

Jukka-Pekka Penttinen

# HEHKULAMPPUJEN KORVAAMINEN KIRKOISSA

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Lokakuu 2010




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>				
<b>Tekijä(t)</b> Jukka-Pekka Penttinen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> <b>Sähkötekniikan koulutusohjelma</b>				
<b>Nimeke</b> Hehkulamppujen korvaaminen kirkoissa					
<b>Tiivistelmä</b> <p>Työn tavoitteena oli etsiä korvaavia vaihtoehtoja hehkulamputille kirkkojen sisätilojen valaistuksessa. EU:n uudet määräykset lopettavat vaiheittain hehkulamppujen myynnin ja rajoittavat myös muiden lamppujen myyntiä EU:n alueella. Kirkkojen valaistus on perinteisesti toteutettu suurella määrällä hehkulamppuja ja nyt haluttiin selvittää millä ne voidaan korvata tulevaisuudessa ja mitkä ovat kustannukset. Korvaavia vaihtoehtoja etsittiin hehkulamppun muotoisista halogeeni-, energiansäästö- ja LED-lampuista.</p> <p>Kirkkojen valaistukseen kuluva energiamäärä saadaan pienennettyä uusilla vaihtoehdoilla, mutta kirkkojen valaistuksessa tulee ottaa muitakin asioita huomioon kuin vain energiankulutus. Rakennuksen yleisilmeen tulee säilyttää sama rauhallinen ja lämmin tunnelma kuin hehkulamppuvalaistuksella. Vanhat kirkot ovat myös museoviraston suojelukohteita ja niiden valaistusta muutettaessa on otettava tämä asia huomioon. Kirkon vanhat valaisimet ovat myös suunniteltu hehkulamputille, joten kaikki uudet lamput eivät sovellu niihin.</p> <p>Hehkulamppujen korvaaminen energiansäästölamputilla pienentää valaistuksen energian kulutusta ja lamppujen vaihdoista aiheutuvia kustannuksia, mutta kertainvestointi lamppuja ostettaessa on paljon suurempi. Energiansäästölamppujen muoto ja koko rajoittavat niiden sopimista vanhoihin valaisimiin hehkulamppujen tilalle. Halogeenivalaisimilla on helppo korvata hehkulamput, mutta kustannussäästöjä saadaan aikaan vain suurempi tehoisia hehkulamppuja korvattaessa. Halogeenit tulevat myös poistumaan markkinoilta uusien säädösten perusteella. LED-lamppujen pieni energiankulutus ei riitä vielä kompensoimaan niiden kallista hankintahintaa eivätkä niiden valotekniset ominaisuudet ole vielä tarpeeksi hyvät yleisvalaistukseen.</p> <p>Tämänhetkellä energian hintatasolla ja hinnannousun kehityksellä sekä lamppujen hinnalla energiansäästölamput tulevat joissain kohteissa edullisimmaksi vaihtoehdoksi. Ne eivät kuitenkaan sovi himmennettäviin valojärjestelmiin ja niiden aiheuttamat häiriöt sähköverkkoon tulee myös huomioida. Ne sisältävät myös elohopeaa, joten ne ovat ongelmajätettä. Hehkulamppu osoittautui parhaaksi valinnaksi kirkon kruunuvalaisimiin vielä tällä hetkellä.</p>					
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> hehkulamppu, energiansäästölamppu, kirkko, valaistus, Led,					
<b>Sivumäärä</b> 77	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Kieli</b></td> <td style="width: 50%;"><b>URN</b></td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b>	<b>URN</b>	Suomi	
<b>Kieli</b>	<b>URN</b>				
Suomi					
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>					
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Juha Korpijärvi	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Mikkelin seurakuntayhtymä				

## DESCRIPTION

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences		Date of the bachelor's thesis	
Author(s) Jukka-Pekka Penttinen		Degree programme and option Electrical engineering	
Name of the bachelor's thesis Replacing incandescent bulbs at the church			
<b>Abstract</b>  <p>Purpose of researches is how replace incandescent bulbs at the church. Incandescent bulbs have low light efficiency. They consume much energy, but give less light than other lights with same energy. That is reason why they selling end in few years.</p> <p>I research new lighting systems and compare them old lighting systems with incandescent bulbs. I compare compact fluorescent lamps (CFL), halogen lamps and LED lamps. Halogen lamps can compensate incandescent bulbs easily without technical problems and they are easily dimmable. They use less energy but they are more expensive than incandescent bulbs. They don't meet to requirements of new EU lighting standard so they are only a temporality solution of this problem.</p> <p>CFL lamps use much less energy than incandescent bulbs or halogen lamps and works much longer than them. They are almost ten times expensive than bulbs. Life cycle costs are cheaper in CFL's lamps than bulbs if energy costs raise same way like now. Their problems are that they are non dimmable with traditional dimmer and they disturb grid.</p> <p>LED-lamps are future solutions for lighting problems but led's quality aren't enough good yet. LED's light isn't so warm than standard bulbs and their light are too directional. LED price is still too high this days, but its will be cheaper and better quality every year. For future it will be better than other lamps, but today it isn't good alternative.</p> <p>You can't say what is best lamps for all churches. You must take into account energy, price, church architectures and lighting technical. Lighting must designed so that lights come down where people sit and its lights look fine in church. You can't change church expression although you want save energy costs. Incandescent bulbs were best choice in these churches what 1 research in this study.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b> compact fluorescent lamp, incandescent bulb, energy, church,, led,			
Pages 77	Language finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor		Bachelor's thesis assigned by	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	ECODESIGN-DIREKTIIVI .....	2
2.1	Hehkulamppu-direktiivi.....	4
2.2	Toimisto- ja katuvalaistuksen valotehokkuus.....	6
3	HEHKULAMPPUJEN LOPPUMINEN .....	8
3.1	Aikataulu.....	9
3.2	Valotehokkuus .....	10
3.3	Energialuokka .....	11
3.4	Vaikutukset .....	14
3.5	Tavoitteet .....	16
3.6	Ympäristönäkökulma.....	16
4	VALAISTUSTEKNIikka.....	17
4.1	Valovoima.....	18
4.2	Valovirta .....	19
4.3	Valotehokkuus .....	19
4.4	Valaistusvoimakkuus.....	20
4.5	Luminanssi.....	21
4.6	Väriämpötila ja värintoistoindeksi.....	23
4.7	Muut valaistusominaisuudet .....	23
5	LAMPPUJEN TOIMINTATEKNIikka .....	24
5.1	Hehkulamppu.....	24
5.2	Halogeenilamppu .....	27
5.3	Loistelamppu .....	28
5.4	Led .....	29
5.4.1	Historia.....	30
5.4.2	Valkoisenvalon tuottaminen .....	31
5.4.3	LEDin ominaisuudet .....	33
6	KORVAAVAT VAIHTOEHDOT.....	34
6.1	Energiansäästölamppu .....	34
6.2	Halogeeni .....	39
6.3	Led .....	40

7	VERTAILUA .....	42
7.1	Energiankulutus .....	42
7.2	Valaistusominaisuudet .....	45
7.3	Käyttökustannukset.....	47
8	KIRKKOJEN VALAISTUS .....	47
8.1	Kirkkojen suojelu.....	48
8.2	Valaistuksen muunneltavuus .....	48
8.3	Valaistuksen huolto ja työturvallisuus.....	50
9	KOhteet .....	53
9.1	Maaseurakunnan kirkko.....	53
9.1.1	Vertailu .....	57
9.1.2	Ehdotus .....	60
9.2	Mikkelin tuomiokirkko.....	62
9.2.1	Nykyinen valaistus.....	62
9.2.2	Vaihtoehtoja.....	64
9.2.3	Elinkaarikustannukset .....	67
9.2.4	Ehdotelma .....	69
9.3	Anttolan kirkko.....	70
9.3.1	Valaistus.....	70
9.3.2	Ehdotuksia.....	72
9.4	Harjun kappeli .....	72
9.4.1	Valaistus.....	72
9.4.2	Ehdotuksia.....	73
10	YHTEENVETO .....	74
	LÄHTEET.....	76

## 1 JOHDANTO

Työssä tutkitaan uusia vaihtoehtoja Mikkelin seurakuntien kirkkojen hehkulamppuvalaistukselle. Asian on ajankohtainen, koska viimeiset hehkulamput poistuvat myynnistä energiatehottomina syksyllä 2012. Mikkelin seurakuntayhtymän rakennuksista työssä olivat tutkittavana Maaseurakunnan kirkko, Mikkelin tuomiokirkko ja Anttolan kirkko sekä Harjun kappeli.

Kyseiset kirkot ovat vanhoja rakennuksia ja niissä valaistus on suunniteltu toteutettavaksi hehkulamppuilla varustetuilla valaisimilla. Suurimmassa kirkossa oli kruunuvalaisimet, joissa oli noin 800 hehkulamppua. Työnäni oli selvittää uusien lamppujen kustannusvaikutuksia, koska näin suuren määrän vaihtaminen uusiin vaihtoehtoihin aiheuttaa suuret kertakustannukset. Kustannuksia selvitettiin elinkaarikustannuslaskennan avulla. Siinä otettiin huomioon energianhinta ja sen kehitys sekä valaisimien hinta tällä hetkellä. Valaistusajat kirkossa oletettiin olevan noin 1000 tuntia vuodessa eli 3 tuntia päivässä. Laskentaan otettiin myös huomioon lamppujen eliniästä aiheutuneet vaihtokustannukset sekä hehkulamppujen lämmitysvaikutus.

Kustannuksien lisäksi selvitettiin uusien vaihtoehtojen valaistusominaisuuksia ja niiden sopimista kirkon valaistukseen. Uusia lamppuja verrataan niiden valovirran mukaan. Kirkoissa tulee ottaa huomioon myös tarpeellinen valaistusvoimakkuus penkkien kohdalla, valon oikea värilämpötila sekä värintoisto-ominaisuudet. Valaistusta uusimalla ei tule ainakaan heikentää kirkon valaistusominaisuuksia vaan niitä tulisi paremminkin parantaa. Myös lamppujen sopiminen kirkkojen valaistuksen moninaisiin tarpeisiin kuten himmentämiseen oli eräs tutkinnan lähtökohta.

Kustannuksien ja valaistusteknisten ominaisuuksien lisäksi työssä tuli ottaa huomioon kirkkojen kuulumisen museoviraston suojeltujen kohteiden listalle. Tämä rajoittaa lamppujen vaihtoehtoja, ja asettaa vaatimuksia uusien lamppujen ulkonäölle ja valaistusominaisuuksille. Kirkkojen ilme tulee säilyttää edelleen rauhallisena ja lämpimän tuntuksena. Tarkoitus oli suunnitella uudet lamppuvaihtoehdot vanhoihin hehkulamppuille suunniteltuihin valaisimiin ilman suurempia sähköteknillisiä töitä.

Lopputyön tarkoitus oli löytää, joka kirkolle oma sopiva valaistusratkaisu, joka olisi paras ratkaisu niin taloudellisestikin kuin arkkitehtuurillisesti. Työssä otettiin huomi-

oon myös lamppujen tekninen kehitys tällä hetkellä ja odotukset siitä mihin se johtaa tulevaisuudessa. Tarkoituksena oli löytää hyvä ratkaisu noin 10 vuoden ajanjaksolle tai lyhyemmälle aikajaksolle, jos se katsottiin tarpeelliseksi.

Hankaluutena selvityksessä oli juuri meneillään oleva murrosvaihe valaistuksen osalla. Pienitehoisia kirkkaita hehkulamppuja on vielä myynnissä ja niitä korvaavia vaihtoehtoja kehitellään parhaillaan kovaa vauhtia. Uusia lamppumalleja tulee markkinoille kokoajan ja niiden ominaisuudet paranevat ja hinnat laskevat. Markkinoille on myös tullut halpoja energiansäästölamppuja ja LED-lamppuja. Näitä en ottanut vertailussa laskuihin, koska niiden toimintaominaisuudet ja laatu eivät ole vielä parhaalla tasolla. Erilaisissa selvityksissä on huomattu energiansäästölamppujen laadun olevan aika vaihtelevaa ja tällöin halvimmat eivät tule välttämättä halvimmiksi pitkällä tähtäimellä.

Myös EU:n päättäjät ovat huomanneet energiansäästölamppujen laatuero. Tämän takia LED-lampuille on säädetty vaatimuksia, jotka niiden tulee täyttää markkinoille päästäkseen. Kyseisistä lampuista on ollut myös markkinoilla kopioita. Näistä on eräitä toiminnan kannalta tärkeitä komponentteja jopa jätetty pois. Tämän takia laskuissa on käytetty luotettavan lampunvalmistajan tuotteita, jotka ovat hintatasoltaan kalliimpia kuin halvimmat vaihtoehdot, mutta niiden laatu ja kestävyys ovat olleet parempia.

## **2 ECODESIGN-DIREKTIIVI**

Hehkulamppujen valmistuksen loppuminen johtuu EU:n säätämästä EcoDesign-direktiivistä 2009/125/EY. EcoDesign-direktiivi on uusi nimitys EuP-direktiiville 2005/32/EY (Energy-using Products). Direktiivi on puitedirektiivi, joka ei sinällään velvoita mitään, mutta sen nojalla annetut asetukset velvoittavat. Direktiivi tuli voimaan kansallisena lakina 1.9.2009. (Hartikainen, 2009)

Direktiivin on tarkoitus vähentää energiaa käyttävien tuotteiden energiankulutusta ja valmistusmateriaalien tarvetta ja siten pienentää niiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia. EcoDesign tarkoittaa ympäristöasioiden ottamista huomioon koko tuotteen elinkaaren aikana jo suunnittelusta lähtien. Uuden EcoDesign-direktiivin piiriin kuuluu nyt myös muita kuin energiaa käyttäviä tuotteita. Sen nojalla voidaan nimittäin

antaa asetuksia sellaisille tuotteille joilla on vaikutusta energian kulutukseen. Tällaisia tuotteita ovat esim. ikkunat, ovet, eristeet ja vesikalusteet.

Puitedirektiiviä täydennetään asetuksilla ja niitä voidaan antaa tuotteille joiden myyntimäärä on EU:n alueella yli 200 000 kpl valmistajasta riippumatta ja joilla on merkittävät ympäristövaikutukset (Hartikainen, 2009). Asetuksia on annettu tällä hetkellä jo usealle eri tuoteryhmälle. Taulukossa 1 on mainittu mille tuotteille on jo annettu asetukset ja missä vaiheessa muiden tuotteiden asetusten valmistelu on. Asetuksissa määritellään tarkasti mitä tuotteita määräys koskee ja mitkä jäävät sen ulkopuolelle. Asetuksessa määritetään tuotteille energiankulutusvaatimukset, aikataulu muutoksille ja niiden tason kiristämiseksi sekä vaadittujen ominaisuuksien mittaustandardit ja valvonnan ohjeistus.

#### TAULUKKO 1. Aikataulu säädöksille (Tukes ekosuunnitteluinfo)

Tuoteryhmä	Esi-selvitys	Konsultaatio-foorumi	Sääntely-komitea	Euroopan Parlamentti	Säädös	Voimassa alkaen
Kotitalouslamput	valmis	OK	OK	OK	valmis	1.9.2009
Lepovirtakulutus	valmis	OK	OK	OK	valmis	7.1.2010
Digiboksit	valmis	OK	OK	OK	valmis	25.2.2010
Katu- ja toimistovalajaistus	valmis	OK	OK	OK	valmis	13.4.2010
Ulkoiset teholähteet	valmis	OK	OK	OK	valmis	27.4.2010
Kylmäsäilytys	valmis	OK	OK	OK	valmis	1.7.2010
Televisiot	valmis	OK	OK	OK	valmis	20.8.2010
Sähkömoottorit	valmis	OK	OK	OK	valmis	16.6.2011
Kiertovesipumput	valmis	OK	OK	OK	valmis	1.1.2013
Puhaltimet	valmis	OK	11.6.2010			
Astianpesukoneet	valmis	OK	OK	OK	valmis	1.12.2011
Pyykinpesukoneet	valmis	OK	OK	OK	valmis	1.12.2011
Vedenlämmittimet	valmis	OK	OK	Kevät '11		
Sähköpumput	valmis	OK	OK			
Lämmivesivaraajat	valmis	OK	tammi '11			
Monitoimidigiboksit	valmis	OK	ei tarvita	itsesääntely	ei tule	---
Kuvantamislaitteet	valmis	OK	ei tarvita	itsesääntely	ei tule	---
Kotitietokoneet	valmis	OK	OK			
Ilmastointilaitteet	valmis	OK	OK			
Kotitalouslamput II	valmis	Kevät '11				
Ammattilaiskylmälaitteet	valmis	Kevät'11				
Pyykinkuivausrummut	valmis	25.6.2010				
Pölynimurit	valmis	25.6.2010				



## 2.1 Hehkulamppu-direktiivi

Euroopan yhteisöjen komission asetusta EY/244/2009 voidaan kutsua hehkulamppu-direktiiviksi. Se on annettu puitedirektiivi 2005/32/EY täytäntöönpanemisesta ympäristäteilevien kotitalouslamppujen ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta. Asetukseen tehtiin muutosasetus EY/859/2009, jolla helpotettiin G9 ja R7s-kantaisten halogeenilamppujen UVC-säteilyn raja-arvoja, koska niille ei ole vielä kunnollista korvaavaa tuotetta markkinoilla eikä niitä ollut tarkoitus kieltää vielä tässä vaiheessa.

Asetusta sovelletaan EY:n markkinoille tuoduille tuotteille riippumatta siitä käytetäänkö niitä kotitaloudessa. Se koskee siis myös muiden tilojen valaisua erikoistapa-uksia lukuun ottamatta. Lamput kuuluvat tähän, jos ne on jollain tavalla tarkoitettu kotitalouksien valaisuun. Asetus koskee myös loistediodeja eli LED lamppuja ja muita uuden teknologian tuotteita. Sitä ei kuitenkaan sovelleta akvaarion tai terraarion valaistukseen, kotitalouskoneiden merkkilamppuihin tai muihin erikoislamppuihin. Loistelampuille, joissa ei ole sisäistä virranrajoitinta sekä suurpainepurkauslamppuille annetaan määräykset toimisto- ja katuvalaistusta koskevassa asetuksessa EY/245/2009. Tässä asetuksessa annetaan määräykset myös virranrajoittimille. Suunnatuille lamppuille ei ole vielä annettu asetusta ja vaatimuksia on odotettavissa vasta 2012 jälkeen (tukes/ekosuunnitteluinfo)

Asetuksen tarkoitus on vähentää valaistuksen energiankulutusta ja lisätä sen ympäristöystävällisyyttä. Sen keskeinen kohta onkin käytönaikainen energiankulutus, elohopeapitoisuus ja elohopeapäästöt. Asetuksessa annetaan myös lamppujen toiminta ominaisuuksille määräyksiä ja minimivaatimuksia.

Euroopan unioni on arvellut tämän asetuksen soveltamisalaan kuuluvien lamppujen sähkönkulutukseksi 112 TWh vuonna 2007 Euroopan yhteisön alueella. Kulutuksen on arvioitu kasvavan yhteisön alueella vuoteen 2020 mennessä ilman erityistoimia 135 TWh:iin. Vuonna 2007 arvioitiin näiden tuotteiden energiankulutuksen vastaavan noin 45 miljoonan tonnin hiilidioksidi päästöjä. Käytössä olevien lamppujen elinkaaren aikaiseksi elohopeapäästöksi on arvioitu 2,9 tonnia vuonna 2007, kun oletetaan että noin 80 % elohopeaa sisältävistä lamppuista jää kierrättämättä EU:n alueella. Silti on katsottu, että on ympäristöystävällisempää siirtyä hehkulamppuista energiatehokkaam-

piin pienloistelamppuihin. Asetuksella halutaan edistää myös yhteisöä pääsemään tavoitteeseensa, eli leikkaamaan energiankulutustaan 20 % vuoteen 2020 mennessä verrattuna oletettuun energiankulutukseen kyseisenä vuonna, ilman mitään toimenpiteitä.(EY/244/2009)

Asetuksen vaatimukset perustuvat lampun energiatehokkuuteen, toimintavaatimukseen, elohopeapitoisuuksiin ja tuotetietoihin. Lampun tehokkuuden ( $\eta_{lamp}$ ) arvot ilmoitetaan valovirran ( $\Phi$ ) suhteena lampun kuluttamaan tehoon ( $P_{lamp}$ ) ja sen yksikkö on lm/W (lumenia/watti). Lampun tehokkuus lasketaan siis seuraavasti:

$$\eta_{lamp} = \Phi / P_{lamp}$$

$P$  = lampun teho

$\Phi$  = valovirta [lm]

$\eta_{lamp}$  = lampun tehokkuus [lm/W]

Muita vaatimuksia ovat lampun eloonjäämiskerroin, valovirran alenema, kytkentäjaksosten lukumäärä ennen vikaantumista, syttymisaika, lämpenemisaika tiettyyn valovirran prosenttimäärään, vikaantumisasteet, UV-säteilyt, lampun tehokertoimet, värin-  
toistoindeksi(Ra) sekä elohopeapitoisuudet.

Lamppujen tuotetietojen täytyy myös sisältää tärkeimmät tiedot lampun ominaisuuksista 1.9.2010 alkaen. Näitä ominaisuuksia ovat lampun nimellisteho (W), lampun nimellisvalovirta (lm) ja energiamerkintä (esim. luokka E) direktiivin 98/11/EY mukaisesti. Tuotetiedoista tulee ilmetä myös lampun nimelliselinikä tunteina, kytkentäjaksosten lukumäärä ennen lampun ennenaikaista vikaantumista, värilämpötila (myös Kelvineinä), lämpenemisaika 60 %:iin nimellisestä valotehosta, tieto lampun soveltumisesta himmennettäväksi sekä lampun mitat millimetreinä. Jos pakkauksessa väitetään lampun vastaavan hehkulamppua, on hehkulampun tehon oltava ilmoitettu asetuksen taulukon 2 mukaisesti. Lampun sisältäessä elohopeaa on myös sen määrä ilmoitettava ja annettava ohjeet jätteen hävittämiseksi. Ilmoitukset voidaan esittää tekstinä, kaavioina, kuvina ja taulukoina.

**TAULUKKO 2. Hehkulamppujen tehoa vastaavat valovirran luumen arvot (EY/244/2009)**

Lampun valovirran mitoitusarvo $\Phi$ [lm]			Väitetty vastaavan hehkulamppun teho
Pienloistelamput	Halogeenilamput	Ledit ja muut lamput	[W]
125	119	136	15
229	217	249	25
432	410	470	40
741	702	806	60
970	920	1055	75
1398	1326	1521	100
2253	2137	2452	150
3172	3009	3452	200

## 2.2 Toimisto- ja katuvalaistuksen valotehokkuus

Toinen valaistusta koskeva asetus direktiivin 2005/32/EY pohjalta tehtiin toimisto- ja katuvalaistuksen energia tehokkuuden parantamiseksi. Tämä asetus EY/245/2009 tuli voimaan 13.4.2010 ja se koskee loistelamppuja, suurpainepurkauslamppuja ja virranrajoittimia.

Tämän asetuksen piiriin kuuluvien tuotteiden osalta pidetään merkityksellisinä ympäristönäkökohtina käytönaikaista energian kulutusta ja lamppujen elohopea pitoisuutta. Asetuksen piiriin kuuluvien tuotteiden vuotuinen sähkön kulutus on arvioitu olevan Euroopan yhteisön alueella 200 TWh vuonna 2005, joka vastaa 80 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöjä, ja sen arvioidaan kasvavan ilman erityistoimenpiteitä vuoteen 2020 mennessä 260 TWh:iin (EY/245/2009). Käytössä olevien lamppujen arvioitiin sisältävän vuonna 2005 12,6 tonnia elohopeaa ja tämän määrän pelätään kasvavan jopa 18,6 tonniin vuoteen 2020 mennessä ilman erityistoimenpiteitä (EY/245/2009). Yhteisön selvityksen perusteella tätä määrää voidaan kuitenkin vähentää huomattavasti. Palvelusektorin valaistuslaitteiden valotehokkuuden parantamisella on myönteinen vaikutus myös valosaasteen määrään.

Asetuksen tarkoituksena on tuotteiden sähkönkulutuksen laskeminen jo olemassa olevilla kustannustehokkailla tekniikoilla, joilla saadaan laskettua tuotteiden hankinta- ja käyttökustannuksia. Asetuksen alaisien tuotteiden ekosuunnitteluvaatimukset tulisi laatia niin, että ne edistäisivät tuotteiden ympäristösuojellista tasoa ja edistäisivät yhteisön tavoitetta vähentää energiankulutusta 20 % vuoteen 2020 mennessä. Asetuksen tavoitteena on lisätä siihen kuuluvien tuotteiden energiatehokkuutta parantavien tekniikoiden markkinaosuutta ja näin saada aikaan 38 TWh säästöt vuoteen 2020 mennessä verrattuna kehityksen jatkumiseen nykyisellään (EY/245/2009). Asetus tähtää myös tuotteiden kokonaislohopeapitoisuuden laskuun.

Ekosuunnittelu ei saisi vaikuttaa kielteisesti tuotteen toiminnallisuuteen eikä aiheuttaa kielteisiä terveys-, turvallisuus- tai ympäristövaikutuksia. Erityisesti käyttövaiheen pienentyneestä sähkönkulutuksesta saatava hyöty tulisi olla merkittävämpi kuin tuotteiden tuotantovaiheessa mahdollisesti tapahtuva ympäristövaikutuksien lisäys. Muutokset tulisi tehdä myös niin, ettei niistä aiheudu käyttäjille liikaa kustannuksia, sen tähden asetus tulee voimaan vaiheittain, jolloin sen tuomiin vaatimuksiin on helpompi reagoida ja jo olemassa olevien laitteiden toiminnallisuuteen liittyvät haitat voidaan minimoida.

Asetuksella määritellään loistelamppujen, joissa ei ole sisäistä virranrajoitinta, suurpaineurkauslamppujen sekä virranrajoittimien ja valaisimien, joissa voidaan käyttää tällaisia lamppuja, ekologisen suunnittelun vaatimuksia. Asetuksen ulkopuolelle jäävät suunnatut lamput, tietyllä aallonpituudella toimivat lamput, varavalaistukseen ja turvavalaistukseen liittyvät tuotteet sekä erikoistarkoituksiin käytettävät tuotteet.

Asetuksessa annetaan tuotteille minimi valotehokkuusarvot. Nämä valotehokkuusarvot on taulukoissa ilmoitettu kaikille lamppu- ja kantatyypeille erikseen mitoituslämpötilan ollessa + 25 °C. Tuotteiden, joissa ei ole sisäistä virranrajoitinta, värintoistoindeksi (Ra) tulee olla suurempi kuin 80 ensimmäisessä vaiheessa. Asetus määrittelee tuotteille teknisiä vaatimuksia valovirran alenemalle, eloonjäämiskertoimelle, lampun elohopeapitoisuudelle ja virranrajoittimien suorituskyvylle.

### 3 HEHKULAMPPUJEN LOPPUMINEN

Hehkulamppujen valmistuksen loppuminen johtuu EY:n komission asetuksesta 244/2009, jolla asetetaan vaatimuksia kotitalouslamppujen hyötysuhteelle. Asetus on laadittu ympärisäteileville kotitalouslamppuille, joiden tarkoitus on valaista suorasti tai epäsuorasti huonetilaa. Asetus koskee myös muiden tilojen valaisua, kun niissä käytetään kotitalouksissa yleisesti käytettyjä lamppeja.

Direktiivin ulkopuolelle jäävät lamput, jotka kuuluvat taulukon 3 tuotteisiin. Nämä tuotteet ovat lamppeja, joita ei käytetä tavalliseen kodin valaistukseen. Ne on suunniteltu erikoistarkoituksiin, niille ei ole korvaavia vaihtoehtoja eikä niiden energiankulutuksella ole merkitystä niiden vähäisen määrän takia.

#### TAULUKKO 3. Asetuksen 244/2009 ympärisäteilevien kotitalouslamppujen ulkopuolelle jäävät lamput. (EY N:o 244/2009)

Lampun tyyppi	Määritelmä
Lamput joilla on seuraavat värikoordinaatit:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>x &lt; 0,200</math> tai <math>x &gt; 0,600</math></li> <li>- <math>y &lt; 2,3172 x^2 + 2,3653x - 0,2800</math> tai</li> <li><math>y &lt; 2,3172 x^2 + 2,3653x - 0,1000</math></li> </ul>
Suunnatut lamput	Suunnatulla lampulla tarkoitetaan lamppea, jossa vähintään 80 % säteilevästä valosta on steradianin avaruuskulman sisällä (vastaa kartiota, jonka kulma on 120°)
Lamput joiden valovirta on alle 60 luumenia tai yli 12 000 luumenia	
Lamput, joilla on seuraavat ominaisuudet	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vähintään 6 prosenttia alueen kokonaissäteilystä on alueella 250–400 nm</li> <li>– Säteilyn huippuarvo on alueella 315–400 nm(UVA) tai 280–315 nm (UVB)</li> </ul>
Loistelamput, joissa ei ole sisäistä virranrajointia	Määräykset annetaan asetuksessa (EY) 245/2009
Suurpainepurkauslamput	Määräykset annetaan asetuksessa (EY) 245/2009
Hehkulamput	Kanta E14/E27/B22/B15 ja joiden jännite on enintään 60 V ja joissa ei ole sisäistä muuntajaa 3 artiklan mukaisesti vaiheissa 1-5.

Myös asetuksen 245/2009 vaikutukset näkyvät niin kotitalouksissa kuin julkisissa tiloissakin. Yleisimpiä tämän asetuksen piiriin kuuluvia lamppuja ovat perinteiset kak-sikantaiset (T8 ja T5) loisteputket ja niihin liittyvät virranrajoittimet sekä yksikantaiset lamput, joissa ei ole sisäistä virranrajoitinta. Myös suurpainelampuille annetaan määräyksiä toimisto- ja katuvalaistusta koskevassa asetuksessa EY/245/2009, mutta ne eivät ole niin yleisiä kotitalouksissa tai julkisissa tiloissa, että niihin kannattaisi tässä enempään tutustua.

### 3.1 Aikataulu

Kotitalouslamppujen kieltäminen on jaettu kuuteen vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe tuli voimaan 1.9.2009. Tällöin kiellettiin kaikki himmeäkupuiset hehkulamput, yli 80 W kirkkaat hehkulamput energiatehottomina sekä myös mattapintaiset halogeenilamput ja yli 75 W energialuokkiin D,E, F ja G kuuluvat verkkojännitteiset kirkkaat yksikantaiset halogeenilamput.

**TAULUKKO 4: Hehkulamppujen poistumisaikataulu**

SYYSKUU VUONNA	TEHO	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Hehkulamppu himmeä		Kaikkien himmeiden hehkulamppujen on oltava energialuokkaa A						
		Kaikkien himmeiden hehkulamppujen valmistus loppuu						
Hehkulamppu kirkas	15 W				Kaikkien kirkkaiden hehkulamppujen valmistus loppuu.			
	25 W							
	40 W							
	60 W							
	75 W							
	100 W							
Merkinnät		Saatavilla						
		Poistuu markkinoilta (varastot voidaan myydä loppuun)						

Toinen vaihe tuli voimaan 1.9.2010, jolloin kiellettiin esimerkiksi yli 60 W kirkkaat hehkulamput ja yli 40 W kirkkaat halogeenilamput. Vaatimustasoa kiristetään vaiheittain ja viimeiset hehkulamput poistuvat käytöstä 1.9.2012.

Vuonna 2012 kaikkien hehkulamppujen on kuuluttava C-energialuokkaan. Näitä vaatimuksia eivät hehkulamput täytä, joten silloin viimeiset hehkulamput poistuvat markkinoilta. Lamppujen poistumiseen ei vaikuta niiden nimellisteho eli Watti-arvo, vaan niiden valotehokkuus, joka ratkaisee mihin energialuokkaan ne kuuluvat. Lampun tehokkuudella tarkoitetaan asetuksen 244/2009 määrittämisen mukaan emittoitun valovirran ( $\Phi$ ) suhdetta lampun kuluttamaan tehoon ( $P_{lamp}$ ) eli  $\eta_{lamp} = \Phi / P_{lamp}$  (yksikkö: lm/W). Lisälaitteissa, jotka eivät ole kiinteä osa lamppua, kuten virranrajoittimessa, muuntajassa tai tehollähteessä tapahtuvaa tehohäviötä ei lasketa mukaan lampun kuluttamaan tehoon.

### 3.2 Valotehokkuus

Vaatimukset myös edellyttävät, että pakkauksissa pitää näkyä valovirran arvot selvästi joko energialuokka-merkinnän yhteydessä tai erikseen. Näistä valovirran ja lampun nimellistehoista voidaan laskea lampun valotehokkuus  $\eta\Phi$  [lm/W]. Esimerkiksi vuonna 2010 ostetun 40 W hehkulampun valovirraksi ilmoitetaan 400 lm. Tästä voidaan laskea lampun tehokkuus, joka on siis:

$$\begin{aligned}\eta_{lamp} &= \Phi / P_{lamp} \\ &= 400 \text{ lm} / 40 \text{ W} \\ &= 10 \text{ lm} / \text{W}.\end{aligned}$$

Asetuksessa annetaan tietylle valovirran mitoitusarvolle ( $\Phi$ ) suurin vastaava mitoitus-teho  $P_{max}$  [W] (kuva1) sekä eri vaiheiden aikana voimassa olevat korjauskertoimet.

Soveltamispäivä	Tiettyä valovirran mitoitusarvoa ( $\Phi$ ) vastaava suurin mitoitus-teho ( $P_{max}$ ) (W)	
	Kirkkaat lamput	Muut kuin kirkkaat lamput
Vaiheet 1–5	$0,8 * (0,88\sqrt{\Phi} + 0,049\Phi)$	$0,24\sqrt{\Phi} + 0,0103\Phi$
Vaihe 6	$0,6 * (0,88\sqrt{\Phi} + 0,049\Phi)$	$0,24\sqrt{\Phi} + 0,0103\Phi$

**KUVA 1. Tehokkuusvaatimukset (EY/244/2009 liite 2 taulukko 1)**

Kuvan 1 taulukon mukaan voidaan laskea kyseiselle lampulle suurin tehoarvo eli

$$0,8*(0,88*\sqrt{400 \text{ lm}} + 0,049*400 \text{ lm}) = 29,76.$$

Kyseisen lampun suurin tehoarvo olisi siis 30 W, mutta kirkkaille hehkulampuille on annettu kuitenkin korjauskertoimet eri vaiheiden ajaksi (kuva2).

Poikkeuksen soveltamisala	Suurin mitoitusteho (W)
Kirkkaat lamput, $60 \text{ lm} \leq \Phi \leq 950 \text{ lm}$ , vaiheessa 1	$P_{\max} = 1,1 * (0,88\sqrt{\Phi} + 0,049\Phi)$
Kirkkaat lamput, $60 \text{ lm} \leq \Phi \leq 725 \text{ lm}$ , vaiheessa 2	$P_{\max} = 1,1 * (0,88\sqrt{\Phi} + 0,049\Phi)$
Kirkkaat lamput, $60 \text{ lm} \leq \Phi \leq 450 \text{ lm}$ , vaiheessa 3	$P_{\max} = 1,1 * (0,88\sqrt{\Phi} + 0,049\Phi)$
Kirkkaat lamput, kanta G9 tai R7s, vaiheessa 6	$P_{\max} = 0,8 * (0,88\sqrt{\Phi} + 0,049\Phi)$

**KUVA 2. Korjauskertoimet (EY/244/2009 liite 2 taulukko 2)**

Näistä korjauskertoimien avulla laskettuna suurin tehoarvo on:

$$P_{\max} = 1,1 *(0,88*\sqrt{400 \text{ lm}} + 0,049*400 \text{ lm}) = 40,92 \text{ W}.$$

Tästä huomaamme kyseisen lampun täyttävän vaiheen kolme vaatimuksen eli se poistuu vuonna 2012 vaiheessa 4, kun korjauskertoimet eivät ole enää voimassa.

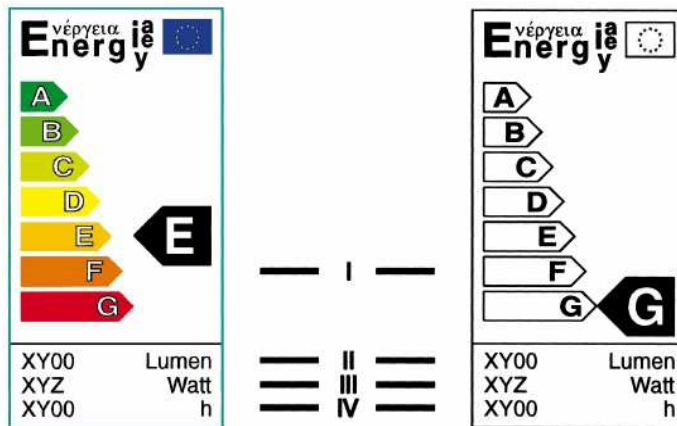
### 3.3 Energialuokka

Euroopan komissio on antanut direktiivin 98/11/EY neuvoston direktiivin 92/75/EY täytäntöönpanemiseksi kotitalouslamppujen energiakulutuserkinnän osalta 27.tammikuuta 1998. Direktiivi koskee kotitalouksissa yleisesti käytettyjä lamppeja, kuten hehku-, pienloiste- ja loistelamppuja. Se ei koske lamppeja, joiden valovirta on yli 6500 lm tai teho alle 4 W eikä heijastinkupulamput.

Direktiivissä määrätään hyvin tarkasti millainen energiamerkinnän pitää olla ulkoasultaan (kuva 3) ja mitä tietoja merkinnän pitää sisältää. Merkintä on yhteneväinen ko-



dinkoneille tehdyn merkinnän kanssa. Tällöin kuluttajien on helppo tunnistaa se ja ymmärtää siinä olevat asiat tuotteita vertailtaessa.



**KUVA 3: Energiamerkinnän ulkoasu (98/11/EY, liite 1)**

Energialuokat on jaettu seitsemään luokkaan, joista A on paras ja G huonoin. Energiankulutuksessa A tarkoittaa vähän kuluttavaa ja G paljon kuluttavaa. Tekniikoiden kehittyessä tuote voi olla paljon parempi kuin mitä A-luokka vaatisi ja tällöin sille voidaan antaa merkintä A+. Energiamerkintä tulee merkitä kohtaan I (kuva 3) samaa kirjainta olevan nuolen kohdalle. Kohtiin II ja III tulee valovirran arvo luumeneina ja lampun teho watteina. Lampun polttoikä merkintä voidaan jättää pois jos lampussa ei ole muita tietoja sen polttoikästä. Kohtien II-III tietojen ei myöskään tarvitse sijaita merkinnän yhteydessä, jos ne ovat muualla pakkauksessa selvästi näkyvissä.

Direktiivin 98/11/EY liitteessä IV on määritelmät ja ohjeet lampun energiatehokkuusluokan määrittämiseen. Energiatehokkuusluokitus lasketaan valovirran ja lampun tehon avulla. Lamput luokitellaan energialuokkaan A:han seuraavien määritysten perusteella.

- *Loistelamput ilman sisäistä virranrajoitinta:  $W \leq 0,15 * \sqrt{\Phi} + 0,0097 * \Phi$*
- *Muut lamput:  $W \leq 0,24 * \sqrt{\Phi} + 0,0103 * \Phi$*

Jos lamppu ei kuulu energialuokkaan A, vertailuteho  $W_r$  lasketaan seuraavasti:

$$W_r = 0,88 * \sqrt{\Phi} + 0,049 * \Phi, \quad \text{kun } \Phi > 34 \text{ luumenia}$$

$$W_r = 0,2 * \Phi \quad \text{kun } \Phi < 34 \text{ luumenia}$$

$\Phi$  ilmaisee lampun valovirran luumeneina [lm]

Edellisestä kaavasta voidaan lasketun vertailutehon avulla, voidaan laskea lampun energiatehokkuusindeksi seuraavalla kaavalla:

$$E_r = W / W_r$$

$E_r$  on lampun energiatehokkuusindeksi

$W$  ilmaisee lampun tehon watteina

$W_r$  ilmaisee lampun vertailutehon

Näiden ohjeiden avulla voidaan määrittellä esimerkkinä olleen hehkulampun (40W / 400 lm) energialuokka. Lasketaan ensin sen vertailuteho  $W_r$  kaavasta  $W_r = 0,88 * \sqrt{\Phi} + 0,049 * \Phi$ , koska sen luumen arvo on yli 34 luumenia.

$$W_r = 0,88 * \sqrt{\Phi} + 0,049 * \Phi = 0,88 * \sqrt{400 \text{ lm}} + 0,049 * 400 \text{ lm} = 37,2$$

Tämän jälkeen lasketaan energiatehokkuusindeksi  $E_r$  kaavan  $E_r = W / W_r$  mukaisesti.

$$E_r = W / W_r = 40 \text{ W} / 37,2 \text{ W} = 1,08$$

Energiatehokkuusluokat määritellään direktiivin liitteessä IV olevan taulukon (kuva 4) mukaisesti.

Energiatehokkuusluokka	Energiatehokkuusindeksi $E_I$
B	$E_I < 60 \%$
C	$60 \% \leq E_I < 80 \%$
D	$80 \% \leq E_I < 95 \%$
E	$95 \% \leq E_I < 110 \%$
F	$110 \% \leq E_I < 130 \%$
G	$E_I \geq 130 \%$

**KUVA 4. Energiatehokkuusluokan määrittystaulukko muille kuin A luokan lamppuille (98/11/EY liite IV)**

Kuvasta 4 näemme, että lamppu kuuluu E energiatehokkuusluokkaan, koska sen indeksi  $E_r$  on 108 %, joka on pienempi kuin 110 %, mikä on E-luokan yläraja. Taulukosta 5 näemme kyseisen lampun poistuvan markkinoilta 1.9.2012 eli vaiheessa 4, jolloin yli 60 lm lamppujen tulee kuulua energiatehokkuusluokkaan C.

**TAULUKKO 5: Asetuksen 244/2009 vaatimukset ja vaikutus hehku- ja halogeenilamppujen saatavuuteen.**

		Kuvun malli	valoteho	energia- luokka	Vaikutus
<b>Vaihe 1</b>	1.9.2009	Himmeä	kaikki	A	Kaikki himmeät hehku- ja halogeenilamput poistuvat.
		Kirkas	> 950 lm	C	100 W ja suuremmat hehku- lamput ja 75 W-750 W ha- logeenilamput poistuvat
			< 950 lm	F	
<b>Vaihe 2</b>	1.9.2010	Kirkas	> 725 lm	C	75 W hehkulamput ja 60 W halogeenilamput poistuvat
<b>Vaihe 3</b>	1.9.2011	Kirkas	> 450 lm	C	60 W hehkulamput ja 40 W halogeenilamput poistuvat
<b>Vaihe 4</b>	1.9.2012	Kirkas	>60 lm	C	Kaikki hehkulamput poistu- vat (15W, 5W, 40W) sekä 25 W halogeenilamput
<b>Vaihe 5</b>	1.9.2013				Ei poistu lamppuja, mutta niiden toimintavaatimukset tiukenevat
<b>Vaihe 6</b>	1.9.2016	Kirkas	< 725 lm	A	20 W ja suuremmat suoja- jännitteiset (alle 60 V) pois- tuvat. Alle 22W G9 tai R7s- kantaiset halogeenilamput saavat jäädä markkinoille.

- Wattitehot ovat viitteellisiä, luumen arvot määrääviä.
- Energialuokan vaatimukset asetuksen 98/11/EY mukaiset.
- Alle 60V hehkulamppuja, joissa E14/E27/B22/B15 kanta ei koske vaiheet 1-5.
- Yli 750 W kirkaat halogeenilamput jäävät markkinoille.
- Suunnatuille (yli 80 % valoa 120° kulmassa) on valmisteilla EU:ssa oma päätös.

### 3.4 Vaikutukset

Hehkulamppujen korvaaminen muilla tuotteilla ei ole aivan ongelmaton vaikkakin hehkulampan tehokkuus on huonoin. Hehkulampan on kuitenkin paljon hyviä ominaisuuksia kuluttajien kannalta ja korvaavaa ratkaisua tehtäessä on tehtävä kompromissi aina jonkin ominaisuuden kannalta. Hehkulampan parhaita puolia ovat edullinen

hankintahinta, himmennettävyys, nopea syttyminen, useimpien valaisimien suunnittelu hehkulampun käyttöä varten sekä kuluttajien tottuminen sen tehomerkkintöihin. Huonoina puolina voidaan pitää hehkulampun energian kulutusta, kestävyyttä, tehokkuutta sekä myös värintoistokykyä. Hehkulampun värintoistoindeksi  $R_a$  on 100, eli paras mahdollinen, mutta hehkulamppu ei kuitenkaan toista värejä samalla lailla kuin vertailuna käytettävä päivänvalo. Hehkulamppu vääristää värejä keltaisella valollaan päivänvaloon verrattuna.

Hehkulamppua korvattaessa uusilla tuotteilla täytyy miettiä korvauksen taloudellisuutta. Tässä on otettava huomioon uuden lampun hankintahinta, käytönaikainen energian kulutus sekä lampun sopiminen olemassa olevaan valaisimeen. Jos valaisin on himmennettävä, täytyy ottaa selvää sopiiko vanha himmennin uudelle lampulle. Myös lampun tehoarvoja ei voi enää verrata keskenään, vaan on opittava vertailemaan lamppujen valovirran luumen arvoja. Myös uuden lampun polttoajan ja vikaantumisas-teen merkitys nousee uusia lamppuja verrattaessa. Uusien lamppujen värilämpötilat voivat myös poiketa hehkulampun totutusta 2700 Kelvinistä. Lamppujen syttymisaika on myös yksi määräävä tekijä uutta lamppua valittaessa.

Hehkulampun kuluttamasta energiasta noin 10 % saadaan valona ja noin 90 % menee hukkaan lämpönä (SSTL 2 1998,31). Tällä lämmönhukalla voidaan tietenkin lämmit- tää tiloja, mutta on laskettu, että tästä hehkulampun tuottamasta noin 90 % lämpöhä- viöstä saadaan hyötykäyttöön suunnilleen 70 % (Motiva 2008). Hehkulampusta saata- va hyötylämpö riippuu lamppujen sijainnista tilassa ja myös ilmanvaihdosta. Lamppu- jen ollessa korkealla, voidaan olettaa suurimman osan niistä saatavan lämmön poistu- van poistoilman mukana. Tätä ei saada hyötykäyttöön, ellei tilassa ole lämmöntal- teenottoa, jolloin niistä saatava lämmityshyöty voi kasvaa lämmitysvaiheessa.

Lämmittäminen hehkulamppujen avulla ei kuitenkaan ole taloudellisin lämmitysmuo- to, vaan hehkulamppujen poistumisen myötä tarvittava lisäenergia lämmitykseen on taloudellisempaa korvata lämmitykseen tarkoitetuilla tuotteilla. Sen sijaan hehku- lamppujen korvaaminen vähemmän lämpöä tuottavilla lampuilla pienentää läm- pöisenkauden tilan jäädytykseen tarvittavan energian määrää.

Vanhoihin valaisimiin saatetaan joutua tekemään muutoksia korvattaessa hehkulamp- puja muilla tuotteilla. Suurimman ongelman aiheuttavat himmennettävät valaisinjär-

jestelmät. Halogeenilamppuja pystytään himmentämään perinteisillä himmentimillä ja niillä voidaan korvata himmennettäviä hehkulamppuja suoraan. Energiansäästölamppuja on myös himmennettäviä, jotka sopivat tavallisiin hehkulampuille tehtyihin himmentimiin. Tällöin himmennettävien lamppujen määrä tulee olla pieni, esimerkiksi Osramin himmennettäviä energiansäästölamppuja voidaan kytkeä tavallisen himmentimen perään enintään viisi kappaletta (Osram,2011). Suurissa ryhmissä energiansäästölamput eivät sovi tavallisiin himmentimiin. Pienloistelampuille on himmentimiä, mutta pienloistelamppuja ei ole hehkulampunmuotoisina. Tällöin jouduttaisiin vaihtamaan koko valaisin sellaiseksi, joka on tehty pienloistelampuille.

Halogeenien valotehokkuus ei kuitenkaan ole yhtä hyvä kuin pienloistelamppujen tai energiansäästölamppujen. Tämän takia joudutaan miettimään, mikä vaihtoehto tulee edullisemmaksi kokonaiskustannuksiltaan. Jos mahdollisuutena on myös valaisimien vaihtaminen, voidaan suoraan siirtyä pienloistelamppuihin. Vanhoissa valaisimissa, joissa on perinteinen E27 tai E14 kanta, vaihtoehdoksi jää halogeeni tai pienissä ryhmissä energiansäästölamppu. Halogeenien ongelma on myös niiden korkea pintalämpötila. Myös led-lamppuja voidaan himmentää ja ne ovatkin varmaan tulevaisuuden ratkaisu himmennettäville lamppuille, kunhan niiden tekniikka kehittyy.

### **3.5 Tavoitteet**

Direktiivien tarkoituksena on vähentää EU:n alueen valaistukseen tarvittavan energian määrää. Ekologiseen suunnitteluun tähtäävät muutokset on tehty lamppujen koko elinkaaren ajalle. Energiansäästö- ja pienloistelampun valmistukseen käytettävä energiamäärä on suurempi kuin hehkulamppujen. Käytönaikaisen energian tarpeeseen tuotetun sähkön ympäristövaikutukset ovat niin paljon pienemmät, että tulee ympäristölle edullisemmaksi vaikka valmistukseen kuluu hieman enemmän energiaa. Hehkulampun valmistus kuluttaa noin 0,8 kWh ja energiansäästölamppu noin 4 kWh (SSTL, verkkosivut).

### **3.6 Ympäristönäkökulma**

Hehkulamppujen poistuminen markkinoilta vähentää valaistukseen kuluvan sähköenergian määrää ja siten lisää valaistuksen ympäristöystävällisyyttä. Pienloistelamppujen valmistus kuluttaa paljon enemmän energiaa kuin hehkulamppujen. Pienloiste-

lamput ovat kuitenkin ympäristöystävällisempiä koko elinkaarta ajatellen. Pienloistelamput sisältävät elohopeaa, joka on ongelmajätettä. Sitä on kuitenkin pienloistelampuissa niin vähän, että lampun elinkaaren aikaiset elohopeapäästöt ovat pienemmät kuin hehkulamput. Pienloistelamppujen kierrättämisestä täytyy kuitenkin huolehtia, jotta niiden ympäristövaikutukset pysyvät lasketulla tasolla.

Hehkulamppujen käytönaikaisen sähköntuotannon päästöt riippuvat siitä, millä energialähteellä niiden kuluttama sähkö tuotetaan. Eniten päästöjä tuottavat fossiiliset energianlähteet kuten kivihiili ja öljy sekä turve. Ydinvoima ei tuota päästöjä, mutta aiheuttaa kysymyksen ydinjätteen varastoinnin turvallisuudesta ja ympäristöystävällisyydestä.

Hiilidioksidi päästöjen väheneminen siirryttäessä hehkulampuista energiasäästölampuihin riippuu millä lämmitysmuodolla hehkulamput lämmitetään. Suurimmat hiilidioksidipäästövähenykset lamputyyppien vaihdoksen seurauksena saadaan, kun käytetään vähäpäästöisiä lämmityspolttoaineita. Öljylämmityksellä sähkönkulutuksen muutosta kompensoidessa saattavat CO<sub>2</sub>-päästöt jopa hieman kasvaa. Myös sähköntuotanto tavan päästöillä on merkitystä päästöjen vähenemiseen. Suurimmat säästöt saadaan aikaan, jos sähkö tuotetaan runsaasti päästöjä tuottavilla tavoilla, kuten hiilivoimaloissa ja hehkulamputuotama lämpö tuotetaan biolämmityksellä, kuten pelleteillä tai pilkeillä. (Tapanainen, 2010)

#### **4 VALAISTUSTEKNIikka**

Valaistustekniikan ja niihin liittyvien ominaisuuksien ja suureiden vertaileminen muuttuu uusien tekniikoiden kehittyessä. Ennen lamppuja valittaessa riitti kun tiesi lampun kannan tyyppin ja sen jälkeen lamppuja voitiin vertailla niiden tehoarvojen (W) perusteella. Nykyään määräävä arvo, joilla lamppuja vertaillaan, on valovirran (luumen) määrä. Tässä onkin hyvä kerrata muutamia valaistukseen liittyviä suureita, jotta eri lamppujen ja niiden ominaisuuksien vertaaminen olisi helpompaa.

## 4.1 Valovoima

Valovoima (I) on perussuure, joista muut valosuureet on johdettu. Valovoiman yksikkö on kandela [cd]. Valovoima kuvaa valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuutta eli intensiteettiä. Valovoiman nykyinen määritelmä kuuluu sanatar-kasti seuraavasti. (Halonen & Lehtovaara 1992, 35)

*Valonlähteen valovoima tiettyyn suuntaan on yksi kandela (1 cd) silloin, kun valon-lähde säteilee monokromaattista,  $540 \cdot 10^{12}$  Hz:n taajuisista säteilyä ja sen säteilyteho tähän suuntaan on  $1/683$  W/sr*

Kandela sana tulee englanninkielen (candle) eli kynttilää tarkoittavasta sanasta ja 1800-luvulla sen määrittämisessä käytettiin apuna tarkoin määritellyn kynttilän tuottamaa valovoimaa.

Valovoima on silmän spektriherkkyydellä painotetun säteilyn voimakkuutta avaruus-kulmaa  $\Omega$  kohti. Kun säteilijän lähettämän säteilyn valon aallonpituus on lähellä ih-misen silmän herkimmin havaitsemaa aallonpituutta 550 nm, niin sen valovoima on suurempi kuin samantehoisen säteilijän valovoima, jonka säteilyn aallonpituus on nä-kyvän valon reuna-alueilla eli 400 nm tai 750 nm kohdalla. Valovoiman laskukaava on:

$$I = \Phi / \Omega$$

$$I = \text{valovoima (cd)}$$

$$\Phi = \text{pinnalle tuleva valovirta (lm)}$$

$$\Omega = \text{avaruuskulma (sr), steradiaani}$$

Avaruuskulma  $\Omega$  määritellään kyseisen kulman pallosta leikkaaman pinnan pinta-alan A ja pallon säteen r neliön suhteena.

$$\Omega = A / r^2$$

$$A = \text{pallon pinta-ala}$$

$$r = \text{pallon säde}$$

Valaisimien valovoimaa eri suuntiin esitetään valonjakokäyriä. Niistä voidaan lukea mihin suuntaan valaisin parhaiten valoa jakaa.

## 4.2 Valovirta

Valovirta on valonlähteen valotehoa kuvaava suure, jossa on otettu huomioon silmän spektriherkkyys. Valovirran  $\Phi$  yksikkö on lumen (lm). Valovirta on säteilytehoa ja sen yksikkö vastaa tehon yksikköä wattia (W). Valovirta on siis silmän spektriherkkyydellä painotetun valonlähteen näkyvän alueen säteilyteho (Halonen & Lehtovaara 1992, 35). Valovirralla voidaan verrata eri lamppujen antaman näkyvän valon kokonaismäärää.

Valovirta saadaan kaavasta:

$$\Phi = I * \Omega$$

$$\Phi = \text{valovirta (lm)}$$

$$I = \text{valovoima (cd)}$$

$$\Omega = \text{avaruuskulma (sr)}$$

Valovirta voidaan myös laskea eri säteilyn aallonpituuksille silmän spektriherkkyiden mukaan, taulukoiden arvojen perusteella. EU:n asetuksessa 244/2009/EY valovirta määritellään seuraavasti:

*valovirta ( $\Phi$ ) tarkoittaa suuretta, joka johdetaan säteilytehosta arvioimalla säteilyä ihmisen silmän spektrisen herkkyiden perusteella ja joka mitataan 100 käyttötunnin jälkeen.*

Lampuissa ilmoitettu valovirta on siis valovirta, jonka lamppu tuottaa 100 tunnin käytön jälkeen. Valovirran alenemalle on myös määräykset, jotka lamppujen tulee täyttää. Valovirta on tällä hetkellä se suure, jolla eri lamppuja tulisi vertailla keskenään koska lamppujen valotehokkuus vaihtelee.

## 4.3 Valotehokkuus

Valotehokkuus kertoo kuinka tehokkaasti sähköteho muuttuu valoksi. Erityyppiset lamput tuottavat saman valovirran erilaisella sähköteholla ja tätä arvoa kutsutaan valotehokkuudeksi. Valotehokkuuden arvon yksikkö on lumenia wattia kohden [lm / W].



Tämä arvo saadaan jakamalla lampun valovirta ( $\Phi$ ), sen kuluttamalla sähköteholla ( $P$ ). Hehkulampun valotehokkuus on noin 8-20 lm/W ja pienloistelampuilla se on 55–65 lm/W (SSTL & SVL 1999,14).

Lamppujen valotehokkuutta yritetään parantaa jatkuvasti uusien tekniikoiden avulla ja etenkin led-lampuilla se on parantunut merkittävästi viime vuosina.

#### 4.4 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus kertoo kuinka hyvin kyseinen pinta on valaistu. Kun valovirta kulkee pois valonlähteestä ja osuu johonkin pintaan, niin pinnalle saapuvan valovirran tiheyttä kutsutaan valaistusvoimakkuudeksi (Halonen & Lehtovaara, 1992,36). Valaistusvoimakkuus  $E$  on pinnalle osuva valovirta pinta-ala yksikköä kohden. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luks (lx), joka on sama kuin  $\text{lm}/\text{m}^2$ . Valaistusvoimakkuutta voidaan helposti mitata luksimittareilla. Valaistusvoimakkuus voidaan laskea kaavasta:

$$E = \Phi / A$$

$$E = \text{valaistusvoimakkuus (lx)}$$

$$\Phi = \text{pinnalle osuva valovirta (lm)}$$

$$A = \text{pinta-ala (m}^2\text{)}$$

Valaistusvoimakkuus voidaan myös laskea valonjakokäyrien tietojen perusteella jakamalla lampun valovoima tarkasteltavan kohteen etäisyyden neliöllä. Valaistusvoimakkuus on siis kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön.

$$E = (I / r^2)$$

$$E = \text{valaistusvoimakkuus (lx)}$$

$$I = \text{valovoima (cd)}$$

$$r = \text{mitattavan pisteen ja valonlähteen etisyys (m)}$$

Erilaisille tiloille on annettu suositukset niiden valaistusvoimakkuudelle. Ihmisen iällä on vaikutusta kuinka hyvin näemme samassa valaistusvoimakkuudessa. Valaistusvoi-

makkuuden ollessa riittävä nuorelle ihmiselle saattaa vanhemmalla olla vaikeuksia nähdä riittävän hyvin. Tämä asia tulisi ottaa huomioon tilojen valaistuksia suunniteltaessa. Työsuojelumääräyksissä on myös eri tiloille suosituksia minimivalaistusvoimakkuuksille.

**Taulukko 6. Suositeltavia valaistusvoimakkuuksia ja värilämpötiloja ja värin- toistoluokkia eri tiloissa (Peltonen ym. 2007, 257), ( Suomen valoteknillinen seura, 9-1986).**

Valaistava kohde		Suositeltava valaistusvoimakkuus (lx)			
Ulkotilat (pihat yms.)		30			
Porraskäytävät, eteisaulat		80			
Keittiön yleisvalaistus		150			
Luokkahuoneet (nuoret opiskelijat)		300			
Luokkahuoneet (aikuiset opiskelijat)		500			
Normaali toimistotyö		500			
Erittäin suurta tarkkuutta vaativa työ		2000 - 5000			
TILA	Värilämpötila	värin- toistoluokka	Valaistusvoimakkuus lukseina, yleisvalaistus arvot suluissa		
Kirkko			Pieni	Normaali	Suuri
Saarnatuoli, alttari, urut ja kuoroalue	Lämmin, neutraali	1B, 2	300(100)	500 (150)	750 (200)
Ehtoollispöytä, kastemalja	Lämmin, neutraali	1B, 2	100 (50)	150 (75)	200 (100)
Penkkialue	Lämmin, neutraali	1B, 2	100 (50)	150 (75)	200 (100)

#### 4.5 Luminanssi

Luminanssi L on valonlähteen pinnalta lähtevän valovirran tiheyttä. Se kuvaa valoa säteilevän tai heijastavan pinnan kirkkautta. Sillä tarkoitetaan pinnan valovoimaa tarkastelusuuntaa vastaan kohtisuoraa pinta-alayksikköä kohden. Luminanssin L yksikkö

on  $\text{cd/m}^2$ . Tätä suuretta käytetään esimerkiksi kuvaamaan kuinka paljon jokin valonlähde, esimerkiksi lamppu, valaisin tai kiiltävä pinta, häikäisee. Luminanssi voidaan laskea kaavasta:

$$L = I / A$$

$$L = \text{luminanssi (cd/m}^2\text{)}$$

$$I = \text{valovoima (cd)}$$

$$A = \text{pinta-ala (m}^2\text{)}$$

Luminanssimittauksien avulla pyritään estämään kaikenlainen valonlähteen ja valon häikäiseminen. Suoraa kiusahäikäisyä ei saisi esiintyä ollenkaan ja epäsuoraa häikäisyä tulee myös välttää parhaan mukaan. Valonlähteistä kirkaskupuisen hehkulampun luminanssi on paljon suurempi kuin pienloiste- tai led-lamppujen luminanssit. Tämä johtuu niiden opalisoidusta kuvusta. Pienloiste lamputa suurimmat luminanssit ovat pienikokoisimmilla lamputa.

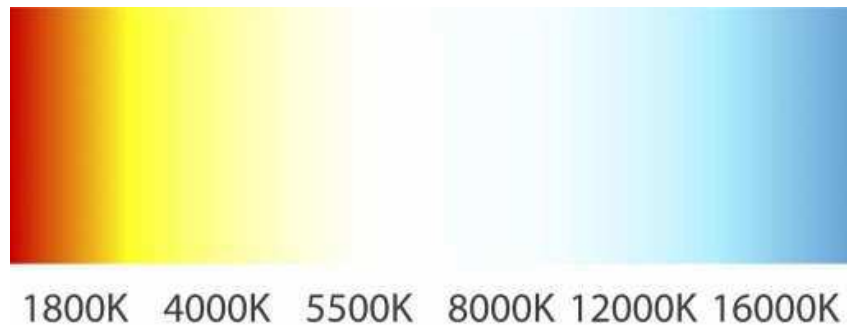
Luminanssia mitattaessa on myös otettava huomioon eri pintojen heijastavuus. Valo ei saa aiheuttaa heijastusten kautta liian suuria luminansseja, jotka koetaan häikäisynä. Luminansi, joka ylittää  $10^8 \text{ cd/m}^2$ , voi vaurioittaa silmää. Taulukosta 7 huomaamme, että 100 W kirkaskupuisen hehkulampun luminanssi on huomattavasti suurempi kuin vastaavan himmeäkupuisen hehkulampun.

**TAULUKKO 7. Erilaisten säteilevien pintojen tyypillisiä luminansseja (Peltonen ym.2007, 262)**

PINTA	TYYPILLINEN LUMINANSSI ( $\text{cd/m}^2$ )
Aurinko	$10^{10}$
Pilvetön päivä keskipäivällä	$4 \cdot 10^3$
Täysikuu	$3 \cdot 10^3$
100 W hehkulamppu ja kirkas kupu	$7 \cdot 10^6$
100 W hehkulamppu ja himmennetty kupu	$2 \cdot 10^6$
100 W hehkulamppu ja opaloitu kupu	50

#### 4.6 Värilämpötila ja värintoistoindeksi

Värilämpötila on suure jolla ilmoitetaan valonlähteen valon väri. Värilämpötila ilmoitetaan Kelvineinä. Alhainen värilämpötila merkitsee punertavaa valonväriä ja korkea sinertävää valonväriä (kuva 5). Päivänvalon värilämpötila on 5500 K ja hehkulampun tuottaman valon värilämpötila on 2700 – 2800 K, eli sen valo on keltaisempaa. Värilämpötilan suurentuessa yli päivänvalon 5500 K valo muuttuu sinisemmäksi.



**KUVA 5. Värilämpötilat**

Värintoistoindeksi ilmoittaa kuinka hyvin valo toistaa värit päivänvaloon verrattuna. Ympärisäteileville kotitalouslampuille tehty asetus EY/244/2009 vaatii lampuilta yli 80 olevaa värintoistoindeksiä  $R_a$ . Hehkulampun ja halogeenien värintoistoindeksi  $R_a$  on 100 eli paras mahdollinen. Tämä johtuu niiden samankaltaisuudesta vertailulähteenä käytettävään Planckin mustaan kappaleeseen.

Värintoistoindeksille on myös vaatimuksia erilaisiin työkohteisiin ja tiloihin. Parasta värintoistoa vaaditaan kohteissa, joissa värien vertailu on tärkeää ja työ vaatii tarkkuutta. Yleisien tilojen valaistuksessa tulisikin pyrkiä vähintään hyvään värintoistoon eli  $R_a$  arvon tulisi olla lähempänä 90:tä kuin 80:tä.

#### 4.7 Muut valaistusominaisuudet

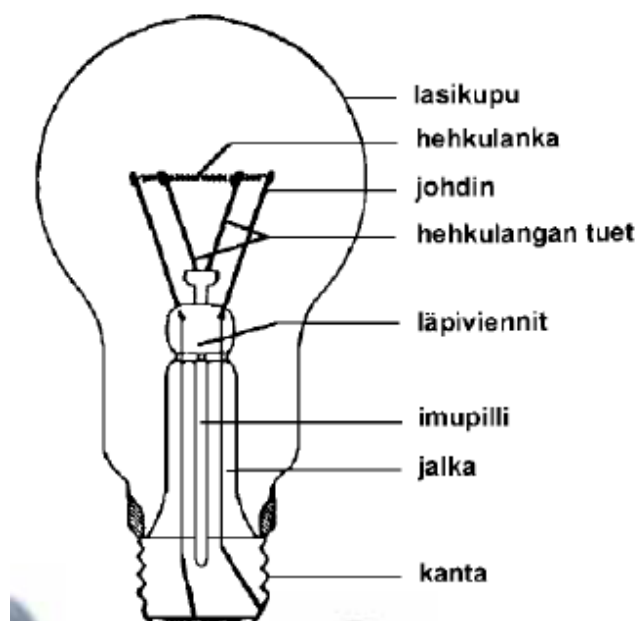
Muita arvoja hyvää valaistusta suunniteltaessa ovat valon tasainen jakautuminen ja sen suuntaaminen tarvittavaan kohteeseen. Liian suuria valaistusvoimakkuuksien eroja tilan sisällä tulee välttää. Valaistuksen tulee myös tuoda esiin kontrasti eroja tilan sisällä ja tuoda esiin tilan muotoja ja arkkitehtuuria. Valonlähteen sijoittelussa tulee ottaa huomioon myös haitallisten varjojen muodostuminen.

## 5 LAMPPUJEN TOIMINTATEKNIikka

Valitessa hehkulampulle korvaavia ratkaisuja on tarkasteltava eri lampputyypin teknisiä ominaisuuksia sekä niiden vaikutuksia sähköverkkoon ja kyseiseen tilaan ulkonäöllisesti ja valaistusominaisuuksiltaan. Hehkulamppua ja muita lampputyyppejä ei voi aina verrata suoraan toisiinsa, koska niiden toimintaperiaatteet ovat hyvin erilaisia.

### 5.1 Hehkulamppu

Hehkulampun rakenne on hyvin yksinkertainen. Se koostuu kannasta, jalasta, johdikkeista, hehkulangasta ja kupusta (kuva 6). Kantana on yleisimmin E27 tai E14 kierrekanta. Jalassa on kiinni johdikkeet joissa on kiinni hehkulanka. Hehkulangan pituus riippuu ensisijaisesti käyttöjännitteestä ja sen halkaisija määräytyy langan läpi kulkevasta virrasta (Halonen & Lehtovaara 1992,184). Hehkulanka on yleisimmin valmistettu volframista ja se on kierretty spiraaliksi, jotta sen pituus olisi mahdollisimman lyhyt ja siten lämpöhäviöt pienet. Kupu on yleisimmin sooda-alkalilasia ja se on päärynän muotoinen. Kupu on täytetty kaasuseoksella, joka koostuu tyypestä 10 % ja argonista tai kryptonista 90 %, mutta pieni tehoisissa (alle 15 W) hehkulampuissa voidaan käyttää myös tyhjiötä (Halonen & Lehtovaara, 1992,187).



KUVA 6. Hehkulampun rakenne (Halonen & Lehtovaara, 1992)

Hehkulampun polttoikään vaikuttavat etenkin hehkulangan ominaisuudet sekä käyttöjännitteen ja lampun nimellisjännitteen eroavaisuudet. Volframin höyrystyminen hehkulangasta ja siitä johtuva langan oheneminen sekä erityisesti langan kiteytymisen aiheuttama haurastuminen asettavat rajan lampun käyttöajalle (SSTL,1999,2). Hehkulampun hehkulanka kuumennetaan sähkövirralla noin 2700 K lämpötilaan, jolloin se alkaa säteillä valoa. Mitä korkeampi lämpötila hehkulangalla on, niin sitä enemmän se säteilee valoa. Tällöin myös volframi alkaa höyrystyä ja tätä kompensoimaan kupu täytetään kaasuseoksella, jonka tehtävä on palauttaa hehkulangasta irronneet metalliatomit takaisin hehkulankaan. Tyhjiössä lämpötilaa ei voida nostaa niin korkeaksi kuin kaasutäytteisillä lampuilla.

Hehkulampun polttoikään vaikuttaa suuresti myös sen käyttöjännite. Lampun polttoikä pienenee normaalista, jos lampun käyttöjännite on sen nimellisjännitettä suurempi. Tämä johtuu hehkulangan paksuuden epätasaisuuksista, joita ei voi valmistuksessa kokonaan välttää. Hehkulanka kuumenee ja härmistyy ohuimmista kohdistaan eniten ja sulaa niistä ennen pitkään poikki.

Käyttöjännitteen vaikutusta hehkulampun ominaisuuksiin on esitetty taulukossa 8 prosentuaalisesti ja taulukossa 9 nimellisjännitteellä imaistuna. Niistä huomaamme, että käyttöjännitteen ollessa vain 5 % nimellisjännitettä suurempi, pienenee polttoikä puoleen, kun taas 5 % alijännite kasvattaa polttoiän kaksinkertaiseksi.

**TAULUKKO 8: Käyttöjännitteen vaikutus polttoikään, valovirtaan ja valotehokkuuteen (Halonen & Lehtovaara 1992,190)**

% nimellisarvosta			
Jännite	Valovirta	Teho	ikä
90	70	85	398
95	84	82	196
98	93	87	130
<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
102	107	103	77
105	118	108	53
110	138	116	29

Tämän takia lamput tulisi valita käyttöpaikan käyttöjännitteen mukaisesti. Tähän voi vaikuttaa kiinteistön sijainti muuntopiirissä. Lamppua ostaessa olisikin hyvä katsoa, että se on tarkoitettu mielellään 240 V jännitteelle tai ainakin 230 V jännitteelle, jotta se kestäisi ilmoitetun ajan.

**TAULUKKO 9. Käyttöjännitteen ja nimellisjännitteen vaikutus polttoikään, valovirtaan ja valotehokkuuteen (SSTL,1999,21)**

Käyttöjännite $U$	Lampun nimellisjännite $U_0$	Suhteellinen polttoikä	Suhteellinen valovirta	Suhteellinen valotehokkuus	Valomäärä yksikön (lmh) suhteellinen hinta
<b>230 V</b>	230	1	1	1	1
	235	1,35	0,93	0,96	1,04
	240	1,81	0,86	0,92	1,09
<b>240</b>	230	0,55	1,16	1,09	0,92
	235	0,74	1,08	1,04	0,96
	240	1	1	1	1

Lamppujen kestoikä kasvaa myös niiden ollessa himmennyskäytössä. Tämä ei kuitenkaan ole aina taloudellisin valinta, sillä siinä missä polttoikä kasvaa, pienenevät niin valovirta kuin valaistustehokkuuskin. Onkin katsottava mikä on taloudellisinta kokonaisuudessaan. Alhainen käyttöjännite kasvattaa polttoikää, mutta vähentää valaistustehokkuutta, jolloin voidaan joutua lisäämään lamppujen määrää.

Hehkulampun valotehokkuus ei ole enää riittävä täyttämään EU:n uusimpia vaatimuksia. Hehkulampun valotehokkuus on noin 10 – 12 lm/W. Hehkulampun käyttämästä energiasta suurin osa muuttuuikin lämmöksi. Näkyvän säteilyn osuus on noin 10 % lampun tehosta ja loppu 90 % on lämpöä.

Hehkulampun värintoistoindeksi  $R_a$  on 100, vaikka värintoisto poikkeaa huomattavasti normaalin päivänvalon ”oikeana” pidettävästä värintoistosta. Hehkulampun valo on enimmäkseen keltaisen aallonpituuden alueella.

Hehkulamppu on himmennettävissä helposti ja se voidaan himmentää 0 – 100 % alueella. Himmentäminen lisää hehkulampun elinikää. Valon väri muuttuu kohti punaista

hehkulamppua himmennettäessä ja hehkulampun valotehokkuus pienenee voimakkaasti. Hehkulamput muodostavat resistiivisen kuorman ja niille on yleisesti käytetty tyristori- tai triak-himmentimiä.

## 5.2 Halogeenilamppu

Halogeenilampun toiminta perustuu hehkulampun toimintaan. Halogeenilamppu onkin hehkulampun muunnos, koska sen valontuotto perustuu hehkulangan kuumentamiseen sähkövirralla. Halogeeneissa hehkulanka voidaan kuumentaa hehkulamppua kuumemmaksi, koska täytöskaasuun on lisätty halogeenia. Halogeeni saa aikaan kiertoprosessin, jossa hehkulangasta höyrystynyt volframi voidaan tietyissä olosuhteissa palauttaa hehkulankaan halogeenin avulla.

Hehkulangan korkeassa lämpötilassa volframi höyrystyy hehkulangasta. Kun höyrystynyt volframi kulkee lähelle kuvun pintaa, jossa lämpötila on noin 350 °C, halogeeniatomeina käytetty jodi tai bromi yhtyy volframiatomeiden kanssa muodostaen volframihalodeita. Volframihalodit kulkeutuvat täytöskaasuvirtauksen mukana kuumen kierukan ohi. Kierukan luona vallitsevassa 1400 °C lämpötilassa yhdisteet hajoavat jolloin volframiatomit palautuvat hehkulankaan ja halogeeni atomit lähelle kuvun reunaa ja prosessi toistuu.

Volframiatomit eivät pala samalle kohdalle lankaa, mistä lähtivät, joten kierukka kiteytyy ajan myötä ja katkeaa. Tällöin lampun toiminta loppuu. Prosessissa ei kuvun lämpötila saa nousta 1400 °C:een, koska silloin volframi- ja halogeeniatomit eivät yhdy volframihalodeiksi. Kuvun lämpötila ei myöskään saa alittaa 250 °C, koska tällöin yhdisteet eivät pysy kaasumaisina, vaan kiteytyvät pinnalle. Tätä voi tapahtua erityisesti halogeeneja himmennettäessä, mutta kuvun tummuminen saadaan pois polttamalla halogeeneja taas täydellä teholla, jolloin lämpötila nousee kuvun luona yli 250 °C:een.(SSTL,1999,27.)

Halogeenien rakenne muistuttaa hehkulampun rakennetta monin osin. Niissä on yksöis- tai kaksoiskierukka, joka on tehty aika jäykäksi ja se on hyvin tuettu. Kierukka on sijoitettu lähelle kuvun reunaa kuvun riittävän lämpenemisen aikaansaamiseksi. Kuvun täytyy kestää korkeita lämpötiloja, joten ne on tehty kvartsista tai kovalasista. Kovan lämpenemisen vuoksi kuvun on oltava myös mekaanisesti kestävä, sillä paine



sen sisällä voi nousta jopa 25 baariin. Kuvun tilavuus on pieni samankokoisiin hehkulamppuihin verrattuna, jopa vain 1 % hehkulampun kuvun tilavuudesta.

Täytös koostuu jalokaasuista ja halogeeneista. Jalokaasuina useimmiten käytetään argonia ja kryptonin ja halogeenina nykyään bromiyhdisteitä enemmän kuin jodia. Bromiyhdisteet sekoittuvat täytöskaasuun paremmin eri polttoasunnoissa ja sillä saadaan aikaan myös lisää valovirtaa.

Halogeeneista saadaan parempi valotehokkuus kuin hehkulampuista, koska niitä voidaan polttaa korkeammalla lämpötilalla pienemmän koon ansiosta ja kaasuseoksen ominaisuuksien ansiosta. Halogeenien polttoikä ja valotehokkuus riippuu hehkulampun tapaan käyttöjännitteen suhteesta nimellisjännitteeseen, mutta muutos ei ole ihan niin voimakas kuin hehkulampuilla.

### **5.3 Loistelamppu**

Loistelamppuihin kuuluvat perinteiset loisteputket ja pienloistelamput. Niiden toiminta perustuu sähköpurkaukseen. Loistelampuissa on täytekaasuna jalokaasua, yleisimmin argonia, kryptonin sekä elohopeahöyryä. Lampun päissä olevien elektrodien välille aikaansaatu sähköpurkaus virittää elohopeahöyryn atomeja ja näiden palatessa alemmille energia tasoille viritetyt elektronit synnyttävät tasojen energiaeroihin aallonpituudeltaan kääntäen verrannollista ultraviolettisäteilyä ja näkyvää valoa (SSTL,1999,34). Pääosa loistelampun tuottamasta säteilystä on aallonpituisuuksilla 185 nm ja 253,7 nm, joka ei siis ole näkyvänvalon 380–780 nm alueella. Loistelampun kuvun sisäpinnassa oleva loisteainekerros on valittu siten, että se absorboi mahdollisimman hyvin ultraviolettisäteilyn ja muuttaa sen energian näkyväksi valoksi. Loisteainekerroksen koostumusta muuttamalla voidaan vaikuttaa lampun värilämpötilaan.

Loistelamput tarvitsevat kuristimen estämään virran liian suurta kasvua. Perinteisissä malleissa on induktiiviset kuristimet (kela), mutta niiden aiheuttamien tehohäviöiden ja sähköverkkoa kuormittavan loistehon vuoksi on siirrytty elektroniin kuristimiin ja liitännä laitteisiin. Elektronisten liitännälaitteiden avulla voidaan hallita myös paremmin loistelamppujen muita ominaisuuksia.

Loistelamput tarvitsevat myös sytyttimen. Sytyttimen tehtävä on esihehkuttaa katodeja, jotta loiste lamppu syttyisi. Perinteisellä hohtosytyttimellä lämmittämiseen menee 1-2 sekuntia, jonka jälkeen sytytin kytkee täyden jännitteen katodien välille ja lamppu syttyy. Nykyään käytössä olevat elektroniset liitäntälaitteet sisältävät kuristimen lisäksi sytyttimen ja kompensointi- ja häiriönvaimennuskondensaattorin. Ne voivat myös ajaa lamppuun suuritaajuisista (20 – 70 kHz) virtaa tavallisen 50 Hz verkkovirran sijasta. Näin saadaan tehohäviöt lamppuvirtaa rajoittavissa komponenteissa pienemmiksi jolloin lampun valotehokkuus paranee ja valon välkyntä vähenee. Elektroniset liitäntälaitteet sammuttavat lampun, jos se ei syty, eikä lamppu jää turhaan yrittämään sytyttämistä uudelleen.

#### 5.4 Led

LED eli Light Emitting Diode on valoa säteilevä diodi. Se on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun se on päästösuuntaan kytketty. LED toimii tasavirralla ja mikäli navat on kytketty väärinpäin eli estosuuntaan, se ei toimi. LED koostuu positiivisesti (p) ja negatiivisesti (n) varautuneista materiaaleista ja yhdistelmää kutsutaankin pn-liitokseksi.

LED on kuin tavallinen diodi eli siihen syötetyn jännitteen pitää olla suurempi kuin sen kynnsjännite, että se toimii. Tällöin jännite saa aikaan liikettä elektroneissa kato-  
din ja anodin välillä. Tässä elektronien törmäyksessä syntyy valoa ja lämpöä. LED:in tuottama väri riippuu puolijohdemateriaalien ominaisuuksista ja linssin loisteaineista.

Jännitteen syöttö LED:lle tapahtuu vakiotasavirralla. Virtalähteen tulee antaa LED:lle tarkkaan oikeansuuruista virtaa, eikä virta saa sisältää piikkejä. Huonolla virtalähteellä LED voi vahingoittua helposti. Liian suurella virralla LED:n elinikä lyhentyy nopeasti ja liian pienellä sen valontuotto laskee jyrkästi. Virtalähteenä käytetään vakiovirtalähdettä.

Pelkän tavallisen LED:n valovirran tuotto on niin pieni, ettei se sovellu yleisvalaistus ratkaisuihin. Tämän takia onkin kehitetty tehoLEDEJÄ, joiden valovirran tuotto on lähellä pienloistelamppuja. Paras valotehokkuus saadaan kylmillä sävyillä yli 80 lm/W ja lämpöisillä sävyillä 25–50 lm/W (Siltala,2010,17). Laboraatioissa on saavutettu pal-

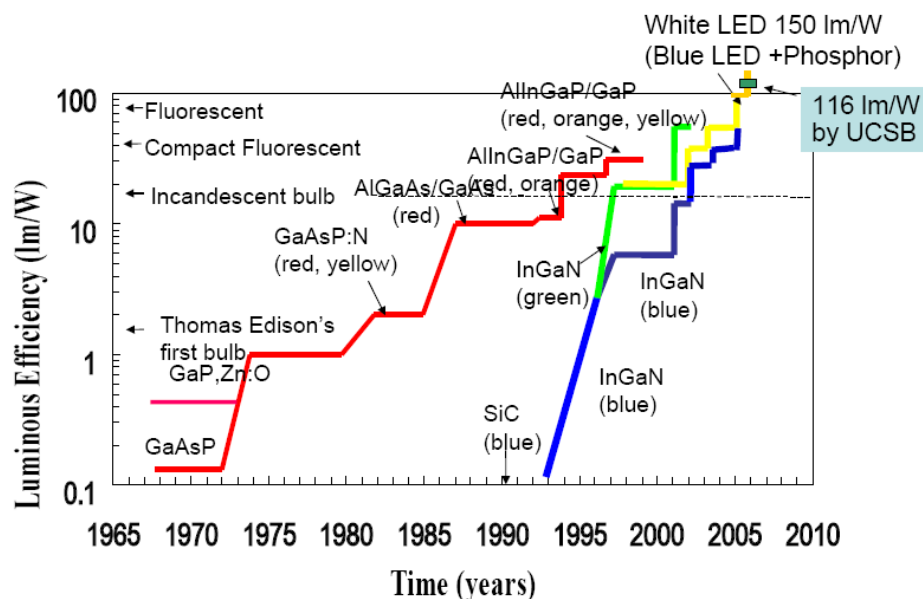
jon suurempiakin valotehokkuuksia, mutta ne eivät ole vielä sopivia kaupalliseen tuotantoon.

TehoLEDIEN kehityksen jarruna on ollut niiden suuri lämmöntuotto. LED:it tuottavat paljon lämpöä liitoskohdassaan. Jos ne lämpiävät liikaa niiden teho laskee ja elinikä lyhenee huomattavasti. Suuritehoisilla LED:illä onkin erittäin tärkeää saada lämpö johtumaan pois liitoskohdasta.

### 5.4.1 Historia

Alun perin käytettiin GaAsP- tekniikkaan (GalliumArsenidePhosphide) muunnelmia, mutta ne olivat tehottomia ja rajoittuivat tiettyihin värisävyihin. 80-luvulla alettiin käyttää AlInGaP-tekniikkaa (AluminumIndiumGalliumPhosphide), ja sininen LED (SiC), joilla saatiin aikaan jo huomattavasti tehokkaampia ratkaisuja. (Siltala, 2010,19)

Shuji Nakamura oli valkoisen LED:in merkittävin kehittäjä. Hän kehitti uudentyyppisen kirkkaan sinisen LED-valon 1993 GaN-tekniikalla ja pari vuotta myöhemmin hän keksi yhdistää siihen uudentyyppisen fosforin valkoisen valon aikaansaamiseksi. Tästä keksinnöstään hän sai Millenium-tekniologiapalkinnon vuonna 2006. Valkoisen LED-valon kehittäminen on mahdollistanut LED:ien käytön yleisvalaistukseen. Samaan aikaan hän kehitti myös vihreän GaN-tekniikan LED-valon ja sinisen laseriodin (Siltala, 2010,19). Tästä LED:in ominaisuudet ovat kehittyneet kovaa vauhtia, kuten kuvasta 7 huomataan.

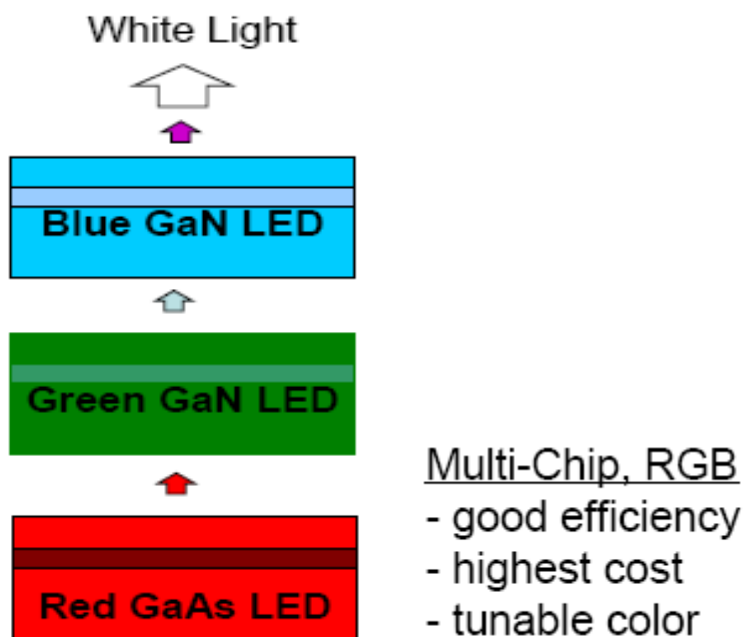


KUVA 7. Lamppujen valotehokkuuden kehitys. (Nakamura 2007)

### 5.4.2 Valkoisenvalon tuottaminen

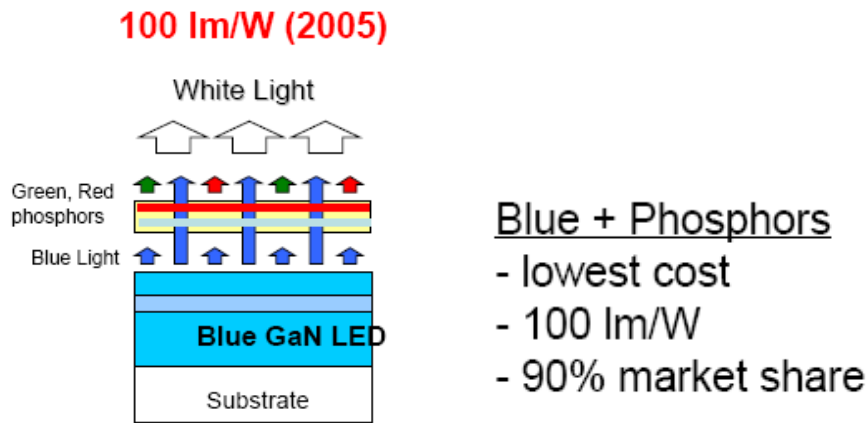
Valkoisen valon tuottaminen LED:llä on tämän hetken tutkimuksen ja kehityksen kohde. Valkoisten LED:ien avulla voidaan pienentää valaistukseen kuluvan energian kulutusta tulevaisuudessa.

Valkoista valoa voidaan tuottaa usealla eri tavalla. Valkoinen valo voidaan tuottaa useiden eriväristen LED:ien spektrien avulla. Tästä menetelmästä käytetään nimeä RGB-menetelmä (red, green, blue). Siinä hyödynnetään punaisen-, vihreän- ja sinisen-LED:in valoa ja niiden yhteistuloksena saadaan valkoista valoa (KUVA 8). Tällaisen tekniikan avulla voidaan valmistaa LEDEJÄ, joiden värejä voidaan muuttaa elektronisen liitäntä laitteen avulla. (Siltala, 2010,23)



**KUVA 8. Valkoisen valon tuottaminen RGB-LEDILLÄ (Nakamura 2007)**

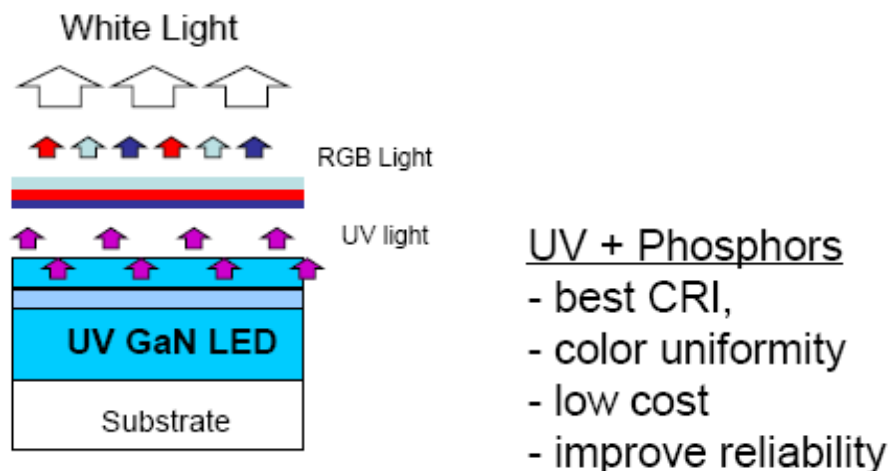
Valkoista valoa voidaan tuottaa myös muuttamalla sinistä tuottavan LED:in valoa keltaisella fosforikerroksella korkeammalle aallonpituudelle (KUVA 9). Tällöin sen 460–470 nm aallonpituus muutetaan LEDIN kuvun pinnan fosforikerroksen avulla tuottamaan säteilyä 570–590 nm aallonpituudella.



**KUVA 9. Valkoisen valon tuottaminen sinisen LED:in avulla (Nakamura, 2007)**

Tällöin valonväriämpötila on noin 5500 Kelviniä eli se vastaa päivänvaloa. Värintoistoluokka on kuitenkin vain 70, mikä ei täytä EU:n asetuksen 244/2009 vaatimuksia. Kun tähän lisätään punaista, niin saadaan valkoisen valon väriämpötila laskettua 3200 K ja värintoistoluokka nousemaan 90:een. Tämä toisaalta laskee valotehokkuutta. Tällaisen tekniikan etuna on hyvä valotehokkuus ja jo olemassa oleva tekniikka, jonka ansiosta kustannukset pysyvät alhaalla.

Valkoista valoa voidaan tuottaa myös muuntamalla LED:in emittoiva UV-säteily fosforikonversion avulla näkyväksi valkoiseksi valoksi (KUVA 10). Pinnalla oleva moniväri fosfori muuttaa säteilyn sellaiseksi, että sen spektrissä on komponentteja kaikista pääväreistä. Tällaisen tekniikan etuina on valon värin hyvä tasaisuus ja korvaamalla punainen fosfori keltaisella ja oranssilla (OYGB), saadaan myös hyvä värintoistokyky.



**KUVA 10. Valkoisen valon tuottaminen UV-säteilyn kautta. (Nakamura, 2007)**

Eri tavalla tuotetuilla valkoisilla valoilla on hieman erilaisia ominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia on vertailtu *taulukossa 10*. Näitä erityylyisiä ratkaisuja voidaan käyttää niille sopivissa olosuhteissa. Yleisvalaistukseen sopii sinisen valon muuttaminen fosforikerroksen avulla valkoiseksi valoksi. Ongelmana on vain näiden LED:ien ominaisuuksien epätasaisuus.

**Taulukko 10. Valkoisen valon tuottamisen tapojen vertailu (Siltala, 2010, 25)**

	Usean erivärisen LEDin sekoitus	Sininen LED keltaisella (ja punaisella) fosforilla	UV- tai n-UV LED moniväri-fosforilla
Siru	Punainen, vihreä, sininen LED	Sininen LED	UV LED (<380 nm), n-UV LED (380-410 nm)
Loisteaineet	AllnGaP, InGaN, AllnGaN	InGaN/YAG:CE(Y), InGaN/G,R, InGaN/Y,R	InGaN/RGB/OYGB RGB- ja OYGB-fosforeilla
Säteilymekanismi	Elektroluminesenssi	Elektroluminesenssi (si) + Fotoluminesenssi (vi, pu)	Fotoluminesenssi
Hyödyt	Väriä voidaan dynaamisesti vaihtaa	Korkea tehokkuus	Mahdollisuus rajattuun sävyn säätöön
	Voidaan tuottaa miljoonia eri värejä	Teknologia on jo olemassa	Yksinkertainen liitäntälaitte
	Korkein tehokkuus	Kylmä valkoinen (5500 K, 70 CRI)	Hyvä värin tasaisuus
		Lämmin valkoinen (3200 K, 90 CRI)	
Haitat	Monimutkainen liitäntälaitte	Väriämpötila saattaa vaihdella LEDien välillä	Pienempi valotehokkuus
	Väri muuttuu ajan ja lämpötilan muuttuessa	Joudutaan lajittelemaan väriämpötilan mukaan (Binning)	Vaatii uusien fosforien tuotekehitystä
	Valonlähteen värinvalinta saattaa olla huono	Vaatii optista säätöä	Mahdolliset UV-haitat
			Lyhyempi-ikäinen
			Epöksin himmeneminen

### 5.4.3 LEDin ominaisuudet

LED:ien ominaisuudet muuttuvat tällä hetkellä koko ajan. Uusia sovelluksia tulee koko ajan ja ominaisuudet paranevat ja hintakin laskee. LED:ien hinta on vielä korkea mitattuna lm/€ arvolla eikä se vielä pärjää pienloistelampuille.

LED:ien pitkä elinikä on yksi niiden valteista tällä hetkellä. LED:it eivät sammu kerralla, vaan ne hiipuvat pikkuhiljaa käytön aikana. Yleisen käytännön mukaan LED katsotaan sammuneeksi, kun sen valovirran arvo on laskenut 70 %. Yleisesti LED:it kestävät tällä hetkellä 15 000 – 50 000 h. Tämä elinikä riippuu kuitenkin voimakkaasti niiden lämmön poisjohtamisen tehokkuudesta sekä myös ympäristön lämpötilasta.

## 6 KORVAAVAT VAIHTOEHDOT

Kaikkein lähinnä hehkulamput ominaisuuksia ovat halogeeni lamput, mutta niidenkin poistuminen markkinoilta tapahtuu pikkuhiljaa. Tosin tällä hetkellä on tullut markkinoille energialuokkaan B kuuluvia halogeenilamppuja, jotka siis säilyvät markkinoilla ainakin vuoteen 2016 ja tämän hetken tiedon mukaan myös sen jälkeen.

Pienloistelamppuja kehitetään jatkuvasti ja niiden ominaisuudet alkavat olla jo sillä tasolla, että niillä voidaan korvata monissa tapauksissa hehkulamput suoraan. Pienloistelamppujen toimintavaatimuksia kiristetään ympärisäteileviä kotitalouslamppuja koskevassa asetuksessa. Pienloistelamputon syttymisaika on asetuksen 244/2009 mukaan 1.9.2009 jälkeen oltava alle 2 sekuntia, ja 1.9.2013 jälkeen alle 1,5 sekuntia, jos teho on alle 10 W. Jos teho on yli 10 W, syttymisaika tulee olla alle 1,0 sekuntia. Näin ne tulevat sopimaan paremmin tiloihin, joissa vaaditaan nopeaa syttymisaikaa. Muille kuin pienloiste- ja LED-lampuille syttymisaika vaatimus on kuitenkin alle 0,2 sekuntia, joten näitä eivät pienloistelamput pysty vielä korvaamaan. Pienloistelamppujen eloonjäämiskertoimelle ja ennenaikaiselle vikaantumisasasteelle on asetuksessa säädetty rajat, joilla halutaan ehkäistä huonolaatuisten lamppujen tuloa markkinoille. Eloonjäämiskertoimen tulee olla 1.9.2009 lähtien vähintään 0,5 6000h kohdalla ja 1.9.2013 vähintään 0,7 6000h kohdalla.(EY/244/2009)

Led-lamppujen tekniikka kehittyy tällä hetkellä huimaa vauhtia ja niistä onkin tulossa tulevaisuudessa vahva ehdokas lamppua valitettaessa. Tällä hetkellä niiden tekniset ominaisuudet alkavat saavuttaa muita vaihtoehtoja, mutta hankinta hinta on vielä korkea. Niiden laatu vaihtelee vielä kovasti eikä niiden polttoajoille ja valovirran alenemalle ole vielä standardeja, joten niiden vertailu on hankalaa kuluttajan näkökulmasta. Ledien elinikä on pitkä, mutta vielä ei ole standardia siitä, koska led katsotaan sammuneeksi, sillä se palaa vaikka sen valovirta onkin tipahtanut jo murto-osaan alkuperäisestä. Yleisen ohjeen mukaan LED katsotaan sammuneeksi, kun sen valovirta on tippunut 70 % alkuperäisestä.

### 6.1 Energiänsäästölamppu

Pienloistelamput ovat toiminnaltaan loistelamppuja. Pienloistelamppuja on sekä ulkoisella liitäntälaitteella että sisäisellä liitäntälaitteella varustettuina. Sisäisellä liitäntälait-

teella ja hehkulamppu kannoilla E27tai E14 varustettuja pienloistelamppuja kutsutaan yleisesti energiansäästölamppuiksi. Nasta kannoilla varustettuja ja ulkoisella elektronisella liitäntälaitteella varustettuja lamppuja kutsutaan pienloistelamppuiksi.

Energiansäästölamppuja on monenlaisia ja tehot ovat yleisesti 5 W ja 30 W välillä. Myös kupumalleja on monenlaisia. Perinteisten 4- ja 6-sauvaisten kupujen rinnalle on tullut hehkulamppun kuvun mallisia lamppuja. Energiansäästölamppuja löytyy pallokupuisina, lieriökupuisina ja erilaisina kierteisinä kupumalleina.

Pienloistelampuilla saadaan hehkulamppuihin verrattuna suuri säästö energian kuluksessa. Niiden valotehokkuus on 40–70 lm/W, kun hehkulamppulla se on 10–12 lm/W. Niiden lämmöntuotto on myös pienempää kuin hehkulamppuilla ja näin tehosuhte parempi.

Pienloistelamppujen polttoikä on myös paljon pidempi kuin normaalien hehkulamppujen. Hehkulamppujen elinikä on noin 1000–1500 h pitkäikäisiä lamppuja lukuun ottamatta, kun taas pienloistelamppujen elinikä on keskimäärin 10 000 h. EU:n asetuksen 244/2009 mukaan, pienloistelampun eloonjäämiskertoimen tulee olla 6000 h polton jälkeen yli 50 % vaiheessa 1 (1.9.2009 jälkeen) ja yli 70 % vaiheessa 5 (1.9.2013 jälkeen).

Polttoian lisäksi myös valovirran alenema vaikuttaa lampun taloudelliseen polttoikään. Valovirran alenemalle on myös asetuksessa 244/2009 raja-arvot, jotka lampun tulee täyttää. Vaiheessa 1 valovirran alenemakertoimen tulee olla 2000 h kohdalla  $\geq 85$  % ja lamppuille joilla on ulkovaippa  $\geq 80$  %. Vaiheessa 5 valovirran alenema kertoimen tulee olla 2000 h kohdalla  $\geq 88$  % (ulkovaipallisille  $\geq 83$  %) ja 6000 h kohdalla  $\geq 70$  %. Kuvullisilla lamppuilla valovirran alenema on suurempi kuin sauvamallisilla, kuten huomaamme Johannes Raunion diplomityöhönsä tekemistä mittauksista *taulukosta II*. Tämän takia tulee pienloistelamppua hehkulamppun tilalle valittaessa ottaa huomioon valovirran alenema, jotta saadaan tilaan haluttu valaistusvoimakkuus koko lampun eliniän ajaksi. Onkin usein perusteltua valita yhtä kokoa suurempi pienloistelamppu kuin mitä hehkulamppun korvaaminen vaatisi. Jos korvaamme 40 W (400 lm) hehkulamppun sitä vastaavalla pienloistelampulla (432 lm asetuksen 244/2009 mukaan) eli 8-11 W pienloistelampulla, niin kannattaa valita sellainen jonka valovirta on reilusti suurempi kuin 400 lumenia. Tällöin saadaan haluttu valovirta lampusta sen koko

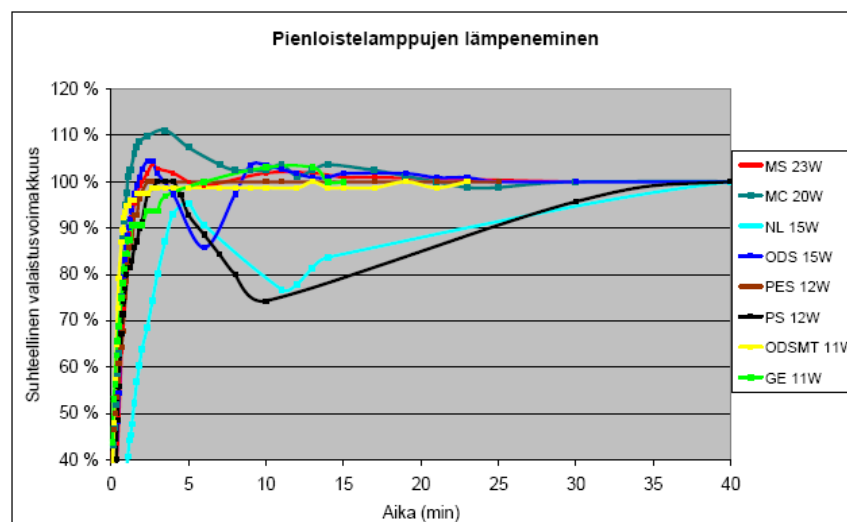


eliniänajan. Kaasutäytteisillä hehkulampuilla valovirran alenema on vain 3-6 % 750 h kohdalla (SSTL,1999,22). Markkinoiden parhailla pienloistelampuilla valovirran alenemakerroin oli 90 % lampun mitoituseliniän lopussa (20 000 h) asetuksen 244/2009 antamisajankohtana (EU 244/2009).

**TAULUKKO 11. Pienloistelamppujen valovirran alenema. Kuvullisia malleja NL 15W, ODS 15W, PS 12W (Raunio, 2009).**

	1. mittaus	1000h mittaus		2000h mittaus	
	[lm]	[lm]	Muutos %	[lm]	Muutos %
<b>Pienloistelamput</b>	<b>917</b>	<b>834</b>	<b>-7 %</b>	<b>801</b>	<b>-11 %</b>
MS 23W	1480	1389	-6 %	1360	-8 %
MC 20W	1371	1293	-6 %	1270	-7 %
NL 15W	773	703	-9 %	641	-17 %
ODS 15W	892	762	-15 %	721	-19 %
PS 12W	635	563	-11 %	525	-17 %
PES 12W	716	670	-6 %	631	-12 %
ODSMT 11W	691	673	-3 %	656	-5 %
GE 11W	640	619	-3 %	601	-6 %

Loistelamppujen syttyminen on eräs asia joka on otettava huomioon, kun niillä korvataan hehkulamppuja. Hehkulamppu syttyy välittömästi (0,05 sekuntia) ja se antaa täyden valotehon heti (SSTL, 1999, 19). Pienloistelampun syttyminen saattaa kestää pari sekuntia ja se säteilee täyden valovirran vasta muutaman minuutin kuluttua. Nykyään markkinoille on tullut pienloistelamppuja jotka syttyvät jo nopeasti eli alle 0,5 sekunnissa ja antavat 90 % valovirran 100 sekunnin sisällä (Radium, 2010, 63).



**KUVA 11. Valovirran muutos syttymishetken jälkeen (Raunio, 2009)**

*Kuvasta 11* näemme kuinka valovirta tasaantuu useimmilla lampputyypeillä muutami-  
en minuuttien sisällä. Muutamalla amalgaamia sisältävällä tyyppillä valovirta nousee  
ensin nimelliseksi, mutta laskee sen jälkeen reilusti ennen kuin alkaa nousta uudelleen  
ja tasoittumiseen menee 20–30 minuuttia. Syttymisnopeudelle ja lampun lämpenemi-  
seen 60 prosenttiin nimellisvalovirrasta on asetuksessa 244/2009 annettu rajat on näh-  
tävissä *taulukossa 12*.

**TAULUKKO 12. Syttymiseen liittyvät määräykset asetuksessa EU 244/2009**

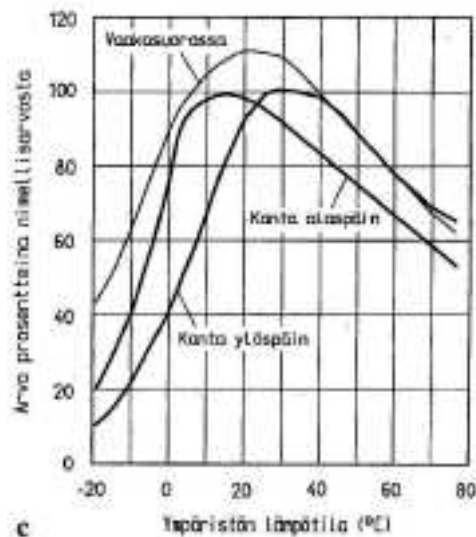
Toimintaparametri	Vaihe 1 ( 1.9.2009)	Vaihe 5 ( 1.9.2013)
Syttymisaika	< 2,0 s	< 1,5 s, jos P < 10 W < 1,0 s, jos P > 10 W
Lampun lämpenemisaika 60 %:iin $\Phi$ :sta	< 60 s Tai < 120 s lamput, jot- ka sisältävät elohopeaa amalgaamimuodossa	< 40 s Tai < 100 s lamput, jot- ka sisältävät elohopeaa amalgaamimuodossa
Kytentäjäjaksojen määrä ennen vikaantumista	$\geq$ puolet lampun eliniästä tunteina $\geq$ 10 000, jos lampun syt- tymisaika > 0,3 s	$\geq$ lampun elinikä tunteina $\geq$ 30 000, jos lampun syt- tymisaika > 0,3 s

Syttymiskerroilla on myös vaikutusta lampun elinikään. Normaaleilta pienloistelam-  
pulta vaaditaan tällä hetkellä siis 10 000 sytytyskerran kestävyttä ja vuoden 2013  
jälkeen niiden tulee kestää 30 000 sytytystä. Tästä huomaamme lamppujen, joiden  
elinikä on 10 000 h, kestävän tunnin polttojaksot. Lamppujen elinikä lyhenee, jos nii-  
den kytkentäjakso jäävät alle tunnin mittaisiksi. Tästä syystä kaikki loistelamput eivät  
ole parhaita korvaajia hehkulampulle, mikäli polttojaksot jäävät lyhyiksi tai tarvitaan  
nopeaa syttymistä esimerkiksi vaatehuoneissa tai WC:ssä. Markkinoilla on kuitenkin  
pienloistelamppuja, jotka syttyvät alle 0,5 s ja kestävät 500 000:sta 1 000 000 sytytyk-  
seen, kun lamppu on 60 s päällä ja 180 s pois päältä peräkkäin (Radium, 2010,65).

Pienloistelamppujen värielämpötila ja värintoistokyky eli  $R_a$  indeksi on myös otettava  
huomioon korvattaessa hehkulamppuja. Hehkulampan värielämpötila on noin 2800 K  
ja pienloistelampuilla löytyy yleisesti värielämpötiloja 2500 K aina 7000 K asti. Pien-  
loistelampun, jonka värielämpötila on 2700 K, valo ei kuitenkaan ole samanväristä  
kuin saman värielämpötilan omaavalla hehkulampan. Tämä johtuu hehkulampan

spektristä, jolla huippu osuu keltaisen värin aallonpituuden kohdalle, kun taas pienloistelamppujen spektrit jakautuvat tasaisemmin eri aallonpituuksien kohdalle. Pienloistelampun valo näyttää valkoisemmalta kuin hehkulampun valo samasta värilämpötilasta huolimatta. Pienloistelampuilla on myös keskenään eroja spektrin jakautumisessa. Toisissa lamputta spektri koostuu piikeistä eri aallonpituuksien kohdalla kun taas paremmissa spektrijakauma on tasaisempi koko näkyvän valon alueella. Pienloistelamppujen värilämpötilaa kuvaillaan myös sanallisesti lamppujen merkinnöissä. Hehkulamppua vastaa merkintä lämmin valkoinen, jolloin värilämpötila on 2700 K – 3000 K.

Pienloistelamppujen valovirtaan vaikuttaa voimakkaasti myös ympäristön lämpötila, koska elohopeahöyryn paine lampun sisällä muuttuu kuvun seinämän lämpötilan mukaan. Kuvun seinämän lämpötila seuraa herkästi ympäristön lämpötilaa. Tämän takia pienloistelamput eivät normaalisti sovellu ulkikäyttöön. Ympäristön lämpötilalla tarkoitetaan lampun lähiympäristön lämpötilaa eli suljetussa valaisimessa ympäristön lämpötila on paljon korkeampi kuin avoimissa, joissa ympäristön lämpötila vastaa huoneen lämpötilaa. Nämä asiat tulee ottaa huomioon valittaessa oikea lamppu kyseiseen valaisimeen. (SSTL, 1999, 41)



**KUVA 12.** Ympäristön lämpötilan ja polttoasennon vaikutus lampun valovirtaan (SSTL, 1999, 41)

Pienloistelamppujen valovirtaan vaikuttaa myös niiden polttoasento (kuva 12). Tämä johtuu lampun kylmäpisteen lämpötilan muuttumisesta eri asennoissa. Kannan ollessa

alaspäin saavutetaan maksimi valovirta 15 – 20 °C matalammassa ympäristön lämpötilassa, kuin kannan ollessa sivulle tai ylöspäin. (Halonen & Lehtovaara, 192,255)

Nykyään on saatavissa jo pienloistelamppuja, jotka ovat himmennettävissä. Himmenykseen ei kuitenkaan aina käy perinteinen hehkulamput valmistettu himmennin, vaan ne tarvitsevat elektronisen himmentimen, joka on niitä varten tehty. Viimeaikoina on valmistettu useita energiansäästölamppuja, jotka voidaan himmentää perinteisellä hehkulampuille tarkoitetuilla himmentimillä. Onkin aina hyvä tarkistaa minkälaisella himmentimellä lamppuja voidaan himmentää.

Suurin osa pienloisteluvalaistuksesta ei kuitenkaan ole himmennettävissä, joten lamppua valitessa tulee olla tarkkana, käykö se kyseiseen tarkoitukseen. EU:n 244/2009 asetuksessa veloitetaan valmistajat merkitsemään paukkaukseen onko lamppu himmennettävä (dimmable) vai ei himmennettävissä oleva (non dimmable). Pienloistelamppuja ei tulisi suoraan kytkeä myöskään liike- tai hämärätunnistimella varustettuihin valaisimiin. Niiden sopivuus kyseiseen valaisimeen tulee aina tarkistaa.

## 6.2 Halogeeni

Halogeeni lamput ovat kaikkein lähimpänä hehkulamppua ominaisuuksiltaan. Halogeeni lamput valotehokkuus on kuitenkin parempi ja polttoikä pidempi. Markkinoilla on paljon C-luokan halogeenilamppuja, mutta ne tulevat kuitenkin poistumaan myynnistä 2016. Ne ovat tällä hetkellä helppo tapa korvata hehkulamput samanlaisten ominaisuuksiensa ansiosta. Markkinoilla on myös tulossa B-luokan halogeenilamppuja, jotka säästävät energiaa C-luokkaan kuuluvia enemmän, mutta niiden hinta on vielä korkeampi ja saatavuus rajatumpi.

C-luokan halogeenilamput sisältävät Xenon-kaasua ja niiden valotehokkuus on saatu entistä paremmaksi. Niiden valotehokkuus on 12–15 lm/W. Paras valotehokkuus on suurempi tehoisilla halogeenilampuilla. Ne säästävät noin 30 % samankokoisiin hehkulamputiin verrattuna.

Halogeenilampujen etu on se, että niillä voidaan korvata hehkulamput suoraan. Ne ovat himmennettävissä ja se voidaan yleensä toteuttaa samoilla himmentimillä kuin hehkulamput. Ne eivät sisällä elohopeaa, eivätkä siten ole ongelmajätettä.

Halogeenien huono puoli on niiden suuri energiantarve pienloistelamppuihin verrattuna ja niiden korkea pintalämpötila. Pintalämpötila tulee ainakin ottaa huomioon sijoitettaessa lamppu suljettuun valaisimeen tai siten että sitä on mahdollista koskea. Se ei sovi myöskään tiloihin jossa se voi peittyä jostain syystä. Tällaisia ovat kerhohuoneet, lastenhuoneet ja muut tilat joissa on lapsia.

Halogeenit tulevat myös poistumaan markkinoilta 2016, joten ne ovat vain väliaikainen ratkaisu. B-luokan halogeenien säilymisestä markkinoilla vielä vuoden 2016 jälkeen on kahdenlaista tietoa. Asetuksen mukaan ne poistuvat 2016 ja asetusta voidaan jopa kiristää. Halogeenien kehityksestä valmistajat ovat siirtäneet myös resurssinsa LED-teknologian pariin.

### **6.3 Led**

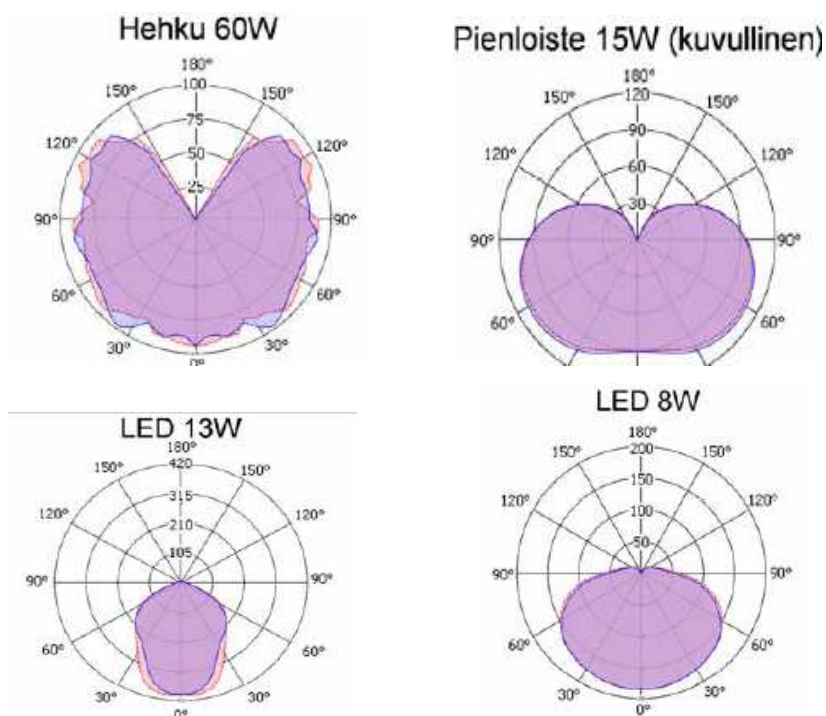
LED-lamppuja tulee jatkuvasti markkinoille lisää ja ne ovat koko ajan ominaisuuksiltaan parempia. LED-lamppujen valotehokkuus on jo kylmillä sävyillä pienloistelamppujen tasolla ja lämpöisillä sävyillä halogeeni- ja pienloistelamppujen välissä. Eco-design direktiivin asetuksen EY/244/2009 vaatimukset koskevat myös LED-lamppuja. Asetuksella yritetään estää huonolaatuisten led-lamppujen tuleamista markkinoille. Tämä onkin jo parantanut LED-lamppujen ominaisuuksia ainakin värintoistokyvyn osalta.

LED-lamppujen valmistuksessa on vielä kehitettävää. Tällä hetkellä niiden keskinäisissä ominaisuuksissa samankin valmistus erän sisällä on eroja valmistustavasta riippuen. Laadukkaan LED:in valinta on myös kaupassa vaikeaa. Laadun erot johtuvat käytetyistä puolijohde-materiaaleista, käytetyistä loisteaineista, elektroniikasta, lämmön pois johtamisen tehokkuudesta ja valmistustavasta. Näitä eroja ei pääse kaupassa vertailemaan.

Led-lamppujen valotehokkuus on jo melkein pienloistelamppujen luokkaa, mutta hinta on vielä korkeampi. Hehkulampan mallisia E27 ja E14 kannallisia led-lamppuja on myös tullut markkinoille ja ne on tarkoitettu korvaamaan hehkulamppuja suoraan. Ne muodostuvat lamppuun integroidusta liitäntälaitteesta ja useasta teholedistä. Niiden kestoiksi ilmoitetaan yleensä 10 000 h – 25 000 h. Niitä löytyy kylmän- ja lämpi-

mänvalkoisen värilämpötilalla. Markkinoilla on myös hehkulamppun muotoisia värejä vaihtavia led-lamppuja. Markkinoilla on tätä nykyä saatavilla myös kynttilälampun mallisia led valoja.

Led-lamppujen valo ei ole ihan yhtä ympärisäteilevää kuin hehkulamppujen ja pienloistelampujen. Led-lamppujen valonjako riippuu ledien sijoittelusta lamppuun, ledien optiikasta ja kuvun mallista sekä loisteaineesta. LED-lamput suuntaavat tyypillisesti valoa paljon enemmän eteenpäin kuin ympärilleen (kuva 13). Tällä on vaikutusta lampun valintaan varsinkin silloin, kun lamppu on kanta alaspäin tai sivulle.



**KUVA 13. LED-lampun valonjako verrattuna hehkulamppuun ja pienloistelamppuun. Kuvat kanta ylöspäin. (Raunio 2010, 47)**

Hehkulamppujen muotoiset ja niitä korvaamaan tarkoitetut led-lamput ovat 2 W ja 15 W väliltä. 6 – 8 W led-lamput vastaavat 25 – 40 W hehkulamppuja ja 10 – 15 W siitä isompia. Led-lamppujen valotehokkuus paranee kokoajan ja pienempi tehoisilla voidaan korvata vanhoja hehkulamppuja. Mitä tehokkaampia led-lamppuja tehdään, sitä tehokkaampi on oltava niiden jäähdytys, ja tämä rajoittaa hehkulamppu muotoisten led-lamppujen olemista yli 15 W:siä. Tällöin niiden kokoa täytyisi kasvattaa eivätkä ne olisi enää hehkulamppu mallisia.

Led-lamppujen hinta ja valotehokkuus ovat tällä hetkellä suurimmat muuttujat lampumarkkinoilla. Hehkulamppujen korvaaminen led-lampuilla alkaa jo onnistua, mutta odottamalla hankintaa muutamia vuosia led-lamppuja saa paljon halvemmalla ja paljon parempia.

## 7 VERTAILUA

Vertailtaessa eri lamppuja keskenään tulee verrata niiden eri ominaisuuksia. Lampputyyppiä valitessa ei voi käyttää kriteerinä vain yhtä ominaisuutta. Valintaa tehdessä on otettava huomioon kaikki ominaisuudet ja valittava kokonaisuudeltaan paras ratkaisu.

Vertailtavia ominaisuuksia ovat lampun energiankulutus, valaistusominaisuudet sekä käyttö ja hankintakustannukset. Energiankulutuksella mitataan millä energiamäärällä saadaan tuotettua haluttu valoteho. Valaistusominaisuuksilla mitataan valon ominaisuuksia eri tilanteissa. Hankintakustannuksilla mitataan lampun hintaa sekä sen vaatimien laitteiden hintaa muihin vaihtoehtoihin.

### 7.1 Energiankulutus

Lamppuja vertailtaessa on niiden energiankulutus ollut suurin vertailukohta. Ympärisäteileviä kotitalouslamppuja koskevan asetuksen tarkoituksena onkin juuri ehkäistä EU:n alueen energiankulutuksen kasvua. Lamppujen energiansäästöä ei suoraan voida vertailla paketin kyljessä olevan tehon kautta, vaan siihen vaikuttaa moni muukin asia.

Osa lampun kuluttamasta tehosta muuttuu valoksi ja osa lämmöksi. Hehkulamppu tuottaa valoa vain n.10 % osuudella kuluttamastaan sähköstä kuten *taulukosta 13* huomataan. Suurin osa sen kuluttamasta tehosta muuttuukin siis lämmöksi.

Lämpö siirtyy hehkulamppusta säteilemällä, konvektiolla ja johtumalla. Lämmön siirytessä säteilemällä, se lämmittää ympärillä olevia pintoja ja siirtyy sitä kautta huoneilmaan. Konvektiolla siirtyvä lämpö jää suoraan huoneilmaan ja johtumalla siirtyvä lämpö siirtyy valaisimen välityksellä rakenteisiin.(Tapanainen, 2010)

Tämä lämpö on meidän leveysasteillamme talvella lämmitystehon tarvetta pienentävää lämpöä. Kesällä se tosin aiheuttaa jäädytystehon tarpeen kasvua tiloissa, joissa joudutaan pitämään valoja päällä kesälläkin.

**TAULUKKO 13. Hehkulampun tehotase (Halonen & Lehtovaara 1992,187)**

Teho W	Säteily %			Häviöt %		
	Valo	Infrapuna	Yhteensä	Johtimet	Kaasu	Kupu ja kanta
25	8,7	85,3	94	1,5	-	4,5
40	7,4	63,9	71,3	1,6	20,0	7,1
60	7,5	73,3	80,8	1,2	13,5	4,5
75	8,4	72,8	81,2	1,2	12,8	4,8
100	10,0	72,0	82,0	1,3	11,5	5,2

Erilaisissa vertailuissa yleensä lasketaan että 70 % hehkulampun tuottamasta lämmöstä saadaan talteen (Motiva,2007). Tämä riippuu valaistuksen sijainnista kiinteistössä ja kiinteistössä olevasta lämmitysjärjestelmästä. Kiinteistöt, joissa on lämmöntalteenotto, pystyvät parhaiten hyödyntämään hehkulampuista vapautuvan lämmön.

Kirkoissa valaisimet ovat suurelta osin korkealla ja näin niiden tuottama lämpö saattaa kadota ilman suurempaa hyötyä. Toisaalta vanhojen kirkkojen huonon eristyksen takia suuri määrä hehkulamppuja tuo apua lämpötilan nostoon ja puutteellisen tai painovoimaisen poistoilmanvaihdon takia lämpö ei karkaa heti ulos vaan tilaan. Usein kuitenkin valot sytytetään tilaisuuksia varten ja silloin ihmisetkin toimivat lämmönlähteinä ja auttavat lämpötilan nostossa.

Kirkoissa lamppuja pidetään päällä tilaisuuksien aikana kesälläkin ja silloin ne aiheuttavat ylimääräisen lämpökuorma kirkkoon. Vanhojen kirkkojen ilmanvaihto on usein puutteellinen ja silloin hehkulamppujen tuoma lämpö on vaikeaa poistaa tiloista. Kesällä tilat usein lämpiävät liikaa isojen yleisötilaisuuksien kuten konfirmaatioiden aikana ja tällöin vähemmän lämpöä tuottava valaistusratkaisu toisi hieman helpotusta tilanteeseen eikä ainakaan pahentaisi sitä entisestään.

Energiansäästöä katsottaessa on myös huomioitava lamppujen valmistukseen kuluva energia. Yhden hehkulampun valmistus kuluttaa noin 0,8 kWh ja pienloistelampun noin 4 kWh. Hehkulampun polttoään ollessa 1000 h, niitä joudutaan ostamaan 10 kpl



yhden pienloistelampun eliniän aikana. Niiden valmistuskustannus on siis pienloistelampun eliniän aikana:  $10 * 0,8 \text{ kWh} = 8 \text{ kWh}$ .

Tämä on puolet enemmän kuin pienloistelampun valmistuskustannukset tänä aikana. Pitkäikä hehkulampun (5000 h) valmistuskustannukset pienloistelampun eliniän aikana olisi:  $2 * 0,8 \text{ kWh} = 1,6 \text{ kWh}$ .

Tämä 2,4 kWh säästö valmistukseen kuluva energia pienloistelamppuun verrattuna kääntyy vastaavan valovirran omaavan pienloistelampun eduksi 40 W hehkulampun käytön aikaisen energiankulutuksen ansiosta jo ensimmäisen 100 tunnin polton aikana.

Pienloistelamput säästävät käytön aikana energiaa, mutta ne tuottavat verkkoon haitallisia yliaaltoja. Direktiivin EY/244/2009 mukaan alle 25 W pienloistelampun tehokerroimen tulee olla yli 0,50 ja yli 25 W tehokerroimen tulee olla yli 0,90. Johannes Raunio mittasi diplomityössään eräiden pienloistelamppujen tehokertoimia (taulukko 14) ja sai niiden keskiarvoksi 0,59. EU:n määräysten mukaan harmonisien aaltojen ja loistevoiman kompensointia ei edellytetä laitteilta, joiden liitäntäteho on alle 25 W (Van Tichelen, 2009,116).

#### TAULUKKO 14. Pienloistelamppujen ja led-lamppujen tehokertoimet PF (Johannes Raunio 2010)

	Teho	Virta	PF	THD %	
	[W]	[A]	%	Menetelmä 1	Menetelmä 2
<b>Pienloistelamput</b>	15,0	-	59 %	105 %	-
MS 23W	23,6	0,175	58 %	116 %	-
MC 20W	21,1	0,142	57 %	115 %	-
ODSSMT 18W	17,4	0,131	58 %	107 %	-
PT 15W	14,5	0,110	57 %	112 %	-
NL 15W	14,8	0,109	60 %	106 %	-
ODS 15W	15,7	0,112	63 %	94 %	-
PS 12W	10,2	0,076	58 %	119 %	-
PES 12W	11,6	0,084	60 %	110 %	-
ODSMT 11W	10,7	-	60 %	69 %	-
GE 11W	10,1	0,078	56 %	108 %	-
MD 9W	8,3	0,061	59 %	101 %	-
<b>LED-lamput</b>	8,0	-	59 %	88 %	-
LEDTR 14W	12,1	0,100	60 %	89 %	-
ELE 13W	10,2	0,125	37 %	35 %	-
OP 8W	7,9	0,044	81 %	27 %	-
LL 6W	6,3	-	68 %	132 %	176 %
PM 6W	6,2	0,040	68 %	73 %	78 %
OL 2W	2,1	0,024	39 %	175 %	-
<b>Halogeenilamput</b>	31,0	-	99 %	7 %	5 %
C 42W	42,7	-	100 %	-	1 %
B 30W	30,6	0,13	100 %	7 %	8 %

Pienloistelamput ottavat verkosta myös loistehoa. Loisteho on tehoa, josta ei pieniä kuluttajia laskuteta erikseen. Loisteho varaa kuitenkin sähköverkosta kapasiteettiä, ja vaikuttaa sähköverkon ominaisuuksiin. Viime aikoina onkin ollut keskusteluja alkaako sähkölaitokset laskuttamaan loistehosta myös pienkiinteistöjä. Tähän vaikuttaa loistehon kulutuksen kasvu, joka aiheuttaa sähköyhtiöille kustannuksia. He joutuvat tuottamaan verkkoon tehoa, jota ei kuitenkaan laskuteta asiakkaalta.

Energiansäästölamppujen loisteho on kapasitiivista mutta suurimman osan loistehoa ottavien laitteiden loisteho on induktivistä (Saarenmaa, 2010,25). Näin energiansäästölamput kompensoisivat muiden laitteiden loistehoa. Isoimmissa kiinteistöissä loistehoa joudutaan kompensoimaan erillisillä kompensointiparistoilla. Tällaista loistehon kompensointia edellytetään jo tehtaita ja toimistokiinteistöiltä.

Loisteho ei kuitenkaan ole suurin ongelma, vaan energiansäästölamppujen tuottamat häiriöt verkkoon. Nämä häiriöt aiheutuvat harmonisista yliaalloista, jotka summautuvat nollajohtimeen. Vanhoissa rakennuksissa ongelmaksi saattaa muodostua jopa nollajohtimen lämpeneminen liian pienen mitoituksen johdosta. Vanhoissa rakennuksissa nousujohdoissa nollajohtimen poikkipinta-ala voi olla vain puolet vaihejohtimesta (Konturi&Ålander, 2008,11). Nämä asiat tulee ottaa huomioon suuria ryhmiä tai kokonaisuuksia muutettaessa hehkulamppukuormasta energiansäästölamppuihin.

## **7.2 Valaistusominaisuudet**

Uusien lamppujen valitseminen ei saa perustua pelkkään energiansäästöön. Lamppuja valitessa tulee huomioida kyseisen kohteen tarpeet ja valaistusominaisuudet eivät saa ainakaan huonontua uusien lamppujen myötä. Valaistusominaisuuksia tulisikin mieluummin parantaa uusien tekniikoiden avulla.

Perinteistä valintatapaa eli lampun wattitehoon perustuvaa valintaa joudutaan uusien lamppujen myötä muuttamaan. Valittaessa uusia lamppuja vanhojen tilalle tulee ottaa huomioon vanhan hehkulampan valovirta ja valita uusi lamppu vastaamaan vähintään kyseistä valovirran luumen arvoa. Pienloistelamppujen kohdalla tulee ottaa huomioon myös valovirran alenema eliniän aikana ja valita mieluiten hieman suuremmalla valovirralla varustettu pienloistelamppu kuin vanha hehkulamppu.

Lamppujen valotehokkuus on kriteeri, jolla hehkulamppu direktiivi kieltää hehkulamppujen markkinoinnin Euroopassa. Hehkulamppujen valotehokkuus on vain 10-12 lm/W, kun muilla lamppumalleilla se on parempi (taulukko 15). Nyt pienloistelamppuja voidaan valmistaa myös samankokoisina kuin hehkulamppuja kehittyneiden elektronisten liitännälaitteiden avulla ja niiden värintoistoluokka ja värilämpötila ovat myös hehkulampun tasolla.

**TAULUKKO 15. Lamppu vertailua**

Lamppu	Valotehokkuus [lm/W]	Värintoistoluokka Ra-indeksi	Värilämpötila CCT [K]	Elinikä [h]
<b>Hehkulamppu</b>	9-12	100	2700	1000
<b>Halogeeni C</b>	12-15	100	2800	2000
<b>Halogeeni B</b>	15-22	100	2800	3000
<b>Pienloistelamppu (ilman kupua)</b>	50-65	80-90	2500–6500	6000 - 15 000
<b>Pienloistelamppu (kuvullinen)</b>	40-55	80-90	2500–6500	6000 - 15 000
<b>LED</b>	40-60	80-	2700–6000	10000- 100 000
<b>Led teoreettinen</b>	400	80-		

Sähköisiltä ominaisuuksiltaan halogeeni on samanlainen kuin hehkulamppu, mutta pienloiste- ja led-lamput ovat erilaisia. Pienloistelamput tuottavat verkkoon haitallisia yliaaltoja ja ne vaativat elektronisia liitännälaitteita. Ledit ovat tulevaisuuden ratkaisu- ja valaistukseen. Kun niihin liittyviä ongelmia saadaan paranneltua varsinkin värintoistokyvynosalta, niin sen jälkeen myös hinta tulee laskemaan. Ne eivät myöskään kestä lämpöä eivätkä siten sovi kaikkiin olosuhteisiin. Ne tuottavat myös itse paljon lämpöä ja sen pois johtaminen on tärkeää ja kehitystä vaativaa tulevaisuuden varalle.

Ulkonäkö on myös erittäin tärkeää vanhaa lamppua korvattaessa. Nykyään on tehty paljon hehkulampun näköisiä pienloiste- ja led-lamppuja ja niitä kehitellään kokoajan lisää. Halogeenilamput ovat samannäköisiä kuin hehkulamput. Valaisimissa, joissa lamppu jää piiloon voidaan käyttää myös perinteisiä kuvuttomia pienloistelamppuja sekä erilaisia led lamppuja.

### 7.3 Käyttökustannukset

Käyttökustannuksiltaan erot hehkulamppuihin tulevat parhaiten esille korvaavien lamppujen pidemmän eliniän ja pienemmän energiankulutuksen kohdalla. Pienloistelamput kestävät keskimäärin kymmenen kertaa pidempään kuin hehkulamput ja led lamput 20–50 kertaa pidempään. Näin niiden vaihtamiseen liittyvät työkustannukset jäävät paljon pienemmiksi kuin hehkulampuilla. Tästä on etenkin hyötyä silloin kun lamput ovat vaihtamisen kannalta hankalassa paikassa. Kirkoissa tämä on yleistä lamppujen sijaitessa korkealla ja kiinteiden penkkien takia telineiden rakentaminen ja siirtäminen on usein hankalaa.

Kustannuksia saattaa tulla, jos valaisimia joudutaan vaihtamaan paremmin uusille lamppuille sopiviksi. Myös valaistuksen ohjaus- ja säätöjärjestelmiä joudutaan usein uusimaan vaihdettaessa hehkulamppuja uusiin vaihtoehtoihin. Näistä aiheutuu kuluja vaihtohetkellä, mutta sen jälkeen uusien lamppujen pienempi energiankulutus kuolettaa kustannukset pidemmän päälle. Uusien ohjausjärjestelmien myötä myös valaistuksen ohjaamisella voidaan saada säästöjä aikaan.

## 8 KIRKKOJEN VALAISTUS

Kirkkotilojen valaistuksessa pitää ottaa huomioon monia asioita. Tähän vaikuttavat kirkon käyttö erilaisissa tilaisuuksissa, kirkossa kävijöiden korkea ikä sekä vanhojen kirkkojen kuuluminen museoviraston suojeluun. Kirkon valaistuksessa on kiinnitettävä huomiota valaisimien ja lamppujen ulkonäköön, eikä niitä voi muuttaa aina teknii-  
kan kehittyessä. Valo tulisi myös suunnata sinne missä sitä tarvitaan. Valon värisävyn tulisi myös noudattaa perinteistä kynttilän valoa eli sen tulee olla lämminsävyistä kirkkotilan tunnelman takia. (Jokinen, 2010)

Valaistuksen muutoksia harkittaessa tulee ottaa huomioon myös kirkkojen paloturvallisuus. Uusien lamppujen vaihtaminen voi aiheuttaa muutoksia kirkon paloturvallisuuteen. Halogeeni lamput ovat pinnaltaan kuumempia kuin hehkulamput. Tämä on otettava huomioon niiden sijoittelussa esimerkiksi suljettuihin valaisimiin tai palavan materiaalin kuten puun läheisyyteen. Energiansäästölamppuissa tulee ottaa huomioon joh-  
timien etenkin nollajohtimen poikkipinta-ala ja eristys. Liian pieni poikkipinta-ala

nollajohtimessa saattaa yliaaltojen summautumisen takia nostaa sen lämpötilaa ja huonoeristys aiheuttaa jopa tulipalon vaaran (Konturi & Ålander, 2008).

## 8.1 Kirkkojen suojelu

Vuonna 1993 annetun kirkkolain mukaan ennen 1917 rakennettu kirkollinen rakennus on suojelunalainen ilman erillistä päätöstä. Tämän lisäksi suojeltujen rakennuksien joukkoon on lisätty 44 rakennusta, jotka ovat rakennettu vuoden 1917 jälkeen (Pihkala, 2010). Kirkollisiksi rakennuksiksi lasketaan myös kellotapulit, siunaus- ja hautakappelit ja muut näihin rinnastettavat osat sekä kirkkopiha aitoineen ja portteineen. Suojelu kohdistuu myös rakennuksen kiinteään sisustukseen ja maalauksiin sekä taideteoksiin. (Knapas, 2003,7)

Suojeltujen rakennuksien kohdalla muutoksia tehdessä tulee olla yhteistyössä museoviraston ja kirkkohallituksen kanssa ja hyväksyttää muutokset. Vanhojen kirkkojen valaistuksen uudistamiseen on myös annettu ohjeita ja se tulee tehdä museoviraston kanssa yhteistyössä. Uudistuksilla ei ole tarkoitus muuttaa kaikkea uudenaikaiseksi, vaan ennemminkin tulisi säilyttää kaikki perinteiden mukaisina ja niin alkuperäisinä kuin mahdollista, vaikka uutta tekniikkaa hyödynnettäisiin. Kirkot ovat tärkeä osa rakennuskulttuuriamme ja ne edustavat rakennusperinnettämme pitkältä aikaväliltä. Säilyttämällä niin paljon rakenteita ja sisustuksia alkuperäisinä kuin mahdollista, voi kirkko silloin edustaa oman aikakautensa rakennusperinnettä.

Kirkkolain 14. luvun 2.§:n mukaan suojelemattomien kirkollisten rakennusten korjaaminen, joka olennaisesti muuttaa sen ulko- tai sisäasua on alistettava kirkkohallituksen vahvistettavaksi (Kirkkolaki). Valaistukseen muutos voi olla olennainen muutos kirkon sisäasuun. Sen muuttaminen toisenlaiseksi, voi siis vaatia kirkkohallituksen hyväksynnän myös kirkoissa, jotka eivät ole suojeltujen kohteiden listalla. Tämä asia tulee siis aina selvittää valaistusta muutettaessa. Antti Pihkalan mukaan tällaisista olennaisista muutoksista on paljon esimerkkejä Suomen kirkoissa.

## 8.2 Valaistuksen muunneltavuus

Kirkkojen valaistuksen tulee sopia moniin erilaisiin tilanteisiin. Valaistuksen muunneltavuus on tärkeä osa kirkkojen ilmettä. Valaistuksen avulla voidaan luoda erilaisia

tunnelmia kirkon tilaisuuksiin. Kirkon valaistuksen tulisi koostua eri elementeistä ja sen tulisi myös vahvistaa ja tukea kirkon arkkitehtuuria, perinteistä kynttilä valaistusta sekä erilaisia tilaisuuksia.

Kirkon perusvalaistuksen tulee sopia niin juhlavalaistukseen kuin myös arkiseen valaistukseen. Sen avulla voidaan luoda myös rauhallista tunnelmaa kirkon sisälle. Valaistuksella tulee voida tehostaa kirkon juhlallisia tilaisuuksia. Sen tulee myös tuntua ihmisistä hyvältä ja rauhalliselta. Valaistuksen tulee myös antaa tarpeeksi valoa sinne missä sitä tarvitaan eli kirkon penkkeihin. Se ei myöskään saa olla häiritsevän kirkas tai väriominaisuuksiltaan kirkon yleisilmeestä poikkeava. Tällöin se voi toimia ristiriidassa kirkon arkkitehtuurin kanssa ja tehdä tilasta rauhattoman tuntuisen. Perusvalaistuksen avulla saadaan myös kirkkoon tunnelmallinen hämärä valaistus etenkin iltatilaisuuksiin ja hartaushetkiin, joihin ei haluta kirkasta valaistusta.

Perusvalaistusta voidaan täydentää kohdevalaistuksella. Tähän on erityisesti tarvetta erilaisissa konserteissa ja näytelmissä, joissa valaistuksella halutaan korostaa tai kiinnittää huomiota tietyille alueille. Kohdevalaistuksella voidaan myös lisätä alttari alueen valaistusta. Se ei kuitenkaan saa olla häikäisevää eikä valo-ominaisuuksiltaan liikaa erota perusvalaistuksesta. Kohde valaistuksen avulla voidaan myös korostaa kirkon arkkitehtuuria sekä taideteoksi.

Kiinteän kohdevalaistuksen lisäksi voidaan käyttää siirreltävää kohdevalaistusta erilaisen valaistuksen ja tunnelman luomiseen konsertteihin. Kiinteää valaistusta ei kannata suunnitella kattamaan kaikkia tilaisuuksia, vaan sen tulee vain täydentää perusvalaistusta ja auttamaan tunnelman luonnissa ja huomion keskittämisessä vain normaaleihin tilaisuuksiin ja konsertteihin. Suurimpiin tapahtumiin voidaan sitten tuoda lisävalaistusta tarpeen vaatiessa.

Valaistusta suunniteltaessa kannattaa pyytää apuun valaistussuunnittelija. Hän osaa ottaa huomioon asiat, joita tavalliset sähkö- tai valaistusliikkeet eivät osaa ottaa huomioon. Suunnitelmista on myös oltava ajoissa yhteydessä museovirastoon ja pyytää heidän lausuntoaan suunnitelmista. Suunnittelu vaiheeseen kannattaa ottaa mukaan myös valaistusta käyttävät työntekijät eli suntiot, koska he tuntevat kaikki tarpeet joita valaistukselta edellytetään erilaisten tilaisuuksien osalta.

### 8.3 Valaistuksen huolto ja työturvallisuus

Valaistussuunnittelussa tulee ottaa huomioon myös valaisimien huoltaminen. Valaisimet ovat kirkoissa usein korkealla ja tällöin työturvallisuus täytyy ottaa huomioon. Valaisimissa on yleensä useita lamppeja ja lamput ovat usein näkyvissä. Valaisimissa, joissa lamput ovat piilossa, voidaan käyttää ryhmävaihtoa, kun tarpeeksi moni lamppu on palanut. Valaistusvoimakkuus ei kuitenkaan saa laskea liikaa ennen lamppujen vaihtoa. Lamppujen ollessa näkyvissä valaisimissa, joudutaan tekemään yksittäisvaihtoja sitä mukaan, kun lamppuja palaa.

Lamppuja vaihdettaessa täytyy työturvallisuuteen kiinnittää huomiota. Kirkoissa lamput sijaitsevat yleensä korkealla ja hankalissa paikoissa. Yleistä onkin erilaiset teline- ja tikasviritelmät, joiden avulla lamppuja vaihdetaan. Usein tämän lisäksi vaaditaan lampunvaihtajalta akrobatia suorituksia sekä hieman uhkarohkeutta. Lamppujen vaihto tulisikin suorittaa asianmukaisilta telineiltä tai henkilönostimella.

Tikkaat eivät useinkaan ole sallittu apuväline kirkon lamppujen vaihtamisessa. Nojattikkaita ei saa käyttää työskentelyyn ollenkaan, vaan niillä saa vain siirtyä tasolta toiselle. A-tikkailla saa tehdä töitä normaaliin huonekorkeuteen asti. Kirkon lamput kuitenkin harvoin sijaitsevat normaalissa huonekorkeudessa eli alle 2,5 metrissä. Tämän takia lamppujen vaihtaminen A-tikkailla ei yleensä ole sallittu eikä turvallinen apuväline kirkkojen lamppujen vaihtamisessa.

Rakennustelineet ovat paras ja turvallisin tapa kirkkojen lamppujen vaihtamiseen. Niiden ongelmana on telineiden säilytyksen vaatima tilantarve. Telineiden kokoaminen vaatii myös työtä ja se tulee tehdä ohjeiden mukaisesti. Kirkkojen kiinteät kalusteet asettavat telineiden kokoamiseen ja siirtelyyn myös omat haasteensa. Tilaan täytyy valita oikeanlaiset telineet ja niiden kokoajan tulee olla perehdytetty telineiden turvalliseen kokoamiseen ja niillä työskentelyyn. Telineiden tulee myös täyttää niitä koskevat vaatimukset ja standardit. Telineiden kuntoa tulee myös valvoa.

Henkilönostimet ovat hyvä ja turvallinen apuväline lamppujen vaihdossa rakennuksissa, joissa niitä voidaan käyttää. Nostimien ongelmana on niiden paino, koko ja tukijalkojen vaatima tila. Vaikka nostin voitaisiinkin ajaa ovista kirkkoon, niin sen käyttö rajoittuu usein vain pääkäytävälle ja alttarialueelle. Kirkon kiinteät penkit rajoittavat

tukijalkojen levittämistä monin paikoin. Pienien nostimien ongelmana on myös varsin rajoittunut sivuttaisulottuvuus. Ne saattavat ylettyä hyvin suoraan päällä oleviin valaisimiin, mutta valaisimen ollessa sivummalla niiden ulottuvuus ei usein riitä.

Henkilöt, jotka käyttävät telineitä tai nostimia, tulee opastaa ja perehdyttää laitteiden turvalliseen käyttöön. Perehdyttäminen on hyvä tehdä ennalta laadittujen kirjallisten ohjeiden mukaisesti. Perehdyttäjän tulee olla itse koulutettu ja perehtynyt kyseisen laitteen turvalliseen käyttöön. Perehdyttäminen käydään läpi ohjeiden mukaisesti ja lopuksi perehdyttäjä ja perehdytetty vahvistavat allekirjoituksellaan perehdyttämisen. Jos laitetta käytetään harvemmin, tulee perehdytys tehdä uudelleen tai ainakin varmistaa, että kyseinen henkilö muistaa laitteen käyttö- ja turvallisuusohjeet. Laitteiden turvallisuudesta vastaavan henkilön tulee myös varmistaa, että laitteille on tehty lain vaatimat huollot ja tarkastukset.

Kirkkoon tulisi hankkia sinne parhaiten sopivat apuvälineet lampun vaihtoon. Telineet on hyvä hankkia, vaikka osassa valaisimissa olisi mahdollista käyttää omaa tai vuokrattua henkilönostinta apuna. Vaarana pelkän nostimen käytössä on se, että paikat joihin nostin ei ylety kiivetään sitten tikkaiden avulla. Parempi vaihtoehto on käyttää telineitä ja täydentää niitä nostimella tarpeen mukaan. Nostin on hyvä apuväline ulkona tapahtuviin lampun vaihtoihin. Siellä se toimii telineitä paremmin ja nopeammin.

Suurimpiin kiinteistöihin on hyvä hankkia omat telineet. Tällöin varmistutaan siitä, ettei telineiden vaivalloisen hankkimisen ja kuljettamisen tai yllättävän lampunpalamisen takia vaihtamiseen ryhdytä tikapuiden avulla. Kiinteistön omien telineiden avulla varmistetaan telineiden sopiminen juuri kyseiseen kiinteistöön. Niiden avulla voidaan tehdä monia muitakin kirkoissa yleisiä töitä turvallisemmin. Lampunvaihdon lisäksi kirkoissa usein tehdään pieniä korjauksia sekä koristeluja eri tilaisuuksiin. Näissä telineet ovat paljon turvallisemmat kuin perinteiset A-tikkaat. Työntekijät myös tottuvat käyttämään telineitä luonnollisena osana työtään ja kiinnittävät entistä enemmän huomiota työturvallisuuteen muutenkin.

Lampunvaihtamiseen liittyy putoamisenlisäksi myös sähköiskun vaara. Lamput tulisi aina vaihtaa virrattomina. Valaisimissa, joissa on useita lamppuja pidetään usein virrat päällä, jotta tiedetään mitkä lamput ovat palaneet. Lampuista tulisi kuitenkin aina sammuttaa virta vaihdon ajaksi ja estää myös virran tahaton päälle kytkeminen.



Valaisimien ohjaus on usein kaukana lamppuista, joten turvallisinta on ottaa sulake irti lampun vaihdon ajaksi. Jos lamppuja täytyy sytytellä välillä uuden testaamista tai palaneen lampun löytämistä varten, voidaan sulake jättää paikoilleen. Tällöin yhden henkilön on kuitenkin oltava kokooajan ohjaustaulun luona estämässä ketään kytkevästä jännitettä valaisimeen. Tällöin tulee myös huomioida, että sama valaisin voidaan sytyttää useammasta eri paikasta, jolloin kaikki nämä on varmistettava tahattoman päälle kytkemisen estämiseksi.

Lampunvaihtamiseen liittyvää turvallisuutta voidaan parantaa myös lamppujen ja valaisimien toimintaan liittyvillä asennuksilla ja muutoksilla. Valaisimille voidaan rakentaa erilaisia systeemejä, joilla niitä voidaan laskea alas lamppujen vaihtamista helpottamaan. Lamppujen polttoikään kannattaa myös kiinnittää erityistä huomioita valaisimissa, jotka sijaitsevat korkealla tai hankalissa paikoissa. Silloin kannattaa panostaa laadukkaisiin pitkäikäisiin lamppuihin vaikka ne olisivatkin reilusti markettien lamppuja kalliimpia.

Valaisimia kannattaa myös kytkeä useisiin erilaisiin ryhmiin. Valaisimia, joiden huolto ja lamppujen vaihtaminen on hankalaa, käytetään vain tietyissä tilanteissa. Siivouksen ja harjoitusten aikana käytetään valaisimia, joiden lamppujen vaihtaminen on helpompaa. Hankalammissa paikoissa olevia lamppuja voidaan myös kytkeä eri ryhmiin, jolloin niiden käyttöä voidaan vuorotella ja näin saadaan lamput kestävämpään pidempään.

Hehkulamppuvalaisimia voidaan myös käyttää lamppujen normaalijännitettä pienemmällä jännitteellä. Lampun elinikä saadaan kaksinkertaiseksi, kun jännitettä alennetaan 5 % lampun normaalista käyttöjännitteestä. Liiallisella jännitteen laskemisella ei saa kuitenkaan heikentää lamppujen valovoimakkuutta ja kirkon valaistusominaisuuksia.

Kohdevalaisimet olisivat myös sijoiteltava niin, niin että niiden vaihto olisi mahdollista ja mahdollisimman helppoa sekä turvallista. Myös kohdelamppuja valittaessa kannattaa miettiä tulisiko hieman kalliimmat ja kestävämmät lamput pitkällä tähtäimellä edullisemmiksi ja ennen kaikkea turvallisimmiksi. LED-lamput saattavat olla hyvä ratkaisu kohdelamppuihin tulevaisuudessa. Kohdelamppujen elinikää voidaan myös

pidentää käyttämällä niitä vain tarvittaessa. Lamppuja voidaan myös kytkeä eri ryhmiin, jolloin voidaan käyttää vain niitä, joita tarvitaan.

Valaisimia muuteltaessa ovat johdotukset tehtävä valaisimien alkuperäistä rakennetta rikkomatta. Näistäkin asioista tulee olla yhteydessä museovirastoon ja kirkkohallitukseen.( Jokinen, 2010) (Pihkala, 2010)

## **9 KOHTEET**

Kohteina työssä oli Mikkelin seurakuntayhtymän kirkkoja ja Harjun kappeli. Kirkoista maaseurakunnan kirkko ja Tuomiokirkko ovat varsin suuria kirkkoja, joissa on paljon hehkulamppuja kirkkosalia valaisemassa. Näissä kirkoissa lamppujen vaihtamiseen liittyy varsin suuri kertainvestointi ja sen takia haluttiin etukäteen tutkia eri vaihtoehtojen kustannusvaikutuksia.

Kävin tutustumassa kohteiden nykyiseen valaistukseen ja kyselemässä henkilökunnan mielipiteitä sen käytöstä ja ominaisuudesta Kohteissa oli vanhanaikaisia kruunuvalaisimia sekä muutamassa kohteessa uudempia jo pienloistelampuille suunniteltuja valaisimia.

Kirkkojen käyttö tilaisuuksissa on eräs peruste lamppujen vuotuisen polttoaikaan. Mikkelin tuomiokirkko on aika suuressa käytössä, kun taas Anttolan kirkko on pienemmässä käytössä. Harjun kappelin käyttö keskittyy loppuviikkoon ja etenkin lauantaihin. Laskuissa kirkkojen vuotuiseksi lamppujen polttoaika on laskettu 1000 h mukaan eli noin 3 tuntia päivässä.

### **9.1 Maaseurakunnan kirkko**

Maaseurakunnan kirkko on vuonna 1817 valmistunut puukirkko. Kirkon rakennusmestarina toimi kuulu kirkonrakentaja Matti Salonen. Hänen johdolla kirkko rakennettiin vuosien 1816–1817 aikana arkkitehti Charles Bassin piirustusten mukaan.. Kirkko rakennettiin vanhan kirkon tilalle, jonka paloi salaman iskun seurauksena 7.8.1806. Uusi kirkko rakennettiin Kaukolan torpan maille eli se sijaitsee nykyisen Mikkelin keskustan tuntumassa. Kirkosta haluttiin samantapainen kuin vanha palanut-

kin kirkko oli ollut, mutta ilman korkeaa tornia salaman iskun pelossa. (Wirilander, 1968.)

Kirkkoa on korjattu perusteellisesti vuosien 1872–1879 aikana, jolloin siihen hankittiin B.A.Thulen valmistamat urut ja Amalie Lundhalin tekemä alttaritaulu, joka on jäljennös Proudhonin Louvressa säilytettävästä Jeesusta ristillä esittävästä maalauksesta. Kirkon kattomaalaukset on tehnyt arkkitehti A.Salmenlinna ja lasimaalaukset Rafael Blomstedt. Kirkkoa on korjailtu tämänkin jälkeen useaan otteeseen perusteellisesti ja sinne mahtuu noin 2000 henkeä.(Mikkelin verkkosivut)

Kirkkosalissa on perinteisiä kynttiläkruunuvalaisimia (*kuva 14*) sekä uudenaikaisempia valaisimia ja seinävalaisimia. Kynttiläkruunuja on yksi isompi kirkon keskellä ja kaksi pienempää keskikäytävällä isomman kruunun edessä ja takana. Kruunuissa on 40 W kynttilälamput E14 kannoilla ja himmeällä kuvulla. Kuvassa 14 näkyvissä jalallisisissa kyntteliköissä alttarialueen edessä on kummasakin 7 kpl 40 W kynttilälamppuja E14 kannalla.



**KUVA 14. Maaseurakunnan kirkon kynttiläkruunut. Iso kruunu ja alttarin kyntteliköt ovat vasemmalla ja pienempi kruunu on oikealla. Lamppuina 40 W kynttilälamppu himmeällä kuvulla ja E14 kannalla.**

Kuvan 14 kruunuissa on yhteensä 46 kappaletta 40W kynttilähehkulamppuja pienellä kannalla. Kruunujen sähköteho on siis yhteensä 1840 W eli 1,84 kW. Samanlaisia

kynttilälamppuja on alttarialueen lattiakyntteliköissä 14 kappaletta. Yhteensä kynttilälamppuja on kirkkosalissa siis 60 kpl ja niiden sähköteho on  $60 \cdot 40\text{W} = 2400\text{ W}$ .

Kirkon uudemmat valaisimet ovat pyöreänmuotoisia ja niitä on yksi- ja kaksitasoisia (kuva 15). Yksitasoisia on 2 kpl, joissa on 16 kappaletta 40 W lamppuja E27 kannalla. Kaksitasoisia on 8 kpl, joissa on 40 kappaletta 40W lamppuja E27 kannalla. Valaisimissa on valkeaksi maalattu heijastinlevy, jonka avulla on tarkoitus ohjata valoa alaspäin, jossa sitä tarvitaan. Samantyyppisiä valaisimia on myös parvien alla katoissa (kuva 16) ja seinillä.



**KUVA 15. Yksi- ja kaksitasoiset uudemmat kruunut, joissa lamppuina 40W himmeäkupuinen hehkulamppu E27 kannalla.**

Kuvissa 15 ja 16 olevissa lamppuissa on yhteensä 476 kpl himmeäkupuisia 40W hehkulamppuja E14-kannalla. Niiden sähköteho on yhteensä  $476 \cdot 40\text{W} = 19\,040\text{ W}$  eli 19,04 kW. Valaisimet ovat himmennettävissä niin kuin kruunutkin ja niiden sähköteho laskee himmennettäessä. Edellä lasketut luvut olivat siis täydellä teholla laskettuina.



**KUVA 16. Parven alakaton valaisimet ja seinävalaisimet (40W E27)**

Kirkkosalin valaisimissa on siis yhteensä 536 hehkulamppua, joiden sähköteho on yhteensä 21,44 kW. Ne kuluttavat sähköä tunnin aikana 21,44 kWh, jonka kustannukset ovat  $21,44 \text{ kWh} * 0,128 \text{ €/kWh} = 2,74 \text{ €}$ . Hintaan on käytetty ESE:n alv:n sisältäviä sähkönmyynti/siirtohintoja 1.1.2011 hinnastosta, jossa energiamaksu on 6,90 snt/kWh ja siirtomaksu 3,81 snt/kWh ja sähkövero 2,095 snt/kWh eli yhteensä 12,81 snt/kWh.

Kirkossa on myös kohdevalaisimia, joita on suunnattu kattoon sekä alttarialueelle *kuva 17*. Eco-design direktiivi ei koske suuntaavia lamppeja, mutta niille on tulossa oma direktiivi ilmeisesti vuoden 2011 aikana. Kirkossa on suuntaavia lamppeja antamassa lisävaloa saliin, alttarialueelle, parville sekä valaisemassa kattomaalausta. Lamppuina on PAR38 120W 30° kohdelamppuja E27 kannalla sekä 300W kohdelamppuja. 120W lamppeja on noin 44 kappaletta, joiden sähköteho on yhteensä 5,28 kW ja 300 W lamppeja 10 kpl eli niiden sähköteho on 3,0 kW. Näitä lamppeja ei käytetä kuin tilaisuuksien aikana.



**KUVA 17. Kohdevalaisimia kattoparruissa**

Kirkon valaisimia voidaan ohjata valaisintaulusta sakastin seinältä ja valaisimet ovat himmennettävissä vanhoilla Helvarin himmentäjillä kuva 18. Himmennys on jaettu yhdeksään eri ryhmään ja niiden ohjaaminen liukuhimmentimillä yhtä aikaa on hanka-

laa. Toiveena olisikin uudenaikaisempi valojen ohjausyksikkö ja himmennykset voisi olla jaettu vain kolmeen eri ryhmään.



**KUVA 18. Valaisinohjaustaulu ja himmennin**

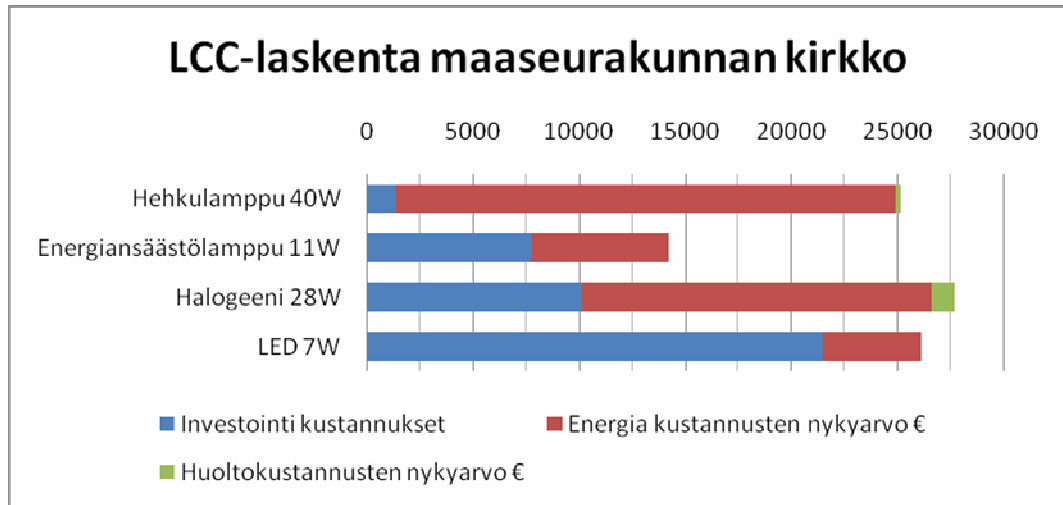
Kirkko on yleisilmeeltään hämärä, joten valojen käyttö on tarpeellista siivouksen, harjoitusten ja tilaisuuksien valmistelujen aikana. Keskimäärin yhtä tilaisuutta varten poltetaan kokemukseni mukaan valoja noin kolme tuntia. Kesällä tämä on vähemmän mutta talvella usein enemmän. Luku sisältää tilaisuuteen liittyvää harjoittelua, valmistelua sekä loppujärjestelyä. Tällöin yhden tilaisuuden valaistuksen hinnaksi tulisi hehkulamppujen osalta  $3 \cdot 2,74\text{€} = 8,22\text{€}$ . Lukuun täytyy ottaa tietysti huomioon tiloissa käytettävien kohdevalaistuksien sähkötehon määrä.

### 9.1.1 Vertailu

Kun lasketaan kustannuksia eri lamppujen kesken, voidaan käyttää LCC-laskentaa (life cycle coast) eli elinkaarilaskentaa. Tässä kustannukset diskontataan alkuarvoon ja näin niitä voidaan vertailla keskenään. Energianhinnoissa on otettu huomioon energianhintojen suurempi nousu muihin hintoihin verrattuna. Huoltokustannukset on laskettu lampunvaihdolle. Lampun vaihto on laskettu tehtävän ryhmävaihtona ja työn hinnaksi on laskettu 20 €/h ja lampunvaihtoajaksi 2min/lamppu. Lampunvaihtoaikaa arvioitaessa on siihen sisällytetty telineiden pystytys ja siirto. Lamppujen hintana on käytetty lampun lista hintaa ilman arvonlisäveroa eikä siihen ole otettu myöskään huomioon seurakunnan saamia alennuksia.

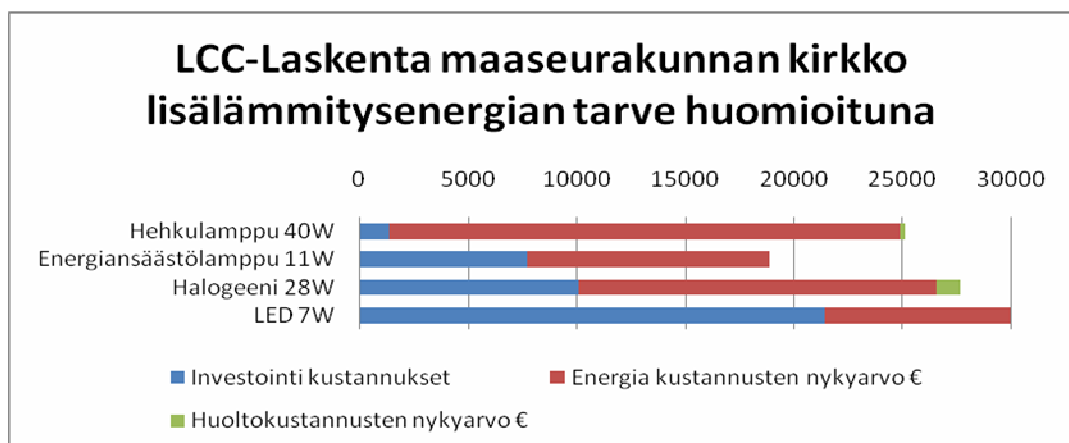
Lampun vaihdosta tulevat kustannukset on diskontattu nykyhetkeen, kun taas vertailu-aikana käytettävät lamput on oletettu ostettavan kaikki kerralla vertailun alussa.

**TAULUKKO 15. Maaseurakunnan kirkon valaistuksen LCC-laskenta**



Maaseurakunnan kirkon vertailussa taulukosta 15 huomataan pienloistelamppujen tulevan maksamaan 14 213 euroa kymmenen vuoden laskenta-ajan aikana. Hehkulamppujen kustannus on taas 25 311 euroa eli noin 11 000 euroa enemmän kuin pienloistelamput. Taulukosta huomataan myös pienloistelamppujen kustannusten tulevan investoinnista ja hehkulamppujen kustannukset muodostuu suurimmalta osaltaan energiakustannuksista. Vertailussa halogeeni tulee kalleimmaksi johtuen sen hehkulamppua suuremmasta hinnasta ja lyhyemmästä käyttöiästä. Halogeenin polttoikä on 2000 tuntia, kun taas vertailussa on käytetty pitkäikä hehkulamppu, jonka polttoiäksi ilmoitetaan 6000 tuntia. LED-lampun hinta koostuu pääasiassa sen korkeasta hinnasta.

**TAULUKKO 16. LCC-laskenta, jossa on huomioitu lisälämmitysenergian tarve.**



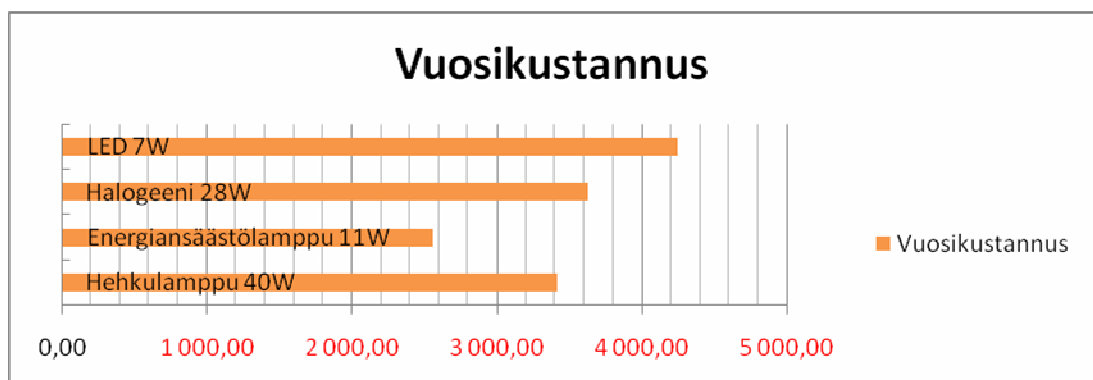


Kun laskentaan otetaan huomioon hehkulamppujen lämmitysvaikutus huomataan, että ero pienloistelamppuihin kaventuu. Pienloistelamppujen pienempää lämmitysvaikutusta joudutaan täydentämään kaukolämpölämmityksellä. Kaukolämmön hinnaksi on laskelmissa oletettu 5 snt/kWh. Pienloistelamppujen kustannukset nousevat 18 887 euroon. Ne ovat siis melkein 5000 euroa enemmän, kuin jos lisälämmitystarvetta ei huomioitaisi. Tästä huolimatta pienloistelamput ovat vielä halvempi vaihtoehto kuin hehkulamput. Hintaeroksi lamput tulisi vertailun aikana noin 6500 euroa.

Laskuissa ei ole otettu huomioon ennen aikaista vikaantumista, joka nostaa energiansäästölamppujen kustannuksia reilusti hehkulamppujen kustannuksia enemmän. Energiansäästölamppujen nimellinen polttoikä on 10 000 h eli vertailulaskuissa 10 vuotta. Tuon ajan tulee kestää 50 % lamput eli tänä aikana voidaan joutua vaihtamaan puolet energiansäästölamputa. Tästä tulee pelkinä investointi kustannuksista lisää  $268 \text{ kpl} * 14 \text{ €} = 3752 \text{ €}$ . Hehkulamppuja voidaan myös joutua vaihtamaan, mutta niiden kustannukset jäävät pienemmiksi. Hehkulamppujen ylimääräiset investointi-kustannukset ovat  $2 * 268 \text{ kpl} * 1,45 \text{ €} = 690 \text{ €}$ . Voidaan siis olettaa pienloistelamppujen tuovan 10 vuoden aikana noin 3500 € halvemmaksi.

Vuosikustannuksiltaan energiansäästölamput ovat halvin vaihtoehto ja LED-lamput kallein vaihtoehto (taulukko 17). LED-lamppujen ja energiansäästölamppujen hintaeroksi vuosikustannuksina on noin 1700 euroa. Hehkulamppujen ja energiansäästölamppujen vuosikustannuksissa on eroa noin 900 euroa energiansäästölamppujen hyväksi. Hehkulamppujen ja halogeenilamppujen vuosikustannuksissa on eroa noin 300 euroa. Halogeenilamput ovat kalliimpia ja lyhyt ikäisempiä, mutta ne kuluttavat vähemmän energiaa.

**TAULUKKO 17. Maaseurakunnan kirkon lampun vaihdon vuosikustannus**





Pienloistelamppuja eikä LED-lamppuja voida himmentää nykyisillä laitteilla, joista tulee lisäkustannuksia. Hintaero hehkulamppuihin kutistuu nopeasti, kun energiansäästölamppuille hankitaan uusia sopivia himmennyslaitteita. Tällä hetkellä ei ole vielä energiansäästölamppuille näin suuressa mittakaavassa olevia himmentimiä vaan niitä jouduttaisiin virittelemään ja kokeilemaan niiden toimintaa ilman täyttä varmuutta niiden toiminnasta ja häiriöistä muihin laitteisiin.

Energiansäästölamppun valovirta on 170 lm enemmän kuin hehkulamppun. Tämä parantaisi kirkon valaistusta hehkulamppuihin verrattuna. Raunion mittauksien mukaan kuvulisilla pienloistelampuilla valovirran alenema oli kuitenkin 15-20 % ensimmäisen 2000 tunnin aikana. Tämä vähentäisi energiansäästölamppun valovirran suuruuden enään noin 80 lm suuremmaksi kuin hehkulampulla. Pienloistelamppun ollessa valaisimessa kanta alaspäin se saavuttaa parhaan valotehon 20 asteen lämpötilassa. Valaisimessa missä olisi monta energiansäästölamppua ympäristön lämpötila nousisi yli 30 asteen, joten valoteokkuus alenisi noin 10 %. Vielä kun otetaan huomioon energiansäästölamppun erilainen valonjakokäyrä, huomaamme alasään suuntautuvan valon olevan lähellä hehkulamppun valomäärää ja jopa pienemmän. Tämän takia valaistusta parannettaessa tulisi vielä ottaa yhtä kokoa suurempi hehkulamppu.

### **9.1.2 Ehdotus**

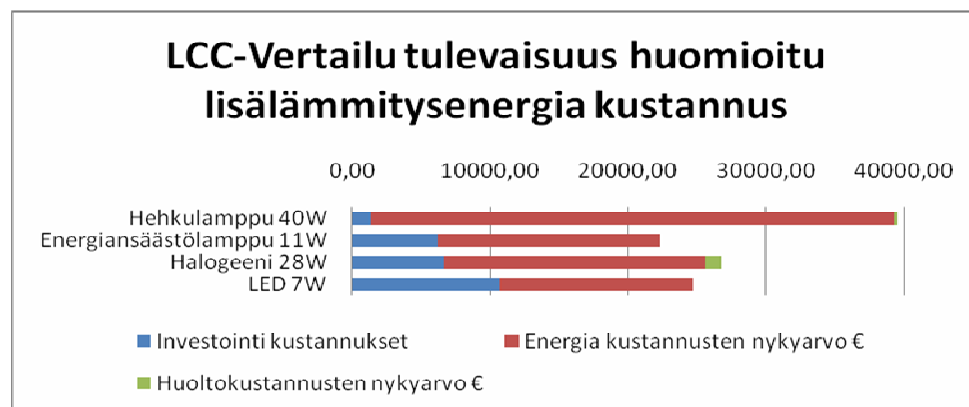
Lamppujen vaihtaminen energiansäästölamppuiksi tulee halvemmaksi, mutta tällöin joudutaan tekemään muutoksia valojen ohjausjärjestelmään. Jos kirkon valaistuksessa luovutaan himmennyksestä, saadaan vuotuisia säästöjä aikaan. Haluttaessa säilyttää himmennyskäyttö kirkossa ei valojen vaihtaminen energiansäästölamppuiksi ole vielä välttämättä kannattavaa.

Energiansäästölamppujen himmentäminen ei ole vielä tullut yleiseksi. Isommat himmentimet on tehty pienloistelampuille eivätkä ne sovi energiansäästölamppuille. Energiansäästölamppuja voidaan nykyään himmentää normaaleilla hehkulamppuhimmentimillä, mutta ne sopivat vain pienen määrän himmentämiseen. Pienloistelamppujen himmentämiseen sopiva elektroniikka on itse valaisimessa eikä energiansäästölamppun kantaan ole saatu vielä kehitettyä samanlaista ja yhtä hyvää elektroniikkaa.

Suurempien ryhmien himmentämiseen joudutaan kehittelemään siihen sopivia laitteita. Näitä voi olla siniaaltohimmentimet tai PWM-himmennin ratkaisut. Tällaisissa tilanteissa tulee ottaa myös huomioon himmentämisen tuottamat häiriöt esimerkiksi äänentoistoon. Myös energiansäästölamppun kantaan kehiteltävä uusi elektroniikka voi parantaa niiden hyötysuhdetta ja helpottaa lampun sopimista himmennykseen.

Lamppujen vaihtaminen tulee entistä kannattavamaksi, jos nykyinen energianhinnan nousu jatkuu samanlaisena ja uusien lamppujen tekniikka paranee edelleen samaan tahtiin. Taulukkoon 18 on laskettu tilanne jos odotetaan lamppujen vaihtamista 5 vuotta ja energian hinta nousisi 10 % vuodessa siihen asti. LED-lampun hinta on arvioitu puolet pienemmäksi kuin nyt ja myös valotehokkuus on laskettu paremmaksi. Energiainsäästölamppun ja halogeenilampun hintaa on myös laskettu 20 % ja valotehokkuutta parannettu. Taulukosta näemme että energiansäästölamput tulevat huomattavasti edullisemmaksi kuin hehkulamput ja LED-lamput ovat myös melkein energiansäästölamppujen tasolla.

**TAULUKKO 18. Vertailu alkaen viidenvuodenpäästä, jos kehitys jatkuisi suunnilleen samanlaisena maaseurakunnan kirkolle.**



Olisikin mahdollista odottaa oikean tekniikan kehittämistä energiansäästölamppujen himmentämiseksi vielä muutama vuosi ja käyttää siihen asti hehku- tai halogeenilamppuja. Jos nyt rakennetaan uusi systeemi energiansäästölamppujen himmentämiseen, se ei välttämättä toimi LED-lamppujen kanssa, jotka taas tulevat olemaan tulevaisuudessa luultavasti energiansäästölamppuja parempi vaihtoehto, kunhan niiden valaistusominaisuudet saadaan paremmiksi. Himmennyslaitteen eliniäksi voidaan olettaa 10 vuotta, joten sen aikaan olisimme kiinni vain kyseiselle himmentimelle so-

piville lampuille. Mielestäni olisikin järkevää odottaa muutama vuosi nykyisellä systeemillä ja katsoa millaista tekniikkaa sen jälkeen on markkinoilla, kun valitaan uutta himmennintä ja lamppuja.

## 9.2 Mikkelin tuomiokirkko

Mikkelin tuomiokirkko on Josef Stenbäckin suunnittelema ja se on valmistunut vuonna 1897. Kirkko on rakennettu punatiilestä ja se on päätytornillinen pitkäkirkko, joka edustaa uusgotiikkaa. Kirkko rakennettiin kun Mikkelin kaupungin kirkoksi, kun kaupunki erotettiin senaatin päätöksellä 1891 Mikkelin pitäjän seurakunnasta omaksi seurakunnaksi. Kirkko sijaitsee keskellä kaupunkia, Ristimäellä ja se on toiminut tuomiokirkkona vuodesta 1945. Silloin Viipurin piispanistuin siirrettiin Mikkeliin. (Riecki, 1997,12.)

Kirkko sähköistettiin vuonna 1901 ja silloin kirkkoon hankittiin kruunut ja alttaripöydän molemmille puolille hankittiin sähköiset kyntteliköt, kandelaaberit. Nämä poistettiin kuitenkin 1932 sähköjohtojen ja valaisimien uusimisen yhteydessä. Tällöin tilalle hankittiin Paavo Tynellin suunnittelemat Taito Oy:n kerrokselliset opaalivalaisimet.(Riecki, 1997,43.)

Mikkelin tuomiokirkko on peruskorjattu perusteellisesti kaksi kertaa sotien jälkeen vuosina 1954–55 ja 1983–84 (Mikkelin verkkosivut). 1950-luvun puolivälin remontissa rakennettiin sakaristo kirkon kuoripäätyyn matalana lisäosana. Silloin uusittiin myös kirkon vesikatto kupariseksi, uusittiin ikkunoita ja maalattiin kirkko aiempaa vaaleammaksi. Tämän remontin aikana uusittiin myös lämmityslaitteet ja sähköjohdot. Modernisoinnin yhteydessä uusittiin jälleen myös valaisimet. Silloin asennettiin nykyiset 8-kehäiset messinkivalaisimet. Ne olivat myös PaavoTynellin suunnittelemat ja Idman Oy Taito-tehtaan valmistamat. Valaisimet ovat yhdistelmä Paavo Tynellin kahdesta eri malista ja ristikoristeet on lisätty toisesta piirustuksesta. Kummankin sivulehterien päällä on 5 saman sarjan pienempää valaisinta.(Riecki, 1997,51.)

### 9.2.1 Nykyinen valaistus

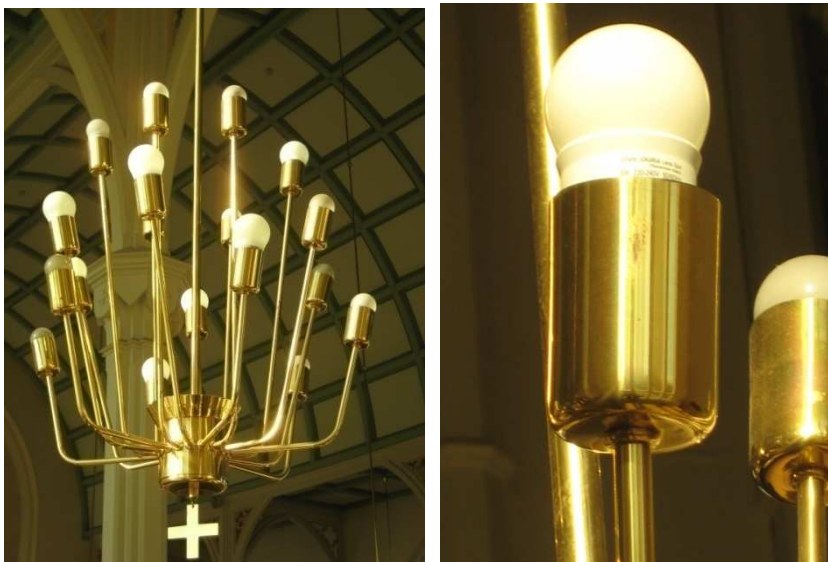
Mikkelin tuomikirkossa on Paavo Tynellin suunnittelema kruunuvalaisimia (kuva 18) ja parven alla katossa tavallisia kattovalaisimia. Keskikäytävän isoissa kruunuvalaisimissa on 144 kpl ja parven kruunuvalaisimissa 18 kpl 15 W E27 mainoshehku-

lamppuja. Isoja 8-kerroksisia kruunuvalaisimia on 4 ja pienempiä parvella olevia kruunuvalaisimia on 10 kappaletta.



**KUVA 18. Tuomiokirkon kruunuvalaisimet**

Kruunuissa käytetyt lamput ovat pieniä pitkäikäikoristehehkulamppuja. Ne uppoavat aika syvälle valaisimeen eikä niistä näy kuin lasikupu. Pienemmissä kruunuissa on kokeiltu pienloistelamppuja hehkulamppujen rinnalla. Pienloistelamput eivät uppoa yhtä syvään kuin koristelamput ja niiden kantaosa jää osin näkyviin. Ne näkyvät kuvassa 19 selvästi isompina kuin koristelamput.



**KUVA 19. Koristelamppuja korvattu pienloistelampuilla**

Pienloistelamput sopivat aika hyvin kruunuihin varsinkin kauempaa katsottuna. Ne eivät herätä heti huomiota vaikka ovatkin rinnatusten koristelamppujen kanssa. Pien-

loistelamppuja on kahta eri mallia, joista toinen uppoaa hieman toista syvemmälle eikä kantaosa jää niin paljoa näkyviin. Korvaavat pienloistemallit ovat värisävyltään aikalailla koristelamppujen tasolla, tosin ne erottuvat hieman kirkkaampina.

Tuomiokirkon kirkkosalin valaistuksen sähköteho on taulukon 18 lukujen mukaan 19 kW. Tässä on laskettu yleisvalaistuksen osuus kirkkosalissa. Lisäksi salissa on kohdevalaisimia alttarille ja urkuihin. Alttarille on suunnattu 6 kappaletta kohdevalaisimia alaslaskettavassa kiskossa alttarin molemmilla puolilla sekä parven katosta 2 kohdevaloa kummaltakin puolelta. Näitä eivät koske uudet määräykset vielä, joten niitä ei ole otettu laskuihin mukaan.

### TAULUKKO 18. Kirkkosalin lamput ja sähköteho

Valaisin	Määrä [kpl]	Lamppu	Teho [W]	Määrä [kpl]	Teho/valaisin [W]	Teho yhteensä [W]
Iso kruunu	4	mainos ko- ristelamppu	15	144	2160	8640
Pieni kruunu	10	Mainos ko- ristelamppu	15	19	285	2850
Katto valaisin	25	Hehkulamp- pu	40	3	120	3000
Upotettu katto valaisin	36	Hehkulamp- pu	60	1	60	2160
Kruunuteinen	1	Hehkulamp- pu	15	24	360	360
<b>Yleisvalaisimien sähköteho yhteensä:</b>						<b>17 010 W</b>

#### 9.2.2 Vaihtoehtoja

Kirkkosalin kruunujen lamppujen korvaaminen pienloistelampuilla on ollut jo vireillä. Niitä on korvattu 5W ja 7W pienloistelampuilla ja tällöin säästöä ei tule käytön aikana kuin 8-10W. Koristehehkulampun valovirta on noin 100- 120 lm ja 5 W pienloistelampun valovirta on 240 lm. Hehkulamput voitaisiin siis korvata vielä pieni tehoisemmilla pienloistelampuilla, mutta niitä ei ole markkinoilla. Tällöin ei voida parhaiten hyödyntää pienloistelampun parempaa valotehokkuutta, sillä 5 W pienloistela-

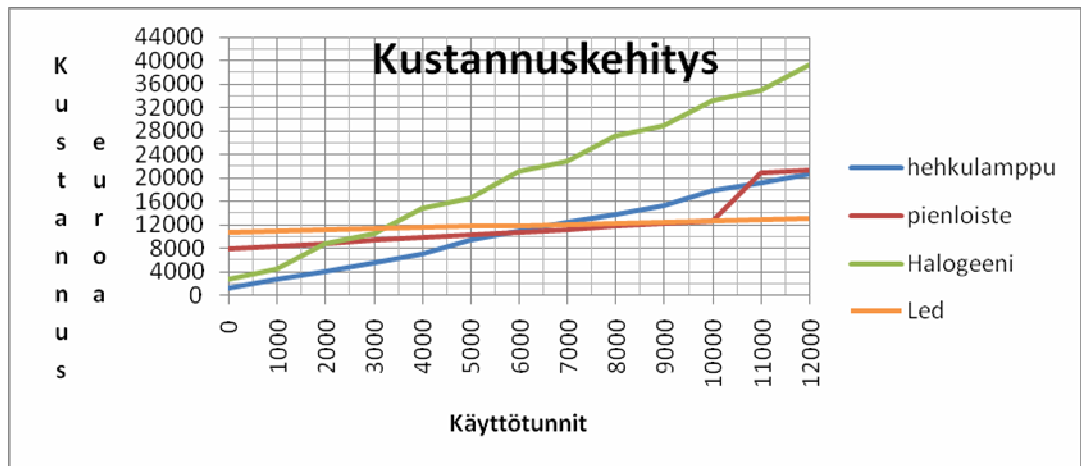
pulla voitaisiin korvata 25 W hehkulamppu. Pienloistelampun hankintahinta on kuitenkin tällä hetkellä noin kymmenkertainen hehkulamppuun verrattuna. Käytössä olleet hehkulamput ovat olleet pitkäikäisiä lampuja joiden polttoikä on 5000 h eli puolet pienempi kuin pienloistelampuilla.

Pienloistelampun värisävyn tulee olla lämmin ja mahdollisimman lähellä hehkulamppua. Hehkulampun värilämpötila on n.2700 K, joten korvaavan pienloistelampun tulee olla vastaava. Kokeiltavana olleen pienloistelampun värilämpötila oli 2500 K ja se oli aika lähellä hehkulampun valoa, vaikkei kuitenkaan niin kellertävän lämpöistä kuin hehkulampun valo. Hehkulampun värintoistoindeksi  $R_a$  on 100 ja pienloistelamppujen värintoistoindeksi  $R_a$  on 80–89. Hehkulampun värintoisto ei kuitenkaan ole suoraan vertailukelpoinen muiden kanssa.

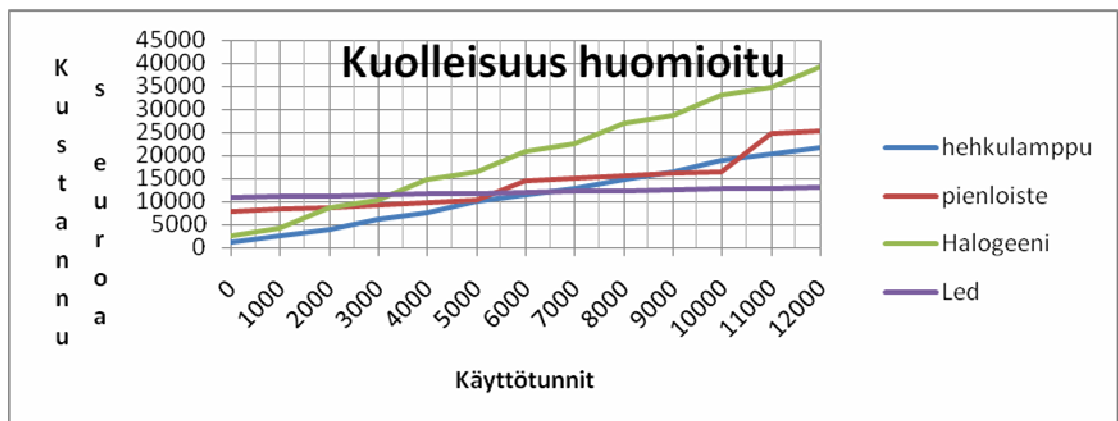
Kruunujen korvaaminen halogeenilampuilla olisi vain väliaikainen ratkaisu, koska nekin poistuvat markkinoilta. Halogeenien valotehokkuus ei kuitenkaan ole pienloistelamppujen tasolla ja alle 15 W halogeenia hehkulampun muotoisina ei ole tarjolla. Pienimpiä yleisesti markkinoilla olevia hehkulampun muotoisia halogeenia ovat 18 W, joten niillä ei säästöjä saada aikaan. Kaikki himmeäkupuiset halogeenit ovat hehkulamppujen tavoin poistuneet markkinoilta ja kirkaskupuisten hehkulampujen kirkkaus saa aikaan häiritsevää luminenssia lampussa.

LED-lampuilla kruunujen hehkulamppujen korvaaminen on tällä hetkellä vaikeaa. LED:ien ongelma on niiden suuntautuneempi valonjako kuin hehku- ja pienloistelampuilla. Niiden hankinta hinta on myös vielä liian korkea ja valotekniset ominaisuudet liian heikot. Parhaiden LED-lamppujen  $R_a$  indeksi on jo 90 luokkaa ja myös lämminsävyisiä LED-lamppuja on saatavilla. LED:ien laadut ja ominaisuudet vaihtelevat vielä paljon ja niiden vertailu ja laadukkaiden LED-lamppujen valinta on vaikeaa. LED-lamppujen hinta tulee tulevaisuudessa laskemaan ja tekniikka kehittymään, jolloin ne voisivat tulla kysymykseen.

Taulukkoon 19 on koottu eri lamputyyppien kustannus vertailua. Siinä on otettu huomioon vain hankintahinta, energiankulutus. Sähkönhintana on käytetty 0,12 €/kWh. Lamppujen hinta on Lemlux:in hinnastosta eikä se sisällä arvonlisäveroa. Seurakunnat saavat kuitenkin suuremmista ostoksista alennusta eikä sitäkään ole otettu huomioon.

**TAULUKKO 19. Lamputyyppien kustannusvertailua**

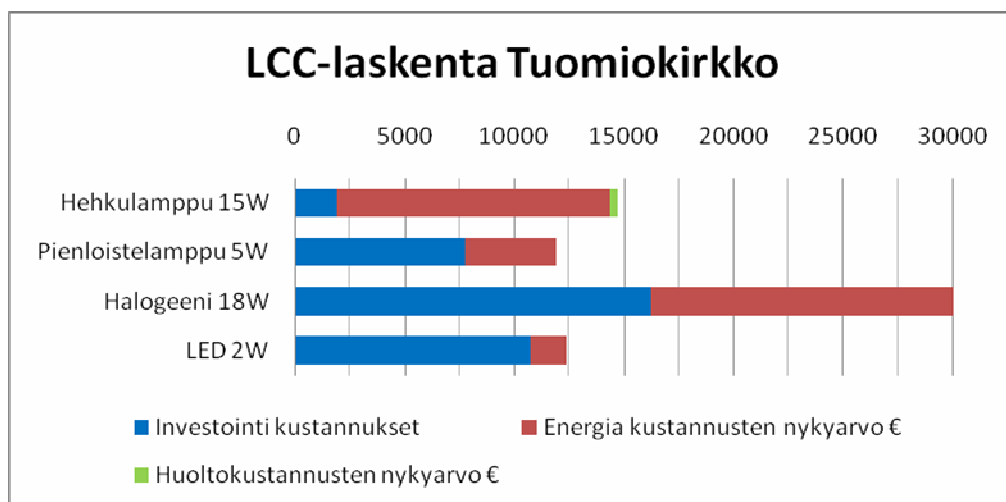
Taulukosta 19 näemme että hehkulamppu on 10 000h eli energiansäästölamppun eliniän kohdalla selvästi energiansäästölamppua kalliimpi. Laskussa ei ole kuitenkaan otettu ennaikaista vikaantumista eikä lämmitysenergiaa huomioon. Energiansäästölamppun 10 000 tunnin elinikä edellyttää 50 % lamputa toimivan tämän ajan. On siis mahdollista että joudutaan vertailuajana ostamaan 378 kpl energiansäästölamppuja lisää ennen kuin 10 000 tunnin polttoaika tulee täyteen. Tämä nostaa kustannuksia yli 3500 eurolla. Tällöin hehkulamppu olisi suunnilleen 2000 euroa kalliimpi kuin energiansäästölamppu. Energiansäästölampusta saataisiin kuitenkin parempi valoteho kuin hehkulamppusta. Led lamppu olisi halvin, jos tarkastelu kestäisi sen eliniän eli 25 000 h. Taulukossa 20 ei ole otettu huomioon hehkulamppun lämmitysvaikutusta, eikä sähköhinnannousua, vaan on oletettu, että kaikki hinnat pysyvät ennallaan.

**TAULUKKO 20. Kustannusvertailua ennaikainen kuolleisuus huomioitu**

### 9.2.3 Elinkaarikustannukset

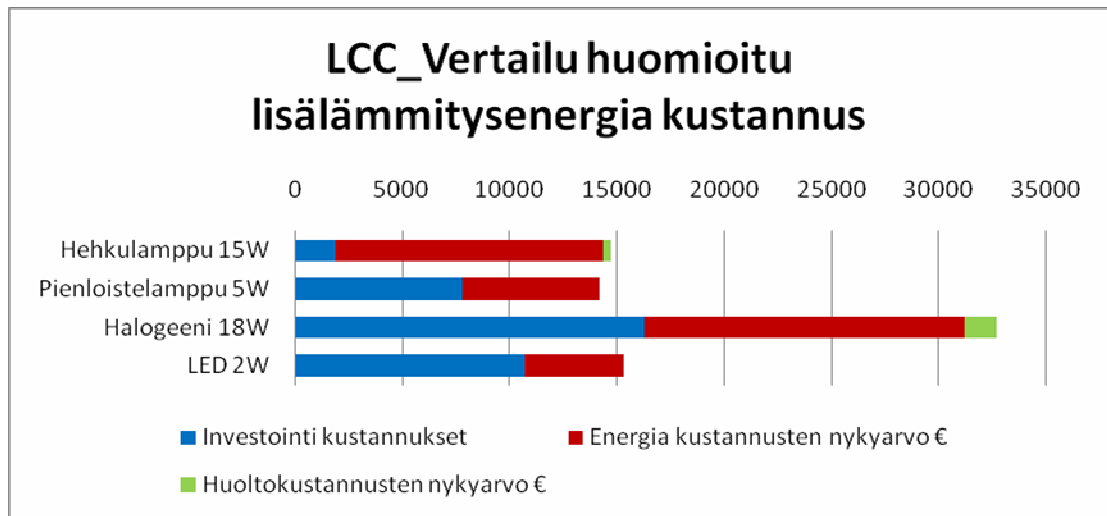
Koko kuva saadaan taulukoista 21, jossa hinnat on laskettu nykyarvo menetelmällä ja on otettu huomioon hinnan nousu ja huoltotyöt. Lampun hinnat ovat keskiarvo hintoja ilman arvonlisäveroa. Huoltokustannuksia tulee hehkulamputille ja halogeenilampuille niiden vaihtamisesta lyhyemmän eliniän takia. Halogeenin elinikä on 2000 tuntia, joten niitä joudutaan vaihtamaan neljä kertaa energiansäästölamput eliniän aikana. Hehkulamput elinikä on 5000 tuntia, joten niille joudutaan tekemään yksi vaihto laskeutakauden aikana. Taulukosta nähdään myös eri lamputyyppien kustannusten jakautuminen. Hehkulamputilla suurin osa kustannuksista tulee energiankulutuksesta ja energiansäästölamputilla taas investointikustannuksista. Halogeenilampulla suurimmat kustannukset syntyvät energiankulutuksesta ja vaihtokustannuksista. Vaihtokustannuksiksi on laskettu 0,85 euroa lamputa kohti. Lamputen käyttöajaksi on laskettu 1000h vuodessa.

**TAULUKKO 21. LCC-laskenta. Energianhinta 12,81 snt/kwh, korko 6 % ja energianhinnan eskalaatio 3%.**

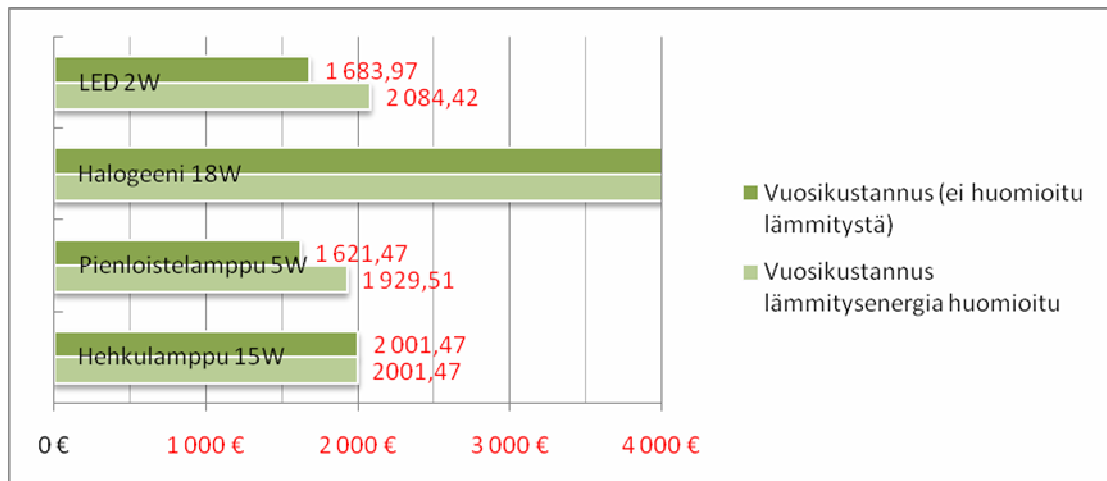


Taulukon 21 mukaan energiansäästölamppu olisi halvin ratkaisu ja LED-lamppu olisi myös hehkulamputta halvempi vaihtoehto. Hehkulamppu tuottaa lämpöä tilaan noin 90 % tehostaan, josta 70 % voidaan hyödyntää Motivan mukaan lämmityksessä. Tällöin 15 W hehkulamppu lämmittäisi tilaa 10,5 W teholla. Tuomiokirkon hehkulamput tuottavat siis noin 8 kW lämmitystehon kirkkoon. Tämä teho tulisi vaihdon jälkeen tuottaa muulla tavalla. Tuomiokirkkoa lämmitetään kaukolämmön avulla, jolla tulee korvata 8 kW lämpöteho, joka häviää kun hehkulamput vaihdetaan energiansäästö- tai LED-lamputeihin. Kaukolämmön hinnaksi on taulukossa laskettu 5 snt/kWh.



**TAULUKKO 22. Hehkulampun lämmitysenergia huomioitu**

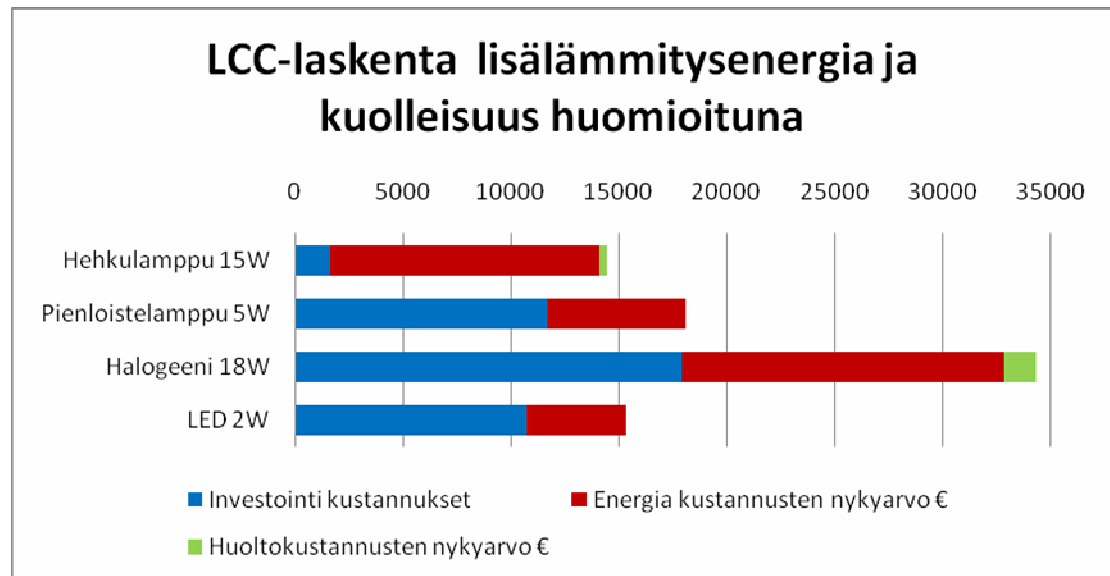
Taulukosta 22 huomaamme hehkulampun ja energiansäästölamppun hintaeron kaventuneen huomattavasti. Energiansäästölamppun kustannukset nousevat n.12 000 eurosta yli 14 200 euroon kun hehkulampun kustannukset pysyvät n.14 400 eurossa. Myös LED-lamput tulisivat hehkulamppua kalliimmiksi 10 vuoden aikajaksolla laskettuna. Lamppujen vuosikustannukset näkyvät taulukosta 23.

**TAULUKKO 23. Lamppujen vuosikustannukset**

Taulukosta 23 huomaamme kuinka energiansäästölamppun kustannukset nousevat hehkulamppujen lämmitysvaikutusta kompensoitaessa kaukolämmöllä kustanuksiltaan hyvin lähelle hehkulamppua. Myös LED-lampun pärjää laskennallisesti kilpailussa, mutta sen valotekniset ominaisuudet eivät ole vielä riittävät. LCC-laskuissa ei

myöskään otettu huomioon lamppujen ennaikaista kuollesuutta. Kuolleisuus huomioiden (taulukko 24)

**TAULUKKO 24. Lamppujen ennaikainen kuolleisuus huomioitu**



Taulukosta 24 huomaamme hehkulamppun muuttuvan edullisimmaksi vaihtoehdoksi jos lamppujen lämmitysenergiatarve ja ennaikainen kuolleisuus huomioidaan laskuissa. Tämä nostaa energiansäästölamppun myös LED-lamppua kalliimmaksi, koska LED-lamppujen ei odota kuolevan vielä 10 000 tunnin käytönaikana.

#### 9.2.4 Ehdotelma

Tuomiokirkon hehkulamppujen korvaaminen pienloistelampuilla ei ole tällä hetkellä vielä taloudellisesti kannattavaa. Energiankulutus laskee kyllä kruunujen osalta 11,34 kWh:sta 3,78 kWh:iin eli 7,56 kWh. Rahassa tämä energia kulutuksen väheneminen on noin  $0,12 \text{ €/kWh} \cdot 7,56 \text{ kWh} = 0,91 \text{ €/h}$ . Jos valojapoltetaan 1000 tuntia, on säästö siis noin 907 € energiakustannuksissa.

Toisaalta hehkulamppujen hankkiminen kerralla 10 vuodeksi maksaa  $2 \cdot (756 \cdot 1,45 \text{ €}) = 2192 \text{ €}$ , kun taas energiansäästölamppujen kertainvestointi on noin  $756 \cdot 10,3 \text{ €} = 7787 \text{ €}$ . Tämä on noin 5600 € kalliimpi kuin hehkulamppujen ostaminen kyseiselle ajalle. Tämän hetkiselällä hintatasolla eron takaisin saaminen kestää 6 vuotta jos valot ovat päällä 1000 tuntia vuodessa. Jos lamppujen ennaikainen kuolleisuus ja lämmityshyöty otetaan huomioon, ero tasoittuu vasta 10 vuoden kohdalla

LED-lamput tulisivat pitkällä tähtäimellä edullisemmaksi, mutta niiden hinta taso on vielä liian korkealla ja ominaisuudet heikot ja vaihtelevat, ettei niiden hankinta ole vielä järkevää tai taloudellista. Niiden valo suuntautuu myös vielä liian kapeaan kulmaan, jotta ne olisivat hyvä ratkaisu kruunuvalaisimiin. Kirkossa valon tulisi suuntautua alas penkkejä kohti, jossa ihmiset sitä tarvitsevat. Led-lamppujen valo suuntautuisi suurimmalta osaltaan ylöspäin, jolloin valaistusominaisuudet kirkossa voisivat muuttua huonompaan suuntaan.

Kirkon ja valaisimien ulkoilmeen kannalta hehkulamput ovat myös paras ratkaisu. Hehkulamput saadaan kirkkoon lämminsävyistä valoa, jonka ihmiset tuntevat miellyttävänä ja rauhoittavana. Energiansäästölamput tulevat edullisemmaksi, jos sähkön hinta jatkaa samanlaista kasvua kuin viime vuosina ja lamppujen yleistyessä niiden hinta laskee. Energiansäästölamppujen taloudellisuutta voi kuitenkin heikentyä, jos niiden tuottaman loistehon muuttuu maksulliseksi.

### **9.3 Anttolan kirkko**

Anttolan kirkko on puukirkko, joka rakennettu alun perin Juvalle 1729. Juvan saadessa uuden kivikirkon 1863 se lahjoitti vanhan puukirkon Anttolan rukoushuonekunnalle. Kirkko siirrettiin hevoskyydillä jäitä pitkin Anttolaan talvella 1869. Siellä se pystytettiin Henrik Fagerlundin johdolla 1870 ja vihittiin käyttöön juhannuksena 1871. (Mikkelin seurakuntayhtymän verkkosivut).

Kirkossa on aikojen saatossa suoritettu useita korjauksia. Kirkon ulkomuoto ja kello-torni on 1800-luvun lopulta. Alvar Aallon suunnittelemassa korjauksessa 1926 kirkon sisäseinät verhottiin peilipaneloinnilla ja alttarialuetta uudistettiin. Seuraava suurempi remontti tehtiin 1962–1965. (Mikkelin seurakuntayhtymän verkkosivut).

Nykyiseen asuun kirkko korjattiin 1994 arkkitehtitoimisto Jaakko Merenmies KY:n suunnitelmien perusteella. Tällöin uusittiin lämmitysjärjestelmä ja äänentoisto. Myös valaistus on tämän remontin jäljiltä. (Mikkelin seurakuntayhtymän verkkosivut).

#### **9.3.1 Valaistus**

Anttolan kirkossa on perinteiset kynttiläkruunut, joissa on oikeat kynttilät. Kynttilöitä poltetaan joulun messuissa, mutta muuten ne ovat koristeina. Kirkon valaistus hoidetaan katosta roikkuvien uudempien valaisimien kautta sekä parvien alla olevien lampujen avulla (kuva 20). Alttarialueelle on suunnattu kohdevalaisimia, joilla voidaan valaista kuorialue eri tilanteiden mukaan.



**Kuva 20. Anttolan kirkon valaisimia**

Katossa roikkuvia valaisimia on 16 kappaletta ja niissä on valonlähteenä 150 W halogeenilamppuja. Näiden lampujen valovirta on 2400 lm ja polttoikä 2000 tuntia. Lamput on normaali E27-kanta ja niiden nimellisjännite on 230 volttia. Lamput ovat himmennettävissä sakastin ohjaustaulusta. Parven alla olevissa lamput on käytössä hehkulamput. Kaikki lamput ovat himmennettävissä sakastissa olevasta ohjaustaulusta. Kuoriosan kohdevalaistus on hoidettu kattoparrun kiskossa olevilla kohdevaloilla



**Kuva 21. Kuorin kohdevalaistus.**

### 9.3.2 Ehdotuksia

Anttolan kirkon valaistukselle ei juuri kannata tehdä mitään. Katossa olevien halogeenivalaisimien kuluttama sähköteho on 2400 W. Valaisimissa tällä hetkellä käytetyt himmeäkupuiset halogeenivalaisimet kuuluvat energialuokkaan D, eli niitä ei enää ole saatavilla. Lamput voidaan korvata helposti kirkaskupuisilla vastaavantehoisella (150) halogeenilampuilla, koska itse lamppu on valaisimen sisällä piilossa. Kirkaskupuisilla lampuilla saadaan hieman suurempi valovirta (2870 lm) ja ne kuuluvat energialuokkaan C, joten ne ovat markkinoilla vuoteen 2016 asti (Radium, 2010). Lamppujen tulee myös olla himmennettävissä, joten niille ei ole juuri nyt korvaavaa vaihtoehtoa.

Parven alla oleviin valaisimiin kuten myös kattoholvien valaisimiin voidaan laittaa kirkaskupuiset hehkulamput tai halogeenilamput. Hehkulamput voidaan myös luultavasti korvata himmennettävillä pienloistelampuilla niiden vähäisen määrän takia. Tällöin on kuitenkin hyvä kokeilla pienloistelamppujen sopiminen kirkon himmentimeen.

## 9.4 Harjun kappeli

Harjun siunauskappeli sijaitsee Harjun hautausmaan yhteydessä. Kappeli on rakennettu 1937 Martti Välikankaan suunnitelmien mukaan. Kappeli on remontoitu 1997 arkkitehti Juha Leiviskän suunnitelmien mukaan. Kappelissa on istumapaikkoja 120 ja alakerran pikkukappelissa 15 hengelle. Kappelissa on 11-äänikertaiset urut, jotka on rakentanut Martti Porthanin urkurakentamo. (Mikkelin seurakuntayhtymän verkkosivut, 2011).

### 9.4.1 Valaistus

Harjun kappelissa on salin valaisimina kruunuvalaisimia neljä kappaletta ja katosta roikkuvia valaisimia kahdeksan kappaletta. Kruunuissa on lamppuina 40W kirkkokynttilälamppuja 8 kpl. Katosta roikkuvissa valaisimissa on jo energiansäästölamput. Niissä energiansäästölamput ovat piilossa valaisimen sisällä, joten sinne sopivat hyvin sauvamalliset energiansäästölamput. Kappelin muissa tiloissa on valaisimina kattoon upotettuja valaisimia, joissa on pienloistelamppuja sekä roikkuvia valaisimia, joissa oli vielä hehkulamppuja.



**KUVA 22. Harjun kappelin valaisimia. Kruunuissa on kirkonkynttilälamput ja riippuvissa valaisimissa energiansäästölamput.**

#### 9.4.2 Ehdotuksia

Kirkonkynttilälamput ovat hehkulamppuja, mutta ne ovat erikoislamppuja, joten niitä tulisi olla saatavilla tulevaisuudessakin. Niille ei myöskään ole vastaava korvaava lamppua markkinoilla vielä, joten niiden korvaaminen energiatehokkaammilla lamppuilla ei ole vielä mahdollista. Valaisimen tyyli myös muuttuu suuresti, jos niihin laitetaan energiansäästölamppuja.

Kappelin muissa tiloissa oleviin valaisimiin voidaan vaihtaa energiansäästölamppuja. Tällä toimenpiteellä saadaan aikaan pieni energiansäästö, mutta suurempi hyöty on lamppujen pidempi kestoikä. Tämän ansiosta lamppujen vaihtotarve harvenee, jolloin vaihtoon kuluvat työkustannukset pienenee. Jos lamput vaihdetaan ryhmävaihtona, vältetään tilanteita, joissa lamput palavat vuorotellen ja aina on jokin lamppu pimeänä tilaisuuksien aikana ennen kuin se ehditään vaihtaa. Ryhmävaihdoista jääneitä vielä toimivia lamppuja voidaan käyttää syrjäisemmissä tiloissa ja helposti vaihdettavissa valaisimissa.

## 10 YHTEENVETO

Kirkkojen valaistusta muutettaessa on otettava huomioon muitakin asioita kuin lampun kuluttama energia. Uusilla vaihtoehdoilla voidaan säästää energiakulutuksessa, mutta samalla voidaan vahingoittaa kirkon yleisilmettä ja jopa huonontaa valaistusominaisuuksia. Vanhojen kirkkojen vanhat valaisimet ovat suunniteltu hehkulamppuja varten, joten ne ovat ensisijainen valonlähde, jota niissä tulisi käyttää. Valonlähdettä vaihdettaessa tulisi tarkistaa museoviraston kanta muutoksiin. Uuden vaihtoehdon aiheuttamiin muutoksiin kirkonvalaistukseen ja yleisilmeeseen sekä arkkitehtuuriin tulisi kiinnittää huomiota ennen kuin vaihdot tehdään.

Tapauksissa, joissa energiankulutusta voidaan vähentää ja valaistusominaisuuksia parantaa valaisimen ulkonäön ja kirkon yleisilmeen muuttumatta voidaan uusia vaihtoehtoja harkita. Parhaiten pienloistelamput sopivat valaisimiin, joissa itse valonlähde on piilossa. Näissä niiden käyttäminen onkin usein perusteltua, kunhan huomioidaan valaistusvoimakkuuden säilyminen penkkien luona vähintään samanlaisena. Energiansäästölamppujen kanssa tulee ottaa huomioon myös niiden loisen energia ja haitallisten yliaaltojen muodostuminen. Yliaallot voivat tietyissä tilanteissa aiheuttaa häiriöitä äänentoistoon varsinkin jos lamppuja on paljon. Tällöin voidaan joutua hankkimaan laiteita kompensoimaan loisen energiaa ja suodattamaan haitallisia yliaaltoja.

Halogeenilamput ovat helppo tapa korvata hehkulamput ja säilyttää lämminsävyinen valo, mutta toistaiseksi niiden ominaisuudetkaan eivät täytä tiukkenevia vaatimuksia. Niiden avulla voidaan siirtää hehkulamppujen hankkimiseen liittyviä ongelmia muutamalla vuodella eteenpäin. Pienitehoisten halogeenilamppujen energiatehokkuus on kuitenkin huonompi kuin suuritehoisten, joten niiden saaminen tulevaisuudessa on epävarmaa ja käyttäminen epätaloudellista. Lamppuihin, joihin voidaan laittaa muuntaja, voidaan suunnitella käytettävän pienjännite halogeenilamppuja.

Himmennettävien valaistusryhmien kohdalla tilanne on vielä aika vaikea. Hehku- ja halogeenilamppujen himmentäminen on helppoa. Energiansäästölamppujen himmentäminen onnistuu pienissä ryhmissä, mutta suurissa ryhmissä niiden himmentäminen on ongelma. Tällöin voidaan joutua tekemään tilannekohtaisia ratkaisuja himmentämisen mahdollistamiseksi. Pienloistelamppujen himmentäminen onnistuu, mutta tällöin täytyy olla pienloistelampuille tehty valaisin. Tästä tulee kustannuksia, koska

valaisimet joudutaan uusimaan. Uusimiset voivat olla perusteltuja uusimmissa kohteissa ja esimerkiksi seurakuntataloissa. Vanhoissa suojelluissa kirkoissa valaisinten uusiminen vaatii museoviraston hyväksymisen eikä se ole suositeltavaa.

LED-lamput ovat tulevaisuuden valonlähde, mutta toistaiseksi niiden ongelmana on korkea hinta, suuntautunut valo ja tekniikan oleminen vielä kehitysasteella. Myös lamppujen laatuerot ovat vielä suuria. LED-lamppu ei sovi suljettuihin valaisimeen, koska sen jäähtytys ei välttämättä toimi siellä. LED-lampun elinikä tippuu ratkaisevasti, jos se pääsee kuumenemaan liikaa. Paras vaihto onkin odottaa muutamia vuosia LED-lamppujen tekniikan kehittymistä ja hinnan laskemista tuotantomäärien kasvaessa.

Valaistusratkaisut tulee tehdä tapauskohtaisesti ja siihen vaikuttaa myös se minkä arvojen mukaan valaistusta halutaan uusida. Uudet vaihtoehdot pienentävät energiankulutusta, mutta saattavat muuttaa kirkon yleisilmettä. Vanhoista järjestelmistä halogeenilamput ovat hieman hehkulamppuja energiatehokkaampia, mutta nekään eivät vielä täytä tulevaisuuden vaatimuksia. Näillä ratkaisuilla kirkon yleisilme kuitenkin säilyy entisellään. Pienloistelamput sisältävät myös elohopeaa, joka on ongelmajätettä, mutta toisaalta hehkulampan suuremman energian kulutuksen takia sen tarpeisiin tuotettu sähkö saattaa tuottaa vielä enemmän päästöjä. Tämän takia yksiselitteistä oikeaa ratkaisua ei ole, vaan tapauskohtaisesti täytyy pohtia, minkä arvojen mukaan valaistusta uusitaan.



## LÄHTEET

98/11/EY. Euroopan Komission virallinen lehti. Verkko-lehti. PDF-dokumentti.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1998:071:0001:0008:FI:PDF>  
 Päivitetty 11.3.1998. Luettu 9.7.2010.

EY/244/2009. Euroopan unionin virallinen lehti. Verkko-lehti. PDF-dokumentti.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0003:0016:FI:PDF>  
 Päivitetty 23.3.2009. Luettu 9.7.2010

EY/245/2009. . Euroopan unionin virallinen lehti. Verkko-lehti. PDF-dokumentti.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0017:0044:FI:PDF>  
 Päivitetty 23.3.2009. Luettu 9.7.2010

Halonen, Liisa & Lehtovaara, Jorma 1992. Valaistustekniikka. Otatieto

Hartikainen, Teemu 2009. EuP-direktiivi. Yleistä EuP-direktiivistä PPT-dokumentti.  
<http://www.ekosuunnittelu.info/>. Luettu 9.7.2010

Jokinen, Martti 2010. Haastattelu 13.10.2010. Arkkitehti. Museovirasto

Kirkkolaki. WWW-dokumentti. <http://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19931054>  
 Luettu 28.3.2011

Knapas, Marja Terttu (toim.) 2003. Kirkkojen hoito ja restaurointi. Salpausselän kirjapaino.

Konturi, Marko & Ålander Jouni 2008. Energiansäästölamppujen verkkovaikutukset. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Tietotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti.

Mikkelin seurakuntayhtymän verkkosivut. WWW-dokumentti.  
<http://www.mikkelinseurakunnat.fi> . Luettu 12.2.2011.

Mikkelin verkkosivut. WWW-dokumentti. <http://www.mikkeli.fi> . Luettu 12.2.2011.

Motiva, 2008. Energiansäästölamppulla säästät. WWW-dokumentti.  
[http://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/vaikuta\\_hankinnoilla/valaistus/energiansaastolamppu](http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/vaikuta_hankinnoilla/valaistus/energiansaastolamppu). Päivitetty 28.3.2011. Luettu 28.3.2011.

Nakamura, Shuji 2007. Blue, Green & White LEDs and Blue Laser Diodes. Solid State Lighting and Display Materials and ECE Departments University of California, Santa Barbara 2007.  
<http://next.utu.fi/energy/pdf/Nakamura%20September%202007%20for%20high%20school.pdf> . Luettu 8.9.2010.

Peltonen Hannu, Perkiö Juha & Vierinne Kari 2007. Insinöörin (AMK) Fysiikka osa 2. Lahti: Lahden Teho-Opetus Oy.

- Pihkala, Antti 2010. Haastattelu 13.10.2010. Yliarkkitehti. Kirkkohallitus
- Radium 2010, Lighting 2010/2011. Köln:Quadrotem Werbeagentur GmbH
- Raunio, Johannes 2010. Hehkulamppujen korvaaminen sisävalaistuksessa. Aalto yliopisto. Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta. Diplomityö. PDF-dokumentti. Päivitetty 14.5.2010
- Riecki, Helena 1997. Mikkelin tuomiokirkko. Mikkeli: Länsi-Savo Oy.
- Saarenmaa, Jani 2010, Energiatehokkaan valaistuksen ja KNX-kiinteistöautomaatiojärjestelmän suunnittelu Satakunnan ammattikorkeakoulussa. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti.
- Siltala, Sanni 2010. Energiatehokas toimisto-LED-teknologia. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Diplomityö. PDF-dokumentti. Päivitetty 4.3.2010
- SSTL, verkkosivut. Maailma hehkulamppujen jälkeen. WWW-dokumentti. <http://www.stkliitto.fi/viestintä/sstlsta/116-maailma-hehkulamppujen-jaelkeen.html#mitavanhojavaihtoehtoja>
- SSTL 1 1996. Valaistustekniikkasarja 1. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. Jyväskylä. Gummerus
- SSTL 2 1998. Valaistustekniikkasarja 2. Lamput ja valaisimet. Jyväskylä. Gummerus.
- Tapanainen, Veli-Matti 2010, Lampputyypin vaikutus kotitalouksien energiankäyttöön ja CO<sub>2</sub>-päästöihin, diplomityön tiivistelmä. PDF-dokumentti. [www.lampputieto.fi](http://www.lampputieto.fi) . Luettu 13.2.2011
- Tukes, ekosuunnitteluinfo 2010. WWW-dokumentti. [www.ekosuunnittelu.info](http://www.ekosuunnittelu.info)
- Van Tichelen, Paul 2009. Final report Lot 19: Domestic lighting. Euroopan Komissio. PDF-dokumentti. [http://www.valosto.com/tiedostot/EuP\\_Domestic\\_Part1en2\\_V11.pdf](http://www.valosto.com/tiedostot/EuP_Domestic_Part1en2_V11.pdf). Luettu 10.9.2010. Päivitetty 23.11.2009
- Wirilander, Kaarlo 1968. Mikkelin maaseurakunnan kirkko. Mikkeli: Oy Länsi-Savon Kirjapaino.

