



## **TEKNIikka JA LIIKENNE**

**Sähkötekniikka**

**Sähkövoimatekniikka**

## **INSINÖÖRITYÖ**

**EU:N ENERGIATEHOKKUUSDIREKTIIVI JA SEN AIHEUTTAMAT MUUTOSTOIMEN-  
PITEET VALAISTUKSEEN RAUTATEIDEN MATKUSTAJA-  
ALUEILLA**

**Työn tekijä: Salla Järvinen  
Työn ohjaajat: Tapio Kallasjoki  
Mika Saari**



## **ALKULAUSE**

Tämä insinööriyö tehtiin ratahallintokeskukselle.

Kiitoksia hyvälle ohjaajille koulutusohjelmavastaavalle Tapio Kallasjoelle ja Mika Saarelle Licon-AT Oy:stä sekä luokkatoverilleni Marko Turuselle neuvoista ohjausjärjestelmistä.

Riihimäellä 19.4.2009

Saila Järvinen

## TIIVISTELMÄ

<b>Työn tekijä:</b> Saila Järvinen	
<b>Työn nimi:</b> EU:n energiatehokkuusdirektiivi ja sen aiheuttamat muutostoimenpiteet valaistukseen rautateiden matkustaja-alueilla	
<b>Päivämäärä:</b> 8.6.2009	<b>Sivumäärä:</b> 34 s. + 3 liitettä
<b>Koulutusohjelma:</b> Sähkötekniikka	<b>Suuntautumisvaihtoehto:</b> Sähkövoimatekniikka
<b>Työn ohjaaja:</b> Koulutusohjelmavastaava Tapio Kallasjoki	
<b>Työn ohjaaja:</b> Mika Saari LiCon-AT Oy	
<p>Euroopan unionin alueella maaliskuussa 2009 voimaan tulleella energiatehokkuusdirektiivillä pyritään vähentämään sähkön kulutusta 51 TWh vuoteen 2020 mennessä. Kiristyneet energiatehokkuusvaatimukset poistavat myynnistä rautatieasemilla yleisimmin käytetyn elohopealampun. Tässä työssä pohditaan, mitkä lamput sopivat elohopealampun korvaajiksi ja kuinka paljon uusilla lampuilla säästetään sähköenergiaa.</p> <p>Nykytilanne kartoitettiin kolmella esimerkkiasemalla mittaamalla eri alueilta valaistusvoimakkuus lukseina maanpinnassa. Muutostarpeet kartoitettiin ja mietittiin sopivia lamppuvaihtoehtoja kyseisille asemille.</p> <p>Hyvällä valaistussuunnittelulla ja tarkalla mitoituksella saadaan aikaan riittävä ja liikkuksen kannalta turvallinen valaistusratkaisu. Lampun valinnassa kiinnitetään huomiota muun muassa lampun valotehokkuuteen, valovirran alenemaan, värintoistoindeksiin, värilämpötilaan ja käyttöikään.</p> <p>Todettiin, että elohopealampun korvaajiksi sopivia ovat monimetallilamput, loistelamput, induktiolamput ja suurpainenatriumlamput. Ne kuluttavat sähköä 20 - 40 % elohopealamppua vähemmän, mutta tuottavat kuitenkin saman valomäärän. Siirtyminen elektronisten liitäntälaitteiden käyttöön vähentää energiankulutusta lisää jopa 20 %. Valaistuksen ohjausjärjestelmällä pystytään siirtymään lamppujen ryhmävaihtoon ja säästämään huoltokustannuksissa.</p> <p>Työssä päädyttiin siihen, että sähköenergian säästötavoitteet valaistuksessa saavutetaan uusilla lampuilla. Esimerkkilaskelmassa elohopealamppujen tilalle vaihdetut CosmoPolis-monimetallilamput tai loistelamput säästävät sähköä noin 50 %.</p>	
<b>Avainsanat:</b> valotehokkuus, valaistusvaatimukset, energiatehokkuus	

## ABSTRACT

<b>Name:</b> Saila Järvinen	
<b>Title:</b> The New EU Directive on Energy Efficiency: Changes Required for Railway Station Lighting	
<b>Date:</b> 8.6.2009	<b>Number of pages:</b> 34 p. + 3 attachments
<b>Department:</b> Electrical Engineering	<b>Study Programme:</b> Power Systems
<b>Instructor:</b> Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer	
<b>Supervisor:</b> Mika Saari LiCon-AT Oy	
<p>The European Union has set a target to decrease electric energy consumption by 51 TWh by 2020. The new energy efficiency directive came into force in May 2009. This means that mercury vapour lamps, which are the most common lamps used at railway stations, are going to be abolished from the markets in the future. The purpose of this study was to identify the necessary changes regarding railway station lighting and to look for suitable solutions. The main aim was to establish how much energy can be saved by introducing new alternatives.</p> <p>Three stations were taken for an example. Illuminance was measured in lux just above the ground. The measurement results were used to determine suitable alternatives for replacing mercury vapour lamps.</p> <p>The starting point was that good lighting planning and accurate dimensioning should ensure adequate lighting for safe movement in the area. When choosing an appropriate lamp, the focus was on the lamp's effectiveness, colour temperature, decrease in light flux, colour reproduction index and life time.</p> <p>The results showed that mercury lamps can be replaced by metal halide lamps, fluorescent tube lamps, induction lamps or high pressure sodium lamps. Their consumption of electricity is 20 – 40 % lower but they still give the same amount of light. By starting to utilize electronic ballasts, energy consumption can be reduced by a further 20 %. In addition, switching into an automatic control system makes it possible to change the lamps simultaneously, which lowers service costs.</p> <p>In conclusion, this study shows that it is possible to achieve the target set for saving energy by introducing new alternative lamps. A sample calculation shows that replacing mercury lamps with metal halide lamps (CosmoPolis) or fluorescent lamps saves energy by 50 %.</p>	
<b>Keywords:</b> light effectiveness, energy efficiency, illuminance	

# Sisällysluettelo

## ALKULAUSE

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

## LYHENNELUETTELO

## TERMIEN SELITYKSIÄ

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>EU-DIREKTIIVIN MUUTOKSET JA NYKYTILANNE RAUTATEIDEN MATKUSTAJA-ALUEILLA</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Rautatiealueen valaistusvaatimukset</b>	<b>2</b>
<b>2.2</b>	<b>Nykytilanteen kartoitus</b>	<b>4</b>
2.2.1	<i>Koivukylän asema</i>	5
2.2.2	<i>Jokelan asema</i>	7
2.2.3	<i>Hyvinkään asema</i>	9
<b>3</b>	<b>ULKOVALAISIMET</b>	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>Elohopealamppu</b>	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>Suurpainenatriumlamppu</b>	<b>11</b>
<b>3.3</b>	<b>Monimetallilamppu</b>	<b>11</b>
<b>3.4</b>	<b>Loistelamppu</b>	<b>12</b>
<b>3.5</b>	<b>INDUKTIOLAMPPU</b>	<b>12</b>
<b>3.6</b>	<b>LED</b>	<b>13</b>
<b>3.7</b>	<b>Valaistussuureita</b>	<b>13</b>
3.7.1	<i>Näkyvä valo</i>	14
3.7.2	<i>Valovirta</i>	14
3.7.3	<i>Valovoima</i>	14
3.7.4	<i>Valonjakokäyrä</i>	14
3.7.5	<i>Valaistusvoimakkuus</i>	14
3.7.6	<i>Valotehokkuus</i>	15
3.7.7	<i>Luminanssi</i>	15
3.7.8	<i>Väriämpötila</i>	15
3.7.9	<i>Värintoistoindeksi</i>	15
3.7.10	<i>Kontrasti</i>	16
<b>4</b>	<b>LOISTELAMPPUJEN LISÄLAITTEET</b>	<b>16</b>
<b>4.1</b>	<b>Elektroninen liitäntälaite</b>	<b>17</b>
<b>4.2</b>	<b>Magneettikuristin</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>NÄKÖHAVAINNON SYNTYMINEN</b>	<b>18</b>

<b>6</b>	<b>ENERGIANSÄÄSTÖ</b>	<b>22</b>
6.1	Valaisimen valinta	25
6.2	Muutosehdotukset Koivukylän asemalla	25
6.3	Muutosehdotukset Jokelan asemalla	28
6.4	Muutosehdotukset Hyvinkään asemalla	28
6.5	Ohjausjärjestelmä	28
<b>7</b>	<b>PÄÄTELMÄT JA YHTEENVETO</b>	<b>30</b>
	<b>VIITELUETTELO</b>	<b>33</b>

## LYHENNELUETTELO

$\Phi$	Valovirta, yksikkö lumen, lm
a	Vuosi
cd	Kandela, valovoiman yksikkö
E	Valaistusvoimakkuus yksikkö, $\text{lm}/\text{m}^2 = \text{lx}$
h	Tunti
HQL	Elohopeahöyrylamppu
Hz	Hertsi. SI -järjestelmän mukainen taajuuden yksikkö. $\text{Hz} = 1/\text{s}$
I	Valovoima, yksikkö kandela, cd
K	Kelvin, SI-järjestelmän lämpötila yksikkö
L	Luminanssi, yksikkö $\text{cd}/\text{m}^2$
lx	Luksi. Valaistusvoimakkuuden yksikkö; $\text{lumen}/\text{m}^2$
lm	Lumen. Valovirran yksikkö.
nm	Nanometri, $10^{-9} \text{m}$
Ra	Värintoistoindeksi. Ra-indeksillä mitataan valonlähteen kykyä toistaa värejä verrattuna vertailuvalonlähteeseen
T	Väriämpötila
TWh	Terawattitunti

## TERMIEN SELITYKSIÄ

Absorboituminen	Imeytyminen. Valofotonin energia siirtyy atomille ja muuttuu lämpöenergiaksi
Monokromaattinen valo	Valoa, joka sisältää vain yhtä aallonpituutta

## 1 JOHDANTO

Ulkovalaistuksen tarkoitus on pääsääntöisesti mahdollistaa alueen turvallisen käyttö pimeään aikaan sekä luoda viihtyisyyttä. Ensimmäiset kaasulyhdyllä varustetut katulamput otettiin käyttöön Lontoossa 1807. Suomessa Helsinki ja Tampere olivat ensimmäiset kaupungit, joihin hankittiin katuvalot, tasavirralla toimivat hehkulamput, 1880-luvulla. /1./

Valaisinten määrä maailmassa on kasvanut niin paljon, että on otettu käyttöön uusi käsite: häiriövalo. Häiriövalo muodostuu kaupunkien ja teiden valaistuksesta; se on keinovaloa, joka on tarpeetonta, liian voimakasta tai joka koetaan muuten häiritsevänä. Häiriövalo voi aiheuttaa häiriötä eliölajeille. Esimerkiksi tähtien mukaan suunnistavat linnut voivat eksyä reitiltä häiriövalon vuoksi ja törmäillä korkeisiin rakennuksiin. /1./

Ilmastonmuutoksen uhka on saanut Euroopan Unionin havahtumaan valaistukseen käytetyn sähköenergian määrän suuruudesta. Euroopan valaistuksesta on 60 % tehty vanhalla energiaa tuhlaavalla tekniikalla. Tavoitteena onkin 20 % energiansäästö vuoteen 2020 mennessä. /2./

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan vaihtoehtoja, joilla energiatehokkuusmääräysten vuoksi myyntikieltoon menevät elohopealamput voidaan korvata ja kuinka paljon energian kulutuksessa säästetään. Asiaa tarkastellaan kolmella erilaisella rautatieasemalla. Asemien nykyisen valaistuksen taso mitataan ja kartoitetaan käytetyt lamput. Asemille pohditaan eri vaihtoehtoja lamppujen suhteen. Lisäksi pohditaan valaistuksen ohjausjärjestelmän hyötyjä, ja mahdollisuutta säästää energiaa tätä kautta.

Tarkastelussa otetaan huomioon ratahallintokeskuksen omat määräykset valaistusvaatimuksista. Vaadittu valaistustaso on erilainen aseman vilkkaudesta riippuen. Samoin hyvää värintoistoindeksiä painotetaan suurilla asemilla. Tehokasta suurpainenatriumlamppua, jolla on huono värintoistoindeksi, voidaan käyttää pienillä asemilla, joissa on useimmiten käytetty pylväsvalaistusta.



## 2 EU-DIREKTIIVIN MUUTOKSET JA NYKYTILANNE RAUTATEIDEN MATKUSTA- JA-ALUEILLA

Euroopan Unioni on asettanut tavoitteeksi säästää energiaa EU:n alueella 51 TWh vuodessa vuoteen 2020 mennessä /3/. Tavoitteen saavuttamiseksi on vuoden 2009 maaliskuun 24. astunut voimaan energiatehokkuusdirektiivi 2005/32/EC. Uudella asetuksella tullaan kieltämään portaittain energiatehokkuusvaatimusten alittavien tuotteiden pääsy EU:n markkinoille /4./

Asetuksessa on annettu julkisten tilojen lampuille energiatehokkuusrajat ja muita vaatimuksia kolmessa portaassa. Ensimmäinen vaihe on vuoden kuluttua direktiivin voimaantulosta (v. 2010), toinen vaihe on kolmen vuoden kuluttua (v.2012), välivaihe kuuden vuoden kuluttua (v.2015) ja kolmas vaihe kahdeksan vuoden kuluttua (v. 2017). Direktiivin seurauksena esimerkiksi elohopealamput ja ns. korvaavat suurpainenatriumlamput tulevat poistumaan markkinoilta kokonaan vuoden 2015 jälkeen /5/. Rautateiden matkustaja-alueilla yleisesti käytetyille loiste-, monimetalli- ja purkauslamputille asetettiin liitteessä 1 näkyvät tehokkuusvaatimukset *lumenta/watti* /3/. B2-luokan magneettikuristimilla varustettuja loistelamppuvalaisimia ei saa tuoda EU-markkinoille enää vuoden 2017 jälkeen, jolloin sallittuja ovat A2-luokan liitäntälaitteet /5./ Loistelamppujen valotehokkuusvaatimukset astuvat voimaan vuoden kuluttua ja suurpainenatriumlamppujen osalta kolmen vuoden kuluttua asetuksen voimaantulosta. Lisäksi loistelamppuvalaisinten elektronisten liitäntälaitteiden tehokkuudelle on asetettu minimivaatimukset. Edelleen toisessa portaassa tulevat voimaan minimivaatimukset suurpainenatriumlamppujen kestoikästä ja kuolleisuusprosentista. Monimetallilamppujen kohdalla minimivaatimukset tulevat voimaan kolmannessa portaassa.

Kesällä 2008 EU:n komissio julkaisi kestävää kulutusta ja tuotantoa sekä kestävää teollisuuspolitiikkaa koskevan toimintaohjelman, johon liittyvät ehdotukset kestävän kehityksen direktiivin (energiatehokkuusdirektiivin, ympäristömerkkiasetuksen ja ympäristöjärjestelmäasetuksen) uudistuksesta. Vaatimuksia tullaan arvioimaan uudelleen viiden vuoden kuluttua ja odotettavissa on, että vaatimukset kiristyvät edelleen vuonna 2013./3/

### 2.1 Rautatiealueen valaistusvaatimukset

Ratahallintokeskus on laatinut ohjeet rautatiealueiden valaistusvaatimuksista. Tämän opinnäytetyön kirjoitusajankohtana noudatetaan 7.1.2009 voi-

maan tullutta ohjetta Rautatiealueen valaistusvaatimukset nro 4/040/2009, joka täydentää standardin SFS-EN-12464-2 vaatimuksia sekä ottaa huomioon EU:n uudet vaatimukset energiatehokkuudesta.

Taulukossa 1 on eritelty rautatiealueiden valaistusvaatimukset. Vaatimukset vaihtelevat toisistaan aseman koosta riippuen.

**Taulukko 1 Rautatiealueen valaistusvaatimukset /6/**

*Taulukko 3.1. Matkustaja-alueiden valaistusvaatimukset*

	$E_m$ hor	$E_m$ vert.	$U_o$ min/av	$U_d$ max/ min	$GR_{av}$	$GR$ max	$R_a$
<b>Avoimet asemalaiturit</b>							
- pienet asemat	10		0,25	8	40	50	20
- keskiisuuret asemat (vilkas toiminta)	20		0,4	5	40	45	60
- suuret asemat	50		0,4	4	40	45	60
	50		0,4	4	40	45	60
<b>Katetut asemalaiturit</b>							
- pienet asemat	20		0,4	5	3,5	50	60
- keskiisuuret asemat	50		0,5	3	3,5	40	60
- suuret asemat	100		0,5	3	30	35	80
<b>Asematunnelit</b>							
- keskiisuuret ja suuret asemat	100		0,5				60
<b>Portaat ulkona</b>							
- pienet asemat	30		0,4	5	3,5	45	20
- keskiisuuret ja suuret asemat	50		0,5	5	3,5	45	60
<b>Kävelytiet K luokkien mukaisesti</b>							
- pienet asemat (S4*)	5						20
- keskiisuuret ja suuret asemat (S2*)	10						20
- pysäköintialueet	10		0,4	5			20

\*) S-luokkien valaistusvaatimukset on esitetty SFS-EN-standardissa 13201-2 kohdassa 6.  
/3/

missä

- $E_m \text{ hor}$  = Keskimääräinen valaistusvoimakkuus (vähimmäisarvo vaakatasoon nähden)
- $E_m \text{ vert.}$  = Keskimääräinen valaistusvoimakkuus (vähimmäisarvo pystytasoon nähden)
- $U_0 \text{ min/av}$  = Yleistasaisuus minimivalaistusvoimakkuuden ( $E_{\min} \text{ hor}$ ) suhde keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen ( $E_m \text{ hor}$ )
- $U_d \text{ max/min}$  = Yleistasaisuus maksimivalaistusvoimakkuuden ( $E_{\max} \text{ hor}$ ) suhde minimivalaistusvoimakkuuteen ( $E_{\min} \text{ hor}$ )
- $R_a$  = Valonlähteelle asetettu minimi värintoistoindeksi  $R_a = 0-100$
- $GR_{av}$  = Keskiarvo kiusahäikäisyarvoista GR
- $GR_{\max}$  = Maksimikiusahäikäisyarvo GR

## 2.2 Nykytilanteen kartoitus

Matkustaja-alueiden valaistukseen käytetään suurpaineisia purkauslamppuja niiden tehokkaan valontuotannon vuoksi. Loistelamppuvalaisimia käytetään jonkin verran laitureiden katosalueiden valaistuksessa ja pääsääntöisesti raidenäytöissä ja opastintauluissa sekä tunneleiden valaistuksessa.

Rautateiden matkustaja-alueiden nykyisiä valaistusolosuhteita kartoitettiin Etelä-Suomessa kolmella asemalla: Koivukylässä, Jokelassa ja Hyvinkäällä. Alueilla mitattiin harvalla pisteverkolla askelmitoin valaistusvoimakkuudet kulkualueilla katetuilla laitureilla ja portaissa. Opastintaulut ja raidenumerot eivät kuuluneet työhön.

Tässä mittauksessa mitattiin noin joka kolmas piste verrattuna yleisesti käytettyyn pisteverkkoon. Ratahallintokeskuksen valaistusvaatimuksissa /6/ on pisteverkon laskemiseksi kaava

$$p = \frac{d}{0,2 \times 5^{\log d}} \quad (1)$$

jossa

- $p$  = sivun laskentapisteiden määrä
- $d$  = alueen sivun pituus

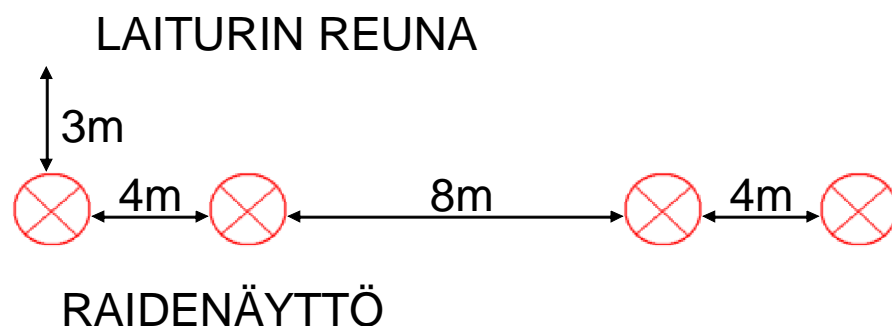
Pisteverkko saadaan, kun kummankin sivun pistemäärä lasketaan erikseen /6/.

Pisteverkon mittaustuloksista laskettiin keskiarvo. Valaistuksen tasaisuus laskettiin  $U_{Emin/Eav}$  eli minimiarvo jaettuna lasketulla keskiarvolla ja  $U_{min/max}$  eli minimiarvo jaettuna maksimiarvolla. Valaistusvoimakkuus ei saisi vaihdella missään kohdassa enempää kuin 1/3 keskimääräisestä valaistusvoimakkuudesta. /7/.

Mittaukset suoritettiin 16.2.2009 alkaen klo 18.20. Mittausiltana vallitsi kuiva pakkassää. Kuutamo ei ollut. Mittauksissa käytettiin luksimittaria Hagner Universal Photometer Model S3, Instr. No 94017.

### 2.2.1 Koivukylän asema




Koivukylän aseman valaistusasennus on tehty vuoden 2000 paikkeilla. Luksiarvot mitattiin maanpinnan tasolta. Ensimmäinen mittauspiste oli laiturikatoksen alla. Mittaus aloitettiin raidenäytön kohdalta ja edettiin HQL-valaisinten suuntaan, joista ensimmäinen sijaitsee 2 metrin päässä ja seuraava 4 metrin päässä, kuten kuvasta 1 selviää.



**Kuva 1** Koivukylän laiturikatoksen lamppujen sijoitus

Mittausalueen, pisteverkko 1, koko 3,5 x 4 m, ensimmäinen rivi on mitattu metrin päästä laiturin reunasta. Pisteverkko on harvempi kuin mitä valaistus suunnittelussa käytetään.

## Pisteverkko 1 Koivukylän laiturikatos

37	42	30	48	
63	73	70	65	
55		76	70	
 57				


Mittaustulosten keskiarvoksi saatiin 58 luksia. Valaistuksen tasaisuudeksi saatiin 0,52 ja  $U_{min/max}$  oli 0,39. Laiturikatoksen valaistus täyttää keskisuurille katetuille laitureille asetetun 50 luksin vaatimuksen. Valaistus vaikutti tasaiselta, joskin yleisvaikutelma oli hämärä.

Laiturikatoksesta pääsee tunnelia pitkin parkkipaikalle ja liukuportaita pitkin tai hissillä ylikulkusillalle. Liukuportaiden alapäässä mitattiin arvot 32, 22 ja 22 luksia ja ylhäällä ja tasanteella molemmissa 18 luksia. Valaistus elohopealampuilla oli siis tasaisen riittämätön. Mittauksen aikaan liukuportaat eivät toimineet ja keskimäärin 22 luksin valaistuksessa harmaita liukuportaita oli sen verran vaikeaa erottaa, että heikkonäköisen olisi viisainta käyttää hissiä.

Laiturialueella liukuportaiden vierellä 125 W:n elohopealamput valaisivat keskimäärin 64 luksin voimakkuudella eli vaaditun minimitason yläpuolella.

Mitattiin valaistusvoimakkuuksia avolaiturin pylväsvalaisimen suurpainenatriumlampun kohdalla. Mittaustulokset on esitetty pisteverkossa 2.

## Pisteverkko 2: Koivukylän aseman avolaituri

36	37	21	47
42		22	22
33	25	20	20
Laiturin reunaan etäisyyttä 1 m			

Mittaustulosten keskiarvoksi saatiin 30 luksia, kun vaatimus olisi 20 lx. Valaistuksen tasaisuudeksi saatiin 0,66 ja *minimi/maksimi* -suhteeksi 0,43. Suurpainenatriumlampun oranssi valo on miellyttävän tuntuista, mutta sen värintoisto on huono kapean spektrijakauman vuoksi. /8/.

### 2.2.2 Jokelan asema

Jokelan aseman valaistus on uusittu vuonna 1990. Aseman valaistus on toteutettu eri tehoisilla elohopealampuilla.

Ensimmäinen mittauskohde oli laiturilla asemarakennuksen liepeillä, jossa on pylväsvalaistus. Valaisinylväät ovat noin 30 metrin välimatkoin. Yhdessä valaisinylväässä on kaksi valaisinta eri suuntiin, kuten pisteverkosta 3 nähdään, ja laiturin reunaan matkaa uloimmasta mittauspisteestä 1 m.

## Pisteverkko 3: Jokelan asemalaituri

8	15	20	23
7	14	25	33
6	13	26	53

Mittaustulosten keskiarvoksi saatiin 20,3 lx mikä on juuri suositusten mukainen, joskin lamppujen vielä vanhetessa ja valaistusvoimakkuuden vähentyessä jää alle vaatimusten. Valaistuksen tasaisuus vaihteli suuresti. Tasaisuus arvoksi saatiin 0,30 ja *minimi/maksimi* -suhteeksi 0,11. Tässä tulee kuitenkin huomioida, ettei mitattu pisteverkko ollut niin tiheä kuin mitä virallisissa mittauksissa käytetään, jolloin valaistuksen tasaisuudeksi todennäköisesti saataisiin parempi lukema.

Seuraavaksi kuljettiin alas tunneliin. Tunnelissa oli joitakin lamppuja pimeinä ja vaikutelma oli hämärä. Tunnelia kulkiessa valaistusvoimakkuus vaihteli välillä 37 - 50 lx. Aivan lampun alla saatiin lukemaksi 65 lx.

Laiturille johtavissa portaissa oli tosissaan hämärää. Mitatut luksiarvot vaihtelivat 7,5 - 15 luksin välillä, kun vaatimus on  $\geq 30$  lx..

Välilaiturilla oli samanlaiset valaisinpylväät kuin laiturilla 1, jolla asemarakennus sijaitsee ja valaistusmittaus suoritettiin samalla tavalla. Mittaustulosten keskiarvoksi saatiin 8 lx. Valaistuksen tasaisuudeksi saatiin 0,44 ja *minimi/maksimi* -suhteeksi 0,23. Välilaiturin valaistusolosuhteet olivat siis alle vaaditun.

### 2.2.3 Hyvinkään asema

Hyvinkään aseman nykyinen valaistustoteutus on vuodelta 1995 ja toteutettu pääosin suurpainenatriumlampuilla. 1 laiturilla mitattiin valaisinpylväiden välillä samanlainen pisteverkko kuin Jokelassakin. Mittausalueen, pisteverkko 4, koko oli noin 16 x 3,5 m. Mittauspisteitä oli 12. Laiturin reunaan on 1 m mittauspisteestä.

Pisteverkko 4: Hyvinkään asemalaituri

19	26	33	58
26	39	40	63
25	35	65	73

Mittaustulosten keskiarvo on 42 lx. Valaistus vaikutti tasaiselta ja lasketuksi tasaisuudeksi saatiin 0,45 sekä *minimi/maksimi* -suhteeksi 0,26 eli valaistus vaikutti tasaisemmalta kuin todellisuudessa oli.

Tunneliin johtavat portaat kylpivät downlight-valaisinten valossa. Valaistus oli epätasainen, mutta sitä ei juurikaan huomannut, koska valoa riitti. Suurin mittausarvo oli 130 lx ja pienin seinän viereltä mitattu 34 lx. Keskiarvoksi saatiin 84 lx ja tasaisuudeksi 0,41 sekä *minimi/maksimi* -suhteeksi 0,26. Kohteen lamput voitaisiin vaihtaa pienempitehoisempiin ja silti pysyttäisiin suosituksissa. Ylivalaistus oli todella huomattavan suuri.

Asematunnelissa oli osa lampuista pimeinä, joten valaistus vaihteli voimakkaasti, keskiarvoksi saatiin kuitenkin 139 lx. Valaistuksen tasaisuus oli huo-



no. Tasaisuuden suuri vaihtelu kasvattaa luminanssieroja pinnoilla, mikä puolestaan voi aiheuttaa häikäisyä /9/.

Välilaiturilla mitattiin valaisinpylväiden välillä samanlaisella pisteverkolla kuin laiturilla yksi. Keskiarvoksi saatiin 31 lx ja tasaisuudeksi 0,35 sekä *minimi/maksimi* -suhteeksi 0,17, mikä on lähellä vaadittua arvoa 0,2. Valaistus oli hyvä valaisinpylvään kohdalla, mutta kahden pylvään keskikohtaan (noin 15 m valaisimesta) ei valoa juuri riittänyt ja valaistus jäi suositusten alle.

Viimeiseksi mitattiin laiturilta tielle johtavien pitkien portaiden valaistus. Portaiden valaisinpylväät on sijoitettu portaiden toiselle reunalle. Mitattiin valaistus valaisinten puolelta ja vastakkaiselta. Valaisinten puolelta arvoja saatiin väliltä 27-38 lx ja toiselta puolelta 17-37 lx. Kaikkien mittaustulosten keskiarvoksi saatiin 28 lx, mikä on lähellä vaadittua 30 luksia. Tasaisuus oli hyvä 0,61 ja *minimi/maksimi* -suhde 0,45. Portaat johtavat yleiselle tielle ja kuuluvat näin ollen Hyvinkään kaupungille.

### 3 ULKOVALAISIMET

Ulkovalaistuksella tehdään liikkuminen turvallisiksi. Rautateiden matkustaja-alueilla käytetään valaistukseen hyvin paljon purkauslamppuja. Loisteputki-valaisimia käytetään jonkin verran ja led-lamppuja merkkilampuissa.

#### 3.1 Elohopealamppu

Elohopealamppun valontuotto perustuu elohopean höyrystymiseen korkeassa lämpötilassa ja paineessa. Aikaansaatu säteily on pääosin näkyvää valoa ja osin ultraviolettisäteilyä. Polttimon suojakupu on pinnoitettu loisteaineella, joka syntyneen ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta säteilee näkyvää valoa, jolloin UV-säteilyä ei pääse ulos. Jos lampun suojakupu rikkoontuu ja polttimo yhä toimii, silmä- ja ihovaurioita aiheuttavaa ultraviolettisäteilyä säteilee ympäristöön /10./

Elohopealamppun valo on melko valkoista, aavistus sinistä ja vihreää, 3800-4000 K ja sen värintoisto on melko huono,  $R_a = 40 - 59$  /11/. Lampun valontuotto heikkenee merkittävästi ikääntyessä ja sen hyötysuhde on huono /10/. Elohopealamppu on luotettava, se tarvitsee kuristimen virranrajoitukseen,

mutta ei erillistä sytytintä /11/. EU:n energiatehokkuusvaatimusten takia elohopealampujen tuonti EU:n markkinoille loppuu v. 2015 /10/.

### 3.2 Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlamppu tuottaa näkyvää valoa natriumhöyryssä tapahtuvalla purkauksella. Suurpainenatriumlamppu tarvitsee sytyttimen ja kuristimen. Sytytin kehittää lampulle 3 kV:n jännitepiikin, jolloin putken sisällä oleva harvennettu kaasu ionisoituu. Jännitepiikki johdetaan lampulle kuristimen väliliiton kautta. Esipurkauksen tapahduttua virta saa natriumin höyrystymään ja virta kulkee alemmalla jännitteellä kuristimen kahden muun nastan kautta. Tuotettu valo on lähellä silmänherkkyyskäyrän maksimia, mistä johtuen sen valotehokkuus on erinomainen noin 100-150 *lm/W*. Suurpainenatriumlampun valon värisävy on oranssi ja sillä on huono värintoistoindeksi (Ra 20) ja väriämpötila noin 2000 K. Sarjassa on myös putkenmuotoisia ns. värikorjattuja lampuja, jotka ovat kirkkaita. Värintoistoluokka on parannettu purkausputken metallien seoksella. Näiden lampujen valotehokkuus ja elinikä ovat huonompia kuin perinteisellä suurpainenatriumlampulla ja sen vuoksi ne ovat EU:n lähitulevaisuudessa myyntikieltoon menevien lampujen listalla. /11/.

### 3.3 Monimetallilamppu

Monimetallilamppu on toimintaperiaatteeltaan lähes samanlainen kuin elohopealamppu. Siinä on elohopean lisäksi muitakin metallien halogeeniyhdisteitä, /1./ Monimetallilampun valotehokkuus on elohopealamppua parempi, melkein samaa luokkaa suurpainenatriumlampun kanssa ja sen värintoisto on erittäin hyvä (Ra 90). Monimetallilamput ovat suurpainenatriumlamppuja lyhytikäisempiä ja niiden valoteho laskee iän mukana jyrkemmin kuin suurpainenatriumlampujen. Ne tarvitsevat elektronisen sytytyslaitteen. /11./

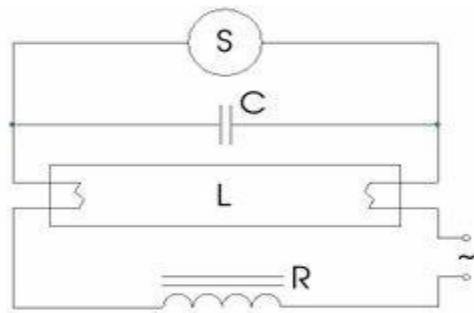
Monimetallilamput jaetaan kvartsilasiin ja keraamisiin purkausputken materiaalin perusteella, /1/ sekä uutuuksena Philipsin CosmoPolis monimetallilamppu, jossa piirteitä sekä monimetallilamppusta /12/. Keraamiset monimetallilamput säilyttävät valovirtansa ja värisävynsä hyvin koko elinikänsä ajan, /1/.

Monimetallilampujen lasin sisällä vallitsevan suuren paineen takia niissä on räjähdysvaara. Valaisimiin vaaditaan suojakupua. Keraamiset lamput rä-

jähtävät harvemmin kuin kvartsilasiset. /1/. CosmoPolis lamput eivät ilmeisesti juurikaan räjähdä, mutta näistä lampuista on vielä vähäinen käyttökokemus, /12/.

### 3.4 Loistelamppu

Loisteputkessa pisara elohopeaa kaasuuntuu sähköpurkauksen vaikutuksesta ja tuottaa UV-säteilyä. Loisteputken sisäpinnan fluoresoivat materiaalit muuttavat UV-säteilyn näkyväksi valoksi. Sisäpinnan loisteaineiden valinnalla pystytään vaikuttamaan tuotetun valon laatuun ja sävyyn. Loistelampun sisällä on kaasua esimerkiksi argonia tai kryptonaa. Kaasua tarvitaan sytyttämisen helpottamiseksi ja sähköpurkauksen minimoimiseksi. Kuvassa 2 on esitetty loisteputkivalaisimen rakenne.



**Kuva 2. Loisteputkivalaisimen rakenne /11/**

S = sytytin, C = kondensaattori, L = loisteputki ja R = kuristin

Kuristin voidaan nykyisin korvata elektronisella säätimellä, jolloin loisteputken läpi kulkevan virran taajuus nostetaan 20-30 kHz:iin. Elektronisella säätimellä päästään 20-30 %:in säästöön valaisimen sähkönkulutuksessa, saadaan välkkymätön sytyntä sekä parempi valontuotto. /10./

### 3.5 INDUKTIOLAMPPU

Induktiolampun toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon eli magneettivuon muutokseen ja loistelampun kaasupurkaukseen. Ensio- ja toisiokelan läpi johdettu virta saa lampun kaasussa olevat atomit ionisoitumaan, jolloin syntyy näkyvää valoa. /1./

Induktiolampun värintoisto on erittäin hyvä, Ra = 80 – 90, ja valittavana on lamppuja eri värilämpötiloilla, 2700 – 6500 K. Lampulle on elektroninen lii-

täntälaite, jonka tehokerroin  $>0,95$ . Käyttöikä 60 000 tuntia 70 % alenemakertoimella. /23./

### 3.6 LED

Valotehokkuudeltaan erinomaisilta ledeiltä odotetaan tulevaisuudessa paljon. Ledi on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirtaa. Ledit ovat valonlähteinä pienikokoisia ja mekaanisesti kestäviä sekä pitkäikäisiä. /1./ Ledivalon väri riippuu käytetystä puolijohdemateriaalista ja nykyään teholedeissä käytetään yleensä kahta puolijohdemateriaalia. Valoteho vaihtelee värin mukaan seuraavasti: valkoinen 18-87  $lm/W$ , sininen 7-30  $lm/W$ , vihreä 25-120  $lm/W$ , keltainen 29-69  $lm/W$  ja punainen 25-55  $lm/W$ . Valkoinen valo saadaan aikaan esimerkiksi sinisellä ledillä, joka on päällystetty keltaisella loisteaineella. /10/.

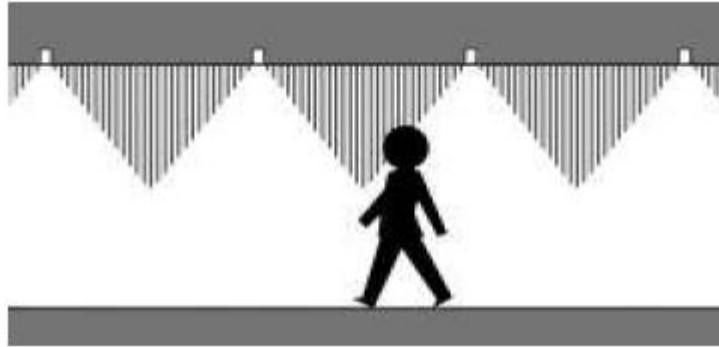
Ledit toimivat tasajännitteellä. Ne tarvitsevat ohjauselektronikkaa virran rajoittamiseen ja sopivan käyttöjännitteen aikaansaamiseksi. Ledien huono ominaisuus on ollut ja joissakin edelleen on huono lämmönsieto. Liian lämpimissä olosuhteissa ledien elinikä laskee huomattavasti. /1/

Käytännön kokeissa on todettu, että ledien valotehokkuus on vielä noin puolet suurpainenaatriumlampun tehosta. Ledien tuleminen varteenotettavaksi vaihtoehdoksi ulkovalaistuksessa antaa vielä odottaa itseään.

### 3.7 Valaistussuureita

Hyvä valaistus muodostuu riittävästä valaistusvoimakkuudesta, tehokkaasta häikäisyuojauksesta ja sopivasta pintakirkkaus- eli luminanssisuhteesta. Näköhavainto perustuu pintojen luminanssien ja luminanssierojen havaitsemiseen. Myös valon oikea suuntaus ja sopivat valon väriominaisuudet palvelevat sekä heikkonäköisiä että normaalisti näkeviä ihmisiä. /24/.

Ns. downlight -valaisinten eli kattoon upotettujen valaisinten alla kävellessä osalle ihmisistä aiheutuu migreenipäänsärkyä. Tämä aiheutuu valon määrän jatkuvasta vaihtelusta, joka on verrattavissa vilkkuvaan valoon. Vaikutelma on havainnollistettu kuvassa 3. /8 s. 6./



**kuva 3 Downlight valaistus /9/**

Suomen Valoteknillisen Seuran suositusten mukaan ulkotyöalueiden yleisvalaistukseen on 20 – 50 lx sopiva valaistusvoimakkuus. /13/.

### 3.7.1 Näkyvä valo

Sähkömagneettisen säteilyn aallonpituuksista näkyvä valo on aallonpituuksilla 380-780 nm. Pienin aallonpituus on violetilla värillä, 380-435 nm. Seuraavana on sininen valo 345-500 nm, vihreä 500-566 nm, keltainen 565-600 nm ja punainen 630-780 nm. /7/.

### 3.7.2 Valovirta

Valovirran tunnus on  $\Phi$  ja yksikkö *lumen*, *lm*. Valovirta kuvaa valonlähteen säteilyvoimaa. /1./ Valovirtaa määritettäessä säteilytehoa painotetaan silmänherkkyyskäyrälle. Silmä on herkin keltavihreälle valolle. /7/.

### 3.7.3 Valovoima

Valovoiman tunnus on *I* ja yksikkö on *kandela*, *cd*. Valovoima kuvaa valonlähteen voimakkuutta /1/ ja kuinka suuren osan valovirrasta valaisin lähettää määrättyyn suuntaan /13./

### 3.7.4 Valonjakokäyrä

Valonjakokäyrästä ilmenee valaisimen valovoima eri suuntiin. Valaisinvalmistajien tuoteluettelosta näkyvät eri valaisinten valonjakokäyrät. /13./

### 3.7.5 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuuden tunnus on *E* ja yksikkö *luksi*, *lx*. Se kuvaa pinnalle saapuvaa valovirran määrää eli  $lm/m^2$ . Valaistusvoimakkuus on useimmiten valaistuksen suunnittelun lähtökohta. /13./

### 3.7.6 Valotehokkuus

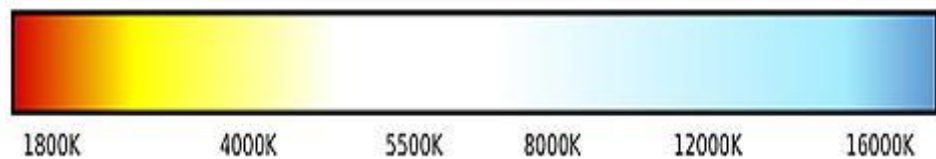
Valotehokkuus on valovirran ja sen tuottamiseen kuluneen sähkötehon suhde,  $lm/W /D/$  ja se kuvaa, kuinka hyvin lamppu muuttaa sähköenergiaa valoksi /13/.

### 3.7.7 Luminanssi

Luminanssi,  $L$ , on valotiheys eli *valovoima / pinta-ala, kandela / m<sup>2</sup>*. Luminanssi kuvaa pintakirkkautta. Näkeminen perustuu pääasiassa luminanssieroihin ja niistä syntyvään luminanssikontrastiin,  $K$ . /13./

### 3.7.8 Värilämpötila

Värilämpötila,  $T$ , määrittää valonlähteen värilajin. Sitä käytetään pääasiassa hehkuvalonlähteiden värimääritykseen, sillä määritelmä perustuu mustan kappaleen, Planckin säteilijän, ominaisuuksiin, joita hehkulanka-aineiden ominaisuudet suunnilleen noudattavat. Värilämpötila ilmoitetaan Kelvinasteina. Kuvassa 4 nähdään värilämpötilat väreinä. /13./



**Kuva 4. Värilämpötila**

### 3.7.9 Värintoistoindeksi

Värintoistoindeksillä eli Ra-indeksillä mitataan valonlähteen kykyä toistaa värejä vertailuvalonlähteeseen nähden /1/. Vertailuvalonlähteenä alle 5000 K lamputille käytetään hehkusäteilijää, joten hehkulampun Ra-indeksi on 100. Yli 5000 K lamputilla vertailu tapahtuu luonnonvalostandardiin. Lamputujen erilaisista spektrin koostumuksista johtuen kahdella valonlähteellä voi olla sama Ra-indeksi, mutta erilainen värintoisto. Värintoistoindeksiä esitettäessä tulisi mainita, mitä valonlähdetä on käytetty vertailuvalonlähteenä. /13./

Värintoistoindeksi 0 tarkoittaa monokromaattista valoa, jossa värit eivät toistu lainkaan. Ra 100 taas tarkoittaa jatkuspektristä valoa eli vertailuvalonlähteen kaltaista värintoistoa. Hehkulampun värintoisto on kutakuinkin 100 samoin kuin luonnonvalolla. /1./

### 3.7.10 Kontrasti

Kontrasti tarkoittaa tummimman ja vaaleimman kohdan valoisuuden eroa, yksityiskohdan luminanssin ja sen taustan luminanssin erotuksen suhdetta taustan luminanssiin. Kontrastinmuodostuksen hyvyttä arvostellaan kontrastintoistosuhteella CRF. /13./

$$K_m = \frac{L_{\text{valkea}} - L_{\text{musta}}}{L_{\text{valkea}}} \quad (2)$$

jossa

- $K$  = luminanssikontrasti
- $L_{\text{valkea}}$  = taustaluminanssi
- $L_{\text{musta}}$  = kohteen luminanssi

$$CRF = \frac{K_m}{K_{\text{ref}}} \quad (3)$$

jossa

- $K_{\text{ref}}$  on näkökohteen kontrasti mitattuna tasahajoittavassa valaistuksessa (referenssitilana on Ulbrichtin pallo).

Tutkimusten mukaan suurimpana kontrastia huonontavana seikkana pidetään kiiltokuvastumista /13/.

## 4 LOISTELAMPPUJEN LISÄLAITTEET

Loistelamppujen toimintaa varten tarvitaan sytytin, kondensaattori ja kuristin. Sytyttimen bi-metallikärkien väliin syntyy 230 V:n jännite, jolloin sytyttimen sisällä olevassa kaasussa tapahtuu sähköpurkaus. Purkaus lämmittää bi-metallia ja kärjet sulkeutuvat, jolloin virta pääsee kulkemaan kuristimeen ja lamppuun lämmitysvastusten kautta. Vastukset höyrystävät putkessa olevan elohopean ja kuristimessa jännitettä varautuu kelan magneettikenttään. Bi-metallikärkien jäähtyessä ne avautuvat uudelleen, jolloin kuristimen magneettikentän varaus purkautuu muodostaen korkean jännitteen ja virtapiikin,

joka aiheuttaa loisteputkessa sähköpurkauksen ja lamppu syttyy. /13./ Tavallisella kuristimella lampun loisteaine syttyy ja sammuu jatkuvasti 2 x 50 Hz:n taajuudella. Tästä aiheutuu värisevä valo. /14./ Palaessaan loistelamppu käyttää matalampaa jännitettä kuin sytytysvaiheessa /13/.

#### 4.1 Elektroninen liitäntälaitte

EU:n uudet energiatehokkuusmääräykset tulevat kieltämään konvektionaaliset magneettikuristimet, joiden sijaan voidaan käyttää elektronisia liitäntälaitteita. Elektronisissa liitäntälaitteissa on sisäänrakennettu sytytyslaite ja loistehon kompensointi virranrajoittimessa. Elektronisen liitäntälaitteen etuja ovat:

- 20-30 % pienempi energiankulutus /15, kun elektroninen liitäntälaitte nostaa taajuuden noin 30 kHz:iin. Elektroninen liitäntälaitte antaa lampulle aina oikean suuruisen polttojännitteen riippumatta ensiöpuolen jännitteestä. Näin loisteaine kuormittuu vähemmän ja valovirran alenema hidastuu. /14/.
- Välikymätön valo korkean taajuuden ansiosta, koska ihmisen aivot ja silmät havaitsevat vain taajuusalueella alle 1000 Hz esiintyvän värinän /14/.
- Pidempi lampun polttoikä lämminsytytyksellä /15/. Nopea syttyminen pidentää lampun kestoikää /14/.
- Sammuttaa loppuun palaneet lamput (self stop) /16/. Elektroninen liitäntälaitte tunnistaa lämpötilan nousun, kun viallinen lamppu yrittää syttyä uudelleen ja uudelleen, jolloin kuristimen ja sytyttimen lämpötila nousee. Turvapiiri kytkee tällaiset lamput pois päältä. /14/.
- Pieni magneettikenttä, koska virtaa päätetään tehopuolihohteilla, jolloin isoa kelaa ei tarvita. 50 Hz:n harmoniset yliaallot jäävät pois, koska säädin on 50 Hz virtaan nähden huomattavasti lineaarisempi komponentti kuin konvektionaalinen kuristin. /14/.
- Se on kevyt.
- Lampun syöttöjännite on stabiloitu.



- Tehokerroin on lähes 0,95.
- Mahdollistaa valonsäädön tähän tarkoitukseen tarkoitetulla liitäntälaitteella /16/. Valoa voidaan säätää 100 %:sta 5 %:iin /14/.

On huomattava, että lamppujohdotusta ja verkkojohdotusta ei saa niputtaa yhteen, vaan ne on pidettävä mahdollisimman etäällä toisistaan /14/. On myös huolehdittava, että lampun ja liitäntälaitteen väliset johdot pysyvät lyhyinä, jolloin ne eivät ala toimimaan antennina aiheuttaen radiohäiriötä muille mahdollisesti lähellä oleville elektronisille laitteille. Lyhyet johtimet pienentävät myös kapasitiivista häviötä sytytyspulssissa. /15, s.12./

#### 4.2 Magneetikuristin

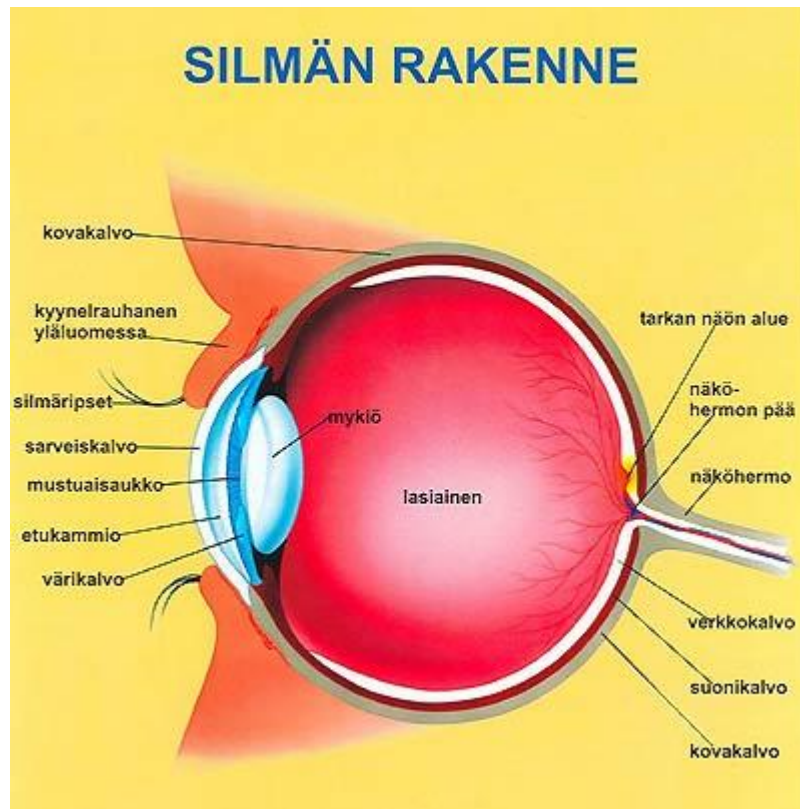
Magneetikuristin eli konvektionaalinen kuristin on rautasydäminen käämi. Se toimii induktiivisena loisvastuksena sarjassa lampun kanssa ja saa aikaan sähkövirralle taajuudesta riippuvan vastuksen, jolla lamppuvirtaa rajoitetaan. Induktiivisen piirin näennäisteho muodostuu pätötehoa suuremmaksi ilman lamppukohtaista loistehon kompensointia.

Kelan rautasydämessä muodostuu hystereesi- ja pyörrevirtahäviöitä sekä rautasydämen ympärille käämityn langan resistanssihäviöitä. Häviöt pienentävät tehoa 10-20 %. /16, s. 12./

Magneetikuristin on epälineaarinen komponentti, joten se aiheuttaa verkkoon harmonisia yliaaltoja.

### 5 NÄKÖHAVAINNON SYNTYMINEN

Silmät ja aivot muodostavat näköaistin. Verkkokalvo on näkemisen kannalta keskeinen, sillä verkkokalvon säikeet muodostavat silmän takaosassa näköhermon, jota pitkin silmien kautta välittyvä tieto siirtyy aivojen näkökeskukseen. Mykiö, silmän linssi, taittaa yhdessä sarveiskalvon kanssa katsottavasta kohteesta tulevia valonsäteitä verkkokalvolle. /17/.



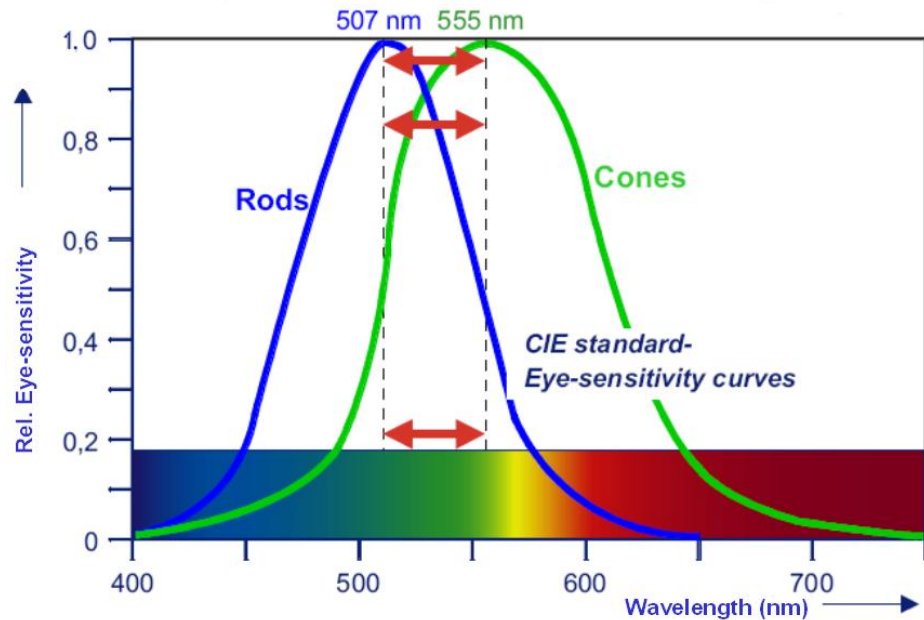
**Kuva 5. Silmän rakenne /17/**

Valon määrästä riippuen aistiärsytys kulkeutuu verkkokalvon tappi- tai sauvasoluille, kuten kuvassa 5 on asiaa havainnollistettu. Tappisolut toimivat voimakkaassa valossa ja sauvasolut heikossa. Väriaistimukset syntyvät tappisoluuissa. Hämärässä värien näkeminen heikkenee ja silmänherkkyysmekanismi siirtyy lyhyempiin, sinisiin, aallonpituuksiin päin. Hämärässä kontrastiherkkyys pienenee, jolloin yksityiskohtien erottaminen heikkenee, etäisyyksien arviointi vaikeutuu ja syvyytarkkuus heikkenee. /11./ Mesooppisesta näkemisestä puhutaan silloin, kun tarkoitetaan näkemistä matalilla valotasoilla, sekä tappi- että sauvasoluilla. /18/.

Sopeutuminen hämäärään vaatii enemmän aikaa kuin sopeutuminen valoisaan. Sopeutuminen huomioidaan valaistussuunnittelussa siten, että luminanssisuhteet eivät saa tulla liian suuriksi. /11./

Valaistusmitoitus perustuu tällä hetkellä ihmissilmän päivänäkemisen spektriherkkyyskäyrään. Päivänvalossa ihminen näkee tappisoluuilla (fotooppinen näkeminen) ja syvässä hämärässä vain sauvasoluilla (skotooppinen näkeminen). Matalilla valotasoilla silmä tulee herkemäksi sinisemmälle eli lyhytaaltoisemmalla säteilylle. Valaistuksen mitoitukseen ollaan kehittämässä mesooppista mallia, joka ottaa huomioon luminanssin muutoksen suhteen

sekä valon spektrin. /18./ Malli on parhaillaan CIE:n teknisen komitean TC 1-58 äänestyksessä. Kuvassa 6 nähdään silmän sauva- ja tappisolujen herkkyys valon eri aallonpituuksille.



**Kuva 6. Sauva- ja tappisolujen suhteellinen herkkyys valon eri aallonpituuksille /19/**

Esimerkkinä voidaan todeta, että mesooppinen valaistusmitoitus antaa 70 W monimetallilampun valotehokkuudeksi 95  $lm/W$ , kun perinteisessä fotooppisessa mitoituksessa valotehokkuudeksi saadaan 85  $lm/W$ . Ja päinvastoin 70 W suurpainenaatriumlampun valotehokkuus on 95  $lm/W$ , mutta mesooppisella mitoituksella se on 87  $lm/W$ . Taulukossa 2 on esitetty eri lamputyyppien skotooppisen ja fotooppisen näkemisen suhdetaulukko. Taulukosta nähdään esimerkiksi, että päivänvalotyypin monimetallilampun valotehokkuus kasvaa huomattavasti mesooppisella valaistusmitoituksella. Uutta mesooppista mallia sovelletaan luminanssialueella 0,005-5  $cd/m^2$ . /18./

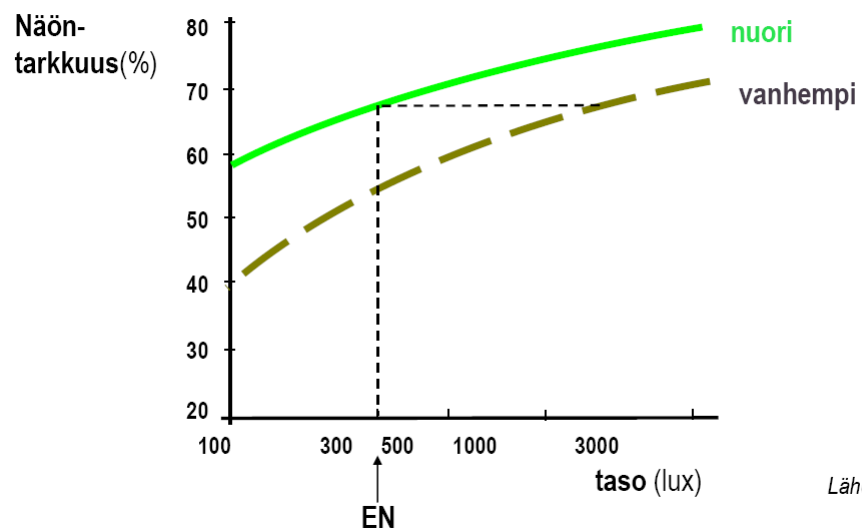
Taulukko 2 Lampputyypien S/P –suhdetaulukko /25/

### Esimerkkejä lamppujen S/P- suhteista (scotopic/photopic)

- Pienpainenaatriumlamppu..... 0,25
- Suurpainenaatriumlamppu..... 0,65
- Elohopealamppu..... 1,05
- Monimetalli , lämmin valkea..... 1,45
- LED, kylmä valkoinen..... 2,15
- Monimetalli , päivänvalo..... 2,45

Lähde: TKK, Valaistuslaboratorio / Eloholma 12/2008

Silmän rappeutuessa ikääntymisen myötä verkkokalvolle asti pääsee vähemmän valoa. Kuvassa 8 havainnollistetaan näön tarkkuuden muutosta iän karttuessa.



Lähde: CIE

Kuva 7. Näön tarkkuuden muuttuminen ikääntyessä /9/



Valaistukseen kuluvan energian määrää on mahdollista vähentää valitsemalla energiatehokkaita lampuja ja hyvällä optiikalla varustettu valaisin. Lampujen ryhmävaihdolla saadaan pienennettyä työtunteja valaisinta kohden. Valaistuksenohjauksen muuttaminen tarkkoihin lux-mittareihin perustuvaksi merkitsee, että valaistus on päällä vain silloin, kun sitä todella tarvitaan. Valaisinten sijoittelulla viedään valoa vain sinne, missä sitä tarvitaan.

Vanhat magneettikuristimet on mitoitettu 220 V jännitteelle. Suomessa käytöjännite on 230 V. Tästä seuraa, että valaisimille tulee ylijännite ja lampun palamisvirta nousee noin 15 %. Tällöin valaisimen todellinen teho on nimellistehoa suurempi, samoin energiankulutus. Elektronisella liitäntälaitteella liitäntälaittehäviöt pienenevät noin 5-10 W/lamppu. /21 s.27/. Nykyään magneettikuristimia saa valita 220 tai 230 V:lle.

Valaisimen ja lampun valinnassa huomiota kannattaa kiinnittää seuraaviin seikkoihin /2/:

- *Lampun valontuottokykyyn.* Energiatehokkuudeltaan heikot lamput poistuvat EU:n markkinoilta lähivuosina. Lampun valinnassa kannattaa kiinnittää huomiota valovirran alenemiseen lampun ikääntyessä. Suuren aleneman omaavan lampun tehon mitoittamiseen täytyy tehdä korjaus ylöspäin, jotta lamppu täyttää valaistusvaatimukset koko elinikänsä ajan. /21./ Valmistajat ilmoittavat lampuille hyötypolttoian ja keskimääräisen polttoian. Hyötypolttoikää määräytyy valaistuslaskelmissa käytetyn alenemakertoimen mukaisesti. Ratahallintokeskuksen valaistusvaatimuksissa on määritelty hyötypolttoiat lampputyypeittäin. Keskimääräinen polttoikä ilmoittaa milloin alenema on niin suuri, että lampujen ryhmävaihto on aiheellinen (puolet lampuista kuolleita). Suurpainenatriumlampuilla on pienempi valonalenema, noin 16 000 h, polttoian funktiona kuin monimetalli- (noin 12 000 h) tai elohopealampulla. Laadukkaalla suurpainenatriumlampulla on 90 % valotehoa jäljellä vielä 32 000 polttotunnin jälkeen 12 tunnin päivittäisellä poltojaksolla laskettuna. Monimetallilampuista parhaimmalla CosmoPoliksella jo 12 000 käyttötunnin jälkeen valovirran alenema on 20%. Kaksikantaiset putkenmuotoiset loistelamput ovat samaa luokkaa suurpainenatriumlampun kanssa magneettikuristimella, mutta elektronisella säätimellä varustettu loisteputki säilyttää valovirtansa 90 %:ssa noin 10 000 tuntia kauemmin.

- *Värintoistoon* (= turvallisuustekijä). Mitä paremmin lampun lähettämä valo toistaa spektrin värejä, sitä paremmin pystytään havainnoimaan ympäristön yksityiskohtia pienilläkin valotehoilla. /8 s. 8/.
  - *Väriämpötilaan*, joka vaikuttaa vireystilaan ja viihtyvyyteen
  - *Käyttöikään* – kuinka usein lamppu tai komponentit on vaihdettava. Suurpainenatriumlampun kestoikä on keskimäärin 16 000 h, monimetallilampun 12 000 h, mutta 2000-luvun MM-lamppujen jopa 30 000 h. Loistelamppujen kestoikä on parhaimmilla lampuilla jopa 60 000 h (sisäkäyttöön tarkoitettut).
  - *Häikäisynrajoitukseen*. Häikäisy suojauksella parannetaan näkyvyyttä. Estohäikäisy muodostaa silmään ns. harsoluminanssin, joka huonontaa näkemistä. Kiusahäikäisy tekee epämiellyttävän vaikutuksen. Häikäisyä estetään häikäisy suojauksella, jolla estetään valonlähteen näkyminen, tai jakamalla valonlähteen luminanssi suurelle pinnalle. Esimerkiksi osan valaisimen valosta voi ohjata kattoon, jolloin valaisimen ja katon kontrasti pienenee. /11 s. 25 – 26./
  - *Valaisimen hyötysuhteeseen*. Valaisimen hyötysuhde on valaisimesta poistuneen valovirran suhde lampun valovirtaan, /14/. Valaisimen mahdollinen häikäisy suoja esim. ruuturitiä pienentää valaisimesta poistuvan valovirran määrää ja alentaa hyötysuhdetta. Valaisimen laadukkaalla heijastinmateriaalilla pystytään parantamaan valaisimen hyötysuhdetta jopa 10 %. /15 s. 3./
- Optinen hyötysuhde* on valaisimesta lähtevän valovirran suhde kokonaisvalovirtaan mitattuna valaisimen sisätilaa vastaavissa oloissa, jolloin huomioon otetaan vain valon absorboituminen valaisimen rakenteisiin. Käyttöhyötysuhde ottaa huomioon lisäksi lämpötilan vaikutuksen lampun valovirtaan. /15 s. 4./
- *Valaisimen valonjakoon*. Valaisimen tuotetiedoista löytyy valonjakokäyrä, josta käy ilmi graafisesti valon jakaantuminen eri suuntiin. Valaisimen peilioptiikalla voidaan ohjata valon suuntautumista. Hyvällä peilioptiikalla voidaan vähentää häikäisyä. /15 s. 3./

- *Kunnossapitoon.* Elektroniset liitäntälaitteet vikaantuvat helpommin kuin mekaaniset. Pitkäikäiset lamput vähentävät lampunvaihtokertojen määrää. Valaisimen tulee olla helppo asentaa ja huoltaa.

## 6.1 Valaisimen valinta

Elohopealamppuja, joiden tuonti EU-alueella loppuu vuonna 2015, on rautateiden matkustaja-alueilla käytössä yleisesti. Toimiva led-ulkovalaisin saattaa olla totta lähimmän kymmenen vuoden kuluessa, mutta vielä nykyään led ei sovellu ulkovalaistukseen. Uusia teknisiä ratkaisuja odotellessa kannattaa välttää suuria ratkaisuja ja tehdä vain välttämättömin. Elektronisilla liitäntälaitteilla on huono maine lyhyen eliniän takia. Nyt valmistajat uskaltavat myöntää jopa viiden – kahdeksan vuoden takuu elektronisille liitäntälaitteille. Markkinoille on tullut myös ulkokäyttöön soveltuva pakkasenkestävä liitäntälaitte (Philips CosmoPolis). Samoin induktiolamppuihin on pakkasen kestäviä liitäntälaitteita saatavilla.

Vanhoihin elohopealamppuvalaisimiin on myynnissä muunnossarjaa, jolla vanhaan elohopealamppuvalaisimeen voidaan laittaa suurpainenatriumlamppu. Muunnossarja sisältää lampun ja tarvittavat liitäntälaitteet, jotta suurpainenatriumlamppu toimii vanhassa valaisimessa. Valaisimen rakenteesta riippuu saadaanko kaikki tarvittavat lisälaitteet mahtumaan. Saatavana on 70 ja 80 W:n tehoisia suurpainenatriumlamppuja.

Jollei asemalle tehdä kokonaan uutta valaistusratkaisua, kannattaa suurpainenatriumlamput jättää toimenpiteiden ulkopuolelle ainakin toistaiseksi ja korvata ne aikoinaan induktiolampulla sellaisissa valaisinpylväissä, joiden korkeus jää alle 12 m. Loistelamput mahdollistavat miellyttävän epäsuoran valaistusratkaisun, mutta epäsuoralla valaistuksella ei voi toteuttaa kokonaan valaistusta sen huonon hyötysuhteen vuoksi. Muutoin elohopealamppujen tilalla voisi käyttää monimetallilamppua, jonka värinointokyky on erinomainen ja täten lisää viihtyvyyttä alueella ja parantaa kontrastia.

## 6.2 Muutosehdotukset Koivukylän asemalla

Koivukylän aseman laiturikatoksen valaistus on toteutettu pääosin elohopealampuilla. Sen lisäksi valaisinpylväissä on 100 W:n suurpainenatriumlamppu, hissikulussa 36 W:n loisteputket ja katoksessa sekä liukuportaissa 125 W:n elohopealamput.



Korvattavat elohopealamput valaisevat laiturikatosta ja sijaitsevat kaksi lamppua neljän metrin välein ja seuraavan kahden ryhmän ensimmäinen kahdeksan metrin päässä. Valaisimet ovat downlight-tyyppisiä, ja ne joudutaan uusimaan sopimattoman kannan vuoksi, päädyttiinpä mihin tahansa lamppuvaihtoehtoon. Keraamisia monimetallilamppuja on saatavilla erikoisilla E-kannoilla, tällöinkin valaisimet todennäköisesti joudutaan uusimaan, mikäli liitäntälaitteita ei saada mahtumaan valaisimeen.

Monimetallilampuilla on hyvä värintoistokyky, mikä on etenkin portaissa tärkeä asia turvallisen liikkumisen kannalta. Koivukylän nykytilannetta kartoitettaessa huomattiin liukuportaat hämäräksi. Monimetallilamput sopisivat myöskin hyvin nykyiseen arkkitehtuuriin eikä aseman ilme juurikaan muuttuisi kuin, jos päädyttäisiin vaikka loistelamppuratkaisuun. Nykyvalaisimia on tiuhassa luultavasti tasaisen valon aikaansaamiseksi. Uusia valaisimia voisi sijoitella harvempaan ja vähemmän ja silti saavuttaa sama valaistustaso tai valita pienempitehoinen valaisin. Valaisinten johdotus on vedetty tasaisesti vuorotellen vaiheisiin L1, L2 ja L3 symmetrisen kuorman varmistamiseksi. Pienempitehoiset lamput olisivat hyvä valinta, koska silloin ei johdotusta tarvitsisi muuttaa ja yhden lampun palaminen ei tällöin vaikuttaisi niin paljon valaistuksen tasaisuuteen.

Koivukylän valaisinpylväiden suurpainenatriumlamput kuluttavat vuodessa sähköenergiaa noin 12 lamppua x 100 W x 4000 h = 4800 kWh ja 66 elohopealamppua 66 lamppua x 125 W (135W) x 4000 h = 33 000 kWh (35 640 kWh). Suluissa on lampun todellinen verkosta ottama teho. Lamppuja on enemmänkin, mutta niitä ei ole otettu tässä huomioon, koska ne ovat Vantaan kaupungin huollettavia.

Valaistussuunnittelussa käytetään työvälineenä hyötysuhdemenetelmää.

$$\phi = \frac{A \times E_m}{\eta_{\text{hyötysuhde\_valaisin}} \times \eta_{\text{hyötysuhde\_valaistus}}} \quad (4), \text{ missä}$$

- $\phi$  = valovirta
- A = pinta-ala, m<sup>2</sup>
- E<sub>m</sub> = vaatimusten mukainen keskimääräinen valaistusvoimakkuus, lx

- $\eta_{\text{hyötysuhde valaisin}} = \text{valaisimen alapuolinen, DLOR, hyötysuhde}$
- $\eta_{\text{hyötysuhde valaistus}} = \text{valaistuksen laskennallinen alenemakerroin}$

Valittiin tarkasteltavaksi kohteeksi Koivukylän yksi laiturikatokas, jonka pinta-ala on  $80 \text{ m} \times 8 \text{ m} = 640 \text{ m}^2$ . Valaitusvoimakkuudeksi halutaan  $50 \text{ lx}$ . Katoksessa on 28 kpl elohopealamppuja. Yhden lampun valovirta  $6800 \text{ lm}$  eli kokonaisvalovirta on  $190\,000 \text{ lm}$ , josta osa ohjautuu valaistavan alueen ulkopuolelle.  $125 \text{ W}$ :n elohopealamppu vie verkosta sähkötehoa noin  $135 \text{ W}$  eli yhteensä  $3,78 \text{ kW}$ . Hyötysuhdemenetelmällä voidaan laskea, montako lumenta valoa laiturikatoksen alueelle tarvitaan riittävään valaistukseen.

$$\phi = \frac{640 \text{ m}^2 \times 50 \text{ lx}}{0,8 \times 0,74} = 55000 \text{ lm} \quad (5)$$

Laiturikatoksessa on 28 elohopealamppuvalaisinta. Yhden elohopealamppun valovirta on  $6800 \text{ lm}$ . Alueen kokonaisvalovirta on  $6800 \text{ lm} \times 28 \text{ kpl}$  eli  $190\,000 \text{ lm}$ . Laskennallisesti alueella on noin kolminkertainen ylivalaistus. Taulukossa 3 on vertailtu keskenään elohopealamppua, CosmoPolis ja loistelamppua.

**Taulukko 3. Lamppujen tehovertailu**

	HQL	CPO	TLD
valovirta/lamppu (lm)	6800	6800	5200
kokonaisteho, P (W)	3780	792	744
lampun nimellisteho (W)	125	60	58
valaisinten lkm (kpl)	28	12	12
kokonaisvalovirta (lm)	190 000	70 000	60 000

missä HQL on elohopealamppu, CPO on CosmoPolis ja TLD on loistelamppu. Kokonaistehossa on käytetty lampun todellista verkosta ottamaa tehoa. Valaistuksen laskennalliset alenemakertoimet on otettu RHK:n valaistusvaatimuksista /6/. Valaisimen hyötysuhde mainitaan valmistajan luettelossa LOR-arvona (Light Output Ratio). DLOR arvoa käytetään, kun kyseessä valaisin, josta ei pääse valoa ylöspäin.

CosmoPolikselle ja loistelampulle lasketut kokonaisvalovirrat ovat suurempia kuin laskennallinen keskimääräinen valaistusvoimakkuus. Käytännössä on kuitenkin otettava huomioon, että valoa suuntautuu myös suunnitellun alueen ulkopuolelle, jolloin laskettua  $\Phi$  arvoa pitää hieman suurentaa.

Tarvittava valaisinten lukumäärä saadaan jakamalla hyötysuhdemenetelmällä laskettu valaistusvoimakkuus lampun valovirralla. Esimerkiksi tarvittavien CosmoPolis lamppujen määräksi saadaan 8, mutta käytännössä lamppuja ei asetella näin harvaan.

Loisteputki- ja CosmoPolis –valaisimilla pystytään alentamaan sähköenergian kulutus puoleen, mikä merkitsee Koivukylässä vuodessa noin 17 800 kWh:n, noin 54 %, energiansäästöä laiturikatosten ja portaiden valaistuksessa elohopealamppujen vaihdolla. Liitteessä 2 /2/ on tievalaistuksesta esimerkkilaskelma säästöistä, kun elohopealamput vaihdetaan Philipsin CosmoPolis-lamppuihin.

### **6.3 Muutosehdotukset Jokelan asemalla**

Jokelan aseman valaistus on toteutettu elohopealampuilla kuten Koivukyläkin. Jokelassa valaisinpylväissäkin on 250 W:n elohopealamput. Pylväisiin on hyvä vaihtaa uudet valaisimet ja niihin suurpainenatriumlampun tai induktiolamppu. Ratahallintokeskuksen valaistusvaatimuksissa on mainittu myös vaadittu värintoistoindeksi, Ra. Jokelan asema on pieni asema, joissa Ra:n arvoksi riittää 20 eli huonon värintoistoindeksin omaavia suurpainenatriumlamppuja voi käyttää tällä asemalla. Alikulikutunneliin loisteputkivalaisimet tai monimetallivalaisimet ovat hyvät vaihtoehdot, sillä valaisimet pitää vaihtaa kokonaan.

### **6.4 Muutosehdotukset Hyvinkään asemalla**

Hyvinkään asemalaiturilla valaisinpylväissä on 250 W:n suurpainenatriumlampun. Mikäli suurpainenatriumlampun todetaan hyväksyttäväksi valonlähteeksi Hyvinkäällä, ei uutta valaisinsuunnitelmaa laitureille tarvitse tehdä. Laiturille johtavan tunnelin luiskassa on elohopealamput ja huomattavaa ylivaloisuutta. Lamppujen tehokkuudet on syytä arvioida uudelleen matalamiksi. Luiskan ja tunnelin on elohopealampuille samat toimenpiteet kuin Jokelan tunnelivalaistukselle eli monimetalli- tai loistelampun.

### **6.5 Ohjausjärjestelmä**

Valaistuksen ohjaus valoisuusmittarilla, lux-antureilla, sytyttää valot päälle vain tarvittaessa riittävän hämärän tultua. Rautatieasemien laiturivalaistus on

nykyisin toteutettu hämäräkytkimillä laiturialueiden osalta ja aikakytkimillä tunneleissa, jollei tunneli ole niin pitkä, että valot palavat jatkuvasti.

Aurinkoisena keskipäivänä valoisuus on noin 10 000 lx ja pilvisellä säällä 100 - 1000 lx. Yksi luks vastaa 0,00146 W:n säteilytehoa neliometriä kohden. Hämärän ajaksi sanotaan aikaa, jolloin aurinko on jo horisontin alapuolella, mutta vähemmän kuin 6 astetta. Täysikuu valaisee pilvettömällä säällä 0,1 lx. /22/. Yleisesti ulkovalaistus sytytetään, kun valoisuus on 20 lx. Tielaitoksen kokemusperäisen tiedon perusteella tiedetään, että Etelä-Suomessa lux-antureilla ohjatut ulkovalot palavat noin 3900 tuntia vuodessa. Laskelmissa on käytetty lukua 4000 h/a.

Yksinkertaisimmillaan valaistusta ohjataan lux-anturilla. Hämäryys saattaa vaihdella pilvisyydestä johtuen. Aikahidastusreleellä (esim. 10 min) estetään valojen syttymis – sammumis-efekti lux-anturin havahtumisalueella. Syttyminen kuluttaa lamppua enemmän kuin palaminen ja turhien sytytyskertojen vähentäminen pidentää lampun elinikää.

Logiikkaohjattujen valaistusjärjestelmien toimintamahdollisuudet ovat laajat. Järjestelmällä voidaan määrittää alueellisesti ja ryhmäkohtaisesti valaisinten syttymiseen ja sammumiseen tarvittava valaistusarvo. Ohjausyksikkö vertaa valaisimiin lähtevän virran määrää edellisen palamisjakson vastaavaan ja havaitsee viallisen valaisimen vertailuvirtojen erosuureesta ja lähettää niin haluttaessa vikailmoituksen joko keskusyksikköön tai esimerkiksi asentajan puhelimeen. Ohjausyksikön aikaohjelmilla voidaan varmistaa se, etteivät valot syty esimerkiksi päivällä. Valvonnasta saadaan valoryhmäreleeltä indikointitieto, jolla voidaan valvoa, että kontaktorit vetävät, kun ohjausjärjestelmä kytkee valot päälle.

Ohjausjärjestelmien trendiohjelmistoa hyväksi käyttäen voi valvontajärjestelmä ilmoittaa, koska huoltoväli on tullut täyteen ja lamppujen ryhmävaihto on ajankohtainen. Nykykäytäntönä on kiertää asemat kerran vuodessa tarkastamassa valaistuksen toiminta ja vaihtaa vain palaneet lamput. Viallisista valaisimista tulee ilmoituksia myös asemien muulta huoltohenkilöstöltä. Varsinaiseen lamppujen vaihtoon lähtee aina kaksi asentajaa ja yleensä myös vuokrattu henkilönostin. Muutaman lampun vaihdosta ja tarkastuskäynneistä luopuminen tehostavat huoltotoimintaa.

Joitain ohjausjärjestelmiä voidaan hallita etäyhteyssovelluksilla esimerkiksi internetin kautta tai GSM-modeemilla. Vikojen luokitus helpottaa hälytysten ohjautumista oikeille henkilöille oikeisiin aikoihin. Esimerkiksi kello 7-15.30 välisenä aikana huoltokutsut sekä hälytykset ohjautuvat suoraan huoltomiehille ja näiden aikojen ulkopuolella keskusvalvomoon, jossa valvomohenkilökunta voi päättää, onko toimiin ryhdyttävä heti vai voidaanko odottaa aamuun.

Ohjausjärjestelmällä pystytään myös säätämään valaisimiin menevää jännitettä, mikäli käytössä on säästömuuntaja. Säästömuuntaja soveltuu ainoastaan suurpainenatriumlampuille. Asemien valaisimia voitaisiin himmentää aamuyöstä aikana, jolloin junia ei kulje. Valotehon pudottaminen vastaavasti puoleen ei alenna energiankulutusta puolella, vaan arviolta 20 - 30 %. Luxanturi voi säätää säästömuuntajaa tarpeen mukaan, jolloin valaistustaso on aina sopiva. Elektronisen liitännälaitteen kanssa sen käyttö on turhaa, koska liitännälaitte säätää itse lampulle sopivan jännitteen. Monimetallilamppua ei voi säätää, koska sen väri muuttuu ja värintoisto huononee.

Ohjausjärjestelmä on suuri investointi ja sen tähden on kannattavaa liittää järjestelmään muitakin talotekniikkaan kuuluvia toimintoja esimerkiksi lämmityksen ja ilmastoinnin ohjaus. Paloilmoitinjärjestelmä on edelleen hyvä pitää erillisenä järjestelmänä.

## **7 PÄÄTELMÄT JA YHTEENVETO**

Euroopan Unionin energiatehokkuusvaatimukset poistavat osan lampuista markkinoilta lähivuosina. Markkinoilta poistuvien lamppujen joukossa on myös rautateiden matkustaja-alueilla yleisesti käytössä olevia malleja.

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin pohtimaan vuonna 2015 myyntikieltoon menevän elohopealampun korvaajaa. Kyseinen lamppumalli on erittäin yleisessä käytössä laiturialueiden valaistuksessa. Tässä työssä mallina olleen Vantaan Koivukylän aseman valaistus on toteutettu miltei yksinomaan ko. lampulla.

Tällä hetkellä markkinoilla on elohopeahöyrylampun korvaajaksi rautateiden laiturialueilla sopivia tyyppisiä monimetallilamppu, loistelamppu, induktiolamppu ja suurpainenatriumlamppu.

Monimetallilampun hyvä värintoistokyky tekee tästä lampusta hyvän vaihtoehdon elohopealampulle. Uudet CosmoPolis monimetallilamput ovat pitkäikäisiä, niihin käyvät elektroniset säätimet ja ne ovat energiatehokkaita.

Loisteputkivalaisimet ovat pitkäikäisiä. Valittavana on valaisimia monella eri värilämpötilalla. Loisteputkivalaisimilla on helppo toteuttaa epäsuora valaistus, jolloin häikäisyilmiötä ei esiinny, mutta epäsuora valaistus ei ole energiatehokas ratkaisu.

Suurpainenatriumlamppu on energiatehokas. Sen käyttöikä on parempi kuin kvartsilasisella tai keraamisella monimetallilampulla, mutta huonompi kuin uusilla CosmoPolis-monimetallilampuilla. Suurpainenatriumlampun värintoistokyky on huono. Toisin sanoen sen valossa saattaa olla vaikea erottaa eri värejä. Jos valaistusmitoituksessa aletaan käyttää mesooppista mitoitusta, suurpainenatriumlampun valotehokkuusarvo laskee.

Loistelamppu todettiin tehokkaimmaksi tavaksi katoksissa, tunneleissa ja kaetuissa portaissa korvata elohopealamppu. Tämä ratkaisu tosin merkitsee investointikuluja, koska vanhoja elohopealamppujen valaisimia ei voida hyödyntää. Monimetallilampuilla on hyvä värintoistokyky, minkä vuoksi ne ovat hyvä valinta portaisiin tai paikkoihin, joissa pitää erottaa yksityiskohtia turvallisen liikkumisen varmistamiseksi. Hämärässä, kun silmän sauvasolut eivät toimi, ihminen näkee paremmin sellaisen lampun valossa, jonka värilämpötila on 4000 - 5000 K:n välillä.

Sähköenergiaa säästetään valitsemalla energiatehokkaita lampuja. Siirtyminen elektronisiin liitäntälaitteisiin vähentää lampun ottamaa virtaa noin 20 %:a. Valaisimen valinta vaikuttaa lampun hyötysuhteeseen. Peilioptiikalla pystytään ohjaamaan valovirtaa haluttuun suuntaan, jolloin valoa ei tuhlata alueelle, jolla ei kulje ihmisiä.

Lamppujen käyttöikä pidentyessä lampunvaihtoväli pitenee. Ryhmävaihdolla voitaisiin vähentää huoltokertojen määrää. Likaantuminen aiheuttaa kuitenkin huomattavaa valovirran heikkenemistä. Lamppujen puhdistaminen kerran vuodessa olisi suotavaa.

Ohjausjärjestelmän avulla vikailmoitukset pystytään yksilöimään ja reagoimaan nopeasti vain välttämättömiin vikoihin. Ryhmävaihdon sopivan ajan­kohdan määrittäminen onnistuu ohjausjärjestelmän avulla entistä tarkemmin. Valaistuksen ohjausjärjestelmällä pystytään paremmin huolehtimaan valais­tuksen pysymisestä vaadituissa rajoissa, kun lamppujen polttoikää voidaan seurata tarkasti, jolloin tiedetään, milloin lamppujen valontuottokyky on alen­nut niin paljon, etteivät valaistusvaatimukset enää täyty.

Valaisinmarkkinoilla eletään nyt muutospaineessa. Valmistajat kehittävät ko­ko ajan EU:n energiatehokkuusvaatimuksia täyttäviä lamppuja. Elektronisten liit­äntälaitteiden kohdalla on myös tapahtunut myönteistä kehitystä; käyttöikä on noussut ja ulkotilaan sopivia liit­äntälaitteita on jo markkinoilla. Led­tekniikassa saattaa tapahtua paljon. Lähitulevaisuudessa ne saattavat olla varteenotettava vaihtoehto ulkovalaistuksessa. Valaistusratkaisut ovat kallii­ta ja ne suunnitellaan usean vuosikymmenen tarpeiksi. Koska monet asiat saattavat muuttua radikaalisti lähivuosina, suuria investointeja kannattaa välttää ja tehdä vain se mikä on välttämätöntä.

## VIITELUETTELO

- /1/ Wikipedia hakusanat: valovirta, valovoima, värintoistoindeksi, monimetallilamppu, led, katuvalo
- /2/ Energiatehokas valaistus vähentää hiilidioksidipäästöjä ja säästää rahaa – verkkajulkaisu, linkki Suomen Valoteknillisen Seuran sivustolta. Julkaisun toteutuksessa mukana Suomen Sähkötukkuiliikkeiden liitto, Suomen Valoteknillinen seura, STUL ja Teknologiateollisuus
- /3/ Elinkeinoelämän keskusliitto, Materiaalitehokas toiminta s. 5  
www.ek.fi/multimagazine/EK\_2008/materiaalitehokkuus/web/2008/fi/index.php
- /4/ EU direktiivi 2005/32/EC
- /5/ Henri Juslén, Philips Oy Julkisten tilojen vihreät valaistusratkaisut 2009, verkkajulkaisu luettu 10.03.2009, saatavissa:  
[www.greenetfinland.fi/attachment/ee246cbb04c1da363116122aebb56633/..../Julkisten+tilojen+valaistusratkaisut\\_Juslen.pdf](http://www.greenetfinland.fi/attachment/ee246cbb04c1da363116122aebb56633/..../Julkisten+tilojen+valaistusratkaisut_Juslen.pdf)
- /6/ Ratahallintokeskus, Rautatiealueen valaistusvaatimukset, ohje Dnro 4/040/2009 7.1.2009
- /7/ Opinnäytetyö 31.03.2005 Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia Optometrian koulutusohjelma, Laura Kauppila ja Veera Jokinen, Asuinympäristön valaistus ikääntyneiden arvioimana
- /8/ Ilkka Pekanheimo AD-Lux Oy, Oppimista edistävä kouluvalaistus, verkkajulkaisu 04.2009 saatavissa  
www.adlux.fi/public/koulut/oppimistaedistavakouluvalaistus.pdf
- /9/ Diplomityö Mikael Vilpponen, Palvelutalojen valaistus, TKK Sähkö- ja tietoliikenneosasto Espoo 29.11.2006, luettu 04.2009, saatavissa  
http://lib.tkk.fi/Dipl/2006/urn007617.pdf
- /10/ H. Honkanen Kajaanin ammattikorkeakoulu, Valaistustekniikka
- /11/ Luentomoniste Tapio Kallasjoki 01/2007 Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia
- /12/ [http://www.prismaecat.lighting.philips.com/FredhopperPDFWebServiceInter/docts/46afc4bb-4ab6-4d03-8371-70cce0f9497e/MASTER\\_CosmoWhite\\_CPO\\_TW\\_90W\\_728\\_PGZ12\\_1CT.pdf](http://www.prismaecat.lighting.philips.com/FredhopperPDFWebServiceInter/docts/46afc4bb-4ab6-4d03-8371-70cce0f9497e/MASTER_CosmoWhite_CPO_TW_90W_728_PGZ12_1CT.pdf)
- /13/ ABB TTT-käsikirja 2000-7



- /14/ Elektroninen liitäntälaitte - kannattava investointi verkkojulkaisu, saatavissa  
[www.adlux.fi](http://www.adlux.fi) tulostuspvm 10.3.2009
- /15/ Markku Varsila, Luminord seminaari 2007 verkkojulkaisu tulostus päivämäärä 10.3.2009 saatavissa:  
<http://www.nsoy.fi/lumi/Luminord%20seminaari%202007.pdf>
- /16/ Jan Tapper, Valaistuksen energian käyttö ja sen säästöpotentiaali kotitalouksissa ja toimistorakennuksissa, erikoistyö 18.5.2006 Teknillinen korkeakoulu Sähköverkkolaboratorio, verkkojulkaisu saatavissa 04.2009:  
[http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/ClimBus/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta\\_ ja\\_aktivointi/Julkaisut/Projektiaineistot/2005/Raportit/Valaistuksen\\_energian\\_kaeyttoa\\_ ja\\_ sen\\_ saeaestoe potentiaali.pdf](http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/ClimBus/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ ja_aktivointi/Julkaisut/Projektiaineistot/2005/Raportit/Valaistuksen_energian_kaeyttoa_ ja_ sen_ saeaestoe potentiaali.pdf)
- /17/ Näkövammaisten keskusliitto ry:n verkkosivu 04.2009  
saatavissa: <http://www.nkl.fi/tietoa/rakenne.htm>
- /18/ Marjukka Eloholma ja Liisa Halonen, TKK valaistusyksikkö, Mesooppinen mitoitus vaikuttaa ulkovalaistuksen valonlähteiden valotehokkuusarvoihin, Valo-lehti 1-2/2008 s. 32-33
- /19/ Philips, verkkojulkaisu luettu 03.2009 saatavissa:  
[http://www.lightning.philips.com/in\\_en/consumer/carlightning/data/ppthuman\\_vision.pdf](http://www.lightning.philips.com/in_en/consumer/carlightning/data/ppthuman_vision.pdf)
- /20/ Suomen Valoteknillinen Seura ry:n julkaisu, Valaistushankintojen energiatehokkuus, taustaraportti versio 4.0, toukokuu 2008
- /21/ Markku Varsila, Valaistus osana rakennusten energiatehokkuutta, lehtiartikkeli Valo 1-2/2008 s. 24-27
- /22/ Ilmatieteen laitos, verkkosivut, kysymyksiä ja vastauksia 04.2009, saatavissa:  
[http://www.fmi.fi/kysymyksiä/index\\_10.html#4](http://www.fmi.fi/kysymyksiä/index_10.html#4)
- /23/ Arrant-light Oy , <http://www.light.fi/7696/>
- /24/ <http://www.innojok.fi/valaistuss/index2.php?sivu=55>
- /25/ Marjukka Eloholman luento 12/2008, TKK Valaistuslaboratorio



Taulukko 4 T8 ja T5 loistelamppujen minimitehokkuusvaatimukset

T8 (26 mm Ø)		T5 (16 mm Ø) High Efficiency		T5 (16 mm Ø) High Output	
Nominal wattage (W)	Rated luminous efficacy (lm/W), 100 h initial value	Nominal wattage (W)	Rated luminous efficacy (lm/W), 100 h initial value	Nominal wattage (W)	Rated luminous efficacy (lm/W), 100 h initial value
15	63	14	86	24	73
18	75	21	90	39	79
25	76	28	93	49	88
30	80	35	94	54	82
36	93			80	77
38	87				
58	90				
70	89				

Taulukko 5 Suurpainenatriumlamppujen minimitehokkuusvaatimukset

Nominal Lamp wattage [W]	Rated Lamp Efficacy [lm/W] – Clear lamps	Rated Lamp Efficacy [lm/W] – Not clear lamps
$W \leq 45$	$\geq 60$	$\geq 60$
$45 < W \leq 55$	$\geq 80$	$\geq 70$
$55 < W \leq 75$	$\geq 90$	$\geq 80$
$75 < W \leq 105$	$\geq 100$	$\geq 95$
$105 < W \leq 155$	$\geq 110$	$\geq 105$
$155 < W \leq 255$	$\geq 125$	$\geq 115$
$255 < W \leq 605$	$\geq 135$	$\geq 130$

**Taulukko 6 Monimetallilamppujen minimitehokkuusvaatimukset**

Nominal Lamp Wattage [W]	Rated Lamp Efficacy [lm/W] – Clear lamps	Rated Lamp Efficacy [lm/W] – Not clear lamps
$W \leq 55$	$\geq 60$	$\geq 60$
$55 < W \leq 75$	$\geq 75$	$\geq 70$
$75 < W \leq 105$	$\geq 80$	$\geq 75$
$105 < W \leq 155$	$\geq 80$	$\geq 75$
$155 < W \leq 255$	$\geq 80$	$\geq 75$
$255 < W \leq 405$	$\geq 85$	$\geq 75$

**Taulukko 7 Monimetallilamppujen minimitehokkuusvaatimukset kolmannessa portaassa**

Nominal Lamp wattage (W)	Rated Lamp Efficacy (lm/W) – Clear lamps	Rated Lamp Efficacy (lm/W) – Not clear lamps
$W \leq 55$	$\geq 70$	$\geq 65$
$55 < W \leq 75$	$\geq 80$	$\geq 75$
$75 < W \leq 105$	$\geq 85$	$\geq 80$
$105 < W \leq 155$	$\geq 85$	$\geq 80$
$155 < W \leq 255$	$\geq 85$	$\geq 80$
$255 < W \leq 405$	$\geq 90$	$\geq 85$

**Taulukko 8 Suurpainenatriumlamppujen käyttöikä, valovoimakkuuden pysyvyys ja kuolleisuus% vaatimukset portaassa 2**

Burning hours	Lamp lumen maintenance factor	Lamp survival factor
12000 h (P $\leq$ 75 W)	> 0.80	> 0.90
16000 h (P > 75 W)	> 0.85	> 0.90

**Taulukko 9 Monimetallilamppujen käyttöikä, valovoimakkuuden pysyvyys ja kuolleisuus% vaatimukset portaassa 3**

Burning Hours	Lamp lumen maintenance factor	Lamp survival factor
12000	> 0.80	> 0.80

## Tievalaistus Parempi valaistuksen laatu

### Vanha verrattuna uuteen esim. 2

Vanha 125W katulusikka-asennus  
1 km huoltolineen

Uusi 60 W Cosmopolis -ratkaisu

Investointi	2 475 Euro	6 765 Euro	-4 290 Euro
Energia	25 387 Euro	10 834 Euro	14 553 Euro
Ylläpito	10 300 Euro	12 220 Euro	-1 920 Euro
Kok kustannus	38 162 Euro	29 819 Euro	8 343 Euro

Takaisinmaksuaika	-----	6a 10kk	
Energia	362 670 kWh	154 770 kWh	207 900 kWh
CO <sub>2</sub> päästöt	152 tons	65 tons	87 tons

