Energiansäästöä ei tehdä huonontamalla valaistustasoja, vaan niitä pyritään samalla parantamaan.

## 1.2 Työn rajaus

Tämä työ sisältää ainoastaan Posti Group Oyj:n Ilmalan alueen rakennusten ulko- ja tievalaistuksen ohjauksen suunnittelun. Kohteiden sisävalaistusratkaisut ja -ohjaukset jätettiin suunnittelun ulkopuolelle. Tarkastelun ulkopuolelle jäi myös asennusten jälkeisen energiansäästön mittaaminen, mikä olisi parantanut takaisinmaksuajan laskentatarkkuutta. Näin saadut tulokset ovat laskennallisia, ja niiden tarkkuus on suuntaa antava.

## 2 Keskeisimmät valaistussuureet

Valaistusta voidaan mitata monella tavalla, ja siihen liittyy näiden suureiden lisäksi johdannaisyksiköitä. Oheon on listattu muutamia valaistuksen keskeisempiä suureita. Lähteenä on pääosin käytetty Metropolia ammattikorkeakoulussa käytettyä opetusmonistetta (Kallasjoki 2012).

### Valovoima

Valovoima on SI yksiköiden perussuure, jonka yksikkö on kandela [cd]. Yhden kandelan valovoima vastaa lähes yhden kynttilän lähettämää valon määrää 1 steradianin avaruuskulmaan.



## Luminanssi

Luminanssi on arvo, joka näkyy ihmissilmään pinnalta lähtevänä valon voimakkuutena, eli kirkkautena. Luminanssi kertoo valovoiman tarkastelusuunnassa pinta-alaa kohti. Luminanssin suure on  $L$  ja yksikkö on kandela per neliömetri [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

## Valovirta

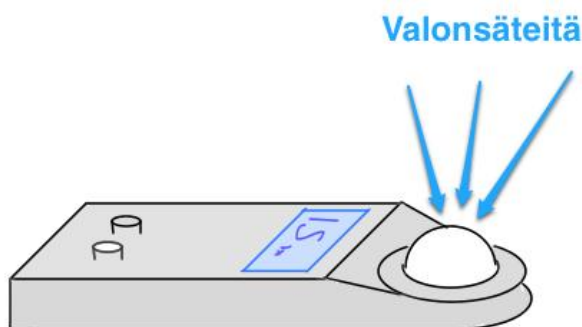
Valovirta kertoo valonlähteen kehittämän valon kokonaismäärän. Valovirran yksikkö on luumen [ $\text{lm}$ ] ja tunnus  $\Phi$ . Valonlähde on sitä energiatehokkaampi mitä enemmän luumeneita saadaan tuotettua samalla teholla. Tätä suhdetta kuvataan  $\text{lm}/\text{W}$  arvolla, mitä suurempi luku on sitä energiatehokkaampi valonlähde. Suurin lumen arvo, mikä saavutetaan  $1\text{W}$  teholla on  $683 \text{ lm}$ . Tällöin valo on täysin monokromaattista ja väriltään vihreätä ja aallonpituudeltaan  $555 \text{ nm}$ .

## Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus on suure, joka kuvaa, kuinka paljon tunnetulle pinta-alalle lankeaa valovirtaa. Valaistusvoimakkuudelle, jonka tunnus on  $E$ , voidaan esittää kaava:

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (1)$$

Kaavassa 1 oleva  $\Phi$  on pinnalle tuleva valovirta ja  $A$  on pinnan pinta-ala. SI- yksikkönä valaistusvoimakkuus on luumenia neliömetrille [ $\text{lm}/\text{m}^2$ ] eli luksa [ $\text{lx}$ ].



Kuva 1. Luksimittarilla voidaan mitata pisteen valaistusvoimakkuus (Kuva: Anssi Pietilä)

### Vaakatason valaistusvoimakkuus

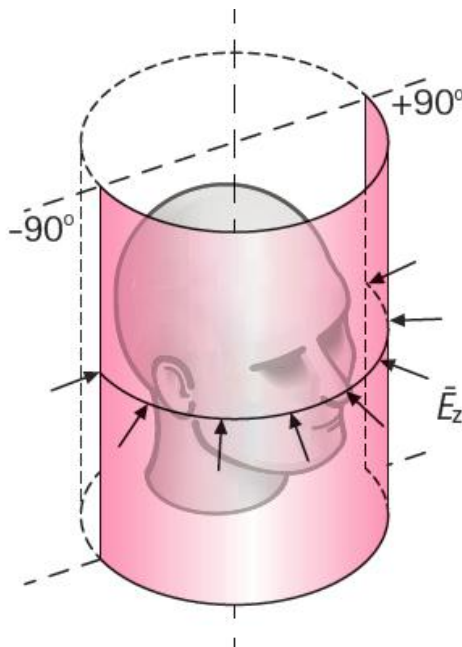
Vaakatason valaistusvoimakkuus merkitään  $E_h$  (lx) ja tarkoittaa sitä valovirrantiheyttä, joka heijastuu vaakatasoon pintaan. Yksikkönä on sama luumenia neliömetrille [ $\text{lm}/\text{m}^2$ ] eli luksi [lx] kuin valaistusvoimakkuudellakin yleisesti. (Ahponen ym. 1996: 199)

### Pystytason valaistusvoimakkuus

Pystytason valaistusvoimakkuus merkitään  $E_v$  (lx) ja se kuvaa valovirtaa pinta-alayksikköä kohti. SI-yksiköissä luumenia neliömetrille [ $\text{lm}/\text{m}^2$ ] eli luksi [lx]. (Ahponen ym. 1996: 199)

### Puolisylinterivalaistusvoimakkuus

Puolisylinterivalaistusvoimakkuus  $E_{sc}$  (lx) on pystyssä olevan sylinterimäisen kappa-teen pinnalle tulevan keskimääräisen valaistusvoimakkuuden arvo. Mittaus tehdään kasvojen korkeudella. Se on vaikuttava tekijä tunnistamisessa. Kuvassa 2 on esitetty mittausalue. (Ahponen ym. 1996: 199)



Kuva 2. Puolisylinterivalaistusvoimakkuuden mittausalue (Dossier EN 12464-1, s. 6)

## **Puolipallovalaistusvoimakkuus**

Puolipallovalaistusvoimakkuus merkitään Ehs (lx) ja se tarkoittaa pienen pallonpuolikkaan pinnalle tulevan valon keskimääräistä valaistusvoimakkuutta. Tämä on merkittävässä osassa havaittavuutta, koska varjojen ja liukumien kehittyminen lisää havaittavuutta. (Ahponen ym. 1996: 199)

## **Valovirran alenemakerroin**

Alenemakerroin on keinotekoinen kerroin, jolla varmistetaan laskennallista suunnittelua tehtäessä kohtuullinen ylimitoittaminen. Ylimitoituksen tarkoituksena on kompensoida valonlähteiden vanhenemista. Valonlähteiden vanhetessa niiden tuottama valovirran määrä laskee. Valaisimen ajan mittaan tapahtuva likaantuminen ja materiaalien vanheneminen, esimerkiksi muovin kellastuminen, vähentävät hyötykäyttöön saadun valon määrää.

Alenemakertoimella pyritään ottamaan huomioon ympäristön tuoma lisävalaistuksen tarve ja ylimitoittamaan, jotta valaistusarvot eivät alittuisi ennen huoltoa. Valovirran tulee olla suurempi kuin suunniteltu taso, jota likaantumista aiheuta häviö saadaan kompensoitua. Valovirran väheneminen voidaan huomioida käyttämällä CLO-ohjainta. Constant Lumen Output, eli vakiovalosäädin voi pitää valonmäärän vakiona valonlähteen vanhentuuessa.

## **Häikäisy**

Häikäisy on kiusallinen tunne, jonka kiusallisuutta kuvaa suure UGR. Tätä arvoa ei mitata eikä lasketa tievalaistuksen osalta.

Tievalaistuksessa käytetään TI-arvoa, jota ei tässä työssä mitattu tai laskettu. Estohäikäisy (threshold increment) on suhteellinen arvo, jonka laskemisessa häikäisyn yhtenä osatekijänä on alueen keskimääräinen pinnanluminanssi. Tämä luminanssi voi muuttua esimerkiksi tien materiaalin kuulumisen takia.

Ulkovalaistuksessa häikäisyn aste ilmoitetaan yleisesti GR-arvolla (Glare Rating). Häikäisyn takia on yksityiskohtien näkeminen vaikeampaa ja se aiheuttaa epämukavuuden

tunnetta. Tässä työssä ei mitattu tai laskettu kohteen ulkoalueiden GR-arvoja. Ulkoalueiden GR-arvo ei saa ylittää taulukon arvoja.

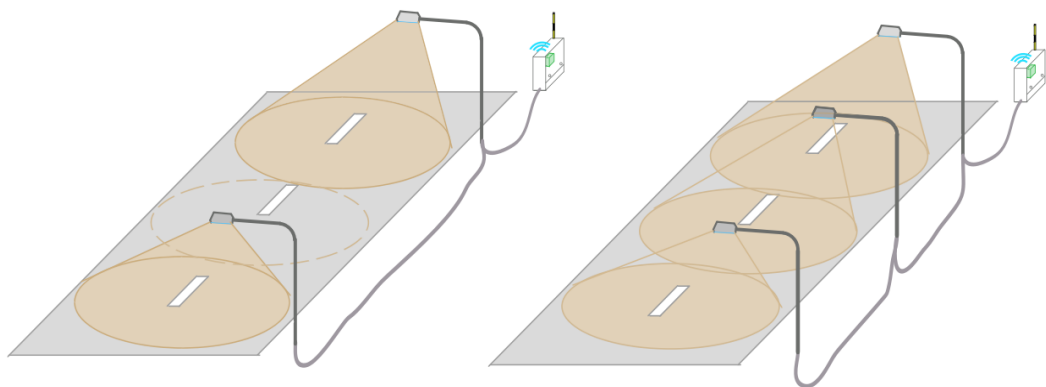
Taulukko 1. GR-arvot eivät saa ylittyä ulkovalaisinasennuksissa (ST 58.0)

Työskentelyalueen valaistusvoimakkuus (lx)	Työskentelyalueen ympäristön valaistusvoimakkuus (lx)
$\geq 500$	100
300	75
200	50
150	30
$50 \leq E_{\text{lask}} \leq 100$	20

Häikäisyä voi vähentää valoaukkoja suurentamalla tai lampun pinta-alaa suurentamalla.

### Yleistasaisuus

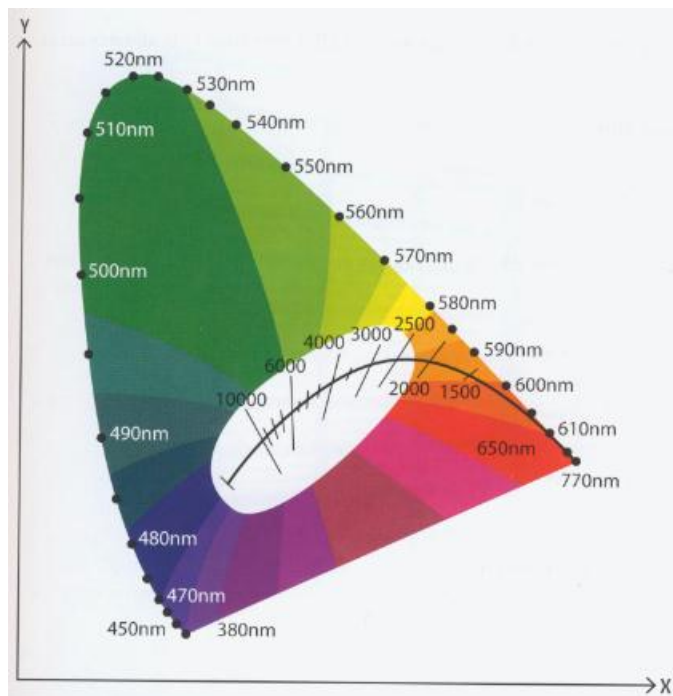
Yleistasaisuus  $U_0$  kuvaa sitä, miten suuria kirkkauseroja tasaiselta pinnalta voi erottaa. Yleistasaisuus lasketaan koko ajoradan pienimmän ja keskimääräisen luminanssin osamääränä jokaiselle kaistalle. Silmin yleistasaisuutta voi arvioida syntyvän kuvion avulla. Mikäli valaistus muistuttaa viivakoodia, jossa on tummia ja valkeita viivoja on tasaisuudessa suurta virhettä. Kuva 3 havainnollistaa tilannetta, jossa yleistasaisuus on huono johtuen virheellisestä pylväsvälistä tai vääristä valaisimista johtuva virhe. (Ahponen ym. 1996: 199)



Kuva 3. Yleistasaisuus on huono, joka johtuu virheellisestä pylväsvälistä tai valaisimista (Kuva: Anssi Pietilä)

## Väriämpötila

Väriämpötila on sellaisen mustan kappaleen lämpötila, jonka säteilemä valo vastaa tarkasteltavaa valoa. Lämmitettäessä rautakappaletta voi sen lämpötilan päätellä sen lähettämästä valosta. Kuvassa 4 näkyvä musta kaari kuvaa hehkusäteilijän tuottaman valon värisävyn muuttumista lämpötilan muuttuessa. Hehkulangan kuumuden ollessa 1500 Kelviniä on väri selvästi punaisempi kuin 4000 Kelvinin kohdalla. Kelvin on SI-yksikön mukainen lämpötilan mittayksikkö, huoneenlämpö on 25°C, joka on 298,15K



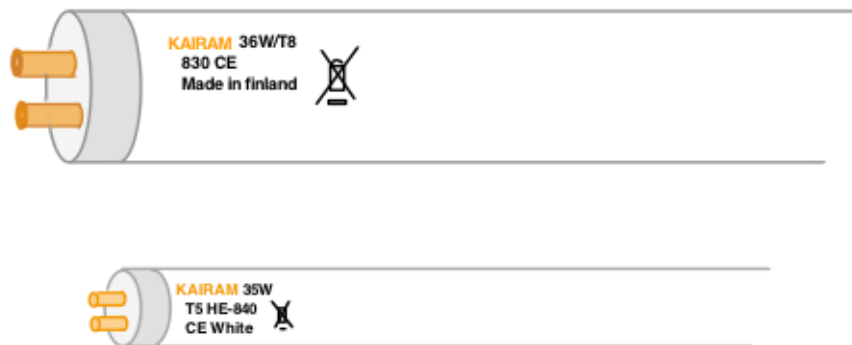
Kuva 4. Kuvaajaan on piirretty ihmissilmälle näkyvän valon eri värialueet ja musta kaari kuvaa hehkusäteilijän värin muuttumista lämpötilan muuttuessa. Färgåtergivning och färgstabilitet 2013: 40.)

## Värintoistoindeksi Ra-indeksi

Värintoistoindeksi eli Ra-indeksi (eng. CRI) on Kansainvälisen valaistuskomission (CIE) vuonna 1974 esittämä tapa mitata värintoistuvuus mittavassa valossa. Indeksien määrittämiseksi CIE on kehittänyt kahdeksan eriväristä mittaosaa, joiden avulla voidaan arvioida valon kykyä toistaa värejä. Indeksien arvo voi olla 0-100 väliltä. Mitä suurempi luku on valon värisävyn ollessa  $\leq 5000\text{K}$  sitä lähempänä se on hehkusäteilijää. Värisävyn ollessa  $> 5000\text{K}$  on se lähempänä luonnonvaloa.

## R<sub>a</sub>-indeksin ja värisävyn yhdistäminen

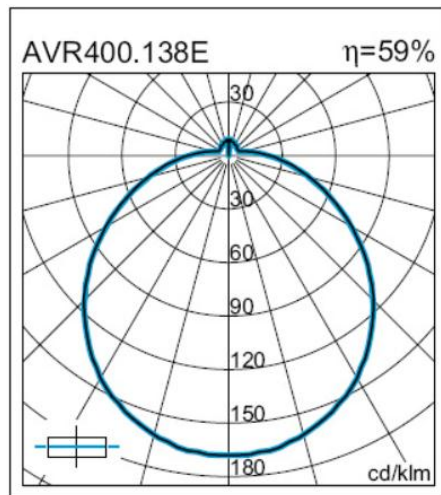
R<sub>a</sub>-indeksi ja värisävy voidaan yhdistää yhdeksi koodiksi, joka on suosittu tapa merkitäessä loistelamppuja. Loistelamppujen esim. T5 ja T8 toisessa päädyssä olevassa valmistajan merkinnässä on usein tämän tyyppinen koodi, jossa tiedot yhdistetään kolminumeroiseksi koodiksi. Koodissa ensimmäinen numero osoittaa, että värintoistoindeksi on suurempi kuin kyseinen luku kymenkertaisena. Seuraavat kaksi numeroa ovat valon värilämpötila ilmoitettuna hehto Kelvineinä. Kuvassa 4 on esitettyä T8 ja T5 loisteputket, joissa merkinnät. Merkinnässä on merkittynä myös valmistajan nimi, putken teho, tyyppi, valmistusmaa ja -malli sekä kierrätysohje.



Kuva 5. Loistelamppujen merkinnöistä selviää putken tuottaman valon värintoistokyky, värisävy, malli, valmistaja ja kierrätystapa. (Kuva: Anssi Pietilä)

## Valonjako

Valonjako tarkoittaa valonlähteen antaman valon projisoitumista eri suuntiin. Valon jakautuminen esitetään koordinaatistossa, jonka arvot on saatu mittaamalla valaisimen valovirta kaikkien akseleiden ympäri. Tyypillinen valonjako tasahajottavalle materiaalille on "pallo".



**Kuva 6.** Tasahajottavan pinnan vuoksi kattoplafondin valonjako on pallon muotoinen (Valaistus)

## Valaisinhyötysuhde

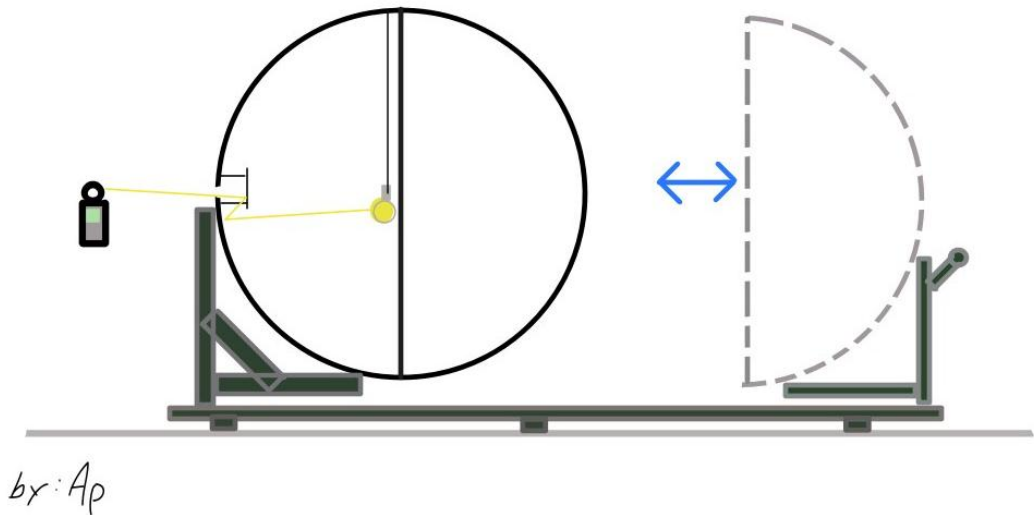
Valaisimen hyötysuhde on valaisimesta ulos saadun ja valonlähteen tuottaman valovirran suhde. Valaisimen hyötysuhde voi olla yli 100%, sillä valaisimen vaikutus lampun toimintalämpötilaan voi vaikuttaa sen valon tuottoon. Valaisinhyötysuhde mitataan käyttämällä Ulbrichtin palloa. Kuvasta 7 voi nähdä mittaustavan valaisimelle pallossa, ilman apulamppua.

Pallon avulla saadaan mitattua suoraan valovirtaan verrattava valaistusvoimakkuus riippumatta lampun valaistusjakautumasta. Valaisimen hyötysuhde voidaan laskea kaavalla 2.

$$\eta = \frac{E_1 \cdot E_2}{E_3 \cdot E_4} \quad (2)$$

Kaavassa  $E_1$  on valaistusvoimakkuus, kun valaisin on päällä ja apulamppu pimeänä

E2 on valaistusvoimakkuus, kun lamppu on pimeänä ja apulamppu päällä  
 E3 on valaistusvoimakkuus, kun lamppu palaa ja apulamppu on pimeänä  
 E4 valaistusvoimakkuus, kun valaisin on pimeänä ja apulamppu palaa



Kuva 7. Ulbrichtin pallo, joka integroi lampusta tulevan valon määrän. (Valaistustekniikan mitaukset 2013)

### Teho ja energia

Energia on tehon ja ajan tulo. Käytettäessä SI-yksiköitä on energian yksikkö joule, teho on watti ja aika sekunti. Sähkötekniikassa käytetään sähköenergian yksikkönä kerrannaisyksiköitä, kuten energiayhtiöiden laskutuksessa käytetty kilowattitunti [kWh]. Esimerkiksi 250 W tehoinen elohopeahöyrylamppu kuluttaa yhden kilowattitunnin verran energiaa neljässä tunnissa.

## 3 Investointeihin liittyviä termejä

### Investointi

Investointi on sijoitus, josta odotetaan tuottoa tai säästöä yli tilikauden ulottuvalla aikavälillä (Taloussanommat). Tässä työssä lasketaan tarvittavan investoinnin määrä, jotta ohjauksen modernisointi voidaan tehdä koko logistiikkakeskuksen alueella.



## Takaisinmaksuaika

Sijoituksen takaisinmaksuaika on se aika, jossa nettotuottoja (esimerkiksi säästöä tai lisätuloja) syntyy hankintamenon verran. Takaisinmaksuajan ollessa lyhyt on sijoitus hyvä. Yritys määrittelee usein takaisinmaksuajalle rajan, jota pitempi se ei saa olla. Takaisinmaksuaika määritellään usein vuosissa. Korottoman takaisinmaksuajan voi laskea kaavalla 3. Valaistusinvestoinnin nettotuloja laskettaessa oletetaan yksinkertaistaen, että säästöt ovat vuosittain yhtä suuret. Tässä kaavassa ei oteta huomioon korkoa. (Tevä-Helminen 2013: 22.) Korkean korkotason aikana takaisinmaksuaika on huono mittari. Silti sitä käytetään paljon näppituntumaa antamaan.

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{\text{Hankintahinta}}{\text{Investoinnin nettotulo}} \quad (3)$$

## Inflaatoriski

Inflaatioprosentti kuvaa rahan arvon menetystä. Tyypillisesti pitkällä aikavälillä vuosinflaatio on ollut muutaman prosentin, mutta vaihtelut voivat olla suuria. Inflaatio oli Suomessa 80-luvun alussa yli 10%, mutta tällä hetkellä inflaatio on negatiivinen (Tilastokeskus). Koska inflaatiota ei pysty ennustamaan, siitä syntyy riski. Jos investoinnin takaisinmaksuaika on pitkä, inflaatoriski on suurempi kuin lyhyellä takaisinmaksuajalla.

## 4 Ulkovalaistuksen suunnittelussa huomioon otettavaa

### 4.1 Ulkovalaistuksen toteutustavat

Ulkovalaistus voidaan toteuttaa monella tavalla, ohessa eritelty erilaisia teknisiä toteutustapoja. Useissa tavoissa ei valitulla valonlähdeyytillä ole määräävää asemaa, toteutuksen voi tehdä käyttäen monia eri valonlähteitä. (Kallasjoki 2012: 15)

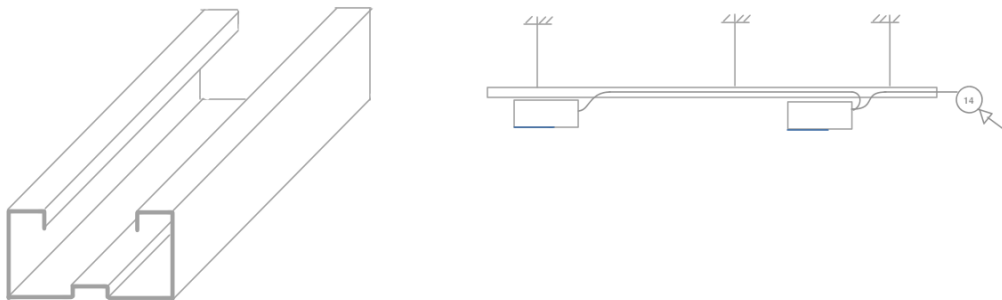
### Seinävalaistus

Seinävalaistuksessa valaisimet asennetaan seinälle, jolloin niiden valonjako tulee huomioida kallistusta suunniteltaessa, jotta osa valosta ei päädy epätehokkaaseen käyttöön. Seinävalaistus on suosittu asennustapa, sillä tällöin ei jouduta rakentamaan

pylväitä tai asennusalustoja. Seinävalaistusta käytettäessä saadaan hyvä julkisivuvalaistus, eikä maakaapelointia tarvita.

### Valaisinramppi

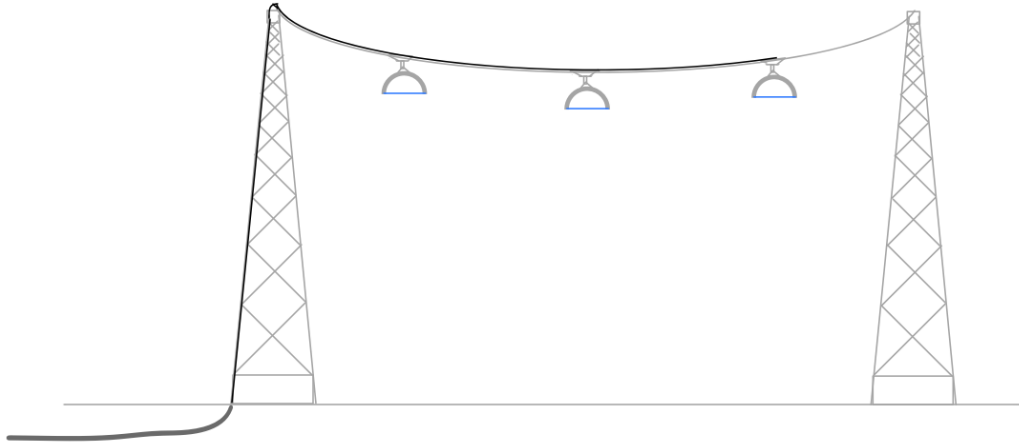
Valaisinramppeja käytetään kun halutaan pitkä tasainen asennusalusta. Asentaessa valaisinriipustuskisko valaisimien alustaksi voidaan ripustusrakenteissa olevat epätasaisuudet välttää kannattimien järkevällä asentamisella. Kannattimien asennusväli tulee valita kuormituksen mukaan valmistajan ohjeen mukaan. Valaisinramppia voidaan käyttää esimerkiksi siltojen pohjissa tai katosten rakenteista riiputuksessa. Tyypillinen nimi kiskolle on valaisinriipustuskisko tai XYRV, valmistajakohtaisia nimi eroavaisuuksia löytyy. XYRV on Nordic Aluminium Oy:n myyntinimi ja materiaalina ovat vain alumiiniset tuotteet.



Kuva 8. Samaan valaisinramppiin voidaan asentaa monia valaisimia peräkkäin (Kuva: Anssi Pietilä)

### Vaijeriramppi

Vaijerirampissa valaisimet roikkuvat yhteisestä vaijerista. Näitä voi olla useita rinnakkain. Vaijereiden päät on ripustettu mastoihin. Valaisimien syöttöjohdot kulkevat keskukseen vaijeriin ja mastoon kiinnitettynä. Vaijeriramppi voi olla yksi- tai moniosainen riippuen siitä, miten paljon tuulen aiheuttamaa keinumista halutaan vaimentaa. Kuvassa 10 on esitetty yksinkertainen vaijeri, jonka vaimennus on vähäinen. Vaijeriramppeja käytetään, kun halutaan pienentää pylväiden määrää. Ramppi voidaan rakentaa irrotettavaksi, jolloin huollon ajaksi valaisimet voidaan laskea alas.



Kuva 9. Vaijeriramppivalaistuksessa valaisin roikkuu yhtenäisestä vaijerista (Kuva: Anssi Pietilä)

### Valonheitinpylväs

Valonheitinpylvään huipussa on yksi tai useampia valaisimia. Valaisimen syöttöjohto kiinnitetään koko matkaltaan puupylvääseen, ja metallipylväessä johto jää roikkumaan pylvään sisälle. Pylväessä voi olla yksi tai useampi huoltoluukku, jonka takana ovat sulakkeet tai mahdolliset ohjainlaitteet. Pylvään päässä voi olla varsi, eli vaakasuora tuki, johon voidaan asentaa useampi valaisin. (Olakepylväät)

### Valonheitinmasto

Valonheitinmaston koko on huomattavasti pylvästä suurempi, sillä maston sisällä on tikapuut, joita pitkin voi kiivetä sen huippuun. Maston etuna on suuri korkeus ja mahdollisuus asentaa lukuisia valaisimia. Nämä edut tuovat kustannussäästöjä huoltotoimenpiteitä tehtäessä, mutta alkuinvestointi on suurempi kuin yksittäisten pylväiden hankinta.

### Pollarivalaistus

Pollarivalaistus toteutetaan noin metrin korkuisilla valaisimilla. Sen hyötynä on helppo huolto, koska tikkaita ei tarvita. Jos pollarivalaisimia käytetään muuhun kuin arkkitehtuuriseen valaistukseen, niiden määrän on oltava todella suuri, jotta saadaan valaistua laajoja alueita. Tästä syystä pollareita käytetään vain polkujen tai muuten arkkitehtuurisesti tärkeiden alueiden valaisemiseen.

## Maavalaistus

Maavalaisimia käyttämällä voidaan tehdä liikenteenohjausvalaistus, esimerkiksi lentokenttien väylien valaistus. Valaistuksella ei saada valaistua ylhäältäpäin, mutta valaistus voidaan tehdä etäältä hyvin havaittavaksi. Maavalaisimet upotetaan maahan, ja ne kestävät rikkoontumatta yli ajamisen. Maavalaistuksella valaistaan tyypillisesti myös esim. opastekylttien tai puiden pintoja.

### 4.2 Ulkovalaistuksessa yleisemmin käytetyt valonlähteet

Kuvassa 10 on listattu yleisimmin käytetyt valonlähteet ja annettu tiedot niiden tunnistamiseksi. Lisäksi on listattu teholuokat ja käyttöalueet, joissa tyypillisimmin kyseisiä valonlähteitä käytetään. Lampputyypien tunnistamiseksi on kehitetty väri- ja muotokieleä, jonka avulla lampun tiedot voi tunnistaa kiipeämättä valaisimelle asti.



Kuva 10. Lampun teho, muoto ja tekniikka voidaan merkitä värikkäällä tarralla valaisimeen (Kuva: Anssi Pietilä) (Verkostosuositukset UR 1 94: 15).

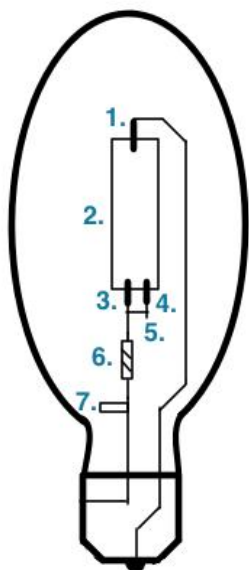
## Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlampun tekninen polttoaika on kohtuullisen pitkä, lähes 24000 tuntia. Suurpainenatriumlampun valotehokkuus on hyvä, noin 120 lm/W. Lampun valovirtaa

on mahdollista säätää käyttämällä säästömuuntajaa, jolloin sytytyksen jälkeen laskeaan jännitettä, mikä vähentää tehoa ja valon määrää.

Kaksitehokuristimella tehtyä kytkentää voidaan kutsua säästökytkennäksi. Kuristimes-  
sa on käämittyä kaksi kelaa, joista toista käytetään haluttaessa täysi valovirta. Tämän  
jälkeen voidaan vaihtaa pienempi teho, jolloin himmennys on portaittainen.

Suurpainenatriumlampun valontuotto perustuu paineessa tapahtuvaan atomien viritty-  
miseen. Atomit saavat energiansa sähkökentästä. Virittyneet atomit säteilevät lähes  
monokromaattista valoa, jonka vuoksi värinistöindeksi on huono.  $R_a$ -indeksi on noin  
20. Suurpainenatriumlamppua käytetään taajamien suurien katujen valaistuksessa ja  
teollisuusvalaistuksessa, joissa värinistöille ei ole asetettu korkeita vaatimuksia. Ku-  
vassa näkyy suurpainenatriumlamppu ja sen sisäisten osien nimet. Tyypillinen tieva-  
laistuksessa käytetty teho on 70W, mutta toinen tyypillinen on pylväsvälin kasvaessa  
250W. Kuvassa 11 esitetään suurpainenatriumlampun rakenne.

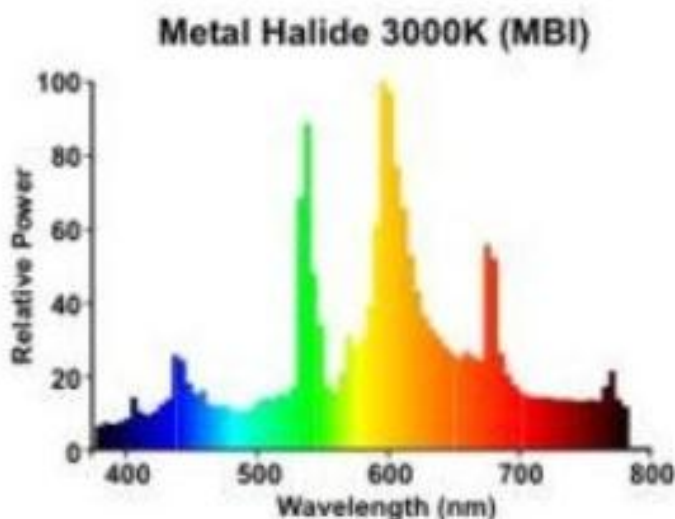


Kuva 11. Suurpainenatriumlampun sisäiset osat: 1. elektrodi, 2. Purkausputki, 3. Elektrodi, 4. Sytytys elektrodi, 5. Bi-metalliliuska, 6. Kuristin, 7. Getteri, ylimääräisten kaasujen kerääjä (Kuva: Anssi Pietilä) (Lampun tekninen piirustus)

### Monimetallilamppu

Nimensä mukaisesti monimetallilamppu sisältää monia metalleja. Valon tuotto tapah-  
tuu, kun höyryn läpi kulkee valokaari, jolloin atomit virittyvät ja säteilevät valoa. Kuväs-

sa 12 esitetyn spektrin piikkikyydestä voi nähdä, kuinka eri metallit säteilevät eri aallonpituudella.



Kuva 12. Monimetallilampun spektristä voi nähdä eri metallien lähettämän aallonpituuden (Light spectrum).

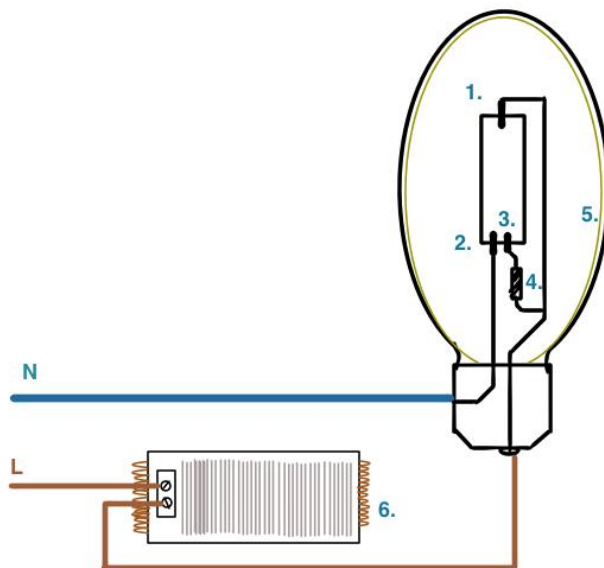
Monimetallilampun sisällä on seuraavien metallien halideja: natrium, litium, erbiium, cesium, indium, skandium, holmium, tulium, tallium ja dysprosiumin jodideja. Halidi on halogeenin yhdiste, jossa halogeeni on elektronegatiivisempänä osapuolena. Kaikista alkalimetalleista saadaan muodostettua halideja halogeenin kanssa.

Monimetallilampulla on hyvä valotehokkuus, tyypillisesti 90 lm/W. Värintoistoindeksi on korkea, usein 85, ja valon värisävy on puhtaanvalkoinen. Tekninen rakenne on samantyyppinen kuin suurpainenatriumlampussa. Purkausputken rakenne määrittelee, onko polttimo kvartsilasinen vai keraaminen. Nykyiset valmistettavat polttimot ovat keraamisia. Keraamisten polttimoiden etuina ovat parempi värisävynpysyvyys ja pienempi valovirran alenema ajan kuluessa. (Kallasjoki 2012: 20)

Värisävyn ja hyvän valotehokkuuden vuoksi monimetallilampuin varustettuja valaisimia käytetään kaupunkien keskustoissa ja julkisivuvalaistuksessa. Korkeita valaistusteknisiä arvoja vaativissa kohteissa käytetään monimetallivalaisimia. Näitä ovat esimerkiksi vaatekaupat ja elintarvikeliikkeiden viherosastot. Tyypillinen monimetallivalaisimen teho on 35 W tai 70 W, valonheitinkäytössä on jopa 3000 W tehoja. (Kallasjoki 2012: 20)

## Elohopeahöyrylamppu

Elohopeahöyrylamppu on purkauslamppu, jossa valoa syntyy elohopeahöyryn läpi kulkevan purkauskaaren virittämässä atomeissa. Elohopeahöyryn sisällä valokaaren palaessa syntyy sekä ihmissilmälle näkyvää valoa että ultraviolettivaloa. Tämä UV-valo muutetaan polttimon lasikuvussa olevalla loisteaineella näkyväksi valoksi. Tällöin spektri on loisteaineen tyypistä riippuen usein piikikäs, jossa kaikki UV-valo ei muutu näkyvänvalon alueelle. Kuvassa 13 on esitettyä elohopeahöyrylamppun sisäinen rakenne.



Kuva 13. Elohopeahöyrylamppu, valonlähteen osien nimet: 1. elektrodi 2. elektrodi 3. sytytys Elektrodi 4. sytytyskuristin 5. loisteaine 6. kuristin (Kuva: Anssi Pietilä) (American electric street light - how to wire)

Elohopeahöyrylamppu on ollut erittäin suosittu ulkovalaistuksessa, vaikka uusia asennuksia sillä ei enää tehdä. Kun on haluttu käyttää valkoista valaistusta on käytetty elohopeahöyry-valonlähteitä, jolloin pääsääntöisesti tehot ovat olleet 80 W tai 125 W. Valonheittimissä ja muissa paljon valoa tuottavissa valaisimissa on käytetty 250 W tehoja.

Elohopeahöyrylamppun käytön suosio johtuu siitä, että se on ollut pitkään markkinoilla, sen hankintahinta on ollut alhainen ja se on ollut lähes ainoa vaihtoehto, jolla tuottaa ulkovalaistuksessa puhtaan valkoista valoa.

Euroopan Unioni on säätänyt direktiivin, jonka myötä elohopeahöyrylampujen myynti loppuu. Eco design -direktiivi kieltää asteittain eri lampujen myynnin EU:n kauppalueella. EU:n kieltojen on tarkoitus ohjata kuluttajia käyttämään energiatehokkaampia valonlähteitä. Direktiivin mukaisesti aloitetaan poistamalla tehottomimmat, jolloin valmistajilla on aikaa kehittää tehokkaampia ratkaisuja.

Elohopeahöyrylampun osalta tämä myynti- ja markkinoille saattamiskielto on voimassa 13.4.2015. (Korvaajat perinteisille elohopeahöyrylampuille)

### **Halogeenilamppu**

Halogeenivalaisimia käytetään ulkovalaistuksessa niiden halvan hankintahinnan vuoksi. Halogeenivalaisimet ovat lähes huoltovapaita, sillä niissä ei ole valonlähteen lisäksi muita vikaantuvia komponentteja, kuten sytyttimiä tai kuristimia, joita käytetään purkauslampuja käytettäessä. (Kallasjoki 2012: 18)

Halogeenivalonheittimen toiminta perustuu volframi-langon hehkumiseen, joka tuottaa valoa ja merkittävän määrän lämpöä. Halogeenilamppu on hehkusäteilijä, jonka värinsävy ja valontuotto muuttuvat syöttöjännitteen mukaisesti. Värinsävy muuttuu punertavaksi jännitteen laskiessa ja valontuotto vähenee.

Värinsävy on valkea ja polttoaika on lyhyt, vain 1500 tuntia. Valovirran alenema on vähäistä käytön aikana, valontuotto loppuu langan katketessa.

### **Led- valaisin**

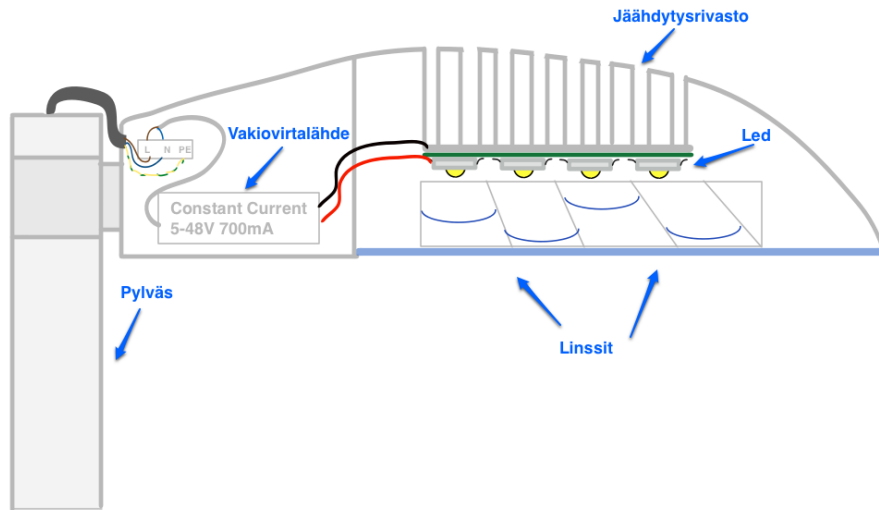
Led-valaisin on valaisin, jonka valontuotto on toteutettu puolijohdetekniikalla. Valonheittimen polttoaika on todella pitkä, ennustetut polttoajat ovat 30 000 - 90 000 tunnin väliltä. Valmistajasta riippuen on valaisimen valovirta käytön jälkeenkin vielä yli 70% alkuperäisestä valovirrasta. (Kallasjoki 2012:23).

Värinsävy on valkoinen, ja Ra -indeksi on hyvä, eli 70. Tyypillinen valaisin on teholtaan noin 50 W – 100 W, sillä ledin valotehokkuus on hyvä n. 100 lm/W.

Led-valaisimen himmennys on mahdollista tehdä täysin portaattomasti. Käytännön sovelluksissa niitä on usein esimerkiksi DALI-käytöissä 16 kpl ja 1 – 10 V- käytöissä



10 kpl. Kuvassa 14 on esitettyä tyypillinen led valaisimen sisäinen rakenne peruskomponenteilla.



Kuva 14. Led-valaisimen komponenttien määrä on pieni: jäähdytysrivastot vievät ison osan valaisimen rakenteesta ja tuovat lisää painoa. (Kuva: Anssi Pietilä) (Led road – Retro fit led light engine for street light)

### Retrofit-lamppu

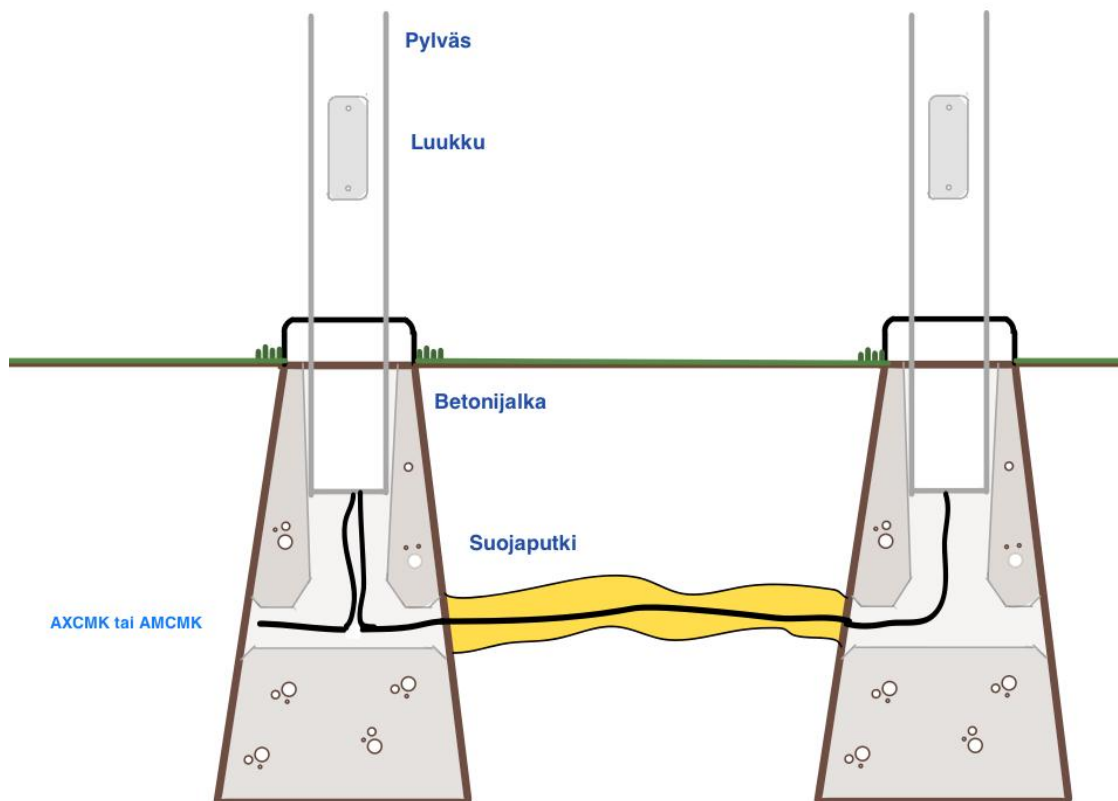
Retrofit-käsite tarkoittaa uuden asian tai tekniikan soveltamista vanhentuneessa ympäristössä. Retrofit-lampulla tarkoitetaan yleisesti toisen valonlähdetekniikan soveltamista toista tekniikkaa käyttävässä valaisimessa ilman, että siihen joudutaan tekemään kohtuuttomia muutoksia. Retrofit-valonlähde voi olla esimerkiksi led-lamppu, jolla korvataan hehkulamppu sen alkuperäisessä ympäristössä. Kuvassa 15 on tyypillinen retrofit-lamppu.



Kuva 15. 125 W elohopeahöyrylampun korvaamiseen käytettävä 22 W led-retrofit-lamppu. (Led-Tuoteryhmät)

#### 4.3 Ulkovalaistuksen teknisiä ratkaisuja

Ulkovalaistuksen tekninen rakenne on usein yksinkertainen ja toistettavissa helposti, koska erilaisia komponentteja on vain vähän. Tyypillisesti ulkovalaisimessa on betonijalka, pylväs, orsi ja valaisin, jonka sisällä on valonlähde ja muut komponentit. Kuvassa 16 on esitetty pylväsvalaistuksen maakaapelointi



Kuva 16. Pylväsvalaistuksen kaapelointi tehdään usein maakaapelilla pylväiden välillä. (Kuva: Anssi Pietilä)

Valaistusta ohjataan pääsääntöisesti pitkinä ketjuina, joissa kaikki valot syttyvät samalla kertaa. Tämä on usein toteutettu yksinkertaisesti ohjaamalla yhtä kolmivaiheista ryhmää kontaktorilla. Kontaktori on monikäyttöinen ja toiminnaltaan yksinkertainen. Sen ohjaaminen vaatii yhden aktiivisen väylän, ja sen takaisinohjaaminen vaatii vain väylän katkaisemisen.

Katu- ja tievalaistuksen ohjaaminen tapahtuu keskitetysti keskuksissa, jotka on voitu asentaa maahan tai pylvääseen. Katuvalaistus tehdään usein mitoittamalla haluttu valaistustaso, joka saavutetaan käyttämällä valittua katuvalaisinta. Tällöin pylväsväli on näiden haluttujen tasojen asettaman raja-arvon välinen etäisyys. Tiet on jaettu kolmeen luokkaan, jotka ovat pääkatu, kokoojakatu ja tonttikatu. Nämä vaikuttavat tien leveyteen ja valaistuksen mitoittamiseen.

Tyypillinen pylväsväli tievalaistuksessa on 30 m ja moottoriteillä 50 – 100 m riippuen pylvään korkeudesta. Katuvalaistuksessa ja puistoissa saatetaan käyttää lyhyempiä pylviä ja pienempiä tehoja, jolloin pylväsväli voi olla 10 – 50 m. (Markkanen 2014)

Valaisinpylväiden välinen kaapelointi tehdään käyttämällä maakaapelia, jossa on neljä johdinta (kuva 17). Kaapelin paksuus on ohjatun ketjun pituudesta riippuen 25 – 185 mm<sup>2</sup>. Tästä tehdään haaroitus valaisinpylväälle, jossa on oma sulake.



Kuva 17. AXMK kaapelin sisäinen rakenne, josta näkee yksittäisten kaapeleiden muodon

#### 4.3.1 Ohjainlaitteen asentaminen katuvalokeskukseen

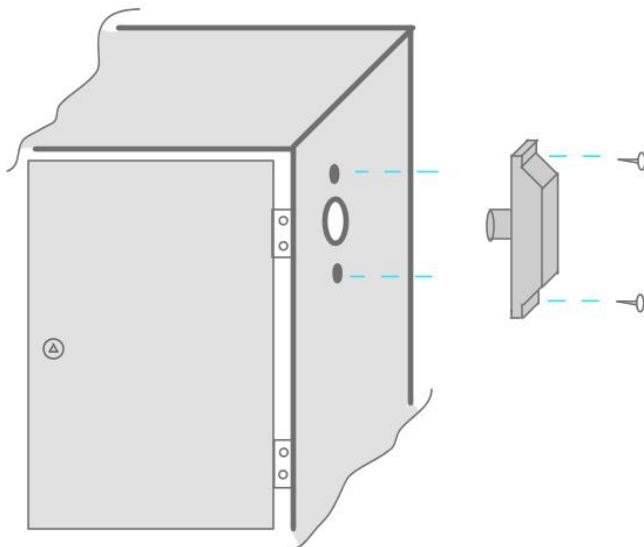
Tyypillinen asennuskohta on käyttää keskuksen vapaata kennoa ohjainlaitetta varten, ja johdottaa kennosta ohjaukset ohjaaville kontaktoreille.

Kuvasta 18 voi nähdä keskuksessa olevat komponentit: oikealla alhaalla pääkytkin ja pääsulakkeet, vasemmalla ylhäällä ohjattavat kontaktorit ja niiden alapuolella lähtösulakkeet, joiden jälkeen lähtöliittimet. Ohjainlaitteet asennetaan valkoisen kojeen tilalle.



Kuva 18. Ulkovalaistusohjaukeskuksen sisällä olevat komponentit (Kuva: Anssi Pietilä)

Kuvassa 19 on esitetty antennin asennus keskuksen kylkeen. Kuvan antenni on C2 Smartlightin GSM-verkkoon kytkeytymistä varten oleva antenni. Antennin asennus vaatii keskukseseen kolme reikää. Antennijohto kulkee reiästä, jonka halkaisija on 17 mm. Tämän lisäksi on kaksi 2 mm reikää, joihin asennetaan ruuvit antennin irrotuksen estämiseksi.



Kuva 19. Antennin kiinnitys keskuksen tehdään ulkopuolelta kahdella ruuvilla ja mutterilla keskuksen sisäpuolelta. (Kuva: Anssi Pietilä)

#### 4.3.2 Pylväsasennus

Pylväsasennuksessa pylvääseen asennettu keskus tai sääsuojakotelo toimii asennusalustana. Pylvääseen asennettaessa on huomioitava pylvään tekninen käyttöikä, joka saattaa olla lyhyempi kuin keskuksen. Pylväsasennus sopii esteettisesti paremmin pururadoille ja urheilukentille, missä asennuksen ulkonäöllä ei ole niin suurta merkitystä. Kuvassa 20 on sähkökeskus asennettu pylvääseen sääsuojakoteloon, jonka sisällä on sähkökeskus.



Kuva 20. Pylvääseen asennettu keskus ja sen ympärillä sääsuoja, joka on valmistettu vesivanerista. (Kuva: Noora Hiltunen)

Pylväsasennuksessa on laitteen asennus samanlainen kuin keskuksen asentaminen. Mikäli keskus joudutaan asentamaan esimerkiksi kinostuvan lumen takia korkealle, on pylväässä tehtävä huolto hankalaa. Tällöin, mikäli mahdollista, on kannattavampaa siirtää keskus toiseen paikkaan käyttäen maakaapelointia.

### 4.3.3 Ryhmäkeskusasennus

Ulkovalaistusta voidaan ohjata myös normaaleista ryhmäkeskuksista, joista on lyhyt reitti ulos maakaapeleille ja antennille. Tällaisia keskuksia ovat esimerkiksi talon sisällä olevat, ulkoseinälle sijoitetut keskuksat.

Ryhmäkeskukseen tehdyt asennukset toteutetaan asentamalla ohjainlaite esimerkiksi vapaaseen energiamittarin asennusalustaan. Näin saadaan ohjainlaitteelle iso, tasainen alusta. Mikäli mittariristikko ei ole vapaana, voidaan laitteet asentaa DIN-kiskoon. Tällöin tulee tarkistaa, että keskus on tarpeeksi syvä laitteiden mittoihin. Jos laitteet eivät mahdu keskukseen, voidaan laitteet asentaa erilliseen koteloon. Tällöin voidaan kontaktorien johdot johdottaa keskuksien välille tai valaisimien syöttöjohto ohjainkoteloon.

## 5 Valaistuksen ohjaus

### 5.1 Perinteiset ohjaustavat

Ulkovalaistuksen ohjaustapoina on tekniikan kehittyessä käytetty tarpeen mukaan yhä teknisempiä ratkaisuja. Tyypillinen perinteinen ohjaus on ollut kytkeä valot päälle kytkimestä, kun niitä on tarvittu. Tällöin on valaistuksen sytyttäminen ollut käyttäjän näkemyksestä riippuvainen. Osa käyttäjistä sytyttää valot aiemmin ja toiset myöhemmin.

Liikkeentunnistimella tapahtuva ohjaus on tarkka, mutta syttymisviiveiden takia kohtuuttoman hidas. Syttymisviivettä on sekä loistelampuissa ja purkauslampuissa, viiveen pituus riippuu ympäristön ja lampun lämpötilasta. Loisteputki syttyy nopeammin lämpimänä, mutta purkauslampun tulee jäähtyä välillä ennen uudelleen sytytystä. Loisteputken sytytysviive on muutamia sekunteja, purkauslampuilla useita minutteja. Liikkeentunnistimella tapahtuva ohjaus ei tarjoa valaistusta, jolla on ennaltaehkäisevä asiattomasti liikkuvia henkilöitä varoittava ja valvova vaikutus.

Ohjattaessa valoja kellokytkimellä asetetaan kelloon ajat, jolloin kello sytyttää ja sammuttaa valot. Sääto on ajallisesti tarkka, mutta se jättää täysin huomioitta vuodenajan mukaan muuttuvat auringon nousu- ja laskuajat. Kellokytkintä voidaan käyttää myös muiden ohjainjärjestelmien kanssa yhdessä.

Hämäräkytkin on kytkin, joka toimii ennalta säädetyn hämärärajan ylittyessä. Hämäräkytkin vedättää releen, kun sensorin havaitsema arvo on täyttynyt. Tällä saavutaan tarkempi säätö kuin kellokytkimellä, mutta samalla asetteluarvon ollessa väärin, ohjaa kytkin syttymisen ja sammuttamisen aina väärin. Mikäli käytetään pelkkää hämäräkytkintä, voi sen vikaantuminen aiheuttaa yhtäjaksoisen palamisen tai palamattomuuden. Tästä syystä on viisasta käyttää hämäräkytkimen ja kellokytkimen yhteistä ohjausta.

## 5.2 Nykyaikaiset ohjaustavat

Nykyiset ohjaustavat ovat kehittyneempiä ja niissä on kehitetty oikea-aikaista sytytystä. Moderneimmissa järjestelmissä voidaan dynaamisesti himmentää valaisimia liikkeen mukaisesti. Tällöin valoja kirkastetaan liikkeen edessä ja himmennetään takanapäin.

Nykyaikaisissa ohjaustavoissa on erikseen sammutus ja himmennysvaihtoehdot. Näiden raportointi yhtenäiseen järjestelmään ja huollon raporttien koostaminen ovat nykyisten järjestelmien etuja verrattuna vanhoihin järjestelmiin.

### 5.2.1 Tiedonsiirto sähköverkossa

Tiedonsiirto sähköverkossa (Power line communication, PLC) ei ole kovin yleistä, sillä verkon tiedonsiirtonopeudet ovat usein varsin hitaita. PLC-tekniikkaa voidaan kutsua datasähköksi. Sen etuna on kaapeloinnin vähyyys, koska lisäkaapelointeja ei tarvita tiedon välittämiseen. Vikaherkkyys on pieni, ja signaaliin tulee vähän häiriöitä käytettäessä PLC-tekniikkaa. Galvaaninen linkki on varmempi kuin radioaallot. (Pulliainen 2015)

Datasähköä on käytetty suurjännitelinjoissa soitettaessa huoltopuheluita kytkinasemalta voimalaitokseen. Mikäli kaapelia suojaava suojalaite laukeaa, tarkoittaa se sitä, että eivät valot pala eikä ohjaus tai raportointi toimi.

### 5.2.2 Digitaalinen osoitteellinen ohjusjärjestelmä

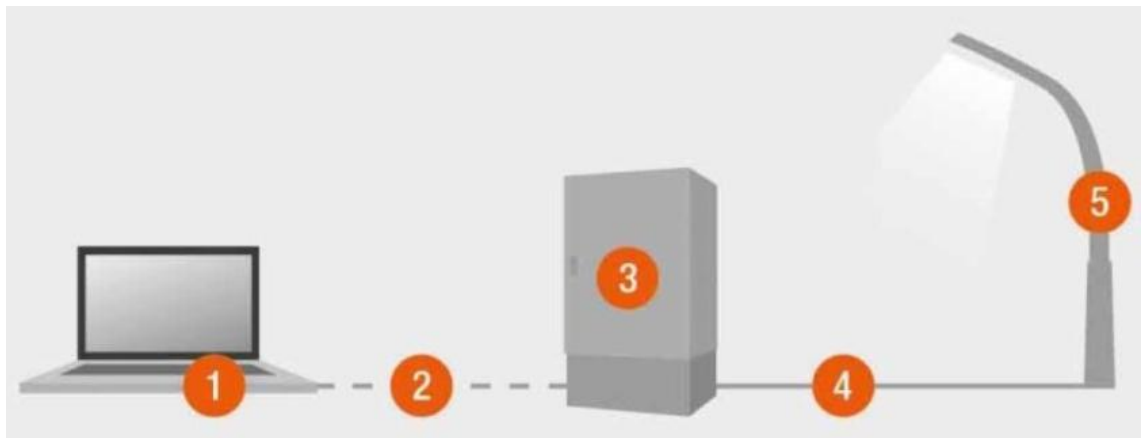
Digitaalinen, osoitteellinen valaistusohjausjärjestelmä (Digital addressable lighting interface, DALI), on järjestelmä, jossa jokaisella valaisimella on osoite. Osoitteet ovat binäärinumeroita, joilla laitteita voidaan kutsua ja joilla niille voidaan lähettää kohden-

nettua tietoa. DALI-väylä on kaksijohtiminen, ja sen kytkentäetäisyys ja häiriösietoisuus ovat hyvät. Tiedonsiirtonopeus riippuu verkon koosta, mutta 63 solupisteen verkossa ei silmin nähtävää hidastumista ole. DALI-verkon voi rakentaa tähti- tai rengasmuotoon. Tämä johtuu siitä, että tietoa välitetään vaihtosähköpulsilla, johon laite reagoi vain, jos sen lähetystunnus on sama kuin pyydetyn laitteen. (IEC 62386.)

Väylä toimii vaihtosähköllä, jolloin kytkennän polariteetilla ei ole väliä. Väylän johtimet voivat kulkea valaisimen syöttöjohtojen kanssa samassa kaapelissa. DALI-väylä ei ole SELV-järjestelmää. DALI-väylässä olevat jännitetasot ovat 6,5 – 16 V (tarkoittaen 1) ja 0 - 4,5 V (tarkoittaen 0). Tyypillisesti DALI-ohjatun valaisimen kuormitus ohjausväylässä on 2 mA. (Pulliainen.)

### 5.3 C2-ohjausjärjestelmä

C2 Smartlight Oy:n ohjausjärjestelmä on laajasti Suomessa käytössä ja se on suunniteltu ulkovalaistukseen ohjaukseen. Järjestelmä on modulaarinen ja jälkeenpäin päivitettävissä lisäämällä laitteita. Kokonaisuudessa on ohjainlaitteet, jotka ovat kentällä ja ohjausjärjestelmä, joka on ohjelma keskuspalvelimella. Kuvassa 21 on esitetty pelkistetyt modernin katuvalaistus ohjausjärjestelmän osat.



Kuva 21. Ohjausjärjestelmän osat: 1. ohjelmiston käyttöpääte 2. 3G-tietoliikenne, 3. ohjainlaitteet, 4. syöttökaapelointi, 5. valaisinkohtainen ohjainlaite.



### 5.3.1 Ohjausjärjestelmän yleiskatsaus

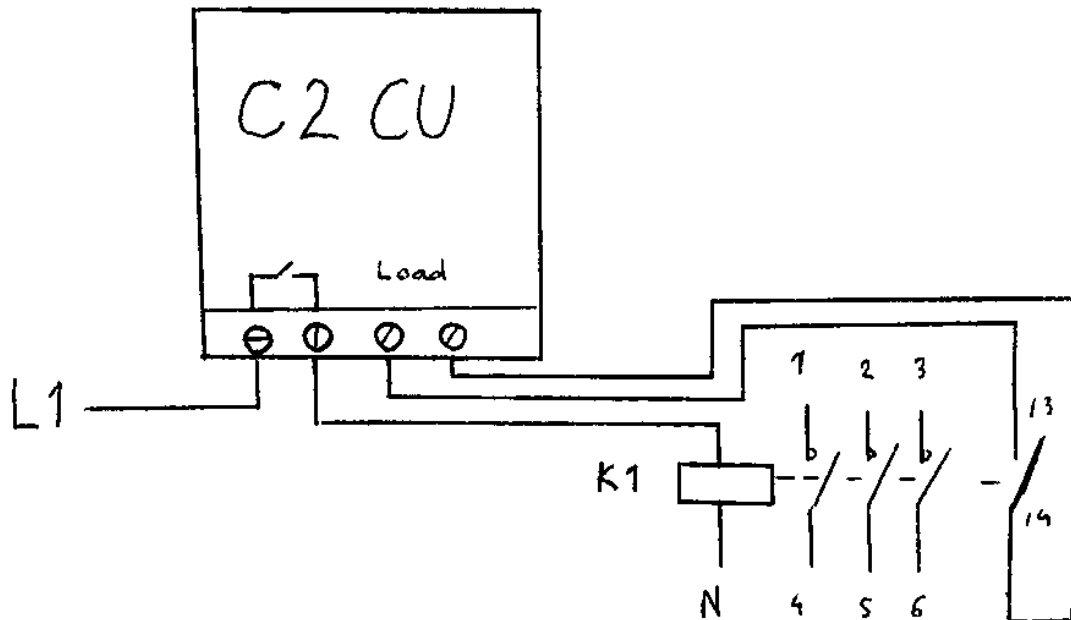
Kuvan 22 keskusyksikkö eli CU (central unit) on toiminnan ydin. Yksikkö toimii ohjattavana releenä ja viestitienä, kun se välittää tietoa langattomasti 3G-verkossa. Laitteen liittimien toiminta on selvitetty kuvassa 23.



Kuva 22. CU, päällä olevassa osassa on avainkytkin, SIM-kortin asennuskelkka ja merkkivalot laitteen toiminnasta (Kuva: Anssi Pietilä)

Laitteen liittimet on antenniliitintä lukuun ottamatta valmistanut Phoenix Contact. Liittimet on testattu 1 000 V koestusjännitteellä läpilyönneiltä. Liittimien kiinni pysymisen varmistaa muovinen kynsi, joka ohjaa liitintä kiinni painettaessa ja parantaa kiinnipysyvyyttä.

Liittimiä on yhtä kokoa ja sekä uros- että naarastyypisiä. Liitin on nelinapainen ja sillä tehdään ohjaus- ja tilatiedon kytkemistä varten johdotus. Laitteen kyljessä olevassa liittimessä olevat selkeät kuvat ohjaavat kytkemään liittimen oikein. Liittimeen kytketään kaksi johdinta, joilla mitataan releen kärkitietoa ja kaksi johdinta, joilla ohjataan kontaktorin kela. Ohessa johdotuskaavio, minkä avulla voidaan mitata K1 sulkeutumista ja ohjata K1:tä.



Kuva 23. Kytkentäkaavio kontaktorin vedättämiseksi sekä sulkeutumisen mittaaminen (Kuva: Anssi Pietilä)

CU on masteryksikkö, jonka perässä on orja, eli *slave*-yksikkö. CU:n ohjaamat yksiköt kytketään toisiinsa RJ45-liittimin varustetuilla kaapeleilla. Kaapelia käytetään tiedonsiirtoon, joskaan tiedonsiirto ei tapahdu Ethernet -protokollan mukaisesti.

Moduulien välinen tietoliikenne tapahtuu Philipsin kehittämällä I<sup>2</sup>C-väylällä. Väylää pitkin välitetään ohjaus-, mittaus- ja tilatiedot. CU voi kerätä lämpötila-, tilatieto- ja luminsmittitietoja toisilta moduuleilta ja välittää niitä keskuspalvelimelle.

Kuvassa 24 on releyksikkö, RU (reley unit). Releyksikössä on kolme relettä ja niiden ohjauselektronikka, joka ohjaa niitä ja mittaa kärkien sulkeutumisen. Ohjattaessa rele kiinni-tilaan kytkeytyy ohjattava kontaktori. Kontaktorin apukärkien kautta saadaan tieto kontaktorin sulkeutumisesta. Tämä tieto välitetään RJ45-kaapelia pitkin CU:lle, joka lähettää tiedon palvelimelle. Tällöin käyttöliittymästä voidaan nähdä kontaktorin vetäneiden ja valojen syttyneen.



Kuva 24. RU, moduulissa on merkkivalot releille ja mitattaville kärkitiedoille (Kuva: Anssi Pietilä)

MU on mittausyksikkö (measuring unit). MU:lla mitataan kytkettyjen kuormien virtoja. Mittayksikköä käytettäessä ei tarvitse kytkeä releyksikössä kontaktoreihin apukärkiä. Järjestelmässä on ominaisuus, joka tulkitsee kontaktorin vetäväksi, mikäli virtamuuntajan läpi kulkee virta. Kuvassa 25 on esitetty mittamuuntaja, joka kytketään liittimen A ja B liittimiin. 230 V liittimiin kytketään mittausjännite.



Kuva 25. Mittamuuntajat ovat avattavissa ja täten ne voidaan lisätä ilman, että kytkentöjä tarvitsee avata. (Kuva: Anssi Pietilä)


Mittausyksikkö tarvitsee kytkentää varten mittaussulakkeet ja mittamuuntajat. Järjestelmä laskee polttoaikojen kanssa laitteiston energiankulutuksen. Mittaustuloksista järjestelmä tekee hälytyksiä, mikäli vaihekohtainen virta on laskenut tai noussut. Näiden hälytysten avulla voidaan tehdä huolto, kun ennalta määrätty määrä lamppuja on rikoontunut ja virta laskenut.

### 5.3.2 Valaisinkohtaisen ohjauksen toteutus C2:lla

Valaisinkohtaisella ohjauksella tarkoitetaan ohjaustapaa, jossa yksittäisiä valaisimia ohjataan tai himmennetään. Ohjaus voi olla perinteinen päälle-pois tai monimutkaisempi himmennys ja saavutetun arvon raportointi järjestelmään.

C2 Smartlight -ohjausjärjestelmässä valaisinkohtaisella ohjauslaitteella voidaan tehdä päälle-pois-ohjausta ja himmennystä. Tarjolla on kaksi eri tuotevaihtoehtoa: Lucont-ohjaimella voidaan sammuttaa valaisin releohjatusti ja himmentää ohjausväylällä ja Lumo-ohjaimella sammutus tapahtuu himmentämällä nollatasoon. Valaisimen himmennys voidaan tehdä käyttäen DALI- tai 1 - 10 V -ohjaustapaa. Lucont- ja Lumo-ohjainten tarkempi vertailu esitetään taulukossa 1.

Taulukko 2. Valaisinkohtaisten ohjauslaitteiden ominaisuuksien välinen vertailu (C2)



TUOTEOMINAISUUDET

Ominaisuus	C2 SmartLumo	C2 LUCONT
Langaton ohjaus	X	X
Hallittavissa paikallisesti kannettavalla tietokoneella ilman C2 SmartLight ohjausjärjestelmää	X	
Etähallittavissa C2 SmartLight ohjausjärjestelmän kautta	X	X
Toimii itsenäisesti "Stand-Alone" moodissa <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ohjaus kytketyn liiketunnistimen mukaan</li> <li>- Ohjaus kytketyn hämäräanturin mukaan</li> </ul>	X	
Aikataulutettu himmennuksen ohjaus	X	X
Valaistuksen ohjaus itsenäisesti astronomisella kellolla	X	X
Varajärjestelmä: astronominen kello	X	X
Valaisimen tuottaman valovirran automaattinen säätö (edellyttää kytkettyä hämäräanturia)	X	
Aikataulutettu yösammutus	***X	X
Aikataulutettu himmennys	X	X
Automaattinen himmennys laskennallisen keskiyön mukaan	X	
Virranmittaus	*X	X
Jännitteen mittaus		X
Valaisimen syttymisen valvonta	*X	X
<b>Tietoliikenne:</b>		
IEEE 802.15.4 ZigBee MESH network	X	X
Päästä päähän salaus: AES 256	X	X
<b>Liityntä- ja ohjausrajapinnat:</b>		
1-10 V DC -säätö	**X	**X
DALI protokollalla säätö	**X	**X
2 Ohjausrelettä		X
Analoginen liityntä (esim. valoisuusanturin liittämiseksi)	X	
Digitaalinen syöttö (esim. liiketunnistimen liittämiseksi)	X	
<b>Fyysinen suojaus:</b>		
Suojausluokka IP67	X	X
Koko 66mm x 36mm x 90mm (l * k * s)	X	
Koko 67mm x 38mm x 183mm (l * k * s)		X

\*OPTIO: Virranmittausmuunnin asennettuna analogiseen liityntään.

\*\* Eri tuoteversiot 1 -10 V DC ja DALI ohjauksille

\*\*\* Sammutus himmentämällä

Valaisinkohtaisten ohjainlaitteiden tietoliikenne kulkee ilmaitse pylvästä radiokeskitimelle. Keskitin on I<sup>2</sup>C-väylällä yhteydessä CU:n kanssa. Sieltä tieto välittyy keskuspalvelimeen. Luconc-keskitintä varten tulee asentaa oma antenninsa, jolla se viestii valaisinkohtaisille ohjainlaitteille.

Pylväiden ja keskittimen välillä oleva radioverkko on Zigbee-pohjainen verkko, jossa kantomatka käytetyillä lähetystehoilla on noin 50 m. Zigbee on vapaa 2,4 Ghz alueella toimiva verkkotekniikka.



Kuva 26. Luconc-ohjainlaite, laitteeseen on sisäänrakennettu Zigbee-järjestelmän radiomoduuli ja PLC-liikennettä tukeva moduuli. (Kuva: Anssi Pietilä)

Keskittinlaitteen ja valaisinkohtaisten ohjauslaitteiden kaksisuuntainen viestiliikenne tapahtuu radioteitse. Keskittinlaitteen maksimietäisyys valaisinkohtaiselta ohjauslaitteelta saa olla 50 m.



Kuva 27. Valaisinkohtainen Lucont-D ja Lumo 1 – 10 V himmennykseen. Molemmat laitteet on saatavissa sekä DALI- että 1 - 10 V -ohjaustavalla (Kuva: Anssi Pietilä)

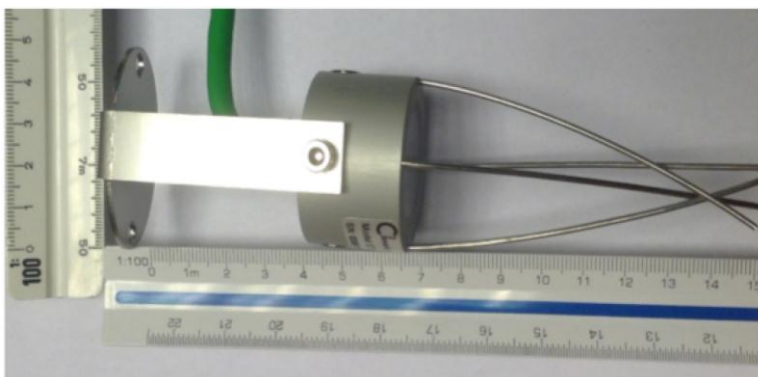
### 5.3.3 C2-valaistusmittausasema

Auringon liikkeet tunnetaan tarkasti ja auringon nousu- ja laskuajat voidaan laskea vuosiksi eteenpäin. Tämän tiedon pohjalta tehtävä valojen sytytys ei ole tarkkaa, sillä se ei huomioi sään vaikutusta valaistukseen. Sään muutokset, kuten pilvisyys, vaikuttaa auringonvalon heijastumiseen ja siroutumiseen merkittävästi. Pilvisen ja pilvettömän taivaan tuoma vaikutus valojen sytyttämiseen ja sammuttamiseen voi olla päivittäin noin 30-90minuutin luokkaa riippuen halutusta sytytystasosta. Tämä vaikuttaa vuositasolla merkittävästi polttoaikoihin.

Auringon valo vähenee auringon laskiessa epälineaarisesti. Auringon liikkeet tuntien voidaan jatkuvalla mittauksella ekstrapoloida valojen sytytyshetki mitatusta valaistuksesta.

Valaistusmittausasema rakennetaan asentamalla valaistusmittaussensoreita samaan valaistusvyöhykkeeseen, tyypillisesti 2 - 3 kilometrin säteellä toisistaan. Ilmalan kohteessa on mittaus suunniteltu toteutettavaksi kolmella valaistusmittausensorilla, jotka asennetaan kohteessa olevien rakennusten katoille. Mittausta täydennetään ja tarkkuutta parannetaan käyttämällä hyväksi Helsingin kaupungin katuvalojen ohjauksessa käytettävää mittausdataa. Helsingin katuvalaistusta mitataan yhteensä yli yhdeksästä paikasta, koska tällä tavoin saadaan tarkempi mittaustulos.

Sensoreiden hajautus tehdään, jotta huomioidaan auringon eri nousukulmat. Keväällä aurinko nousee horisontista eri kohdasta, kuin se nousee syksyllä. Nousukorkeuden ja nousukohdan erot saadaan kompensoitua ohjelmallisesti pois kun käytetään useampaa mittauskohtaa. Kuvassa 28 mittaussensori, joka kytketään CU-yksikköön.



Kuva 28. Valaistusmittausaseman mittaussensori, jossa linnunestopiikit (Kuva: Anssi Pietilä)



Sensorit asennetaan valosaasteettomaan suuntaan, jossa häiriövalon määrä on mahdollisimman vähäinen. Asennustavoista huonoin on suunnata sensori kohti ohjattua valaisinta tai tämän tuottamaa valaistusta. Mittaustiedon ja ohjatun valaisimen hajavalon yhdistäminen saattaa aiheuttaa värähtelyn tai huonontaa mitattua tietoa kohtuuttomasti. Vertailun vuoksi kuvassa 29 on aiemmalla ohjaustavalla toteutettu talon hämäräkytkin, jonka ympärille on jouduttu tekemään peltinen varjostin. Varjostimen avulla saadaan rajattua suurpainevalaisimen säteilemä valo pois sensorin silmästä, jolloin ei tapahdu värähtelyä. Hämäräkytkimen säätö on tällöin hankalaa ja epätarkkaa.



Kuva 29. Hämäräkytkimen ympärille rakennettu varjostin häiriövalon välttämiseksi (Kuva: Anssi Pietilä)

Mittausdatan käsittelyssä käytetään hämärtymiselle kehitettyä algoritmia, joka osaa ekstrapoloida tulevan kehityksen. Auringon liikkeiden systemaattinen muuttuminen vuoden eri aikoina pystytään laskemaan pois, kun mittauspisteitä on tarpeeksi. Mittausdatasta lasketaan keskiarvo kaikkien sensoreiden välillä. Mitatusta datasta suodatetaan pois sellaiset tulokset, joita ei pidetä uskottavina. Suodatettavaa tietoa ovat esimerkiksi täysi pimentyminen ja ylisuuri kirkkaus.

Mikäli jonkin sensorin mitaamat arvot ovat selvästi eri suuruusluokkaa, kuin muiden sensoreiden mitaamat arvot, suljetaan nämä poikkeavat tulokset pois. Tällaisia yksittäisen sensorin mittausvirheitä voi tapahtua, mikäli sensorille tehdään huoltotyitä ilman, että niistä on tehty merkintä järjestelmään. Huoltotyöt voivat varjostaa tai taskulamppu valaista sensoria, jolloin arvot eivät ole järjestelmän mukaan uskottavia.



Aikaikkuna on se ajanjakso, jossa on arvioitu hämärtyminen tai sarastuksen tapahtuvan. Aikaikkunan määrittäminen päiväkohtaisesti, ja järjestelmä pitää siitä huolta. Järjestelmä käyttää sarastus-/hämrätymisalgoritmia tässä aikaikkunassa, vaikka mittauksia tehdään kokoaikaisesti.

#### 5.4 Valaistuksessa tapahtuvat häviöt

##### 5.4.1 Jännitteen alenema

Kytettäessä valaisimia ketjuna peräkkäin on jännitteen alenema viimeisen valaisimen kohdalla suurin. Jännitteen alenema on sitä suurempi, mitä enemmän ketjussa on valaisimia ja mitä enemmän tehoa kulutetaan. Jännitteen alenema aiheuttaa aina tehohäviön, joka tulisi pitää pienenä. Jännitteen alenema pienentää oikosulkuvirtoja, mikä on otettava huomioon verkkoa ja varsinkin sen pituutta määritettäessä.

Valaisimet, joissa valonlähde toimii ilman kuristinta tai liitäntälaitetta, kestävät selvästi pidempään, mikäli verkossa on normaalia pienempi jännite. Pienempi jännite parantaa myös kaasupurkauslamppujen toimintaikää, mutta niiden toiminta ei ole varmaa. Alijännitteessä olevat purkausvalot eivät välttämättä syty, sillä sytytyslaite vaatii stabiilin jännitteen, minkä lisäksi purkauslamppun sisällä palava valokaari ei välttämättä pysty palamaan alijännitteellä. Ylijännitteellä saadaan valaisimista, joissa ei ole säätöelektronikkaa, enemmän valoa, mutta tämä kuluttaa niitä suunniteltua nopeammin. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006: 99.)

Taulukossa 2 esitetään tyypillisiä, eri valonlähteiden minimijännitteitä, joilla lamput vielä syttyvät ja pystyvät palamaan yhtäjaksoisesti. Näitä arvoja ei kuulu käyttää tehtäessä mitoitus, sillä nämä ovat vähimmäisarvoja. Mitoituksessa on pyrittävä saavuttamaan 230 voltin taso.

Eri valonlähteiden vähimmäisjännitteet (GE-Lighting 2011)

Valonlähde	Minimijännite
Suurpainenatriumlamppu	183 V
Pienpainenatriumlamppu	190 V
Loisteputki	190 V
Elohopeahöyrylamppu	200 V
Monimetallilamppu	183 V
Kaasupurkauslamput	190 V

#### 5.4.2 Valaisimen häviöitä

Valaistuksessa tapahtuu häviöitä monessa kohtaa, mutta suurimmat niistä tapahtuvat lamputissa, valaisimissa ja valaistuksen suuntaamisessa.

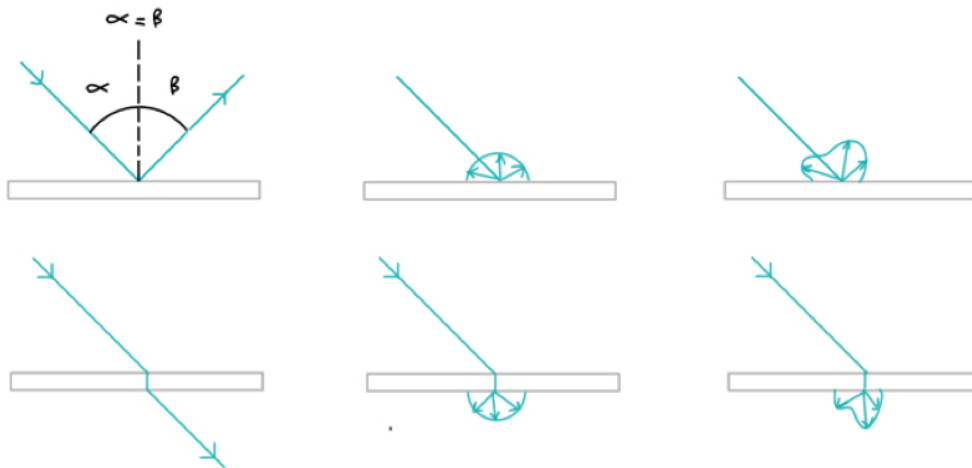
Perinteisissä valaisimissa on kuristin, joka rajoittaa virran kulkua. Kuristimessa tapahtuu resistiivisistä häviöistä johtuen lämpenemistä, jota ei pystytä hyödyntämään. Kuristimen häviöt ovat tyypillisesti 15 % valaisimen nimellistehosta. Kuristin pystytään nykyisin toteuttamaan pienemmin häviöin elektronisella liitälaitteella. Silti säilytetään sama säädettävyys. Kuristimen ja elektronisenliitälaitteen välillä on käyttöiässä ja hinnassa suuri ero, minkä vuoksi kuristimia käytetään laajemmin. Kuvassa 30 on tyypillinen Helsingin katuvalaisin, jonka virranrajoituskuristin on asennettu omaan koteloonsa.



Kuva 30. Elohopeahöyryvalaisimen kuristin on asennettu omaan koteloonsa

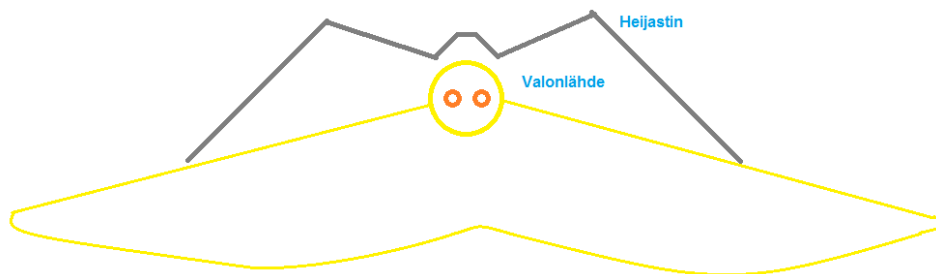
Optisia häviöitä tapahtuu valaisimessa olevien materiaalien takia. Lasi on kirkasta ja hyvin valoa läpäisevää, mutta silti osa valosta jää valaisimen sisälle peilanneesta pinnasta. Läpäisyyluku on suhteellisuus luku, joka kertoo kuinka paljon materiaalia kohti tulevasta valosta menee lävitse. Valon heijastus materiaalin pinnasta voi olla suunnattu, hajoitettu tai yhdistetty. Vastaavasti valon kulku materiaalin kautta voi tapahtua

suunnatusti, hajautetusti tai näiden yhdistelmänä. Kuvassa 31 on kuvattu valon heijastumista ja kulkua väliaineessa (Keksintöjen kirja Sähkö ja sen käyttö s. 191).



Kuva 31. Valon kulku materiaalissa (Kuva: Anssi Pietilä)

Suurimmat valaisimesta aiheutuvat häviöt johtuvat yleensä lampun asennosta. Valo joutuu usein heijastumaan valaisimessa, sillä harvat valonlähteet lähettävät valoa vain yhteen suuntaan. Kuvassa 32 on esitetty tyypillinen valaisimen heijastimen ja lampun asetelma. Kuvasta näkyy, että lamppu häiritsee valon kulkua niin, että valo heijastuu osittain valaisimen sisään. Suurimmat häviöt johtuvat juuri lampun varjostavasta vaikutuksesta, sillä heijastuspintojen materiaalit on valittu niin, ettei niissä tapahdu suuria häviöitä.



Kuva 32. Valonlähteen ja heijastimen asettelu (Kuva: Anssi Pietilä)

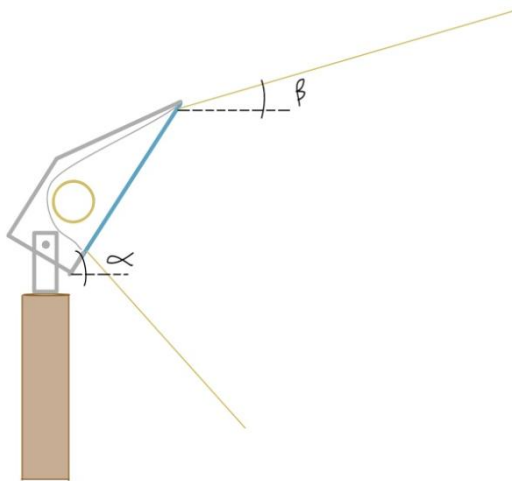
Valonlähteestä säteilee valoa usein kaikkiin suuntiin, minkä vuoksi heijastin tulee muotoilla siten, että polttimon varjoon jäävä "puuttuva" valo kompensoidaan. Tyypillisesti

tämä tehdään muotoilemalla heijastin W-malliseksi, jotta mahdollisimman vähän valoa jää valaisimen sisään.

Heijastavina pintoina käytetään alumiinia ja terästä eri pintakäsittelyin. Ulkovalaisimissa on tyypillistä käyttää valaisimen runkona olevaa materiaalia heijastimena ja jäähdytysratkaisuna. Tällöin heijastin on eloksoitua, prässättyä alumiinilevyä. Tätä voidaan kiillottaa, mikä lisää heijastuvuutta. Tämän lisäksi voidaan käyttää erillisiä teräsheijastimia, koska teräksellä saavutetaan parempi heijastuskerroin verrattuna alumiiniin.

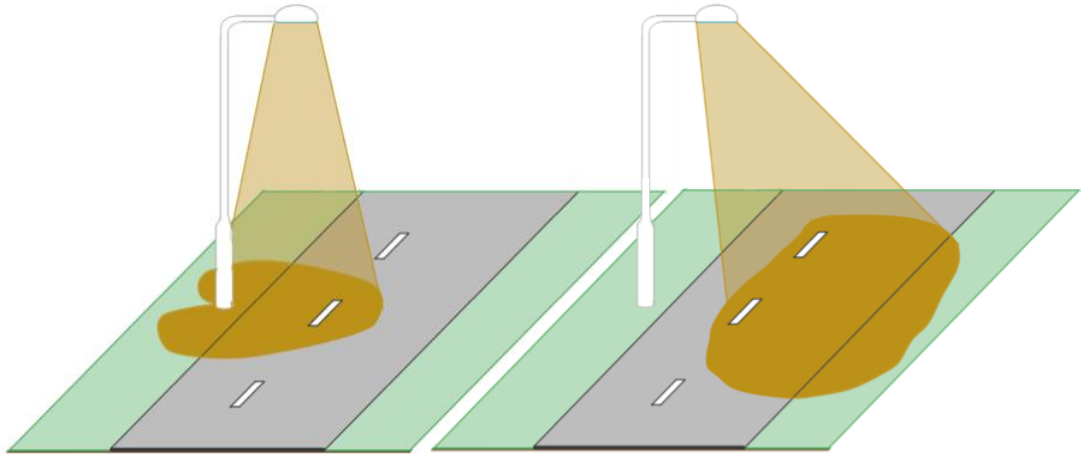
Väärin suunnatut valaisimet aiheuttavat valosaastetta, joka on sellaista valoa, joka valaisee tarpeettomasti ja se valaisee horisontin yläpuolelle. Valosaaste näkyy pimeään aikaan satelliittikuvissa ja matalalla olevien pilvien valottumisena. Kaikki valo, mikä saadaan tuotetuksi, tulisi saada käyttöön valaistuskohteessaan.

Valaisimien suuntauksesta aiheutuvaa hävikkiä voi pienentää välttämällä tyypillisiä asennusvirheitä. Kuvassa 33 on esitetty yksi yleinen tapa suunnata valaisin virheellisesti niin, että sillä saavutetaan näennäisesti pitkä kantomatka ja suuri valaistusala. Valaisimen tuottamasta valosta iso osa on kuitenkin valoa, jolla ei valaista haluttua kohdetta. Tämä valo menee hukkaan ja aiheuttaa valosaastetta. Kuvassa valaisimen kulmat  $\alpha$  ja  $\beta$  eivät ole samat. Kuvassa oleva valaisin on valontuotoltaan epäsymmetrinen.



Kuva 33. Valaisimen suuntauksessa on tehty virhe kallistuskulman ja vertauskulman välillä (Kuva: Anssi Pietilä)

Suuntauksella ja kallistamisella voidaan saada valaisimen tuottama valo tehokkaammin käyttöön. Kuvassa 34 esitetään valaisimen vääränlaisesta lampusta tai suuntauksesta aiheutuvat virheelliset valaistuskuviot.



Kuva 34. Virheellinen tien valaistus: vasemmalla vääränlaisesta polttimosta johtuva, oikealla väärästä suuntauksesta johtuva. (Kuva: Anssi Pietilä)

## 6 Ilmalan logistiikkakeskus

### 6.1 Käyttäjän taustatiedot

Insinööriyö tehdään Posti Group Oyj:n kohteeseen, sillä ISS Palvelut Oy ja Posti Group Oyj ovat pitkäaikaisia kumppaneita. Ilmalan kohde valikoitui lukuisten kohteiden joukosta ikänsä ja sijaintinsa takia. Ilmalan kohde on yhtenäisen ja optimoidun ulkova- laistusohjauksen pilottikohde. Pilottikohteella kerätään tietoa ja tehdään johtopäätöksiä koko Posti Group Oyj:n muuta kiinteistökantaa varten. Mikäli optimoinnit ja energian- säästö tuovat kustannustehokkaan ratkaisun, laajennetaan järjestelmä muihinkin koh- teisiin ohjaamaan julkisivu-, koriste-, tie-, pysäköinti- ja työvalaistusta.

Posti Group Oyj on Suomen valtion omistama yritys, jonka tehtävänä on toteuttaa lain- säädännön määräämiä postitoimintoja. Näitä lain määräämiä toimia harjoittaa Posti Oy, jolla on yleispalveluvelvoite, joka sisältää kaikissa Suomen kunnissa toimivat kirje- ja pakettipalvelut. Postitoimintaan kuuluu logistiikka ja lajittelu sekä taloushallinnon auto-

maatiopalveluita. Posti Group Oyj:llä on monia tytäryrityksiä kaluston ja kiinteistöjen ja muiden toimien hallintaan. Aiemmin Posti toimi Suomessa Itella Oy:n nimellä, mutta vaihtoi nimensä Posti Oyj:ksi.

Posti työllistää keskimäärin 27 253 henkilöä ja toimii Suomen lisäksi pohjoismaissa ja Baltiassa. Ahvenanmaan alueella postipalveluita hoitaa oma erillinen yrityksensä Posten Åland.

## 6.2 Kohteen taustatiedot

Ilmalan logistiikka-alue on kokemassa suuria muutoksia tulevaisuudessa. Nämä muutokset tuli ottaa huomioon suunnittelun laajuutta arvioitaessa. Tehostamisparametrit selvitettiin Postintaival 6 - 9 rakennusten ulkovalaistukseen. Postintaival 5 puretaan lähivuosina, joten siihen ei ole kannattavaa enää tehdä suuria investointeja.

Alueella on kolme suurta rakennusta, joiden ympärillä on erilaisia kenttiä. Eri alueiden valaistuksella on erilaiset käyttötarkoitukset ja selvästi eri käyttöajankohdat. Toimistorakennuksen kuorivalaistusta ja pysäköintialueen valaistusta tarvitsevat toimistossa työskentelevät pääasiassa vain aamun ja illan aikana. Lastauslaitureiden ja kääntöpihojen valaistusta käytetään illalla ja varhain aamuyöllä. Osa valaistustarpeista on sellaisia, että ne toteutettaisiin asiakkaan toivomuksen mukaan, mutta osassa on otettava huomioon tiukat säännöt. Esimerkiksi tiealueilla ja alueilla, jossa on työkoneita, ei voi säätää valaistusta oman mielen mukaan, vaan pitää noudattaa standardeja.

Kuvan 35 kartassa on esitetty logistiikkakeskuksen alue. Suunnitelma sisältää kaikki alueen kadut, kentät ja rakennusten ulkovalaistuksen.



Kuva 35. Logistiikkakeskuksen alue (Kuva: Anssi Pietilä)

Kuvassa on kohde kuvattu ylhäältäpäin, siinä on hyvin paljon erilaisia valaistustarpeita.

Alueen valaistusohjaus toteutetaan nykyisin aika- ja hämäräkytkinten yhdistelmällä. Postintaival 7 valaistuksella on oma hämäräkytkimensä ja sen mittaama valaistustieto välittyy koko rakennuksen alueelle EIB/KNX-ohjauksella.

Postintaival 5 rakennuksen ja piha-alueiden valaistusta ohjataan hämäräkytkimellä, joka on asennettu rakennuksen katolle. Hämäräkytkimen signaali välittyy talon sisällä toisiin keskuksiin 230 V -tasoisena tietona. Hämäräkytkimen tarkkuus ja sijainti eivät ole optimaaliset. Tästä johtuen laskelmissa käytetään 30 min vääristymää.

Valaistusohjausjärjestelmän modernisointia suunniteltaessa tuli pitää mielessä kolme tärkeintä reunaehto:

1. valintojen piti olla kustannustehokkaita, eivätkä ne saaneet sulkea laajentumista pois.
2. suunnitelmissa piti ottaa huomioon käytettävyys ja huollettavuus.
3. suunnitelmissa piti hyödyntää nykyaikaisia ohjausmahdollisuuksia.

Suunnitelmissa noudatettiin ulkona tapahtuvan toiminnan ehtoja koskevia standardeja: SFS-EN 13201-2:2003 "Road Lighting. Part 2: Performance requirements", SFS-EN 12464-2:2007 "Light and lighting. Light of work places. Part 2: Outdoor work places" sekä SFS-EN 12193:2007

### 6.2.1 Tievalaistus

Tievalaistus kuuluu kohteelle sähköenergian ja lamppujen osalta, sillä yli 95% tien liikenteestä syntyy logistiikkakeskuksen ajoista. Tien käyttäminen läpiajona on kielletty, ja alueella on 40 km/h nopeusrajoitus. Tie on noin puolitoista kilometriä pitkä. Valaistuksenohjaus Postintaipaleen tiealueelle on jo ISS:n toteuttama, ja se on siirretty C2 Smartlight -ohjainlaitteiden ohjaukseen.

Tievalaistus Postintaipaleella on toteutettu perinteisesti käyttämällä ryhmäohjattuja, ketjutettuja elohopeahöyrylampullisia lusikkavalaisimia. Näiden valaisimien antama valaistustaso on aikakautensa vaatimusten mukainen. Tievalaistuksen vaatimukset ovat kuitenkin muuttuneet, sillä suunnitteluvuonna ei tiellä ollut hidastintöyssyjä eikä 40 km/h nopeusrajoitusta kuten nyt.

### 6.2.2 Lastauslaiturit

Ilmalan logistiikkakeskuksen ulkovalaistuksessa on käytetty jakeluautojen katoksessa suurpainenaatriumlamppuja. Valaisimet ovat tyypillisiä teollisuusvalaisimia, joissa kuristin ja kytkentäliitin on koteloitu lampusta erilleen. Lampun E40 kanta, heijastin ja lamppu ovat omassa lohkossaan, jolla on pyritty parantamaan komponenttien elinikää, sillä suurin lämpökuorma on omassa osiossaan. Kuristimet ovat tämän kokoisissa valaisimissa usein levypakkamallia, joten ne kestävät hyvin lämpökuormaa.

Teollisuusympäristöissä on tyypillisesti pitkät polttoajat, mikä pitää ottaa huomioon valaisinta valittaessa. Valon palaessa pitkään valaisin ei pääse jäähtymään välillä. Siksi komponentit ja valonlähteet on valittu kestävämmiin vaativiin lämpöoloja. Pitkään palavien

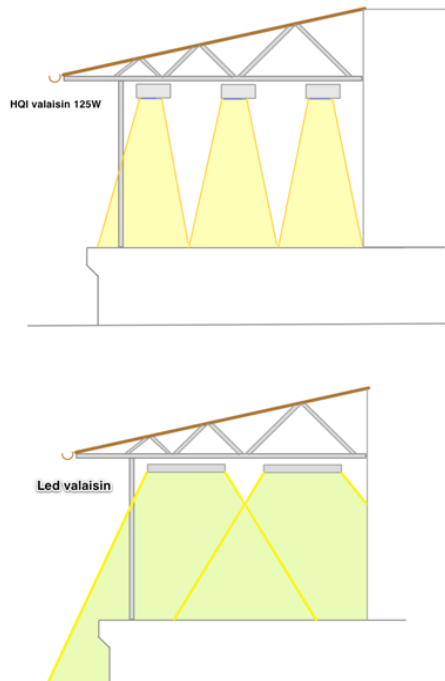


valaisimien valinnassa hyvä valotehokkuus on tärkeä valintakriteeri, sillä pitkän elinkaaren aikana energia tulee valaisimen hankintahintaa määräävämmäksi kustannustekijäksi.

Teollisissa kohteissa on tärkeätä valita polttoikä asennustavan mukaan. Mikäli kohde on hankalasti tavoitettavissa, esimerkiksi edessä on allas tai kohde on korkealla, kannattaa valita pitkäikäinen valonlähde. Valintakriteerinä kannattaa pitää kokonaistaloudellisuutta. Optimointi on tehokkainta aloittaa arvioimalla niitä tekijöitä, jotka aiheuttavat elinkaaren aikana suurimmat kustannukset. Yksi tärkeä tekijä ovat pääomakulut, jotka kuitenkin jätetään pois laskelmista.

Lastauslaitureilla on kulun takia oltava hyvä ja häikäisemätön valaistus. Kontrastin pitää olla terävä, koska laiturilla käsiteltävien välineiden putoaminen voi aiheuttaa tapaturman. Tapaturmien välttämiseksi tulee reunat ja korkeuserot merkitä ja valaistuksella tulee korostaa reunoja ja kulmia.

Häikäisyneuston puuttuminen ja korkean intensiteetin valaisimien käyttämien ei ole järkevää, sillä häikäisy saattaa aiheuttaa hetkellistä "sokeutumista". Seurauksena voi olla jotakin kohdetta päin ajaminen. Suuresta intensiteetistä silmät saattavat sulkeutua refleksimäisesti. Tästä syystä on hyvä käyttää valaisimia, joissa on tarpeeksi suuri valoaukko. Kuvassa 36 on esitetty ero valaisimien asennuksessa. Käytettäessä perinteistä valaistusta on valoaukko pienempi, jolloin intensiteetti on suuri. Led-valaisimissa valoaukon koko on suurempi



Kuva 36. Lastauslaiturin korkean intensiteetin valaisimet tulisi vaihtaa matala intensiteettisiin. (Kuva: Anssi Pietilä)

Lastausalueen valaistus on toteutettava siten, ettei esteistä, kuten pylväistä, synny häiritseviä varjoja. Kuvassa 37 on esimerkki varjojen muodostumisesta eri valaistuksilla.



Kuva 37. a) Valo tulee yhdestä suunnasta, b) valo tulee useasta suunnasta, c) valo tulee useasta suunnasta, mutta eniten yhdestä suunnasta (Dossier EN 12464-1, s. 6)

### 6.2.3 Pysäköintialueiden valaistus

Kohteessa on kahdenlaisia pysäköintialueita. Toiset on rakennettu maan alle, ja toiset ovat avoimia kenttiä. Halleissa valaistus on toteutettu katossa roikkuvin T8-loistelampuvin varustetuilla valaisimin. Kentät on valaistu käyttämällä valaisinmastoja, joissa on yksi tai useampia valonheittäjiä. Valonheittäimet ovat elohopeahöyrypolttimoilla toteutettuja.

Pysäköintialueilla tapahtuva liikenne painottuu työvuorojen alkuun ja loppuun. Tällä oletuksella saadaan vähennettyä valaistustarvetta muina aikoina. Tärkeimmäksi kriteeriksi jää valaistustason täytyminen silloin, kun sille on käyttöä, sekä kyllin suuri valaistustaso kameravalvontaa varten.

### 6.2.4 Kiinteistön julkisivujen valaistus

Julkisivuvalaistuksella on suuri vaikutus alueen turvallisuuteen. Valojen polttaminen pitää rakennuksen ympäristön turvattuna eikä vedä puoleensa asiattomuuksia. Kameravalvonta tarvitsee näkyvää valoa, jotta se pystyy kuvaamaan värikuvaa. Värikuvan avulla on helpompi tunnistaa mahdolliset häiriötekijät.

Lähtötilanteessa toimistorakennuksen ulkovalaistuksen ohjaus toteutettiin yhden hämäräkytkimen avulla ja tietoa välitettiin rakennusautomaatiota käyttäen. Muutoksen jälkeen rakennusautomaatiota ohjattaisiin C2 Smartlight -järjestelmällä. Taulukossa 3 esitetään valaistuksen ohjauksen hierarkia.

Taulukko 3. Valaistuksen ohjauksen hierarkia

1.	C2 Valaistussensori
2.	C2 ohjausjärjestelmä
3.	Rakennusautomaatio
4.	Ryhmäkeskuksen kontaktori

Postintaival 6 on oma alueensa, jossa valaistusta ohjaa taloautomaatio. Muissa rakennuksissa on omat hämäräkytkimelle toteutetut ohjauksensa. Hämäräkytkimien kunto ja mittaustarkkuus ovat jokaisessa kiinteistössä erilaiset. Kuva 38 esittää hämäräkytkintä, jonka sisälle on päässyt kosteutta. Tämä vaikuttaa mittaustarkkuuteen.



Kuva 38. Ulkotilaan suunniteltu hämäräkytkin, jonka sisällä on kosteutta

### 6.3 Kohteen valaistuksen suunnittelussa huomioon otettavia määräyksiä

#### 6.3.1 Valaistustasot

Ulkoalueella tehtävissä töissä valaistustasoa on nostettava mikäli

- näkötehtävät työssä ovat kriittisiä
- virheet ovat kalliita korjata
- tarkkuus tai suurempi tuottavuus ovat erittäin tärkeitä
- työntekijän näkökyky on normaalia huonompi
- katsottavien kohteiden yksityiskohdat ovat pieniä tai kontrasti alhainen
- työtä tehdään epätavallisen pitkä aika

Kohteen luonteeseen liittyen voidaan tasoja vastaavasti pudottaa, koska työ on nopealuonteista ja yksityiskohdat ovat suuria. Rekan pysäköiminen lastauslaiturin eteen erotuu hyvin, eikä se ole pitkäkestoinen toimenpide. Tällöin voidaan tasoja pudottaa seuraavin pykälin. 5 <- 10 <- 20 <- 30 <- 50 <- 75 <- 100 <- 150 <- 200 <- 300 <- 500 lx. Jos perusvaatimustaso on esimerkiksi 300 lx, se voidaan laskea 200 lx tasolle.

Työskentelyalueen valaistusvoimakkuuden ja valaistuksen tasaisuuden tulee olla määrityksen mukainen. Työskentelyalueen lähialueella tulee valaistusvoimakkuuden olla taulukon 4 mukainen.

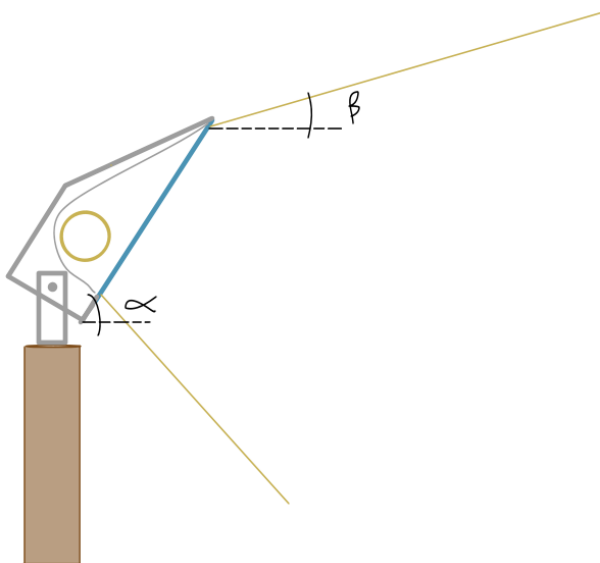
Taulukko 4. Työskentelyalueen valaistusvoimakkuuden ja ympäristön valaistusvoimakkuus

Työskentelyalueen valaistusvoimakkuus lx	Työskentelyalueen ympäristön valaistusvoimakkuus lx
>200	50
150	30
$50 < E < 100$	20

Nämä arvot toteutuvat alueella, sillä valaistus on ylimitoitettu sattuneiden kolareiden takia. Ylimitoituksella on myös varauduttu vikaantuviin valaisimiin, sillä lampun yllättävä rikkoontuminen voi ennen korjausta viedä useamman päivän.

### 6.3.2 Häiriövalon rajoittaminen

Häiriövalo on valoa, joka lähtee valaisimesta horisontista ylöspäin. Kansankielessä tästä valosta käytetään nimitystä valosaaste. Usein häiriövalo johtuu väärästä kallistuksesta. Kuvassa 39 on esitetty yksinkertainen virhe kallistuksessa, suunniteltu kulma  $\alpha$  on eri kuin suuntaajaan käyttämä  $\beta$ .



Kuva 39. Valaisinta kallistettaessa tulee vaakasuoran ja vertailutason kohta määrittää

Standardissa on velvoite häiriövalon rajoittamisesta ulkotyöalueiden, tie- ja katuvalaistuksen osalta. Rajoituksen määrä riippuu alueen ympäristöluokasta. Ympäristöluokkia on neljä joista E1 on luonnontilainen ympäristö ja E4 kaupunki. Ilmalan logistiikkakeskus sijaitsee kaupungissa, jolloin se kuuluu luokan neljä.

Taulukko 5. Häiriövalon ympäristöluokat

Luokka	E1	E2	E3	E4
Ympäristö	Luonnontilainen	Maalaismainen	Esikaupunki	Kaupunki
Valaistusympäristö	Pimeä	Vähäistä alueellista valaistusta	Keskitasoista alueellista valaistusta	Voimakasta alueellista valaistusta

Häiriövalolle on raja-arvot esitetyissä ympäristöluokissa. Häiriövaloa saa tulla taulukon 6 mukainen määrä taivaalle, ikkunoihin ja rakennuksen seinään eri ympäristöluokissa. Ilmalassa saa häiriövaloa tulla taulukon 6 isompien arvojen mukaisesti.

Taulukko 6. Häiriövalon raja-arvot eri ympäristöille yö ja ilta-aikaan

Ympäristöluokka	Taivaan valottuminen ULR %	Valo ikkunoihin $E_v$ lx		Valonlähteen valovoima I kcd		Rakennuksen luminanssi	
		ilta	yö	ilta	yö	$L_{av}$ cd /m <sup>2</sup>	$L_{max}$ cd /m <sup>2</sup>
E1	0	2	1	2,5	0	0	0
E2	5	5	1	7,5	0,5	5	10
E3	15	10	2	10	1,0	10	60
E4	25	25	5	25	2,5	25	150

Väärin suunnatuista valaisimista aiheutuu paitsi häiriötä myös turhaa energiankulutusta. Vaikka häiriövaloa ei suoranaisesti otettu huomioon suunnitelmassa, jos/kun valaistuksen modernisointi toteutetaan, sen määrä pitää mitata ja tarvittaessa säätää valaisinten kallistuksia niin, että raja-arvoja ei ylitetä.

### 6.3.3 Tievalaistuksen mitoitus

Tievalaistuksen on tarkoitus tarjota kustannustehokkaasti mahdollisimman tarkoituksenmukainen valaistus. Näkemisvaatimukset vaihtelevat eri tieosuuksilla ja eri keliolo-

suhteissa, tällöin tulee mitoituksen olla nämä kaikki tilanteet huomioiva. Mikäli mitoitus on liian alhainen kasvavat riskit liian suuriksi, kun havainnointi kärsii.

Tievalaistuksen luokat on jaettu karkeasti kolmeen: pää-, kokooja- ja tonttikatuihin. Niiden liikennemäärät ja nopeusrajoitukset vaikuttavat vaadittuun valaistustasoon. Taulukossa 7 on esitetty valaistusluokat eri nopeusrajoitusalueilla.

Taulukko 7. Valaistusluokat tie- ja katuvalaistuksessa

Toiminnallinen Luokka	Liikenne	Nopeus- rajoitus	Liittymät	Valaistus- luokka	
Pääkadut	Keskustassa	M+E (Pp+Jk)	50	Taso	AL2+K2
					AL2+K2
Muilla alueilla	M+E (Pp+Jk)	80	Eritaso	AL2+K2	
		60	Taso	AL3+K4	
		50	Taso	A4a+K4	
Kokoojakadut	Keskustassa	M+E (Pp+Jk)	50	Taso	AL3+K4
					M+Pp+Ejk
Muilla alueilla	M+E (Pp+Jk)	60	Taso	AL4a+K6	
		M+Pp+Ejk		50	AL4b+K6
Tonttikadut	Keskustassa	M+Pp+Ejk	50	Taso	AL4a+K4
					M+Pp+Ejk
Muilla alueilla	M+Pp+Ejk	30	Taso	AL5+K3	
		M+Pp+Jk		30	AL5+K3

Liikennetyyppien lyhenteet ovat:

- M= moottoriajoneuvoliikenne

- Jk= jalankulku liikenne
- Pp= polkupyörä liikenne
- E= erillinen liikenne

Valaistuksen mitoitus tehdään AL-luokkien mukaisesti. Valaistustekniset arvot määritellään standardissa SFS-EN 13201-2

Luokka	Kuivan ja märän ajoradan luminanssi				Estohäikäisy	Ympäristön valaistus
	Kuiva			Märkä		
	$L_m$ cd/m <sup>2</sup>	$U_o$ Min	$U_l$ min	$U_o$ min	TI % max	SR min
AL 1	2,0	0,4	0,6	0,15	10	0,5
AL 2	1,5	0,4	0,6	0,15	10	0,5
AL 3	1,0	0,4	0,6	0,15	15	0,5
AL 4a	1,0	0,4	0,4	0,15	15	0,5
AL 4b	0,75					
AL 5	0,5	0,4	0,4	0,15	15	0,5

Tässä hankkeessa tievalaistusta ei mitoitettu näin tarkasti. Lähtökohtana oletettiin, että alkuperäinen tievalaistus on mitoitettu oikein (esim. pylväsvälit), jolloin vanhojen valonlähteiden korvaaminen uusilla ei muuta tilannetta, mikäli niiden valonjako ja -tuotto ovat alkuperäisen laiset. Ongelma tuli siitä, että myös tiealueen valaistusta suunniteltiin hiljaisina aikoina alennettavaksi ohjaamalla 1/3 valoista pois päältä. Se olisi niin suuri pudotus, että välttämättä ei enää pysyttäisi raja-arvoissa. Vaikka suunnitelmassa alustavasti esitetään 1/3 valojen sammuttamista kokonaan, käytännön toteutuksessa todennäköisesti päädyttäisiin sen sijaan vain himmentämään valoja hiljaisina aikoina. Tämä olisi mahdollista, sillä hankkeen aikana ohjaustekniikka on kehittynyt, ja nykyään myös led-valoja voidaan himmentää C2-ohjausjärjestelmän avulla. Valon tasaisuuden kannalta himmentäminen olisi parempi vaihtoehto kuin se, että osa valoista on kokonaan pois päältä. Jälkimmäisestä vaihtoehdosta seuraisi laikukas yleisilme, kun välillä on täydet valot päällä ja välillä on pimeitä kohtia.



## 6.4 Valaistusohjauksen optimointi

Työn tavoitteena on esittää selvästi kohdat, joissa on mahdollista saavuttaa energiansäästöä valaistustasoa huonontamatta. Työssä perehdyttiin näiden säästöjen syntymekanismeihin ja niiden vaikutuksiin toiminnassa. Yleisenä suunnittelun taustajajatuksena oli Suomen valaistusteknillisen seuran kokoamassa Valaisinhankintojen energiatehokkuus V4 -oppaassa esitetyt ulkovalaistuksen yleiset periaatteet:

Ulkovalaistuksen päätehtävä on taata katujen ja teiden turvallinen käyttö pimeään aikaan niin jalankulkijoille kuin ajoneuvoillekin sekä ulkotyöalueilla työn tehokkaan ja turvallisen tekeminen. Valaistuksella mahdollistetaan myös liikuntapaikkojen harrastus ja kilpailutoiminta pimeällä olevaan vapaa-aikaan. Valaistus lisää sekä henkilöiden, että omaisuuden turvaa luoden samalla turvallisuuden tunnetta.

Työn ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin nykyinen valaisinkanta ja sen energiankulutus. Asiakkaan kanssa neuvoteltiin, miten kriittistä oli, että valaisin oli päällä ja sen perusteella jaettiin valaisimet kriittisyysluokkiin. Huomioon otettavana oli esimerkiksi se, miten paljon energiaa kyseinen valaisinryhmä kulutti. Jos kulutus oli häviävän pieni verrattuna kokonaisuuteen, voitiin valaisinryhmä määritellä sellaiseksi, ettei ohjaustarvetta ole, vaan valot saavat olla aina päällä. Vastaavasti, jos valaisinryhmän energiankulutus oli erittäin suuri, pyrittiin ohjauksella vähentämään päällä oloa niin paljon kuin mahdollista ilman, että valaistustaso laskee liikaa. Oli siis sovitettava yhteen energiankulutuksen vähentäminen, standardien vaatimukset ja asiakkaan toiveet. Logistiikka-keskuksen alueella oli monia erilaisia valaistustarkoituksia. Osaan oli olemassa standardit, mutta suuri osa oli sovitettava käyttäjien toiveiden mukaan.

Nykytilan perusteella selvitettiin valaistustaso, valaistusaikatarve ja valaisimen lampputekniikka. Valojen turhaan polttaminen on kalleinta valaistusta, ja tätä varten piti selvittää toiminnan vaatima valaistustaso ja se aikaikkuna, jossa toiminta tapahtui. Mikäli toiminnassa oli intensiivisempää ja vähemmän intensiivisempää aikaa, voitiin näille luoda omat ohjaustilansa. Valaistustasot suunniteltiin matalammiksi ja sen seurauksena energiankulutus pienemmäksi niinä aikoina, jolloin oli vähemmän intensiivistä toimintaa ja intensiivisemmän työn ajaksi suunniteltiin suuremmat tehot.

Valaistuksenohjauksen modernisoinnin laskelmissa on käytetty seuraavia oletuksia:

- Valaisimen tehona on käytetty lampun nimellistehoa. Tämä oletus on tehty, jotta jokaisen valaisimen häviöitä ei tarvitse mitata. Purkauslamppujen käytössä syntyy häviöitä virranrajoittimesta johtuen noin 5 - 25% lampun nimellistehosta. Nimellistehojen käyttäminen aiheuttaa epätarkkuutta laskelmiin.
- Valaisimien määrä on laskettu aikaisempien vuosien valaisinhuoltojen lammulistasta. Valaisinhuoltona on tehty myös ryhmävaihtoja, jolloin määrissä voi olla muutaman kappaleen heittoja, jotka aiheuttavat epätarkkuutta laskelmiin.
- Valaisimet on jaettu neljään eri kriittisyysluokkaan seuraavasti:
  1. **Mainosvalot**-luokassa valoja pidetään päällä aina, kun on hämärää. Mainoksia ja tärkeimpiä kulkuteitä ei sammuteta missään vaiheessa yötä.
  2. **Tievalaistus**-luokassa sammutetaan valaistuksesta yksi vaihe vuorotellen joka yö. Tämän katsotaan olevan mahdollista tien alkuperäisen nopeusrajoituksen muuttumisesta johtuen.
  3. **Lastinkäsittelyalue**-luokassa on oletettu, että valaistusta voidaan laskea eri toimintojen mukaan. Lastinkäsittelyä tapahtuu intensiivisesti kello ilta-kymmenen ja aamuyön kello 5 välillä.
  4. **Vähäisen käytön** -luokassa ovat kulkuteiden valaisimet ja pylväisvalaisimet, joita ei tarvita yöllä. Valot ovat täydellä teholla, kun hämärä laskeutuu, mutta niistä jää päälle vain yksi vaihe. Tätä vaihetta vaihdetaan vuoroönä, koska tällä varmistetaan tasaiset polttoajat kaikkiin lamppuihin.

Taulukossa 8 esitetään värikoodein logistiikkakeskuksen valojen jaottelu eri kriittisyysluokkiin sekä kerrotaan, mitä valaistustasoa suunnitelmassa esitettiin toteutettavaksi eri vuorokaudenaikoina, mikä kunkin valonlähteen teho on ja montako kappaletta kutakin valonlähdettä on.

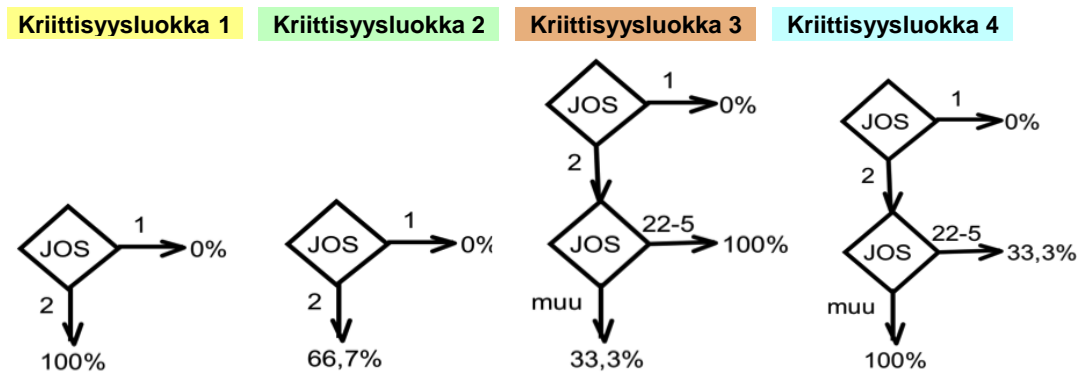
Taulukko 8. Logistiikkakeskuksen valaisimet kriittisyysluokittain

Alue	klo 22 – 5	Muu valais- tu aika	Teho á W	Kpl
Mainos	100 %	100 %	500	4
Monumentti	100 %	100 %	150	2
Postintaival 7, 1 m pylvää	100 %	100 %	35	36
Postintaival 7, 5 m pylvää	100 %	100 %	70	17
Postintaival 7, Ulko-ovien lipat	100 %	100 %	22	26
Postintaival 9, polkupyöräparkki	100 %	100 %	58	8
Postintaival tievalaistus	67 %	67 %	145	55
Postintaival 9, 15 m mastot	100 %	33 %	400	18
Postintaival 5, kuori	100 %	33 %	250	26
Postintaival 5, parkkikatos	100 %	33 %	58	65
Postintaival 9, lipat	100 %	33 %	125	69
Postintaival 9, ylälaituri lipat	100 %	33 %	250	18
Postintaival 9, kuori/lippa	100 %	33 %	125	37
Postintaival, kattoheittimet	100 %	33 %	250	6
Postintaival 9, lastauslaituri	100 %	33 %	58	210
Postintaival 5, 15 m mastot	33 %	100 %	400	21
Postintaival 7, 5 m mastot	33 %	100 %	125	8
Postintaival 7, 15 m mastot	33 %	100 %	400	14
Kulkuramppi	33 %	100 %	125	7

Ennen kuin hankkeen suunnittelua kannatti jatkaa, oli tarpeen vakuuttaa asiakas siitä, että valaisimien vaihto ja ohjauksen käyttöönotto olisi taloudellisesti kannattavaa. Karkean kuvan saamiseksi siitä, minkä verran säästöä voisi olla odotettavissa laadittiin Excelillä simulointi (ks. liitteessä 1 oleva koontitaulukko). Simulaation taustalle laadittiin taulukot päivittäisen valaistusajan laskemiseksi.

Auringon nousu- ja laskuajat koko vuodeksi haettiin ilmatieteen laitoksen sivustolta. Auringon laskuaikaan lisättiin puoli tuntia ja nousuajasta vähennettiin puoli tuntia, sillä ajateltiin, että tuon puolen tunnin hämärän aikana ei enää tarvita valoja, eli että, jos valoja ohjattaisiin automatiikalla, sammuttamisen ehdot täyttyisivät jo ennen auringon nousua, ja vastaavasti valot sytytettäisiin vasta auringonlaskun jälkeen. Tästä taulukosta saatiin lasketuksi karkealla tasolla modernisoinnin jälkeiset valaistustunnit. Koska nykyisin valojen polttoon liittyy 30 min bufferi, osoitti laskelma valaistun ajan vähenevän 3 900 tunnista 3 556 tuntiin niin, että klo 22 - 5 välille näistä tunneista osuu 2 193 tuntia ja muuhun valaistavaan aikaan 1 363 tuntia

Kuvassa 39 esitetään logiikka, jolla Excelillä määritellään käytettävä valaistustaso. 1 = ei tarvita valaistusta (=valoisa aika+ hämärät ennen auringon nousua ja auringon laskun jälkeen), 2 = tarvitaan valaistusta. Kun valaistusta tarvitaan kriittisyysluokissa 3 ja 4, pitää vielä tutkia osuuko pimeys aikaan 22 - 5 vai muuhun valaistavana aikaan. Kuva kertoo, että kriittisyysluokassa 3 (=lastauslaiturit yms. työalueet) on kello 22 - 5 päällä kaikki valot ja muina aikoina 1/3 valoista, kun taas kriittisyysluokassa 4 (=kulutiet) järjestys on päinvastainen: kello 22 – 5 päällä on 1/3 valoista, muuna valaistavana aikana 100%.



Kuva 40. Valaistuksen päälle-pois logiikka Excel-simulaatiossa

Simuloinnin tuloksena saatiin, taulukossa 9 esitetyt energiansäästöistä johtuvat kustannussäästöt.

Taulukko 9. Vaihtoehtoisilla toimintatavoilla tulevat säästöt

Nykytilanne=vertailuarvo	
Tehot yht., kW	79
Vuotuiset tunnit	3900
Energian hinta, €/kWh	0,15€
<b>Yhteensä</b>	<b>45 944 €</b>

1. Pelkkä valonlähteiden vaihto ledeiksi	
Tehot yht., kW	36
Vuotuiset tunnit	3900
Energian hinta, €/kWh	0,15€
<b>Yhteensä</b>	<b>20 872 €</b>
<b>Säästö vertailuarvoon verrattuna</b>	<b>25 072 €</b>

## 2. Pelkkä ohjauksen muutos, valonlähteet ennallaan

Tehojen pudotus 1/3 tai 2/3 ohjausta tehostamalla  
(ks. tarkemmat laskelmat liitteessä 1)

Yhteensä	30 324 €
Säästö vertailuarvoon verrattuna	15 620 €

## 3. Vaihto ledeiksi + ohjauksen muutos

Valonlähteiden vaihto ledeiksi, samalla ohjausta tehostetaan  
(ks. tarkemmat laskelmat liitteessä 1)

Yhteensä	13 982 €
Säästö vertailuarvoon verrattuna	31 962 €

Nämä arvot olivat vain suuntaa antavat. Niihin sisältyi esimerkiksi seuraavia virhelähteitä:

- Todellisuudessa valaistusta ei voi pudottaa suunnitelmassa edellytettyyn 1/3 tasoon. Jos niin toimittaisiin, putoaisi valaistustaso huonommaksi kuin standardit sallivat lastausalueilla, ja yleisen viihtyvyyden ja turvallisuudentunteen vuoksi kulkualueiden valaistusta ei välttämättä ole tarkoituksenmukaista laskea 1/3:aan. Eli tältä osin laskelma on ylioptimistinen.
- Muutamien suunnitelmaan sisältyvien valonlähteiden valovirrat ja sähkötehot mitattiin Metropolian laboratoriossa. Mittauksissa paljastui, että vaikka valonlähteen nimellisteho oli 125 W, todellinen teho oli 140 W. Eli tässä kohtaa laskelma antaa liian alhaisen tuloksen. Tällöin on todellisuudessa energiankulutus ja rahallinen säästö laskettua suuremmat.
- Todellisuudessa C2-ohjausjärjestelmällä pystyisi säätämään valaistusta paljon tarkemmin. Nykyään järjestelmällä voi himmentää ledejä eli säädön voi tehdä paljon tarkemmin kuin päälle-pois. Järjestelmä myös hais-taa sytytys- ja sammutusajat paljon tarkemmin. Eli tältä kannalta simulaatio todennäköisesti laskee yläkanttiin.

Vaikka simulaatio oli karkea ja todennäköisesti antoi liian hyvän kuvan energiansäästöstä, se kuitenkin vakuutti asiakasta sen verran, että hanketta jatkettiin.

### 6.5 Kohteen suunnittelu C2-tuotteilla

Valaistuksenohjauksen modernisoinnin suunnittelu aloitettiin kartoittamalla kohteessa valaistuksenohjaukseen kuuluvat komponentit kaikkien valaistusalueiden osalta. Taulukkoon 10 on koottu logistiikkakeskuksen ulkovalaistuksen ohjaamiseen tarvittavat tarvikkeet

Taulukko 10. Tarvikkeita logistiikkakeskuksen ulkovalaistuksen ohjaamiseen

<b>1. Valaisinmaston tarvikkeet:</b>	<b>Tuote</b>	<b>Määrä</b>	<b>Määrä yht.</b>
5 mastoa	LUCONT	3	15
	Kotelo	1	5
	Antenni	2	10
<b>2. Ohjausyksikkö:</b>	<b>Tuote</b>	<b>Määrä</b>	<b>Määrä yht.</b>
1 ohjausyksikkö	Antenni	2	2
	PU	1	1
	LUCONC	1	1
	CU	1	1
<b>3. Kulkurampin ohjaus:</b>	<b>Tuote</b>	<b>Määrä</b>	<b>Määrä yht.</b>
1 kulkuramppi	CU	1	1
	PU	1	1
	RU	1	1
	MU	1	1
	Antenni	1	1
	Mittamuuntaja	3	3
<b>4. Valaistuksen mittausasema:</b>	<b>Tuote</b>	<b>Määrä</b>	<b>Määrä yht.</b>
1 mittausasema	Valaistussensori	3	3
	PU	1	1
	CU	1	1
	CAT kaapeli	3	3
	Jatkopala	3	3
	LUCONC	1	1
	Antenni	1	1
<b>5. Toimiston parkkialue:</b>	<b>Tuote</b>	<b>Määrä</b>	<b>Määrä yht.</b>
1 parkkialue	CU	1	1
	PU	1	1
	RU	1	1
	MU	1	1
	Mittamuuntaja	3	3
	Antenni	1	1
<b>6. Raskonen valaisinmastot</b>	<b>Tuote</b>	<b>Määrä</b>	<b>Määrä yht.</b>
5 Raskoneen mastoa	LUCONT	2	10
	Kotelo	1	5
	Antenni	2	10
<b>7. Postintaival tievalaistus:</b>	<b>Tuote</b>	<b>Määrä</b>	<b>Määrä yht.</b>
3 tievalaistusta	CU	1	3
	MU	1	3
	RU	1	3
	PU	1	3
	Antenni	1	3
	Mittamuuntaja	3	9
<b>8. Käyttöliittymä:</b>	<b>Tuote</b>	<b>Määrä</b>	<b>Määrä yht.</b>
1 kpl	Käyttöliittymä*	1	1
<b>9. Lisenssit:</b>	<b>Tuote</b>	<b>Määrä</b>	<b>Määrä yht.</b>
1 kpl	Käytön lisenssi*	1	1
<b>10. Kokonaismäärät:</b>	<b>Tuote</b>	<b>Määrä</b>	
	LUCONC	2	

	LUCONT	25	
	Kotelo	10	
	Mittamuuntaja	15	
	Antenni	28	
	PU	7	
	CU	7	
	RU	5	
	MU	5	
	CAT kaapeli	3	
	Jatkopala	3	
	Valaistussensori	3	
	Käyttöliittymä	1	
	Lisenssi	1	

\*on ennestään

## 6.6 Investoinnin takaisinmaksuaika

Vaikka takaisinmaksuaikaa ei pidetä kovin hyvänä investoinnin kannattavuuden laske-  
misessa, se on kuitenkin yleisesti käytössä. Siksi tällekin investoinnille laskettiin ta-  
kaisinmaksuaika. Tällä hetkellä inflaatio on niin matalat, ettei suurta riskiä ole vaikka  
korkoa ei oteta huomioon. Plussapuolelle otettiin vuosittainen energiansäästö, joka  
saadaan muuttamalla valonlähteet ledeiksi ja parantamalla valaistuksen ohjausta. Tä-  
mä säästö on laskettu Excel-simulaatiosta, joka on karkea ja todennäköisesti yläkant-  
tiin (ks. liite 1). Kustannuspuolelle tulevat ohjainlaitteiden hinnat, ohjainlaitteiden asen-  
nus ja valaisinmuutokset. Takaisinmaksuajan laskeminen esitetään taulukossa 11.

Taulukko 11. Takaisinmaksuajan laskeminen

<b>Vuosittainen säästö</b>			
31 962 €			
<b>Ohjainlaitteiden hinta</b>			
Laite	Määrä	Hinta	Yhteensä, €
PU	7	105,40 €	738 €
CU	7	620,00 €	4 340 €
RU	5	186,00 €	930 €
MU	5	365,80 €	1 829 €
LuconC	2	1 054,00 €	2 108 €
LuconT	25	248,00 €	6 200 €
			16 145 €
<b>Asennustyö</b>			

Asennusaika, h/laitte	Laitte	Määrä	Yhteensä, h
6	C2 General Interface Unit	5	30
3	LuconC	2	6
3	LuconT	25	75

Tuntiveloitus, €/h, alv 0%      56 €      Euroa      111  
6 216 €

Valaisinmuutokset		
Tuote	Määrä	Yksikkö
Valaisimia	645	kappaletta
Led valaisimen keskihinta	120 €	€/kpl
Valaisimen vaihtotyö	0,3	h/kpl

Valaisimet      77 400 €  
Työt      10 836 €

Sijoituksen takaisinmaksuaika	
Tuote	Määrä
Vuosittainen energian säästö	31 962 €
Laitteiden asennukset	6 216 €
Valaisimien asennukset	10 836 €
Ohjainlaitemateriaali	16 145 €
Valaisinmateriaali	77 400 €
Kokonaisinvestointi	110 597 €

**Takaisinmaksuaika      3,5      Vuotta**

Näin laskettuna takaisinmaksuajaksi tulisi vain 3,5 vuotta. On todennäköistä, että säästöt ovat yläkanttiin, sillä joillakin alueilla ei käytännössä ole mahdollista laskea valaistustasoa jopa 2/3 kuten laskelmassa on ajateltu. Miksi noin korkeita lukuja sitten käytettiin, kun epäily oli? Nuo luvut saatiin neuvotteluissa asiakkaan ja järjestelmöitsijän kanssa.

Myös kustannuksia saattaisi käytännössä olla enemmän kuin tässä laskelmassa. 3,5 vuotta on kuitenkin niin lyhyt takaisinmaksuaika, että vaikka säästöt olisivat oletettua pienemmät ja kustannukset hieman nousisivat, silti investointia voisi pitää kannattavana.

Luotettavampaa tietysti olisi, jos pelkkien laskennallisten arvojen tilalla olisi voinut käyttää toteutuneita arvoja. Logistiikkakeskuksen valaistusohjaushanketta ei kuitenkaan ole vielä toteutettu, joten työ piti tehdä laskennallisilla arvoilla.



## 7 Lopuksi

Tässä työssä oli tavoitteena selvittää Posti Group Oyj:n Ilmalan logistiikkakeskuksen ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmän ja valaisimien valonlähteiden tila, esittää korvaavia valaisinvaihtoehtoja sekä suunnitella C2-järjestelmän avulla ulkovalaistusjärjestelmän valaistuksen ohjaus. Hankkeen tekeminen vaati myös perehtymistä valaistussuureisiin ja ulkovalaistuksen suunnitteluun yleisemmin. Työ on ajankohtainen, sillä ulkovalaistuksessa on juuri nyt käynnissä suuri murros, kun led-tekniikka vihdoin on tarpeeksi kehittynyttä ja sen ohjausmahdollisuudet kehittyvät koko ajan huimasti. Muutokselle on kova kysyntä, sillä monet perinteiset valaisintyypit ovat tulleet tiensä päähän tiukentuneiden Eu-määräysten vuoksi.

Ilmalan logistiikkakeskus oli erittäin mielenkiintoinen kohde, sillä alueella on hyvin monenlaisia ulkovalaistustarpeita. Osa kohteista oli jopa turhan haastavia, sillä esimerkiksi tievalaistukseen liittyy paljon määräyksiä. Tässä työssä raapaistiin vain pintaa, mutta ainakin nyt tiedän, mitkä standardit tievalaistusta koskevat. Vaikka suunnitteluosuudessa ei menty kovin syvälle, oli hyödyllistä perehtyä valaisinohjausjärjestelmään ja sen komponentteihin tälläkin tasolla, sillä normaalisti työskentelen asennusten ja ylläpidon parissa. Työn aikana oli erittäin opettavaista päästä osallistumaan neuvotteluihin asiakkaan ja tavarantoimittajan kanssa ja tietysti myös ISS:n oman projektiväen kanssa.

## Lähteet

Ahponen, Veikko, Kasurinen Esko, Timonen Tapani ym. 1996. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. Sähköinfo 1996, s. 199.

American electric street light - how to wire. Verkkodokumentti. Lighting-gallery. <<http://www.lighting-gallery.net/index.php?topic=1904.0>>. Luettu 1.5.2015.

C2 SmartLight Oy. Verkkodokumentti. <http://www.c2smartlightshop.com/>. Luettu 1.5.2015.

Dossier EN 12464-1. Verkkodokumentti. <[http://www.etaplighting.com/uploadedFiles/Downloadable\\_documentation/documentatie/brochures\\_ETAP\\_verlichting/Dossier%20EN%2012464-1\\_AT\\_EN\\_A4\\_lr.pdf](http://www.etaplighting.com/uploadedFiles/Downloadable_documentation/documentatie/brochures_ETAP_verlichting/Dossier%20EN%2012464-1_AT_EN_A4_lr.pdf)> Luettu 27.4.2015.

Färgåtergivning och färgstabilitet. Ljuskultur 5/2013, s.40

IEC 62386-101:2014. Digital addressable lighting interface - Part 101: General requirements - System components. Geneve: IEC.

Kallasjoki, Tapio. 2012. Valaistustekniikan perusteet 2012 versio kolme. Opetusmoniste Metropolia ammattikorkeakoulu.

Korvaajat perinteisille elohopeahöyrylampuille. Verkkodokumentti. Osram Oy. <[http://www.osram.fi/osram\\_fi/uutiset--tiedot/eun-eco-design-direktiivi-erp/tehokkaat-korvaajat-ammattivalaistukseen/korvaajat-perinteisille-elohopeahöyrylampuille/index.jsp](http://www.osram.fi/osram_fi/uutiset--tiedot/eun-eco-design-direktiivi-erp/tehokkaat-korvaajat-ammattivalaistukseen/korvaajat-perinteisille-elohopeahöyrylampuille/index.jsp)>. Luettu 1.5.2014.

Led road – Retro fit led light engine for street light. Verkkodokumentti. Ark Lighting Ltd. <<http://arklighting.co/product/ledroad-retro-fit-led-light-engine-street-light-arc-sapphire-zx1-iridium/>>. Luettu 1.5.2015

Led-Tuoteryhmät. Verkkodokumentti. Sanpek Oy. <<http://www.sanpek.fi/led-tuoteryhmat/360-led-lamput1/>>. Luettu 1.5.2015

Lampun tekninen piirustus. Verkkodokumentti. Eye lighting international Inc. <<http://info.eyelighting.com/Portals/256454/images/Merc%20Vap%20Lamp.jpg>>. Luettu 1.5.2015.

Light spectrum. Verkkodokumentti. Below the lion. <<http://www.belowthelion.co.za/wp-content/uploads/HID-Light-Spectrum-daylight-spectrum.jpeg>>. Luettu 1.5.2015.

Olakepylväät. Verkkodokumentti. Tehomet Oy.  
<<http://www.tehomet.com/fi/tuotteet/ter%C3%A4spylv%C3%A4%C3%A4t/olakepylv%C3%A4%C3%A4t>>. Luettu 1.5.2015.

Taloussanastoa. Verkkodokumentti. Taloussanommat Oy.  
<<http://www.taloussanommat.fi/porssi/sanakirja>> Luettu 27.4.2015.

Tevä-Helminen, Virpi. 2013. Investointilaskenta ja päätöksenteko. Opetusmoniste Metropolia ammattikorkeakoulu.

Tievalaistuksen suunnittelu. 2006. Verkkodokumentti. Tiehallinto.  
<[http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100034-v-06tievalaist\\_suunn.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100034-v-06tievalaist_suunn.pdf)>. Luettu 1.5.2015

Valaistus. Verkkodokumentti. Ensto Oy.  
<<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398112158.html>>. Luettu 27.4.2015.

Valaistushankintojen energiatehokkuus, Taustaraportti. Verkkojulkaisu.<[http://www.valosto.com/tiedostot/SVS\\_Valaistushankintojen\\_energiatehokkuus\\_V4.pdf](http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf)> Luettu 30.4.2015

Valaistustekniikan mittaukset. 2013. Laboratoriotyön viisi työohje. Metropolia  
<[https://tuubi.metropolia.fi/portal/group/tuubi/etusivu/yleiset-tyoka-lut/tyotilat?p\\_p\\_id=Workspaces\\_WAR\\_workspaces&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&\\_Workspaces\\_WAR\\_workspaces\\_workspaceId=164594521&\\_Workspaces\\_WAR\\_workspaces\\_tab=documents](https://tuubi.metropolia.fi/portal/group/tuubi/etusivu/yleiset-tyoka-lut/tyotilat?p_p_id=Workspaces_WAR_workspaces&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_Workspaces_WAR_workspaces_workspaceId=164594521&_Workspaces_WAR_workspaces_tab=documents)>. Luettu 30.4.2015.

Verkostosuositukset UR 1 94. Verkkodokumentti. Adato Oy.  
<<http://www.adato.fi/Default.aspx?tabid=475&&Type=productinfo&CatID=0&parentID=0&ItemID=109&Page=1>>. Luettu 1.5.2014.

## Haastattelut

Markkanen, Olli, Ulkovalaistustoimistonpäällikkö, Helsingin kaupunki Rakennusvirasto, Helsinki, Työmaakokous 27.2.2014.

Pulliainen, Antti, Projektipäällikkö, C2 Smartlight Oy, Vantaa, Työmaakokous 10.4.2015

### Excelillä tehty eri kellonajat, valaistustasot ja valaisintyytit huomioon ottava simulointi energiankulutuksesta

Alue	klo 22 – 5	Muu valaistusaika	Teho yht. LED kW	Teho yht. vertailu kW	Klo 22 – 5 LED kWh	Muu valaistusaika LED kWh	Energia yht. LED kWh	Klo 22 – 5 vanhat kWh	Muu valaistusaika vanhat kWh	Energia yht. vanhat kWh	Kustannukset LED + valo-ohjaus €	Kustannukset vanhat + valo-ohjaus €	Kustannukset Vertailuarvo €	Ero LED + valo-ohjaus €	Ero vanhat + valo-ohjaus €
Mainos*	100 %	100 %	2	2	4 386	2 726	7 113	4 386	2 726	7 113	1 067€	1 067	1 170	<b>103€</b>	<b>103€</b>
Monumentti*	100 %	100 %	0	0	658	409	1 067	658	409	1 067	160€	160	175	<b>15€</b>	<b>15€</b>
Postintaival 7 1m pylväät	100 %	100 %	0	1	395	245	640	2 763	1 718	4 481	96€	672	737	<b>641€</b>	<b>65€</b>
Postintaival 7 5m pylväät	100 %	100 %	0	1	373	232	605	2 610	1 622	4 232	91€	635	696	<b>605€</b>	<b>61€</b>
Postintaival 7 Ulko-ovien lipat	100 %	100 %	0	1	342	213	555	1 255	780	2 034	83€	305	335	<b>251€</b>	<b>29€</b>
Postintaival 9 polkupyöräparkki	100 %	100 %	0	0	491	305	797	1 018	632	1 650	119€	248	271	<b>152€</b>	<b>24€</b>
Postintaival tievalaistus	67 %	67 %	4	8	5 147	3 199	8 345	11 661	7 247	18 908	1 252€	2 836	4 665	<b>3 414€</b>	<b>1 829€</b>
Postintaival 9 15m mastot	100 %	33 %	2	7	5 053	1 047	6 100	15 791	3 271	19 062	915€	2 859	4 212	<b>3 297€</b>	<b>1 353€</b>
Postintaival 5 kuori	100 %	33 %	4	7	7 869	1 630	9 499	14 256	2 953	17 209	1 425€	2 581	3 802	<b>2 378€</b>	<b>1 221€</b>
Postintaival 5 Parkkikatos	100 %	33 %	2	4	3 992	827	4 819	8 268	1 713	9 981	723€	1 497	2 205	<b>1 483€</b>	<b>708€</b>
Postintaival 9 lipat	100 %	33 %	4	9	9 685	2 006	11 692	18 916	3 919	22 835	1 754€	3 425	5 046	<b>3 292€</b>	<b>1 620€</b>
Postintaival 9 ylälaituri lipat	100 %	33 %	2	5	5 448	1 129	6 577	9 869	2 045	11 914	986€	1 787	2 632	<b>1 646€</b>	<b>845€</b>
Postintaival 9 Kuori/lippa	100 %	33 %	2	5	5 193	1 065	6 259	10 144	2 080	12 224	939€	1 834	2 706	<b>1 767€</b>	<b>872€</b>
Postintaival kattoheittimet	100 %	33 %	1	2	1 816	372	2 188	3 290	675	3 965	328€	595	877	<b>549€</b>	<b>283€</b>

2 (2)

Alue Taulukko jatkuu	klo 22 – 5	Muu valaistu aika	Teho yht. LED kW	Teho yht. vertailu kW	Klo 22 – 5 LED kWh	Muu valaistu aika LED kWh	Energia yht. LED kWh	Klo 22 – 5 vanhat kWh	Muu valaistu aika vanhat kWh	Energia yht. vanhat kWh	Kustan- nukset LED + valo- ohjaus €	Kustan- nukset vanhat + valo- ohjaus €	Kustan- nukset Vertailu- arvo €	Ero LED + valo- ohjaus €	Ero vanhat + valo- ohjaus €
Postintaival 9 las- tauslaituri	100 %	33 %	6	12	12 896	2 672	15 568	26 713	5 534	32 247	2 335€	4 837	7 125	<b>4 790€</b>	<b>2 288€</b>
Postintaival 5 15m mastot	33 %	100 %	3	8	1 965	3 664	5 629	6 141	11 450	17 591	844€	2 639	4 914	<b>4 070€</b>	<b>2 275€</b>
Postintaival 7 5m mastot	33 %	100 %	1	1	371	698	1 068	724	1 363	2 087	160€	313	585	<b>425€</b>	<b>272€</b>
Postintaival 7 15m mastot	33 %	100 %	2	6	1 310	2 443	3 753	4 094	7 633	11 727	563€	1 759	3 276	<b>2 713€</b>	<b>1 517€</b>
Kulkuramppi	33 %	100 %	0	1	328	611	938	640	1 193	1 832	141€	275	512	<b>371€</b>	<b>237€</b>
<b>Yhteensä</b>			<b>36</b>	<b>79</b>	<b>67 718</b>	<b>25 493</b>	<b>93 211</b>	<b>143 196</b>	<b>58 964</b>	<b>202 160</b>	<b>13 982</b>	<b>30 324</b>	<b>45 944</b>	<b>31 962€</b>	<b>15 620€</b>