

AALTO-YLIOPISTO

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta
Elektroniikan laitos
Valaistusyksikkö

Vesa Sippola

Eco-design -direktiivin täytäntöönpanotoimenpiteiden vuoksi poistuvien
lamppujen korvaaminen ulkovalaistuksessa

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 1.3.2010

Työn valvoja Professori Liisa Halonen

Työn ohjaaja TkT Marjukka Puolakka

Tekijä: Vesa Sippola

Työn nimi: Eco-design -direktiivin
täytäntöönpanotoimenpiteiden vuoksi poistuvien
lamppujen korvaaminen ulkovalaistuksessa

Sivumäärä: 85

Päivämäärä: 1.3.2010

Tiedekunta: Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta

Professuuri: S-188 Valaistustekniikka

Työn valvoja: Professori Liisa Halonen

Työn ohjaaja: TkT Marjukka Puolakka

Tiivistelmäteksti:

Eco-design -direktiivin mukaisten asetusten seurauksena elohopealamppujen markkinoille tulo loppuu Euroopassa vuonna 2015. Näiden lamppujen tilalle on etsittävä korvaaja.

Tämän työn tarkoituksena on kartoittaa, millaista ulkovalaistusta Suomen kunnilla ja Tiehallinnolla on käytössä. Kunnille ja Tiehallinnolle tehdyn kyselytutkimuksen perusteella arvioidaan Suomen ulkovalaistuksen määrää, eri lampputyypin jakaumaa ja energiankulutusta. Kyselyn avulla selvitetään myös mm. kokemuksia LED-ulkovalaisimista ja valmistautumista elohopealamppujen vaihtotyöhön.

Lisäksi työssä selvitetään ulkovalaistuksen vaatimuksia, ympäristöarastusta ja energiansäästöpotentiaalia. Työssä tarkastellaan myös Eco-design -direktiivin mukaisten asetusten vaikutuksia ulkovalaistukseen, pohditaan erilaisia menettelytapoja elohopealamppujen vaihtotyöhön sekä arvioidaan vaihdon aiheuttamaa työmäärää ja kustannusvaikutuksia ulkovalaistuksen kanssa toimiville tahoille.

Lopuksi luodaan katsaus markkinoilta löytyvien LED-ulkovalaisimien ominaisuuksiin ja verrataan niitä ulkovalaistuksessa käytettäviin purkauslamppuvalaisimiin. Työssä selvitetään laboratoriomittausten avulla 12 LED-ulkovalaisinmallin ominaisuuksia. Vertailun vuoksi samat mittaukset on tehty viidelle ulkovalaistuksessa käytetylle purkauslamppuvalaisimelle.

Johtopäätöksinä voidaan todeta, että Suomessa kunnilla ja Tiehallinnolla on ulkovalaistuksessa arviolta vajaat 700 000 elohopealamppuvalaisinta. Näillä näkymin ne korvataan 5 – 15 vuoden kuluessa etupäässä suurpainenatriumlampuilla ja muilla purkauslamppuilla. Jotkut LED-ulkovalaisimet pystyvät kuitenkin jo nyt haastamaan purkauslamppuvalaisimia valotehokkuudessa ja valonjaon ominaisuuksissa. LED-ulkovalaistuksen laajempaa käyttöä hidastavat tällä mm. korkeat hankintakustannukset sekä valaistuksen hoidon suunnittelun vaikeus.

Avainsanat: elohopealamppu, suurpainenatriumlamppu, monimetallilamppu, LED-valaisin, Eco-design -direktiivi

Author: Vesa Sippola

Name of the work: Replacement of Lamps in Outdoor Lighting Due to the Implementing Measures of the Eco-design –directive
Number of pages: 85

Date: 1.3.2010

Faculty: Department of Electronics / Lighting Unit

Professorship: S-188 Lighting Technology

Supervisor: Professor Liisa Halonen

Instructor: D.Sc Marjukka Puolakka

Abstract text:

The placing on the market of mercury vapour lamps comes to the end in Europe in 2015 because of the regulation corresponding with Eco-design directive. These lamps have to be replaced with other lamps.

The purpose of this thesis is to investigate what kind of outdoor lamps are used in Finnish municipalities and Road Administration. The amount of lamps, the distribution of lamp types and energy consumption in outdoor lighting were estimated on ground of an inquiry. Experiences of LED outdoor lamps and preparation for replacement of mercury vapour lamps are also explained in the inquiry.

That work also explains requirements, environmental stresses and energy-saving potential of outdoor lighting. The work also examines the impacts of Eco-design Directive regulations to outdoor lighting, discusses the different methods for replacing mercury vapour lamps, and estimates lamp replacement workload and costs for outdoor lighting actors.

Finally there is an overview of features of LED outdoor lamps in market. They are compared to discharge lamps which are also used in outdoor lighting. In that work 12 LED outdoor lamps are researched by the laboratory measurements. In comparison equal measurements have done to five discharge lamps used in outdoor lighting.

As a conclusion in Finland municipalities and the Road Administration have nearly 700 000 mercury vapour lamps. It seems like mostly high pressure sodium lamps and other discharge lamps will replace them in 5-15 years. Some LED outdoor lamps are already able to challenge discharge lamps in luminous efficacy and light distribution properties. High costs and lamp service planning difficulties reduce wider use of LED outdoor lamps.

Keywords: mercury vapour lamp, high pressure sodium lamp, metal halide lamp, LED-lamp, Eco-design –directive

Alkulause

Tekesin Kestävä yhdyskunta –teknologiaohjelman tavoitteena on rakennusten ja yhdyskuntien energiatehokkuuden parantaminen. Aalto-yliopiston Teknillisen korkeakoulun Elektroniikan laitoksen Valaistusyksikkö on toiminut koordinaattorina ohjelman Ekovalo- ja Solar-Led –projekteissa. Ekovalo-projektin eräs tavoite on ollut löytää sopivia toimintamalleja, kun elohopealamput poistuvat ulkovalaistuksessa. Solar-Led –projektissa mm. seurataan LED-valaisimien kehitystä ja etsitään laadukkaita LED-valaistusratkaisuja. Tämä työ liittyy molempiin projekteihin.

Tekesin lisäksi projekteihin on osallistunut useita yrityksiä ja kuntia. Kiitän projektin yhteistyökumppaneita sekä monia muita valaisinmarkkinoilla toimivia yrityksiä ja rakennuttajia, jotka ovat mahdollistaneet työn eteenpäin menemisen osallistumalla kyselyihin, hankkimalla materiaalia mittauksiin ja jakamalla arvokasta tietämystä.

Haluan kiittää myös Valaistusyksikön työntekijöitä sekä erityisesti ohjaaja Marjukka Puolakkaa ja valvoja professori Liisa Halosta opastuksesta ja ohjauksesta työn aikana.

Kotijoukoille Paulalle ja Valterille kuuluvat erityiset kiitokset kannustuksesta ja tuesta.

Espoossa maaliskuun 1. päivänä 2010

Vesa Sippola

Sisällysluettelo

Alkulause.....	4
Symboli- ja lyhenneluettelo.....	7
1 Johdanto.....	9
2 Ulkovaistus Suomessa.....	10
2.1 Kunnille tehty ulkovaistuskysely.....	10
2.2 Kyselyn tulokset.....	10
2.2.1 Valaisimien lukumäärä.....	10
2.2.2 Energiankulutus.....	14
2.2.3 Valaistuksen ohjaus.....	14
2.2.4 Valaisinten vaihtotyö.....	14
2.2.5 LED-valaisinasennukset.....	15
2.3 Ulkovaistus Suomessa.....	15
2.3.1 Ulkovaistuksen valaisimien määrä Suomessa.....	15
2.3.2 Ulkovaistuksen energiankulutus.....	16
2.3.3 Ulkovaistuksen vuosittainen päälläoloaika.....	16
3 Ulkovaistuksessa käytetyt valonlähteet ja tekniikka.....	18
3.1 Ulkovaistuksen vaatimukset.....	18
3.2 Valonlähteet.....	19
3.2.1 Purkauslamput.....	19
3.2.2 Valonlähteiden ominaisuuksien vertailu.....	20
3.3 Ulkovalaisimien rakenne ja ominaisuudet.....	20
3.3.1 Optiikka ja rakenne.....	20
3.3.2 Asennettavuus ja huollettavuus.....	21
3.3.3 Liitäntälaitteet.....	21
3.3.4 Ohjaus- ja säätömahdollisuudet.....	22
3.3.5 Ulkovaistuksen säätö.....	23
3.3.6 Kaapelit, pylvää ja muut varusteet.....	24
4 Valaistukseen liittyvä Eco-design -direktiivi ja sen pohjalta tehdyt asetukset.....	25
4.1 Valaistustuotteiden energiatehokkuuteen ja muihin ympäristövaikutuksiin liittyviä eurooppalaisia säädöksiä.....	25
4.1.1 Direktiivien vaikutuskeinot kansallisella tasolla.....	26
4.1.2 Direktiivien valvonta.....	26
4.2 Eco-design -direktiivin taustaa.....	27
4.3 Eco-design -direktiiveistä asetuksiksi.....	28
4.4 Eco-design -direktiivin pohjalta tehtyjen valaisimia koskevien asetusten sisältö	29
4.4.1 Palvelusektorin valaistustuotteita koskevan asetuksen tehokkuusvaatimukset lamput ja liitäntälaitteille.....	29
4.4.2 Uusien asetusten toiminnalliset vaatimukset.....	31
4.4.3 Uusien asetusten tuotetietovaatimukset.....	32
4.5 Asetusten vaikutukset ulkovaistukseen.....	32
4.6 Pohdintoja Eco-design -direktiivin ja asetusten vaikutuksista.....	32
5 Ulkovaistuksen energiankulutus ja ympäristövaikutukset.....	34
5.1 Valaistuksen energiankulutus.....	34
5.2 Valaistuksen ympäristövaikutukset elinkaaren aikana.....	34
5.2.1 Hiilidioksidipäästöt ja hiilijalanjälki.....	35
5.2.2 Hiilidioksidipäästöjen vähentämisspyrkimykset ja päästöjen kehitys.....	36
5.3 Ulkovaistuksen energiansäästöpotentiaali.....	38
5.3.1 Valonlähteen vaihtamisen tuoma energiansäästö.....	38
5.3.2 Muut säästötoimenpiteet ulkovaistuksessa.....	38
5.4 Valaistuksessa toteutettuja energiansäästötoimenpiteitä.....	38

5.5	Muut valaistuksen aiheuttamat ympäristövaikutukset	39
5.5.1	Ultraviolettisäteily ja valosaaste	39
5.5.2	Elohopea	39
6	Elohopealampujen ja muiden markkinoilta poistuvien valonlähteiden korvaaminen käytännössä.....	41
6.1	Eri valonlähteiden mahdollisuudet korvata elohopealamput ulkovalaistuksessa 41	
6.1.1	Suurpainenatriumlamppu.....	41
6.1.2	Monimetallilamppu.....	41
6.1.3	Muut lamput.....	41
6.2	Eri menetelmiä valonlähteiden vaihtotyössä.....	42
6.2.1	Elohopealampun vaihto muihin valonlähteisiin valaisinta vaihtamatta... 42	
6.2.2	Valonlähteen ja liitäntälaitteen vaihto	43
6.2.3	Valaisimen vaihto	43
6.2.4	Koko alueen valaistuksen uusiminen.....	43
6.3	Ulkovalaistuksen vaihtotyön aiheuttamat toimenpiteet kunnissa	44
6.3.1	Elohopealampujen vaihtotyön aikataulu.....	44
6.3.2	Toimintatavat eri alueilla elohopealamppuja korvattaessa	44
6.3.3	Muiden markkinoilta poistuvien lampumallien vaihtotyö.....	44
6.4	Valaisinten vaihtotyön kustannukset.....	45
6.4.1	Esimerkkilaskelma Jyväskylästä ja Kuopiosta	45
6.5	Näkökulmia valaisinten vaihtotyöhön.....	47
7	LED-valonlähteet ulkovalaistuksessa.....	49
7.1	Tekniikka ja ominaisuudet	49
7.1.1	LED-komponentin rakenne.....	49
7.1.2	Valon ominaisuudet	50
7.1.3	Optiikka	51
7.1.4	Lämmönhallinta	52
7.1.5	LED-ulkovalaisimen rakenne	52
7.2	Kokemuksia LED-asennuksista Suomessa	52
7.2.1	Markkinat.....	52
7.2.2	LED-ulkovalaisinmalleja	53
7.2.3	LED-ulkovalaisinasennuksia Suomessa	55
7.3	Ulkovalaisimien mittaukset TKK:n Valaistusyksikössä.....	57
7.3.1	Mittausmenetelmät.....	62
7.3.2	Valontuotto ja valon ominaisuudet	62
7.3.3	Valaisimien optiikka	63
7.3.4	Valaisimien rakenne.....	64
7.3.5	Säätöominaisuudet	64
7.3.6	Valonjako-ominaisuudet.....	64
7.3.7	Muiden ulkovalaisimien mittaukset.....	66
7.3.8	Koeasennusten mittaukset.....	69
7.3.9	Pohdintoja LED-valaisinten mittaustuloksista.....	70
7.4	LED-ulkovalaisintestauksia ulkomailla	71
7.4.1	Saksa Darmstadt	71
7.5	Yhteenvedo LED-ulkovalaisimista	72
8	Yhteenvedo.....	74
	Lähteet.....	76
	Liite 1 Kunnille ja Tiehallinnolle tehdyn kyselyn lomake	81
	Liite 2 TKK:lla vuonna 2009 mitattujen LED-ulkovalaisimien valonjakokäyrät.....	83
	Liite 3 TKK:lla vuonna 2009 mitattujen purkauslamppuvalaisimien valonjakokäyrät ..	85

Symboli- ja lyhenneluettelo

Symbolit

E	Valaistusvoimakkuus (lx)
E_{gl}	Valaistusvoimakkuus silmän pystysuoralla tasolla (lx)
E_m	Keskimääräinen valaistusvoimakkuus (lx)
E_{min}	Valaistusvoimakkuuden minimiarvo (lx)
L	Luminanssi (cd/m^2)
L_m	Keskimääräinen luminanssi (cd/m^2)
L_{seq}	Harsoluminanssi (cd/m^2)
U_o	Yleistasaisuus luminanssille tai valaistusvoimakkuudelle
U_l	Pitkittäistasaisuus luminanssille
θ	Näkemisen kohteen ja valonlähteen välinen kulma

Lyhenteet

DOE	U.S.Department Of Energy, Yhdysvaltain energiainisteriö
CELMA	Eurooppalaisten valaisinvalmistajien yhteisö
ESCO	Energy Service Company, Energiatehokkuuden parantamiseen sitoutunut yritys
EuP	Energy Using Products, Energiaa käyttävät tuotteet
ErP	Energy Related Products, Energiaan liittyvät tuotteet
Cenelec	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique, Eurooppalainen sähköalan standardisointijärjestö
GPRS	General Packet Radio Service, Pakettikytkentäisen tiedonsiirron järjestelmä GSM-verkossa
GSM	Global System for Mobile communication, Matkapuhelinjärjestelmä
IEA	International Energy Agency, Kansainvälinen energiajärjestö
HFC-yhdiste	Vetyä, fluoria ja hiiltä sisältävä yhdiste
IES	Illumination Engineering Society of North America, Pohjois-Amerikan valaistusalan järjestö
LED	Light Emitting Diode, Loistediodi
LON	Local Operating Network. Väyläohjausjärjestelmä
LOR	Luminaire light Output Ratio, Valaisimen hyötysuhde
M	Monimetallilamppu, standardin IEC 1231:1993 International lamp coding system (ILCOS) mukainen merkintä
MEEuP	Methodology Study Eco-design of Energy-using Products, Menetelmä energiaa käyttävien tuotteiden ekosuunnittelun taustaraportin tekemiseksi
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development, Maailman taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö
PLC	Power Line Communications, Yleisnimitys sähkönjakeluverkossa toimivasta tiedonsiirtojärjestelmästä
Q	Elohopealamppu, standardin IEC 1231:1993 International lamp coding system (ILCOS) mukainen merkintä
RGB	Red Green Blue, Valkoisen valon tuottamiseen punaisen, vihreän ja sinisen valon yhdistelmänä

RoHS	Restriction of Hazardious Substances, vaarallisten aineiden käytön rajoittaminen
S	Suurpainenatriumlamppu, standardin IEC 1231:1993
SR	International lamp coding system (ILCOS) mukainen merkintä
SR	Surround Ratio, Ympäristön valaisu suhteessa valaistavaan tienpintaan
TI	Treshold Increment, Kynnyskontrastin kasvu häikäisyn arviointimenetelmässä
UV	Ultravioletti

1 Johdanto

Suomessa oli vuonna 2008 yli 78 000 km Tiehallinnon ylläpitämiä yleisiä maanteitä, joista 16 % on valaistu. Maanteiden lisäksi Suomessa on noin 26 000 km kuntien ylläpitämiä katuja, tuhansia kilometrejä kevyen liikenteen väyliä, lukuisia puistoja, aukioita ja muita valaistavia kohteita (Tiehallinto 2009b). Kaikkiaan kunnilla ja Tiehallinnolla on 1,3 miljoona ulkovalaistusyksikköä. Noin puolet näistä ulkovalaisimista on elohopealamppuja (luku 2).

Ulkovalaistuksen tekniikka on vuosikymmenien myötä vakiintunutta ja sen aiheuttamat kustannukset ja energiankulutus ovat olleet vuodesta toiseen hyvin ennustettavissa. Vaikka ulkovalaistuksen kuluttama energia on julkiselle sektorille suuri kustannustekijä, on pelkästään energiansäästötoimenpiteiden ja rahansäästön vuoksi suuria valaisinvaihto-operaatioita ollut vähän. Vaihdot ovat pääosin tapahtuneet silloin kun valaisin on tullut elinkaarensa päähän tai kun valaisimia on jouduttu muutoin vaihtamaan ympärillä olevien tierakenteiden muuttumisen vuoksi. Toisaalta säästöjä on haettu mm. sammuttamalla valaisimia liikenteeltään hiljaiseen vuorokaudenaikaan.

Vuonna 2009 Euroopan Unionin komissio teki energiatehokkuus- ja hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoitteiden vuoksi uusia asetuksia, jotka vaikuttavat voimakkaasti ulkovalaistukseen. Palvelusektorin valaistustuotteita koskeva Komission asetus rajoittaa tiettyjen suurpaineisten purkauslamppujen ja niiden liitäntälaitteiden markkinoille tuloa (EU 2009).

Uudet asetukset aiheuttavat runsaasti päänvaivaa ulkovalaistuksesta vastaaville toimijoille. Elohopealamput tulevat poistumaan markkinoilta ja niille on löydettävä sopivat ja edulliset korvaavat valonlähteet. Toisaalta asetusten myötä on mahdollisuus energiansäästöihin sekä kokeilla valaistuksessa käytettyjä uusia teknologioita. Erityisesti asuinalueille, puistoihin ja kevyenliikenteen väylille sopivaa elohopealamppun korvaajaa mietitään vielä monessa kunnassa. Oma haasteensa on saada toteutettua valaisinten vaihtotyö sellaisella aikataululla, että elohopealamppujen poistuminen vuonna 2015 ei vaikuttaisi ulkovalaistuksen toimintaan. Jotkut kunnat ovat jo aloittaneet vaihtotyöt, toiset vielä miettivät menettelytapojaan.

Tässä työssä hyödynnetään TKK:n Valaistusyksikössä keväällä 2009 kunnille ja Tiehallinnolle tehtyä kyselyä, jossa kysyttiin ulkovalaistukseen liittyviä tunnuslukuja ja tulevaisuuden suunnitelmia. Kyselyn tuloksia esitellään luvussa 2. Lisäksi työssä kerrotaan, millaista ulkovalaistusta kunnat ja Tiehallinto käyttävät, mitä uudet EuP-direktiivit ja sen pohjalta tehdyt asetukset vaikuttavat ulkovalaistukseen ja miten niiden tuloon on valmistauduttu. Valaisinten energiatehokkuudesta ja ilmastovaikutuksista kerrotaan luvussa 5.

Samaan aikaan kun vanhasta teknologiasta joudutaan luopumaan, kehitetään valaistuksessa kuumeisesti uusia teknologioita. Esimerkiksi LED-tekniikan kehitys on tuonut markkinoille monia uusia valaisinmyyjiä ja -valmistajia. Työn lopussa paneudutaan LED-ulkovalaisimiin. Luvussa 7 kerrotaan, millaisia tuotteita markkinoilta on saatavissa ja kuinka ne soveltuvat laadukkaaseen ulkovalaistukseen. TKK:n Valaistusyksikössä on tehty kahdelletoista LED-ulkovalaisimelle perusteelliset valaistusominaisuuksien mittaukset, joiden tulokset esitetään luvussa 7. Vertailun vuoksi mitattiin myös kolme suurpainenatriumlamppuvalaisinta ja kaksi monimetallilamppuvalaisinta.

2 Ulkovalaistus Suomessa

2.1 Kunnille tehty ulkovalaistuskysely

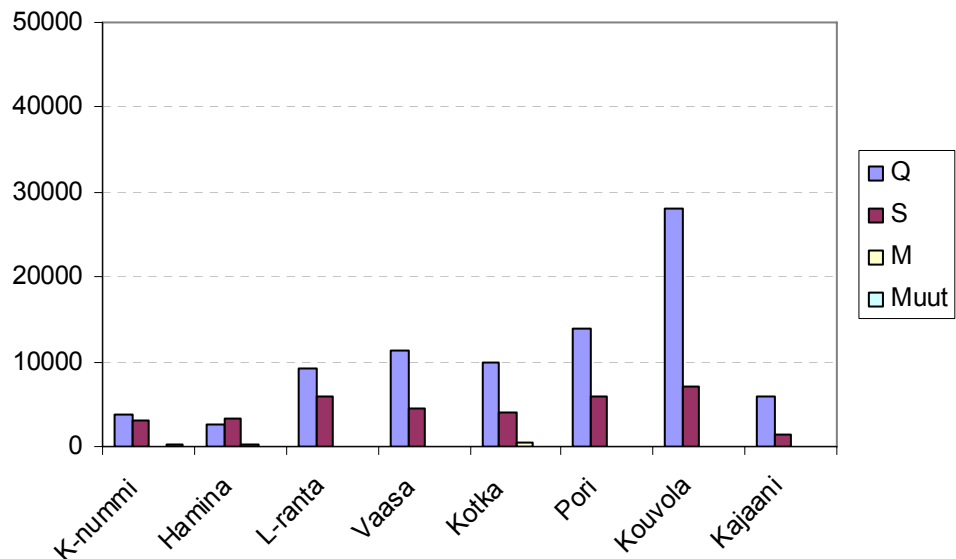
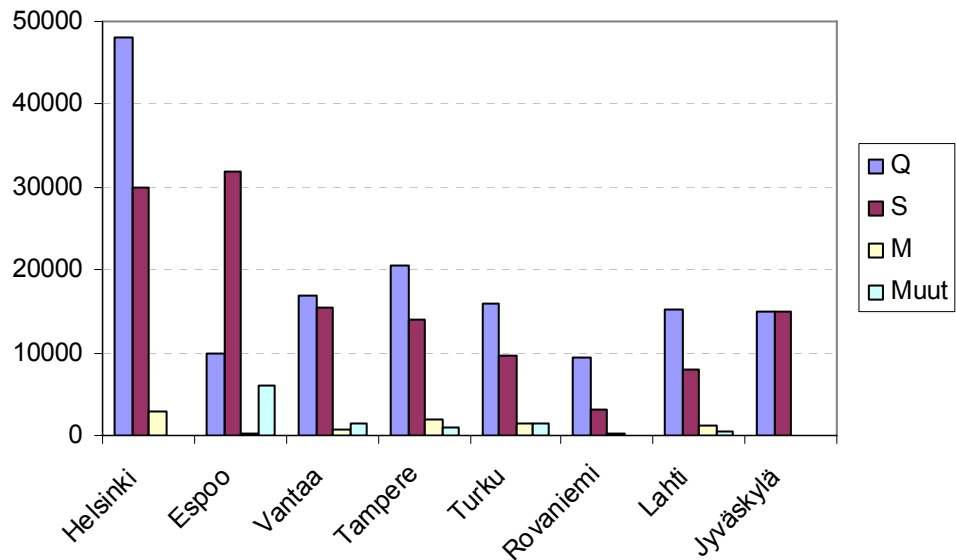
TKK:n Valaistusyksikkö teki keväällä 2009 kymmenille kunnille ja Tiehallinnolle kyselytutkimuksen ulkovalaistuksesta. Kyselylomake on liitteessä 1.

Kyselyssä tiedusteltiin eri valonlähteiden määristä, valaisimien tehoista, valaistukseen kuluneesta sähköenergiasta, valaistuksen päällöoloajoista ja ohjaustavoista sekä kokemuksista LED-valaisimista ja Euroopan Unionin uusien asetusten aiheuttamasta ulkovalaisinten vaihtotyöstä kunnissa. Lokakuuhun 2009 mennessä kyselyyn vastasi 13 kuntaa ja Tiehallinto. Vastanneita kuntia ovat Helsinki, Espoo, Vantaa, Tampere, Turku, Lahti, Lappeenranta, Kotka, Hamina, Kerava, Kirkkonummi, Vaasa ja Rovaniemi.

2.2 Kyselyn tulokset

2.2.1 Valaisimien lukumäärä

Kyselyyn vastanneiden tahojen ulkovalaisimien yhteismäärä on 555 869 kpl. Valaisimissa valonlähteenä on elohopealamppuja 38 %, suurpainenatriumlamppuja 56 %, monimetallilamppuja 1,8 % ja muita lamppuja 3,3 %. Kuvassa 1 on esitetty kyselyssä mukana olleiden kaupunkien ulkovalaistuksen lamppumäärät. Kuvassa on myös Jyväskylän, Porin, Kouvolan ja Kajaanin lamppujen määrät seminaarityöstä Ulkovalaistuksen energiankäyttö ja valaistustavat eri kaupungeissa (Koikkalainen 2009).



Kuva 1 Ulkovalaistuksen lamppujen määrät eri kaupungeissa Q = elohopealamppu, S = suurpainenatriumlamppu ja M = monimetallilamppu

Jyväskylässä, Kajaanissa, Kouvolassa ja Porissa ulkovalaisimia on yhteensä 92 224, joista 62 733 kappaletta eli 68 % on elohopeavalaisimia ja loput 29 491 kappaletta eli 32 % on suurpainenatriumlamppuja. Ulkovalaistuksen energiankulutus Jyväskylässä, Kajaanissa ja Porissa on noin 31,5 GWh (Koikkalainen 2009). Muista lähteistä on saatu Oulun (Alatorvinen 2009), Joensuun, Hyvinkään ja Riihimäen (Hartikainen 2009) ulkovalaisimien määrät. Näissä kunnissa on 64 349 ulkovalaisinta. Elohopealamppuja Oulussa ja Hyvinkäällä on yhteensä 34 000 eli 79 % kaikista ulkovalaisimista. Taulukossa 1 on yhteenvetona kaikista eri lähteistä saadut ulkovalaistuksen tiedot.

Taulukko 1 Eri kaupunkien ja Tiehallinnon ulkovalaisimien määrät sekä vuotuinen energiankulutus ja päälläoloaika.

	Valaisimet					Energian- kulutus (GWh)	Vuotuinen käyttöaika (h)
	Elohopea- lamppu	Suurpainena- triuml.	Moni- metallil.	Muut	Yhteensä		
Helsinki	48000	30000	3000		81000	55	4000
Espoo	10000	32000	200	6000	48200	27,3	3900
Vantaa	16895	15350	710	1557	34512	19	3900
Tampere	20500	14000	2000	1000	37500	20,3	3870
Turku	16000	9700	1500	1350	28550	17,1	3980
Rovaniemi	9365	3127	132		12624	5,51	3500
K-nummi	3717	3016	8	179	6920	4,5	3990
Hamina	2500	3400	300		6200	4,7	
L-ranta	9200	5855	100	100	15255	10	3925
Vaasa	11310	4490			15800	8,59	3900
Lahti	15310	7986	1165	447	24908	12,6	4000
Kotka	10000	4000	400		14400	9,2	4000
Jyväskylä	15000	15000			30000	15	3900
Pori	13911	5986			19897	11,9	3800
Kouvola	28000	7000			35000		
Kajaani	5822	1505			7327	4,58	3653
Oulu	25000				30000		
Hyvinkää	9000				13000		
Joensuu					14349		
Riihimäki					7000		
Tiehallinto	41100	180700	700	7500	230000	150	4000
Yhteensä	310630	343115	10215	18133	712442	375,28	

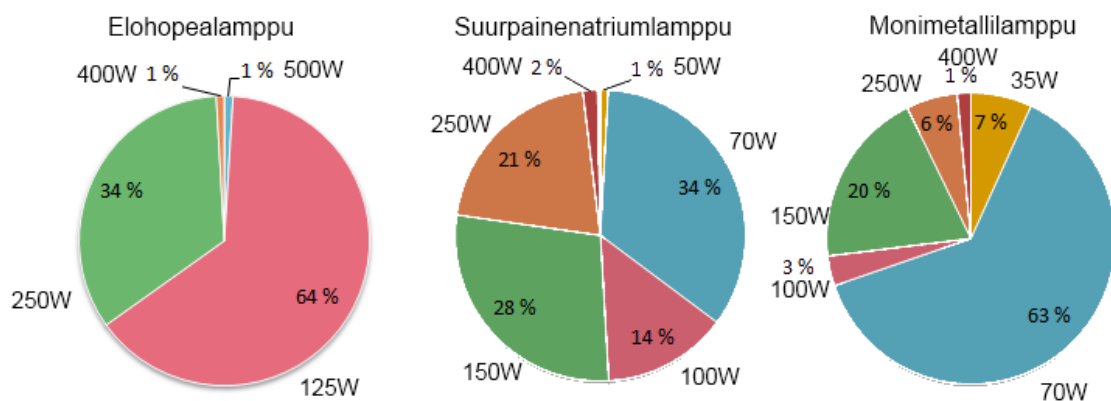
Tiehallinnon valaisimien määrä on yli kolmannes taulukon 1 kaikkien valaisimien määrästä. Koska Tiehallinnolla suurpainenatriumlamppuvalaisimia on yli neljä kertaa enemmän kuin elohopealamppuvalaisimia, on koko kyselyssä suurpainenatriumlamppuvalaisimia eniten. Tyypillinen ulkovalaisimien valonlähteiden jakauma suomalaisessa kunnassa kuitenkin on, että yli puolet valaisimista on elohopealamppuvalaisimia. Suurpainenatriumlamppuja on jonkin verran vähemmän ja muita lamppuja muutama prosentti. Vain kahdessa kyselyyn vastanneissa kunnassa Espoossa ja Haminassa suurpainenatriumlamppuvalaisimia on enemmän kuin elohopealamppuvalaisimia.

Muista valonlähteistä yksittäisiä suuria ryhmiä ovat Tiehallinnon 7500 pienpainenatriumlamppua ja Espoon kaupungin noin 6000 induktiolamppua. Muutamassa kaupungissa on yhteensä noin 3000 loistelamppua. Loistelamppuja käytetään enimmäkseen erikoiskohteissa, kuten siltojen ja muurien valaisussa.

Kyselyssä vain neljä kuntaa ilmoitti lampputehojen jakaumat, jotka on esitetty taulukossa 2. Näissä kunnissa elohopealamppujen yleisin lampputeho on 125 W. Niitä on 64 % kaikista elohopealampuista. 34 % elohopealampuista on teholtaan 250 W. Suurpainenatriumlamppujen tehoissa on enemmän hajontaa. Yleisin teho on 70 W, mutta 150 W lamppuja on lähes yhtä paljon. Monimetallilampuista yleisin teho on 70 W.

Taulukko 2 Ulkovalaistuksen lamppujen tehojakaumat neljässä eri kunnassa

Valonlähde	Teho [W]	Helsinki	Vantaa	Lappeenranta	Lahti	Yhteensä	%- osuus kaikista lamputa
Elohopealamppu	50				31	31	0,02
	80		630		209	839	0,54
	125	24000	14500	6400	12498	57398	36,87
	250	24000	1700	2200	2435	30335	19,49
	400		65	600	137	802	0,52
	Yhteensä		48000	16895	9200	15310	89405
Suurpainenatriumlamppu	50		250		2	252	0,16
	70		5800	1800	2419	10019	6,44
	100		2100	365	1594	4059	2,61
	150		4000	1900	2321	8221	5,28
	250		3200	1700	1175	6075	3,90
	400			90	384	474	0,30
	210				91	91	0,06
Yhteensä		30000	15350	5855	7986	59191	38,02
Monimetallilamppu	35		130		4	134	0,09
	70		380	100	763	1243	0,80
	100		40		26	66	0,04
	150		160		229	389	0,25
	250				113	113	0,07
	400				30	30	0,02
Yhteensä		3000	710	100	1165	4975	3,20
Muut							
Induktiolamppu			15			15	0,01
Loistelamppu			1500		435	1935	1,24
LED			27			27	0,02
Halogeenilamppu			15		12	27	0,02
Muut yhteensä			1557	100	447	2104	1,35
Kaikki yhteensä		81000	34512	15255	24908	155675	



Kuva 2 Ulkovalaistuksen lamppujen tehojakauma Vantaalla, Lappeenrannassa ja Lahdessa. Elohopealamppujen osalta myös Helsingin lamppujen määrä on otettu huomioon.

2.2.2 Energiankulutus

Kyselyn kunnat ja Tiehallinto käyttävät energiaa ulkovalaistukseen vuosittain yhteensä 343,8 GWh. Ulkovalaistuksen vuotuinen käyttöaika on 3500 – 4000 h. Lamppujen ryhmävaihtovälit ovat keskimäärin elohopealampuilla 3,3 vuotta, suurpainenatriumlampuilla 4,2 vuotta, monimetallilampuilla 2,7 vuotta, pienpainenatriumlampuilla 3 vuotta ja induktiolampuilla 18 vuotta. Monessa kunnassa lamppujen yksittäisvaihtokierroksia tehdään kerran vuodessa syksyllä. Joissakin kunnissa yksittäisvaihtoja tehdään jatkuvasti tarpeen mukaan.

2.2.3 Valaistuksen ohjaus

Energiansäästön vuoksi noin puolet kyselyn kunnista vähentää ulkovalaistuksen energiankulutusta sammuttamalla valoja hiljaisen liikenteen aikaan. Esimerkiksi talvella sammutetaan joka toinen ulkovalaisin yöajaksi kello 23 – 6. Näin tehdään useammassa kuin joka toisessa kunnassa. Myös kesän ajaksi valojen sammuttaminen kokonaan 2,5 – 3 kuukaudeksi on yhtä yleistä. Näitä sammutustoimenpiteitä ei tehdä koko kunnan alueella, vaan ainoastaan asuntokaduilla.

Lamppujen valaistustason säädössä yleisin toimenpide on jännitteen pudottaminen. Jännitteen säätöjärjestelmiä on noin joka toisessa kyselyn kunnassa. Valaistustason säätö koskee pääasiassa asuntoalueita. Valaistustason säätö tapahtuu yleisimmin siten, että jännite pudotetaan kellon ohjaamana yöllä hiljaisen liikenteen aikaan. Yhdessä kunnassa on alueita, joilla valaisimien jännite on säädetty jatkuvasti arvoon 200 volttia. Älykkäät säätöjärjestelmät ovat koekäytössä vain parissa kunnassa. Sen sijaan Tiehallinnolla on jo toimivia älykkäitä säätöjärjestelmiä. Säätöjärjestelmien hankkimista suunnitellaan monessa kunnassa.

2.2.4 Valaisinten vaihtotyö

Euroopan Unionin uusien asetusten aiheuttamiin ulkovalaisinten vaihtoihin on jo jollain tavalla valmistauduttu melkein kaikissa kyselyn kunnissa. Muutamat kunnat ovat lopettaneet uusien elohopealamppuvalaisimien asentamisen energiatehokkuussyistä jo ennen kuin nykyisistä säädöksistä oli tietoa 1990-luvulta lähtien ja korvanneet käytöstä poistuneet elohopealamppuvalaisimet energiatehokkaammilla valaisimilla. Elohopealamppuvalaisimien vaihtotyö kestää kuntien omien arvioiden mukaan 5 – 15 vuotta.

Kun elohopealampuista joudutaan luopumaan, on korvaava lamppu useimmiten suurpainenatriumlamppu. 250 W elohopealamppu vaihdetaan 150 W suurpainenatriumlamppuun ja 125 W elohopealamppu 70 W suurpainenatriumlamppuun. Kolmessa kunnassa poistettavien lamppujen tilalle on asennettu monimetallilamppuja ja yhdessä kunnassa myös induktiolamppuja.

Valaisimen sisäpuolisten osien, kuten liitäntälaitteiden, lampunpitimen ja optiikan vaihtoa on harkittu joissakin kunnissa, mutta tällaiseen vaihtotyöhön ei ole ryhdytty. Ylivoimaisesti suurin osa kunnista aikoo vaihtaa koko valaisimen. Koko valaistuksen eli valaisinten ohella kaapeloinnin, pylväiden ja muiden varusteiden vaihtoa on tehty kahdessa kunnassa.

2.2.5 LED-valaisinasennukset

Suurin osa kyselyn kunnista on tehnyt LED-ulkovalaisinasennuksia, ensimmäiset asennukset on tehty vuonna 2007. Mikään kunta ei kuitenkaan arvele siirtyvänsä laajamittaiseen LED-valaisinten käyttöön ennen kuin kokemuksia saadaan lisää. LED-valaisinten etuina nähtiin pitkä kestoikä, energiansäästöpotentiaali tulevaisuudessa ja valonlähteen nopea syttyminen. LED-valaisimien eduiksi nähtiin myös se, että niillä valaisinkohtainen liiketunnistinohjaus on helpompaa toteuttaa kuin perinteisillä purkauslampuilla.

LED-valaisinten heikkouksia vastaajien mielestä olivat valonjako-ominaisuudet, häikäisy, valotehokkuus, luotettavuus, lämmönjohto-ominaisuudet, valovirran alenema, standardien puute, vähäiset käyttökokemukset ja kallis hinta.

2.3 Ulkovalaistus Suomessa

2.3.1 Ulkovalaistuksen valaisimien määrä Suomessa

Kyselyyn osallistuneiden 13 kunnan ja muista lähteistä saatujen kahdeksan kunnan ulkovalaisinten lukumäärä on 482 442 kpl. Näiden kuntien väkimäärä alkuvuonna 2009 oli noin 2,42 miljoonaa, mikä tekee noin 0,2 ulkovalaisinta asukasta kohti. Kun tämä suhteutetaan koko Suomen väkimäärään 5,33 miljoonaan, on Suomen kaikkien kuntien ulkovalaisinten arvioitu määrä noin 1,066 miljoonaa.

Kaikissa niissä kunnissa, joissa kyselyn vastauksissa eriteltiin lampputyypit, elohopealamppujen osuus ulkovalaisimien kokonaismäärästä on 58,5 % eli 283 000 kpl. Jos elohopealamppuvalaisimien osuudeksi arvioidaan 58,5 % Suomen ulkovalaisimista, saadaan niiden lukumääräksi noin 623 610 kpl.

Kun arvioituun kuntien ulkovalaisimien määrään lisätään vielä Tiehallinnon 230 000 valaisinta, saadaan Suomen ulkovalaisimien määräksi noin 1,3 miljoonaa. Elohopealamppuja Tiehallinnolla on 41 100 kpl. Kun se lisätään arvioituun kuntien elohopealamppumäärään, on Suomessa elohopealamppuvalaisimia noin 664 000 kpl eli noin 51,3 % ulkovalaisimista.

Suurpainenatriumlamppujen lukumäärä Suomen ulkovalaistuksessa voidaan arvioida samalla tavalla. Suurpainenatriumlamppuja kyselyn kunnissa on 171 415 kpl. Ulkovalaisimia näissä kunnissa on 461 093 kpl, jolloin suurpainenatriumlamppujen osuus on 37,18 %. Lukumääräisesti kaikkien kuntien ulkovalaisimien määrästä (1,066 miljoonaa) tuo osuus on 396 294. Kun tuohon lukuun lisätään Tiehallinnon 180700 lamppua, saadaan Suomen ulkovalaistuksen suurpainenatriumlamppujen määräksi noin 577 000 eli 44,5 % kaikista lampuista.

Tiehallinto on arvioinut Suomen ulkovalaisinten lukumääräksi vuonna 2009 0,9 – 1,1 miljoonaa (Tiehallinto 2009b). Euroopan Unionin komission Eco-desing -direktiivin taustaraportin arvion mukaan Suomen kuntien ja Tiehallinnon ulkovalaisimien määrä on 400 000 kpl, joista 40 % eli 160 000 on elohopealamppuja (Tichelen et al. 2007). Arvio perustuu eurooppalaisen valaisintuoteteollisuusyhdistyksen CELMA:n laskemiin.

Vuonna 2008 Suomessa vuosittain myytävien elohopealamppujen lukumäärän perusteella on arvioitu elohopealamppuvalaisimien kokonaismääräksi 1,5 miljoonaa (Martikainen 2009). Suurin osa elohopealamppuvalaisimista kuten muistakin purkauslamppuvalaisimista käytetään teollisuudessa. Jo vuonna 1995 purkauslamppuja Suomessa on arveltu olleen yli 2 miljoonaa, joista noin puolet on ollut teollisuudessa (Tetri 1998).

2.3.2 Ulkovalaistuksen energiankulutus

Suomen ulkovalaistuksen energiankulutusta voidaan arvioida keskimääräisen valaisimien kuluttaman energian ja arvioidun ulkovalaisimien määrän avulla. Kyselyyn osallistuneiden tahojen ja muista lähteistä saatujen kuntien valaisimien energiankulutus on 375,28 GWh. Taulukossa 3 on laskettu koko Suomen ulkovalaistuksen energiankulutukseksi 795,6 GWh vuodessa.

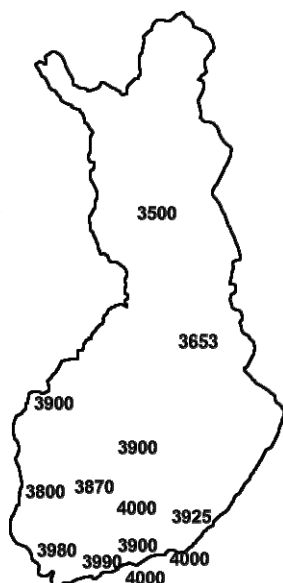
Taulukko 3 Suomen ulkovalaistuksen energiankulutuksen laskelma TKK:n kyselyn (15 kuntaa ja Tiehallinto) perusteella

Energiankulutus kyselyn perusteella	375,28 GWh/a
Ulkovalaisimien määrä kyselyn perusteella	613093 kpl
Keskimääräinen valaisinkohtainen energiankulutus	612,11 kWh/a
Arvioitu ulkovalaisimien määrä Suomessa	1300000 kpl
Arvioitu Suomen ulkovalaistuksen energiankulutus	795,74 GWh/a

Kyselyssä ei tiedusteltu ulkovalaistuksen aiheuttamia kustannuksia. Jos sähköenergian hinnaksi arvioidaan 0,1 €/kWh, saadaan taulukossa 3 arvioidun ulkovalaistuksen vuotuisen käytetyn energian hinnaksi 79 miljoonaa euroa. Energiakustannukset ovat vain osa ulkovalaistuksen aiheuttamista kustannuksista. Investointikustannukset ja huoltokustannukset ovat myös merkittäviä kustannuseriä.

2.3.3 Ulkovalaistuksen vuosittainen päälläoloaika

Kuvassa 3 on Suomen kartalle sijoitettu ulkovalaisimien vuosittaisia päälläoloaikoja kyselyyn perustuen.



Kuva 3 Ulkovalaistuksen vuosittaisia käyttöaikoja Suomessa (h/a)

Pohjoiseen mentäessä ulkovalaistuksen vuotuinen päälläoloaika on pienempi etelään verrattuna. Keskimääräinen ulkovalaisimen päälläoloaika Suomessa on kyselyn perusteella 3947 h/a. Euroopassa keskimääräinen ulkovalaistuksen vuosittainen päälläoloaika on 4150 h (Berliner Energieagentur 2006).

3 Ulkovalaistuksessa käytetyt valonlähteet ja tekniikka

3.1 Ulkovalaistuksen vaatimukset

Suomessa tievalaistuksen tarpeen arvioinnissa ja suunnittelussa käytetään yleisesti Tiehallinnon julkaisua Tievalaistuksen suunnittelu (Tiehallinto 2006). Valaistuksen vaatimusten mukaan tiet jaetaan valaistusluokkiin. Tavallisesti teiden valaistustaso määritellään näissä luokissa luminanssin perusteella. Tiehallinnon suunnitteluohjeissa käytetään AL-luokkia, jotka perustuvat standardin SFS-EN 13201-2 MEW-luokkiin. Taulukossa 4 on esitelty AL-luokan vaatimukset.

Taulukko 4 AL-tievalaistusluokat (Tiehallinto 2006)

Tie- valaistus- luokka	Tien pinnan luminanssi				Esto- häikäisy	Ympäristön valaistus
	kuiva			märkä		
	L_m cd/m ² , min	U_o min	U_l min	U_o min	TI % max	SR min
AL1	2	0,4	0,6	0,15	10	0,5
AL2	1,5	0,4	0,6	0,15	10	0,5
AL3	1	0,4	0,6	0,15	15	0,5
AL4a	1	0,4	0,4	0,15	15	0,5
AL4b	0,75	0,4	0,4	0,15	15	0,5
AL5	0,5	0,4	0,4	0,15	15	0,5

Jos luminanssiin perustuva tarkastelu ei ole käyttökelpoinen, voidaan valaistus mitoittaa Tiehallinnon ohjeiden AE-luokkien mukaan, jotka perustuvat valaistusvoimakkuustasoihin. Kevyen liikenteen väylille ja piha-alueille on omat K-luokat, jotka perustuvat myös valaistusvoimakkuustasoihin. Nämä luokat perustuvat standardin SFS-EN 13201-2 S-luokkiin. Taulukossa 5 on K-luokkien valaistusvaatimukset.

Taulukko 5 K-valaistusluokat (Tiehallinto 2006)

Luokka	E_m	E_{min}
	lx, min	lx, min
K1	15	5
K2	10	3
K3	7,5	1,5
K4	5	1
K5	3	0,6
K6	2	0,6

AL-luokissa annetaan minimiarvot keskimääräisen luminanssitason L_m lisäksi yleistasaisuudelle U_o ja pitkittäistasaisuudelle U_l . K-luokissa on listattu keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m ja valaistusvoimakkuuden minimiarvo E_{min} .

Tievalaistusluokissa kiusahäikäisyydelle ei aseteta rajoja, mutta estohäikäisyydelle AL-valaistusluokissa annetaan rajat. Estohäikäisyyden määrä tievalaistusluokissa ilmaistaan TI-

arvona (threshold increment), joka merkitsee suhteellista kynnyskontrastin kasvua eli kontrastinerotuskyvyn muuttumista (Tiehallinto 2006). Se saadaan yhtälöstä (SFS-EN 13201-3):

$$TI = 65 \frac{L_{seq}}{L_m^{0,8}} \quad (1)$$

L_{seq} on harsoluminanssi ja L_m ajoradan pinnan keskimääräinen luminanssi. Harsoluminanssi voidaan laskea yhtälön 2 avulla.

$$L_{seq} = 10 \sum_{i=1}^n \frac{E_{gl}}{\theta^2} \quad (2)$$

E_{gl} on valonlähteen tuottama valaistusvoimakkuus silmän pystysuoralle tasolle ja θ on näkemisen kohteen ja valonlähteen välinen kulma.

AL-luokissa ympäristön valaistus SR (surround ratio) ilmaisee, kuinka suuri on ajoradan vieressä olevan puolen ajoradan levyisen kaistan valaistusvoimakkuus verrattuna lähimmän ajokaistan valaistusvoimakkuuteen. Vaikka K-valaistusluokissa ei vaadita esimerkiksi kevyen liikenteen väylän ympäristön valaistukselta mitään tasoa, voi siitä huolimatta olla perusteltua valaista myös ympäristöä jo pelkästään turvallisuuden tunteen vuoksi. Kevyen liikenteen väylille ei ole vaatimuksia häikäisyn vähimmäistasolle.

3.2 Valonlähteet

3.2.1 Purkauslamput

Purkauslamput voidaan jaotella pien- ja suurpainepurkauslamppuihin. Suurpainepurkauslamppuja ovat mm. suurpainenatrium-, monimetalli-, ksenon- ja elohopealamppu. Ulkovaistuksessa suurpainepurkauslamppuja käytetään eniten. Niiden suosion takana on mm. kompakti koko, hyvä valontuotto, pitkä elinikä ja edullisuus. Perinteisellä kuristimella varustettu valaisin on säädettävissä helposti ja toiminta on tasaista erilaisissa ympäristöolosuhteissa. Huonona puolena mm. suurpainenatriumlampussa on valon väri ja värintoistoindeksi. Purkauslamppujen hidas minuutteja kestävä syttyminen muodostuu ongelmaksi, jos valoja halutaan ohjata nopeasti päälle ja pois.

Pienpainepurkauslamppuja ovat mm. loiste-, induktio- ja pienpainenatriumlamppu. Pienpainenatriumlamppu on ulkovaistukseen käytetyistä valonlähteistä valotehokkuudeltaan paras, mutta sen värintoistoindeksi on niin huono, että sitä käytetään lähinnä moottoriteillä. Pienpainenatriumlamput ovat kookkaita. 180 W pienpainenatriumlampun pituus on 1,12 m (Osram 2009b). Uudiskohteisiin pienpainenatriumlamppua ei juuri enää asenneta, vaan suurpainenatriumlamppu on vakiinnuttanut aseman myös moottoriteillä.

Loistelampun hyvänä puolena on monipuolinen valon värivalikoima ja hyvä värintoisto sekä nopea syttyminen. Kun loistelamppua verrataan muihin ulkovaistuksessa käytettyihin valonlähteisiin, sen heikkous on valovirran riippuvuus voimakkaasti ympäristön lämpötilasta. Loistelampun pakkasenkestävyys ja elinikä ovat kuitenkin

kehittyneet paljon viime vuosikymmeninä. Induktiolamppu toimii melkein samalla periaatteella kuin loistelamppu, mutta elektrodien tilalla on induktiokäämit. Valon ominaisuudet ovat tyypillisesti samoja kuin loistelampulla. Induktiolampulla on erittäin pitkä elinikä ja hyvä toimintakyky myös pakkasella (Osram 2009b).

3.2.2 Valonlähteiden ominaisuuksien vertailu

Taulukossa 6 on yhteenveto ulkovalaistuksessa käytettyjen purkauslamppujen ominaisuuksista (Osram 2009b). Kaikkien valonlähteiden valontuotto pienenee eliniän myötä. Elohopealamppun valovirran alenema eliniän myötä on niin merkittävä, että taloudellisesti järkevä polttoikä saavutetaan huomattavasti ennen kuin lamppu rikkoutuu.

Taulukko 6 Ulkovalaistuksen valonlähteiden ominaisuuksia (Osram 2009b)

Valonlähde	Teho W	Valotehok- kuus lm/W	Polttoikä 1000 h	Väri- lämpötila K	Väri- toisto- indeksi
Loistelamppu	18 - 80	60 - 94	10 - 80	2700 - 8000	80 - 90
Induktiolamppu	70 - 150	80 - 93	60	3000 - 4000	80
Elohopealamppu	50 - 1000	32 - 60	16	3200 - 4000	43 - 60
Monimetallilamppu	50 - 2150	67 - 120	12 - 16	2800 - 7250	65 - 98
Suurpainenatriumlamppu	50 - 1000	70 - 150	16 - 48	2000 - 2100	25
Pienpainenatriumlamppu	18 - 180	131 - 174	10 - 16		

3.3 Ulkovalaisimien rakenne ja ominaisuudet

3.3.1 Optiikka ja rakenne

Valaisimen tärkein ominaisuus on optiikka, joka jakaa valon halutulle alueelle, mutta vähentää häikäisyä. Purkauslamppuvalaisimen heijastimen on pysyttävä kelvollisena vuosikymmenien ajan korkeassa lämpötilassa. Valaisimen optiikka ei kykene hyödyntämään lampusta lähtevää kaikkea valovirtaa. Nykyaikaisten ulkovalaisimien hyötysuhde (LOR) on 0,75 – 0,85 (SVS 2008). LOR tarkoittaa kuinka hyvin valonlähteen tuottama valovirta saadaan ulos valaisimesta. Myös liitäntälaitteiden kuluttama teho täytyy ottaa huomioon valaisimien kokonaishyötysuhteissa.

Ulkovalaisinten rungon materiaalina yleisin vaihtoehto on metalli kestävyys vuoksi (Tiehallinto 2007). Metallia johtaa myös lämpöä hyvin valaisimen sisäpuolisilta komponenteilta ulos. Pylväs- ja vaijeriasennuksissa täytyy ottaa huomioon valaisimen paino ja tuulikuorma.

Valaisin myös suojelee lamppua ja liitäntälaitteita ulkoa tulevilta rasituksilta kuten epäpuhtauksilta, sääolosuhteilta ja ilkivallalta. Standardit vaativat pylväässä olevalta valaisimelta vähintään IP23 kotelointiluokitusta (SFS 6000-7-714), mutta Euroopan Unionin asetus suosittelee yleisille teille luokitukseksi IP65 (EU 2009). Suurempi suojausluokka vähentää pölyn ja kosteuden kulkeutumista valaisimen sisälle. Se helpottaa valaisimen optiikan pysymistä puhtaana ja pidentää komponenttien elinikää.

3.3.2 Asennettavuus ja huollettavuus

Ulkovalaistuksen kustannuksiin vaikuttaa merkittävästi valaisimen asennustyö ja huolto. Asennusmenetelmänä voi olla pylväs- varsi-, vaijeri- tai kiinteä asennus. Kun valaisin on elinkaarensa päässä, se joudutaan vaihtamaan, mutta vanhaa pylvästä ja vartta voidaan käyttää edelleen. Johtimien liittimien täytyy olla helposti irrotettavissa ja kaapelin läpivienti sellaisessa paikassa, että myös käytetyn liitännäjohtojen pujottaminen onnistuu purkamatta valaisinta.

Tiehallinnon ohjeissa vaaditaan mm. huoltokytкимиä, joilla valaisimet saadaan jännitteettömäksi huollon ajaksi (Tiehallinto 2007). Laadukkaissa valaisimissa lampun vaihtaminen ja puhdistus onnistuu ilman erikoistyökaluja yhdellä kädellä kaikissa sääolosuhteissa (Paakkinen 2008). Myös vikojen indikoinnin ja komponenttien vaihdon tulisi onnistua yksinkertaisilla toimenpiteillä nostolava-autosta käsin.

3.3.3 Liitäntälaitteet

Kaikki kaasupurkauslamput tarvitsevat kuristimen, jotta virta lampun läpi ei kasvaisi hallitsemattomasti. Useimmat purkauslamput, elohopealamppua lukuun ottamatta, tarvitsevat myös sytyttimen. Erityyppisillä ja teholtaan erilaisilla lampuilla on omat kuristimet. Samaa kuristinta voidaan käyttää eri teholuokissa, jos ulosottoja on useampia. Eräät suurpainenatrium- ja monimetallilamput ovat vaihdettavissa samoihin liitäntälaitteisiin, jos teho säilyy samana.

Suurpainepurkauslamppuissa perinteinen kuparikäämikuristin on suosituin virran rajoitukseen. Se kestää valaisimen eliniän noin 30 vuotta vaihtelevissa olosuhteissa, eikä sen toiminta tai kestoikä muutu ympäristön muuttuessa (Tichelen et al. 2007). Ongelmana on mekaanisten kuristimien suuret tehohäviöt. Suuritehoisissa purkauslamppuvalaisimissa on kuristimen ja sytyttimen lisäksi kompensointikondensaattori, joka kompensoi kuristimen käyttämän loistehon.

Suurpainepurkauslamppuissa elektronisia liitäntälaitteita on useimmin pienitehoisissa monimetallilamppuvalaisimissa. Suurilla tehoilla ongelmaksi tulevat mm. akustiset resonanssit, kun taajuutta joudutaan kasvattamaan (Simpson 2003.). Akustinen resonanssi voi pahimmillaan haitata lampussa tapahtuvaa purkausta. Elektronisen liitäntälaitteen tehohäviöt ovat pienemmät kuin magneettisilla kuristimilla, mutta elektroniset liitäntälaitteet ovat kalliimpia.

Ylijännitteiden sieto ja lämpötilan kohoamisen estäminen täytyy ottaa huomioon elektronisilla liitäntälaitteilla. Elektronisilla liitäntälaitteilla voidaan tehdä monia ohjaustoimenpiteitä kuten valontuoton pitämistä vakiona verkkojännitteen vaihdelta tai valon säätöä kellonajan mukaan. Magneettisilla kuristimilla tällaisiin ohjauksiin tarvitaan erillinen ohjauslaite. Joitakin elektronisia liitäntälaitteita voidaan säätää keskitetyn ohjausjärjestelmän avulla, kuten 1 – 10 V jännitteen tai väyläohjausjärjestelmän kautta. Ulkovalaisimiin ei ole vielä saatavana elektronisia liitäntälaitteita, joita voisi ohjata säädettävällä jännitteellä.

3.3.4 Ohjaus- ja säätömahdollisuudet

Ulkovalaistuksia ohjataan yleensä valaistusvoimakkuusantureilla, jotka ohjaavat valoja päälle ja pois. Anturin aseteltu valaistusvoimakkuustaso on tyypillisesti 20 lx, jolloin Suomessa ulkovalaistus on päällä hiukan alle 4000 h/a (Tapper 2006). Myös maan pinnan ominaisuudet ja lumipeite vaikuttavat valoisuuteen, koska luminen maa saattaa heijastaa takaisin jopa 90% siihen kohdistuneesta valosta (Ilmatieteen laitos 2009).

Valaistusta voidaan ohjata myös vuorokaudenaikojen tai liikenteen vilkkauden mukaan sammuttamalla valaistus hiljaisina aikoina muutamaksi tunniksi kokonaan tai laskemalla valotasoa. Kun valaistusta vähennetään säästösyistä, täytyy ottaa huomioon, että liikenneturvallisuus ei heikkene.

Valaisimia ohjataan useimmiten keskitetysti siten, että suurta aluetta tai kokonaista kaupunkia ohjataan keskukselta, josta ohjausviesti välitetään eteenpäin alueellisille keskuksille. Myös keskus- tai valaisinkohtaisia järjestelmiä käytetään paljon mm. Yhdysvalloissa (Tapper 2006). Tällöin saadaan valaistuksen tarve paremmin optimoitua eivätkä pienet häiriöt tuota ongelmia laajoilla alueilla, mutta kustannukset ovat korkeammat ja huollettavia komponentteja on enemmän kuin keskitetyissä ohjausjärjestelmissä.

Ohjauskäskyn välittämiseen eteenpäin on Suomessa perinteisesti käytetty vyörytysohjausta tai verkkokäskyohjausta. Vyörytysohjauksessa lähtöpisteessä jännite kytketään päälle ja jännitetietoa toistetaan keskukselta toiselle, niin että se etenee ketjureaktiona eteenpäin. Vyörytysohjaus on yksinkertainen, edullinen ja kestävä ohjaustapa, mutta järjestelmällä saadaan välitettyä vain yksi viesti yhteen suuntaan. Jos ketjuun tulee häiriö, viesti ei etene eikä vika ilmene muutoin kuin sammuneina katuvaloina. Menetelmä saadaan luotettavammaksi, jos viesti laitetaan menemään samaan paikkaan useita eri ketjuja pitkin (Tapper 2006).

Verkkokäskyohjauksella on hoidettu mm. sähköverkkoyhtiöiden asiakkaiden mittareiden tariffien ohjaukset. Kun ulkovalaistuksen kulutusmittarit tariffinohjauslaitteineen ovat ulkovalaistuskeskuksessa, samalla laitteistolla on ollut yksinkertaista hoitaa myös valaistuksen ohjaukset. Verkkokäskylaitteistossa on yleensä mahdollisuus useampaan kuin yhteen toimintaan, mutta viestien liikenne kulkee vain yhteen suuntaan. Verkkokäskylaitteistot on uusittava noin 20 vuoden välein. Investoinnin ja uusimisen kalleus houkuttelee etsimään muita vaihtoehtoja, jos laitteistoa ei tarvita enää mihinkään muuhun kuin valaistuksen ohjaukseen (Tapper 2006).

Kun sähkömittarien lukemisessa ja tariffien ohjauksessa on alettu siirtyä esimerkiksi langattomaan tekniikkaan, kuten GSM-pohjaiseen GPRS-pakettitiedonsiirtoon, on myös ulkovalaistuksen ohjauksessa voitu siirtyä samaan järjestelmään (Tapper 2006). GSM-järjestelmällä voidaan välittää viestejä molempiin suuntiin, jolloin mm. vikatietoja voidaan välittää helposti. GSM-verkon rakentamisesta ei tule ylimääräisiä kuluja, koska se on joka paikassa olemassa.

Monipuolisimmissa ohjausjärjestelmissä voidaan käyttää monia eri siirtoteitä ja –topologioita. Esimerkiksi LON-topologiolla viestejä voidaan välittää käyttämällä erillistä ohjauskaapelia, radiotiedonsiirtoa tai PLC-tekniikkaa. PLC-tekniikalle (power line communications) eli pienjänniteverkossa tapahtuvalle informaation siirrolle on ulkovalaistuskapeloinnissa jo siirtotie valmiina. Tarvitaan vain lähettimet ja

vastaanottimet. Pitkien matkojen päähän sanoman eteenpäin meno on epävarmaa, mutta viestiä voidaan toistaa matkalla ja varmistaa sen perille pääsy. Viestein siirtoon voidaan käyttää myös erillistä ohjauskaapelia, kuten VMOHBU- tai MCMO-kaapeleita (Tapper 2006).

3.3.5 Ulkovalaistuksen säätö

Kun ulkovalaistuksen energiankulutusta halutaan vähentää sammuttamatta valoja kokonaan, yksinkertaisimmillaan se voi tapahtua kytkemällä ulkovalaistuskeskuksesta joku kolmesta vaiheesta pois päältä. Sähköverkon vaiheiden vinokuormituksen välttämisen kannalta menetelmä on haasteellinen. Yleisempi valaistuskuorman vähentämiskeino on joka toisen katulampun sammuttaminen, jolloin vaiheiden kuormitus on tasaisempi.

Vaiheiden kytkeminen pois tai joka toisen katulampun sammuttaminen vaatii kontaktoreiden asennuksia joko keskuksiin tai valaisimiin. Saman alueen lamppujen kuormittaminen erilailla hankaloittaa valaisimien huoltoa, koska lamput tulevat vaihtoihinkin eri aikaan. Tällöin huoltokustannukset nousevat.

Kaksitehokuristin valaisimessa tarkoittaa, että kuristin voi syöttää lamppuun kahta eri tehoa. Ulkovalaisinkeskukselta ohjataan valaisimessa olevaa kontaktoria, joka syöttää kuristinta. Suurempi teho on lampun nimellisteho ja pienempi esimerkiksi puolet lampun maksimitehosta. Kaksitehokuristin on edullinen säätömenetelmä, vaikka se vaatii jonkin verran investointeja ja ylimääräistä asennustyötä. Tavallisimmin sitä käytetään uudisasennuksissa, koska valaisimien syöttökaapelissa täytyy olla ylimääräinen johdinpari kontaktorin ohjausta varten. Jos kaapeli joudutaan vaihtamaan tai lisäämään uusi ohjauskaapeli, nostaa tämä kustannuksia.

Valaistustasoa ohjaavat säätömuuntajat sijoitetaan yleensä ulkovalaistuskeskuksiin, jonne tieto jännitteen pudottamisesta tulee hierarkiasta ylemmältä tasolta. Säätömuuntajissa on muutama jänniteporras, joilla jännitettä ja sen myötä lamppujen tehoa ja valovirran määrää voidaan pudottaa (Tapper 2006).

Säätömuuntaja voidaan lisätä helposti myös vanhoihin asennuksiin useimmille lampputyypeille. Uusia kaapelointeja ohjauksiin ei tarvita, mutta toisaalta valaisimia syöttävien kaapeleiden pituudet eivät voi olla kovin pitkiä, jotta jännite ei laske loppupäässä liikaa. Säätömuuntaja on kalliimpi investointi kuin kaksitehokuristin, mutta säätömahdollisuuksia on enemmän. Tämä säätöjärjestelmä soveltuu vain perinteisille kuparikäämikuristimilla varustetuille suurpaineipurkauslamppuvalaisimille.

Kaikilla lampputyypeillä jännitteen pudotus ei onnistu yhtä hyvin. Parhaiten jännitteen pudotus onnistuu suurpainenatriumpulla, jota voidaan säätää 50 – 100 % (Simpson 2003). Monimetallilampun ongelmana on valon värin muuttuminen tehon pudotessa. Elohopealamppuja pystytään myös säätämään jännitteen pudotuksen avulla, mutta vanhat lamput voivat helposti sammua, jos jännitettä pudotetaan. Pienpainenatriumlamppujen jännitettä ei kannata säätää, koska se lyhentää lamppujen elinikää. Jos jännitettä pudotetaan alle puoleen nimellisestä, kannattaa ennen sammutusta palauttaa jännite takaisin maksimiin. Se lisää lamppujen elinikää (Saari 2009).

Valaisinkohtaiset tyristorisäätimet leikkaavat jännitteen aaltomuodosta osan pois ja muuttavat valaisimen tehoa. Valaisinkohtaisten komponenttien lisääminen on kallis ratkaisu, mutta tällä tavalla saadaan jokaiselle valonlähteelle sama jännitetaso riippumatta sen etäisyydestä kaapelin alkupäästä.

Elektroninen liitäntälaitte voi myös säätää lampun valovirtaa, jolloin muita erillisiä säätökomponentteja ei valaisimen sisällä tarvita. Valaisinkohtaisia tyristorisäätimiä ja elektronisten liitäntälaitteiden ohjauskäskyjä välitetään joko erillisellä ohjauskaapelilla, syöttökaapelin välityksellä PLC-tekniikalla tai langattomasti radio-ohjauksella. Väylä mahdollistaa kaksisuuntaisen liikenteen ja vikojen indikoinnin (Tapper 2006).

3.3.6 Kaapelit, pylväät ja muut varusteet

Pylväisiin kiinnitettävien ulkovalaisinten johtimien materiaalina käytetään alumiinia. Maakaapeleiden tyyppinä on kolmivaiheinen AXMK tai AMCMK. Poikkipinta-alat ovat 16 – 35 mm². Ilmakaapeleina käytetään AMKA- tyyppistä kaapelia. On olemassa myös ulkovalaistukseen tarkoitettuja erikoiskaapeleita kuten AMCMK 4x35Al+16Al/10Cu tai AMKA 4x35+16+50, missä kolme 35 mm² johdinta on syöttäville vaiheille, yksi 35 mm² johdin kaksoiskuristinohjaukselle yksi 16 mm² johdin vyöryntäohjaukselle 10 mm² kuparijohdinjohdin tai 50 mm² alumiinijohdin PEN-johtimelle (Tapper 2006).

Pylväiden materiaalina käytetään puuta, metallia tai betonia. Metallipylväät ovat kestävyytensä ansiosta ja asennuksen helppouden vuoksi syrjäyttäneet puupylväitä. Kuntien nopeudet ovat suuria ja liikenne vilkasta, käytetään törmäysturvallisia pylväitä. Myös kaiteilla voidaan estää ajoneuvojen törmäykset pylväisiin. Myötävä pylväs taipuu tai siirtyy sivuun törmäyksen vaikutuksesta. Mm. ontot puupylväät ja liukulaipalla varustetut metallipylväät toimivat tällä tavalla. Myös käytössä olevia puu- ja metallipylväitä voidaan muuttaa törmäysturvallisiksi (Tiehallinto 2005).

Ulkovalaistuskeskuksissa on suojalaitteiden, kontaktoreiden ja energiamittauslaitteiden lisäksi mm. säätömuuntajia ja muita ohjauslaitteita. Jälkeenpäin lisätyt muuntajat eivät välttämättä mahdu keskuksen sisälle, jolloin ne voidaan laittaa asentaa keskuksen ulkopuolelle laajennusosaan. Ohjauslaitteille, kuten antureille, kameroille, sääasemille, luminanssimittareille ja lähettimille voi olla myös omat keskuksat. Joitakin laitteita, kuten johdonsuojia, kontaktoreita ja tyristorisäätimiä voi olla myös pylvään sisällä.

4 Valaistukseen liittyvä Eco-design -direktiivi ja sen pohjalta tehdyt asetukset

4.1 Valaistustuotteiden energiatehokkuuteen ja muihin ympäristövaikutuksiin liittyviä eurooppalaisia säädöksiä

Kioton ilmastopimuksen myötä vuodesta 1990 Euroopan Unionin yksi tärkeimmistä tavoitteista on ollut energian kulutuksen vähentäminen. Tavoitteen saavuttamiseksi Euroopan Unionin parlamentti on säätänyt direktiivejä ja komissio on tehnyt niiden pohjalta suosituksia sekä asetuksia. Myös muita sähkölaitteiden ympäristövaikutuksia rajoittavia direktiivejä ja asetuksia on runsaasti.

Direktiivi asettaa tavoitteet ja aikataulun millaiseen lopputulokseen jäsenmaiden täytyy päästä. Kukin jäsenmaa voi kuitenkin itsenäisesti päättää, miten lainsäädännön yksityiskohdat toteutuvat kansallisella tasolla. Asetus astuu voimaan samanaikaisesti ja sitä sovelletaan kaikissa jäsenmaissa.

Lamppujen energiamerkintädirektiivi (98/11/EY) koskee lähinnä kotitalouksille myytäviä hehkulamppuja sekä muita E14- ja E27-kantaisia lamppuja. Merkintäluokitus ilmaistaan kirjaimilla A - G, jossa ryhmä A edustaa parasta energiatehokkuutta. Energiamerkinnän tyypistä merkintää voidaan käyttää myös muiden ominaisuuksien kuten lamppujen eliniästä kertomiseen. Ulkovalaistukseen tällä direktiivillä ei ole ollut merkitystä.

Loistelamppuja koskeva kuristindirektiivi (2000/55/EY) on ensimmäisiä valaistustuotteille yksityiskohtaisia energiatehokkuusvaatimuksia asettaneista direktiiveistä. Se on jakanut kuristimet seitsemään eri luokkaan, joista kaksi tehottominta luokkaa on jo poistettu markkinoilta. Komission asetus 245/2009 kumoo tämän direktiivin ja antaa vielä tiukemmat rajoitukset kuristimille.

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (2002/91/EY) on vaikuttanut mm. rakennusmääräyskokoelmaan D3, joka kattaa rakennuksen energiatehokkuutta kokonaisvaltaisesti. Vaikka siinä mainitaan muutama lause valaistuksesta, mitään yksityiskohtaisia ohjeita valaistukseen ei ole.

Eco-design -direktiivin (2005/32/EY) toimeenpanoasetuksilla on suurin vaikutus valaistukseen sekä kotitalouksissa että ulkovalaistuksessa. Sen ansiosta mm. hehku- ja elohopealamput poistuvat myynnistä Euroopan Unionin alueelta. Direktiiviä esitellään luvussa 4.2.

Energiapalveludirektiivillä (2006/32/EY) on tarkoitus vaikuttaa energian loppukäyttöön ja se on asettanut jäsenmaille 9 % energiansäästötavoitteet ajanjaksolle 2008 – 2016. Julkiselle sektorille on asetettu esimerkin näyttäjän rooli. Mm. julkisten tilojen valaistusta koskevat suositukset on uusittu.

Haitallisten aineiden käyttöä sähkölaitteissa rajoitetaan direktiivillä (RoHS, 2002/95/EY). Sen pohjalta on Suomessa säädetty asetus vaarallisten aineiden käytön rajoittamisesta sähkö- ja elektroniikkalaitteissa (853/2004). Asetus koskee mm. lyijyn, elohopean, kadmiumin ja kromin käyttöä. Valonlähteille on sallittu suuria poikkeuksia

elohopean käytössä verrattuna muihin sähkölaitteisiin. Mm. suurpainepurkauslamppuissa käytetty elohopea ei sisälly tämän asetuksen piiriin. Loistelamppujen elohopeamäärälle on annettu maksimirajat asetuksessa.

Sähkölaitteiden romudirektiivi (WEEE, 2002/96/EY) antaa selkeitä ohjeita käytettyjen sähkölaitteiden hävittämisestä. Sen pohjalta on Suomessa tehty valtioneuvoston asetus (852/2004). Tässäkin asetuksessa on valonlähteiden kohdalla poikkeuksia. Mm. hehkulamput eivät kuulu tämän asetuksen piiriin.

Sähkömagneettista yhteensopivuutta koskeva direktiivi (EMC, 2004/108/EY) ja pienjännitustuotteita koskeva direktiivi (LVD, 73/23/EEC) vaikuttavat kaikkien sähköverkossa toimivien laitteiden käytön turvallisuuteen ja ympäristövaikutuksiin käytön aikana. Pienjännitedirektiivin liitteenä on listattu sähkölaitteiden turvallisuuden toteamiseksi vaadittavat Cenelecin standardit.

Euroopan Neuvoston päätös CE-merkinnästä (93/465/ETY) on myös merkittävä säädös. Mm. kaikissa sähkölaitteissa täytyy olla kyseinen merkintä. Merkinnällä tuotteen valmistaja takaa, että tuote täyttää sillä hetkellä voimassa olevien direktiivien asettamat vaatimukset.

4.1.1 Direktiivien vaikutuskeinot kansallisella tasolla

Eräs direktiivien tarkoitus on ollut velvoittaa jäsenmaat tekemään omia energiatehokkuusstrategioitaan. Mm. energiapalveludirektiivin pohjalta kukin maa voi päättää toimenpiteistä itsenäisesti omat säästötoimenpiteensä. Suomessa yleinen keino päästä tavoitteisiin ovat Työ- ja elinkeinoministeriön tekemät vapaaehtoiset energiatehokkuussopimukset yhdessä jonkun julkisen sektorin tahon tai yrityksen kanssa. Sopimusten teon yhteydessä kannustimena on käytetty myös investointiavustuksia (TEM 2009).

Toinen tavoite direktiiveillä on ollut edistää markkinoiden itseohjautuvuutta, jolloin valmistajat keskenään sopivat tuotteille vaadittavista energiatehokkuustavoitteista ja kilpailevat kulutustavaroiden energiapiheydessä. Menetelmä on osoittautunut hyväksi esimerkiksi kodinkoneissa, joissa energiankulutus on ollut suurta. Mm. pesukoneiden ja kylmälaitteiden energiankulutus on pudonnut vuosikymmenien aikana. Toisaalta näiden energiamerkintädirektiivien tarkoitus on antaa kuluttajille helposti omaksuttavaa tietoa tuotteiden energiatehokkuudesta (Gynther 2007).

Kun nämä keinot eivät ole johtaneet riittävään lopputulokseen, on direktiivien pohjalta laadituissa kansallisissa laeissa ja Euroopan Unionin komission asetuksissa annettu yksityiskohtaisia määräyksiä tuotteiden energiatehokkuudelle.

4.1.2 Direktiivien valvonta

Suomessa Turvatekniikan keskus huolehtii monista sähkölaitteisiin liittyvien määräyksien toteutumisesta Suomessa. Se valvoo esimerkiksi ekosuunnittelua, energiamerkintää, vaarallisia aineita, räjähdysvaarallisuutta, sähkömagneettista yhteensopivuutta ja sähköturvallisuutta koskevia säädöksiä.

4.2 Eco-design -direktiivin taustaa

Vaikka valaistuksessa energiatehokasta tekniikkaa on ollut saatavilla, eivät energiansäästön näkökulmasta parhaimmat lampputeknologiat ole yleistyneet toivotulla vauhdilla. Kun vuonna 1960 keskimääräinen valonlähteiden valotehokkuus on ollut 18 lm/W, vuonna 2005 se on ollut 48 lm/W koko maailmassa (IEA & OECD 2006).

Tietyyntyyppisissä valaisimissa, esimerkiksi hehkulamppuvalaisimissa, valonlähteen vaihtaminen energiatehokkaampaan on yksinkertaista. Lamppujen markkinoiden volyymit ovat suuria ja annetulla asetuksella on ajateltu saavutettavan suuria vaikutuksia.

Eco-design –direktiivi eli Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2005/32/EY on hyväksytty heinäkuussa vuonna 2005. Sitä kutsutaan myös ekosuunnitteludirektiiviksi tai EuP-direktiiviksi (EuP = Energy-using Products). Direktiiviä on myöhemmin laajennettu ja siitä on tehty kokonaan uusi direktiivi 2009/125/EY, joka on hyväksytty lokakuussa 2009. Tästä direktiivistä käytetään nimitystä ErP-direktiivi (ErP = Energy related Products). Se tulee korvaamaan direktiivin 2005/32/EY.

Direktiivin 2005/32/EY keskeinen sisältö on, että energiansäästöllä ja erityisesti sähkölaitteiden energiankulutusta pienentämällä saadaan tehokkaasti säästettyä luonnonvaroja ja pienennettyä haitallisia ympäristövaikutuksia. Kaikkein suurin vaikutus kunkin tuotteen energiankulutukseen on suunnitteluvaiheella, kun tuotteiden koko elinkaaren energiankulutus otetaan jo silloin huomioon. Myös vertailukelpoisen informaation saantiin tuotteesta kiinnitetään direktiivissä huomiota (2005/32/EY).

Eri tuoteryhmiä direktiivissä 2005/32/EY ovat mm. vedenlämmittimet, ilmastointilaitteet, kiertovesipumput, kylmälaitteet, astianpesukoneet, imurit, televisiot, kopiokoneet ja tietokoneet sekä valaistus kotitalouksissa, toimistoissa ja ulkona. Tuoteryhmät on valittu siten, että niitä myydään ja käytetään paljon ja niillä on suuri vaikutus energiankulutukseen. Lisäksi on pyritty siihen, että näille tuotteille on saatavissa ympäristöä säästävää tekniikkaa kohtuullisin kustannuksin. Huomattavaa on kuitenkin, että esimerkiksi liikennevälineet on suljettu tämän direktiivin ulkopuolelle (2005/32/EY).

Jäsenmaiden on pitänyt säätää direktiivin 2005/32/EY edellyttämät lait 11.8.2007 mennessä. Suomessa Eco-design -direktiivin pohjalta on saatu aikaan laki tuotteiden ekologiselle suunnittelulle ja energiamerkinnälle asetettavista vaatimuksista (2008/1005), joka on astunut voimaan 1.1.2009. Lain kattama kokonaisuus on erittäin laaja ja sen vaikutusalueella on monia muitakin säädöksiä, joten lakitekstin kirjoittaminen on ollut haasteellista. Lakiin on sisällytetty mm. ohjeita CE-merkin käytöstä, mutta esimerkiksi ulkovalaistukseen sillä ei ole ollut suoraa vaikutusta.

Eco-design -direktiivi on puitedirektiivi, jonka pohjalta komissio on alkanut valmistella kutakin tuoteryhmää koskevia yksityiskohtaisia asetuksia. Tällä direktiivillä ja sen kansallisella hyväksymisellä ei ole ollut välittömiä vaikutuksia energiankulutukseen, vaan vaikutuksia on alkanut ilmetä vasta sitten, kun komissio tekemät yksityiskohtaiset asetukset ovat astuneet voimaan.

4.3 Eco-design -direktiiveistä asetuksiksi

Eco-design -direktiivissä ympäristötavoitteiden toteutumisen ensisijaisena menetelmänä on ajateltu markkinoiden itsesääätelyä. Komissio on kuitenkin päättänyt antamaan asetuksia direktiivin tavoitteiden täytäntöön panemiseksi. Asetusten valmistelutyö on alkanut vuonna 2007.

Asetusten säätäminen on ollut monivaiheinen prosessi. Alustavat tutkimukset ovat keskittyneet tuotteiden elinkaarianalyysiin ja ympäristönäkökohtiin. Seuraavaksi on pohdittu erilaisia politiikkavaihtoehtoja uusien säädösten pohjaksi ja vertailtu niiden vaikutuksia. Kuulemisfoorumissa teollisuuden ja muiden alan toimijoiden vapaaehtoiset edustajat ovat pohtineet luonnosehdotuksia ja tehneet omia ehdotuksiaan. Ennen kuin komissio on tehnyt päätöksen, se on konsultoinut muita Euroopan Unionin pääosastoja, äänestyttänyt ehdotusta jäsenmaiden lainsäädäntökomiteassa sekä antanut Euroopan Parlamentille ja Euroopan Neuvostolle mahdollisuuden sanoa oma mielipiteensä asetuksista (Tichelen et al. 2007).

Komissio on teettänyt asetusten pohjaksi lukuisia raportteja. MEEuP-raportti (MEEuP = Methodology Study Eco-design of Energy-using Products) (Kemna et al. 2005) kuvaa menettelytavat, joilla asetusten taustaraportit on tehty. Palvelusektorin valaistustuotteita ja erityisesti ulkovalaistusta koskevia asetuksia varten on tehty kaksi selvitystä Project Report, Lot 9: Public Street lighting ja Final Report, Lot 9: Public Street lighting. Taustaraporttien valmistelussa on ollut mukana sidosryhmien edustajia ja koordinaattorina on ollut belgialainen tutkimusorganisaatio Vito (Tichelen et al. 2007).

Taustaraporttien valmistelijat tekivät 25 Euroopan Unionin maalle kyselyn ulkovalaistuksesta. Kyselyssä tiedusteltiin mm. tiestöä koskevia tietoja, kunkin lampputyypin määrää teiden valaistuksessa, lamppujen tehoja ja energian kulutusta. Täydellistä vastauksia näihin kyselyihin ei saatu. 17 maata 25:stä ei antanut kelvollista selvitystä. Ulkovalaistuksen määrän ja energiankulutuksen arviot pohjautuvat näiden maiden osalta CELMA:n tilastoihin (Tichelen et al. 2007).

Asetuksen valmistelussa Euroopan Unionin tasolla pienien maiden vaikutus on häviävän pieni. Esimerkiksi taustaraportissa Suomen ulkovalaisimien määräksi on arvioitu 400 000 kpl ja elohopealamppujen määräksi 160 000 kpl (Tichelen et al. 2007). TKK:n kyselyn perusteella tehdyn arvion mukaan Suomessa on 1,3 miljoonaa ulkovalaisinta, joista 664 000 on elohopealamppuvalaisimia (luku 2). Virossa laskelmat ovat menneet vielä suuremmin pieleen. Siellä on raportin mukaan arvioitu olleen 50 000 ulkovalaisinta, joista 20 000 on elohopealamppuja (Tichelen et al. 2007). Todellisuudessa pelkästään Tallinnassa on jo noin 40 000 ulkovalaisinta (Valdmann & Tuppi 2004).

Kuulemisfoorumissa rekisteröityneitä sidosryhmien edustajia on ollut 129 jäsentä mm. valaistusteollisuudesta, tutkimuslaitoksista ja erilaisista valaistuksen kanssa toimivista yhteisöistä. Lainsäädäntökomitea on jäsenvaltioiden ministerineuvostojen asettama elin, joka huolehtii hallitusten eduista päätöksentekoprosessissa. Komitean mielipide sitoo Euroopan komissiota. Palvelusektorin valaistustuotteita koskevasta asetuksesta lainsäädäntökomitea on äänestänyt syyskuussa 2008 ja Euroopan Unionin komissio on hyväksynyt sen helmikuussa 2009. Kotitalouksien valaistustuotteita koskevasta direktiivistä lainsäädäntökomitea on äänestänyt joulukuussa 2008 ja Euroopan Unionin komissio on hyväksynyt sen maaliskuussa 2009. Asetus on tullut voimaan 13.4.2009, jolloin sen vaikutus on alkanut kaikissa Euroopan Unionin jäsenmaissa yhtä aikaa.

4.4 Eco-design -direktiivin pohjalta tehtyjen valaisimia koskevien asetusten sisältö

Komission asetus nro 244/2009 koskee kotitalouksissa käytettäviä ympärisäteileviä lamppeja eli lähinnä kierrekantaisia hehkulamppuja ja samaan valaisimeen sopivia halogeeni- ja energiansäästölamppuja. Asetuksen pääsisältönä on lopettaa valaistustehokkuudeltaan alhaisten hehkulamppujen saattaminen markkinoille vaiheittain vuoteen 2013 mennessä.

Asetuksen 244/2009 tavoitteena on säästää Euroopassa vuositasolla 39 TWh energiaa, mikä merkitsee komission laskelmien mukaan noin 15 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöjä. Myöhemmin tarkistetaan vaatimuksia ja niitä voidaan tarvittaessa kiristää. Kotitalouslamppuja koskeva toinenkin komission asetus on valmisteilla. Se koskee lähinnä suuntaavia valonlähteitä, kuten halogeenispotteja ja valaisimia.

Asetuksella nro 245/2009 ohjataan palvelusektorin valaistustuotteiden ekologista suunnittelua. Palvelusektorin valaistustuotteilla tarkoitetaan purkauslamppuja, kuten yksi- tai kaksikantaisia loistelamppuja ja suurpainepurkauslamppuja sekä näiden virranrajoittimia. Asetus sisältää valotehokkuusvaatimuksia, toiminnallisia vaatimuksia ja tuotetietovaatimuksia. Asetuksen tavoitteena ovat 38 % energiansäästöt vuoteen 2020 mennessä.

Asetuksessa on määräyksiä myös virranrajoittimista eli purkauslamppujen kuristimista ja muista liitäntälaitteista. Koska markkinoilla ei voida erotella, mikä valonlähde päättyy loppujen lopuksi kotitalous- tai palvelusektorikäyttöön, on asetukset annettu koskemaan valonlähteiden ja liitäntälaitteiden myyntiä riippumatta käyttökohteesta. Vaatimukset astuvat voimaan vaiheittain.

4.4.1 Palvelusektorin valaistustuotteita koskevan asetuksen tehokkuusvaatimukset lamppuille ja liitäntälaitteille

Asetuksen 245/2009 ensimmäinen vaihe tulee voimaan huhtikuussa 2010 (EU 2009). Siinä annetaan määräyksiä eniten käytettyjen yksi- ja kaksikantaisten loistelamppujen valotehokkuuksista. Tässä vaiheessa markkinoilla ei tule suuria muutoksia loistelamppujen markkinoihin.

Toisessa vaiheessa huhtikuusta 2012 alkaen kiristetään loistelamppujen valotehokkuuksia. Silloin poistuvat halkaisijaltaan 38 mm:n lamput. Myös suurpainenatrium- ja monimetallilamppujen valotehokkuudelle annetaan rajat. Värinistöltään alhaisten suurpainenatriumlamppujen valotehokkuusvaatimukset ovat taulukossa 7. Monimetallilamppujen ja paremman värinöistön suurpainenatriumlamppujen vaatimukset on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 7 Suurpainenatriumlamppujen, joiden värintoistoindeksi Ra < 60 valotehokkuusvaatimukset huhtikuusta 2012 lähtien (EU 2009)

Lampun nimellisteho P (W)	Valotehokkuus (lm/W), Kirkkaat lamput	Valotehokkuus (lm/W), Muut kuin kirkkaat lamput
$P \leq 45$	≥ 60	≥ 60
$45 < P \leq 55$	≥ 80	≥ 70
$55 < P \leq 75$	≥ 90	≥ 80
$75 < P \leq 105$	≥ 100	≥ 95
$105 < P \leq 155$	≥ 110	≥ 105
$155 < P \leq 255$	≥ 125	≥ 115
$255 < P \leq 605$	≥ 135	≥ 130

Taulukko 8 Monimetallilamppujen, joiden värintoistoindeksi Ra < 80 ja suurpainenatriumlamppujen, joiden Ra > 60, valotehokkuusvaatimukset huhtikuusta 2012 lähtien (EU 2009)

Lampun nimellisteho P (W)	Valotehokkuus (lm/W), Kirkkaat lamput	Valotehokkuus (lm/W), Muut kuin kirkkaat lamput
$P \leq 55$	≥ 60	≥ 60
$55 < P \leq 75$	≥ 75	≥ 70
$75 < P \leq 105$	≥ 80	≥ 75
$105 < P \leq 155$	≥ 80	≥ 75
$155 < P \leq 255$	≥ 80	≥ 75
$255 < P \leq 405$	≥ 85	≥ 75

Taulukko 9 Muiden suurpainepurkauslamppujen valotehokkuusvaatimukset huhtikuusta 2015 lähtien (EU 2009)

Lampun nimellisteho P (W)	Valotehokkuus (lm/W)
$P \leq 40$	≥ 50
$40 < P \leq 50$	≥ 55
$50 < P \leq 70$	≥ 65
$70 < P \leq 125$	≥ 70
$P > 125$	≥ 75

Huhtikuusta 2015 lähtien muille suurpainepurkauslamppuille tulee taulukon 9 mukaiset vähimmäisvalotehokkuuden vaatimukset, jonka vuoksi elohopealamput poistuvat markkinoilta. Tämä vaatimus oli tarkoitus tulla voimaan jo ensimmäisessä vaiheessa vuonna 2010, mutta muutamien EU-maiden, kuten Suomen, Tanskan ja Belgian ponnistelusta johtuen, määräyksen voimaantuloa lykättiin vuoteen 2015, jotta monet ulkovalaistuksen parissa työskentelevät toimijat voisivat varautua uusiin määräyksiin.

Kolmannessa vaiheessa huhtikuussa 2017 annetaan uudet rajat monimetallilamppujen valotehokkuusvaatimuksiin, taulukko 10.

Taulukko 10 Monimetallilamppujen valotehokkuusvaatimukset huhtikuusta 2017 lähtien (EU 2009)

Lampun nimellisteho P (W)	Valotehokkuus (lm/W), Kirkkaat lamput	Valotehokkuus (lm/W), Muut kuin kirkkaat lamput
$P \leq 55$	≥ 70	≥ 65
$55 < P \leq 75$	≥ 80	≥ 75
$75 < P \leq 105$	≥ 85	≥ 80
$105 < P \leq 155$	≥ 85	≥ 80
$155 < P \leq 255$	≥ 85	≥ 80
$255 < P \leq 405$	≥ 90	≥ 85

Kaikissa vaiheissa tulee vaatimuksia myös virranrajoittimille eli purkauslamppujen liitälaitteille. Ensimmäisessä vaiheessa huhtikuussa 2010 poistuvat markkinoilta loistelamppujen liitälaitteet, jotka kuluttavat yli 1 W sähkötehoa lepotilassa. Toisessa vaiheessa huhtikuussa 2012 lepotilan tehon tulee olla alle 0,5 W. Tällöin myös suurpainepurkauslamppujen liitälaitteiden hyötysuhteen tulee noudattaa taulukon 11 vaatimuksia.

Taulukko 11 Suurpainepurkauslamppujen virranrajoittimien vähimmäishyötysuhde huhtikuusta 2012 lähtien (EU 2009)

Lampun nimellisteho P (W)	Hyötysuhde %
$P \leq 30$	≥ 65
$30 < P \leq 75$	≥ 75
$75 < P \leq 105$	≥ 80
$105 < P \leq 405$	≥ 85
$P > 405$	≥ 90

Kolmannessa vaiheessa huhtikuussa 2017 suurpainepurkauslamppujen liitälaitteiden pitää täyttää taulukon 12 mukaiset vaatimukset.

Taulukko 12 Suurpainenatriumlamppujen liitälaitteiden hyötysuhde huhtikuusta 2017 lähtien (EU 2009)

Lampun nimellisteho P (W)	Hyötysuhde %
$P \leq 30$	≥ 78
$30 < P \leq 75$	≥ 85
$75 < P \leq 105$	≥ 87
$105 < P \leq 405$	≥ 90
$P > 405$	≥ 92

4.4.2 Uusien asetusten toiminnalliset vaatimukset

Euroopan komission asetukset tuovat mukanaan vaatimuksia myös valonlähteiden toiminnalle ja valon laadulle. Määräyksiä on annettu muun muassa syttymisajalle, lamppujen polttoajalle, valovirran alenemalle ja ennen aikaiselle vikaantumiselle.

Lamppujen kestoikä vaihtelee eri yksilöiden välillä. Kestoikä riippuu muun muassa sytyttämiskertojen määrästä, käyttöjaksojen pituudesta, käyttöolosuhteista ja valmistuksen laatuvaihtelusta. Lamppujen kestolle voidaan antaa tilastollinen keskiarvo. Eloönjäämiskerroin kertoo kuinka suuri osuus lampuista toimii vielä tietyn ajan jälkeen (EU 2009).

Kaikki valonlähteet eivät saavuta täyttä valotehoaan välittömästi sytyttämisen jälkeen. Suurpainepurkauslamppuilla syttyminen voi kestää useita minuutteja. Syttymisaika on määritelty asetuksissa aikana, jolloin lamppu saavuttaa tietyn tason maksimivalontuotosta. Valonlähteiden valontuotto laskee ajan kuluessa. Lampulle ilmoitettu valovirta on mitattu uudella lampulla, jota on poltettu 100 tuntia. Purkauslamppuille on tyypillistä, että kun sitä on käytetty ilmoitetun polttoajan ajan, valontuotto on alentunut noin 80 %:iin alkuperäisestä. Valontuoton alenemakerroin on silloin 80 % (EU 2009).

4.4.3 Uusien asetusten tuotetietovaatimukset

Ensimmäisessä vaiheessa eli maaliskuussa 2010 valmistajien on ilmoitettava esimerkiksi internetsivustoilla loistelampuista ja suurpainepurkauslamppuista teho, valovirta, valovirran alenemakerroin ja eloonjäämiskerroin eri tuntimäärillä sekä elohopeapitoisuus, värintoistoindeksi ja värilämpötila. Loistelamppujen virranrajoittimista pitää kertoa energiatehokkuusindeksi. Toisessa vaiheessa huhtikuussa 2012 suurpainepurkauslamppujen virranrajoittimista on kerrottava hyötysuhde (EU 2009).

4.5 Asetusten vaikutukset ulkovalaistukseen

Euroopan Unionin asetuksen nro 245/2009 tärkeimmät vaikutukset ulkovalaistuksen markkinoihin on koottu taulukkoon 13.

Taulukko 13 Eco-design –direktiivin tärkeimmät vaikutukset ulkovalaisinmarkkinoihin (EU 2009)

Vuosi	Vaikutus purkauslamppujen markkinoihin
2010	Suurpainepurkauslamppujen tietyt tiedot pitää olla vapaasti saatavilla teknisissä dokumenteissa tai nettisivuilla
2012	Monimetalli- ja suurpainenatriumlamppujen valotehokkuusvaatimukset kiristyvät. Minimirajan alittavat vakiosuurpainenatriumlamput ($R_a < 60$) poistuvat markkinoilta
2015	Elohopealamput poistuvat markkinoilta Elohopealamppuja korvaavat suurpainenatriumlamput poistuvat markkinoilta
2017	Monimetallilamppujen valotehokkuusvaatimukset kiristyvä. Kvartsilasiset monimetallilamput poistuvat markkinoilta

Kun vuonna 2012 valotehokkuudeltaan alhaiset vakiosuurpainenatriumlamput katoavat markkinoilta, markkinoilla nyt olevat tehokkaammat lamput pystyvät korvaamaan nämä valonlähteet. Suurpainenatriumlamput, joiden värintoistoindeksi R_a on suurempi kuin 60, säilyvät edelleen myynnissä. Näitä lamppuja kutsutaan värikorjatuiksi tai paremman värintoiston suurpainenatriumlampuiksi. Kun tehottomimmat kvartsilasiset monimetallilamput jäävät pois markkinoilta, ne pystytään korvaamaan suoraan tehokkaammilla keraamisilla malleilla (Osram 2009b).

4.6 Pohdintoja Eco-design -direktiivin ja asetusten vaikutuksista

Jotkut tahot ovat pitäneet jo Eco-design -direktiivin voimaantuloa valtavana kulttuurin muutoksena tuotteiden ekosuunnittelussa, joka ratkaisevasti vaikuttaa ympäristön tilaan (Kautto et al. 2007). Kansallisella tasolla direktiivin välitön vaikutus lienee ollut, että aiheesta on koostettu suuret määrät virkamiesten ja konsulttien samaa asiaa toistavia raportteja. Pelättiin, että direktiivi hukkuu raporttien alle tai kaatuu lakitekstien määritelmien sekavuuteen. Direktiivin vaikutusalueella on ollut kaikissa jäsenmaissa suuri määrä eritasoisia lakeja jo ennestään.

EU:n komission omat täytäntöönpanotoimenpiteet ovat vaikuttavuudeltaan eri luokkaa. Asetusten tekeminen on ollut voimainponnistus EU:n komissiolle ja erityisesti mukana olleille valaistuksen kanssa toimiville yhteisöille. Asetuksia on valmisteltu perusteellisesti ja ne on saatu riittävän yksityiskohtaisiksi, jotta niitä pystytään soveltamaan kaikissa jäsenmaissa.

EU:n taholta on annettu ymmärtää, että mitään tekniikkaa ei kielletä asetuksissa, vaan asetusten ansiosta energiatehokkaammat teknologiat pääsevät paremmin esille. Tuoteryhmille on kuitenkin annettu rajat, joiden loogisuutta on joskus vaikea ymmärtää. Kotitalouslamppuja koskevassa asetuksessa on eri vaatimukset kirkkaille ja himmeäpintaisille lampuille. Sama jaottelu on myös palvelusektorin valaistustuotteita koskevassa asetuksessa. Toinen merkittävyys on suoraan elohopealamppuja korvaavien suurpainenatriumlamppujen myynnin lopettaminen vuonna 2015.

Monet uudet innovaatiot, kuten LED-ulkovalaisimet, eivät sisälly näiden ekosuunnittelusäännösten piiriin, mikä on helpotus monille aktiivisesti tuotekehitystä tekeville pk-yrityksille. Toisaalta voidaan miettiä vääristäkö asetelma markkinoita, jos jollekin tuoteryhmälle ei ole minkäänlaisia energiatehokkuusvaatimuksia. Minimivaatimuksena voisi olla edes paikkaansa pitävän tiedon merkinnän pakollisuus tuotteen pakkaukseen valonlähteen energiankulutuksesta ja valontuotosta.

Direktiivin alkuperäinen ajatus tuotteen koko elinkaaren hallinnasta on osittain jäänyt näpertelyksi joidenkin merkityksettömien seikkojen, kuten makean veden kulutuksen laskentaan tuotteen elinkaaren aikana. Toisaalta taas ympäristön kannalta huomattavan myrkyllisen aineen, elohopean, käyttö on eri lainsäädännön kautta kielletty melkein kaikissa muissa tuotteissa lukuun ottamatta valonlähteitä. Melkein kaikissa purkauslamppuissa loistelamput mukaan lukien on elohopeaa, eikä sen radikaaliin vähentämiseen ole näköpiirissä juurikaan edellytyksiä, vaikka alkuperäisessä direktiivissä sitä on toivottu (Tichelen et al. 2007).

Euroopan Unionin päättävien elinten mahdollisuus tiedostaa alueelliset erityispiirteet voidaan myös kyseenalaistaa. Ulkovalaistuksen kanssa eniten tekemisissä olevat tahot kuten kunnat ovat jääneet melkein kokonaan asetusten valmistelun ulkopuolelle. Vaikka asetukset on tehty yksityiskohtaisesti ja niiden taustalla on tehty suuri työ, niihin on jäänyt virheitä, joiden korjaaminen on jo aloitettu ennen asetusten voimaantuloa (Martikainen 2009). Mm. ympärisäteilevien kotitalouslamppujen ultraviolettisäteilyn määrästä on jo ehditty antaa uusi asetus syksyllä 2009 ja palvelusektorin valaistustuotteita koskevaan asetukseen on tulossa muutoksia alkuvuodesta 2010.

Direktiivien mukaiset asetukset eivät kykene juurikaan ohjaamaan itse energian käyttöä, mikä on niiden heikkous. Asetusten valmisteluissa mukana olleet teollisuuden edustajat halusivat saada uusia määräyksiä myös valaistuksen suunnitteluun, mutta siitä ei päästy yhteisymmärrykseen. Eräs skenaario on, että uusien asetusten vuoksi toimivan ja melko kustannustehokkaan valaistuksen tilalle laitetaan kallista ja epävarmaa tekniikkaa.

Muutamista heikkouksista huolimatta Eco-design -direktiivin mukaiset asetukset ovat yksi askel muiden joukossa kohti tehokkaampaa energiankäyttöä ja pienempiä päästöjä. Asetus ei ole enää pelkkää visiointia ja tavoitteita, vaan se sisältää selvät toimintaohjeet. Uudet säännökset ovat ainakin lisänneet tietoisuutta valonlähteiden ominaisuuksista ja energiatehokkuudesta sekä antaneet pohtimisen aihetta kuluttajille ja valaisinten kanssa toimiville tahoille.

5 Ulkovalaistuksen energiankulutus ja ympäristövaikutukset

5.1 Valaistuksen energiankulutus

IEA:n tutkimuksen mukaan koko maailman sähköverkkoon kytketyn valaistuksen kulutus on 2652 TWh sähköä vuonna 2005 eli 19% kaikesta sähköstä. Tievalaistukseen kuluu tästä 114 TWh eli 4,3 % (IEA & OECD 2006). Suomessa valaistukseen kuluu 9,8 % ja tievalaistukseen 0,9 % kaikesta kulutetusta sähköstä (SSTL et al. 200; luku 2). Taulukossa 14 on esitetty kaikkien valaistusosa-alueiden sähkönkulutus maailmassa ja Suomessa.

Taulukko 14 Valaistuksen kuluttama sähköenergia Suomessa ja koko maailmassa (IEA & OECD 2006; SSTL et al. 2008; luku 2)

	Koko maailma TWh	Suomi TWh
Asuntojen valaistus	811	2,4
Kaupallinen sektori	1133	4,1
Teollisuusvalaistus	490	1,5
Tievalaistus	114	0,8
Muu ulkovalaistus	104	-
Yhteensä	2652	8,8
Kokonaissähkönkulutus	14000	90

Taulukon arvot ovat vuosilta 2005 – 2007. Sähkönkulutus on muuttunut tuona aikana jonkin verran vuoden 2007 ollessa sähkönkulutuksen huippuvuosi Suomessa. Lähteinä on käytetty koko maailman osalta IEA:n julkaisua Light's Labours's Lost (IEA & OECD 2006) ja Suomen osalta Suomen sähkötukuliikkeiden raporttia (SSTL et al. 2008) lukuun ottamatta Suomen ulkovalaistusta, joka perustuu TKK:n valaistusyksikön kyselytutkimukseen (luku 2).

IEA on tilastoinut erikseen tievalaistuksen lisäksi muun ulkovalaistuksen osuuden. Suomen osalta siitä ei ole erikseen lukuja saatavilla. Se sisältyy muihin kategorioihin, kuten teollisuusvalaistukseen.

5.2 Valaistuksen ympäristövaikutukset elinkaaren aikana

Valaistuksen ympäristövaikutukseen otetaan huomioon laitteen tuotannosta, jakelusta, käytöstä ja käytön jälkeisestä kierrätyksestä tai hävittämisestä aiheutunut kuormitus. Taulukossa 15 on Euroopan Unionin komission tekemästä raportista otettu esimerkki, millaisia päästöjä tyypillisistä asuntokaduilla käytetyistä elohopea- ja suurpainenatriumlampuista tulee elinkaaren aikana.

Taulukko 15 Euroopan Unionin komission laskelma tyypillisten elohopea- ja suurpainenatriumlamppujen päästöistä 1000 luumenta kohden 30 vuoden aikana (Tichelen et al. 2007)

		Elohopea-lamppu 125 W	Suurpainenatriumlamppu 70 W
Kokonaisenergia	MJ	205400	84638
Sähköenergia	MJ	203284	83413
Vesi (prosessi)	l	13633	5641
Vesi (jäähdytys)	l	542066	222398
Jäte, maantäyttö	g	260773	112114
Ongelmajäte	g	6400	3410
Päästöt ilmaan			
Kasvihuonekaasut	kg CO ₂	9026	3726
Happamoituminen	g SO ₂	53013	21884
VOC	g	82	35
POP	ng	1439	603
Raskasmetallit	mg	3801	1664
PAH	mg	745	390
Partikkelit	g	1481	692
Päästöt veteen			
Raskasmetallit	mg	1511	696
Reheöityminen	g PO ₄	13	7

Taulukon laskelmissa valaisimen käyttöäksi on ajateltu 30 vuotta ja lampun vuotuinen polttoaika vuodessa 4000 tuntia. Raportin laskelmat ovat perusteellisia. Niissä on pyritty ottamaan huomioon esimerkiksi kuinka paljon tuotetusta valosta saadaan tehokkaasti käytettyä hyväksi. Taulukoista voidaan päätellä, että lähes kaikki valonlähteen kuluttamasta energiasta on sähköenergiaa. Muilla purkauslamppuilla ympäristövaikutukset ovat samanlaisia (Tichelen et al. 2007).

LED-ulkovalaisimia ei ole tuossa vertailussa mukana. Monet valmistajat kuten Osram on tutkinut LED-valaisimen elinkaaren aikana kuluttamaa energiaa ja tullut siihen tulokseen, että 98 % energiaa kuluu lampun käyttöaikana (Osram 2009a).

5.2.1 Hiilidioksidipäästöt ja hiilijalanjälki

Valaistuksen koko elinkaaren ympäristörasituksesta vähintään 90 % tulee käytön aikana (Tichelen et al. 2007). Ratkaisevinta päästöjen kannalta tuona aikana on energian kulutus. Energian tuotannossa fossiilisten polttoaineiden käyttäminen lisää hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen määrää ilmakehässä. Kasvihuonekaasujen kuormitusta kuvaa hiilijalanjälki tai ekvivalentti hiilijalanjälki, joka tarkoittaa kuinka suuri määrä yhdisteen kasvihuonevaikutus on verrattuna hiilidioksidin aiheuttamaan kasvihuonevaikutukseen. Eri polttoaineet tuottavat hiilidioksidia sähköntuotannossa taulukon 16 mukaisesti.

Taulukko 16 Eri polttoaineiden hiilidioksidipäästöt (Suomi et al. 2004)

Polttoaineet	g CO ₂ /kWh
Raskas polttoöljy	279
Kevyt polttoöljy	267
Maakaasu	202
Nestekaasu	227
Turve	382
Kivihiili	341
Koksi	389
Puuperäiset polttoaineet	0

Suomessa arvioidaan yleisesti sähköntuotannon hiilidioksidipäästöiksi 200 g tuotettua kilowattituntia kohden (Suomi et al. 2004). Ruotsissa päästöt ovat olleet vuonna 2007 17 g/kWh ja Norjassa 5 g/kWh (Lightbucket 2008). Keski-Euroopassa luku on selvästi suurempi. Eco-design –direktiivien laskelmissa on käytetty lukemaa 450 g/kWh (Tichelen et al. 2007).

Hiilidioksidipäästöt vaihtelevat yleensä kulutuksen määrän mukaan, koska sähköä tuotetaan eri tuotantomuodoilla eri kuormitustilanteissa. Kun Suomessa sähkönkulutus on pienintä, esimerkiksi kesällä, ovat myös hiilidioksidipäästöt suhteessa pienimmät. Silloin Suomessa sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt ovat noin 100 g/kWh. Kun sähkönkulutus on huipussaan, hiilidioksidipäästöt voivat olla noin 900 g/kWh (Heljo et al. 2005).

Sähkönkulutuksen huippu on Suomessa ollut 20.1.2006 kello seitsemän ja kahdeksan välillä, jolloin kulutettiin 14 800 MW sähköä. Tuona ajankohtana lämmitysenergian tarve on ollut huipussaan kovien pakkasten vuoksi, mutta myös ulkovalaistukset ovat olleet kautta maan päällä. Kun valaistuksen tarve on vähentynyt, on myös energian tarve koko maassa pienentynyt ja huipputeho laskenut (Fingrid 2007).

5.2.2 Hiilidioksidipäästöjen vähentämisyrittämukset ja päästöjen kehitys

Maailman energiajärjestön IEA:n mukaan hiilidioksidipäästöt kasvaisivat kaksinkertaisiksi vuosien 1990 – 2030 aikana, jos mitään toimenpiteitä ei tehtäisi. Suurin kasvutekijä on kehittyvien maiden, erityisesti Aasian maiden, lisääntyvä energiankäyttö. EU:n osuus maailman kasvihuonepäästöistä on noin 10 % ja Suomen osuus 0,25 %. Myös teollisuusmaiden sähkönkulutuksen arvioidaan jatkavan kasvuaan ilman suuria rakenteellisia toimenpiteitä (Energia 2007).

Ilmasto ei tunne maiden rajoja, joten kasvihuonekaasujen rajoittamiseksi täytyy tehdä kansainvälistä yhteistyötä. Suurimmat odotukset on asetettu YK:n ilmastopöytäkirjalle. Kiotossa tehdystä YK:n ilmastopöytäkirjasta vuonna 1992 sovittiin kasvihuonekaasujen vähentämisestä yhteisesti sovitulle tasolle. Sopimuksen on ratifioinut 175 maata ja siinä mainittuja kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi, metaani, otsoni, rikkiheksafluoridi ja HFC-yhdisteet (United Nations 1998).

Sopivalle tasolle Kioton sopimuksen mukaan päästään, kun hiilidioksidipäästöjä saadaan vähennettyä 5 % verrattuna vuoden 1990 tasoon. EU pyrkii 8 %

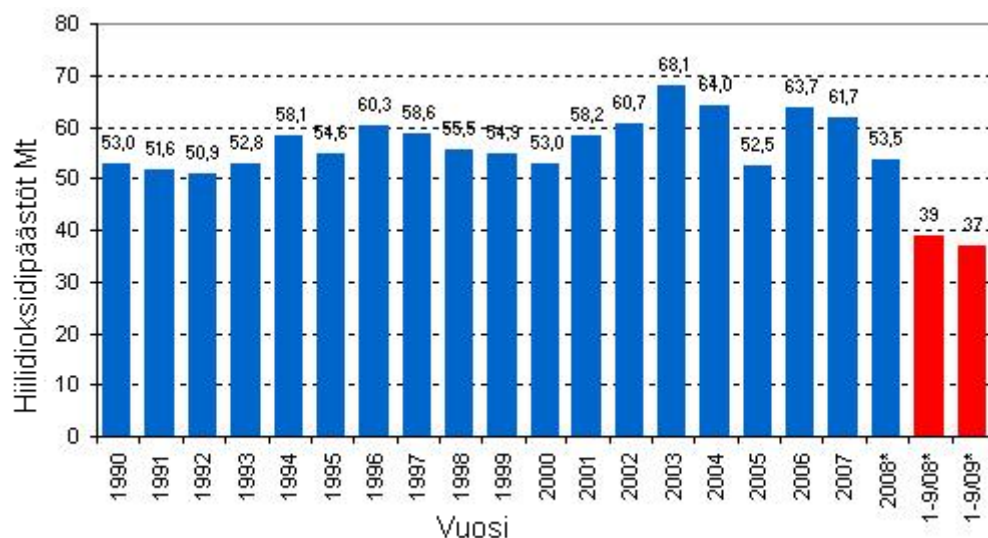
päästövähennyksiin, mutta EU:n sisällä on sovittu että Suomi tavoittelee vuoden 1990 tasoa, mutta sen ei tarvitse mennä sen alle (Ympäristöministeriö 2009b).

Valtioiden omia toimia sopimusten täytäntöönpanoksi ovat yleensä energian tuotannon ja kulutuksen sääntely, parempien teknologioiden tukeminen tai sähkönkuluttajien tietoisuuden lisääminen ja vapaaehtoiset toimenpiteet energiankäytön muutoksissa. Valtioiden ja maanosien keskinäisiä toimenpiteitä ovat erilaiset sopimukset (United Nations 1998).

Yksi työkalu tavoitteen saavuttamiseksi on ollut kansainvälinen päästökauppa. Siinä pyritään pienempiin hiilidioksidipäästöihin tuntuvan taloudellisen panoksen avulla. Sen piiriin kuuluvat mm. kaikki lämpötehoaan yli 20 MW:n voimalaitokset ja kaupattavat päästökauppiin koskevat hiilidioksidipäästöjä (Ympäristöministeriö 2009a).

Toinen keino on kannustaa kuluttajia ja yhteiskunnan merkittäviä toimijoita omaehtoiseen energiatehokkuuteen. Suomessa Motiva tekee julkisten toimijoiden kuten kuntien kanssa mm. energiansäästösopimuksia. Energiankäytön rajoittaminen, verotus tai energiatehokkuudeltaan heikkojen laitteiden markkinoinnin kieltä ovat myös käytettyjä ohjauskeinoja.

Kuvassa 4 näkyy Suomen fossiilisten polttoaineiden hiilidioksidipäästöjen kehitys vuodesta 1990 (Tilastokeskus 2009).



Kuva 4 Suomen fossiilisten polttoaineiden hiilidioksidipäästöjen kehitys 1990 – 2008 Mt
(Tilastokeskus 2009)

Kuvassa näkyvät kaksi oikeanpuoleisinta pylvästä kuvaavat vuosien 2008 ja 2009 kolmen ensimmäisen neljänneksen hiilidioksidipäästöjä. Tilastoihin on vaikuttanut merkittävästi se, kuinka paljon saadaan Ruotsista ja Norjasta tuotua vesivoimaa vai onko jouduttu käyttämään hiililauhdevoimaa Vuonna 2008 päästiin Kioton sopimuksen tavoitteeseen eli vuoden 1990 tasoon. Suurin päästöjen vähenemiseen vaikuttava tekijä on ollut teollisuustuotannon väheneminen (Tilastokeskus 2009).

5.3 Ulkovalaistuksen energiansäästöpotentiaali

5.3.1 Valonlähteen vaihtamisen tuoma energiansäästö

Valaistuksen energiansäästöpotentiaalia laskettaessa yksinkertaisin tapa on laskea valonlähteen tai koko valaisimen vaihtaminen pienempitehoiseen ja valotehokkuudeltaan parempaan valaisimeen. Seuraavassa on arvioitu vaikutuksia, jos kaikki elohopealamput Suomen ulkovalaistuksessa vaihdetaan pienempitehoisiin suurpainenatriumlamppuihin.

Tehdyn kyselyn mukaan yleisimmät ulkovalaistuksessa käytettyjen elohopealamppujen tehot Suomessa ovat 125 W ja 250 W. Myös 80 W ja 400 W lamppuja käytetään, mutta niiden määrä on pienempi. Tavallisimmin elohopealamput vaihdetaan teholtaan pienempään suurpainenatriumlamppuun, 250 W elohopealamppu vaihdetaan 150 W suurpainenatriumlamppuun ja 125 W lamppu vaihdetaan 70 W lamppuun. Keskimäärin tehonkulutus pienenee silloin 80 W (luku 2).

Kun elohopealamppuja on Suomessa noin 664 000 kpl, saadaan vuotuisella 3950 tunnin polttoajalla säästettyä sähköä noin 200 GWh. Tämä on noin 0,2 % Suomen koko sähkön kulutuksesta. Hiilidioksidipäästöjä säästyy 40 000 tonnia. Jos sähkön hinta on 0,1 €/kWh, säästetään vuodessa noin 20 miljoonaa euroa.

5.3.2 Muut säästötoimenpiteet ulkovalaistuksessa

Ulkovalaistuksen ohjauksen paremmalla ajoituksella voidaan saada säästöjä aikaan. Esimerkiksi jos valaistusta ohjataan paikallisemmin keskuskohtaisesti ja optimoidaan sytytys- ja sammutusaikoja, saadaan lyhennettyä valaisinten palamisaikaa ja säästettyä energiaa. Myös lamppujen sammuttamisella yöajaksi tai kesäkuukausiksi saavutetaan tuntuvia säästöjä.

Älykäs ohjaus tarkoittaa, että tienpinnan luminanssitaso säädetään jatkuvasti pinnan ominaisuuksien ja liikenteen vilkkauden mukaan. Porvoon moottoritie ja Kehä III:lla on saatu tutkimuksissa teoreettiset 40 % energiansäästöt älykkään ohjauksen avulla, mikäli järjestelmä toimii suunnitellun mukaisesti. Rakentamiskustannukset olivat 16 % korkeammat kuin ilman ohjausta toteutettu valaistus (Guo 2008).

5.4 Valaistuksessa toteutettuja energiansäästötoimenpiteitä

Esimerkiksi Kuubassa on vuodesta 2005 lähtien ollut energiankäytön tehostusohjelma, jonka seurauksena hehkulamput on kielletty vuonna 2006 ja korvattu energiansäästölamppuilla valtion varoin. Vuoteen 2008 mennessä hehkulamppujen vaihtuminen energiansäästölamppuihin ei ole kuitenkaan vaikuttanut energiankulutukseen toivotulla tavalla. (Belt 2009). Kuubassa sähkö tuotetaan lähes kokonaan fossiililla polttoaineilla. Yleisen käsityksen mukaan energianjakelun rakenteet ovat siellä huonossa kunnossa, joten energiatilastointikaan ei välttämättä ole aivan ajan tasalla.

Myös Australia kieltää hehkulamppujen ja tehottomimpien pienloistelamppujen myynnin vaiheittain. Ensimmäinen markkinointikielto on astunut voimaan marraskuussa 2009 ja viimeiset rajoitukset tulevat lokakuussa 2012.

Hehkulamppukiellon vaikutuksista energiansäästöön Australiassa ei ole vielä tilastotietoja (Australia 2009).

Muulla Euroopan Unionin alueella mm. Liettuassa on tehty Green Light –projektin puitteissa tuottoisia valaisinmuutosprojekteja. Vuosien 2000 – 2006 aikana Kaunasin alueella on ulkovalaistuksessa vaihdettu 16 000 vanhaa elohopealamppuvalaisinta uusiin suurpainenatriumlamppuihin. Käytetty teho laski 5604 kW:sta 3014 kW:iin ja energiankulutus vuodessa putosi 56 %. Uusissa asennuksissa on käytetty suurpainenatriumlamppuja teholtaan 70 – 250 W. Uusien valaisimien keskimääräinen teho on 190 W (GreenLight 2009).

Suomessa ulkovalaistuksessa on ollut vastaavia Motivan ja Euroopan Unionin tukemia energiansäästöprojekteja, kuten ESCO-projekteja. ESCO-projektissa, kuten Green Light –projektissakin, on ideana, että pienellä julkisella tuella saadaan hanke liikkeelle ja muutostyöt rahoitetaan pääosin energiansäästöillä. Jyväskylässä on jo aiemmin vuosina 1998 – 2002 vaihdettu ulkovalaistuksessa 9300 elohopealamppua suurpainenatriumlamppuihin, jolloin vuotuiseksi energiansäästökseksi saatiin 10 % (Jyväskylän kaupunki 2009).

5.5 Muut valaistuksen aiheuttamat ympäristövaikutukset

5.5.1 Ultraviolettisäteily ja valosaaste

Monissa ulkovalaistuksessa käytetyissä valonlähteissä syntyy UV-säteilyä, joka voi liian suurina annoksina vaikuttaa mm. ihon rakenteisiin. UV-säteilystä ei ole näkemisen kannalta hyötyä. Se pyritään suodattamaan esimerkiksi kirkkaissa suurpainenatrium- ja monimetallilampuissa polttimon tai valaisimen lasilla. Loiste- ja elohopealampuissa UV-säteily saadaan muutettua loisteaineen vaikutuksesta näkyväksi valoksi.

Valosaaste on tarpeettomasti taivaalle suuntautuvaa keinovaloa, esimerkiksi ulkovalaistuksesta ylöspäin menevä valo. Eco-design direktiivin myötä oli tarkoitus asettaa rajoja myös valosaasteelle. Sen mittaamiseen ja arvostelemiseen ei ole kuitenkaan olemassa kovin hyvää yhtenäistä käytäntöä, joten se on jätetty pois direktiivin pohjalta tehdyistä asetuksista. Asetuksen taulukossa 25 on annettu viitteelliset ohjeet, kuinka suuri osuus valosta saa suuntautua ylöspäin. Tieluokissa ME1 – ME6 tämän valon osuus saa olla 3 %. Pelkästään valaisimien suunnittelulla ei voida ehkäistä valosaastetta, vaan se riippuu valaisinasennuksista (EU 2009).

5.5.2 Elohopea

Lähes kaikissa purkauslampuissa käytetään elohopeaa, joka sopivassa lämpötilassa ja paineessa höyrystyy, rupeaa johtamaan sähköä ja tuottamaan loisteaineiden vaikutuksesta näkyvää valoa. Kun valonlähde on käytössä, elohopeasta ei aiheudu minkäänlaista vaaraa. Uusissa loistelampuissa elohopeapitoisuus vaihtelee keskimäärin 1 - 3 mg lamppua kohti. Elohopealampuissa elohopean määrä saattaa olla esimerkiksi 250 W lamputta 40 mg. Määrä vaihtelee tehon mukaan. Myös suurpainenatriumlamput sisältävät tavallisesti elohopeaa, mutta on myös elohopeavapaita suurpainenatriumlamppuja (Philips 2006).

Eco-design –direktiivin mukaisissa asetuksissa ei ole kielletty elohopean käyttöä lampuissa. Elohopean määrälle on asetettu rajat, jotka nykyaikaiset valonlähteet läpäisevät hyvin. Pienloistelampussa sallitaan 5 mg elohopeaa. Amalgaamia sisältäville loistelampuille on sallittu helpotuksia tietyissä lampun ominaisuuksissa kuten syttymisajoissa (EU 2009).

Asetusten taustaraportissa ennustettiin, että valaistuksen elohopeapäästöt kasvavat yli kolmeen tonniin vuodessa Euroopassa, jos säädökset pysyvät entisellään. Tuohon lukuun on otettu huomioon myös valaistuksen sähköntuotannon elohopeapäästöt. Mm. hiilen polttaminen tuottaa ilmakehään elohopeapäästöjä. Elohopean kokonaispäästöt ilmakehään olivat vuonna 1990 462 tonnia. Kun valaistus käyttää vähemmän energiaa, arvellaan elohopeapäästöjenkin laskevan (Tichelen et al. 2007).

Purkauslamppujen elohopeamäärät ovat vähenemään päin. Euroopassa julkisella sektorilla ulkovalaistuksen valonlähteiden kierrätys toimii hyvin. Mm. Saksassa kaikista purkauslamppuista saadaan kierrätykseen 70 – 80 % (IAEEL 2009).

6 Elohopealamppujen ja muiden markkinoilta poistuvien valonlähteiden korvaaminen käytännössä

6.1 Eri valonlähteiden mahdollisuudet korvata elohopealamput ulkovalaistuksessa

6.1.1 Suurpainenatriumlamppu

TKK:n kunnille tekemästä kyselystä ilmenee (luku 2), että suurpainenatriumlamppu on tällä hetkellä suosituin elohopealamppujen korvaaja ulkovalaistuksessa. Sitä pidetään energiatehokkaana, luotettavana ja erinomaisena hinta-laatu suhteeltaan. Vaihtoväli on pidempi kuin elohopealampulla, joten huoltokustannukset pienenevät. Suurpainenatriumlampulla merkittävimmät heikkoudet verrattuna elohopealamppuun ovat huono värintoisto ja keltainen valon väri. Suurpainenatriumlampun himmentäminen säätömuuntajan avulla onnistuu paremmin kuin elohopealampulla.

6.1.2 Monimetallilamppu

Kyselyn perusteella monet kunnat aikovat vaihtaa osan elohopealamppuistaan monimetallilampuiksi (luku 2). Niiden määrä tulee lisääntymään erityisesti alueilla, joissa liikkuu paljon ihmisiä ja joissa valon väriominaisuuksilla on merkitystä, kuten taajamien keskustoissa. Monimetallilampun etuina ovat valkoinen valo ja hyvä värintoisto sekä kompakti koko.

Monimetallilamppumallistosta löytyy värilämpötilaltaan vastaavia lamppeja kuin elohopealamput ovat. Värintoiston suhteen monimetallilampuista löytyy myös eri vaihtoehtoja. Ryhmävaihtoväli on keskimäärin samaa luokkaa kuin elohopealamppuilla. Monimetallilampun investointi- ja huoltokustannukset ovat tällä hetkellä korkeampia kuin suurpainenatriumlampulla. Valon säätö on myös hiukan vaativampaa kuin suurpainenatriumlampulla. Jos muuntajalla säädettävässä verkossa oleva elohopealamppu korvataan monimetallilampulla, on mahdollista selvittää vanhalla järjestelmällä, kuten vaihdettaessa suurpainenatriumlamppuun.

6.1.3 Muut lamput

Induktiolamppujen samoin kuin loistelamppujen käyttö ulkovalaistuksessa Suomessa on ollut vähäistä. Induktiolampuista on jo jonkin verran kokemusta Suomen olosuhteissa. Ne ovat hyvä vaihtoehto suurpainepurkauslamppuille, jos tarvitaan hyvää värintoistoa ja pitkää ryhmävaihtoväliä. Induktiolamppuja on asennettu jonkin verran ulkovalaistuksen vaihtourakan yhteydessä mm. pääkaupunkiseudulle puistoihin, pyöräteille ja asuntokaduille.

Loistelamppujen käyttö piha-alueiden ulkovalaistuksessa on jonkin verran lisääntynyt, koska loistelampun elinikä, pakkasenkestävyys ja mallivalikoima ovat kasvaneet vähitellen. Loistelamppuja ja induktiolamppuja ei voi ohjata säätömuuntajalla, kuten perinteisesti suurpainepurkauslamppuja on säädetty. Niiden säätöön on omat järjestelmänsä.

Pienpainenaatriumlamppujen määrä vähenee tievalaistuksessa. Se ei sovellu taajamiin huonon värinoton vuoksi ja suurpainenaatriumlamppu on syrjäyttämässä sen myös vilkasliikenteisillä teillä. LED-valaisimien mahdollisuudesta korvata elohopealamppu kerrotaan luvussa 7. Muut valonlähteet jäävät marginaaliseksi ulkovalaistuksessa.

6.2 Eri menetelmiä valonlähteiden vaihtotyössä

6.2.1 Elohopealampun vaihto muihin valonlähteisiin valaisinta vaihtamatta

Purkauslamppuissa lampun vaihto erityyppiseen tai teholuokaltaan erilaiseen ei yleensä suoraan onnistu erilaisista liitännälaitteista johtuen. Saman tehoiset suurpainenaatriumlamput ja monimetallilamput voidaan tietyissä tapauksissa vaihtaa keskenään. On kuitenkin olemassa korvaavia lamppuja, jotka on tehty toimimaan toisen tyyppisen liitännälaitteen kanssa.

Esimerkiksi markkinoilla on jo pitkään ollut suurpainenaatrium- ja monimetallilamppuja, jotka sopivat suoraan elohopealampun tilalle. Lamppuissa on sisäinen sytytin, jolla saadaan aikaan oikea sytytysjännite. Elohopealampun korvaavissa suurpainenaatriumlamppumalleissa teho on tyyppillisesti ollut hiukan pienempi kuin vastaavassa elohopealampussa, mutta valontuotto on noin kaksinkertainen (Philips 2006).

Korvaavia lamppumalleja on saatavana Suomessa ainakin tunnetuilta valmistajilta, kuten GE:ltä, Osramilta ja Philipsiltä. Myös japanilainen Iwasaki on myynyt pitkään korvaavia lamppumalleja. Kokemukset korvaavien lamppujen kestävyudessa vaihtelevat eri valmistajien mallien välillä. Suomessa on mm. käytetty sellaisia elohopealamppuja korvaavia suurpainenaatriumlamppuja, jotka ovat toimineet yhtäjaksoisesti yli 15 vuotta ja tuottavat edelleen suuremman valomäärän kuin korvattu elohopealamppu (Sillanpää 2009).

Suurpainenaatrium- ja monimetallilamppuissa on hiukan suurempi sytytysvirtapiikki kuin elohopealampussa, joten korvaavia lamppuja käytettäessä alkuperäisen elohopealampun kuristimen kestävyys täytyy ottaa huomioon. Ongelmia voi esiintyä lähinnä joidenkin vanhojen elohopealamppujen kuristimilla, mutta monissa vuosikymmeniä vanhoissa valaisimissakin korvaavat lamput ovat toimineet moitteetta ja valoa voidaan myös säätää (Sillanpää 2009).

Energiansäästön kannalta tämä vaihtomenetelmä ei ole niin tehokas kuin ne toimintatavat, joissa vanha valonlähde saadaan vaihdettua uuteen huomattavasti pienempään teholuokkaan, jollei syöttöjännitettä pystytä säätämään.

Elohopealamppuja korvaavat suurpainenaatrium- ja monimetallilamput jäävät pois markkinoilta vuonna 2015. Siirtymäajalla ennen lopullista valaisimen vaihtoa korvaavat lamppumallit voivat olla varteenotettava ratkaisu antamaan lisää aikaa valaisinten vaihtotyöhön, jos valitaan tarpeeksi kestävä lamppumalli.

6.2.2 Valonlähteen ja liitäntälaitteen vaihto

Kun elohopealamppuvalaisimeen vaihdetaan kuristin ja lisätään sopiva sytytin, voidaan valonlähde vaihtaa toiseen purkauslamppuun. Markkinoilla on myös elohopealamppuvalaisimeen lisättäviä sytytynyksikköjä, jotka toimivat uuden suurpaineipurkauslampun kanssa niin, että kuristinta ei tarvitse vaihtaa. Joillakin valaisinvalmistajilla samaan valaisinkuoreen voidaan laittaa monelle eri valonlähteelle sopivat sähköiset osat sekä optiikka ja vaihtaa ne pienellä työllä uudelle valonlähteelle sopivaksi.

Jotkut kunnat ovat kyselyn perusteella miettineet liitäntälaitteen vaihtamista vanhoihin valaisimiin, mutta tämä toimintapa jäänee marginaaliseksi. Vanhoihin valaisimiin lisäkomponenttien sijoittelu voi olla ongelmallista. Jos valaisinta muutetaan niin että tyyppikilven tiedot eivät ole enää voimassa, joudutaan miettimään kilven vaihtoa ja tyyppitestejä. Kun koko valaisin vaihdetaan, riittää standardin SFS 6000 mukaiset asennustarkastukset (SFS 6000-6). Jos optiikka, lampunpitimet ja kuori alkavat olla huonossa kunnossa, sähköisten osien ehostus ei ole kustannustehokasta. Hyvässä kunnossa oleville valaisimille toimenpide voi olla kannattava.

6.2.3 Valaisimen vaihto

TKK:n tekemässä kyselyssä koko valaisimen vaihto uuteen on kaikkein yleisin menetelmä korvattaessa elohopealamppuja. Mikäli pylväsväliä ja korkeutta ei samalla muuteta, on saatava mahdollisimman optimaalinen, valontuotoltaan ja -jaoltaan alkuperäistä lähellä oleva valaisin. Useimmissa tapauksissa valon tuotto lisääntyy, kun elohopealamppun tilalle vaihdetaan valotehokkuudeltaan korkeampi lamppu.

Jos pylväs on huonossa kunnossa tai se ei sovellu yhteen uuden valaisimen kanssa, se joudutaan vaihtamaan. Puupylväissä valaisinvarret saattavat joutua myös vaihtoon, jos sopivaa sovitinta vanhan valaisinvarren ja uuden valaisimen välille ei ole mahdollista laittaa. Jos alkuperäiset kaapelit ovat hyvässä kunnossa, niiden vaihtamiseen ei ole tarvetta. Ongelmaksi voi muodostua joidenkin vanhojen maakaapeleiden konsentristen kuparisten PEN-johtimien haurastuminen kosteuden vaikutuksesta (Tapper 2006). Pitkältä matkalta hapertuneen kuparipunoksen korjaaminen voi olla mahdotonta.

6.2.4 Koko alueen valaistuksen uusiminen

Kun katu rakenteineen on tullut elinkaarensa päähän tai se joudutaan muuten remontoimaan perusteellisesti, on perusteltua tehdä valaistuksellekin täydellinen remontti, jolloin kaapelointi, pylväät perustuksineen ja valaisimet sekä mahdollisesti ulkovalaistuskeskukset vaihdetaan uusiin. Monissa kunnissa koko ulkovalaistuksen uusimista tieremonttien yhteydessä tehdään suunnitelmallisesti, jolloin rahoitukseenkin pystytään varautumaan paremmin.

Tämän toimintatavan etuna on, että valaistus voidaan suunnitella ihan uudella tavalla ja optimoida pylväsvälit pidemmiksi. Kun pylväsvälit pitenevät, saadaan huollosta säästöjä. Huonona puolena ovat moninkertaiset kustannukset verrattuna pelkkään valaisimen vaihtoon. Joissakin kunnissa suurin osa ulkovalaistusasennuksista on niin vanhaa, että ne täytyy uusida täydellisesti. Mm. Tampereella varaudutaan laajasti näihin remontteihin (Valli 2009.)

6.3 Ulkovalaistuksen vaihtotyön aiheuttamat toimenpiteet kunnissa

6.3.1 Elohopealamppujen vaihtotyön aikataulu

Elohopealamppujen markkinoille tulo loppuu Euroopan Unionin alueella keväällä 2015. Siirtymäkaudelle, ennen kuin kaikki valaisimet on saatu vaihdettua, tarvitaan vanhoille valaisimille vielä vaihtolamppuja. Vaihtolamppujen saatavuudesta vuoden 2015 kevään jälkeen ei tällä hetkellä ole tietoa, joten vaihtolamppuja kannattaa hankkia ajoissa. Ympärisäteileviä kotitalouslamppuja koskevan asetuksen ensimmäiseen vaiheen voimaan astumisen jälkeen monia on yllättänyt se, että monet lampputyypit, jotka eivät poistuneet markkinoilta tuossa vaiheessa, ovat loppuneet kaupan hyllyiltä. (Sipilä 2009)

TKK:n tekemässä kyselyssä elohopealamppujen vaihtotyön ulkovalaistuksessa arvioidaan kestävän eri kunnissa 5 – 15 vuotta. Urakoitsijoiden kapasiteettia on vaikea arvioida. Jotkut ulkovalaistusurakointia tekevät yritykset ovat vakuutelleet, että tarvittavien vaihtotöiden tekemiseen riittää kapasiteettia. Aivan kaikki työn tilaajat eivät ole yhtä optimistisia. Jos uusien ulkovalaistusverkkojen asennus ja vanhojen laajennus jätetään minimiin, saadaan resurssit riittämään paremmin.

6.3.2 Toimintatavat eri alueilla elohopealamppuja korvattaessa

Kun vilkasliikenteisillä maanteilla luovutaan elohopealamppusta, on kyselyn perusteella korvaavana valonlähteenä suurpainenatriumlamppu. Esimerkiksi Tiehallinto aikoo vaihtaa kaikki 41 000 elohopealamppuaan suurpainenatriumlamppuihin. Tiehallinnon perusteluna on, että tällä hetkellä mikään muu valonlähde ei ole yhtä kustannustehokas ja energiatehokas kuin suurpainenatriumlamppu.

Vaikka elohopealamppu on tällä hetkellä yleisin valonlähde asuntoalueilla ja kevyen liikenteen väylillä, on monissa kunnissa käytetty näissä kohteissa myös suurpainenatriumlamppuja yhä lisääntyvässä määrin. Mm. Espoossa on elohopealamppuja alettu vaihtaa systemaattisesti suurpainenatriumlamppuihin jo 1990-luvun alkupuolelta lähtien. Toimintatapana on ollut vaihtaa elohopealamppuvalaisimeen korvaava suurpainenatriumlamppu. Kokemukset kestävydestä, huoltokustannusten pienentymisestä ja muuttuneesta valon väristä ovat olleet pääosin myönteisiä (Sillanpää 2009).

Lähellä kaupunkien keskustoja, puistoissa tai muissa paikoissa, joissa liikkuu paljon ihmisiä, on valon värin ominaisuuksilla suurempi merkitys. Parempi värintoisto auttaa erottamaan yksityiskohtia helpommin ja lisää turvallisuuden tunnetta. Näillä alueilla tullaan asentamaan mm. monimetallilamppuja. Myös induktiolamppujen määrä lisääntyy näillä alueilla.

6.3.3 Muiden markkinoilta poistuvien lamppumallien vaihtotyö

Vuonna 2012 suurpainenatrium- ja monimetallilampuille astuvat voimaan kiristyneet valotehokkuusvaatimukset. Se vaikuttaa siten, että myyjien valikoimista loppuvat tietyt lampputyypit. Poistuvat lampputyypit voidaan korvata valotehokkaammilla lampuilla (Philips 2006).

Vuonna 2017 kiristetään monimetallilamppujen valotehokkuusvaatimuksia lisää, mutta sekään ei aiheuta erityisiä valaisinten uusimistarpeita. Liitäntälaitteiden kiristyvät

vaatimukset vaikuttavat vain uusiin valaisimiin, joten niillä ei ole vaikutusta vanhojen valaisinten vaihtotyöhön.

6.4 Valaisinten vaihtotyön kustannukset

Ulkovalaistuksen elohopealamppujen vaihtotyön kustannuksista on koottu tietoa muutamista eri tiedotusvälineistä taulukkoon 17. Vaikka tiedot ovat suuntaa antavia arvioita, voidaan niistä päätellä tarvittavan rahoituksen suuruusluokka. Jyväskylän, Tampereen ja Vantaan tiedot ovat Plaanin artikkelista (Valli 2009), Helsingin tiedot ovat Helsingin Uutisista (Jakonen 2009), Turun tiedot Ylen uutisista (Yle Turku 2009) ja Tiehallinnon arvio nettisivuilta (Tiehallinto 2009a). Koko maan vaihdettavien valaisimien arvio on Uuden Suomen uutisesta (Uusi Suomi 2008). Se poikkeaa jonkun verran luvussa 2 esitetystä arviosta.

Taulukko 17 Esimerkkejä ulkovalaistuksen vaihtotyön kustannuksista eri kaupungeissa (Valli 2009; Jakonen 2009; Yle Turku 2009; Tiehallinto 2009a; Uusi Suomi 2008)

	Vaihdettavien valaisimien määrä	Kustannukset miljoonaa €	Kustannukset valaisinta kohti €
Helsinki	46000	20	435
Vantaa	16000	6,6	413
Tampere	20537	20	974
Turku	16000	4,5	281
Jyväskylä	15000	4	267
Tiehallinto	41000	20	488
Koko maa	800000	350	438

Vaihtotyön kustannuksiin vaikuttaa se, kuinka suuri remontti joudutaan tekemään. Jos pylväät, perustukset ja kaapelointi joudutaan vaihtamaan, kasvavat kustannukset nopeasti. Mm. Tampereella on laskettu, että monessa paikassa valaistus pitää rakentaa kokonaan uusiksi, joten valaisinta kohden vaihtotyön kustannuksiksi siellä on arvioitu huomattavasti suurempi hinta kuin muualla.

Oulun tiepiirin laskelmien mukaan uuden verkoston rakentaminen 150 W suurpainenatriumlampulla ja myötävällä metallipylväällä maksaa 1375 euroa valaisinta kohden ja pelkkä valaisimen vaihto lamppuineen maksaa 220 euroa (Tiehallinto 2003). 150 W ja 250 W suurpainenatriumlampunvalaisimien investointikustannuksissa ei ole juurikaan eroa. Toisaalta pelkästään metallipylvään muuttaminen myötäväksi maksaa yhtä paljon kuin valaisimen vaihtaminen (Tiehallinto 2003).

6.4.1 Esimerkkilaskelma Jyväskylästä ja Kuopiosta

Jyväskylässä on tehty vuosina 1998 – 2002 Ympäristöystävällinen valaistus –projekti, jossa 9317 elohopealamppua vaihdettiin suurpainenatriumlamppuihin. Tuloksena oli 10 % energiansäästöt. Kaupunkiin jäi vielä 14 500 elohopealamppua, noin puolet kaikista ulkovalaisimista. Vuonna 2009 Jyväskylä liittyi kuntien energiatehokkuussopimuksen piiriin, jossa tavoitteena on vähentää 20 % energiankulutusta vuoden 2008 lähtötasosta vuoteen 2020 mennessä (Jyväskylän kaupunki 2009).

Koska edellisestä ulkovalaistusprojektista saatiin Jyväskylässä hyviä kokemuksia, alettiin projektin toista vaihetta suunnitella niin, että se sisällytettäisiin energiatehokkuussopimuksen piiriin. ESCO-hankkeena projektiin on mahdollista saada

enimmillään 30 % Työ- ja elinkeinoministeriön tukea. Projektissa on tarkoitus myös asentaa ulkovalaistuskeskuksiin uudet säätöjärjestelmät (Jyväskylän kaupunki 2009).

Kuopiossa energiansäästö-laskelmien lähtökohtana ovat olleet kaupungin kiristyneet säästötavoitteet. Talousarviossa tievalaistukseen on vuodelle 2009 varattu noin 330 000 euroa vähemmän, mitä realistinen taso edellyttäisi. Kuopio tavoittelee myös Työ- ja elinkeinoministeriön tukia ulkovalaistusinvestointeihin. Kaupungissa on teetetty erilaisia laskelmia, kuinka säästöjä saataisiin aikaan. Kaikki säästötoimenpiteet, mm. joka toisen tievalaisimen sammutus aiheuttavat jonkinlaisia kustannuksia. Taulukossa 18 on tiivistelmä molempien kaupunkien laskelmista. (Kuopion kaupunki 2009).

Taulukko 18 Esimerkkilaskelma Jyväskylän ja Kuopion elohopealamppuvalaisinten vaihtotyöstä (Jyväskylän kaupunki 2009; Kuopion kaupunki 2009)

		Jyväskylä	Kuopio
Vaihnettavien valaisimien määrä		3599	6000
Yhden valaisimen vaihtokustannus	€/a	285	220
Vaihtotyön kokonaiskustannukset	milj. €	1,02	1,32
Yhden valaisimen tehonsäästö	W	50	110
Koko valaistuksen tehon säästö	MW	0,18	0,66
Valaistuksen polttoaika vuodessa	h	3900	3700
Energiankulutuksen säästöt vuodessa	MWh/a	702	2442
Kustannussäästöt	€/a	70181	244200
Yhden valaisimen tuoma säästö	€/a	19,5	40,7

Suurin ero laskelmissa on, että Kuopiossa 250 W elohopealamppuvalaisin vaihdetaan 150 W suuripainenatriumlamppuvalaisimeen. Kun liitäntälaitteiden ja optiikan paranemisen lasketaan tuottavan lisäksi 10 W säästöt, saavutetaan vaihtotyöllä 110 W tehonpudotus. Jyväskylässä vaihdettavan valaisimen aikaansaama tehonpudotus on 50 W. Jyväskylässä muutostyön yhteydessä lisätäänkin ulkovalaistuksen valaistustasoja. Ensimmäisessä valaistusprojektissa valaistusvoimakkuustasot olivat lisääntyneet 15 %. Jyväskylässä valaisinten vaihtotyön takaisinmaksuajaksi saadaan noin 15 vuotta. Kuopiossa se on 5,4 vuotta. Sähköenergian laskennallinen hinta näissä laskelmissa on 0,1 €/kWh.

Molemmissa kaupungeissa laskettiin myös keskuskohtaisten valaistuksen säätöjärjestelmien hankinnan kustannuksia ja saavutettavia säästöjä. Taulukossa 19 on kooste laskelmista, kuinka paljon ulkovalaistuskeskusten säätöjärjestelmien asentaminen tulisi maksamaan ja millaisia energiansäästöjä arvioidaan saavutettavan.

Taulukko 19 Esimerkkilaskelma Jyväskylän ja Kuopion ulkovalaistuskeskusten muutostöistä (Jyväskylän kaupunki 2009; Kuopion kaupunki 2009)

		Jyväskylä	Kuopio
Katuvalokeskuksia		434	267
Yhden keskuksen muutoskustannukset	€	2064	5000
Muutoskustannukset yhteensä	milj. €	0,90	1,34
Energiansäästöt vuodessa	MWh/a	2210	1384
Kustannussäästöt vuodessa	€/a	221000	138400
Kustannussäästöt keskusta kohden	€/a	509	518
Energiankulutus keskusta kohden	MWh/a	33,9	32,4
Koko katuvalaistuksen energia	MWh/a	14733	8650
Koko katuvalaistuksen energian hinta	milj. €/a	1,47	0,87

Ulkovalaistuskeskuksia kulutettuun energiaan verrattuna on suunnilleen saman verran kummassakin kaupungissa, mutta laskelmat poikkeavat melko paljon toisistaan kustannusten ja saavutettavien säästöjen osalta. Investoinnin takaisinmaksuaika Jyväskylässä on neljä vuotta ja Kuopiossa melkein kymmenen vuotta.

Huomioitavia seikkoja Jyväskylän suunnitelmissa on, että eri suunnitteluvaiheet ja rakennuttaminen maksavat yhteensä 200 000 euroa, jota ei huomioitu valaisinkohtaisissa kustannuksissa eikä myöskään säätöjärjestelmäremontissa. Toisaalta huoltokustannuksista arvioidaan säästettävän 30 000 – 50 000 euroa vuodessa vaihtotyön jälkeen.

Kuopion laskemat on ensisijaisesti tehty kaupungin päätöksenteon pohjaksi ja ne on tarkoitettu helpottamaan eri vaihtoehtojen kustannusvaikutusten vertailua. Noin suoraviivaisesti laskelmat eivät sovellu joka paikkaan edes Kuopiossa. Laskelmassa alkuperäiset valaisimet on ajateltu 250 W elohopealamppuvalaisimiksi, vaikka keskimääräinen ulkovalaisimen teho Kuopiossa on 142 W.

6.5 Näkökulmia valaisinten vaihtotyöhön

Rahoituksen löytäminen ulkovalaistuksen muutostöihin voi kuntasektorilla olla haasteellista. Säästösyistä ulkovalaistuksen öiset sammutukset ovat lisääntyneet kunnissa. Jää nähtäväksi, sammuvatko Suomen katuvalot yhä pidemmäksi aikaa, kun vaihtotyön ylimääräiset kustannukset on otettava jostakin. Toisaalta on myös merkkejä, että yösammutuksista luovutaan ja lisää rahaa myönnetään valaistukseen, kun ulkovalaistuksen tuomaan turvallisuuden tunteeseen halutaan satsata. Näin on tehty mm. Porissa (Porin Sanomat 2009).

Valaisinten vaihtourakka on niin merkittävä taloudellinen panostus kunnille, että se tulisi aloittaa mahdollisimman pian. Valaisinvaihdon investointien tuoma energiansäästön takaisinmaksuaika vie vuosia, jopa yli kymmenen vuotta. Vaikka taloudellista pelivaraa on vähän, kannattaa miettiä myös muita mahdollisuuksia kehittää ulkovalaistusta energiansäästömielessä. Joissakin kunnissa ulkovalaistuksen energiansäästöön on paneuduttu jo vuosikymmeniä, joten säästöjä on jo kertynyt.

On esitetty kommentteja, että nyt tehtävä valaisinten vaihtotyö on väliaikainen ratkaisu, koska uudet kehittyneemmät tekniikat ja valaistuksen mahdolliset muuttuvat suositukset laittavat ulkovalaistuksen lyhyen ajan kuluessa uusiksi. Väliaikaisten ratkaisujen teko ei sovi yhteen sen todellisuuden kanssa, että ulkovalaistuksen investoinnit ovat samaa suuruusluokkaa kuin valaisimen energiankulutuksen hinta koko elinkaaren aikana (Tiehallinto 2003).

Mitään tekniikkaa ei kannata hylätä sen vuoksi, että sitä on käytetty jo pitkään. Suurpainenatriumlamppu, magneettinen kuristin, perinteisesti muotoiltu optiikka ja metallinen valaisinrunko on edelleen kustannustehokkain yhdistelmä ulkovalaistukseen. Kun valaistusta aletaan toteuttaa täysin uusien teknologioiden pohjalta, testaaminen ja kokemusten hankkiminen on välttämätöntä.

Ulkovalaistuksen muutostöiden myötä valaisinten huolto kannattaa suunnitella uudelleen, koska ryhmävaihtovälejä voidaan joutua muuttamaan. Lähivuosina valaisinten vaihtotyöstä riippumatta ulkovalaistuskeskuksiin voi tulla muutoksia, jos

perinteisestä verkkokäsky- tai vyörytysohjauksesta siirrytään esimerkiksi langattomiin ohjauksiin. Tässä yhteydessä kannattaa miettiä myös lisäinvestointeja, esimerkiksi säätölaitteiden lisäämistä keskuksiin.

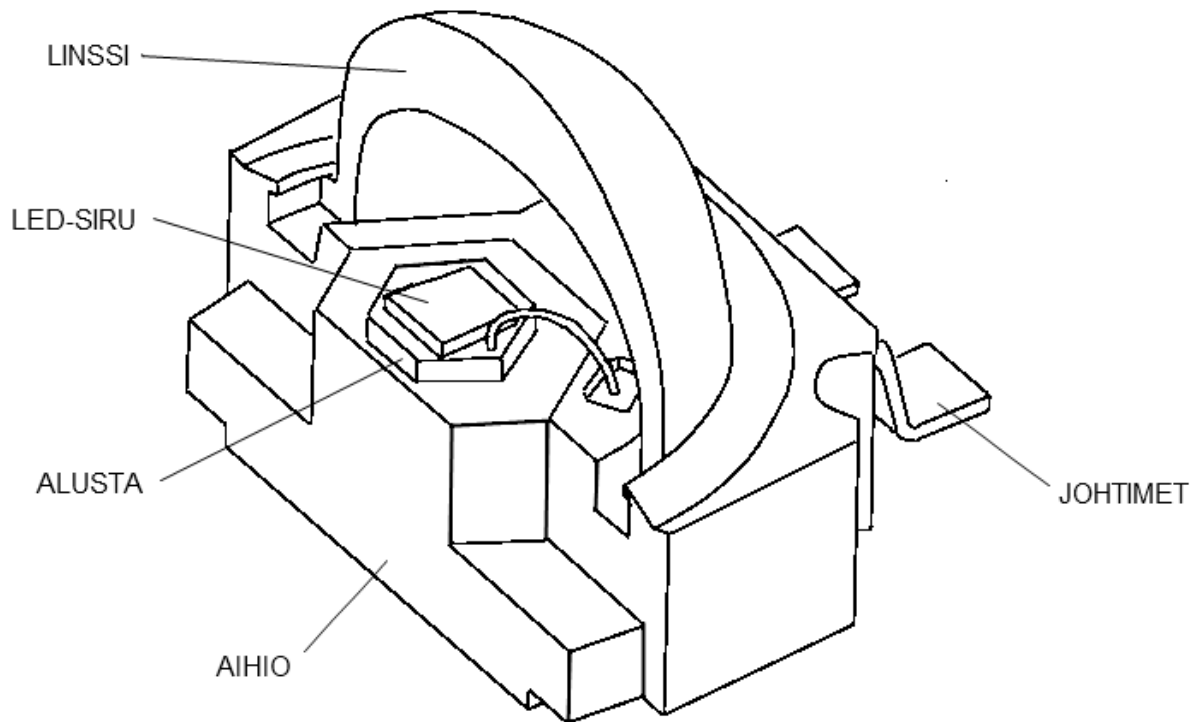
Mahdolliset valaistuksen ohjaukseen lisätyt ominaisuudet vaativat myös seuranta, jotta niistä saadaan suurin hyöty irti. Vaikka valaisinten vaihtotyö ja muut ulkovalaistuksessa tehtävät muutokset aiheuttavat runsaasti lisätyötä ja kustannuksia, voidaan saada aikaan tuntevia säästöjä, jos työ tehdään hyvin. Ulkovalaistuksen perusteisiin, rakennuttamiseen ja huoltoon kannattaa kunnissa viimeistään nyt perehtyä, jos siihen ei ole vielä omistautunut henkilöä.

7 LED-valonlähteet ulkovalaistuksessa

7.1 Tekniikka ja ominaisuudet

7.1.1 LED-komponentin rakenne

Ulkovalaisimissa yleisimmin käytettyä LED-komponenttia kutsutaan nimellä teho-LED. Komponentti koostuu LED-sirusta, alustasta, ahiosta ja virtajohtimista. Usein sirun päällä on valon kokoava tai hajottava linssi. Kuvassa 5 on esimerkki LED-komponentin rakenteesta.



Kuva 5 Esimerkki LED-komponentin rakenteesta

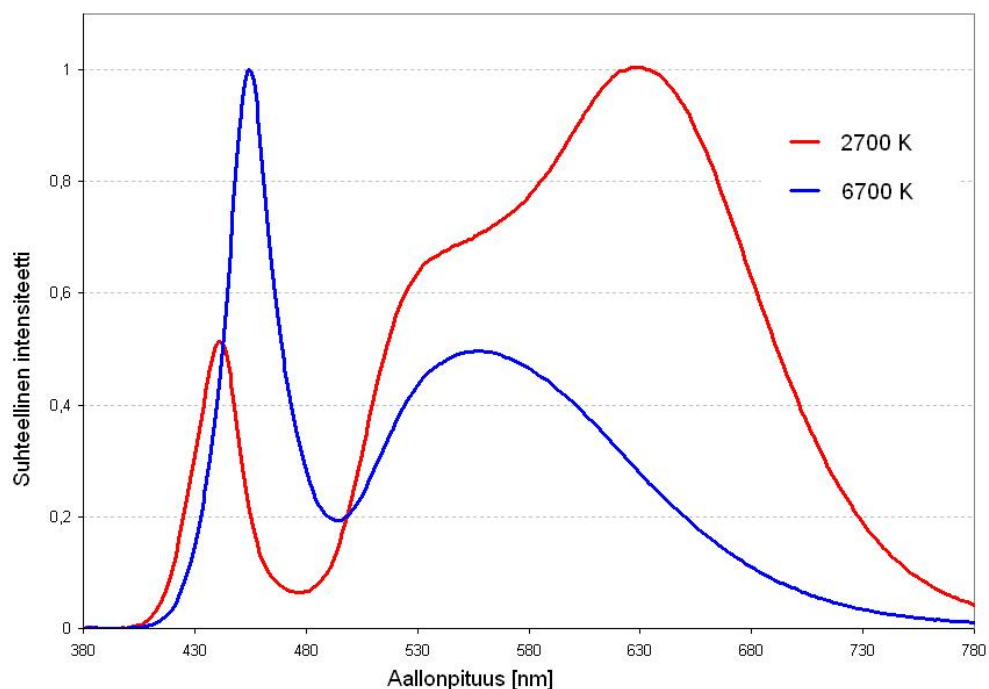
LED-sirujen ominaisuudet vaihtelevat koon, kynnyksjännitteen, mitoittavan virran ja tehon mukaan. Sirun pinta-ala teho-LED-komponentissa voi olla esimerkiksi 1 mm^2 . Aihion tärkeä ominaisuus on lämmön johtaminen pois sirulta. Alusta ja aihio voivat toimia komponentissa myös sähkövirran reittinä, mutta silloin samaan lämmönjohtorunkoon kiinnitettyjä komponentteja ei voi kytkeä sarjaan. Alumiinilevy piirikortin alla toimii lämmönsiirtoreittinä sirulta jäähdytys-elementille (Paakkinen 2008).

Kun useita LED-komponentteja kiinnitetään piirilevyyn, siitä muodostuu LED-moduuli. LED-ulkovalaisimissa on tyypillistä, että moduuli on koteloitu tiiviiksi kokonaisuudeksi, jolloin niillä on yhtenäinen linssimoduuli. LED-komponentit voidaan myös sijoitella vapaasti alustaan kiinni, jolloin kukin komponentti johdotetaan erikseen.

7.1.2 Valon ominaisuudet

LED-sirut tuottavat tyypillisesti säteilyä kapealla aallonpituusalueella (noin 30 nm), joka ei ole kelvallinen yleisvalaistukseen. Laajaspektrisempi valkoinen valo saadaan esimerkiksi laittamalla sinertävää valoa 420 – 470 nm aallonpituudella tuottavan LED-sirun päälle loisteaine, joka muuttaa osan valosta pidemmille aallonpituuksille (Žukauskas et al. 2002). Ongelmana tässä tekniikassa on että loisteaine ei pysy välttämättä stabiilina koko LED-sirun elinaikana vaan osa siitä voi höyrystyä lämmön vaikutuksesta, jolloin valon väri hiukan muuttuu.

Tyypillisessä LED-ulkovalaisimen spektrissä näkyy kaksi huippukohtaa, joista kapeampi on LED-sirulle tyypillinen ja leveämpi johtuu loisteaineen vaikutuksesta. Kuvassa 6 on kaksi tyypillistä LED-valaisimen spektriä, joilla on eri värilämpötila.



Kuva 6 Kahden värilämpötilaltaan erilaisen LED-ulkovalaisimen spektrit.

Kun loisteaineen paksuutta lisätään, pidempien aallonpituuksien osuus spektrissä lisääntyy ja värilämpötila laskee. Loisteaineen sisällä emissiossa tapahtuu häviöitä, joten kylmän värisävyn LED-valaisimella on mahdollista päästä parempaan valotehokkuuteen, kuin lämpimällä värisävyllä. RGB-tekniikassa valon väri tuotetaan kolmen eri LED-komponentin yhdistelmänä. Tämän tekniikan avulla on helppo muunnella valon väriä.

LED-komponentissa valo syttyy välittömästi ilman syttymisviivettä. Sytytyskertojen määrä ei vaikuta komponentin ikääntymiseen. LED-komponentin valovirtaa voidaan säätää yksinkertaisesti komponentin läpi menevää virtaa säätämällä. Säätö voidaan toteuttaa esimerkiksi säätämällä virran pulssin leveyttä. Vaikka valon säätö on yksinkertaista, sitä ei pystytä toteuttamaan suoraan ulkovalaistuksessa perinteisesti käytetyn jännitteen säädön avulla. LED-valaisimen säätö vaatii joko jännitteen muuttumiseen oikealla tavalla reagoivat virtalähteet tai erillisen ohjausjärjestelmän.

Käytön myötä ja erityisesti lämpenemisen vaikutuksesta LED-komponentin emittoima valon määrä pienenee vähitellen. LED-valaisimen eliniän lopussa LED-komponentti ei siis tuhoudu yhtäkkiä, mutta sen valontuotto pienenee niin, että se enää tuota valoa riittävästi.

7.1.3 Optiikka

LED-siru emittoi valoa joka suuntaan, mutta kiinnitysalustan ja komponentin aihion vuoksi valo suuntautuu n. 120° kulmaan. LED-ulkovalaisimissa valonjako toteutetaan usein linssillä. Linssijä voi olla useampia päällekkäin. Komponentin päällä oleva linssi toimii sekä mekaanisena suojana, että suuntaa valoa haluttuun suuntaan. Linssien materiaali on silikonia, akryyliä tai polykarbonaattia.

Muovinen linssirakennelma yhdistettynä metalliseen alustaan ei ole kaikkein helpoin yhdistelmä ilmatiiviyden ja kosteuden eristämisen kannalta. Sen vuoksi komponentit pakotetaan usein yhdessä piirilevyn kanssa moduuleiksi. Kuvissa 7 ja 8 on esimerkkejä tyypillisistä LED-moduulin linssin rakenteista. LED-ulkovalaisimen optiikka voidaan hoitaa myös sijoittamalla komponentit alustaan ja suuntaamalla ne sopiviin kulmiin. Silloin voidaan käyttää myös heijastimia apuna optiikassa.



Kuva 7 Esimerkki LED-ulkovalaisimen linssin rakenteesta



Kuva 8 Esimerkki LED-ulkovalaisimen linssin rakenteesta

7.1.4 Lämmönhallinta

LED on pienikokoinen komponentti, jossa käytetty teho muuttuu suurimmaksi osaksi lämmöksi. Lämpö on saatava johtumalla pois komponentista. Lämmönjohtumisen hallinta on ollut yksi LED-valaisinkehityksen suurimpia haasteita. Liika lämpö LED-komponentilla vähentää valontuottoa ja lyhentää ratkaisevasti komponentin elinikää.

Teho-LED -komponentissa lämpö johdetaan aihion ja alumiinilevyn kautta jäähdytysriivoille. Ulkovalaisimissa lämmönluovutuselementit voidaan sijoittaa siten, että ne ovat valaisimen yläpinnassa, jolloin jäähdytys tapahtuu suoraan ulkoilmaan. Lämmönhallinnan suunnittelussa täytyy silloin ottaa huomioon jäähdytysriipojen mahdollinen tukkeutuminen luonnosta tulevista epäpuhtauksista.

7.1.5 LED-ulkovalaisimen rakenne

Sisustusvalaisimiin verrattuna ulkovalaisimissa LED-komponenttien sijoittelu on vapaampaa, koska esimerkiksi valaisimen ulkomitat voivat vaihdella huomattavasti. Toisaalta ympäristön olosuhteet ja tavoiteltava pitkä käyttöikä asettavat vaatimuksia valaisinten rakenteelle. Euroopan Unionin asetukset suosittelevat ulkovalaistukseen koteloituksi vähintään IP 65. (EU 2009)

LED-ulkovalaisimien rakenteen, asennettavuuden ja käytettävyyden on oltava samaa luokkaa kuin perinteisillä ulkovalaisimilla. Monet laadukkaat LED-ulkovalaisimet eivät ulkomuodoltaan paljon poikkea perinteisistä purkauslamppuvalaisimista. Runko on esimerkiksi valumetallia ja pylväskiinnitys voidaan tehdä yleisesti käytössä oleviin putkikokoihin, kuten 60 mm putkeen. Liitäntälaitte eli virtalähde sijaitsee omana komponenttina tai omassa osastossaan valaisimen sisällä. LED-ulkovalaisimet poikkeavat eniten perinteisistä purkauslamppuvalaisimista optiikan ja jäähdytysriipojen tarpeen vuoksi.

Laadukkaissa valaisimissa huollettavuuteen on panostettu siten, että kaikki osat ovat vaihdettavissa yksinkertaisilla työkaluilla nostolava-autosta käsin. Jos valaisimen vikojen indikointi on työlästä tai huolto vaatii valaisimen irrottamista pylvästä, tulee rikkoutuneen valaisimen korjaaminen helposti niin kalliiksi, että uuden asentaminen on halvempaa.

7.2 Kokemuksia LED-asennuksista Suomessa

7.2.1 Markkinat

LED-tekniikan kehittyminen ja odotukset sen voimakkaasta kasvusta ovat saaneet monet suuret yritykset panostamaan voimakkaasti LED-komponenttien tuotekehitykseen. Suurimpia komponenttivalmistajia ovat yhdysvaltalainen Cree, hollantilais-amerikkalainen Philips ja saksalainen Osram.

Markkinoiden kasvun myötä on syntynyt kokonaan uusia valaisinvalmistajia, joilla lähtökohdana on ollut vahva komponenttitekniikan osaaminen. Mm. Suomessa on syntynyt tältä pohjalta uusia valaisinvalmistajia. On syntynyt myös monia yrityksiä, jotka ovat alkaneet tuoda maahan pelkästään LED-valaisimia.

Joillakin yrityksillä LED-valaisinmarkkinointi on alkanut sisustusvalaisimista, joissa muut ominaisuudet kuin valaistusominaisuudet ja valaisimen elinkaarikustannukset ovat ratkaisseet ostopäätöksen. Ulkovalaisimia kehitettäessä ja markkinoitaessa on jouduttu paneutumaan myös perusteellisemmin valonjako- ja mekaanisiin ominaisuuksiin. Monet perinteiset valaisinvalmistajat ovat puolestaan joutuneet perehtymään vahvan mekaniikka- ja optiikkaosaamisen lisäksi elektroniikan valmistukseen, kun on aloitettu LED-valaisimien valmistus.

Ulkovalaistuksessa LED-komponentteja on aluksi käytetty julkisivu- ja koristevalaistuksessa, valomainoksissa sekä liikennevaloissa. Ensimmäiset markkinoille tulleet LED-ulkovalaisimet ovat olleet pienitehoisia esimerkiksi alle 30 W. Nyt markkinoilta löytyy teholtaan jo yli 400 W LED-ulkovalaisimia, jotka valontuotoltaan voisivat soveltua vilkkaasti liikennöidyille teille.

Markkinoilla on paljon vaihtelua esimerkiksi siitä, kuinka LED-valaisimen ominaisuudet ilmoitetaan. Markkinoinnissa usein on tapana vertailla minkä tehoisen perinteisen valonlähteen LED-valaisin voi korvata tai kuinka paljon LED-valaisin säästää kun se vaihdetaan vanhan tilalle. Vertailu on mahdotonta, kun vertailtavan valonlähteen tyyppi jätetään mainitsematta tai kun ei kiinnitetä huomiota saavutettuun valaistustulokseen.

Markkinoilla on myös annettu liian optimistisia lupauksia LED-valaisimien valontuotosta, mihin suuretkin valmistajat ovat sortuneet. LED-valaisimien hinnat myös vaihtelevat. Yleisesti ottaen LED-valaisimien hinnat ovat kaksi, kolme tai neljä kertaa suuremmat kuin vastaavilla suurpainenaatriumlamppuvalaisimilla .

7.2.2 LED-ulkovalaisinmalleja

Taulukossa 20 on esitelty vuoden 2009 lopussa Suomessa markkinoilla olevia LED-ulkovalaisimia. Luettelo ei ole kattava, koska sekä valaisinmallit muuttuvat että uusia yrityksiä tulee markkinoille. Valaisimien tiedot pohjautuvat myyjien tuote-esitteisiin.

Taulukko 20 Suomessa markkinoitavia LED-ulkovalaisinmalleja

Valmistaja	Valaisin	Teho W	Valovirta lm	Väri- lämpötila K	Väri- toisto- indeksi	Elinikä h	Kotelointi- luokka
Artequa	Ecovalo K1	20					
	Ecovalo K2	40					
Easy Led Oy	Starium Dragon	41	2 367	5600	> 80	40 000	IP43
Hedegren Oy	Bega 9602 40 Led	53	4 000	6000			IP66
HRLighting		75	4 600	2700 -	> 75	50 000	IP65
		150	9 300	- 7000			
		225	14 000				
iGuzzini	Archilede	39	2 872	5500			IP66
		59	4 376				
		84	6 417				
JK-Light OY	Revolution	60	6 800	4800 -	> 90	40 000	
		120	13 600	- 5500			
		180	20 400				
		240	27 200				
LedZed International Ltd Oy	LedZed 60	60		2700 -			
	LedZed 120	120		- 7000			
	LedZed 180	180					
M-Light Oy	SELED SL7X3-LED	52	1 680			35 000	
		120	6 720				
		180	10 080				
Oversol Oy	Skyline	80	6 800	CD / WW	70 - - 80	50 000	IP65
		120	13 600				
		180	20 400				
		240	27 200				
Philips Oy	Mini Iridium	22	1 040	3100		50 000	IP66
		31	1 560				
Powertti Oy	RuudLed Ledway Road	41	2 600	3500 -	> 75	100 000	IP66
		59	3 900	- 6000			
		80	5 200				
		99	6 500				
		117	7 800				
		156	10 400				
		174	11 700				
		194	13 000				
		212	14 300				
230	15 600						
SFT Lighting Oy		56	4 480	4000 -		50 000	IP65
		80	6 400	- 4500			
		120	9 600				
		234	19 200				
		468	30 400				
Siteco	DL 10	78	4 190	4000		50 000	IP65
		115	6 177				
Valopaa Oy	VP1010 M4	36	2 400	5650	> 80	40 000	IP66
	VP1010 M6	54	3 600	tai			
	VP1010 M8	72	4 800	4100			
	VP1010 M10	90	6 000				
	VP1010 M12	108	7 200				

Lisäksi markkinoilla on lukuisa määrä LED-sovelluksia erilaisiin pollarivalaisimiin, korostusvalaisimiin, valomainoksiin jne., mutta tässä työssä ei perehdytä niiden ominaisuuksiin.

7.2.3 LED-ulkovalaisinasennuksia Suomessa

Ensimmäisiä merkittäviä LED-ulkovalaisinasennuksia kaduille on tehty Suomessa vuonna 2006. Tällä hetkellä Suomesta löytyy useita kymmeniä LED-ulkovalaisinasennuksia. LED-valaisimia on asennettu mm. pihaille, puistoihin, kevyenliikenteen väylille, asutokaduille ja kokoojakaduille. Kuvissa 9 – 11 on esimerkkejä LED-ulkovalaisinasennuksista pääkaupunkiseudulta.



Kuva 9 Ratavallintie, Helsinki. 41 W LED-ulkovalaisin asuntoalueen valaistuksessa



Kuva 10 Otakaaren kevyen liikenteen väylä, Espoo. 31 W LED-ulkovalaisin



Kuva 11 Lauhatie, Vantaa. 60 W LED-ulkovalaisin asuntokadun valaistuksessa

Salossa on ollut LED-ulkovalaisinkokeiluja joulukuusta 2006 alkaen. Pursimiehenkadulla osa 250 W elohopealamppuvalaisimista vaihdettiin 19 – 36 W LED-valaisimiin. Vuoden 2007 aikana aloitettiin Meriniityn teollisuusalueella kokeilu, jossa suurpainenatriumlamppuja vaihdettiin 21 W LED-valaisimiin. Kokeilusta odotettiin 80 % energiansäästöjä ja oltiin valmiita vaihtamaan kaikki kaupungin ulkovalaisimet LED-valaisimiin, mikäli testien tulokset olisivat vastanneet odotuksia (Adamsson 2007).

Vuoden 2007 aikana on asennettu eri valmistajien LED-valaisimia mm. Turkuun, Tampereelle, Ouluun ja Parasiin. Suomen pohjoisimmat LED-ulkovalaistusasennukset Kittilässä aloitettiin myös vuonna 2007. Kittilän Akanrovan alueella on asennettu elohopealamppujen tilalle 41 W LED-valaisimet. Myös Levin alueelle on asennettu LED-valaisimia. Suomessa vuoteen 2009 mennessä asennettujen LED-ulkovalaisimien tehot ovat olleet 22 - 90 W.

Salossa ensimmäisten LED-ulkovalaisimien valonlähteenä käytettiin 5 mm LED-komponentteja, jotka ovat lämmönjohtumisen kannalta teho-LED-komponentteihin verrattuna heikompia, jolloin valovirran alenemat ovat suuria. LED-valaisimien tilalle on myöhemmin asennettu suurpainenatriumlamppuvalaisimet (Haukkasalo 2009).

Monet muutkin LED-ulkovalaisimia ensimmäisten joukossa testanneet ovat olleet tyytymättömiä valovirran alenemaan tai kokonaisuudessaan heikkoon valontuottoon. Myös valonjaon epätasaisuus on aiheuttanut ongelmia. Kaikesta huolimatta LED-ulkovalaisinkokeiluja on oltu valmiita jatkamaan, kun valaisimien kehitystyö etenee. Turussa tutkitaan esimerkiksi, kuinka suuret säästöt leikkipuiston liiketunnistimella ohjattavat LED-valaisimet tuottavat (Hihnala 2008).

7.3 Ulkovalaisimien mittaukset TKK:n Valaistusyksikössä

Tässä työssä mitattiin vuoden 2009 kesän ja syksyn aikana 12 LED-ulkovalaisinta, jotka tulivat kahdeksalta eri valaisintoimittajalta. Mitattujen LED-valaisimien liitäntätehot olivat 22 – 203 W.

Yksi valaisimista oli valmistettu Suomessa. Kolme valaisinta tuli muualta Euroopasta. Kahden valaisimen valmistusmaa oli Yhdysvallat, neljä tuli Kiinasta. Kahden valaisimen alkuperämaasta ei ollut varmuutta. Kaikki valaisimet ovat olleet Suomessa aktiivisesti myytäviä valaisinmalleja lukuun ottamatta valaisimia C ja L.

Valaisintoimittajien ilmoittamien tietojen perusteella mitatut valaisimet soveltuvat hyvin kevyen liikenteen väylille, pihoihin, puistoihin ja myös taajamien kokoojakaduille. Vilkkaasti liikennöityjen teiden valaisuun nämä valaisimet eivät sovellu alhaisen valovirran tai puutteellisten valonjako-ominaisuuksien vuoksi. Kuvissa 12 – 23 on esitelty mitatut valaisinmallit sekä mittauksissa saadut tulokset, kuten valaisimen kokonaistehonkulutus, valovirta, värilämpötila ja värintoistoindeksi.



Kuva 12 Valaisin A: Philips Mini Iridium 31W CLO

Valaisin A:
Philips Mini Iridium 31W CLO

- Teho: 22,3 W
- Valovirta: 904 lm
- Värilämpötila: 2946 K
- Värintoistoindeksi: 89
- CLO-toiminto (constant light output) kompensoi valovirran alenemista polttoain myötä



Kuva 13 Valaisin B: Philips Mini Iridium 31W

Valaisin B:
Philips Mini Iridium 31W

- Teho: 29,2 W
- Valovirta: 1167 lm
- Värilämpötila: 2925 K
- Värintoistoindeksi: 86



Kuva 14 Valaisin C: Greenlux ulkovalaisin 50 W

Valaisin C:
Greenlux ulkovalaisin 50 W

- Teho: 53,5 W
- Valovirta: 2610 lm
- Värilämpötila: 5922 K
- Värintoistoindeksi: 75



Kuva 15 Valaisin D: Ruud Lighting LEDWAY Road 30

Valaisin D:
Ruud Lighting LEDWAY Road 30

- Teho: 59,9 W
- Valovirta: 3405 lm
- Värilämpötila: 6546 K
- Värintoistoindeksi: 76
- Kaksi liitäntälaitetta rinnankytkettynä - Kolme eri tehon kytkentämahdollisuutta



Kuva 16 Valaisin E: Valopaa VP1101 54 W

Valaisin E:
Valopaa VP1101 54 W

- Teho: 56,1 W
- Valovirta: 3480 lm
- Värilämpötila: 5906 K
- Värintoistoindeksi: 76



Kuva 17 Valaisin F: LedZed ulkovalaisin 60 x 1W

Valaisin F:
LedZed ulkovalaisin 60 x 1W

- Teho: 72,5 W
- Valovirta: 3808 lm
- Värilämpötila: 6690 K
- Värintoistoindeksi: 83



Kuva 18 Valaisin G: Oversol Roadlite 90 x 1W

**Valaisin G:
Oversol Roadlite 90 x 1W**

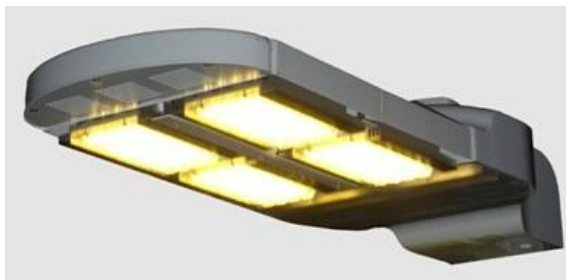
- Teho: 131,5 W
- Valovirta: 4224 lm
- Värilämpötila: 3433 K
- Värintoistoindeksi: 67
- Kaksi eri väristä LED-komponenttia



Kuva 19 Valaisin H: iGuzzini Archilede 59 x 1W

**Valaisin H:
iGuzzini Archilede 59 x 1W**

- Teho: 79,4 W
- Valovirta: 4749 lm
- Värilämpötila: 6615 K
- Värintoistoindeksi: 71



Kuva 20 Valaisin I: HR Light Led katuvalo HR 150

**Valaisin I:
HR Light Led katuvalo HR 150**

- Teho: 133,3 W
- Valovirta: 5280 lm
- Värilämpötila: 3220 K
- Värintoistoindeksi: 71



**Kuva 21 Valaisin J: Ruud Lighting
LEDWAY Road 60**

Valaisin J:
Ruud Lighting LEDWAY Road 60

- Teho: 107,9 W
- Valovirta: 6796 lm
- Värilämpötila: 6381 K
- Värintoistoindeksi: 76
- Kaksi liitäntälaitetta rinnankytkettynä - Kolme eri tehon kytkentämahdollisuutta



**Kuva 22 Valaisin K: LedZed Ulkovalaisin
120W**

Valaisin K:
LedZed Ulkovalaisin 120W

- Teho: 139,1 W
- Valovirta: 7879 lm
- Värilämpötila: 6661 K
- Värintoistoindeksi: 83



**Kuva 23 Valaisin L: Greenlux Ulkovalaisin
150W**

Valaisin L:
Greenlux Ulkovalaisin 150W

- Teho: 203,9 W
- Valovirta: 9430 lm
- Värilämpötila: 5922 K
- Värintoistoindeksi: 78

7.3.1 Mittausmenetelmät

Valovirran, värilämpötilan ja värintoistoindeksin mittaukset tehtiin Teknillisen korkeakoulun Valaistusyksikön integroivalla pallolla. Halkaisijaltaan 193 cm pallo on Labspheren valmistama samoin kuin analysointilaitteisto. Spektrit mitattiin KonicaMinolta CS 3000 spektroradiometrillä. Valonjakokäyrät on mitattu TKK:n Valaistusyksikön goniometrilaitteistolla.

Kaikki valaisimet mitattiin uutena. Jotkut valaisimista olivat olleet esittelykäytössä, joten niitä on poltettu satunnaisia tuntimääriä. Ennen mittauksia integroivalla pallolla valaisimia lämmitettiin noin 1,5 tuntia. Valonjakomittauksia varten lämmitysaika oli tunti. Laboratoriomittausten aikana lämpötila oli 23 – 25 ° C.

7.3.2 Valontuotto ja valon ominaisuudet

Mitattujen LED-valaisimien valovirrat olivat 904 – 9430 lm ja valotehokkuus 32 – 63 lm/W. Värilämpötilat vaihtelivat 2900 – 6700 K. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 21 TKK:n valaistusyksikössä mitattujen LED-ulkovalaisimien valovirta, värilämpötila, värintoistoindeksi, valaisimen tehonkulutus sekä valotehokkuus.

Valaisin	Valovirta lm	Värilämpötila K	Värintoisto- indeksi RA	Teho W	Valotehokkuus lm/W
A	904,4	2946	89	22,3	40,6
B	1167	2925	86	29,2	40,0
C	2610	5922	75	53,5	48,8
D	3405	6546	76	59,9	56,8
E	3480	5906	76	56,1	62,0
F	3808	6690	83	72,5	52,5
G	4224	3433	67	131,5	32,1
H	4749	6615	71	79,4	59,8
I	5280	3220	71	133,3	39,6
J	6796	6381	76	107,9	63,0
K	7879	6661	83	139,1	56,6
L	9430	5922	78	203,9	46,2

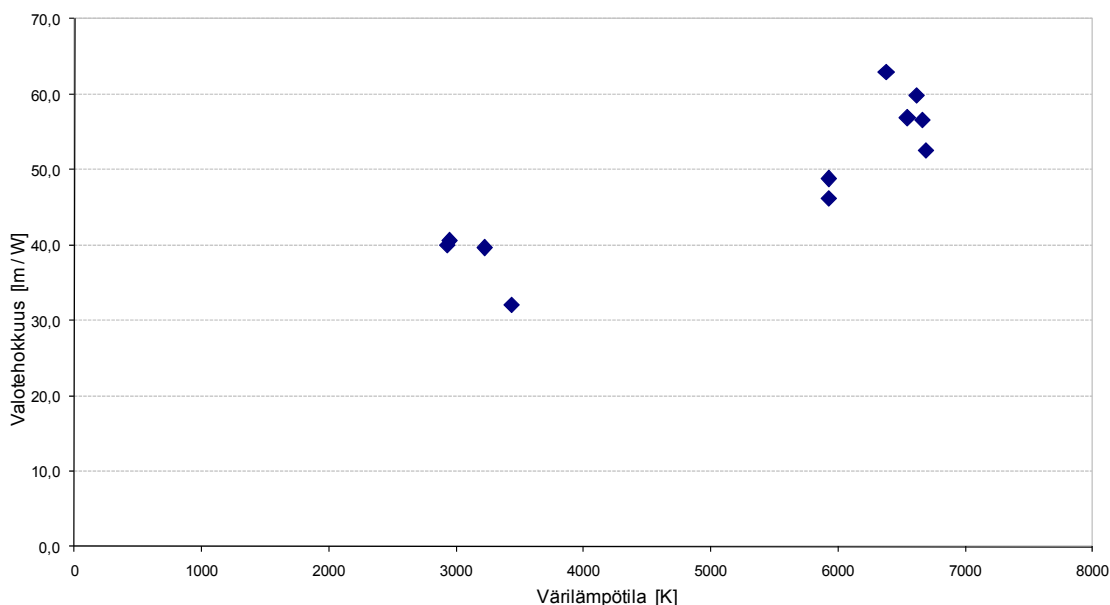
Kuuden valaisimen valmistajat ovat ilmoittaneet valaisimien valovirta-arvot. Kaikista valaisimista oli saatavana tehotiedot. Taulukossa 22 on verrattu, kuinka hyvin ilmoitetut ja mitatut tiedot pitivät paikkaansa.

Taulukko 22 LED-valaisimien valmistajien ilmoittamat ja mitatut arvot

Valaisin	Valovirta lm		Teho W		Valotehokkuus lm/W	
	Valmistajan ilmoittama	TKK:lla mitattu	Valmistajan ilmoittama	TKK:lla mitattu	Valmistajan ilmoittama	TKK:lla mitattu
A		904,4		22,3		40,6
B	1560	1167	31	29,2	50,3	40,0
C		2610	50	53,5		48,8
D	3900	3405	59	59,9	66,1	56,8
E	3600	3480	54	56,1	66,7	62,0
F		3808	60	72,5		52,5
G		4224	90	131,5		32,1
H	4376	4749	59	79,4	74,2	59,8
I	9300	5280	150	133,3	62,0	39,6
J	7800	6796	117	107,9	66,7	63,0
K		7879	120	139,1		56,6
L		9430	150	203,9		46,2

Mitatuissa valaisimissa oli värielämpötilan suhteen selvästi kaksi ryhmää. Neljän valaisimen värielämpötila oli noin 3000 K ja loput kahdeksan valaisinta kuuluivat ryhmään, jonka värielämpötila oli noin 6000 K. Valaisimen värielämpötila korreloi selvästi valotehokkuuden kanssa. Mitä korkeampi värielämpötila, sitä korkeampi on valaisimen valotehokkuus (kuva 24).

Värielämpötilan suhde valotehokkuuteen



Kuva 24 Mitattujen valaisimien värielämpötilan ja valotehokkuuden korrelaatio

7.3.3 Valaisimien optiikka

Kahdeksassa mitatuista LED-valaisimista valonjako oli toteutettu linseillä siten, että kaikki LED-komponenteista koostuvat moduulit oli sijoitettu samaan tasoon ja valo hajautettiin kunkin moduulin linssillä sopivaksi valonjaoksi. Tällä tavalla valonjakokäyrässä maksimaalinen valovoima saatiin noin 70° kulmaan. Valaisimissa C

ja H valonjako oli toteutettu sijoittamalla LED-komponentit siten, että yksittäisten LED-komponenttien valo suuntautui eri kulmiin. Valaisimissa G ja L LED-komponentit oli sijoitettu samaan tasoon ja komponenttien linssit olivat vain mekaanisena suojana.

7.3.4 Valaisimien rakenne

Suurin osa valaisimien rungoista oli perinteisten ulkovalaisimien tapaan valumetallia. Valaisimissa D ja L runko oli muotoon taivuteltua peltiä. Valaisimen C rungon kantavan osan muodosti muuhun valaisimeen verrattuna suhteellisen suuri jäähdytyslementti, jonka ympärillä oli muovikuoret.

Lämmönhallinnan kannalta välttämättömät jäähdytysprofiilit olivat hallitseva osa valaisimen ulkonäköä useassa valaisimessa ja ne toimivat myös osana valaisimen runkoa. Valaisimissa C ja L jäähdytysprofiili oli peitetty rei'itettyllä kuorella. Jäähdytyksen toimivuuden kannalta puista putoavien lehtien, neulasten, pölyn ja muiden luonnosta tulevien roskien laskeutuessa valaisimen päälle, ei rakenne välttämättä toimi ilman säännöllistä puhdistusta. Kolmessa valaisimessa valaisimen runkoa oli muotoiltu niin, että jäähdytysprofiilit olivat valaisimen kuoren sisällä tai integroitu muuhun runkoon.

Valaisimessa G syöttökaapelin johtimet oli kytketty abikoliittimillä virtalähteeseen. Muissa valaisimissa johtimet kytkettiin ruuviliittimillä. Kuudessa valaisimessa virtalähde oli helposti vaihdettavissa oleva erillinen komponentti. Muissa valaisimissa virtalähde oli rakennettu siten, että piirikortti komponentteineen oli sijoitettu omaan osastoon valaisimessa. Valaisimissa A, B ja H oli mahdollista tehdä valaisin jännitteettömäksi huoltokytkimellä.

Lukuun ottamatta valaisimia C ja L valaisimet kiinnitettiin 60 mm pylväaseen. Useassa valaisimessa oli mahdollista tehdä kiinnitys muihinkin pylväskokoihin. Valaisimessa C pylväskiinnitys onnistui maksimissaan 40 mm pylväaseen. Valaisimessa L ei ollut ollenkaan pylväskiinnitysmahdollisuutta.

7.3.5 Säätoimaisuudet

Monessa mitatussa LED-valaisimessa oli saatavana runsaasti lisävarusteita valaisimen ohjaukseen. Valaisinkohtainen hämäräkytkinoptio oli valaisimissa A, B, G ja H. Valaisimeen H voitiin ohjelmoida kellonaikojen mukaan muuttuva valaistustason säätö. Valaisimissa D ja J oli kaksi rinnankytkettyä virtalähdettä, joiden avulla tehoa pystyttiin säätämään kolmeen eri portaaseen, tällöin säätö vaatii erillisen keskukselta tulevan ohjauksen, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi kaksiportaisena samaan tapaan kuin kaksitehokuristimilla. Valaisimiin A ja B voitiin asentaa valmistajan käyttämä väyläpohjainen ohjausjärjestelmä, jossa on monipuoliset säätoimaisuudet. Mitään mitatuista valaisimista ei pysty säätämään verkkojännitettä pudottamalla, mikä on perinteisillä purkauslamppuvalaisimilla yleinen säätöjärjestelmä.

7.3.6 Valonjako-ominaisuudet

Valaisimien valonjako-ominaisuudet mitattiin TKK:n valaistusyksikön goniometrilaitteistolla ja muokattiin ldt-tiedostoiksi. Valonjakokäyrät on liitteessä 2.

Valonjakotiedostoista laskettiin DIALux-ohjelman avulla, kuinka valaisimet sopivat tievalaistusluokkaan ME4a. Taulukossa 24 on laskennan tulokset, johon on laskettu valaisimelle valaistusluokkaan sopiva optimaalinen pylväsväli.

Laskennassa käytetty ajoradan leveys oli 7 m ja sen päällysteenä oli R3-luokan asfaltti. Pylväät sijaitsivat yhdessä rivissä ja pylvään poikkivarren kallistuma eli valaisimen kulma tienpintaan nähden oli nolla. Pylväskorkeuden vaihteluväliksi sallittiin 6 – 10 m ja valaisimen ulkonema tien reunasta vaihteli välillä -1,5 – 1 m. Valaistuksen alenemakerroin oli 0,8. Taulukon 23 alimmalla rivillä on esitetty valaistusluokan ME4a keskimääräisen luminanssin ja luminanssien tasaisuuden vaatimukset (SFS-EN 13201-2). Punaisella merkityt arvot alittavat nämä vaatimukset.

Taulukko 23 DIALux-laskennan tulokset LED-valaisimille valaistusluokalle ME4a.

Valaisin	Luminanssi			Esto- häikäisy TI	Pylväs- väli [m]	Pylväs- korkeus [m]	Valaisimen ulkonema [m]
	Keskiarvo L_m [cd/m ²]	Yleis- tasaisuus U_o	Pitkittäis- tasaisuus U_l				
A	0,36	0,3	0,9	8	15	9	1
B	0,5	0,3	1	8	15	9,5	1
C	0,47	0,1	0,7	1	15	10	0,5
D	0,76	0,4	0,9	15	19	6,5	0,5
E	1,04	0,1	0,7	13	20	8	1
F	0,76	0,4	0,6	2	17	8	1
G	0,75	0,4	0,7	0	17	9	1
H	0,75	0,6	0,8	3	26	9,5	0,5
I	0,79	0,5	0,6	7	25	9	1
J	0,75	0,4	0,6	15	35	8	1
K	0,96	0,4	0,6	3	22	10	0
L	0,71	0,2	0,2	3	15	10	-1,5
ME4a-luokka	0,75	0,4	0,6	15			

Pisin mahdollinen pylväsväli 35 m saatiin valaisimelle J. Valaisimet A, B, C, E ja L eivät täyttäneet kaikkia valaistusluokan ME4a vaatimuksia käytetyillä lähtöoletuksilla. Taulukossa 24 on laskettu valaistusluokan vaatimukset täyttäneiden valaisimien tehonkulutus kilometriä kohti.

Taulukko 24 Valaisinten tehonkulutus kilometriä kohti taulukon 4 mukaisilla pylväsväleillä

Valaisin	Pylväs- väli [m]	Valaisin- tiheys [kpl/km]	Yhden valaisimen teho [W]	Tehon kulutus [kW/km]
D	19	53	59,9	3,15
F	17	59	72,5	4,26
G	17	59	131,5	7,74
H	26	38	79,4	3,05
I	25	40	133,3	5,33
J	35	29	107,9	3,08
K	22	45	139,1	6,32

Mitattujen valaisimien tehot ja valonjako-ominaisuudet poikkeavat toisistaan, joten valaisimien vertaaminen samassa tievalaistusluokassa ei ole mielekästä. Taulukossa 25 on esitetty laskennan tulokset osalle valaisimista valaistusluokalle ME5. Laskennan

lähtökohdat kuten pylväden sijoittelu ja korkeus ovat samat kuin taulukossa 23. Alimmalla rivillä on esitelty valaistusluokan ME5 vaatimukset(SFS-EN 13201-2).

Taulukko 25 Valaisinten A, B, C, E ja L DIALux-laskennan tulokset tievalaistusluokalle ME5

Valaisin	Luminanssi			Esto- häikäisy TI	Pylväs- väli [m]	Pylväs korkeus [m]	Valaisimen ulkonema [m]
	Keskiarvo L_m [cd/m ²]	Yleis- tasaisuus U_o	Pitkittäis- tasaisuus U_l				
A	0,36	0,3	0,9	8	15	9	1
B	0,5	0,4	0,9	8	15	9,5	1
C	0,47	0,1	0,7	1	15	10	0,5
E	1,04	0,1	0,7	13	20	8	1
L	0,71	0,4	0,2	3	15	10	-1,5
ME5-luokka	0,5	0,35	0,4	15			

Näistä valaisimista ainoastaan valaisin B täyttää valaistusluokan ME5 vaatimukset annetuilla oletusarvoilla. Käytetyillä oletusarvoilla valaisin A täyttää hyvin esimerkiksi valaistusluokkaan S4, jota käytetään esimerkiksi erillisillä kevyen liikenteen väylillä. Taulukossa 26 on esitetty laskennan tulokset ja alimmalla rivillä valaistusluokan S4 vaatimukset. Valaisinten asennusta muutettiin edellisiin laskentatilanteisiin siten, että pylvään poikkivarren kallistuma eli valaisimen kulma tien pintaan nähden oli 26 °.

Taulukko 26 DIALux-laskennan avulla saadut valaistusominaisuudet valaistusluokkaan S4 valaisimelle A

Valaisin	Keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m [lx]	Minimi valaistusvoimakkuus E_{min} [lx]	Pylväs- väli [m]	Pylväs korkeus [m]	Valaisimen ulkonema [m]
A	5,07	1,93	25	3,9	-0,5
S4-luokka	5	1			

7.3.7 Muiden ulkovalaisimien mittaukset

Vertailun vuoksi mitattiin kolme magneettisella kuristimella varustettua suurpainenatriumlamppuvalaisinta, joiden lamppujen nimellistehot olivat 50 W, 70 W ja 100 W. Lisäksi mitattiin kaksi elektronisella liitäntälaitteella varustettua 45 W monimetallilamppuvalaisinta. Kuvissa 25 – 29 on esitelty valaisinten mallit sekä mitatut arvot.



Kuva 25 Valaisin M: Philips Mini Iridium CosmoPolis 45 W

Valaisin M:
Philips Mini Iridium CosmoPolis 45 W

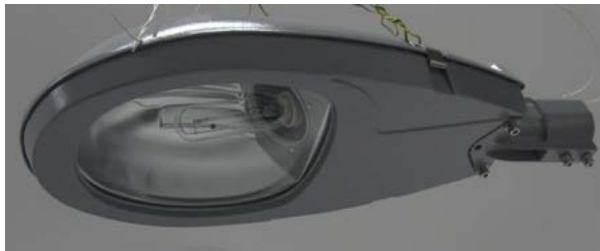
- Teho: 50,1 W
- Valovirta: 3308 lm
- Värilämpötila: 2696 K
- Värintoistoindeksi: 62
- Cosmopolis monimetallilamppu



Kuva 26 Valaisin N: Philips Mini Koffer CosmoPolis 45 W

Valaisin N:
Philips Mini Koffer CosmoPolis 45 W

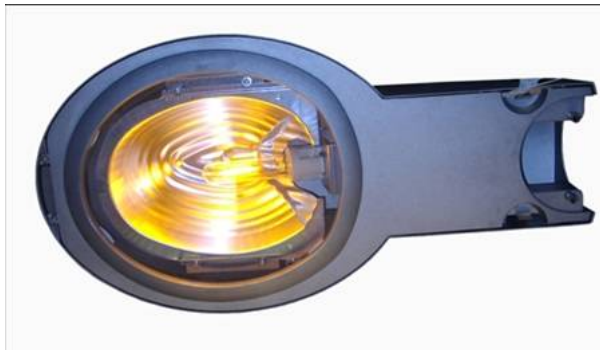
- Teho: 49,9 W
- Valovirta: 3224 lm
- Värilämpötila: 2610 K
- Värintoistoindeksi: 60
- Cosmopolis monimetallilamppu



Kuva 27 Valaisin O: Defa Scoop 50 W

Valaisin O:
Defa Scoop 50 W

- Teho: 63,2 W
- Valovirta: 2937 lm
- Värilämpötila: 1892 K
- Värintoistoindeksi: 15
- Suurpainenatriumlamppu



Kuva 28 Valaisin P: Philips Manta 70 W

Valaisin P:
Philips Manta 70 W

- Teho: 85,2 W
- Valovirta: 4495 lm
- Värilämpötila: 1908 K
- Värintoistoindeksi: 16
- Suurpainenatriumlamppu



Kuva 29 Valaisin Q: Philips AluRoad 100 W

Valaisin Q:
Philips AluRoad 100 W

- Teho: 113,7 W
- Valovirta: 8380 lm
- Värilämpötila: 1966 K
- Värintoistoindeksi: 31
- Suurpainenatriumlamppu

Taulukossa 29 on mitattujen monimetalli- ja suurpainenatriumlamppuvalaisinten mittaustulokset. Mitatut valonjakokäyrät ovat liitteessä 3.

Taulukko 27 Monimetalli- ja suurpainenatriumlamppuvalaisimien mittaustulokset: valovirta, värilämpötila, värinointoindeksi, valaisimen tehonkulutus sekä valotehokkuus. M = monimetallilamppu, S = suurpainenatriumlamppu.

Valaisin	Lamppu- tyyppi	Valovirta lm	Värilämpötila K	Värinointo- indeksi RA	Teho W	Valotehokkuus lm/W
M	M 45 W	3308	2696	62	50,1	66,0
N	M 45 W	3224	2610	60	49,9	64,6
O	S 50 W	2937	1892	15	63,2	46,5
P	S 70 W	4495	1908	16	85,2	52,8
Q	S 100 W	8380	1966	31	113,7	73,7

DIALux-ohjelman avulla laskettiin, kuinka valaisimet sopivat tievalaistusluokkaan ME4a. Laskennassa käytetyt lähtötiedot olivat samat kuin taulukossa 23 esitettyssä laskennassa. Mm. ajorata oli 7 m leveä, pylväs oli asennettu yhteen riviin ja valaisimen ja tien pinnan välinen kulma oli nolla.

Laskennan tulokset ovat taulukossa 28, jonka alimmalla rivillä on valaistusluokan ME4a mukaiset keskimääräinen luminanssi, yleis- ja pitkittäistasaisuus sekä estohäikäisy.

Taulukko 28 DIALux-laskennan tulokset mitattujen monimetalli- ja suurpainenatriumlamppuvalaisimien sopivuudesta ME4a-luokkaan

Valaisin	Luminanssi			Esto- häikäisy TI	Pylväs- väli [m]	Pylväs- korkeus [m]	Valaisimen ulkonema [m]
	Keskiarvo L_m [cd/m ²]	Yleis- tasaisuus U_o	Pitkittäis- tasaisuus U_l				
N	0,75	0,4	0,8	5	17	8	0,5
O	0,79	0,4	0,8	2	15	9,5	1
P	0,75	0,4	0,9	3	21	9	-0,5
Q	0,75	0,5	0,6	7	40	10	1
ME4a-luokka	0,75	0,4	0,6	15			

Kaikki valaisimet M - Q täyttivät käytetyillä lähtötiedoilla valaistusluokan ME4a vaatimukset. Taulukossa 31 on laskettu valaisimien tehonkulutus kilometriä kohden taulukon 29 pylväsvälillä.

Taulukko 29 Mitattujen valaisimien tehon kulutus kilometriä kohden

Valaisin	Pylväs- väli [m]	Valaisin- tiheys [kpl/km]	Yhden valaisimen teho [W]	Tehon kulutus [kW/km]
M	15	67	50,1	3,34
N	17	59	49,9	2,94
O	15	67	63,21	4,21
P	21	48	85,2	4,06
Q	40	25	113,7	2,84

7.3.8 Koeasennusten mittaukset

Vantaalla Lauhatiellä yhdelle katuosuudella on vaihdettu 14 elohopealamppuvalaisinta siten, että kymmenen valaisinta vaihdettiin LED-valaisimeen ja neljä suurpainenatriumlamppuvalaisimeen. Alkuperäisten valaisimien lampputeho oli 125 W. Vaihdetut LED-valaisimet ovat nimellisteholtaan 60 W. Valaisin on tässä työssä mitattu valaisin F (Kuva 17). Vaihdetun suurpainenatriumlamppuvalaisimen lampputeho on 70 W. Sen valonjako-ominaisuuksia ei mitattu tässä työssä. Pylväsväli katuosuudella on 35 m ja pylväskorkeus 8 m. Katuosuus on 7 m leveä asuinalueen tonttikatu, jonka toisella reunalla on 3 m leveä jalkakäytävä.



Kuva 30 Kuva Vantaan Lauhatieltä ennen valaisinten vaihtoa

Ennen elohopealamppuvalaisimien vaihtoa ja sen jälkeen mitattiin tien pinnan luminanssitasot erikseen sekä tieosuudella, johon vaihdettiin LED-valaisimet että myös tieosuudella johon vaihdettiin suurpainenatriumlamput. Mittaukset tehtiin Canon EOS 350 –kameralla. Mitatut kuvatiedostot on muokattu tekstitiedostoiksi LMK2000 -ohjelmalla Standardin SFS-EN 13201-2 mukaiset tien pinnan keskimääräiset luminanssitasot sekä yleis- ja pikittäistasaisuudet on laskettu TKK:n valaistusyksikön Road LumiMeter 2.0 -ohjelmistolla. Mitattaushetkellä elohopealamput olivat noin neljän vuoden ikäisiä, jolloin niiden taloudellinen polttoikä on loppuillaan. Taulukoissa 30 ja 31 on mittauksen tulokset.

Taulukko 30 Luminanssimittaukset tieosuudelta, johon vaihdettiin elohopealamppujen tilalle LED-valaisimet

	Luminanssi		
	Keskiarvo	Yleis- tasaisuus	Pitkittäis- tasaisuus
	L_m [cd/m ²]	U_o	U_l
Vanha asennus Q 125 W	0,55	0,79	0,73
Uusi asennus LED 60 W	1,43	0,28	0,32

Taulukko 31 Luminanssimittaukset tieosuudelta, johon vaihdettiin elohopealamppujen tilalle suurpainenatriumlamppuvalaisimet

	Luminanssi		
	Keskiarvo	Yleis- tasaisuus	Pitkittäis- tasaisuus
	L_m [cd/m ²]	U_o	U_l
Vanha asennus Q 125 W	0,48	0,59	0,4
Uusi asennus Sp-Nat 70 W	2,09	0,2	0,21

Tämäntyyppiselle tonttikadulle suositellaan valaistusluokkaa AL4b tai AL5 (Tiehallinto 2006). Alkuperäinen elohopealamppuasennus täyttää AL5-luokan vaatimukset. Uudet valaisinasennukset eivät mittausten perusteella täytä luminanssin tasaisuusvaatimuksia. Luminanssimittausten kannalta Lauhatiellä olivat ongelmana tien hidasteet ja korkea kasvillisuus, jotka varjostivat valon kulkua erityisesti mittausalueen reunoilla. Tästä johtuen luminanssin tasaisuuden lasketut arvot vääristyivät.

7.3.9 Pohdintoja LED-valaisinten mittaustuloksista

Tämän työn osalta valaisinmittaukset alkoivat kesäkuussa ja päättyivät joulukuussa 2009. Tuona aikana mallisto on ehtinyt muuttua niin, että ensimmäiseksi mitattu valaisinmalli on poistunut kyseisen myyjän valikoimista. Pari mittauksissa mukana ollutta valaisinta jäänee prototyypiksi valaisimen viimeistelyn puutteen vuoksi. Toisaalta mittauksissa oli mukana valaisimia, joilla on mahdollista säilyä markkinoilla vielä pitkään ja toimia hyvin ulkovalaistuksessa.

Jos käyttäjällä ei ole mahdollista mittauttaa valaisimia, niiden keskinäistä vertailua hankaloittaa valaisimien ominaisuuksien ilmoittamisen kirjavuus. Yleinen tapa on ilmoittaa LED-komponenttien lukumäärä, kun halutaan ilmaista valaisimen teholuokka. Tällöin yhden LED-komponentin tehoksi oletetaan 1 W. Todellisuudessa valaisimien kuluttama teho LED-komponenttia kohden on 1 – 2 W. Lisäksi valotehokkuudessa tulee huomioida myös LED-valaisimen virtalähteen tehonkulutus.

Mittauksien perusteella LED-ulkovalaisimista ei voida määritellä yleispäteviä ominaisuuksia, jotka kuvaisivat kaikkia mitattuja valaisimia. Esimerkiksi vertailua LED-valaisimien ja suurpainenatriumlamppuvalaisimen välillä ei voida tehdä muuta kuin yksittäisen valaisimen kohdalla. Valotehokkuudeltaan parhaassa LED-valaisimessa J valonjako ja valovirran määrä soveltuu hyvin tievalaistusluokkaan ME4a, mutta sen valotehokkuus on pienempi ja energiankulutus kilometriä kohden jonkin verran suurempi kuin esimerkiksi suurpainenatriumlamppuvalaisimella Q.

Vaikka kahdessa kaikkein pienitehoisimmassa valaisimessa ei päästä kovin suureen valotehokkuuteen, nämä valaisimet A ja B soveltuvat mainiosti kevyen liikenteen väylän valaisuun. Valaisimia ei voida laittaa suoraviivaisesti paremmuusjärjestykseen. Ratkaisevaa on, mitkä ovat valaistuskohteen vaatimukset ja kuinka valaistus saadaan hoidettua taloudellisesti.

Sopivan valaisimen valintaa mutkistaa jonkin verran myös valon värilämpötila. Useimmissa LED-ulkovalaisimissa suosittu kylmä valon värisävy on sekä valotehokkuuden että mesooppisen näkemisen kannalta hyvä. Se ei kuitenkaan ole joka paikkaan sopiva. Tarvitaan myös väriltään lämpimänsävyisiä valaisimia.

LED-valaisimien aiheuttama häikäisy poikkeaa huomattavasti siitä, miten perinteinen purkauslamppuvalaisin häikäisee. LED-valaisimessa häikäisevät pinnat ovat pistemäisiä, mutta luminanssitasoltaan erittäin suuria. Kaukaa katsottuna ero ei välttämättä ole suuri, mutta läheltä tarkasteltuna tilanne on erilainen. Nykyiset häikäisyindeksit eivät välttämättä sovellu LED-valaisimien häikäisyn arvosteluun.

7.4 LED-ulkovalaisintestauksia ulkomailta

7.4.1 Saksa Darmstadt

Darmstadtin Teknillinen Yliopisto on tehnyt vuosien 2008 ja 2009 aikana LED-ulkovalaisintestejä (Kuhn et al. 2009). Kahdeksasta LED-ulkovalaisimesta mitattiin valovirta, teho, tehokerroin, värilämpötila ja valonjakokäyrä. Mittaustuloksia on esitetty taulukossa 32.

Taulukko 32 LED-valaisinmittausten tuloksia Saksan Darmstadtista (Kuhn et al. 2009).

Valaisimen numero	1	2	3	4	5	6	7	8
LED-komponenttien määrä	64	56	50	1	90	25	48	56
Valaisimen teho [W]	72	75,5	69	36,6	119	80	144,7	111,4
Valovirta [lm]	3560	3060	3230	1503	5167	1182	6410	2630
Valaisimen valotehokkuus [lm/W]	49,4	40,5	46,8	41,1	43,4	14,8	44,3	23,6
Värilämpötila [K]	5000	5200	6500	8600		5300	5200	4000
Tehokerroin		0,99	0,93	0,58	0,97	0,94	0,99	0,99

Mitattujen valonjakokäyrien perusteella laskettiin, kuinka hyvin ne sopivat ME-tievalaistusluokkiin. Pylväsväli oli 22 m ja asennuskorkeus 7 m. Tulokset ovat taulukossa 33. Vain valaisin numero 7 täytti luokan ME5 vaatimukset. S-tievalaistusluokkiin valaisimista soveltui kolme valaisinta (taulukko 34).

Taulukko 33 Laskennan tulokset LED-valaisinten sopivuudesta ME-valaistusluokkiin Saksan Darmstadtissa (Kuhn et al. 2009).

Valaisimen numero		1	2	3	4	5	6	7	8
Keskimääräinen luminanssi	L_m	0,2	0,31	0,5	0,2	0,4	0,3	0,6	0,5
Yleistasaisuus	U_o	0,29	0,17	0,39	0,31	0,24	0,41	0,41	0,31
Pitkittäis-tasaisuus	U_l	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,6	0,2
Estohäikäisy	TI	4	3	5	3	4	15	11	35
Ympäristön valaisu	SR	0,7	0,9	0,5	1	0,7	0,3	0,8	0,5
Tievalaistus-luokka	ME	-	-	-	-	-	-	ME5	-

Taulukko 34 Laskennan tulokset LED-valaisinten sopivuudesta S-valaistusluokkiin Saksan Darmstadtissa (Kuhn et al. 2009).

Valaisimen numero		1	2	3	4	5	6	7	8
Keskimääräinen valaistusvoimakkuus	lx	5,4	5,9	9,8	3,4	8,1	4	9,8	6,8
Minimi valaistusvoimakkuus	lx	0,6	0,4	3,1	0,5	0,9	1,8	3,1	3,6
Tievalaistus-luokka	S						S5	S3	S4

7.5 Yhteenveto LED-ulkovalaisimista

TKK:lla tehtyjen valaisinmittausten ja muista lähteistä saatujen tietojen perusteella voidaan päätellä, että LED-valaisimien soveltuvuus ulkovalaistukseen on kirjavaa. LED-ulkovalaisimien valikoima on laaja ja mallistoihin mahtuu joitakin sellaisia yksilöitä, joita ei ole ulkovalaistukseen kovin hyvin suunniteltu.

Darmstadtin yliopiston ja TKK:n mittausten välillä on LED-ulkovalaisimien suhteen tapahtunut myönteistä kehitystä. Mm. suorituskyvyltään selvästi kaikkein heikoimmat valaisimet ovat karsiutuneet pois markkinoilta. Valonjako-ominaisuuksissa näyttää tapahtuneen selvä muutos. Viime vuoden lopulla mitatuissa valaisimissa, paria poikkeusta lukuun ottamatta, valonjako oli jo saatu muokattua sopivaksi ulkovalaistukseen. Kaikki valmistajat eivät kuitenkaan vielä ole saaneet hiottua optiikkaa niin, että valaisimet olisi suunniteltu tiettyihin tievalaistusluokkiin.

Valotehokkuudessa 70 lm/W on raja, jota näissä mittauksissa mukana olleet LED-ulkovalaisimet eivät ylittäneet. Parhaimmillaan LED-ulkovalaisimet pääsevät noin 70 W teholuokassa samaan valotehokkuuteen kuin hyvät purkauslamppuvalaisimet. Yli 100 W teholuokassa LED-ulkovalaisimet jäävät valotehokkuudessa purkauslamppuvalaisimista. Värinointo LED-ulkovalaisimissa on riittävä ja valon väri vaihtoehdot ovat monipuolisia.

Valaisimen ikääntyminen ja elinkaari verrattuna purkauslamppuihin on useimpien LED-valaisinvalmistajien kohdalla jäänyt miettimättä. Esimerkiksi jos valaisimen huolto ei onnistu huonolla säällä valaisimen ollessa paikallaan pylväässä, se joudutaan rikkoutuessaan vaihtamaan uuteen. Markkinoilla on vielä sellaisia LED-valaisintoimittajia, jotka eivät ole vielä paneutuneet ulkovalaisimien ilmastollisten ylijännitteiden keston.

Energiansäästön kannalta LED-valaisimen vaihtaminen suoraan esimerkiksi suurpainenatriumlamppuvalaisimen tilalle ei ole vielä kannattavaa. LED-valaisimilla on kuitenkin ominaisuuksia, joita perinteisillä purkauslamppuvalaisimilla ei ole. Esimerkiksi kun LED-valaisin syttyy välittömästi, eikä syttymiskertojen määrä vaikuta sen ikääntymiseen, voidaan valaisinta ohjata liiketunnistimilla. Uusilla käyttö- ja ohjaustavoilla voidaan saada aikaan huomattavia säästöjä.

8 Yhteenveto

TKK:n Valaistusyksikön ulkovalaistuskyselyssä vuonna 2009 kerättiin tietoja mm. ulkovalaistuksen valonlähteistä, energiankulutuksesta, huollosta, ohjauksista ja LED-ulkovalaisinasennuksiin liittyvistä kokemuksista sekä suunnitelmista elohopealamppuvalaisinten vaihtotyöhön. Kyselyyn vastasi 13 kuntaa ja Tiehallinto. Muista lähteistä saatiin seitsemän kunnan ulkovalaistustietoja. Näissä 20 kunnassa ja Tiehallinnolla on hieman yli 700 000 ulkovalaisinta.

Kyselyyn vastanneilla tahoilla valaistuksen keskimääräinen päälläoloaika vuodessa on noin 3950 h. Keskimääräiset ryhmävaihtovälit ovat elohopealampuilla 3,3 vuotta, suurpainenatriumlampuilla 4,2 vuotta, monimetallilampuilla 2,7 vuotta, pienpainenatriumlampuilla 3 vuotta ja induktiolampuilla 18 vuotta. Joka toisessa kyselyyn vastanneessa kunnassa sammutettiin asuntoalueiden ulkovaloja yöajaksi. Yhtä yleistä oli ulkovalaistuksen sammuttaminen kahden tai kolmen kesäkuukauden ajaksi. Yli puolet kyselyn kunnista oli asentanut LED-ulkovalaisimia. Laajamittaista LED-ulkovalaisimien käyttöä aiottiin harkita sen jälkeen, kun tekniikka kehittyy ja kokemuksia saadaan lisää.

Koko Suomessa on arviolta noin 1,3 miljoonaa ulkovalaisinta, joista 51 % on elohopealamppuvalaisimia, 45 % suurpainenatriumlamppuvalaisimia ja 1,8 % monimetallilamppuvalaisimia. Ulkovalaistuksen energiankulutus on arviolta noin 800 GWh.

Ulkovalaistuksen suurin ympäristövaikutus tulee käytön aikaisen sähköenergian hiilidioksidipäästöistä. Suomessa sähkönkulutuksen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt ovat arviolta 200 g/kWh. Suomessa ulkovalaistuksen vuoden aikana kuluttama energiamäärä noin 800 GWh vastaa noin 160 000 tonnin hiilidioksidipäästöjä. Elohopealamppujen vaihtotyön energiansäästöpotentiaali Suomessa on 190 GWh/a, jolloin hiilidioksidipäästöjä tulee noin 40 000 tonnia vuodessa vähemmän.

Eco-design –direktiivin pohjalta tehty asetus 245/2009 vaikuttaa voimakkaasti purkauslamppujen valmistukseen ja markkinointiin Euroopan Unionin alueella. Rajoitukset tulevat voimaan vaiheittain. Asetuksen suurin vaikutus ulkovalaistukseen on, että vuoden 2015 jälkeen markkinoille ei tule enää uusia elohopealamppuja eikä myöskään niitä korvaavia suurpainenatriumlamppuja. Myös suurpainenatrium- ja monimetallilamppujen valotehokkuuksien sekä liitäntälaitteiden hyötysuhteen vaatimukset kiristyvät jonkin verran.

Elohopealamppujen korvaamiseen muilla valonlähteillä on olemassa kolme eri tapaa. Elohopealamppu voidaan korvata suoraan suurpainenatrium- tai monimetallilampulla, joissa on sytytin sisällä. Nämä korvaavat lamput poistuvat markkinoilta vuodesta 2015 lähtien eli samaan aikaan kun elohopealamput. Jos vanhat elohopeavalaisimet halutaan säilyttää vuoden 2005 jälkeen, täytyy ainakin valaisimien liitäntälaitteet ja valonlähde vaihtaa. Vanhojen valaisimien kunnostaminen jää kuitenkin vähäiseksi, joten lähes kaikkien elohopealamppuvalaisimien tilalle tullaan vaihtamaan seuraavan 5 - 15 vuoden kuluessa uudet valaisimet. Vaihtotyön hinnaksi Suomessa arvioidaan kaikkiaan 350 miljoonaa euroa. Suurpainenatriumlamppu on suosituin elohopealamppun korvaaja, koska sen hankinta- ja käyttökustannukset ovat pienet. Monimetalli- ja induktiolamppuja asennetaan kohteisiin, joihin halutaan valkoista valoa tai hyvää värintoistoa.

LED-valaisimien tuotekehitykseen on viimeisten vuosien aikana panostettu paljon. Markkinoilla on saatavana moneen ulkovalaistuskohteeseen sopivia LED-valaisimia, mutta sekä niiden laadussa että saatavilla olevissa tuotetiedoissa on suuria eroja. Tässä työssä mitattiin laboratoriomittauksin 12 LED-ulkovalaisinta, joiden liitäntätehot olivat 22 – 203 W ja valotehokkuudet 32 - 63 lm/W. Lisäksi mitattiin kaksi monimetallilamppuvalaisinta ja kolme suurpainenatriumlamppuvalaisinta. Näiden valaisimien liitäntätehot olivat 50 – 114 W ja valotehokkuudet 47 – 74 lm/W. Jotkut LED-ulkovalaisimet ovat saavuttaneet valotehokkuudessa saman tason kuin perinteiset purkauslamppuvalaisimet. Mitatuista LED-valaisimista löytyy sopivia vaihtoehtoja esimerkiksi kevyen liikenteen väylille ja asuntokaduille.

LED-ulkovalaisimien hyviä puolia ovat valon värin ominaisuudet ja nopea syttyminen. Suurpainepurkauslamppuihin verrattuna niiden kustannukset ovat kuitenkin korkeat. LED-ulkovalaisimien häikäisyn rajoittaminen ja valaisimien huolto kaipaavat vielä kehittämistä.

Lähteet

Adamsson, V. 2007, Salon katuvalaistus siirtyy led-aikaan?, Kuntatekniikka 1/2007, s. 24–25, ISSN 1238-125X, Saatavissa:

<http://lehti.kuntatekniikka.fi/sites/default/files/0107.pdf>

Alatorvinen, P. 2009, Kaupunkilaiset pelkäävät pimeää - Oulu – Uutiset, Kaleva.plus, 13.2.2009, Viitattu 26.10.2009 Saatavissa:

<http://www.kaleva.fi/plus/index.cfm?j=780657&mode=print>

Australia 2009, Australian Government, Department of the Environment, Phase-out of inefficient incandescent light bulbs, Viitattu 12.1.2010 Saatavissa:

<http://www.environment.gov.au/sustainability/energyefficiency/lighting/index.html>

Belt, J., A., B. 2009, U.S. Agency for International Development, The Electric Power Sector in Cuba: Potential Ways to Increase Efficiency and Sustainability, Viitattu 12.1.2010 Saatavissa:

http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNADO407.pdf

Berliner Energieagentur GmbH 2006, Status quo on Street Lighting Contracting in Europe - short study, Intelligent Road and Street lighting in Europe, 22 sivua, Raportti nro EIE/05/157/SI2.419662

Energia 2007, Tehokkaasti energiaa kohtuullisin kustannuksin - Energia-alan toimialavuoropuhelun raportti 8.1.2007, Helsinki, 28 sivua, ISBN 978-952-5615-10-4

EU 2009, Euroopan unionin virallinen lehti, 52. vuosikerta, 076L 2009, s. 17– 44, Euroopan yhteisöjen virallisten julkaisujen toimisto, Luxembourg, ISSN 1725-261X

Fingrid 2007, Fingrid konsernin osavuositiedot 1.1. - 31.3.2007, Fingrid Oyj, Helsinki.

GreenLight 2009, Modernization of Street Lighting of City Kaunas Lithuania,

The European Greenlight Programme, Viitattu 11.1.2010 Saatavissa: <http://www.eu-greenlight.org/pdf/case%20studies/Kaunas%20city%20municipality.pdf>

Guo, L. 2008, Intelligent road lighting control systems - experiences, measurements, and lighting control strategies, Doctoral thesis, Helsinki University of Technology Department of Electronics, Lighting Unit, Espoo, 40 sivua, ISBN 978-951-22-9619-4

Gynther, L. 2007, EuP-direktiivin (2005/32/EY) toimeenpanon energiavaikutusten arviointi, Motiva Oy, Helsinki, 58 sivua, Saatavissa:

http://www.tem.fi/files/20621/EuP_direktiivin_energiavaikutukset_loppuraportti_070309.pdf

Hartikainen, I. 2009, Miten katuvalojen uusinta etenee?, Aamuposti 05.08.2009, Viitattu 11.1.2010 Saatavissa: <http://www.aamuposti.fi/Uutiset/Arkisto/2009/08/05/Miten-katuvalojen-uusinta-etenee>

Haukkasalo, A. 2009, Kaupungit kiirehtivät ulkovalojen vaihtoa, Tekniikka&Talous 20/2009, s. 16, ISSN 0785-997X

Heljo J., Nippala E. & Nuuttila H. 2005, Rakennusten energiankulutus ja CO2-ekv päästöt Suomessa, (EKOREM) –projektin loppuraportti, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakentamistalouden laitos, Raportti 2005:4, Tampere, 105 sivua, ISBN 952-15-1515-5

Hihnala, S. 2008, Led-katuvalokokeilut toistaiseksi pettymys, Radio Melodia, 3.11.2008, Viitattu 11.1.2010 Saatavissa:

<http://kotisivut.turunSanomat.fi/radiomelodia/?sivu=993&ts=574196>

IAEEL 2009, Mercury and lighting: Managing the problem - IAEEL newsletter, no. 3/93, Viitattu 12.1.2010 Saatavissa:

http://www.iaeel.org/IAEEL/NEWSL/1993/tre1993/LiEn_b_3_93.html

IEA & OECD 2006, Light's labour's lost : policies for energy-efficient lighting, OECD/IEA, Paris, 558 sivua, ISBN 92-64-10951-X

Ilmatieteen laitos 2009, Paljonko lumi lisää valoisuutta?, Viitattu 12.1.2010 Saatavissa:

http://www.fmi.fi/kysymyksia/index_5.html

Jakonen, J. 2009, Ekotehokkaat katulamput nielevät 20 miljoonaa helsinkiläisten verorahoja, Helsingin Uutiset, Viitattu 6.11.2009 Saatavissa:

<http://www.helsinginuutiset.fi/Uutiset/Jutut/Paa uutiset/Ekotehokkaat-katulamput-nielevat-20-miljoonaa-helsinki laisten-verorahoja>

Jyväskylän kaupunki 2009, Ympäristöystävällinen valaistus - vaihe 2, ESCO-hankkeen projektisuunnitelma - Jyväskylän kaupungin kaupunkirakennepalvelut, Yhdyskuntatekniikan vastuualue.

Kautto, P., Nissinen, A. & Kosola, M. 2007, EuP-direktiivin ympäristö- ja energiavaikutukset, KTM Julkaisu 24/2007, 106 sivua, ISBN 978-952-489-154-7

Kemna, R., van Elburg, M., Li, W., & van Holsteijn, R. 2005, MEEUP Methodology Report – Final report, Van Holsteijn en Kemna, Delft, 188 sivua, Saatavissa:

http://ec.europa.eu/energy/demand/legislation/doc/2005_11_28_finalreport1_en.pdf

Koikkalainen, M. 2009, Ulkovalaistuksen energiankäyttö ja valaistustavat eri kaupungeissa, Seminaarityö, TTK Elektroniikan laitos Valaistusyksikkö, Espoo, 13 sivua

Kuhn, T., Khan, Q. & Schiller, C. 2009, Eine Analyse aktueller LED-Straßenbeleuchtung aus lichttechnischer Sicht, 1/2009, Licht, s. 88-93, ISSN 0024-2861

Kuopion kaupunki 2009, Kuopion kaupungin tekninen lautakunta - kokouksen pöytäkirja 1.7.2009, Ulkovalaistuksen v. 2009 säästötoimenpiteet.

Lightbucket 2008, Carbon emissions from electricity generation by country, Viitattu 12.1.2010 Saatavissa: <http://lightbucket.wordpress.com/2008/10/22/carbon-emissions-from-electricity-generation-by-country/>

Martikainen, M. 2009, Impact of EuP directive on light sources, Luento Lisensiaattiseminaari: Energy Efficient Indoor and Outdoor Lighting, Espoo, 3.9.2009, TTK Valaistusyksikkö

Osram 2009a, Life Cycle Assessment of Illuminants. A Comparison of Light Bulbs, Compact Fluorescent Lamps and LED Lamps - Executive Summary, Osram Opto Semiconductors, Viitattu 7.1.2010 Saatavissa: http://www.osram-os.com/osram_os/EN/About_Us/We_shape_the_future_of_light/Our_obligation/LED_lifecycle_assessment/OSRAM_LED_LCA_Summary_November_2009.pdf

Osram 2009b, Tuoteluettelo 2009 - 2010, Osram, Vantaa.

Paakkinen, M. 2008, LED-tekniikan mahdollisuudet osana valaistusjärjestelmää, Diplomityö, TKK Elektroniikan laitos Valaistusyksikkö, Espoo, 67 sivua

Philips 2006, Lamppuopas 2006/07.

Porin Sanomat 2009, Katuvaloista pihistely loppuu Porissa - Porinsanomat.fi. 5.12.2009, Viitattu 10.11.2009 Saatavissa: <http://www.aidostiporilaisempi.fi/uutiset.php?id=608>

Saari, M. 2009, Optimisation of outdoor lighting control for energy efficiency, Luento Lisensiaattiseminaari: Energy Efficient Indoor and Outdoor Lighting, Espoo, 4.9.2009, TTK Valaistusyksikkö

SFS 6000-6, 2007, Pienjännitesähköasennukset, Osa 6: Tarkastukset, Helsinki, Suomen standardisoimisliitto SFS ry, 22 sivua

SFS 6000-7-714, 2007, Pienjännitesähköasennukset, Osa 7-714: Erikoistilojen- ja asennusten vaatimukset, ulkovalaistusasennukset, Helsinki, Suomen standardisoimisliitto SFS ry, 4 sivua

SFS-EN 13201-2, 2004, Road lighting, Part 2: Performance requirements, Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 17 sivua

SFS-EN 13201-3, 2004, Road lighting, Part 3: Calculation of performance, Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 44 sivua

Sillanpää, P. 2009, Valaistuspäällikkö, Espoon kaupunki, 16.9.2009 Espoo, Haastattelu

Simpson, R.S. 2003, Lighting control : technology and applications, Focal Press, Oxford, 564 sivua, ISBN 0-240-51566-8

Sipilä, R, 2009 YLE Keskipohjanmaa, Hehkulamput myytiin loppuun marketeista, YLE Uutiset Keski-Pohjanmaa, Viitattu 9.11.2009 Saatavissa: http://yle.fi/alueet/keski-pohjanmaa/2009/11/hehkulamput_myytiin_loppuun_marketeista_1143608.html

SSTL 2008, Energiatehokas valaistus vähentää hiilidioksidipäästöjä ja säästää rahaa, Esitelmä, Suomen sähkötukkuliikkeiden liitto ry, Suomen Valoteknillinen Seura ry, Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry & Teknologiateollisuus ry, Viitattu 27.10.2009 Saatavissa: http://www.valosto.com/tiedostot/Energiatehokas_valaistus.pdf

SVS 2008, Valaistushankintojen energiatehokkuus, taustaraportti, Versio 4.0, 35 sivua, Suomen Valoteknillinen Seura ry, Saatavissa: http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf

Suomi, U., Hietaniemi, J. & Hellgren, M. 2004, Yksittäisen kohteen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet, Motiva Oy Kupari Energiapalvelut Oy, 15 sivua, Saatavissa:
http://www.motiva.fi/files/209/Laskentaohje_CO2_kohde_040622.pdf

Tapper, J. 2006, Ulkovalaistuksen ohjausjärjestelmät, Diplomityö, TKK Elektroniikan laitos Valaistusyksikkö, Espoo, 104 sivua

TEM 2009, Energiatehokkuussopimukset ja -katselmukset, Työ- ja elinkeinoministeriö, Viitattu 12.1.2010 Saatavissa: <http://www.tem.fi/index.phtml?s=2588>

Tetri, E. 1998, Valonlähteet : ominaisuudet ja energiankäytön tehostaminen, Teknillinen korkeakoulu Valaistuslaboratorio, Espoo, 78 sivua, ISBN 951-22-3958-2

Tichelen, P.V., Jansen, B., Geerken, T., Vanden Bosch, M., VanHoof, V., Vanhooydonck, L. & Vercalsteren, A. 2007, Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs Final Report Lot 9: Public street lighting, Study for the European Commission DG TREN unit D3, Vito. 137 sivua, Saatavissa:
<http://www.eup4light.net/assets/pdffiles/Final/VITOEuPStreetLightingFinal.pdf>

Tiehallinto 2009a, Tievalaistuksen sähkönkulutus vähenee tuntuvasti, Viitattu 2.11.2009 Saatavissa:
http://www.tiehallinto.fi/servlet/page?_pageid=70&_dad=julia&_schema=PORTAL30&menu=14290&_pageid=71&kieli=fi&linkki=33505&julkaisu=10757

Tiehallinto 2009b, Tieverkko, Viitattu 10.6.2009 Saatavissa:
http://www.tiehallinto.fi/servlet/page?_pageid=71&_dad=julia&_schema=PORTAL30&menu=5197&_pageid=71&linkki=1018&julkaisu=552&kieli=fi

Tiehallinto 2007, Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset, Tievalaistus, Tiehallinnon julkaisu TIEH 2200048-v-07, 32 sivua, ISBN 978-951-803-875-0 12, Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2200048-v-07-tylt_7510_tievalaistus.pdf

Tiehallinto 2006, Tievalaistuksen suunnittelu, Tiehallinnon julkaisu TIEH 2100034-v-06, 116 sivua, ISBN 951-803-553-9, Saatavissa:
http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100034-v-06tievalaist_suunn.pdf

Tiehallinto 2005, Törmäyksessä myötäävät valaisinpylväät vuonna 2005, Tievalaistus/sähkö tiedote nro 11E, Tiehallinto, 8 sivua, Saatavissa:
<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/ttiens/tvaltd11d04.pdf>

Tiehallinto, 2003, Oulun tiepiirin tievalaistuksen toimintalinjat ja kehittämistarpeet. Tiehallinto Oulun tiepiiri, 60 sivua, Saatavissa:
http://www.ouluunliikenne.fi/viranomaisolli/Strategiat_ja_toimintalinjat/Oulun_tiepiirin_tievalaistus.pdf

Tilastokeskus 2009, Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytön hiilidioksidipäästöt 1990-. Viitattu 7.1.2010 Saatavissa:
http://www.stat.fi/til/ehkh/2009/03/ehkh_2009_03_2009-12-16_kuv_002.html

United Nations 1998, Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Protocol, Kyoto, 20 sivua, Saatavissa:

<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

Uusi Suomi 2008, Katulamput vaihtoon? Hinnaksi noin 350 miljoonaa, Viitattu 10.11.2009 Saatavissa: <http://www.uusisuomi.fi/kotimaa/43310-katulamput-vaihtoon-hinnaksi-noin-350-miljoonaa>

Valdmann, A. & Tuppi, T. 2004, Tuhattaitoinen Tallinnan rakennusvirasto, Kuntatekniikka 6/2004, s. 6-12, ISSN 1238-125X, Saatavissa:

http://www.tekniikkajakunta.fi/lehtiarkisto/lehdet/jutut/604_tallinna.pdf

Valli, M. 2009, Elohopeavalaisimien vaihtourakka alkaa. Plaani, 3/2009 s. 18-19, ISSN 1457-0246

Yle Turku 2009, Katuvalaisimet vaihtoon pikaisesti, Yle Uutiset, Viitattu 14.9.2009. Saatavissa:

http://yle.fi/alueet/turku/2009/09/katuvalaisimet_vaihtoon_pikaisesti_999811.html

Ympäristöministeriö 2009a, Euroopan unionin päästökauppa, Viitattu 7.1.2010

Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=5289&lan=fi>

Ympäristöministeriö 2009b, Kioton pöytäkirja, Viitattu 7.1.2010 Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1885&lan=fi#a0>

Žukauskas, A., Shur, Michael S., & Gaska, R. 2002, Introduction to Solid-state Lighting, Wiley&Sons, New York, 207 sivua, ISBN 0-471-21574-0.

Liite 1 Kunnille ja Tiehallinnolle tehdyn kyselyn lomake



TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Elektroniikan laitos
Valaistussyksikkö

5.5.2009

ULKOVALAISTUSKYSELY KAUPUNGIT/ENERGIA-YHTIÖT, TIEHALLINTO

Organisaatio:

Vastaaja (nimi ja työnimike):

1. Lampputyypit ja energiankulutus

Eri lampputyypien lukumäärä (tai jakauma %) ja tyypilliset lampputehot ulkovalaistuksessa:

elohopealamput	kpl	W
suurpainenatriumlamput	kpl	W
monimetallilamput	kpl	W
muut	kpl	W

Ulkovalaistuksen vuotuinen energiankulutus: GWh

2. Lamppujen vaihto

Keskimääräinen lamppujen vuotuinen käyttötuntimäärä: h

Tyypillinen ryhmävaihtoväli:

elohopealamput	v
suurpainenatriumlamput	v
monimetallilamput	v

Tehdäänkö yksittäisvaihtoja?

3. Valaistuksen ohjaus

Käytössä olevia ohjaustoimenpiteitä (ja käytön laajuus) ulkovalaistuksen energian säästämiseksi:

- lamppujen sammutus yöajaksi
- joka toisen lampun sammutus yöajaksi
- lamppujen sammutus kesäkuukausina
- lumipeitteen vaikutus lamppujen polttoaikoihin
- lamppujen säätökäyttö (portaittainen/jatkuva säätö)
- muuttuva valaistus eli ns. älykäs säätö

4. Elohopealamppujen korvaaminen

Onko ulkovalaistuksessa jo tehty asennuksia elohopealamppujen korvaamiseksi muilla lamppuilla?

Mikä ollut ensisijainen korvaavan tekniikan käyttömuoto (lamppun ja liitäntälaitteen vaihto, valaisimen vaihto, valaisimen ja pylväsvälin vaihto...)

Mikä on ollut ensisijainen korvaava lampputyyppi ja –teho?

5. LEDit

Onko kaupungin/kunnan alueella tehty led-ulkovalaistusasennuksia? Kokemuksia näistä?

Näkemyksiä, tullaanko ulkovalaistuksessa siirtymään LEDien käyttöön lähiaikoina/ tulevaisuudessa?

Mitkä ovat led-valonlähteiden ja –valaisimien ongelmia tällä hetkellä ulkovalaistuskäyttöä ajatellen?

Mitä etuja nähdään LEDien ulkovalaistuskäytössä?

6. LED mittaukset TKK:lla

Projektissa mitataan ulkovalaistuskäyttöön (puistot, kevyen liikenteen väylät, katu...) tarkoitettuja markkinoilla olevia led-valonlähteillä varustettuja valaisimia (valo- ja sähkötekniset ominaisuudet).

Mistä led-valaisimien ominaisuuksista toivotte saavanne mittaustietoa?

- esim. valotehokkuus
- valonjako
- väriominaisuudet
- käyttöjännitteen vaikutus
- ulkoisen lämpötilan vaikutus (valontuottoon, valon väriin...)
- valovirran alenema
- häikäisyvaikutukset
- muuta:

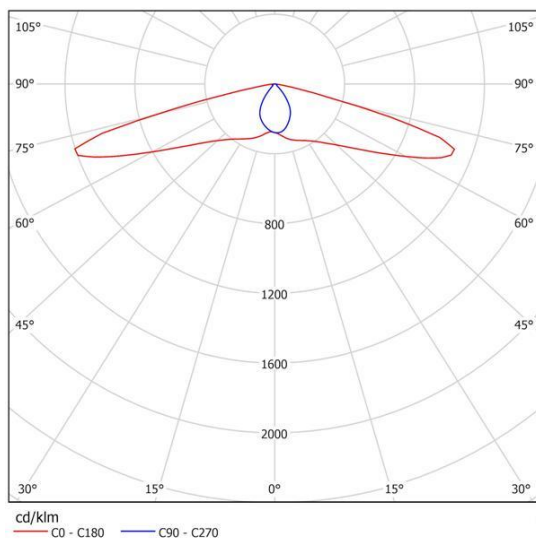
Ehdotuksia laboratoriomittauksiin valittavien lamppujen/valaisinten valintaan:

purkauslamppuvalaisimet (nykyistä käytäntöä edustava tyyppi, valmistaja, lampputeho, liitäntälaitte):

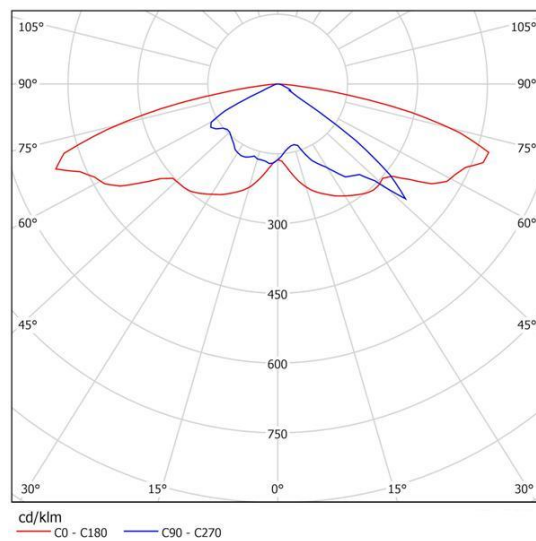
led-valaisimet (valmistaja, tyyppi, teho, värilämpötila...):

Muuta:

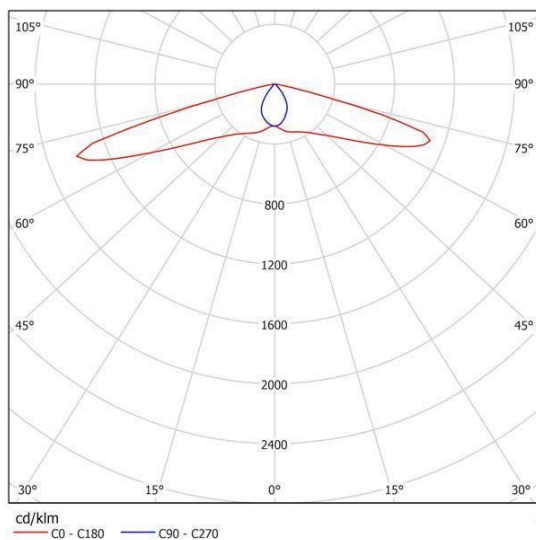
Liite 2 TKK:lla vuonna 2009 mitattujen LED-ulkovalaisimien valonjakokäyrät



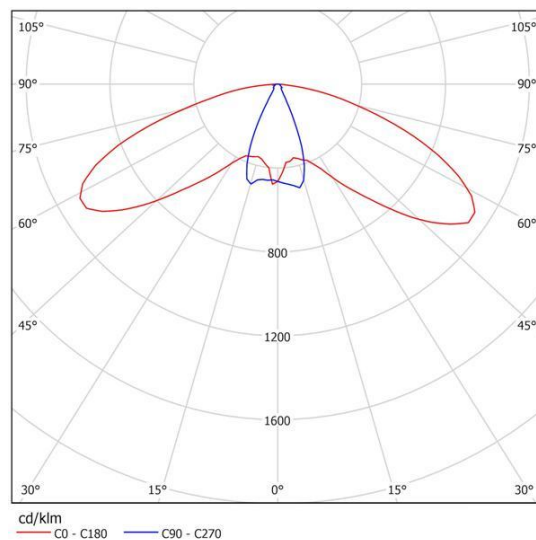
Kuva 31 Valaisimen A valonjakokäyrä



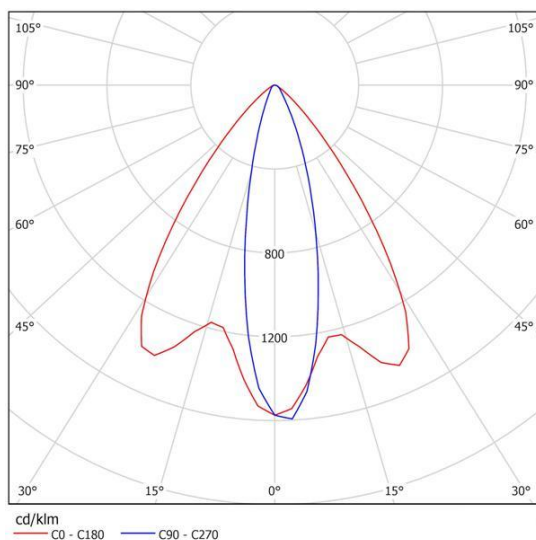
Kuva 34 Valaisimen D valonjakokäyrä



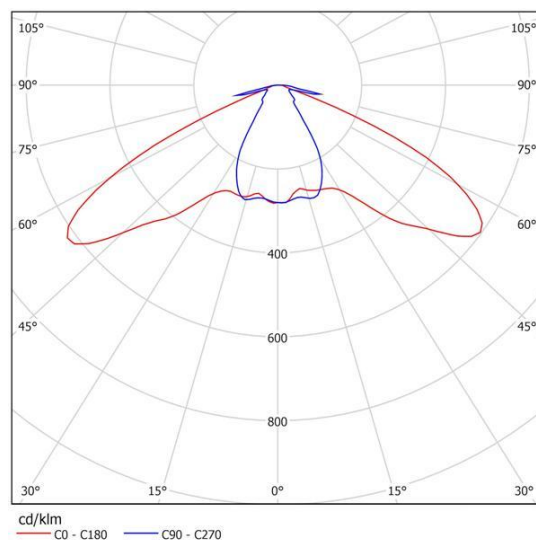
Kuva 32 Valaisimen B valonjakokäyrä



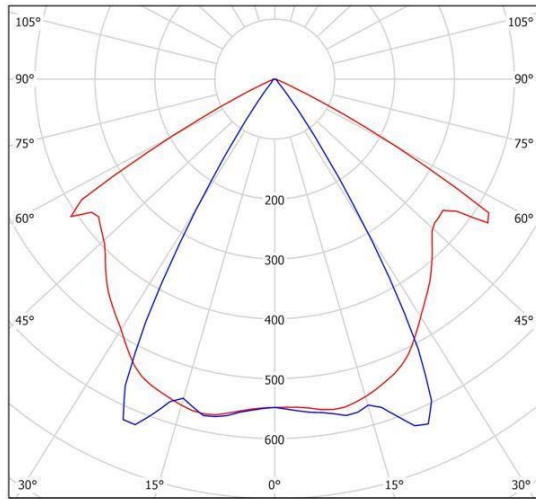
Kuva 35 Valaisimen E valonjakokäyrä



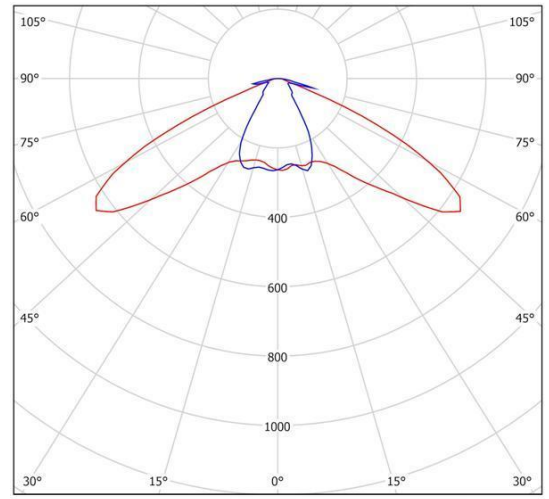
Kuva 33 Valaisimen C valonjakokäyrä



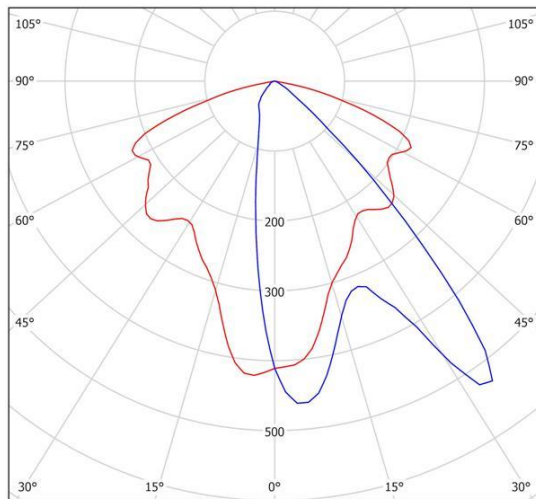
Kuva 36 Valaisimen F valonjakokäyrä



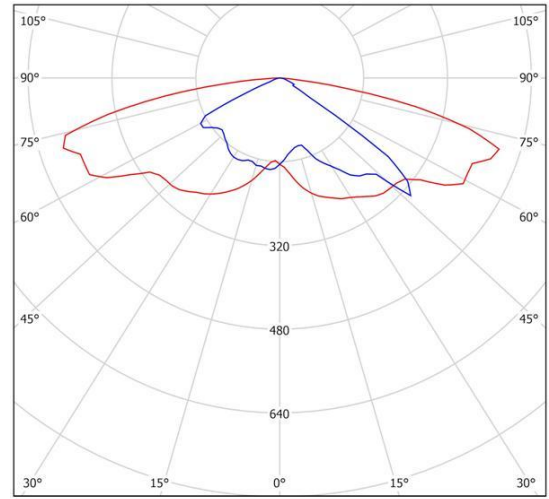
Kuva 37 Valaisimen G valonjakokäyrä



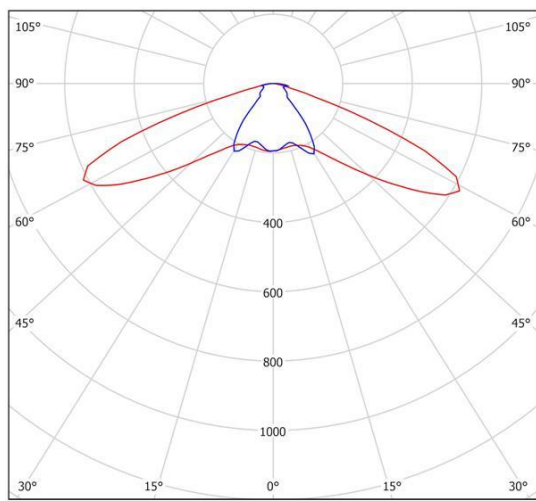
Kuva 40 Valaisimen J valonjakokäyrä



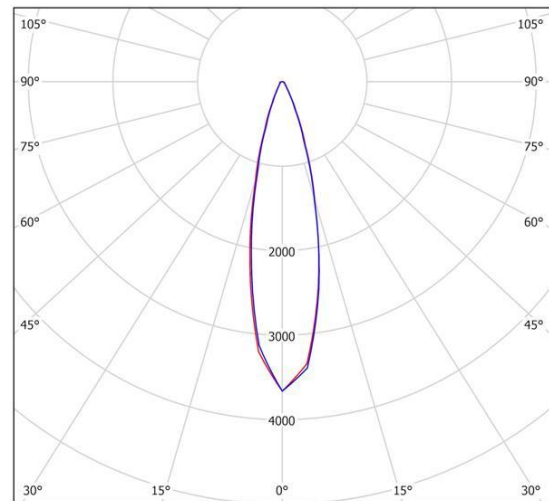
Kuva 38 Valaisimen H valonjakokäyrä



Kuva 41 Valaisimen K valonjakokäyrä

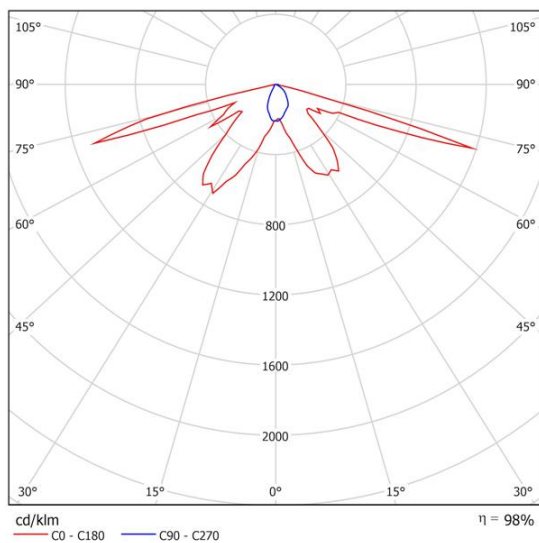


Kuva 39 Valaisimen I valonjakokäyrä

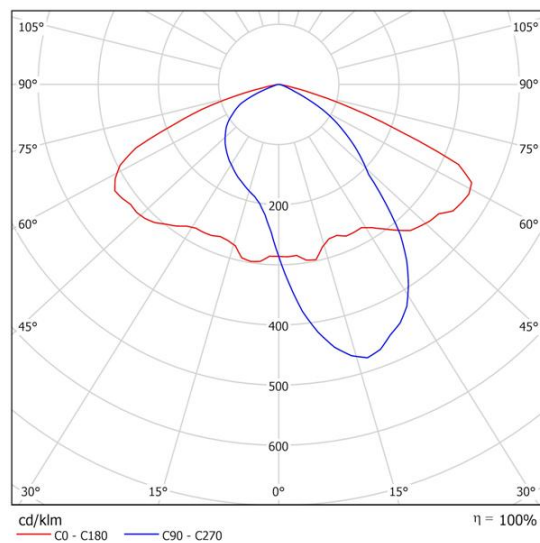


Kuva 42 Valaisimen L valonjakokäyrä

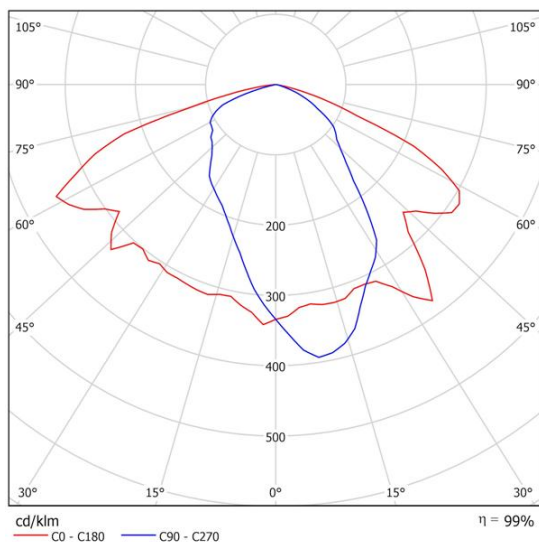
Liite 3 TKK:lla vuonna 2009 mitattujen purkauslamppuvalaisimien valonjakokäyrät



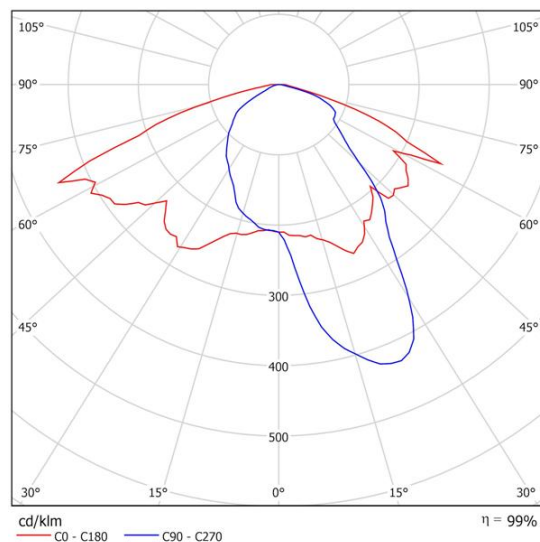
Kuva 43 Valaisimen M valonjakokäyrä



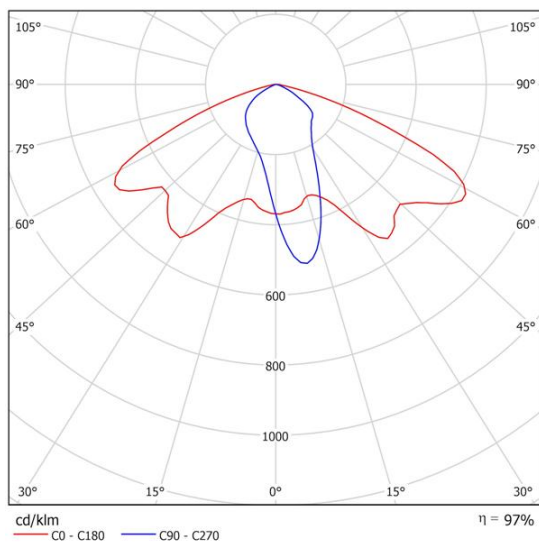
Kuva 46 Valaisimen P valonjakokäyrä



Kuva 44 Valaisimen N valonjakokäyrä



Kuva 47 Valaisimen Q valonjakokäyrä



Kuva 45 Valaisimen O valonjakokäyrä

