

Simo Markkanen

Elohopealamppujen korvaaminen – korvaavat lamput

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

12.1.2017

Tekijä(t) Otsikko	Simo Markkanen Elohopealamppujen korvaaminen – korvaavat lamput
Sivumäärä Aika	52 sivua 12.1.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	Sähkötekniikan lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Insinööryön tarkoituksena on tarkastella erilaisia markkinoille tulleita elohopealamppuja korvaavia tuotteita, niiden ominaisuuksia sekä sitä, missä ja milloin niitä kannattaisi käyttää.</p> <p>Työssä tarkasteltiin aluksi korvaavien tuotteiden ominaisuuksia sekä sitä, kuinka hyvin ne täyttävät ekosuunnitteludirektiivin pohjalta laaditut vaatimukset niiden ominaisuuksille. Lisäksi arvioitiin tuotteiden vaikutusta valaistuksen laatuun. Seuraavaksi tehtiin kustannuslaskelmat, joissa selvitettiin, miten elohopealamppujen vaihtaminen muutamaan korvaavaan tuotteeseen vaikuttaa hoito- ja elinkaarikustannuksiin. Lopuksi tehtiin mittauksia muutamalle lampulle. Tavoitteena oli selvittää, missä ja milloin eri korvaavia tuotteita kannattaisi käyttää</p> <p>Insinööryön tuloksista ilmeni, että parhaiten vaatimukset täyttävä korvaava lampputyyppi oli Sylvanian Relumina sen monimetallilampuille korkean värintoistoindeksin vuoksi. Valaistuksen osalta laadultaan paras oli monimetallilampuista Relumina ja Led -maissintähkälampuista Bolero. Näistä kahdesta edellä mainitusta lampputyypistä Bolero oli parempi värintoistoindeksiltään ja valotehokkuudeltaan. Kustannuslaskelmien osalta tuloksista ilmeni, että pidemmällä aikavälillä kannattaa vaihtaa Ledilamppuihin</p> <p>Johtopäätös tuloksista on se, että tulevaisuudessa käytetyimmät elohopealamppuja korvaavat tuotteet ovat Led -maissintähkälamppuja.</p>	
Avainsanat	elohopealamppun korvaava tuote, monimetallilamppu, suurpainenatriumlamppu, LED-lamppu, maissintähkälamppu

Author(s) Title Number of Pages Date	Simo Markkanen Replacement of Mercury Lamps – replacement lamps 52 pages 12 January 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Tapio Kallasjoki, senior lecturer
<p>The aim of this study was to look at a variety of substitute products for mercury vapor lamps, their features and where and when it is worth while to use them.</p> <p>The study examined at first properties of substitute products, as well as how well they meet the requirements for their properties that are drawn up on the basis of eco-design directive, and assessed the effect of products on lighting quality. The next step was the cost calculations, which examined how changing the mercury bulbs to a several different substitute products affected management and life cycle costs. Finally, measurements were performed with a small number of lamps. The aim was to find out where and when the different substitute products should be used</p> <p>The results of this thesis show that the type of lamp that best meets the requirements was Relumina because of its high color rendering index for metal halide lamp. For lighting, the best quality lamp type of metal halide lamps was Relumina and for Led cornbulb lamps, it was Bolero. Of these two aforementioned lamp types, Bolero was better. Cost estimates in respect of the results indicate that changing to Led lamps is worth while in the longer term.</p> <p>Conclusion from the results is that in the future, the most used mercury lamp replacement products are LED cornbulb lamps.</p>	
Keywords	mercury lamp replacement, metal halide lamp, high pressure sodium lamp, LED lamp, cornbulb lamp

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto.....	1
2	Elohopealamput.....	1
3	Ekosuunnitteludirektiivi ja sen vaatimukset kaasupurkaus- ja ledi- lampuille.....	4
3.1	Ekosuunnitteludirektiivistä	4
3.2	Ekosuunnitteludirektiivin täytäntöönpanodirektiivien vaatimukset elohopealamppujen korvaaville tuotteille	5
4	Korvaavat tuotteet.....	9
4.1	Suurpainenatriumlamppu.....	9
4.2	Monimetallilamput.....	12
4.3	Ledilamput.....	18
4.4	Johtopäätökset.....	23
5	Korvaavien lamppujen vaikutus valaistuksen laatuun	24
5.1	Nykyinen elohopealampuilla toteutettu valaistus johon verrataan korvaavia lamppuja	24
5.2	Korvaava suurpainenatriumlamppu	25
5.3	Monimetallilamppujen vaikutus	26
5.4	Led	29
6	Kustannuslaskelmia.....	31
6.1	Korvaavien tuotteiden tietoja	32
6.2	Kustannuslaskelmissa käytettiin seuraavia kaavoja.	34
7	Mittaukset	38
7.1	Mittaustulokset.....	40
7.1.1	Mittaukset integroivan pallon avulla	40
7.1.2	Hallissa tehdyt mittaukset	43
7.2	Laskelmat mittauksista	45
8	Yhteenveto	49
	Lähteet	50

Lyhenteet

CRI	Color rendering index; värintoistoindeksi Ra indeksi, lyhenteenä on usein pelkkä Ra.
HID-lamppu	purkauslamppu / kaasupurkauslamppu. Kaasupurkauslamput on sähkölamppujen ryhmä jonka valon tuottaminen perustuu sähköpurkauksen lähettämiseen ionisoidun kaasun läpi.
HID	High intensity discharge kaasupurkausvalonlähteistä käytetty tekninen ilmaus. Polttimossa olevien elektrodien väliin sytytetään valokaari 25 000–30 000 voltin jännitteellä, jolloin kaasu kuumenee valoa tuottavaksi plasmaksi. Sytyttämisen jälkeen valokaaren ylläpitoon riittää pienempi jännite.
Hz	Herz; Hertsi taajuuden yksikkö.
I	Candela valovoiman yksikkö.
LLMF	Lamp lumen maintenance factor; lampun valovirran alenemakerroin.
LSF	Lamp survival factor; lampun selviytymiskerroin/ eloonjäämiskerroin.
lm	lumen; luumen, valovirran yksikkö.
P	Power; Teho, tehdyn työn tai käytetyn energian määrä aikayksikössä.
PF	power factor; tehokerroin, vaihtovirtakuormissa pätötehon suhde näennäistehoon.
W	Watt; Watti ,sähkötehon yksikkö.
V	Volt; Voltti; jännitteen yksikkö.

1 Johdanto

Tämän työn aiheena on elohopealamppuja korvaavat tuotteet.

Kun elohopealamppujen markkinoillesaattamiskielto tuli voimaan vuonna 2015, näytti siltä, että niille ei olisi tulossa korvaavia lamppuja. Sen jälkeen markkinoille on kuitenkin tullut useita erilaisia korvaavia tuotteita. Tämän työn tarkoituksena on tarkastella näiden tuotteiden ominaisuuksia sekä sitä, missä ja milloin niitä kannattaa käyttää.

2 Elohopealamput



Kuva 1. Elohopealamppu 125 W.

Kuvassa 1 on 125 watin suurpaine elohopealamppu jota käytettiin mittauksissa.

Elohopealamppu on kaasupurkauslamppu, joka tuottaa valoa sähköpurkauksista elohopeahöyryn ja loisteaineen avulla. Se edustaa käytöstä poistuvaa 1930-luvulla kehitettyä tekniikkaa. Elohopealamppun valotehokkuus on moninkertainen hehkulamppuun verrattuna, mutta se soveltuu huonosti lyhytjaksoiseen käyttöön, kuten asuintilojen valaistukseen pääasiallisesti kahdesta eri syystä: Ensimmäinen syy on pitkä uudelleensytytysaika, koska elohopealamput eivät syty kuumina uudestaan ja tarvitsevat parin minuutin jäähtymisajan ennen uudelleenkytkeytymistä. Toinen syy on niiden pitkä

neljästä seitsemään minuutin lämpenemisaika ennen täyden valotehon saavuttamista sytyttämisen jälkeen.

Elohopealamppujen valotehokkuus on yleensä 40–60 luumenia per watti. Valaisimissa valotehokkuus tippuu heijastimien aiheuttamien ja muiden häviöiden vuoksi 32–56 luumeniin per watti. Elohopealamppujen elinikä on keskimäärin 12 000–16 000 tuntia, mikä merkitsee ulkovalaistuskäytössä kolmesta neljään vuoden käyttöaikaa.

Elohopealamppujen valo on melko valkoista ja niiden värintoistoindeksi eli Ra on yleensä 40–60 välillä. Niiden yleisimmät tehot ovat 50, 80, 125, 250 ja 400 wattia. Elohopealampuilla on himmeä, ellipsin muotoinen kupu. mikäli kupu on rikkoutunut, niin lamppu on poistettava välittömästi käytöstä UV-säteilyn vuoksi.

Elohopealamput olivat aikaisemmin tievalaistuksessa vallitseva lampputyyppi. Esimerkiksi vuonna 2010 arvioitiin, että koko Suomessa kunnilla kaupungeilla ja liikennevirastolla oli 1,3 miljoonaa ulkovalaisinta, joista 50 % oli elohopeavalaisimia. Tiehallinnon mukaan Suomen maantievalaistuksesta oli vuonna 2010 elohopeavalaisimia 41 000 kappaletta kaikkiaan 230 000 valaisimesta eli noin kuudennes valaisimista. Elohopeavalaisinten määrä oli maantievalaistuksessa näin pieni, koska pääteillä on ollut käytössä natriumvalaisimet jo 1980-luvulta alkaen. (28.)

Elohopealamppujen markkinoille saattaminen kiellettiin EU-asetuksen vuoksi vuonna 2015 (Ekosuunnitteludirektiivi). Aluksi esitettiin, että elohopealamput olisivat poistuneet jo vuonna 2012, mutta Suomen, Tanskan ja Belgian vastustuksen vuoksi saatiin kolme vuotta lisää aikaa. (28.)

Markkinoilla on vielä ultraviolettelohopeahöyrylamppuja erikoistarkoituksiin, kuten desinfiointiin ja erilaisten aineiden fluoresenssiin.

Elohopealamppujen kiellon syynä oli se, että ne eivät täyttäneet Ekosuunnittelu-direktiivin pohjalta annetun täytäntöönpanoasetuksen vaatimuksia.

Seuraavaksi esitellään Ekosuunnittelu-direktiivin täytäntöönpanoasetuksessa 245/2009 annetut valotehokkuusvaatimukset elohopealampuille, jonka jälkeen tarkastellaan erään elohopealamppumallin tietoja sekä sitä, kuinka paljon niiden valotehokkuudet jäivät vajaaksi vaatimuksista.

Taulukossa 1 näkyy vuonna 2015 voimaan tulleet minimivalotehokkuus vaatimukset eritehoisille elohopeahöyrylampuille ja eräille toisille Hid-lampuille esimerkiksi monimetallilampuille joiden värintoistoindeksi on yli 80. Ensimmäisessä sarakkeessa näkyvät lamppujen nimellistehoalueet ja toisessa sarakkeessa minimivalotehokkuus vaatimukset näille nimellistehoalueille. (1, s. 36; 3, s.12;7, s.17–18.)

Taulukko 1. 2015 voimaan tulleet valotehokkuusvaatimukset muille Hid -lampuille. (esimerkiksi elohopeahöyrylamput ja monimetallilamput joiden Ra on yli 80) (1, s. 36; 3, s.12;7, s.17–18.)

Nimellisteho W	Lampun valotehokkuus lm/W
$W \leq 40$	≥ 50
$40 < W \leq 50$	≥ 55
$50 < W \leq 70$	≥ 65
$70 < W \leq 125$	≥ 70
$125 < W$	≥ 75

Taulukossa 2 on tietoja Iwasaki electricin valmistaman elohopealampuksi tehokkaan Mercury E, BT bulb-elohopealamppumallin ominaisuuksista. (4, s. 49.). Tiedot ovat: lamppujen tyypit, tehot watteina, valotehokkuudet luumeneina per watti, lamppujen valovirta käyttöajan alussa, värintoistoindeksit ja lopuksi se, kuinka paljon näiden lamppujen valotehokkuus jää vajaaksi vaaditusta valotehokkuudesta. Taulukosta voidaan nähdä se, että elohopealamput jäävät melko kauas niiltä vaaditusta valotehokkuudesta.

Taulukko 2. Iwasakin loisteaineellisten elohopealamppujen tehot ilman kuristimen häviöitä. (4, s. 49.)

Lamppu	Teho W	valotehokkuus lm/W	Valovirta lm	CRI / Ra	kuinka paljon valotehokkuus jää vajaaksi vaaditusta lm/W
HF40PD	40	37,5	1500	40	12,5
HF50PD / HF50PD/H	50	38	1900	40	17
HF80PD / HF80PD/H	80	45	3600	40	25
HF100PD	100	45	4500	40	25
HF125PD / HF125PD/H	125	50	6250	40	20
HF175PD	175	50,85	8900	40	19,15
HF250PD	250	54,8	13700	40	20,2
HF300PD	300	56,66	17000	40	18,33
HF400PD	400	60	24000	40	15
HF700PD	700	62,85	44000	40	12,15
HF1000PD / HF1000BPD	1000	64	64000	40	11
HF2000BPD	2000	62,5	125000	40	12,5

3 Ekosuunnitteludirektiivi ja sen vaatimukset kaasupurkaus- ja ledi-lampuille

Seuraavana on tietoja Ekosuunnitteludirektiivistä 2009/125/EY ja sen pohjalta laadittujen täytäntöönpanoasetusten vaatimuksista tässä työssä käsitellyille lampuille. (26; 25.)

3.1 Ekosuunnitteludirektiivistä

Euroopan unionin Ekosuunnitteludirektiivi muodostaa puitteet ekologisen suunnittelun vaatimusten asettamiselle energiaan liittyville tuotteille, jotka tuodaan Euroopan markkinoille. Se korvasi 20.11.2009 energiaa käyttävien tuotteiden EuP-direktiivin (2005/32/EY).

Ekosuunnitteludirektiivi määrittelee energiaa käyttävien tuotteiden suunnittelun ja tuotekehityksen ekologiset vaatimukset. Tavoitteena on ympäristönäkökohtien ja elinkaariajattelun integrointi tuotteiden suunnitteluvaiheessa. Direktiivillä edistetään kestävästä kehityksestä parantamalla energiatehokkuutta ja ympäristön suojelun tasoa sekä samalla energiahuoltovarmuutta. (25.)

Ekosuunnitteludirektiivi on puitedirektiivi, jonka nojalla annetaan tuoteryhmäkohtaisia täytäntöönpanotoimenpiteitä, joissa määritellään kyseessä olevien tuoteryhmien tuotesuunnittelun ympäristövaatimukset. (25; 26.)

3.2 Ekosuunnitteludirektiivin täytäntöönpanodirektiivien vaatimukset elohopealamppujen korvaaville tuotteille

Taulukossa 3 on minimivalotehokkuusvaatimukset eritehoisille suurpainenatriumlampuille, jotka on annettu Ekosuunnitteludirektiivin täytäntöönpanoasetuksessa 245/2009. (1, s. 35; 3, s. 11; 7, s.17.) Taulukon ensimmäisessä sarakkeessa näkyvät nimellistehoalueet ja seuraavissa sarakkeissa valotehokkuusvaatimukset näille tehoalueille. Toisessa sarakkeessa näkyy tehokkuusvaatimus kirkaskupuisille lamput ja kolmannessa sarakkeessa sama himmeäkupuisille lamput.

Taulukko 3. 2012 voimaan tulleet valotehokkuusvaatimukset suurpainenatriumlampuille joiden $R_a < 60$, tuli korvaaville suurpainenatriumlampuille voimaan vasta 2015. (1, s. 35; 3, s. 11; 7, s.17.)

Nimellisteho W	Valotehokkuus (lm/W) kirkkaat lamput	Valotehokkuus (lm/W) ei kirkkaat lamput
$W \leq 45$	≥ 60	≥ 60
$45 < W \leq 55$	≥ 80	≥ 70
$55 < W \leq 75$	≥ 90	≥ 80
$75 < W \leq 105$	≥ 100	≥ 95
$105 < W \leq 155$	≥ 110	≥ 105
$155 < W \leq 255$	≥ 125	≥ 115
$255 < W \leq 605$	≥ 135	≥ 130

Taulukossa 4 on minimivaatimukset suurpainenatriumlamppujen valovirran alenemakertoimelle ja selviytymiskertoimelle. Ensimmäisessä sarakkeessa näkyy, mille tehoalueelle ja palamistunneilla mitattuna annetut minimivaatimukset ovat, toisessa sarakkeessa näkyy mille värintoistokertoimille tai tyyppille seuraavien sarakkeiden vaatimukset ovat (tyypit ovat alhainen värintoistoindeksi, korkea värintoistoindeksi ja elohopeahöyrylampua korvaamaan tarkoitettut lamput), kolmannessa sarakkeessa näkyvät minimivalovirranalenemakertoimet ja neljännessä minimiselviytymiskertoimet lamput.

Suurpaine-elohopealamppujen tilalla toimimaan suunniteltujen suurpainenatriumlamppujen erilliset vaatimukset lisättiin asetukseen 24.4.2010, koska muuten ne olisivat poistuneet markkinoilta jo 13.4.2010 valovirranalenemakerroin- ja eloonjäämiskerroinvaatimusten vuoksi. Korvaavien suurpainenatriumlamppujen erilliset vaatimukset olivat voimassa 13.4.2015 asti, jonka jälkeen suoraan suurpaine-elohopealampun tilalla toimimaan suunnitellut suurpainenatriumlamput poistuivat markkinoilta.

Taulukko 4. Himmenemiskertoimen ja selviämiskertoimen vaatimukset suurpainenatriumlampuille, korvaavien lamppujen poikkeukset poistuivat 13.4.2015. (1, s. 41; 3, s.14; 7, s. 20.)

Suurpainenatriumlampun kategoria ja palamistunnit mittaukseen		valovirran alenema kerroin	Lampun selviytymiskerroin
P < 75 W LLMF and LSF mitattu 12 000 tunnissa	Ra ≤ 60	>0,80	>0,90
	Ra > 60	> 0,75	>0,75
	Kaikki lamput, jotka on suunniteltu toimimaan suurpaine-elohopealampun tilalla. Voimassa 13.4.2015 asti	> 0,75	> 0,80
P > 75 W ≤ 605 W LLMF and LSF mitattu 16 000 tunnissa	Ra ≤ 60	>0,85	> 0,90
	Ra > 60	> 0,70	>0,65
	Kaikki lamput, jotka on suunniteltu toimimaan suurpaine-elohopealampun tilalla. Voimassa 13.4.2015 asti	>0,75	>0,55

Taulukossa 5 on vuonna 2015 voimaan tulleet minimivalotehokkuus- vaatimukset muille kaasupurkauslamppuille esimerkiksi monimetallilampuille, joiden Ra >80, ja elohopealamppuille. Ensimmäisessä sarakkeessa näkyy lamppujen nimellistehoalueet ja toisessa sarakkeessa minimivalotehokkuus vaatimukset näille nimellistehoalueille. (1, s. 36; 3, s.12;7, s.17–18.)

Taulukko 5. 2015 voimaan tulleet valotehokkuusvaatimukset muille HID lamppuille. Esimerkiksi elohopeahöyrylamput tai monimetallilamput joiden Ra >80. (1, s. 36; 3, s.12;7, s.17–18.)

Nimellisteho W	Lampun valotehokkuus [lm/W]
W ≤ 40	≥ 50
40 <W ≤ 50	≥ 55
50 <W ≤ 70	≥ 65
70 <W ≤ 125	≥ 70
125 <W	≥ 75

Taulukossa 6 on 2012 voimaan tulleet valotehokkuusvaatimukset monimetallilampuille: ensimmäisessä sarakkeessa näkyy nimellistehoalue watteina, toisessa sarakkeessa näkyy valotehokkuusvaatimus luumeneina per watti kirkaskupuisille monimetallilampuille ja kolmannessa sama himmeäkupuisille lampuille. (1, s.35; 3, s.12; 7, s.17.)

Taulukko 6. 2012 tehokkuusvaatimukset monimetallilampuille joiden $R_a \leq 80$ ja suurpainenatriumlampuille joiden $R_a > 60$. (1, s.35; 3, s.12; 7, s.17.)

Nimellisteho W	valotehokkuus (lm/W) kirkkaat lamput	valotehokkuus (lm/W) ei kirkkaat lamput
$W \leq 55$	≥ 60	≥ 60
$55 < W \leq 75$	≥ 75	≥ 70
$75 < W \leq 105$	≥ 80	≥ 75
$105 < W \leq 155$	≥ 80	≥ 75
$155 < W \leq 255$	≥ 80	≥ 75
$255 < W \leq 405$	≥ 85	≥ 75

Taulukossa 7 on vuonna 2017 voimaan tulevat valotehokkuusvaatimukset eri monimetallilampuille. (1, s 39; 3, s. 12; 7, s.18.) Ensimmäisessä sarakkeessa on lamppujen nimellistehoalueet, toisessa sarakkeessa on niitä vastaavat valotehokkuusvaatimukset kirkaskupuisille monimetallilampuille ja kolmannessa himmeäkupuisille monimetallilampuille.

Taulukko 7. 2017 voimaan tulevat valotehokkuusvaatimukset monimetallilampuille. (1, s. 39; 3, s. 12; 7, s.18.)

Nimellisteho W	Valotehokkuus (lm/W) kirkkaat lamput	Valotehokkuus (lm/W) ei kirkkaat lamput
$W \leq 55$	≥ 70	≥ 65
$55 < W \leq 75$	≥ 80	≥ 75
$75 < W \leq 105$	≥ 85	≥ 80
$105 < W \leq 155$	≥ 85	≥ 80
$155 < W \leq 255$	≥ 85	≥ 80
$255 < W \leq 405$	≥ 90	≥ 85

Taulukossa 8 näkyy vuonna 2017 voimaan tulevat vaatimukset monimetallilamppujen valovirran alenemakertoimelle ja eloonjäämiskertoimelle. Ensimmäisessä sarakkeessa, näkyy kuinka monen palamistunnin jälkeen mitattuna näiden arvojen tulee täyttyä, toisessa sarakkeessa valovirran alenemakertoimen minimi ja kolmannessa lampun eloonjäämiskertoimen minimi. (1, s.39; 3, s.14; 7, s.20.)

Taulukko 8. 2017 voimaan tulevat Monimetallilamppujen minimi himmenemiskerroin ja eloonjäämiskerroin vaatimukset. (1, s.39; 3, s.14; 7, s.20.)

palamistunnit	valovirran alenemakerroin	lampun eloonjäämiskerroin
12 000	>0,80	>0,80

Taulukossa 9 on ledilamppujen vaatimukset (1, s.45; 8, s.12–13; 9, s. 12–13). Ensimmäisessä sarakkeessa näkyy lampun toimintaparametrit, toisessa sarakkeessa vaatimukset näille toimintaparametreille. Parametrit riveittäin ovat: selviytymiskerroin 6000 tunnin käytön jälkeen, valovirran alenemakerroin 6000 tunnin käytön jälkeen, värintoistoindeksi ja tehokerroin lamputille, joissa on integroitu liitäntälaite, kytkentäjaksot ennen hajoamista, syttymisaika, lämpiämisaika, ennenaikainen vikaantuminen ja värin tasaisuus.

Taulukko 9. Ledilamppujen vaatimukset. (1, s.45; 8, s.12–13; 9, s. 12–13.)

toimintaparametri	vaatimus vaiheesta 1 ellei toisin mainita
Lampun eloonjäämiskerroin 6000:hssa	alkaan 1 maaliskuuta 2014: $\geq 0,90$
Valovirran alenemakerroin 6 000 h:ssa	alkaan 1 maaliskuuta 2014: $\geq 0,80$
värintoistoindeksi (Ra)	>0,80
	$\geq 0,65$ jos lamppu on tarkoitettu ulkosovelluksiin tai teollisuussovelluksiin.
lampun tehokerroin (PF) lamputille joissa integroitu liitinlaite	$P \leq 2 W$: ei vaatimusta.
	$2 W < P \leq 5 W$: PF > 0,4
	$5 W < P \leq 25 W$: PF > 0,5
	$P > 25 W$: PF > 0,9
Kytkejaksosten lukumäärä ennen vikaantumista	$\geq 15 000$ jos lampun käyttöikä $\geq 30 000$ tuntia muuten \geq puolet lampun käyttöikästä tunteina
Syttymisaika	< 0,5 sekuntia
Lampun lämpenemisaika 95 %:iin Φ :sta	< 2 sekuntia
Ennenaikainen vikaantumisaste	$\leq 5,0$ % 1000 tunnissa
Värin tasaisuus	Värikoordinaattien vaihtelu kuusiportaisessa tai pienemmässä MacAdamin ellipsissä

4 Korvaavat tuotteet

Tässä luvussa käsitellään elohopealamppuja korvaavia tuotteita, jotka on suunniteltu laitettavaksi elohopealampun tilalle.

4.1 Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlamppu on kaasupurkauslamppu, jonka toiminta perustuu siihen, että natriumhöyry tuottaa näkyvää valoa. Nimestään huolimatta suurpainenatriumlampun sisäinen höyrynpaine on murto-osa normaalista ilmanpaineesta. Ne tulivat markkinoille vuonna 1965.

Suurpainenatriumlamppujen valotehokkuus on yleensä 70–150 luumenia per watti ja lamppujen tehot ovat yleensä 50–1000 watin väliltä. Niiden keskimääräinen elinikä on 32 000 tuntia, eivätkä ne merkittävästi himmene käyttökänsä aikana. Suurpainenatriumlamput eivät pysty toistamaan värejä luonnollisina, koska niiden tuottama valo on väriltään lähellä keltaoranssia. Tämä vääristää ympäristön värit usein likaisenruskeaksi. Suurpainenatriumlamppujen värintoistoindeksi on yleensä 18–25.

Nykyään on saatavilla värikorjattuja suurpainenatriumlamppuja, joiden värisävyt on korjattu lisäämällä sinistä väriä. Tosin niiden elinikä ja valotehokkuus kärsii tästä.

Ekosuunnitteludirektiivin toimeenpanoasetusta asetusta korjattiin 24.4.2010 siten, että suoraan korvaavat suurpainennatriumlamput poistuvat markkinoilta vasta 13.4.2015. Korjaus tehtiin sen vuoksi, että ilman sitä korvaavat suurpainenatriumlamput olisivat poistuneet markkinoilta valovirran alenemakertoimen ja selviytymiskertoimien vaatimusten vuoksi jo 2. vaiheessa eli jo 13.4.2010 alkaen, mikä ei ollut asetuksen alkuperäinen tarkoitus. (11, s.2.)

Suoraan elohopealamppuja korvaaville suurpainenatriumlampuille tuli markkinoille saattamiskielto voimaan 13.4.2015 sen vuoksi, että ne eivät täytä valotehokkuus-, valovirran alenemakeroin- eivätkä selviytymiskeroinvaatimuksia.

Seuraavaksi esitellään korvaavien suurpainenatriumlamppujen tietoja.

Taulukossa 10 on Iwasaki electricin valmistaman Eye sunlux ace korvaavan suurpainanatriumlampputyypin teknisiä tietoja. (4, s. 39.) Tiedot sarakkeittain ovat lampun tyyppi, teho watteina, valotehokkuus, lampun keskimääräinen elinikä ja kanta. Valmistajan tai maahantuojan sivuilta tietoja ei löytynyt näiden lamppujen valovirran alenemakertoimista tai selviytymiskertoimista.

Taulukko 10. Eye sunlux ace suurpainanatriumlamput ilman kuristinta. (4, s. 39.)

Lamppu	Teho W	Valotehokkuus lm/W	keskimääräinen elinikä h (nimellinen)	kanta
himmeäkupuiset				
NH50FLX	50	68	16 000	E27
NH75FLX /70S/70F	75	82,66	20 000	E27
NH110FLX	115	95,65	24 000	E27
NH220FLX	235	108,51	24 000	E40
NH360FLX	375	122,67	24 000	E40
NH660FLX	660	136,36	24 000	E40
NH940FLX	940	139,26	24 000	E40
Kirkaskupuiset				
NH75FLX /70S/70F	75	86,66	20 000	E27
NH110FLX	115	100,87	24 000	E27
NH220FLX	235	119,15	24 000	E40
NH360FLX	375	133,33	24 000	E40
NH660FLX	660	143,93	24 000	E40
NH940FLX	940	146,8	24 000	E40

Taulukossa 11 on kaikille EYE Sunlux Ace-lampuille yhteisiä toimintaparametreja. (4, s. 39.)

Taulukko 11. Kaikille Eye sunlux ace -lampuille yhteiset toimintaparametrit. (4, s. 39.)

toimintaparametri	arvo
värinotoistoindeksi (Ra)	25
väriämpötila	2100 K

Taulukossa 12 on Eye sunlux ace -suurpainenatriumlamppujen tehot ja valotehokkuudet elohopealampun kuristimen kanssa. Ensimmäisessä sarakkeessa on lampun tyyppi, toisessa sen teho watteina, kolmannessa valotehokkuus kirkaskupuisille lamputille ja neljännessä valotehokkuus himmeäkupuisille lamputille.

Taulukko 12. Suurpainenatriumlamppu elohopealampun kuristimen kanssa. (4, s. 39.)

lamppu	Teho W	valotehokkuus lm/W kirkaskupuiset lamput	valotehokkuus lm/W himmeäkupuiset lamput
NH50FLX	50		68
NH75FLX /70S /70H	80		77,5
NH110FLX	125		88
NH220FLX	250		102
NH360FLX	400		115
NH660FLX	700		128,57
NH940FLX	1000		131
NH75LX /70S /70H	80	81,25	
NH110LX	125	92,8	
NH220LX	250	112	
NH360LX	400	125	
NH660LX	700	135,71	
NH940LX	1000	138	

Taulukossa 13 tarkastellaan, täyttääkö Iwasakin korvaava suurpainenatriumlamppu Ekosuunnitteludirektiivin valotehokkuusvaatimukset suurpainenatriumlamputille. Vuonna 2012 muille suurpainenatriumlamputille voimaan tulleet valotehokkuusvaatimukset tulivat voimaan vasta 2015 sellaisille korvaaville suurpainenatriumlamputille, jotka on suunniteltu asennettavaksi elohopealampun tilalle. Taulukosta voidaan nähdä, että kaikki näistä korvaavista suurpainenatriumlamputista eivät täyttäneet tehokkuusvaatimuksia, edes kun lasketaan lamputujen nimellisteholla. Maahantuojan datalehdissä olevien tehojen avulla laskettuna alle 605 -wattisista lamputista ainoastaan NH75FLX/70S ja NH75FLX/70H himmeällä kuvulla täyttävät tehokkuusvaatimukset. Koska lamput eivät täyttäneet korvaaville suurpainenatriumlamputille vuonna 2015 voimaan tulleita vaatimuksia, voidaan todeta tämän lamputumallin olevan poistumassa markkinoilta markkinoillesaattamiskiellon vuoksi.

Taulukko 13. Direktiivin vaatimusten täytyminen valotehokkuuden osalta.

lamppu	teho	himmeä	minimi	täyttääkö	kirkas	minimi	täyttääkö
	W	lm/W	lm/W		lm/W	lm/W	
NH50FLX	50	68	70	ei			
NH75FLX	75	82,7	80	kyllä	86,7	90	ei
NH110FLX	110	100	105	ei	105,4	110	ei
NH220FLX	220	115,9	115	kyllä	127,3	125	kyllä
NH360FLX	360	127,8	130	ei	138,9	135	kyllä
NH660FLX	660	136,4			143,9		
NH940FLX	940	139,4			146,8		

4.2 Monimetallilamput

Monimetallilamput ovat elohopeahöyrylampan kaltaisia purkauslamppuja, joiden valontuotto perustuu purkausputkessa käytettyyn useiden eri metallien seokseen (elohopeaa ja eri metallien halideja (metallien ja halogeenien yhdisteitä)). Niitä kutsutaan myös metallihalidilampuiksi tai metallihalogeenilampuiksi, koska oikean metalliseoksen ja määrän saaminen purkausputkeen on melko monimutkaista. Ensimmäiset luotettavat monimetallilamput kehitettiin vasta vuonna 1962.

Monimetallilamput jakautuvat purkausputken materiaalin mukaan kvartsilasisiin ja keraamisiin. Näistä keraamiset lamput edustavat uudempaa tekniikkaa. Ne säilyttävät värisävynsä ja valovirtansa hyvin käytössä ja niiden valotehokkuus ja värintoisto on vastaavia kvartsilasisia malleja parempi.

Monimetallilamppujen tuottama valo on elohopeahöyrylamppuun verrattuna puhtaamman valkeaa ja sen värintoistokyky on parempi. Niiden valotehokkuus on yleensä välillä 75 – 100 luumenia per watti ja elinikä yleensä 6 000 – 15 000 tunnin välillä.

Monimetallilamput eivät yleensä käy asennettavaksi suoraan elohopealampan tilalle, koska ne tarvitsevat suurjännitteisen sytytyslaitteen.

Monimetalli (Relumina)



Kuva 2. Relumina 55 W.

Kuvassa 2 näkyy korvaava monimetallilamppu Relumina 55 W. Lampun kannassa näkyvä musta mötikkä on sen tarvitsema suurjännitteinen sytytyslaite.

Taulukossa 14 on elohopealampun tilalle asennettavaksi suunniteltujen Relumina-keraamisten monimetallilamppujen tietoja seuraavassa järjestyksessä: lampun tyyppi, kanta, nimellisteho watteina, valovirta luumeneina, valotehokkuus luumeneina per watti. (16 ;17 ;18 ;19.)

Taulukko 14. Relumina -lamppujen ominaisuuksia. (16;17;18;19.)

Lamppu	RELUMINA 55W	RELUMINA 85W	RELUMINA 150W
kanta	E27	E27	E 40
nimellisteho W	50	80	150
Valovirta	4 300	7 200	15 000
käyttöjännite V	90	90	100
Valotehokkuus lm/W	86	90	93

Taulukossa 15 on kaikille Relumina -lampuille yhteisiä toimintaparametreja.

Taulukko 15. Kaikille Relumina -lampuille yhteisiä toimintaparametreja. (16;17;18;19.)

Toimintaparametri	Arvo
Ra	84
Väriämpötila	3000

Taulukossa 16 on Relumina -lamppujen tyypit, valotehokkuudet, selviytymiskertoimet 12 000 tunnissa, valovirran alenemakertoimet 12 000 tunnissa ja keskimääräinen elinikä. (16;17;18;19.)

Taulukko 16. Reluminoiden ominaisuuksia jatkoa. (16;17;18;19.)

Lamppu	valotehokkuus lm/W	Selviytymiskerroin 12 000 tunnissa	valovirran alenemakerroin 12 000 tunnissa	Keskimääräinen elinikä (nimellinen)
RELUMINA 55W	86	0,9	0,85	22 000
RELUMINA 85W	90	0,9	0,85	22 000
RELUMINA 150W	93	0,9	0,85	22 000

Taulukossa 17 tarkastellaan, kuinka hyvin Relumina-lamput täyttävät nykyiset valotehokkuusvaatimukset korkean värintoistoindeksin vuoksi käytetään muiden HID-lamppujen vaatimuksia. Taulukosta voidaan nähdä, että kaikki kolme elohopealamppua korvaavaa Relumina -lamppua täyttävät nykyiset vaatimukset.

Taulukko 17. Tarkastellaan valotehokkuusvaatimusten täyttymistä vuonna 2015 voimaan tulleiden vaatimusten osalta.

Lamppu	RELUMINA 55W	RELUMINA 85W	RELUMINA 150W
valotehokkuus lm/W	86	90	93
vaatimus lm/W	≥ 65	≥ 70	≥ 75
kuinka paljon yli vaatimuksen lm/W	21	20	18
täyttyykö vaatimus	kyllä	kyllä	kyllä

Taulukossa 18 on 2017 voimaan tulevat valotehokkuusvaatimukset monimetallilampuille. Ensimmäisessä sarakkeessa näkyvät tehoalueet, joille vaatimukset ovat, toisessa sarakkeessa tehokkuusvaatimukset kirkaskupuisille monimetallilampuille ja kolmannessa himmeäkupuisille monimetallilampuille.

Taulukko 18. Vuonna 2017 Voimaan tulevat valotehokkuusvaatimukset monimetallilampuille. (1, s 39; 3, s. 12.)

Nimellisteho W	kirkaskupuiset lamput	himmeä kupuiset lamput
	valotehokkuus (lm/W)	valotehokkuus (lm/W)
$W \leq 55$	≥ 70	≥ 65
$55 < W \leq 75$	≥ 80	≥ 75
$75 < W \leq 105$	≥ 85	≥ 80
$105 < W \leq 155$	≥ 85	≥ 80
$155 < W \leq 255$	≥ 85	≥ 80
$255 < W \leq 405$	≥ 90	≥ 85

Taulukossa 19 tarkastellaan, kuinka hyvin Relumina -lamput täyttävät vuonna 2017 voimaan tulevat valotehokkuuden, eloonjäämiskertoimen ja valovirran alenemakertoimen minimivaatimukset. Taulukosta voidaan todeta, että kaikki kolme Relumina -monimetallilamppua täyttävät valotehokkuuden, selviytymiskertoimen sekä valovirran alenemakertoimen vaatimukset. Näitä lamppeja voi siis käyttää vuoden 2017 jälkeenkin.

Taulukko 19. 2017 vaatimusten täytyminen valotehokkuuden, selviytymiskertoimen sekä valovirran alenemakertoimen osalta. (1, s. 39; 3, s. 12.)

Lamppu	RELUMINA 55W E27	RELUMINA 85W E27	RELUMINA 150W E40
Valotehokkuus lm/W	86	90	93
vaatimus lm/W	≥ 75	≥ 80	≥ 85
täyttykö	kyllä	kyllä	kyllä
LSF 12 000 tunnissa	0,9	0,9	0,9
vaatimus	$>0,80$	$>0,80$	$>0,80$
täyttykö	kyllä	kyllä	kyllä
LLMF 12 000 tunnissa	0,85	0,85	0,85
vaatimus	$>0,80$	$>0,80$	$>0,80$
täyttykö	kyllä	kyllä	kyllä

Monimetalli (Iwasaki)

Seuraavaksi käydään läpi Iwasaki electricin korvaavia monimetallilamppuja. Aluksi esitellään kvartsilasiset monimetallilamput, joiden jälkeen tarkastellaan uudempaa tekniikkaa edustavat monimetallilamput joissa käytetään keraamista purkausputkea.

Kvartsilasilliset monimetallilamput (EYE Multi Metal)

Taulukossa 20 on himmeäkupuisten korvaavien EYE Multi Metal -monimetallilamppujen tietoja sarakkeittain: lamppujen tyypit, kannat, tehot, valovirrat, valotehokkuudet, värintoistoindeksit ja keskimääräiset eliniät. (4, s. 27.)

Taulukko 20. Himmeät / kuvussa päällyste. (4, s. 27.)

lamppu	kanta	teho	valovirta	tehokkuus	värintoistoindeksi	elinikä
		W	lm	lm/w	Ra	h
MF250/BUH	E40	250	20 000	80	70	15 000
MF250/BD	E40	250	20000	80	70	15 000
MF400/BUH	E40	400	38 000	95	70	15 000
MF400/BD	E40	400	38 000	95	70	15 000
MF700/BUH	E40	700	58000	82,85	70	9000
MF700/BD	E40	700	58000	82,85	70	9000
MF1000A/BUH	E40	1000	87000	87	70	9000
MF1000A/BD	E40	1000	87000	87	70	9000
MF1000B/BUH	E40	1000	112000	112	70	9000
MF1000B/BD	E40	1000	112000	112	70	9000
MF1500B/BUH	E40	1500	140000	93,3	70	3000
MF1500B/BD	E40	1500	140000	93,3	70	3000
MF2000B/BUH	E40	2000	180000	90	70	9000
MF2000B/BD	E40	2000	180000	90	70	9000

Taulukossa 21 on kirkaskupuisten korvaavien EYE Multi Metal -monimetallilamppujen tietoja sarakkeittain: lampun tyyppi, kanta, nimellisteho watteina, valovirta luumeneina, valotehokkuus luumeneina per watti, värintoistoindeksi ja keskimääräinen elinikä.

Taulukko 21. Kirkkaat lamput / kirkas kupu. (4, s. 27.)

lamppu	kanta	teho W	valovirta lm	valotehokkuus lm/W	Ra	elinikä h
M250/BUH	E40	250	21500	86	65	15 000
M250/BD	E40	250	21500	86	65	15 000
M400/BUH	E40	400	40000	100	65	15 000
M400/BD	E40	400	40000	100	65	15 000
M700/BUH	E40	700	60000	85,7	65	9000
M700/BD	E40	700	60000	85,7	65	9000
M1000A/BUH	E40	1000	90000	90	65	9000
M1000A/BD	E40	1000	90000	90	65	9000
M1000B/BUH	E40	1000	115000	115	65	9000
M1000B/BD	E40	1000	115000	115	65	9000
M1500B/BUH	E40	1500	145000	96,6	65	3000
M1500B/BD	E40	1500	145000	96,6	65	3000
M2000B/BUH	E40	2000	185000	92,5	65	9000
M2000B/BD	E40	2000	185000	92,5	65	9000

Taulukossa 22 tarkistetaan, täyttävätkö Iwasakin kvartsilaiset korvaavat EYE Multi Metal -monimetallilamput valotehokkuusvaatimukset: ensimmäisessä sarakkeessa lampun tyyppi josta näkyy myös sen nimellisteho, toisessa sarakkeessa valotehokkuus, kolmannessa sarakkeessa on nykyinen vuonna 2012 voimaan tullut valotehokkuusvaatimus kyseisen tehoisille lamputille, neljännessä sarakkeesta näkyy, täyttääkö lamppu vaatimuksen, viidennessä sarakkeessa on vuonna 2017 voimaan

tulevan valotehokkuusvaatimus ja kuudennessa täyttykö se. Taulukosta voi nähdä että lamput täyttävät vaatimukset ja niitä voi käyttää tulevaisuudessakin.

Taulukko 22. Valotehokkuusvaatimusten täytyminen.

lamppu himmeäkupuinen	valotehokkuus lm/W	nykyinen vaatimus	täyttykö	2017 vaatimus	täyttykö
MF250/BUH	80	≥75	kyllä	≥80	kyllä
MF250/BD	80	≥75	kyllä	≥80	kyllä
MF400/BUH	95	≥75	kyllä	≥85	kyllä
MF400/BD	95	≥75	kyllä	≥85	kyllä
Kirkkaskupuinen					
M250/BUH	86	≥80	kyllä	≥85	kyllä
M250/BD	86	≥80	kyllä	≥85	kyllä
M400/BUH	100	≥85	kyllä	≥90	kyllä
M400/BD	100	≥85	kyllä	≥90	kyllä

Keraamiset monimetallilamput (EYE CERA ARC EX)

Seuraavaksi tarkastellaan Iwasakin EYE CERA ARC EX keraamisia monimetallilamppuja. Keraamisessa monimetallilampussa purkausputki on keraaminen eikä kvartsilasinen.

Taulukossa 23 on Eye Cera Arc EX -lamppujen tietoja: ensimmäisessä sarakkeessa lamppujen tyypit, toisessa sarakkeessa niiden tehot watteina, kolmannessa sarakkeessa valovirrat luumeneina ja neljännessä sarakkeessa valotehokkuudet.

Taulukko 23. Iwasaki electricin korvaavat keraamiset monimetallilamput. (5, s.13.)

lamppu	teho W	valovirta lm	valotehokkuus lm/W
Iwasaki CM45W/FLS/BUD E27	46	4600	100
Iwasaki CM45W/FLS/HOR E27	46	4600	100
Iwasaki CM70W/FLS/BUD E27	72	7700	106,9
Iwasaki CM70W/FLS/HOR E27	72	7700	106,9
Iwasaki CM115W/FLS/BUD E27	115	12100	105,2
Iwasaki CM115W/FLS/HOR E27	115	12100	105,2
CMT220LS/EX/HOR	230	27700	120,4
Iwasaki CM360W/ E40 4100K	375	44000	117,3

Taulukossa 24 on kaikille Eye Cera Arc EX lamputteille yhteisiä toimintaparametreja. (5, s.13.)

Taulukko 24. Eye Cera Arc Ex kaikille yhteiset toimintaparametrit. (5, s.13.)

Toimintaparametri	arvo
Ra	75
Väriämpötila	3500 K

Taulukossa 25 verrataan EYE CERA ARC EX -lamppujen valotehokkuudet nykyisiin ja vuonna 2017 voimaan tuleviin valotehokkuusvaatimuksiin. Taulukon tiedot sarakkeittain ovat: lampun tyyppi, josta näkyy myös teho, valotehokkuus luumeneina per watti, nykyinen valotehokkuusvaatimus luumenia per watti, täyttykö nykyinen valotehokkuusvaatimus, vuonna 2017 voimaantuleva valotehokkuusvaatimus ja täyttykö vuonna 2017 voimaantuleva valotehokkuusvaatimus. Taulukosta voi nähdä kaikkien tämän mallin lamppujen täyttävät kyseiset tehokkuusvaatimukset.

Taulukko 25. valotehokkuusvaatimusten täyttyminen.

lamppu	valotehokkuus	nykyinen vaatimus	täyttykö	2017 vaatimus	täyttykö
CM45W/FLS/BUD E27	100	≥60	kyllä	≥65	kyllä
CM45W/FLS/HOR E27	100	≥60	kyllä	≥65	kyllä
CM70W/FLS/BUD E27	106,9	≥75	kyllä	≥75	kyllä
CM70W/FLS/HOR E27	106,9	≥75	kyllä	≥75	kyllä
CM115W/FLS/BUD E27	105,2	≥75	kyllä	≥80	kyllä
CM115W/FLS/HOR E27	105,2	≥75	kyllä	≥80	kyllä
CMT220LS/EX/HOR	120,4	≥80	kyllä	≥85	kyllä
CM360W/ E40 4100K	117,3	≥85	kyllä	≥90	kyllä

4.3 Ledilamput

Ledien toiminta perustuu elektroluminesenssi ilmiöön, jonka löysi kokeilija H. J. Round Marconin laboratorioissa vuonna 1907. Ensimmäiset ledit kehitettiin jo 1927, mutta keksintöä ei hyödynnetty vuosikymmeniin muun muassa sen vuoksi, että ledit olivat aluksi erittäin kalliita. (30; 31, S. 189–190;32;33.)

Ensimmäiset kohtuuhintaiset ledit tulivat markkinoille 1968 (punainen ledi). Niiden ensimmäisiä käyttökohteita olivat laitteiden merkkivalot. Ledien valontuotto on 1960-luvusta alkaen kasvanut liki eksponentiaalisesti ja kaksinkertaistunut joka 36 kuukausi. Tämän syynä pidetään nopeaa optikan ja puolijohteiden kehitystä. (32;33;34;35;36.)

Ledeillä on hyvä valotehokkuus ja niillä on pitkä käyttöikä, jopa 100 000 tuntia. Ledit kestävät huonosti kosteutta, ellei niitä ole suojattu hyvin. Niiden korkeiden lämpötilojen

kesto on huono, mutta paranemaan päin. Nykyään markkinoilla on jo teholedyjä, jotka kestävät 85 asteen lämpötiloja.

Bolero (Creasys)



Kuva 3. Bolero-led -maissintähkälamppu (45 W 180 astetta) k.

Kuvassa 3 on Bolero-led -maissintähkälamppu (45 W 180 astetta) kuvattuna edestä ja takaa. Kuva lisättiin havainnollistamaan maissintähkälamppujen ulkonäköä.

Taulukossa 26 on Creasysin Bolero 180 asteen valaistuskulma maissintähkälamppujen tietoja seuraavassa järjestyksessä: lamppujen tyypit, tehot watteina, valovirrat luumeneina ja valotehokkuus luumenia per watti. (12.)

Taulukko 26. Bolero maissintähkälamput, 180 asteen valaistuskulma. (12).

Lamppu	Teho W	Valovirta lm	valotehokkuus lm/W
BOLERO180 27W	27	2900	107,41
BOLERO180 36W	36	3900	108,33
BOLERO180 45W	45	4900	108,89
BOLERO180 54W	54	5900	109,26
BOLERO180 60W	60	7100	118,33

Taulukossa 27 on kaikille Creasysin Bolero 180 asteen valaistuskulma maissintähkälampuille yhteiset tiedot: ensimmäisessä sarakkeessa toimintaparametrit, toisessa toimintaparametrien arvot. Kaikille lampuille yhteiset arvot ovat: käyttöjännitteet, kannat, värintoistoindeksit, värilämpötilat ja käyttölämpötilat. (12.)

Taulukko 27. Kaikille Bolero 180 asteen valaistuskulma maissintähkälampuille yhteiset tiedot. (12.)

bolero 180 astetta maissintähkälamput	
käyttöjännite	AC 85-305V / 50-60Hz
Kanta	E27 / E40
Värintoistoindeksi CRI / Ra	>85
Värilämpötilat K	4500K /3000K /5500K
käyttölämpötila alue C	-30 - +35

Taulukossa 28 on Bolero 360 asteen valaistuskulma maissintähkälamppujen tietoja seuraavassa järjestyksessä: lamppujen tyypit, tehot watteina, valovirrat luumeneina ja valotehokkuus luumeneina per watti. (13.)

Taulukko 28. Bolero -maissintähkälampun 360 asteen valaisukulma. (13.)

Lamppu	Teho W	Valovirta lm	Valotehokkuus lm/W
BOLERO-27W	27	3150	116,67
BOLERO-36W	36	4150	115,28
BOLERO-45W	45	5100	113,33

Taulukossa 29 on kaikille Boleron 360 asteen valaisukulma maissintähkälampuille yhteiset tiedot riveittäin: käyttöjännitteet, kannat, värintoistoindeksi, värilämpötila ja käyttölämpötila alue. (13.)

Taulukko 29. Bolero -maissintähkälamppu 360 astetta yhteiset tiedot. (13.)

Bolero 360 astetta -maissintähkälamput	
käyttöjännite	AC 85-305V / 50-60Hz
kanta	E27 / E40
värintoistoindeksi CRI / Ra	>85
värilämpötila	4500K /3000K /5500K
käyttölämpötila C	-30 - +35

Taulukossa 30 on Bolero lite -maissintähdälamppujen tietoja: lamppujen tyypit, tehokkuudet watteina, valovirrat luumeneina ja valotehokkuudet luumenia per watti. (14.)

Taulukko 30. Bolero lite -maissintähdälampun. (14.)

Lamppu	Teho W	Valovirta lm	Valotehokkuus lm/W
BOLERO LITE 16W	16	1600	100
BOLERO LITE 20W	20	2000	100
BOLERO LITE 24W	24	2400	100

Taulukossa 31 on kaikille Bolero lite -maissintähdälampuille yhteiset tiedot riveittäin: käyttöjännitteet, kannat, värinsoistoindeksi, värilämpötilat ja käyttölämpötila alue. (14.)

Taulukko 31. Bolero lite -maissintähdälampuille yhteiset tiedot. (14.)

Bolero lite maissintähdälampun	
käyttöjännite	AC 85-305V / 50-60Hz
kanta	E27 / E40
värinsoistoindeksi CRI / Ra	>85
värilämpötila	4500K /3000K /5500K
käyttölämpötila alue C	-30 - +35

Taulukossa 32 tarkastellaan, täyttävätkö Bolero -lamput vaatimukset.

Taulukko 32. Täyttävätkö vaatimukset (tässä tarkistetaan vain tunnetut arvot)

	Kaikille yhteinen	vaatimus	täyttyykö
värinsoistoindeksi	> 85	> 80	kyllä

Ledilamput Cosmo (Ecotala)



Kuva 4. Cosmo Led -maissintähkälamppu.

Kuvassa 4 näkyy Ecotalen Cosmo led -maissintähkälamppu (45 W). Kuva lisättiin havainnollistamaan maissintähkälamppujen ulkonäköä.

Taulukossa 33 on Ecotalen Cosmo ledilamppujen tietoja sarakeittain: lamppujen tyypit, tehot watteina, kannat, valovirrat luumeneina, värilämpötila kelvineinä ja valotehokkuus luumeneina per watti. (15.)

Taulukko 33. Ecotalen Cosmo Led -maissintähkälamput. (15.)

lamppu	teho	kanta	valovirta	värilämpötila	valotehokkuus
	W		lm	k	lm/w
GKS09-27W-WW	27	E27/E40	2900	3000	107
GKS09-27W-NW	27	E27/E40	2900	4000	107
GKS09-36W-WW	36	E27/E40	3750	3000	104
GKS09-36W-NW	36	E27/E40	3750	4000	104
GKS09-45W-WW	45	E27/E40	4500	3000	100
GKS09-45W-NW	45	E27/E40	4500	4000	100
GKS10-12W-WW	12	E27	1150	3000	96
GKS10-12W-NW	12	E27	1150	4000	96
GKS10-16W-WW	16	E27	1650	3000	103
GKS10-16W-NW	16	E27	1650	4000	103
GKS10-20W-WW	20	E27	2100	3000	105
GKS10-20W-NW	20	E27	2100	4000	105
GKS10-24W-WW	24	E27	2400	3000	100
GKS10-24W-NW	24	E27	2400	4000	100

Taulukossa 34 on toimintaparametreja, jotka ovat yhteisiä kaikille tarkastelluille Cosmo ledilampuille. (15.)

Taulukko 34. Ecotalen Cosmo ledilamppujen yhteiset toimintaparametrit. (15.)

Ecotalen Cosmo led	
käyttöjännite	AC 85-265V / 50-60Hz
elinikä tunteina	50 000
värinointoindeksi CRI / Ra	>80
käyttölämpötila C	- 30 °C – +35 °C
lamppujen LSF	ei tiedossa
lamppujen LLMF	ei tiedossa
tehokerroin kaikilla ecotalen ledilampuilla	PF>0,9

Taulukossa 35 tarkastellaan, täyttävätkö Cosmo ledilamput direktiivissä olevat tehokertoimen ja värinointikertoimen vaatimukset.

Taulukko 35. Täyttyvätkö vaatimukset (tässä tarkistetaan vain tunnetut arvot).

	kaikille yhteinen	vaatimus	täyttyykö
tehokerroin $P \leq 25W$	>0,9	PF >0,5	kyllä
tehokerroin $P > 25W$	>0,9	PF >0,9	kyllä
värinointi	> 80	> 80	kyllä

4.4 Johtopäätökset

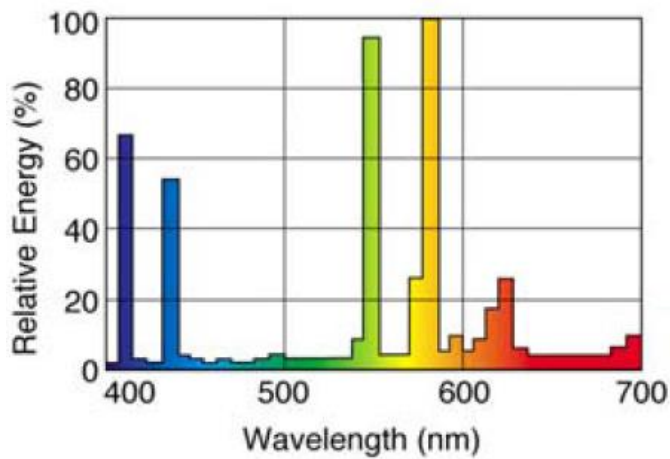
Lamppujen tiedoista voidaan nähdä, että suurin osa näistä korvaavista lamput näyttävät täyttävän ecodesign-direktiivin vaatimukset, tosin ledilampuille ja suuripainenatriumlampuille ei löytynyt kaikkia vaatimusten tarkistamiseen tarvittavia tietoja. Tässä työssä käsiteltiin kylläkin vain joitain korvaavista tuotteista, esimerkiksi Osram esitteli keväällä 2016 Frankfurtin Light +Building -messuilla korvaavia ledilamppuja.

5 Korvaavien lamppujen vaikutus valaistuksen laatuun

Tässä luvussa tarkastellaan, miten korvaavat tuotteet vaikuttavat valaistukseen. Tässä luvussa käsitellään lamppujen valon väriominaisuuksia ja spektriä.

5.1 Nykyinen elohopealampuilla toteutettu valaistus johon verrataan korvaavia lamppeja

Elohopealampun Ra on 40 ja väriämpötila on 4100 K. Seuraavassa kuvassa on elohopealampun spektri.

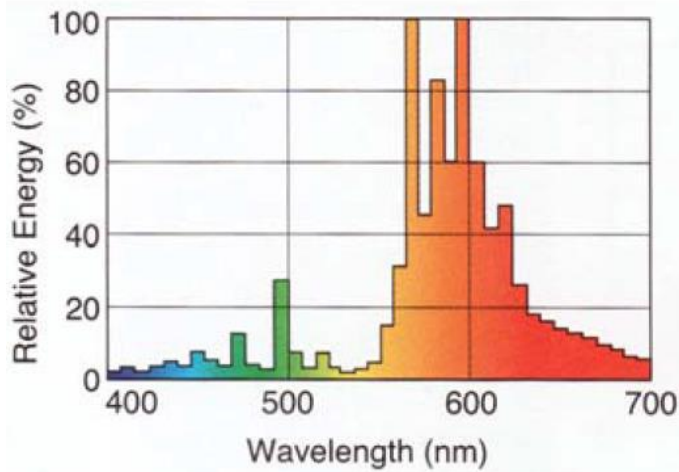


Kuva 5. Elohopealampun spektri. (21, s.1.)

Valaistus on melko valkoista ja yleisesti joko hieman sinertävää tai vihertävää. Spektrikuvan perusteella punainen ja viherväri eivät toistu hyvin.

5.2 Korvaava suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatrium lampun tyyppi on Eye sunlux ace, niiden Ra on 25 ja väriämpötila 2100 K. Kuvassa 6 suurpainenatriumlampun spektri.

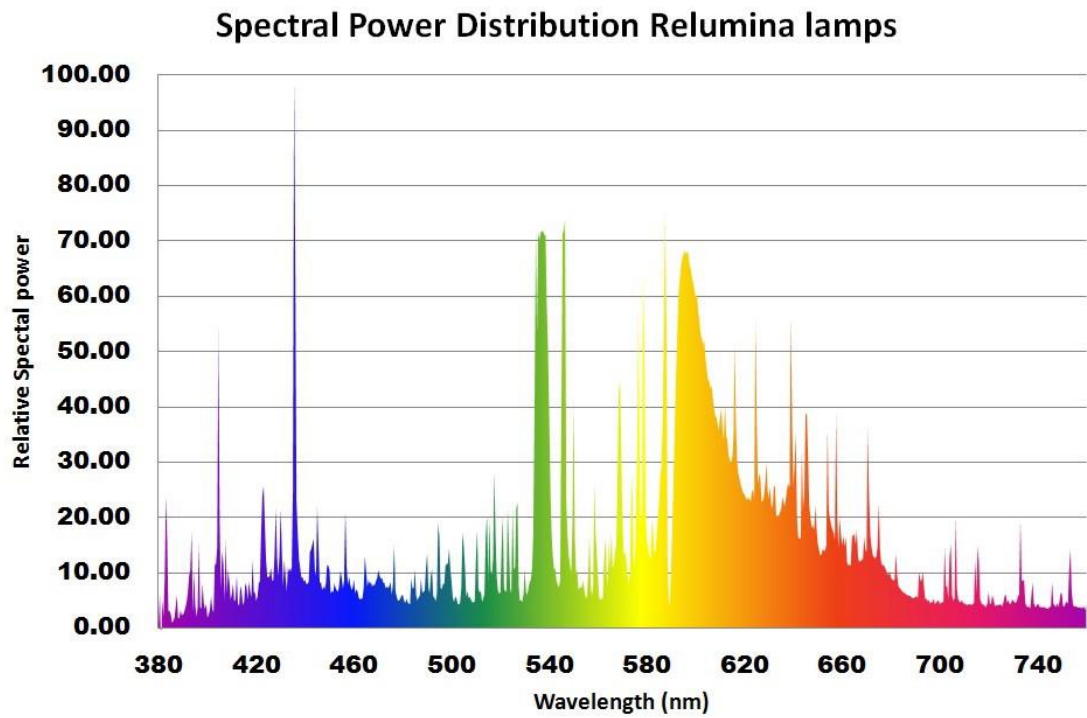


Kuva 6. Erään suurpainenatriumlampun spektri. (20, s.1.)

Vaikutus valaistukseen on seuraavanlainen: valon väri on oranssinpunainen ja värintoisto huono. Kuvassa olevan spektrin perusteella sininen ja vihreä näkyvät huonosti. Väriämpötila on matala. Valotehokkuus suurpainenatriumlampuilla on hyvä, joten todennäköisesti valaistusvoimakkuus on melko korkea, mikäli lamppu vaihdetaan suosituksen mukaan.

5.3 Monimetallilamppujen vaikutus

Relumina-lamppujen Ra on 84 ja väriämpötila on 3000 K. Mitattuna Ra oli 83–84 ja väriämpötila 2928 K. Kuvissa Relumina lamppujen spektri valmistajan sivuilta ja mitattuna.



Kuva 7. Relumina korvaavan monimetallilampun spektri. (23, s.3.)

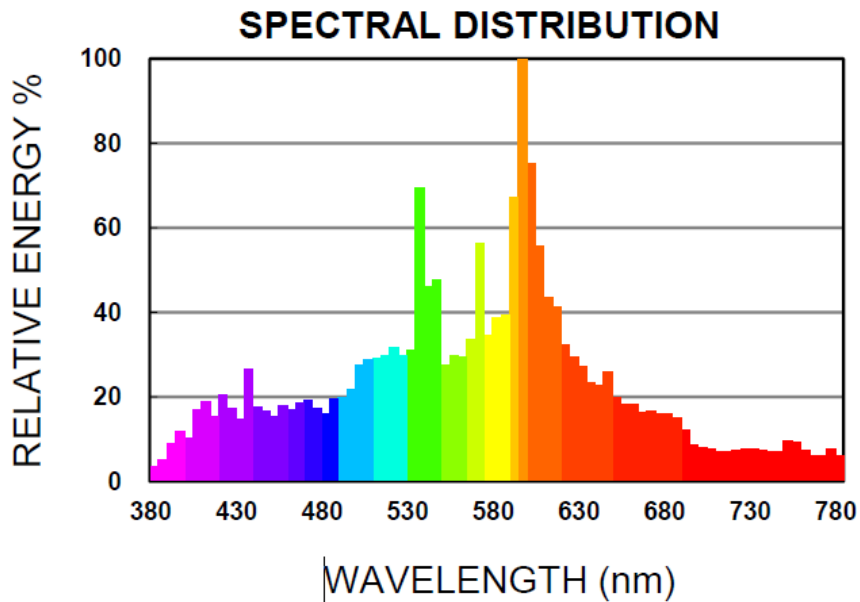


Kuva 8. Relumina 55 W monimetallilampun spektri mitattuna.

Reluminoiden vaikutus valaistukseen on seuraavanlainen: kuvissa 7 ja 8 olevien spektrien ja lampun datalehden tietojen perusteella värintoisto on hyvä ja valo puhtaamman valkeaa kuin elohopealampuissa. Värilämpötilan perusteella valo on lämpimän tuntuista. Jos elohopealamput on korvattu suosituksen mukaan eli 55 watin Relumina -lamppu (4300 lm) on vaihdettu 80 watin elohopealampun (3600 lm) tilalle, niin valaistustaso on selvästi korkeampi.

Iwasakin valmistamat keraamiset monimetallilamput

EYE CERA ARC EX -lamppujen Ra on 75 ja väriämpötila 3500 Kelviniä, kuvassa 9 erään EYE CERA ARC -lampan spektri.

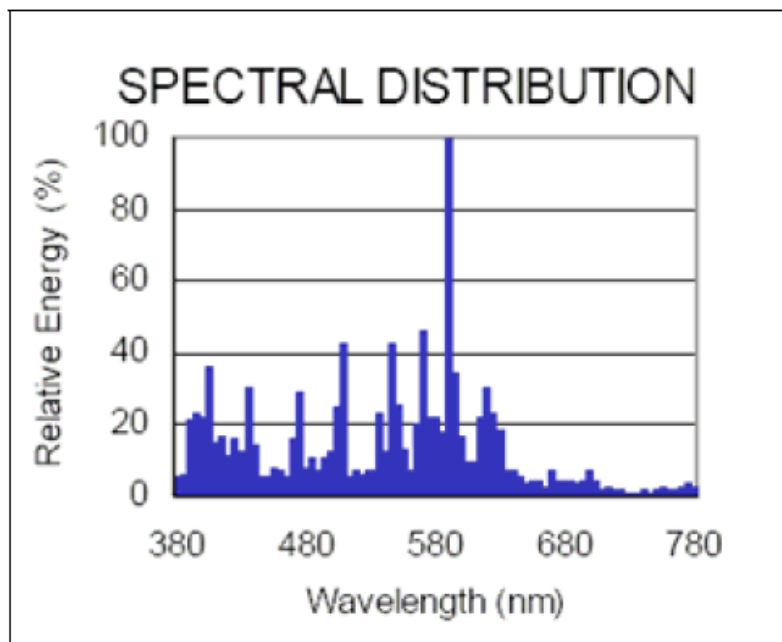


Kuva 9. Erään EYE CERA ARC -lampan spektri. (22, s.1.)

Vaikutus valaistukseen on seuraavanlainen kuvassa 9 olevan spektrin ja datalehden arvojen perusteella värintoisto on melko hyvä sekä selvästi parempi kuin elohopealamputilla. Väriämpötila on jonkin verran lämpimämmän sävyinen kuin aiemmin. Spektrissä on eniten punaista ja vihreää mutta sinistä on vähän, joten värintoisto sinisen puolella ei ole kovin hyvä. Jos lamppu korvataan suositusten mukaan, valaistustaso voimistuu.

Iwasakin kvartsilasiset monimetallilamput

Eye Multi Metal -lamppujen Ra on 70 ja väriämpötila on 3800 Kelviniä, kuvassa 10 niiden spektri.



Kuva 10. Eye Multi metal -lamppun spektri.

Vaikutus valaistukseen on seuraavanlainen: kuvassa 10 olevan spektrikuvan ja datalehden tietojen perusteella värintoisto paranee, mutta ei niin paljon kuin muilla monimetalleilla. Väriämpötilassa ei tule paljonkaan eroa. Se muuttuu vain hieman lämpimämmän sävyiseksi. Spektrikuvan perusteella lamppun valo keskittyy punaisen puolelle, mutta se näyttäisi toistavan kohtuullisesti sinisenkin puolella.

5.4 Led

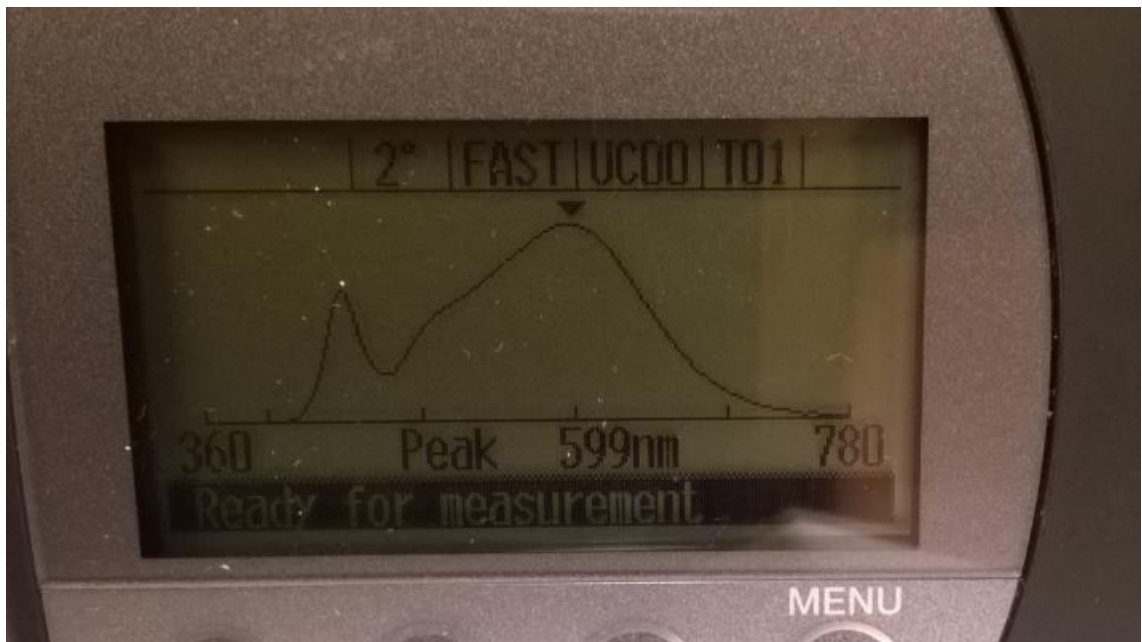
Bolero ledilamppujen Ra on 85 ja väriämpötila 4500 K, saatavilla myös 3000 Kelvinin ja 5500 Kelvinin versioina.

Spektriä ei löytynyt valmistajan tuotetiedoista.

Vaikutus valaistuksen laatuun on seuraavanlainen: valmistajan tietojen perusteella värintoisto on hyvä, itse asiassa paras verratuista lamppuista ja väriämpötila on 4500 K

eli aika kylmän sävyinen. Lamppuja saa myös lämpimän sävyisenä 3000 K:n versiona ja 5500 K:n päivänvalolamppuversiona. Valotehokkuus ei näyttäisi muuttuvan eri väriämpötiloissa. Kun lamppu korvataan suositusten mukaan, valaistustaso kasvaa selvästi.

Ecotalen Cosmo ledilamppujen Ra on datalehden mukaan >80, mittausten mukaan Ra on 83, väriämpötila saatavilla 3000 Kelvinin ja 4000 Kelvinin versioina, kuvassa 11 Cosmo ledilampun spektri mitattuna.



Kuva 11. Kuvassa on Cosmo ledilampun mitattu spektri.

Vaikutus valaistuksen laatuun on seuraavanlainen: mittausten, spektrikuvan ja datalehden tietojen perusteella värinvalinta on paremmasta päästä ja lamppua saadaan eri väriämpötiloilla, joten valaistuksen voi saada joko lämpimämmän ja kylmemmän sävyisenä. Valotehokkuus on hyvä ja jos lamppu vaihdetaan suositusten mukaan, niin valaistustaso kasvaa selvästi.

6 Kustannuslaskelmia

Seuraavissa kustannuslaskelmissa tarkastellaan uudempaa tekniikkaa edustavia korvaavia lamppuja: monimetalli- ja ledilamppuja.

Luvussa 3 kohdassa korvaavat tuotteet on tarkasteltu näiden lamppujen teknisiä tietoja ja todettu, että annettujen tietojen perusteella ne täyttävät direktiivin tehokkuus- ja muut vaatimukset. Kuvassa 12 mittauslaskelmissa käytetyt korvaavat lamput.



Kuva 12. Vasemmalla Relumina korvaava monimetallilamppu (55 W), keskellä Bolero maissintähtälamppu (45 W 180 astetta valaisukulma) ja oikealla Cosmo led maissintähtälamppu. (45 W)

Kuvassa 12 näkyvät laskelmissa käytetyt korvaavat tuotteet.

Kustannuslaskennan pohjana on käytetty kuvitteellista tieosuutta, joka perustuu Tiehallinnon vuonna 2004 julkaisemassa Tievalaistus/sähkö-tiedotteessa nro 7B (29, s.9) oleviin hyväksytyihin elohopeavalaisinten asennuskorkeuksiin ja pylväiden välimatkoihin. Laskelmat on tehty Tiehallinnon vuonna 2006 julkaiseman tievalaistuksen suunnitteluohjeen perusteella. (6.) Laskelmissa kustannukset lasketaan kilometrin matkalle.

Kohteena on erillinen kevyen liikenteen väylä, jossa ajoradan leveys on 4 metriä. Valaistus on toteutettu yksirivisellä asennuksella. Valaisinten asennuskorkeus on 6 metriä ja pylväiden väli 35 metriä. Valaisimet ovat Sitecon / Siluxin mallia DL 500 midi-A k. Nykyiset lamput ovat QE-80S -suurpaine-elohopeahöyrylamppuja, joiden ryhmävaihtohinta on 6 euroa ja yksittäisvaihtohinta 20 euroa.

Vertailulaskelmissa käytetään seuraavia oletuksia: elinkaarikustannusten tarkastelu-aika on 30 vuotta. Hallinnollisesti määrätty laskentakorko on 5 prosenttia, vuotuisten energiakustannusten kasvun ollessa 6 prosenttia ja kunnossapitokustannusten vuotuisen kasvun ollessa 3 prosenttia. Energian hinta laskennan alussa oletetaan 13 sentiksi per kilowattitunti ja vuotuiseksi polttoajaksi oletetaan 4000 tuntia vuodessa. Lamppujen ryhmävaihtohinnan oletetaan olevan lampun hinta plus 1 euroa ja yksittäisvaihtohinnaksi oletetaan lampun hinta plus 15 euroa. Oletuksena yksittäisvaihtojen suhteellisille määrille on ledilampuille 2 prosenttia vuodessa, Relumina monimetallilampulle 9,1 prosenttia vuodessa ja elohopealampuille 15 prosenttia vuodessa. Liitäntälaitteen tehoksi oletetaan 5 wattia ja kiinteäksi pylväskustannukseksi 34 euroa vuodessa pylvästä kohti.

6.1 Korvaavien tuotteiden tietoja

Seuraavaksi esitellään korvaavien tuotteiden tietoja.

Vaihtoehto 1 on Feilo Sylvanian Relumina 55-wattinen monimetallilamppu E27-kannalla. Kappalehinta on 47,75 euroa, joten ryhmävaihtohinta on 48,75 euroa kappale ja yksittäisvaihtohinta on 62,75 euroa kappale. Polttoikä on 4,5 vuotta.

Vaihtoehto 2 on Ecotalen Cosmo led -maissintähkälamppu GKS09-45W 45 -wattinen, E27 -kannalla. Kappalehinta on 100,50 euroa, joten ryhmävaihtohinta on 101,50 euroa kappale ja yksittäisvaihtohinta 115,5 euroa kappale. Polttoikä on 12,5 vuotta.

Vaihtoehto 3 on Creasysin Bolero 180 astetta valaistuskulma led -maissintähkälamppu 45 -wattinen, E27-kannalla. Kappalehinta on 78 euroa, joten ryhmävaihtohinta on 79 euroa kappale ja yksittäisvaihtohinta 93 euroa kappale. Polttoikä on 12,5 vuotta.

Tulokset kustannuslaskelmille

Taulukossa 36 on kustannuslaskelmien tuloksia. Taulukossa on laskettu eri lamppuvaihtoehtoilla tuleva teho kilometrille, rakennus/lamppujenvaihtokustannus, energiakustannukset ja kunnossapitokustannukset ensimmäiselle vuodelle sekä elinkaarikustannukset. Ledilampuille kustannukset on laskettu kahdesti eri oletuksilla. Ensin sillä oletuksella, että lamppujen ryhmävaihtohinta ei laske tulevaisuudessa ja sitten sillä oletuksella, että lamppujen ryhmävaihto maksaa tulevaisuudessa vain 60 prosenttia alkuperäisestä hinnasta. Tämä sen vuoksi, että ledilamppujen kehitys on tätä nykyä nopeaa.

Taulukko 36. Tuloksia.

lamppu	pylväsväli	Teho kW/km	rakennus-kustannukset €/km	Energia-kustannukset €/km*a	Kunnossapito-kustannukset €/km*a	Elinkaari-kustannukset €/km
Elohopea	35	2,514	171	1307	1114	70 922
Relumina 55 W	35	1,715	1393	817	1387	61 296
Ecotale GKS09-45W	35	1,286	2900	669	1269	55 037
Ecotale GKS09-45W 60%	35	1,286	2900	669	1177	52 963
Bolero 180 45w	35	1,286	2257	669	1204	52 852
Bolero 180 45w 60%	35	1,286	2257	669	1133	51 259

Taulukossa 37 tarkastellaan, kuinka erilaiset korvaavat lamput vaikuttavat energiakustannukseen, kunnossapitokustannukseen ja siihen, miten paljon rahaa säästyy valaistua kilometriä kohti.

Taulukko 37. Kulujen muutokset ja säästöt.

lamppu	Energiankulutuksen muutos %	Kunnossapidon muutos %	Rahalliset säästöt €/km*a
relumina	-37,50%	+30,24%	217
Ecotale GKS09-45W	-48,86%	+13,92	484
Ecotale GKS09-45W vaihto 60%	-48,86%	+5,68	575
Bolero 180 45w	-48,86%	+8,03%	549
Bolero 180 45w vaihto 60%	-48,86%	+1,67%	620

Taulukossa 38 tarkastellaan elinkaarikustannuksia kilometrille, jos aika pylväiden uusimiseen kokonaan on lyhyt.

Taulukko 38. Elinkaarikustannus lyhyelle ajalle.

lamppu	10 vuodelle €/km	6 vuodelle €/km	5 vuodelle €/km
Relumina	22 722	14 510	12 541
Ecotala GKS09-45W	20 882	16 123	14 544
Bolero 180 45w	22 351	14 655	13 076

Tuloksista voidaan nähdä, että pidemmällä aikavälillä elohopealamput kannatta vaihtaa ledilamppuihin. Tosin, jos pylvää pitää uusia melko pian (6 vuoden sisään), kannattaa elohopealamput vaihtaa pylväiden uusimiseen saakka monimetallilamppuihin tai muuhun halvempaan korvaavaan tuotteeseen.

6.2 Kustannuslaskelmissa käytettiin seuraavia kaavoja.

Kaavat ovat tiehallinnon julkaisemasta tiesuunnitteluohjeesta (6, s. 102–110).

Rakennuskustannus / vaihtokustannus (oletetaan että kaikkien valaisimien lamput vaihdetaan uusiin kerralla ja muuta ei tehdä)

Rakennuskustannukset lasketaan kaavalla 1.

$$K = M * H_p * k_1 + N * H_v + L * H_{sv} * k_2 \quad (1)$$

M on pylväiden lukumäärä

H_p on pylvään ja jalustan perushinta

k₁ on pylvään sijaintikerroin

N on valaisimien lukumäärä

H_v on valaisimen ja ensimmäisen lampun hinta (€/kpl)

L on sähköverkon pituus

H_{sv} on sähköverkon perushinta, (€/m)

k₂ on sähköverkon sijaintikerroin

Koska tässä tapauksessa vaihdetaan vain lamput, niin rakennuskustannuksista jää siten jäljelle vain lamppujen vaihtaminen kerran kaavan 2 mukaisesti.

$$K_{rv} = N * H_L \quad (2)$$

N on vaihdettavien lamppujen määrä

HL on lampun hinta

Täten kustannukset pituusyksikköä kohden lasketaan kaavalla 3.

$$K = \frac{K_{rv}}{S} \quad (3)$$

Rvk on ryhmävaihtokustannus

S on pylväsväli

Hoitokustannus tiimetriä kohden lasketaan kaavalla 4.

$$K_{kk} = \frac{t_1 * n * P_i * H_e + \frac{n * H_L * k_3}{t_2} + q * n * H_{ly} * k_3 + m * C * k_4}{S} \quad (4)$$

t₁ on vuotuinen polttoaika (h)

t₂ on lampun polttoikä (a)

n on valaisimien lukumäärä poikkileikkauksessa

m on pylväiden lukumäärä poikkileikkauksessa

P_i on valaisinten teho liitännälaitteineen (kW)

H_e on sähkön kokonaishinta (€/kWh)

H_l on lampun ryhmävaihdon perushinta (€/kpl)

H_{ly} on lampun yksittäisvaihdon perushinta (€/kpl)

k₃ on sijaintikerroin

q on yksittäisvaihtojen suhteellinen määrä vuosittain

C on kiinteät kustannukset (€/pylväs)

k₄ on hoitoluokkakerroin

S on pylväsväli

Hoitokustannus jaetaan energiakustannukseen ja kunnossapitokustannukseen, koska niillä on elinkaarikustannuksissa eri kasvukertoimet.

Energiakustannukset pituusyksikköä kohden ensimmäiselle vuodelle lasketaan kaavalla 5.

$$K_e = \frac{t_1 * n * P_i * H_e}{S} \quad (5)$$

t_1 on vuotuinen polttoaika (h)

n on valaisimien lukumäärä poikkileikkauksessa

P_i on valaisinten teho liitäntälaitteineen (kW)

H_e on sähkön kokonaishinta (€/kWh)

S on pylväsväli

Kunnossapitokustannukset pituusyksikköä kohden ensimmäiselle vuodelle lasketaan kaavalla 6.

$$K_{kp} = \frac{\frac{n * H_l * k_3}{t_2} + q * n * H_{ly} * k_3 + m * C * k_4}{S} \quad (6)$$

n on valaisimien lukumäärä poikkileikkauksessa

m on pylväiden lukumäärä poikkileikkauksessa

t_2 on lampun polttoikä (a)

H_l on lampun ryhmävaihdon perushinta (€/kpl)

H_{ly} on lampun yksittäisvaihdon perushinta (€/kpl)

k_3 on sijaintikerroin

q on yksittäisvaihtojen suhteellinen määrä vuosittain

C on kiinteät kustannukset (€/pylväs)

k_4 on hoitoluokkakerroin

S on pylväsväli

Elinkaarikustannus voidaan laskea kahdella eri kaavalla, nykyarvomenetelmällä ja vuosikustannusmenetelmällä.

Nykyarvomenetelmällä laskettaessa käytetään kaavaa 7.

$$E_k = K_r + \frac{1 - (1 + P)^{-t}}{P} * K_{kk} + \frac{1}{(1 + P)^t} * J \quad (7)$$

E_k on elinkaarikustannuksen nykyarvo

K_r on rakennuskustannus

K_{kk} on kunnossapitokustannus

P on hallinnollisesti määrätty laskentakorko

t on tarkasteluajan kesto vuosissa

J on jäännösarvo

Koron p tilalla voidaan käyttää myös reaalikorkoa, joka on inflaation (kasvukertoimen) ja nimelliskoron yhdistetty tekijä ja joka lasketaan kaavalla 8.

$$r = \frac{i-f}{1+f} \quad (8)$$

r on reaalikorko

i on nimelliskorko

f on inflaatio

Vuosikustannusmenetelmää käytettäessä lasketaan kaavalla 9.

$$K_v = a * K_r + b_t * K_{kk} \quad (9)$$

K_v on keskimääräinen vuosikustannus

a on annuiteettitekijä

K_r on rakennuskustannus

b_t on hoitokustannusten kasvukerroin laskenta ajan puolivälissä

K_{kk} on ensimmäisen vuoden hoitokustannukset

Annuiteettitekijä lasketaan kaavalla 10.

$$a = \frac{p}{1-(1+p)^{-t}} \quad (10)$$

t on tarkasteluajanjakson pituus

p on hallinnollisesti määrätty laskentakorko

Kasvukerroin täytyy laskea energialle ja huoltokustannuksille erikseen, jos niillä on eri kasvukertoimet. Kasvukertoimet lasketaan kaavalla 11.

$$b_t = (1 + kp)^t \quad (11)$$

b_t on kasvukerroin

kp on kasvuprosentti

t on tarkasteluajanjakson pituus vuosissa

7 Mittaukset

Seuraavissa mittauksissa tarkasteltiin seuraavia korvaavia tuotteita Relumina 50 W - monimetallilamppua ja Cosmo Led -maissintähdälamppua. Lisäksi tarkasteltiin lusikkavalaisimien mukana tulleita käytettyjä 125 watin elohopealamppuja. Aluksi suunniteltiin, että testattaisiin myös Bolero-maissintähdälamppua (valaistuskulma 180), mutta mittauksissa se hajosi kytkennöissä tehdyn virheen vuoksi.



Kuva 13. Mittausten lamput.

Kuvassa 13 näkyvät mittauksissa käytetyt lamput. Lamput ovat elohopealamppu 125 wattia, Relumina 55 wattia, Bolero 45-maissintähdälamppu (45 W, 180 astetta), jonka sisäinen liitinlaite hajosi, koska valaisimen kondensaattori unohdettiin paikalleen, ja lopuksi Cosmo Led -maissintähdälamppu.



Kuva 14. Kuva hallin mittausasettelusta.

Kuvassa 14 näkyy mittausasettelua hallissa 8.12.2016 tehdyistä mittauksista.

7.1 Mittaustulokset

7.1.1 Mittaukset integroivan pallon avulla



Kuva 15. Integroiva pallo avoinna.

Kuvassa 15 näkyy integroiva pallo, jonka avulla valoteknisiä mittauksia tehtiin, avoimena mittausten välillä. Integroivalla pallolla mitataan lampun tai valaisimen valaistusvoimakkuusarvoja jotka ovat suhteessa kokonaisvalovirtaan. Todellinen valovirta saadaan referenssi lampun avulla. Apulampun avulla otetaan huomioon valonlähteen erilaisesta muodosta ja koosta aiheutuva ero referenssilamppuun verrattuna. Laskentaan käytetty kaava ja laskelmat löytyvät luvusta 7.2.

Mittaukset Integroivan pallon avulla on tehty 9.12.2016 ja 15.12.2016.

Taulukossa 39 on referenssilampun mukana tulleet tiedot.

Taulukko 39. Referenssilampun tiedot.

valmistaja	Osram
millainen lamppu	Halogen
tyyppi	halolux ceram
teho	100W
kupu	clear/kirkas
kanta	E27
virta	493,3 mA
valovirta	1467 lm

Taulukossa 40 näkyvät referenssilampun mitatut arvot.

Taulukko 40. Mitatut arvot

suhteellinen valaistusvoimakkuus	405 lx
apulampun suhteellinen valaistusvoimakkuus	56 lx
apulampun jännite	12,02 V

Relumina

Taulukossa 41 näkyvät Relumina monimetallilampun datalehden tiedot.

Taulukko 41. Relumina 55 wattia tiedot.

valmistaja	Feilo Sylvania Finland Oy
millainen lamppu	monimetalli
tyyppi	Relumina CMI Retrofit
nimellis teho	50 W
kupu	frosted
kanta	E27
nimellis valovirta	4300 lm
värinotoindeksi	84 Ra
väriämpötila	3000

Taulukossa 42 ovat Relumina-lampun mitatut arvot. Mittaustulosten perusteella lasketut valovirrat ovat taulukossa 51. Integroivan pallon mittauksen tuloksena saadut valovoima arvot ovat alemmat kuin hallin mittauksissa saadut seuraavista syistä: 1. kytkinlaitetta oli pallon ulkopuolella kolmen metrin johtojen päässä. 2. ensimmäisissä mittauksissa jännitestabilaattori häiritsi jostain syystä lampun toimintaa. Toisessa mittauksessa kuristimen kytkennöissä käytettiin lyhempiä johtoja ja kolmannessa lyhennetyin johdon lisäksi kytkettiin liitinlaite suoraan verkkovirtaan. Mittauksissa selvisi, että liian pitkät johdot liitinlaitteelta lampulle aiheuttavat selvästi havaittavaa valovirran vähenemistä sekä se, että jännitestabilaattorin tuottama resonanssi pudottaa myös monimetallilampun lampun valovirtaa jonkin verran.

Taulukko 42. Relumina -monimetallilampun mitatut arvot.

		lyhennetyllä johdolla	lyhennetty johto ei jännite stabiilaattoria
	9.12.2016	15.12.2016	15.12.2016
Relumina valaistusvoimakkuus	1110 lx	1130	1170
apulamppu	55,7 lx	55,7 lx	55,7 lx
värintoistoindeksi	83 Ra	83 Ra	84 Ra
väriämpötila	2884 K	2884 K	2928 K
jännite	91,2 V	89,6	90,8
virta	761 mA	783 mA	799 mA
teho	43,3 W	45,3 W	46,5
cos Φ	0,62	0,65	0,64

Reluminan tuloksista voimme päätellä sen, että liian pitkät johdot kuristimelta ja kondensaattorilta lampulle aiheuttavat tässä tapauksessa havaittavaa valovirran ja tehokertoimen alenemaa. Hallin mittauksissa liitinlaitteen ollessa tarpeeksi lähellä Reluminan valovirta oli keskimäärin 90 prosenttia Cosmo ledilampun valovirrasta.

Taulukossa 43 on Cosmo ledilampun datalehden tiedot.

Taulukko 43. Cosmo ledilampun tiedot.

valmistaja	Ecotale
millainen lamppu	Ledilamppu
tyyppi	korvaava Led -lamppu
nimellisteho	45 W
kanta	E27
nimellisvalovirta	4500 lm
värintoistoindeksi	>80
väriämpötila	3000

Taulukossa 44 on Cosmo ledilampun mitatut arvot.

Taulukko 44. Cosmo ledilampun mittaustulokset.

Cosmo Led	1440 lx
apulamppu	55,5 lx
värintoistoindeksi	83 Ra
väriämpötila	3567 K
jännite	223 V
virta	0,2 A
teho	44,0 W
cos Φ	-0,94

Taulukossa 45 ovat lusikkavalaisinten mukana tulleen käytetyn 125 watin elohopealampun datalehden tiedot.

Taulukko 45. Elohopealampun tiedot.

valmistaja	Osram
millainen lamppu	Elohopealamppu
tyyppi	Elohopealamppu
nimellisteho	125 W
kanta	E27
valovirta	6300 lm
värintoistoindeksi	50
väriämpötila	4000

Taulukossa 46 näkyvät elohopealampulle mitatut arvot.

Taulukko 46. Elohopealampun mittaustulokset.

osram elohopealamppu	1120 lx
apulamppu	56 lx
värintoistoindeksi	37 Ra
väriämpötila	4161 K
jännite	122 V
virta	1,11 A
teho	118 W
cos Φ	0,87

7.1.2 Hallissa tehdyt mittaukset

8.12.2016 mittaukset tehtiin valaisimen ollessa neljän metrin korkeudessa.

Taulukossa 47 näkyvät valaistusvoimakkuudet valaisimen pituussuuntaan/eteen. Taulukon tiedot ovat valon kulma, mittauspisteen etäisyys lampusta ja eri lamppujen mitatut luksiarvot.

Taulukko 47. Valaistusvoimakkuus E valaisimen eteen.

		elohopea	Relumina	Cosmo
valon kulma	etäisyys	E/lx	E/lx	E/lx
53,16	6,67	6,8	9	4,7
48,04	5,98	9,8	13,3	6,8
41,67	5,35	14,2	20,9	11,1
33,72	4,81	21,5	30,7	19,8
23,98	4,38	31	45,2	34,4
12,54	4,1	38,5	59,1	53,5
0	4	38,5	57	65,1
-12,54	4,1	31,1	40,9	62,4

Taulukossa 48 ovat valaistusvoimakkuudet valaisimen sivulle. Taulukon tiedot ovat valon kulma, mittauspisteen etäisyys lampusta ja eri lamppujen mitatut luksiarvot.

Taulukko 48. Valaistusvoimakkuus valaisimen sivulle.

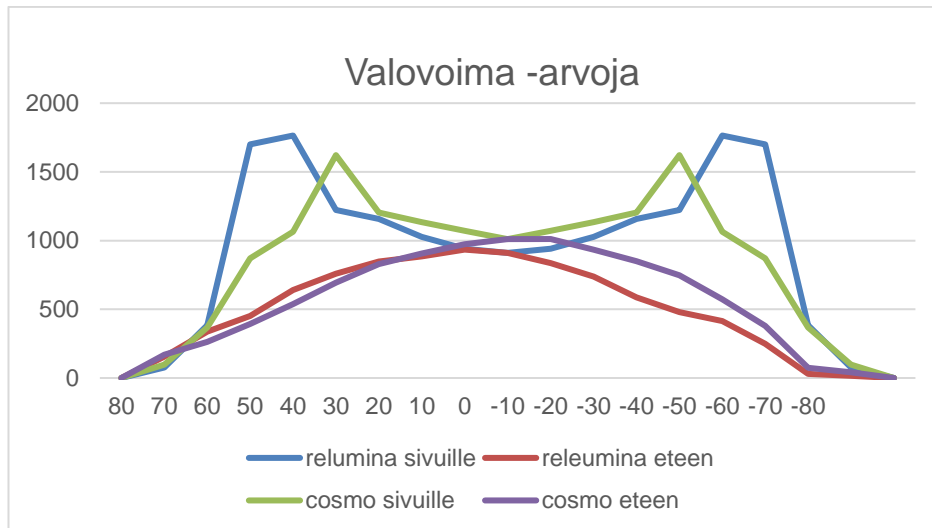
		elohopea	Relumina	Cosmo
valon kulma	etäisyys	E/lx	E/lx	E/lx
53,16	6,67	9,8	23,8	9,7
48,04	5,98	12,8	26,6	13,8
41,67	5,35	16,1	29,2	21,3
33,72	4,81	22	38,1	33,7
23,98	4,38	30,8	52,9	49,1
12,54	4,1	38,7	56,9	62,6
0	4	38,5	57	65,1

12.12.2016 mittaukset hallissa tehdyt mittaukset.

Taulukossa 29 ovat luksiarvot mitattuna 10 asteen välein pituussuunnassa 80 asteesta - 80 asteeseen. Koska valonjako sivuille on symmetrinen, niin arvot nolasta kahdeksaankymmeneen asteeseen on laskelmissa peilattu. Mittauksissa mittari käännettiin valaisinta kohden, joten kulmaa pinnan normaaliin nähden ei tarvinnut käyttää valovoimaa laskettaessa.

Taulukko 49. Valaistusvoimakkuus mitattuna 10 asteen välein.

	Relumina		Cosmo	
asteet	E/lx Y	E/lx X	E/lx Y	E/lx X
	sivulle	eteen		
80	2,32	4,7	2,91	5,13
70	45	39,6	43,2	30,9
60	425	113	218	98,2
50	725	263	437	221
40	713	442	945	404
30	876	640	910	627
20	914	787	1010	807
10	905	898	1030	935
0	910	910	1010	1010
-10		803		972
-20		657		832
-30		444		643
-40		280		435
-50		170		235
-60		62,5		94,6
-70		8,25		20
-80		0,5		1,28



Kuva 16. Kuvassa laskettuja valovoima -arvoja 80 asteesta miinus 80 asteeseen.

Kuvassa 16 näkyvät Reluminan ja Cosmo ledilampun lasketut valovoima-arvot eri mittauskulmissa.

7.2 Laskelmat mittauksista

Laskelmissa käytetyt kaavat.

Lampun valovirta laskettuna integroivan pallon mittaus tuloksista 12.

$$\Phi_x = \frac{E_2}{E_3} * \frac{E_4}{E_1} * \Phi_0 \quad (12)$$

Taulukossa 50 on kaavan 12 termit.

Taulukko 50. Kaavassa 12 käytetyt termit.

Φ_0	Referenssilampun valovirta
Φ_x	mitatun lampun valovirta
E1	Valaistusvoimakkuus, kun referenssilamppu on päällä ja apulamppu pimeänä
E2	Valaistusvoimakkuus, kun referenssilamppu on pimeänä ja apulamppu palaa
E3	Valaistusvoimakkuus, kun mitattava lamppu on pimeänä ja apulamppu palaa
E4	Valaistusvoimakkuus, kun referenssilamppu on päällä ja apulamppu pimeänä

lamppujen valotehokkuuden kaava 13

$$\text{valotehokkuus } \text{lm/W} = \frac{\Phi_x}{P} \quad (13)$$

lm/W on valotehokkuus

lm on luumen

W on Watti

Φ_x on mitatun lampun valovirta

P on mitatun lampun teho watteina

valovoiman laskeminen, kun valaistusvoimakkuus mitattu pinnan normaalista kaavalla 14.

$$I = \frac{E \cdot R^2}{\cos\varphi} \quad (14)$$

E on mitattu valaistusvoimakkuus

R on etäisyys valonlähteestä

$\cos\varphi$ on kulma pinnan normaaliin

I on valovoima

Jos mitattu suoraan valonlähteeseen päin, voidaan kaavassa kulma pinna normaaliin jättää pois, koska silloin $\cos\varphi$ arvo on yksi.

Laskujen tulokset

Taulukossa 51 näkyvät integroivan pallon mittaustuloksista lasketut valovirrat ja valotehokkuudet Relumina- ja Cosmo Led- sekä elohopealampuille.

Taulukko 51. Valovirrat ja valotehokkuudet.

	Relumina	Relumina	Relumina	Cosmo led	elohopea
	mittaus 1	mittaus 2	mittaus 3		
valovirta	4023	4115	4260	5263	4057
valotehokkuus	93,35	90,84	91,63	121,54	34,38

Hallin mittauksien tulokset

Taulukossa 52 ovat lasketut valovoima-arvot valaisimen eteen eri kulmille, kun valaisinta mitattiin neljän metrin korkeudesta.

Taulukko 52. Valovoima I valaisimen eteen.

	elohopea	Relumina	Cosmo
valaistuskulma	I/cd	I/cd	I/cd
53,16	504,5	667,8	348,7
48,04	524,1	711,3	363,7
41,67	544,1	800,8	425,3
33,72	598,	853,9	550,7
23,98	650,9	949,	722,3
12,54	663,	1017,7	921,3
0	616	912	1041,6
-12,54	535,5	704,3	1074,5

Taulukossa 53 ovat lasketut valovoima-arvot valaisimen sivulle eri kulmille, kun valaisinta mitattiin neljän metrin korkeudesta.

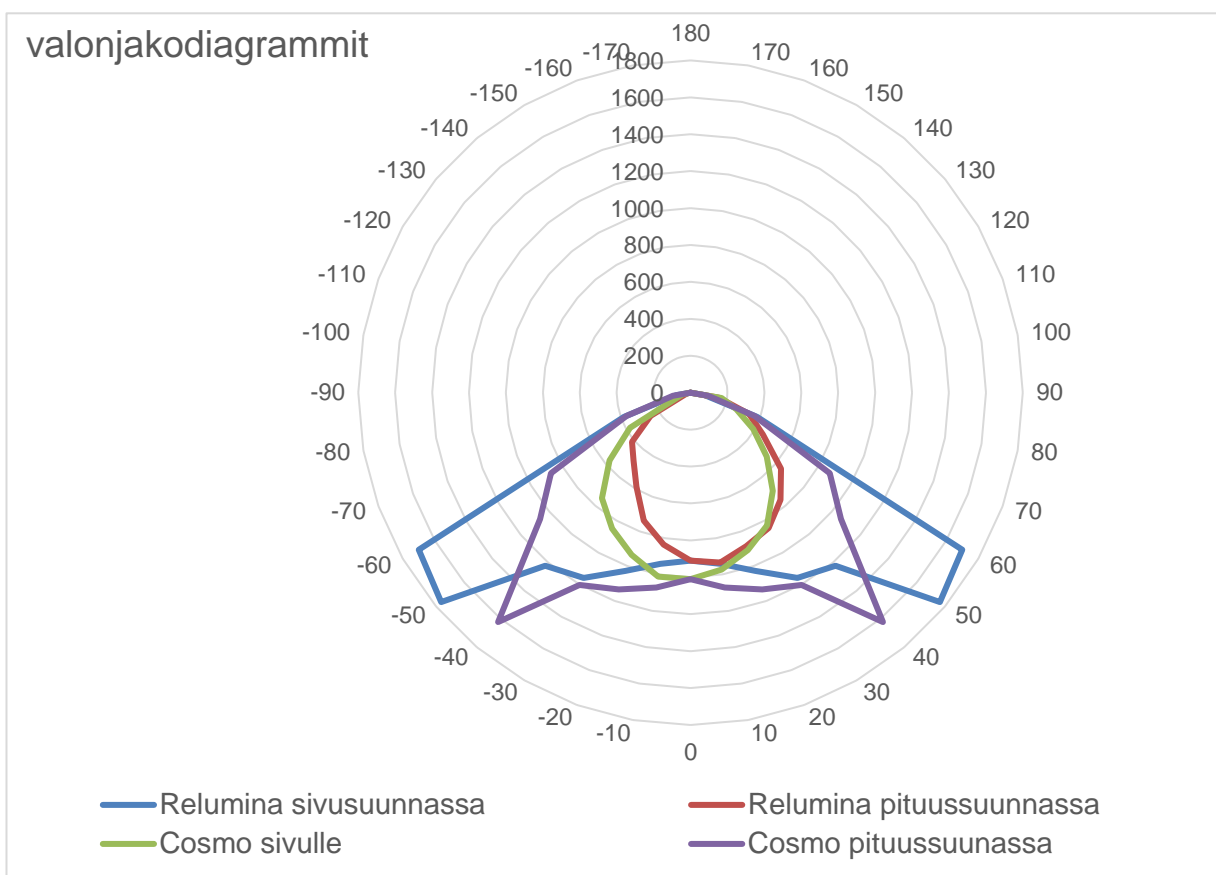
Taulukko 53. valovoima I valaisimen eteen.

	elohopea	Relumina	Cosmo
valaistuskulma	I/cd	I/cd	I/cd
53,16	727,1	1765,9	719,7
48,04	684,6	1422,7	738,1
41,67	616,9	1118,8	816,1
33,72	611,9	1059,8	937,4
23,98	646,7	1110,7	1030,9
12,54	666,4	979,8	1078
0	616	912	1041,6

Taulukossa 54 näkyvät lasketut valovoimakkuudet lusikkavalaisimelle käytettäessä Cosmo Led -maissintähtälamppua ja Relumina korvaavaa monimetallilamppua.

Taulukko 54. Lasketut valovoima -arvot

kulma	Cosmo sivulle	Cosmo eteen	Relumina sivulle	Relumina eteen
80	96,547	170,201	76,972	155,935
70	368,34	263,466	383,688	337,645
60	872	392,8	1700	452
50	1063,483	537,825	1764,36	640,037
40	1621,714	693,304	1223,579	758,516
30	1203,475	829,207	1158,51	846,4
20	1134,836	906,745	1026,970	884,273
10	1071,612	972,774	941,562	934,279
0	1010	1010	910	910
-10	1071,612	1011,269	941,562	835,441
-20	1134,836	934,835	1026,970	738,205
-30	1203,475	850,367	1158,51	587,19
-40	1621,714	746,503	1223,579	480,508
-50	1063,483	571,896	1764,36	413,712
-60	872	378,4	1700	250
-70	368,340	73,728	383,688	30,413
-80	96,547	42,467	76,972	16,589



Kuva 17. Reluminan ja Cosmo ledilampun valonjakodiagrammit.

Kuvassa 17 ovat Reluminan ja Cosmo ledilampun valonjakodiagrammit lusikkavalaisimessa.

Päätelmät mittaukset-osiosta

Mittauksissa selvisi, että kumpikin lamppu toimii lusikkavalaisimessa kohtuullisesti. Relumina toimii lusikkavalaisimessa paremmin, koska sen valokappaleen pienemmän koon vuoksi valaisimen heijastimet toimivat paremmin, joten sen valonjako sivuille on leveä ja antaa tievalaistuksessa pylväiden väliin tasaisemman valaistuksen. Cosmo ledilamppu sai valotehokkuudeltaan parhaan tuloksen, mutta lusikkavalaisimessa sen valonjako sivuille oli kapeampi, koska sen suuri koko häytti valaisimen heijastimien toimintaa. Tosin jos ledilamppua käytetään katuvalaisimen sijasta pihan tai puiston pylväsvalaisimessa niin lampun muodolla ja valonjaolla ei ole niin paljon merkitystä. Lopputuloksena voidaan pitää sitä, että tulevaisuudessa ledilamppujen käyttö kasvaa.

8 Yhteenveto

Työn aiheena oli tutkia Elohopealamppujen korvaavia tuotteita, niiden vaatimuksia ja arvioida tuotetietojen, laskelmien sekä mittausten avulla sitä, missä ja milloin niitä kannattaa käyttää.

Monimetallilampuista paras värintoisto ja valon laatu on Feilo Sylvania Relumina-lampuilla, mutta valotehokkuudeltaan parhaita lampuja ovat Eye Cera arc -mallit.

Ledilampuista parhaat tulokset saavat Creasysin Bolero -maissintähkälamput korkealla valotehokkuudellaan ja värintoistollaan. Niiden osalta ongelma on kuitenkin se, että kaikkia vertailtavia tietoja ei löytynyt ja se, että mittaukset eivät onnistuneet, koska lampun vaihdon yhteydessä tapahtunut kytkentävirhe rikkoi lampun sisäisen liitäntälaitteen.

Monimetallilampuista paras värintoisto ja spektri on Relumina-lampuilla.

Ledeistä ja verratuista tuotteista yleensäkin paras värintoistoindeksi on Bolero ledilampuilla.

Hoitokustannus- ja elinkaarilaskelmien tulosten mukaan elohopealamput kannattaa pidemmän päälle vaihtaa korvaaviin ledilamppuihin niiden hyvän valotehokkuuden ja pitkän käyttöiän vuoksi. Tosin siinä tapauksessa, että valaisimet pitää vaihtaa melko pian kokonaan uusiin, tällaiselle väliajalle kannattaisi hankkia halvempia korvaavia lampuja, esimerkiksi monimetallilampuja, ledilamppujen korkean hinnan vuoksi. Jos valaisimet vaihdetaan, niin silloin kannattaa siirtyä suoraan ledivalaisimiin. Korvaavat lamput ovat siis eräänlainen välikausituote.

Mittausten perusteella korvaavat lamput toimivat hyvin elohopealamppujen tilalla. Ledilampuja kytkettäessä tulee kyllä muistaa ottaa kondensaattorit pois liitinlaitteesta.

Työssä tehtyjen laskelmien ja mittausten perusteella voidaan päätellä, että tulevaisuudessa ledilamput tulevat olemaan yleisimpiä elohopealamppujen korvaavia tuotteita, erityisesti kun ledien kehityksen myötä niiden tehot paranevat ja hinnat laskee.

Lähteet

- 1 Implementation guide lighting. 2015. energiamerkintä ja ecodesign direktiivien täytäntöönpanemisohjeet valaistukselle
<<https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Implementation%20Guide%20Lighting.pdf> > Julkaistu 7.2015. Luettu 20.5.2016.
- 2 täytäntöönpano ohjeita valaistukselle <<https://ec.europa.eu/energy/en/content/consumer-guide-lighting> > Julkaistu 7.2015. luettu 20.5.2016.
- 3 Euroopan yhteisöjen komissio. 2009. KOMMISSION ASETUS (EY) N:o 245/2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2005/32/EY täytäntöönpanemisesta loistelamppujen, joissa ei ole sisäistä virranrajoitinta, suurpainepurkauslamppujen sekä virranrajoittimien ja valaisimien, joissa voidaan käyttää tällaisia lamppuja, ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta. <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R0245&qid=1480074616591&from=FI>> Julkaistu 18.3.2009. Luettu 20.5.2016.
- 4 Main brochure Eye lighting catalog. Eye Valaistuksen katalogi jossa näkyy EU:ssa ja UK:ssa saatavilla olevat Eye merkkiset lamput
<<http://www.eyelighting.co.uk/public/images/pdf/brochures/MainBrochure.pdf>> Julkaistu 2.2008. Luettu 20.8.2016.
- 5 Eye cera arc. Katalogi vuodelta 2013 sisältää tietoja Eye Iwasaki keraamisista monimetallilampuista. (luettu 28.11.2016)
<<http://www.eyelighting.co.uk/public/images/pdf/brochures/CeraArc2013.pdf>> Julkaistu 13.3.2013. Luettu 28.11.2016.
- 6 Tiehallinnon julkaisemat tievalaistuksen suunnittelu ohjeet vuodelta 2006
<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100034-v-06tievalaist_suunn.pdf> Julkaistu 24.4.2006. Luettu 20.5.2016.
- 7 Euroopan komission energiategohkuusdirektiivin täytäntöönpanoasetus 245/2009 englanniksi <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009R0245-20100413>> Julkaistu 24.3.2009. Päivitetty 24.4.2010. Luettu 4.12.2016.
- 8 euroopan komission asetus 1194/2012 ekosuunnitteludirektiivin 2009/125/EY täytäntöönpanemisesta suunnattujen lamppujen, loistediodilamppujen ja niihin liittyvien laitteiden ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta suomeksi <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R1194>> Julkaistu 12.12.2012. Luettu 29.11.2016.
- 9 euroopan komission asetus 1194/2012 ekosuunnitteludirektiivin 2009/125/EY täytäntöönpanemisesta suunnattujen lamppujen, loistediodilamppujen ja niihin liittyvien laitteiden ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta englanniksi <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R1194>> Julkaistu 12.12.2012. Luettu 29.11.2016.
- 10 Museum of electrical lamp technology: nettisivu joka käsittelee sähkölamppujen historiaa
<<http://www.lamptech.co.uk/>> Julkaistu 2002–20016. luettu 29.11.2016.
- 11 Rantakallio Antti & Ylinen Anne. Kuntaliitto 15.3.2011 Elohopealamput pois –mitä tilalle

ja millä hinnalla?

<http://www.lightinglab.fi/ekovalo/News/3_ylinen_rantakallio_elohopealamput_pois.pdf>
Julkaistu 15.3.2011. Luettu 20.10.2016.

- 12 Creasysin Bolero 180 Maissintähkälamput LED <<http://www.creasysled.com/tuote-osasto/led-lamput-bolero180/>> Luettu 27.4.2016.
- 13 Creasysin Bolero Maissintähkälamput LED <<http://www.creasysled.com/tuote-osasto/led-lamput-bolero/>> luettu 27.4.2016.
- 14 Creasysin Bolero lite Maissintähkälamput LED <<http://www.creasysled.com/tuote-osasto/led-lamput-bolero-lite/>> luettu 27.4.2016.
- 15 Ecotale Cosmo LED lamput <<http://valotuotteet.fi/tuotteet/led-lamput-cosmo>> Luettu 1.12.2016.
- 16 Feilo Sylvania Relumina keraaminen monimetallilamppu elohopealamppua korvaamaan. luettu <<http://www.sylvania.fi/lamput/monimetallilamput/item/662-relumina>> Luettu 1.12.2016.
- 17 Relumina 55W keraaminen monimetallilamppu elohopealamppua korvaamaan. <<http://www.feilosylvania.com/product/en-INT/products/0020240>> Luettu 1.12.2016.
- 18 Relumina 85W keraaminen monimetallilamppu elohopealamppua korvaamaan. <<http://www.feilosylvania.com/product/en-INT/products/0020241>> Luettu 1.12.2016.
- 19 Relumina 150W keraaminen monimetallilamppu elohopealamppua korvaamaan. <<http://www.feilosylvania.com/product/en-INT/products/0020242>> Luettu 1.12.2016.
- 20 NH150CE&EN suurpainenatriumlampun datalehti <http://www.eyelighting.com/_ce/pagecontent/documents/tech-bulletins/lamps/HPSDONE/NH150CE-EN.pdf> Julkaistu 10.2.2010. Luettu 1.12.2016.
- 21 HF100PD elohopealamput datalehti <http://www.eyelighting.com/_ce/pagecontent/documents/tech-bulletins/lamps/Mercury/HF100PD.pdf> luettu 4.12.2016.
- 22 CM150/U/837/MOG/EN EYE CERA ARC lampun datalehti <http://www.eyelighting.com/_ce/pagecontent/documents/tech-bulletins/lamps/Ceramic%20Metal%20Halide%20DONE/CM150-U-837-MOG-EN.pdf> Julkaistu 8.6.2009. Luettu 4.12.2016.
- 23 Relumina 55W korvaava keraaminen monimetallilamppu datalehti <<http://www.feilosylvania.com/product/en-INT/pdf/DataSheet/0020240>> luettu 5.12.2016.
- 24 MF400-U Eye multi metal lampun datalehti <http://www.eyelighting.com/_ce/pagecontent/documents/tech-bulletins/lamps/Metal%20Halide%20DONE/MF400-U.pdf> Julkaistu 6.5.2007. Luettu 25.11.2016.

- 25 Ekosuunnitteludirektiivistä taustatietoja
<<http://www.motiva.fi/taustatieto/ohjauskeinot/direktiivit/ekosuunnitteludirektiivi>> Sivu päivitetty 2.11.2016. Luettu 2.12.2016.
- 26 Euroopan unionin ekosuunnitteludirektiivi (2009/125/EY) <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125&from=en>> Julkaistu 21.10.2009. Luettu 20.11.2016.
- 27 ekosuunnitteludirektiivi eri kielillä <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:32009L0125>> Julkaistu 21.10.2009. Luettu 20.11.2016.
- 28 Tekniikka & Talous lehti Harri Repo Tievalojen vaihdosta maksetaan miljoonalasku (22.3.2010) <<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/2010-03-22/Tievalojen-vaihdosta-maksetaan-miljoonalasku-3286965.html>> Julkaistu 22.3.2010. Luettu 12.12.2016.
- 29 Tievalaistus/sähkö-tiedote nro 7B YLEISILLÄ TEILLÄ KÄYTETTÄVÄT VALAISIMET
Julkaisija: Tiehallinto, Tekniset palvelut 26.11.2004
<alk.tiehallinto.fi/thohje/ttiens/tvaltd7b04.pdf> Julkaistu 26.11.2004. Luettu 5.7.2016.
- 30 Zheludev Nikolay The life and times of the LED — a 100-year history
<<http://www.nanophotonics.org.uk/niz/publications/zheludev-2007-1tl.pdf>> julkaistu 4.2007 luettu 9.1.2017.
- 31 Zheludev Nikolay The life and times of the LED — a 100-year history. Nature photonics | VOL 1 | APRIL 2007.
- 32 Rostky George LEDs cast Monsanto in unfamiliar role
<<http://www.datamath.org/Display/Monsanto.htm>> julkaistu 13.1.2001 luettu 9.1.2017.
- 33 Monsanto MV1 - The First Successful Red LED
<<http://www.lamptech.co.uk/Spec%20Sheets/LED%20Monsanto%20MV1.htm>> luettu 9.1.2017.
- 34 Okon Thomas M. & Biard James R. The First Practical LED
<<http://edison-techcenter.org/lighting/LED/TheFirstPracticalLED.pdf>> julkaistu 11.2015 luettu 9.1.2017.
- 35 haitz's law <https://en.wikipedia.org/wiki/Haitz%27s_law> luettu 9.1.2017.
- 36 Richard Michael Graham Haitz's Law: Moore's Law for LED Lightbulbs
<<http://www.treehugger.com/clean-technology/haitzs-law-moores-law-for-led-lightbulbs.html>> julkaistu 12.11.2012 luettu 9.1.2017.