



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# LED-VALO TAPAHTUMATEKNIKASSA

Marja Kuokkanen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2016  
Elokuvan ja Television koulutusohjelma  
Teatterin ja tapahtumien audiovisuaalinen suunnittelu



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Elokuvan ja Television koulutusohjelma  
Teatterin ja tapahtumien audiovisuaalinen suunnittelu

MARJA KUOKKANEN:  
Led-valo tapahtumatekniikassa

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 1 sivu  
Toukokuu 2016

---

Led-valo on pitkän kehityksensä jälkeen hiipinyt mukaan myös tapahtumatekniikkaan. Opinnäytetyössä kerrottiin ensin ledin ominaisuuksista ja peruseräiteistä. Työ käsitteli ledin kehittymistä aina ensimmäisistä keksinnöistä nykypäivän käyttötarkoituksiinsa. Tutkimuksessa tuotiin ilmi ledin mukanaan tuomia ennakkoluuloja ja, niiden kestävyyttä ja käsitysten muuttumista.

Asiantuntijahaastattelut tarjosivat tietoa tämän hetkisistä alan innovaatioista tapahtumatekniikassa, niiden ominaisuuksista ja käyttömahdollisuuksista eri tarkoituksissa. Led-heittimien tekniikka on monille uutta ja monimutkaista joten työssä on myös perehdytty ammattilaisten tarjoamiin neuvoihin siinä, mitä tulee ottaa huomioon led-heittämiä hankkiessa sekä mitä ledien tulevaisuus tarjoaa.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Film and Television  
Lighting Design in theatre and events

MARJA KUOKKANEN  
LED Light in Event Technics

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 1 page  
May 2016

---

LED lighting has arrived in event technics after its long development. This thesis begins with the attributes and basic principles of LEDs. The development of LEDs is discussed from the earliest inventions to its various uses today. The stereotypes concerning LEDs, their truthfulness and change in perception were examined in this study.

Professional interviews provided information about the latest innovations in event technics, their features and affordance in different areas. The LED light technology is new and complicated to many so the focus of this thesis was on the advice given by professionals in what you should take into consideration when purchasing LED lights and what the future holds for them.

---

Key words: LED lighting, event technics, LED fixture

**SISÄLLYS**

1	JOHDANTO.....	5
2	LEDIN OMINAISUUDET .....	6
	2.1 Valon lähde .....	6
	2.2 Energiatehokkuus.....	7
3	HISTORIA JA KEHITYS.....	10
4	TUTKIMUS JA ENNAKKOLUULOT .....	13
5	LEDIEN TULO ESITYSTEKNIikkaAN.....	17
	5.1 Hyödyt .....	18
	5.2 Haitat.....	19
	5.3 Tulevaisuus .....	20
6	HANKINTA .....	21
	6.1 Mitä ottaa huomioon .....	21
	6.2 Valmistajat .....	22
	6.2.1 JB-Lighting .....	22
	6.2.2 Spotlight .....	23
	6.2.3 Elation Professional .....	23
	6.2.4 ETC .....	24
7	POHDINTA.....	27
	LÄHTEET.....	28
	LIITTEET .....	33

## 1 JOHDANTO

Kun puhutaan ledeistä, ensimmäisenä ihmiselle tulee mieleen energiatehokkuus ja kestävyys. Osalla on niistä ennakkoluuloja, ja osa pitää niitä tulevaisuuden ainoana valonlähteenä. Mutta mistä ledit oikein tulivat, miten ne toimivat ja miten ne päätyivät osaksi esitystekniikkaa?

Led-valoa on käsitelty laajasti, mutta koin että esitystekninen näkökulma puuttuu ja halusin tutkia sitä. Työskentelen itse tapahtumavalon parissa ja olen aina ollut kiinnostunut alani uusimmasta tekniikasta. Koin että tämä opinnäytetyö tarjosi täydellisen mahdollisuuden perehtyä siihen.

Opinnäytetyöni koostuu useista eri lähteistä kerätyistä tutkimuksista, artikkeleista ja asiantuntijahaastatteluista. Syy, miksi tartuin aiheeseen, on se, että se on itsellenikin vieras ja halusin tutkia led-tekniikkaa oppiakseni myös itse aiheesta. Omat kokemukseni ledeistä ovat rajallisia ja halusin tutkia aihetta objektiivisesti. Painotan opinnäytetyössäni syy-seuraus-suhteita ja ledin toimintaperiaatteiden yksityiskohtia. Käsittelen led-valon ominaisuuksia, energiatehokkuutta, kehitystä ja esitysteknisiä ominaisuuksia.

Ledit ovat raivanneet tiensä esitystekniikkaan viimeisen 10–15 vuoden aikana ja jääneet pysyäkseen. Niiden kehitys erityisesti valotehon saralla on ollut huimaa ja alkuaikojen yksinkertaiset diskovalot ovat jääneet historiaan.

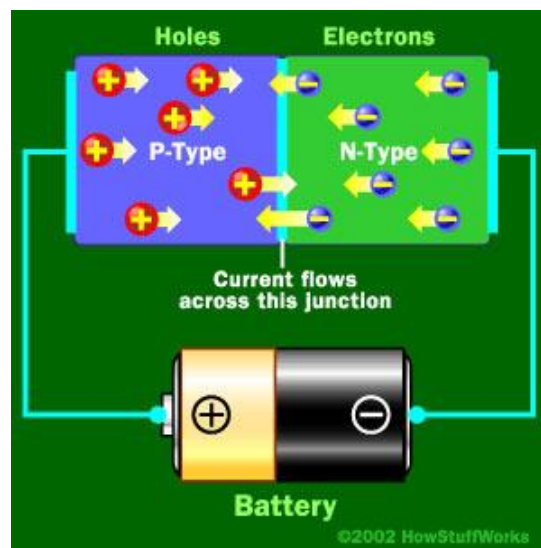
Led-valon maailmanvalloitus kuitenkin toi mukanaan paljon ennakkoluuloja ja siirtymisen tähän uuteen tekniikkaan ei ole tapahtunut ilman vastustusta, varsinkin kodin valaistusta puhuttaessa. Käsittelen näitä ennakkoluuloja ja niiden muuttumista kehityksen edessä. Perehdyn ledien hyviin ja huonoihin puoliin sekä niiden hankintaan. Ammattilaishaastattelut antavat tietoa ledin uusimmista innovaatioista esitystekniikassa ja pilkahduksen tulevaisuudesta.

Toivon opinnäytetyöni hyödyttävän muita tapahtumavalon saralla työskenteleviä, jotka kokevat led-tekniikan vieraaksi tai kaipaavat tietoa sen hankintaan ja ominaisuuksiin liittyvissä kysymyksissä.

## 2 LEDIN OMINAISUUDET

### 2.1 Valon lähde

LED tulee sanoista Light-Emitting Diode (suom. hohtodiodi). Ledin valon lähteenä toimii diodiksi kutsuttu puolijohdekomponentti. Puolijohdeiden hyötynä on sähkövirran päästäminen läpi helpommin ja mahdollisuus muokata niitä lisäaineilla, jotka muuttavat elektronien määrää atomin uloimmassa kerroksessa. Tärkeitä puolijohdeita alkuaineista ovat pii ja germanium joilla on kidemäinen rakenne. Led-komponentti koostuu N- ja P-puolijohdeiden liitoksesta. N-puolijohdetta on muokattu lisäaineella niin, että atomin ulkokuorella olevien elektronien määrä on lisääntynyt. P-puolijohdeessa elektroneja on vähennetty lisäaineella eli luomalla aukkoja, jotka toimivat positiivisen varauksen kuljettajina. Kun PN-liitoksen läpi johdetaan virtaa päästösuuntaisesti, sen rajapinnat lähenevät toisiaan ja varauksienkuljettajat pääsevät kulkemaan rajapinnan yli. Toisin sanoen N-puolijohdeiden elektronit siirtyvät P-puolijohdeiden aukkoihin aiheuttaen fotonin emission eli valon hohdeen. (Shuuya 2011, 2; Käär 2015, 31–32.)



KUVA 1. Diodin toiminta (HowStuffWorks 2002.)

Päästösuuntaisesti kytketty PN-liitos muodostaa ledin sydämen joka tunnetaan nimellä led-siru. Se koostuu ohuista aluslevyn päälle asetetuista kvanttikalvoista. Ledin valo keskittyy yhteen keilaan levyn heijastavan pinnan ja ulkoisen linssin avulla. Yhdessä valaisimessa siruja on useita, sen lisäksi valo koostuu optiikasta, jolla valoa kohdennetaan,

jäähdytys-elementistä, joka johtaa lämpöä pois päin ja liitäntälaitteesta, joka syöttää oikealla jännitteellä virtaa led-moduuliin. (Käär 2015, 31–32; Ledke 2009; Philips 2004–2005.)

Eri aineyhdistelmillä, led loistaa valoa eri väreissä. Valkoiseen valon tuottoon se ei itsessään kykene, sillä valkoinen on sekoitus kaikkia valon värejä. Valkoista valoa voidaan tuottaa peittämällä sininen led fosforikerroksella tai RGB-tekniikalla eri sekoittamalla eri värin ledejä. Ledit voidaan jakaa kahteen ryhmään, pintaliitosledeihin ja perinteisiin ledeihin. Pintaliitosledeissä valoteho on suurempi ja ne ovat siksi suosituimpia esim. valaisimiin. Perinteiset ledit ovat sopivampia kohdevalaistukseen. Led käyttää vain n. 15–20% hehkulamppujen käyttämästä virrasta. Sen valon kirkkautta mitataan luumeneilla.

(Käär 2015, 32–33; Glamox 2013; Zvi.)

Ledin värien laadun mittaamisessa käytetään CRI-indeksiä (Colour Rendering Index), jolla verrataan ledin ja perinteisen valon näkymistä valitussa kohteessa. CRI-indeksi ei kuitenkaan 50 vuotta vanhana metodina ole mitoitettu led-värien mittaukseen ja sen tilalle onkin ehdotettu CQS-asteikkoa (Colour Quality Scale), joka huomioi CRI:n kahdeksan värin sijasta jopa 15 eri väriä. CRI-indeksin ongelmiin lukeutuu mm. se, että se voi antaa pieniä arvoja laadukkaillekin väreille ja päinvastoin ja on hyvin epätarkka tummien värien mittaamisessa. CQS mittaa paremmin myös punaista valoa sisältäviä kohteita kuten ihoa ja puupintaa. CRI-indeksiä on yritetty päivittää 80-luvulta lähtien. (Lumenistics 2012.)

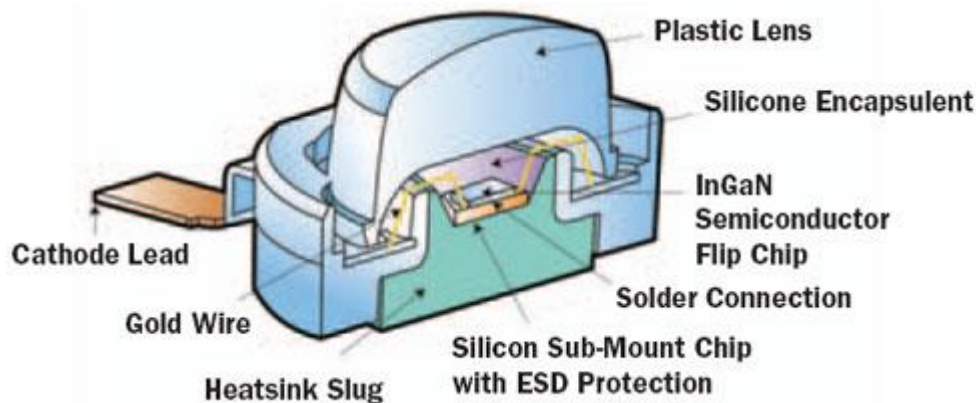
## 2.2 Energiatehokkuus

Kuten ensimmäisessä luvussa todettiin, ledin valo keskittyy yhteen keilaan ja se myös tekee siitä energiaa säästävän. Esimerkiksi perinteisessä hehkulamppussa valo hajoaa joka suuntaan ja syntyy hävikkiä, jota keskitetyssä ledin valossa ei tapahdu. Hävikkiä syntyy myös lämmön nousun kautta, ja sen estäminen on ledin eliniän kannalta tärkeää. (Glamox; Valokas 2010–2015.)

Vaikka led-valoa pidetään viileänä, se kyllä lämpenee. 30 % ledin tehosta ilmenee lämpönä valon sijasta ja lämpötila PN-liitoksessa nousee jopa 60 asteeseen, joka riittää polttamaan ledin loppuun muutamassa minuutissa. Syy pitkään elinikään, ja miksi lämmön

vaikutus tuntuu ulkoisesti pieneltä, johtuu sen jäähdytysmekaniikasta. Mekaniikan laatu vaihtelee valmistajien mukaan ja halvat ratkaisut voivat hajota kuumenemisen johdosta kauan ennen aikojaan. Jo 20 asteen nousu sisäisessä lämpötilassa pienentää ledin eliniän alle puoleen alkuperäisestä. (Glamox; Valokas 2010–2015; Cariitti.)

Komponentin materiaalien lämmönjohto on yksi ratkaiseva tekijä. Lämpö johdetaan led-sirusta jäähdytyslevyyn, joka voi olla esimerkiksi alumiinilevy tai perinteinen piirilevy. Piirilevyistä FR-4 sopii alle 0.5W valoihin, kun taas suurempitehoisissa tarvitaan PCB-piirilevyjä (Printed Circuit Board) tai MCPCB (Metal Core Printed Circuit Board), jonka ydin koostuu metalliseoksesta ja joka voi yhdistää eristävän polymeerikerroksen korkeampaan lämmönjohdotukseen ja näin laskea lämmönvastusta. Toisin sanoen lämpösuoritus on korkeampi, eli se johtaa lämpöä pois ledistä nopeammin ja tehokkaammin. Mikropiiristöön on saatavilla myös keramiikkapohjaisia ratkaisuja vielä tehokkaammaksi lämmönjohtamiseksi. Tyypillinen lämmönpoistojärjestelmä on nähtävissä kuvassa 2. (Petroski 2006; Sinkpad 2016.)



KUVA 2. Ledin lämmönpoistojärjestelmä (Petroski 2006)

Äärimmäisissä tapauksissa missä led joutuu kovemmalle rasitukselle lämmön puolesta, vaihtoehtona on myös ns. aktiivinen viilennys. Esimerkkejä tästä ovat mm. pyörivät tuuletin, termoelektrinen jäähdytin, joka muuttaa lämpötilamuutokset sähköksi ja neste-mäinen jäähdytys. Näillä on kuitenkin myös haittapuolia, kuten melu, toistuvan rasitteen (valojen räpyttämisen) huono kestäminen ja korkea hinta. Aktiivinen viilennys on kuitenkin kannattava vaihtoehto, sillä sen avulla yhteen lediin voidaan ajaa enemmän virtaa ja näin ollen kalliiden led-sirujen määrä yhdessä valossa vähentyy. (Petroski 2006; Karttunen 2010.)



Nykypäivänä ledejä on muokattu niin, että ne pystyvät korvaamaan hehkulamput myös valoa hajottavien linssien avulla, jotka loistavat hehkulampun tavoin joka suuntaan mutta pienellä energian kulutuksella. Myös hinta on laskenut huimasti alkuaajoista. Vertailussa ledin käyttöikä ylittää jopa 50 000 tuntiin, kun taas hehkulamppu kestää vain 1200 tuntia. Energian kulutus tässä esimerkissä on hehkulampulla 60W ja vastaavan kirkkauden omaavalla ledillä 10W. (Eartheasy.)

### 3 HISTORIA JA KEHITYS

Vuonna 1881 englannissa syntynyt mies, Henry Joseph Round tunnettiin parhaiten työstään radio- ja puhelinteknologian parissa. Hän ansaitsi military cross-kunniamerkin kehittettyään yhden ensimmäisistä puhelinjärjestelmistä lentokäyttöön ensimmäisen maailmansodan aikana, ja on uransa aikana hakenut yhteensä 117 patenttia eri alojen innovaatioista, viimeisen 81-vuotiaana vain neljä vuotta ennen kuolemaansa. Yksi hänen mullistavimmista keksinnöistään on kuitenkin vuodelta 1907. (InnovateUs 2006–2013.)

Yhdistellessään piikarbidia eri aineisiin ja ohjatessaan sähkövirtaa niiden läpi Round havaitsi merkillisen ilmiön. Piikarbidin kide alkoi hohtaa keltaista valoa. Round huomasi, että vain muutama yhdistelmä mahdollisti valon loisteen matalalla 10 voltin sähkövirralla, kun taas 110 voltin sähkövirralla useammat yhdistelmät loistivat, ja vieläpä eri väreissä. Round julkaisi löydöksensä *Electrical World*-lehdessä mutta oli keskittynyt tuoloin muihin asioihin ja keksintö unohtui, kunnes samaan ilmiöön törmäsi venäläinen fyysikko Oleg Losev vuonna 1921. Losev alkoi tutkia ilmiötä tarkemmin ja vuosien 1927–1942 aikana esitti mm. ensimmäisen teorian diodin toiminnasta, ja sai käytännön kokeilla aikaan elektroluminesenssin eli sähköenergialla aiheutetun valon hohteen. (InnovateUs 2006–2013; The Science Museum; Osram; New Scientist.)

Varsinaisen keksijän viitan elektroluminesenssista sai kuitenkin päälleen ranskalainen fyysikko Georges Destriau, havaittuaan valoemission sinkkisulfidissa vuonna 1935 ja rakennettuaan se perusteella ensimmäisen elektroluminesenssiin pohjautuvan valon vuotta myöhemmin. (Osram.)

Toisen maailmansodan päätyttyä Massachusettsissa sijaitsevan *Light Division of Sylvania* pääinsinööri Howard Biggs ei ollut koskaan kuullutkaan Destriausta. Puolijohdetekniikkaan erikoistunut Biggs kuitenkin vaati tutkimuspäälliköltään uutta tapaa tuottaa valoa, ja uskoi puolijohteen olevan mahdollinen vastaus. Valoemissio pystyttiin myös ensimmäisen kerran selittämään transistorin keksimisen myötä vuonna 1951. Tutkimusryhmän keksintö perustui ohueen tinaoksidi-kerrokseen, joka johti sähköä ja positiivieristeeseen, joka sisälsi sinkkisulfidi fosforia. (Mann 1957.)

Tämä aikanaan ”elektroniseksi valoksi” kutsuttu keksintö oli kuitenkin vielä liian himmeä ja sähköä kuluttava, että se sopi vasta merkkivaloiksi mm. radioihin ja kelloihin. *Popular Science*-lehti uskoi kuitenkin vuonna 1957 artikkelissaan uuden valonlähteen suureen potentiaaliin. *Light Devison of Sylvania* toimiikin nykyään tuttavallisemmin nimellä Osram, ja on yksi maailman johtavista valaistusalan valmistajista. (Mann 1957.)

Texasilainen tiedeparivaljakko Gary Pittman ja Robert Baird patentoivat vuonna 1961 galliumarsenidin käyttöön perustuvan ledin, joka hohti infrapunavaloa ja joka raivasi tietä kohti seuraavaa suurempaa keksintöä. Vuonna 1962 New Yorkin *General Electric Co*:ssa työskentelevä 34-vuotias tiedemies Nick Holonyak kuuli vierailemassaan konferenssissa tästä infrapunavaloa hohtavasta puolijohdeliitoksesta. Holonyakin ja kollegoidensa ensimmäinen ajatus oli muuttaa tämä keksintö laseriksi. Puolalaissyntyinen Holonyak oli jo lapsesta asti oppinut, että tarpeeksi kovalla tahdolla voi luoda mitä haluaa ja siksi hän lähtikin työhön epätavallisin menetelmin. Holonyakin metodi kristallien kasvattamiseen näytti kollegoiden silmissä hullulta, mutta hän oli päättänyt voittaa kilpailevat keksijät keinolla millä hyvänsä. Robert Hall oli kuitenkin ensimmäinen joka esitteli puolijohdetekniikkaan perustuvan laserin ja Hallin pomon antamin vinkein, Holonyak seurasi nopeasti perässä. Tällä oli kuitenkin vähän merkitystä, sillä toisin kuin kilpailijansa, Holonyak oli työskennellyt näkyvän valon kanssa ja lisättyään galliumarsenidiin fosforia hän huomasi tuijottavansa punaista valoa. Se oli ensimmäinen valoa emittoiva diodi. (Tekla 2003; Circuits Today 2013.)

Holonyakin keksimä metalliseos tuotti luotettavampia puolijohhteita, jotka johtivat massatuotantoon ja näkyvät nykypäivänä mm. dvd-soittimien punaisena lukijalaserina, matkapuhelimien korkeataajuuspiireinä ja aurinkopaneeleina. Holonyakin galliumarsenidi fosfidi-ledejä (GaAsP) voi nykyäänkin ostaa kaupasta pikkurahalla kun taas alun perin kilpailun aiheena ollut puolijohdelaser jäi unholaan. Holonyak sai punaisen ledin keksimisestä kunniamitalin *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE)-yhdistykseltä vuonna 2003, mutta toivottua Nobel-palkintoa hänelle ei herunut siitäkään huolimatta, että Holonyakin opiskelijat ovat vieneet led-teknologiaa roimasti eteenpäin. Mm. yksi hänen opiskelijoistaan M. George Craford loi ensimmäisen keltaisen ledin vuonna 1970. Ledin kehitys jatkui erilaisiin yhdistelmiin luoden uusia värejä ja tehokkuuksia, mutta Holonyakin metodit pysyivät kehitystyössä alati läsnä. (Tekla 2003; Courtland 2014a.)

Väreistä tärkein lienee kuitenkin sininen, sillä sen värisen diodin keksimisestä kolme japanilaista palkittiin fysiikan Nobelilla vuonna 2014. Uuden keksinnön mahdollistivat kolmesta palkitusta kaksi, Isamu Akasaki ja Hiroshi Amano Nagoyan yliopistosta, jotka kehittivät korkealaatuisen galliumnitriitin vuonna 1986. Sekoittamalla galliumnitriittiä indiumnitriittiin saadaan tuloksena indium galliumnitriittiä (InGaN), eli sinistä valoa hohtava kerros. Shuji Nakamura julkisti mullistavan lopputuloksen vuonna 1994. (Courtland 2014b; Stevenson 2010)

Syy, miksi sininen led oli Nobel-palkinnon arvoinen, löytyy sen potentiaalista. Sininen led oli kaikista väreistä vaikein saada aikaiseksi ja tärkeimpänä se tarjosi edellytyksen tehdä valkoisen ledin, jonka mahdollisuudet ovat rajattomat. Värin muutoksen mahdollistaa keltaisesta ledistä johdettu fosforipinnoite, joka sinisen ledin päälle laitettuna muuttaa värin valkoiseksi. Valkoinen led muuttaa 50 % saamastaan sähköstä valoksi ja tarjoaa rakennusmateriaalin mm. nykypäivän led-näyttöihin. Sen elinikä on moninkertainen hehkulamppuihin ja loisteputkiin verrattuna, eikä se sisällä myrkyllistä elohopeaa. Yhtä kaikki, punaisen diodin keksijä Nick Holonyak kollegoineen piti japanilaisten Nobel-palkintoa loukkauksena omaa panostaan kohtaan. (Diep 2014; Stevenson 2010; Courtland 2014b)

Ledin tehokkuus on kaksinkertaistunut n. 36 kuukauden välein aina 1960-luvulta asti. Vuonna 2006 valodiodiin saatiin ahdettua jo 100 lumenia per watti ja 2010 laboratorioissa luku oli jo huimat 250 lumenia per watti. Ledin kehitys noudattaa Haitzin lakia, joka perustuu tohtori Roland Haitzin vuonna 2000 esittämään arvioon ledin eksponentiaalisesta kehityksestä nyt ja tulevaisuudessa. (Stevenson 2010; Manninen 2012,18; Osram; Richard 2011.)

#### 4 TUTKIMUS JA ENNAKKOLUULOT

Kuten kaiken uuden tekniikan kohdalla, on tutkittava sen turvallisuus ympäristön ja ihmisten kannalta eivätkä diodit valonlähteinä ole tästä poikkeus. Led-valot kuulostivat aivan liian hyvältä ollakseen totta, ja pian alkoikin ilmestyä tutkimuksia niiden vaaroista. Yksi laajimmin uutisoitu tutkimus tehtiin Complutensin yliopistossa Madridissa vuonna 2012 ja se julkaistiin fotokemian ja fotobiologian nettilehdessä. Tutkimuksen mukaan 99 % verkkokalvoa suojaavista soluista voi vahingoittua led-valosta. Syynä on ledien tuottama sininen valo, joka on haitallista silmälle verrattuna muihin spektrin väreihin. Erityisen haitallisina koettiin led-näytöt, joita tuijotetaan yhtäjaksoisesti pitkään, ja tutkimuksessa mukana ollut tohtori Celia Sánchez-Ramos ennusti liialliselle led-valolle altistumisen johtavan silmävammojen epidemiaan. Tutkimusta siteerattiin useissa uutislähteissä vuosina 2013–2014 mm. Daily Mailissa ja Financial Timesissa. Suomessa asiasta uutisoi mm. Iltasanomat ja Iltalehti. (UPI 2013; Livescience 2013; Metro 2013; Financial Times 2014; Daily Mail 2013; Iltasanomat 2014.)

Tutkimus ei kuitenkaan kestänyt kriittistä tarkastelua. 2014 joulukuussa julkaistiin vasta-artikkeli Machinedesign-nettisivulla. Artikkelissa kiinnitettiin erityisesti huomiota siihen, että Madridin yliopiston tutkimuksessa verkkokalvon soluja altistettiin valolle joka vastaisi 100W hehkulampun tuijottamista n. 10cm päästä yhtäjaksoisesti 12 tuntia, ja tällainen altistus vahingoittaisi kenen tahansa verkkokalvoa. Samassa artikkelissa pureuduttiin myös pelätyn sinisen valon vaaroihin. Kirkas sininen valo tosiaan voi olla silmälle haitallista jos sille altistuu pitkään, mutta sillä ei ole väliä onko sinisen valon lähde led vai joku muu. Tutkimuksessa ohitettiin myös se, että valtaosa sinisistä ledeistä on muunnettu fosforikerroksella valkoisiksi ja näiden valkoisten ledien haitallisuudesta ei ole toistaiseksi mitään todisteita. (Machinedesign 2014.)

Suomessa Yle (2015) haastatteli samasta aiheesta säteilyturvakeskuksen tutkimusprofessoria Kari Jokelaa ja silmälääkärinä Timo Kalimaa. Jokelan mukaan ihmisen tulisi silmiensä puolesta pelätä vain auringon valoa. Silmän sisään tulevan valon on oltava hyvin voimakasta sinistä led-valoa. Hän huomautti myös, että ihminen suojautuu haitalliselta valolta automaattisesti tullessaan häikäistyksi. (Yle 2015.)

Silmälääkäri Kalima ei myöskään ollut huolissaan led-näyttöistä. Sinisen valon haitallisuuteen taasen vaikuttaa hänen mukaansa valon voimakkuus ja sen etäisyys. Hän luotti myös led-tuotteiden laaduntarkastukseen ja testaukseen ennen markkinoille pääsyä. Kalima ei kuitenkaan kiellä pitkäaikaisen näytön tuijottamisen aiheuttavan tietynlaista riesaa silmille. Hän kuitenkin huomauttaa että iän mukana tulevat silmäongelmat ovat monen tekijän summa, eikä niistä voi syyttää yksinomaan näyttöjä. Muita syitä on ikääntymisen seurauksena vähentyvä kyynelneste, ilmastointi ja toimistotilojen kirkas valaisu. (YLE 2015.)

Ledien sisältämät metallit herättivät myös huolta vuonna 2010 *Environmental Science and Technology*-lehdessä julkaistussa, ja Kalifornian yliopiston tuottamassa tutkimuksessa, jonka mukaan ledit sisältävät ihmiselle vaarallisia aineita kuten lyijyä ja arsenikkia. Nämä aineet on yhdistetty mm. eri syöpäsairauksiin, hermovaurioihin, munuaissairauksiin, kohonneeseen verenpaineeseen ja ihottumiin. Scientific American-julkaisu otti tutkimuksen tarkasteluun vuonna 2012. (Gizmag 2011; Scientific American 2012.)

Alkuperäiseen tutkimukseen otettiin mukaan arkipäiväisiä led-valoja, kuten jouluvaloja, autojen jarruvaloja ja liikennevaloja. Pahimmiksi huomattiin punaiset ledit, jotka sisälsivät kahdeksankertaisen määrän lyijyä kuin mitä Kalifornian osavaltion laki salli. Myös muista ledeistä löytynyt nikkeli, kupari ja hopea ylittivät säätelyrajan, ja ne nähtiin uhkana ihmiselle ja ympäristölle. Rikkoutuneen ledin sisältävien metallien määrän ei uskottu olevan riittävän suuria aiheuttamaan syöpää, mutta rikkoutuneen ledin siivouksessa neuvottiin varovaisuuteen ja hanskojen sekä kasvosuojaimen käyttöön. Kaliforniassa valmistettiin lakia, joka vaatisi tiukempaa testausta led-tuotteille mutta teollisuusalojen ryhmittymät vastustivat lakia ja kuvernööri Arnold Schwarzenegger jätti lain odottamaan poistuessaan virasta. Tutkimuksessa mukana ollut Oladele Ogunseitan kritisoi päätöstä sanomalla, että ilman lakia on mahdollista korvata yksi turvaton tuote toisella turvattomalla tuotteella ja tämä vaarantaa ihmisiä. Myös hehkulamppujen ja energiansäästölamppujen on todettu sisältävän suuria määriä lyijyä ja elohopeaa. (ACS Publications 2010; Gizmag 2011; Scientific American 2012.)

Yhdysvalloissa siirtymä pois hehkulamppuista tapahtui lakimuutoksella vuonna 2007, ja vaikka kyselytutkimuksen mukaan 65 % kansalaisista oli valmis vaihtamaan lamppunsa, uusien valonlähteiden turvallisuusriskit, tehottomuus ja hinta huolestuttivat ja suuttivat monia. Useat eri asiantuntijat ottivat kantaa ilmi tulleisiin epäilyihin. Hehkulamppuihin

verrattuna uudet lamput olivat toki monin verroin kalliimpia ja aiheuttivat kuluttajissa närää. Ihmiset hamstrasivat koteihinsa kasoittain hehkulamppuja ja päivittelivät energiansäästölamppujen hintoja keskustelupalstoilla. Noah Horowitz, ympäristöinsinööri ja energiatehokkuuden keskuksen johtaja Luonnonvarojen Puolustusvaltuustossa otti kantaa asiaan sähköpostissaan selittäen, että energiansäästölamppujen avulla yhdysvaltalainen voi säästää 30–50\$ sähkölaskuissaan johtuen niiden 6-10 vuoden eliniästä. (National Geographic 2014.)

National Geographicin sivuilla on tehtävissä myös laskenta, jolla saat selville kuinka paljon säästäisit kotonasi käyttämällä energiansäästölamppuja ja ledejä hehkulamppujen sijaan. Täytin tietoihin oman yksiöni lamppujen tiedot. Vastauksien mukaan käytän 4.4 kertaa säästeliäämpiä valon lähteitä kuin keskimääräinen yhdysvaltalainen koti. Valinnoillani myös säästän keskimäärin 144,07\$ (126,11e) vuodessa tekemieni valintojen ansiosta. Testin tulokset jatkavat kertomalla että jos jokainen Yhdysvaltalainen koti tekisi samat ratkaisut, säästyisi vuosittain 16 280 197 529\$ (14 250 512 742.66e) energiakuuissa kansallisella tasolla, joka vastaa 23 hiilikaivoksen sulkemista tai 17 622 198 auton ottamista pois teiltä. Säästöt vähentäisivät hiilidioksidipäästöjä 89 873 211 megatonnia ja 489 372 vaunullista hiiltä ei koskaan lähtisi liikkeelle rautateillä. (National Geographic.)

EU kielsi hehkulamput vuonna 2009 ja suomessa se aiheutti pitkälti samankaltaisia reaktioita kuin Atlantin takana muutama vuosi aiemmin. Kaikki kritiikki ei kuitenkaan ollut tuulesta temmattua. Uusien lamppujen tehokkuus ja pitkäkestoisuus eivät usein vastanneetkaan luvattua. Led-lamput törmäsivät ongelmiin laajan kilpailun myötä, jonka mukana markkinoille ilmestyi halpaa tusinatavaraa. Turvallisuusstandardeja ei ehditty valmistella tarpeeksi nopeasti, mikä salli turvattomien laitteiden pääsyn markkinoille. EU-laajuisen tutkimuksen myötä iso osa led-valoista reputti testit. Suomessa valojen turvallisuutta valvoi Turvatekniikan Keskus (Tukes) ja 2011 loppuvuoteen mennessä 12 eri led-lamppumallia oli poistettu kaupoista, ja yli puolet testatuista lampuista sai jonkinlaisen huomautuksen. Tukesin ylitarkastaja Mika Toivonen kuitenkin huomauttaa Uudelle Suomelle tehdyssä haastattelussa että tarkastuksiin on valittu pitkälti lamppuja, joista odotetaan löytyvän ongelmia kun taas isot brändit osaavat näitä välttää. Esimerkiksi halvoissa malleissa led-valon jäähdytysjärjestelmä on huonosti eristetty, ja voi aiheuttaa sähköiskun. (Uusi Suomi 2011; Tukes 2012.)

Mitä turvallisuuteen nykypäivänä tulee, energiansäästölamput, loisteputkilamput ja led-lamput luokitellaan ongelmajätteeksi. Energiansäästölamput ja loisteputkilamput sisältävät pieniä määriä elohopeaa. Led-lamput eivät sisällä ongelmajätettä mutta niiden kierrätys ongelmajätteen mukana perustellaan elektroniikalla, joka voidaan ottaa uusiokäyttöön eikä sitä voida hävittää normaalin talousjätteen mukana. (Motiva 2015; Stek.)

Kun tapahtumatekniikan alan ammattilaisilta kysyy heidän ennakkoluuloistaan ledeistä esitystekniikassa, Audicon myyntipäällikkö Pikku-Markku Tuominen aloittaa kertomalla että hän olisi odottanut ledin kehityksen olevan paljon nykyistä nopeampaa. Toki RGB-ledit olivat väriensä kirkkauden vuoksi iso juttu aikoinaan, mutta oli pettymys että halogeenien korvaajalla kesti näin kauan kehittyä valkoisen valon ja himmennysominaisuuksiansa osalta käyttökelpoiseksi. Ledien tulo myös laski värikalvojen myyntiä hetkellisesti. Ylimakeisiin väreihin kuitenkin kyllästyttiin nopeasti, ja kalvoja hankittiin taas välisävyjen saamiseksi. (Tuominen, haastattelu. 26.4.2016.)

ETC:n kentällä toimiva projektipäällikkö Luke Delwiche piti myös alkuperäisiä led-heittäimiä hyvin riittämättöminä, mutta kokee taas 10–15 vuoden kehityksen nykyiseen tekniikkaan nopeana, koska ei aikoinaan uskonutkaan ledin tarjoavan näin laajoja mahdollisuuksia esitystekniikassa. Kerava-salin tekninen tuottaja Jussi Kaatrasalo on yhtä mieltä alkuperäisistä ”hernemaissipaprikan” väreissä olevista heittimistä, mutta näki jo vuosikymmenen alussa ledin potentiaalin korvata halogeenit ja purkauslamput. (Tuominen, haastattelu. 26.4.2016; Delwiche, haastattelu. 27.4.2016; Kaatrasalo, haastattelu 5.5.2016.)



## 5 LEDIEN TULO ESITYSTEKNIikkaAN

Led-valo ei pienitehoisuutensa takia näkynyt esitystekniikassa alkuaikoina kuin laitteiden merkkivaloina. Kehittymisensä myötä, se on raivannut tiensä myös esitysheittimiin viimeisen kymmenen vuoden aikana. Ensimmäiset led-heittimet olivat edullisia ja yksinkertaisia, mutta eivät kovin laadukkaita tai monikäyttöisiä. Selvästi erottuvat ja epätasaisesti sijoitetut diodit tekivät valon ulkomuodosta kömpelön ja eri värien sekoitukset eivät olleet laadukkaita. Perusvärit olivat RGB eli punainen, vihreä ja sininen, ja parempien sävyjen toivossa turvauduttiin värikalvoihin, jotka taas söivät heittimen valotehoa. Nämä heittimet ajoivat juuri ja juuri asiansa pienissä tapahtumissa kuten diskoissa ja sisustusvalaisuna ja niiden valo väpähti kamerakuvassa. (Learn Stage Lighting 2014.)



KUVA 3. Epätasaisesti sijoitetut diodit (Amazon)



KUVA 4. Led Par 64 tasaisesti sijoitetuilla diodeilla (Oobe)

Nämä mahdollistivat yhä syvempiä värejä, pastellinsävyjä ja valkoisen valon käytön. (Learn Stage Lighting 2014.)

Myöhemmin markkinoille alkoi ilmaantua suuritehoisempia led-heittimiä, kun 5-10mm ledeistä siirryttiin 1W ledeihin. Myös diodit oli sijoitettu tasaisesti, värit olivat kirkkaampia ja värisekoitukset laadukkaampia. Myös väpätys videokuvassa oli korkealaatuisissa heittimissä historiaa. Ongelmana olivat kuitenkin yhä moniväriset varjot, jotka eriväriset diodit aiheuttivat. Ledien värit myös lisääntyivät, ja perinteisen RGB:n rinnalle tuli RGBW (white) ja RGBA (amber) eli valkoinen ja meripihkan keltainen. Nämä mahdollistivat yhä syvempiä värejä, pastellinsävyjä ja valkoisen valon käytön. (Learn Stage Lighting 2014.)



KUVA 5. Led-heitin piiloteuilla diodeilla (Chauvetprofessional)

Seuraava kehitysaskel oli homogeeninen led tai ”tri-color led”, jossa eriväriset led-sirut oli sijoitettu linssin taakse. Led-

heitin pystyi nyt tuottamaan suoria värisekoituksia ilman yksittäisten diodien näkymistä heittimessä tai erivärisiä varjoja. (Learn Stage Lighting 2014.)

## 5.1 Hyödyt

Kuten aiemmin jo todettiin, ledin jäähdytysjärjestelmä tekee siitä paljon helpommin käsiteltävän halogeeni-heittimiin verrattuna. Ledin käyttöikä täydellä teholla vaihtelee 30 000 ja 70 000 tunnin välillä, joka on n. 10 vuotta. Näiden lisäksi led-heittimet tarjoavat nykypäivän tekniikalla monenlaisia muitakin hyötyjä. (Minivalomessut 2013.)

Halogeeni-heittimen kohdalla himmentimelle saa antaa korkeitakin arvoja ennen kuin valo on nähtävissä, johtuen hehkulangan viiveestä. Led sen sijaan syttyy välittömästi ja himmennyksessä valoteho alkaa näkyä jo kahden prosentin kohdalla, kirkastuen pehmeästi aina sataan prosenttiin asti. Tuominen mainitsee nähneensä tanssiesityksen, jonka valoja ei olisi voinut toteuttaa muilla heittimillä kuin ledeillä nopeiden leikkausten takia. Kun nopeatempoista musiikkia on seurattava valoilla iskulleen, valoheittimen nopeus on valttia. Hehkulanka ei myöskään ole ripustuksen esteenä, vaan ledin voi ripustaa miten päin haluaa ilman että heitin kärsii. Se on myös vähemmän herkkä tärinälle tai kolinalle. Ledit eivät myöskään syö himmenninkanavia vaan toimivat DMX-signaalilla. Erilaiset mode-vaihtoehdot tarjoavat eri käyttömahdollisuuksia tarpeen mukaan, kun kaikkia ominaisuuksia ei tarvitse ottaa käyttöön, ne myös säästävät tilaa DMX-universumissa. (Minivalomessut 2013; Tuominen, haastattelu 26.4.2016)

Halogeeni-heittimistä on tullut tutuksi valokiilan keskellä oleva ”hotspot”, missä valo on kirkkaimmillaan himmentyen kiilan reunoja kohti. Ledissä ei tätä ongelmaa ole, vaan valo on yhtä kirkas niin reunoilla kuin keskelläkin. Led-valo ei myöskään muuta värilämpötilaansa himmetessään, vaan pysyy koko ajan samana. Mikäli led-heittimiä kuitenkin käyttää yhtä aikaa halogeenien kanssa, on esimerkiksi ETC:n led-heittimessä kytkettävissä päälle ”red shift”- ominaisuus, joka muuttaa värilämpötilaa lämpimämmäksi valon himmetessä. Näin eri valon lähteiden välille ei tule ristiriitaa. ETC:llä on käytössään myös patentoitu Selador-tekniikka, joka tarkoittaa seitsemän värin sekoitusta led-heittimessä ja näin ollen puhtaampia valkoisen sävyjä. Tuominen ei kuitenkaan pidä tätä toimivana ratkaisuna, vaan hänen mukaansa on parempi mitä vähemmän ledejä lampussa on. Sekä Delwiche että Tuominen ovat kuitenkin yhdessä asiassa sama mieltä. Ihmissilmä on ehkä

tottunut siihen että valon väri lämpenee himmentyessä, mutta jos oltaisiin tilanteessa missä halogeenit tulisivat vasta ledien jälkeen, moista ominaisuutta pidettäisiin täysin tarpeettomana. (Stage 2015; Minivalomessut 2013; Tuominen, haastattelu 26.4.2016.)

Ledeillä voidaan nykyään korvata kaikki halogeenit. Aikaisemmin ledin valkoisen valon ongelmana oli sen epäpuhtaus ja taittuminen esimerkiksi siniseen tai vihreään, mikä teki sen käyttämisestä ihmisen kohdevalaisussa vaikeaa. Nämä ongelmat ovat kuitenkin nykyään historiaa, kun ledikin voi antaa valkoisen valon väriämpötilaksi 2700–3200 Kelviniä. Esimerkkinä Tuominen mainitsee oopperatalon Italiassa, jossa kaikki valot ovat ledejä, myös etuvalot. Hänen mukaansa ihmissilmällä eroa ei huomaa. (Minivalomessut 2013; Tuominen, haastattelu 26.4.2016.)

## 5.2 Haitat

Vaikka led-heittimien tekniikka antaa paljon hyötyjä, siitä voi koitua myös päänvaivaa. Toisin kuin konventionaaliset heittimien kohdalla, lediä on vaikeampi korjata, mikäli se rikkoutuu. Monimutkaisen tekniikan takia heitin on lähetettävä valmistajalleen ja korjauksessa voi kestää aikaa. Led-heittimien tekniikka myös kehittyy kiihtyvää tahtia. Mikäli käytössä on halvempia ratkaisuja, ei rikkoutuneen led-heittimen tilalle olekaan välttämättä saatavilla enää samaa mallia. Tuominen huomauttaa, että kalliimmissa heittimissä tätä ongelmaa ei ole, vaan samaa mallia myydään vuosia ja siihen on saatavilla varaosia. Led-heittimien ohjelmistot myös voidaan päivittää tarvittaessa sen perusteella mitä palautetta eri ominaisuuksista saadaan. (Minivalomessut 2013; Tuominen, haastattelu 26.4.2016.)

Yksi erikoisemmista ongelmista liittyy led-heittimien ”liian hyvään” DMX-signaaliin. Jos DMX-signaaliin tulee häiriö, konventionaaliset heittimet eivät useimmiten ehdi hehkulangan ja himmentimen viiveiden takia reagoimaan siihen, ja häiriö voi jäädä täysin huomaamatta. Led-heittimet kuitenkin reagoivat DMX-signaalin kautta häiriöön välittömästi ja voivat sen johdosta sammua tai liikkuva heitin voi palautua oletusasentoonsa. Ledit voivat myös sammutettaessa sammua eri aikoihin samasta syystä. Tuominen painottaa tässä kuitenkin signaaliverkon rakennuksen laadun tärkeyttä. Esimerkiksi valo-oh-

jausjärjestelmien globaali johtaja MA-Lighting on taannut verkkonsa toimivan moitteettomasti ja ilman viiveitä, mikäli se on rakennettu oikein. (Minivalomessut 2013; Stage 2015; Tuominen, haastattelu 26.4.2016.)

### 5.3 Tulevaisuus

Led-heittimet ovat kehittyneet huimasti viime vuosina, mutta mitä on nähtävissä tulevaisuudessa? Tuominen kertoo ihmisten odottavan hintojen merkittävää laskua sekä heitin-kokojen pientymistä, mutta ei pidä sitä itse realistisena. Led-heittimen tekniikan monimutkaisuus on yksinkertaisesti kallista, ja korkeatehoisen ledin koko yksinkertaisesti on suurempi. Led pitäisi keksiä kokonaan uudelleen pienempiä ratkaisuja varten. (Tuominen, haastattelu 26.4.2016.)

Tuominen ei myöskään näe halogeenien katoavan markkinoilta lähiaikoina. Mikäli näin kävisi, oltaisiin taas aivan uuden asian äärellä. Ledeillä voidaan jo valon laadun kannalta korvata halogeenit, mutta taloudellisesti se ei ole vielä järkevää. Tulevaisuudessa voi hänen mukaansa olla mahdollista saada edullisemmin isotehoisia led-heittäimiä, mutta suuria hinnanmuutoksia ei ole näkyvissä. (Tuominen, haastattelu 26.4.2016.)

Delwiche odottaa ledien olevan tulevaisuudessa yhä kirkkaampia ja kompaktimpia. Suurempana muutoksena hän näkee valmistuserien yhdenmukaistumisen entisestään ja hintamuutokset. Kun yhä useampia heittäimiä myydään kuluttajille, myös valmistustavat kypsyvät. Hän myös uskoo led-teknologian näkyvän yhä enemmän jokapäiväisessä elämässämme ja ratkaisevan arkipäivän ongelmia joiden olemassaolosta emme edes vielä tiedä. (Delwiche, haastattelu 27.4.2016)

## 6 HANKINTA

### 6.1 Mitä ottaa huomioon

Led-heittämiä hankkiessa on syytä miettiä tarkkaan käyttötarkoitusta. Esimerkiksi etuvaloiksi on turha harkita RGB-valoja. Tuominen kertoo, että mitä enemmän eri värivaihtoehtoja ledissä on, sitä pienempi valoteho yhdellä värillä on. Etuvaloiksi sopivat siis parhaiten vain valkoista valoa käyttävät heittimet, joissa on eri kylmän ja lämpimän sävyjä. Takavaloksi RGB-ledit sopivat hyvin esimerkiksi bändille. Tässäkin tulee miettiä käyttötarkoitusta, sillä teatterissa kriteerit valon laadulle ovat tiukemmat kuin bändivalaisussa. Kun jokaisen heittimen tehtävä on selvillä, voi säästää rahaa sillä kaikissa heittimissä ei tarvitse olla kaikkia ominaisuuksia. Valmistajaa valitessa kannattaa valita luotettava merkki tai luottaa myyjän sanoihin. Delwichen sanoin ”you get what you pay for” eli ledheittimissä laatua saa rahalla. Halvat mallit voivat houkuttaa, mutta niiden käyttöikä voi jäädä lyhyeksi. Tuominen huomauttaa, että led-heitin on yhtä hyvä kuin sen heikoin lenkki. Halvoissa malleissa on usein säästetty jäähdytysjärjestelmässä. Led voi tällöin ylikuumentua ja rikkoutua tai järjestelmä on erittäin kovaääninen, joka tekee sen käyttämisestä esim. teatterissa mahdotonta. (Delwiche, haastattelu 27.4.2016; Tuominen, haastattelu 26.4.2016; Stage 2015.)

Useat valmistajat tarjoavat heittämiään testikäyttöön ja se on ehdottoman kannattavaa varsinkin teatterikäytössä. Valitse ainakin yksi jokaista heitintä joissa ovat tarvitsemasi eri ominaisuudet, ja kokeile niitä käyttöpaikassa, jolloin toiminta oikeilla etäisyyksillä paljastuu saman tien. Katso myös kuinka eri värit toimivat eri kohteisiin, sekä tasaväriselle alustalle että värikkäälle. Tutkiessasi ledin ominaisuuksia tulisi kiinnittää huomiota mm. valotehoon, sen tasaisuuteen ja himmennysominaisuuksiin. (Stage 2015; Minivalomessut 2013; Tuominen, haastattelu 26.4.2016.)

Lediä ei tule tarkastella samoilla kriteereillä kuin tungsten-valoa. Jos saat kuulla tungsten-valon olevan 1kW voimakkuudeltaan, se kertoo sinulle jo paljon. Ledeissä kuitenkin katsotaan valonlähteen kirkkautta eli lumeneita ja paljonko valoa osuu kohteeseen, josta käytetään nimitystä ”lux”. Himmennysominaisuuksia kokeillessa on tärkeä käydä läpi muutkin vaihtoehdot kuin 5 sekunnin himmennys. Tarkista himmeneminen siis aina 30 sekuntiin asti, erot voivat olla isoja eri valmistajien välillä. (Stage 2015.)

Testaa myös valon laatu pitämällä heitintä päällä useita tunteja. Joidenkin heittimien väriämpötila voi muuttua tässä ajassa. Entä ovatko eri diodit näkyvissä aiheuttaen erivärisiä varjoja vai onko kyseessä homogeeninen led? Muista että ledit vievät virtaa myös valon sammussa sillä ne toimivat stand by-virralla eli ovat valmiustilassa silloinkin kun ovat käyttämättä. Led-valojen käytön yleistyminen siis muuttaa myös virran kulutuksen laskentaa tapahtumapaikoilla. (Minivalomessut; Stage 2015.)

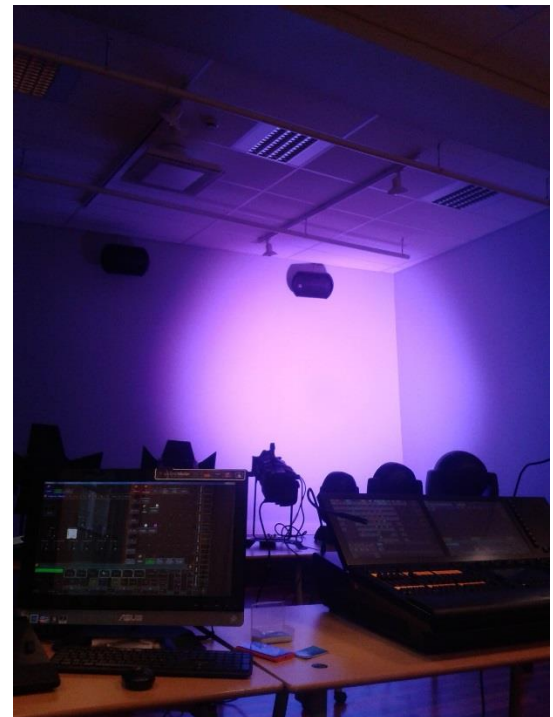
## 6.2 Valmistajat

### 6.2.1 JB-Lighting

Luotettavista ja suositelluista valmistajista Tuominen mainitsee ensimmäiseksi JB-Lighting-yrityksen. Hän kuvaa heidän himmennysominaisuuksiaan täydelliseksi, nähtävillä on eroja jo 0-3 % välillä ja portaattomasti aina 100 % valotehoon asti. JB on saksalainen yritys ja sen tuotteet myös valmistetaan saksassa. (Tuominen, haastattelu 26.4.2016; Minivalomessut 2013.)

Yritys on aloittanut toimintansa vuonna 1990 ja esitellyt ensimmäisen led-heittimensä vuonna 2005. Kuvailuisaksi he tulivat led-tekniikkaa käyttävistä liikkuvista heittimistään. Heidän heittimiensä valokeila on tasainen suurellakin valoteholla, valkoinen valo mukaan lukien. Sen lisäksi heittimet ovat kevyitä ja hiljaisia sopien erinomaisesti myös teatterikäyttöön.

JB:n heittimiä käytetään mm. Oulun ja Jyväskylän kaupunginteattereissa. (JB-Lighting; Audico: JB-Lighting; Tuominen, haastattelu 26.4.2016.)



KUVA 6. Liikkuvan JB-heittimen valokeilan taseisuuden demonstraatio (Minivalomessut 2013)

### 6.2.2 Spotlight

Italialainen Spotlight on aloittanut toimintansa 1960-luvulla. Yritys on aloittanut vaatimattomasti diskojen ja harrastajateattereiden valaisulla, mutta noussut luotettavaksi valaisintoimittajaksi aina teattereista tv-käyttöön. Spotlight tarjoaa led-heittämiä aina 450W valotehoon asti, joka vastaa 2kW halogeenia. Tuotetarjontaa on seuraajaheittimistä profiileihin, ja koska eroa ei halogeeneihin ole, ne sopivat hyvin korvaamaan vanhoja heittämiä. Spotlight on kehittynyt nimenomaan led-valaisussa ja tarjoaa kaikkiin konventionaalisiin heittämiin yhtä laadukkaat led-versiot. Esimerkkinä Tuominen kertoo sen että mm. PC-heitin on led-versiona ehdottomasti parempi, koska kuumentumattoman ledin saa aivan linssiin kiinni mahdollistaen jopa 180 asteen aukeamiskulman. (Spotlight; Audico: Spotlight; Tuominen, haastattelu 26.4.2016.)

### 6.2.3 Elation Professional

Yhdysvalloissa vuonna 2002 perustettu yritys tarjoaa laadukasta led-valoa yökerhoista auditorioihin. Tuominen suosittelee merkkiä erityisesti bändivaloiksi. Yritys on voittanut mm. Vuoden Valoshow-palkinnon luomalla värikkään yökerhoympäristön LDI 2000-tapahtumassa sekä Vuoden Valaisintuote-palkinnon liikkuvalla led-heittimellään vuonna 2007. Elation Professional on erityisesti tunnettu tri-color led-teknologiasta.

Yksi yrityksen uusimmista tuotteista on led-strobo RGBW-väri vaihtoehtoilla ja 40 000 lumenin valoteholla. (Elation Professional; Audico: Elation Professional; Tuominen, haastattelu 26.4.2016)



KUVA 7. Elation Professionalin valoshow (Elationlighting)

## 6.2.4 ETC

Kun led-valot olivat vielä RGB-asteella, ETC (Electronic Theatre Controls) halusi tarjota tilalle jotain muuta. He ostivat vuonna 2009 Selador-yrityksen, jonka kehittämällä ja ETC:n patentoimalla 7-väritekniikalla he pystyivät tarjoamaan erittäin puhdasta valkoista valoa. Delwiche kuvailee ETC:n kehitystä merkittäväksi. Hän ei olisi viisi vuotta sitten uskonut että yritys pystyisi tarjoamaan nykyisen kaltaisia led-heittämiä, niin suuria harppauksia on menty tekniikassa eteenpäin. ETC perustettiin Yhdysvalloissa vuonna 1975 ja se kuvailee itseään maailmanlaajuisesti johtajaksi valoteknologiassa. Yritys tarjoaa useita heittämiä aina arkkitehtuurisesta valaistuksesta teattereihin. ETC:n kuuluisin tuote on Source Four-profiiliheitin, jota on saatavilla 19–50 asteen aukeamiskulmilla. Siitä löytyvät helppokäyttöiset ja tarkasti rajaavat veitset, sekä yhdellä kädellä operoitava valokii-  
lan tarkennus. Source Four LED on saman heittimen led-versio josta on olemassa eri versioita eri käyttötarkoituksiin: Lustr+ tarjoaa kaiken valkoisesta valosta värisekoituksiin ja niiden sulavan vaihtumisen. Tungsten on taas suunniteltu tarjoamaan lämmintä valkoista valoa 3000K värilämpötilalla. Daylight tarjoaa nimensä mukaisesti 5600K valkoista valoa imitoiden päivänvaloa ja sopii näin ollen esimerkiksi HMI:n korvaajaksi valotehon tarpeesta riippuen. Studio HD on suunniteltu nimenomaan kameravalaisuun eikä sen valo siis väpätä kuvassa. Source Four LED series 2 menee vielä hieman pidemmälle. Lustr Array tarjoaa myös limen vihreän ledin, joka kasvattaa valotehoa valkoisissa ja vaaleissa värisävyissä sekä parantaa värisekoitusten laatua. Heittimessä on myös kasvatettu punaisen värin määrää, joka yhdessä limen värisen ledin kanssa tuottaa meripihkan keltaista, oljenkeltaista ja pinkkiä väriä 300 % kirkkaampina kuin alkuperäisessä Source Four LED-heittimessä. (Stage 2015; ETC.)



KUVA 8. ETC Source Four LED Series 2-heitin (ETC Video Library)



ETC mainostaa heittimiensä toimivan mutkattomasti halogeenien rinnalla, jolloin kustannuksetkin pienenevät, kun kaikkia valoja ei ole pakko korvata led-heittimillä. Yhtenä esimerkkinä toimii Keravalla oleva Kerava-Sali, missä valokalustoa on päivitetty ETC:n led-heittimillä. Muutoksesta kertoo paikan tekninen tuottaja Kaatrasalo. Kerava-salin valokalusto oli vanhentunutta, joten markkinoilla olevia vaihtoehtoja käytiin läpi useita. Ongelmaksi koituivat kuitenkin valoteho ja värit, jotka eivät olleet riittäviä teatterikäyttöön. Heitin joka täytti vihdoin paikan vaatimukset, oli ETC:n Source Four LED series 2. Kaatrasalo oli testannut heittimiä muualla ja tuonut yhden Kerava-Saliin testattavaksi paikan päällä. Hän piti rinnakkaiskäytön mahdollisuutta tärkeänä, sillä vaikka hän uskoo led-heittimien käytön kasvavan, halogeenien aika ei ole vielä lopussa. Led-heittimiä tarvitsee kuitenkin vähemmän, ne ovat energiatehokkaampia eivätkä vaadi himmentimien uusimista jatkossa. (Stage 2015; Kaatrasalo, haastattelu 5.5.2016.)

Kysyttäessä eri valon lähteiden yhdistämisen haasteista, Kaatrasalo viittaa lähinnä työskentelytapojen muuttumiseen. ETC:n led-heittimet antoivat halogeenien kanssa samat värit ja himmennyskäyrät, joten katsoja ei valon lähteiden eroa huomaa. Valmistelutyön määrä kuitenkin kasvaa, sillä led-heittimiä ohjelmoimassa eri mode-vaihtoehtoja on useita ja ne sisältävät paljon eri ominaisuuksia. On mietittävä mitä ominaisuuksia on tarvitsemassa ja valittava sen mukaan. Myös värit valitaan esiohjelmointivaiheessa. Vaikka intensiteettiprosentit näkyvät valopöydässä, on ledien ollessa kyseessä tuijotettava lavaa, sillä numerot kertovat eri tarinaa kuin halogeenin kohdalla. (Kaatrasalo, haastattelu 5.5.2016; Stage 2015.)

Kaatrasalon demonstroidessa eri valon lähteiden eroja Kerava-Salissa, esille nousi valokeilan tasaisuus. Vanhoissa halogeenivaloissa valokeila on keskeltä kirkkaampi (ns. hotspot) ja himmenee kohti reunoja. Led-heittimen keila on kuitenkin tasainen mikä jo aiemmin luettiin hyviin ominaisuuksiin, mutta näyttämöllä se aiheuttikin latteutta. Keskeltä kirkkaampi valokeila teki kohteestaan eläväisemmän. Kaatrasalo kuitenkin totesi että kyse on pitkälti tottumuskysymyksestä. Hän myös ihmetteli hieman itseään kun tarkkaili ledien ja halogeenien eroja niin tarkasti, vaikka ei tehnyt sitä erilaisten halogeenienkaan välillä. (Stage 2015.)

Kaatrasalon (haastattelu 5.5.2016) mukaan led-heittimet tarjoavat tällä hetkellä ainoana tekniikkaa, jota voidaan käyttää halogeenien rinnalla. Valoteho on riittävä ja värit rikkaita

sekä värilämpötilan säätö on käyttökelpoista. ETC on myös pienentänyt hankintakustannuksia mahdollistamalla led-perän kiinnittämisen halogeenilampun nokkaan. Kokonaista heitintä ei siis ole aina pakko ostaa, vaan led-ominaisuudet voi yhdistää vanhan heittimen runkoon. Kaatrasalo pitää myös tärkeänä että valmistajana toimii johtava teatterivalonheitinvalmistaja ETC jolta he tulevat samaan kyseisiin tuotteita vielä pitkään. (Kaatrasalo, haastattelu 5.5.2016)

## 7 POHDINTA

Lähtiessäni tutkimaan led-tekniikkaa ja sen roolia tapahtumatekniikassa en tiennyt mihin se minut veisi. Koin että kyseistä valonlähdettä ei ole vielä esitysteknisistä lähtökohdista käsitelty joten se oli tarpeellista. Minua kiinnostivat myös led-valon vastaanotto ja siihen liittyvät tutkimukset. Omat kokemukseni led-heittimistä olivat vaihtelevia, osa hyviä ja osa huonoja. Tiesin kuitenkin että eri laatuista tekniikkaa on valtavasti saatavilla omien kokemuksieni ulkopuolelta enkä tiennyt ensin mihin suuntaan tutkimus omia käsityksiäni muokkaisi. Olin aluksi uskonut että vastahakoisuutta led-heittäjiä kohden löytyisi paljonkin mutta olin siinä väärässä. Syynä oli nimenomaan se, että ledin tekniikka on jo kehittynyt tarjoamaan vaaditut ominaisuudet ja sen hyödyt ylittävät haitat.

Olen kuullut paljon led-heittimien nopeasti kehityksestä mutta se yllätti itsenikin. Vielä muutama vuosi sitten minulle oli sanottu että ledin valkoinen valo ei kykene kilpailemaan tungstenin kanssa mutta nyt uudelleen kysyttäessä vastaus oli ”helposti” ja sitä tehdään jo. Kenties ainoa syy sille etteivät ledit tule vielä korvaamaan täysin halogeeneja on niiden hinta. Kallista on myös uusia teattereiden ja tapahtumapaikkojen valonohjauksjärjestelmiä, kun himmentimien tarpeellisuus vähenee ja signaalikapasiteetin kasvaa. Siksi toisin kuin kodin perusvalaistuksessa, tapahtumatekniikassa ei voida siirtyä uuteen valotekniikkaan kerrasta, vaan mahdollisuus eri valonlähteiden käytölle samassa tilassa on tärkeää.

Toivon että opinnäytetyöni tarjoaa myös muille samojen kysymysten ääressä oleville tietoa kehittyvän tekniikan mahdollisuuksista ja hankintatavoista. Mikäli Tuomisen näkemykset tulevaisuudesta siinä että suurta hinnanlaskua ei ole havaittavissa pitävät paikkansa, eivät halogeenit todella olekaan vielä pitkään aikaan häviämässä. Tiedän kuitenkin nyt itse sen, että vaikka en koskaan juuri karsastanutkaan led-valoa, otan sen nyt vastaan vielä tervetulleemmin ymmärtäen paremmin sen ominaisuuksia ja siihen liittyviä työskentelytapoja.

Ledin mahdollisuudet vaikuttavat kuitenkin rajattomilta ja odotan uteliaisuudella, mitä Delwichen arvailemat led-teknologian tarjoamat tulevaisuudet ratkaisut voisivat olla.

## LÄHTEET

ACS Publications. 2010. Potential Environmental Impacts of Light-Emitting Diodes (LEDs): Metallic Resources, Toxicity, and Hazardous Waste Classification. Luettu: 2.4.2016. <http://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/es101052q>

Audico. Elation Professional. Luettu 28.4.2016. [http://www.audico.fi/tuotteet/valmistajat/elation\\_professional](http://www.audico.fi/tuotteet/valmistajat/elation_professional)

Audico. JB-Lighting. Luettu 28.4.2016. <http://www.audico.fi/tuotteet/valmistajat/jb-lighting>

Audico. Spotlight. Luettu 28.4.2016. <http://www.audico.fi/tuotteet/valmistajat/spotlight>

Cariitti. LED-valaistus – Kuinka LED-valot toimivat? Led-tietopaketti. Luettu 19.5.2015. <http://www.cariitti.fi/sivut/led-tietopaketti>

Circuits Today. 2013. Invention History of Light Emitting Diode (LED). Luettu 18.5.2016. <http://www.circuitstoday.com/invention-history-of-light-emitting-diode-led>

Courtland, R. 2014a. No Nobel for the Father of the LED. Luettu 22.4.2015. <http://spectrum.ieee.org/tech-talk/semiconductors/devices/no-nobel-for-the-father-of-the-led>

Courtland, R. 2014b. Inventors of Blue LED Win Nobel Prize in Physics. Luettu 22.4.2015. <http://spectrum.ieee.org/tech-talk/semiconductors/devices/inventors-of-blue-led-win-nobel-prize-in-physics>

Daily Mail. 2013. Do 'environmentally friendly' LED lights cause BLINDNESS?. Luettu 22.2.2016. <http://www.dailymail.co.uk/health/article-2324325/Do-environmentally-friendly-LED-lights-cause-BLINDNESS.html>

Diep, F. 2014. Why a blue led is worth a Nobel Prize. Luettu 22.4.2015. <http://www.popsci.com/article/technology/why-blue-led-worth-nobel-prize>

Eartheasy. LED Light Bulbs: Comparison Charts. Luettu 24.5.2015. [http://eartheasy.com/live\\_led\\_bulbs\\_comparison.html](http://eartheasy.com/live_led_bulbs_comparison.html)

Elation Professional. Luettu 28.4.2016. <http://www.elationlighting.eu/index.php>

ETC. Luettu 4.5.2016. <http://www.etcconnect.com/>

Financial Times. 2014. Safeguard eyesight by taking care over use of LED light. Luettu 22.2.2016. <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/a78d6b68-85ef-11e4-a105-00144feabdc0.html#axzz40uXoFJ1U>

Gizmag. 2011. LED bulbs not as eco-friendly as some might think, Gizmag, 2011. Luettu: 8.4.2016. <http://www.gizmag.com/led-bulbs-found-to-contain-toxic-metals/17876/>

Glamox. 2013. Kymmenen asiaa jotka sinun tulisi tietää ledeistä. Luettu 5.5.2015. [http://www.glamox.com/upload/2013/09/26/fi\\_singlepages-2.pdf](http://www.glamox.com/upload/2013/09/26/fi_singlepages-2.pdf)

- Glamox. LED ja energiatehokkuus. Luettu 19.2.2015. <http://glamox.com/fi/led-ja-energiatehokkuus1>
- Iltasanomat. 2014. Uudet tutkimukset: Led-valojen käytöllä voi olla ikävät seuraukset. Luettu 22.2.2016. <http://www.iltasanomat.fi/asuminen/art-2000000856400.html>
- InnovateUs. 2006-2013. Captain Henry Joseph Round. Luettu 4.5.2015. <http://www.innovateus.net/content/captain-henry-joseph-round>
- JB-Lighting. Luettu 28.4.2016. <http://www.jb-lighting.de/>
- Karttunen, A. 2010. Energiatehokkuutta parantavien materiaalien tutkimus. Luettu 26.5.2015. [http://www.acadsci.fi/akatemiaklubi/2009\\_2010/akatemiaklubi\\_karttunen.pdf](http://www.acadsci.fi/akatemiaklubi/2009_2010/akatemiaklubi_karttunen.pdf)
- Käär, J. 2015. Ledin käyttömahdollisuudet katuvalaistuksessa. Rakennustekniikka. Infra-tekniikka. Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Learn Stage Lighting. 2014. The Ultimate LED Stage Lighting Guide. Luettu 18.4.2016. <http://www.learnstagelighting.com/the-ultimate-led-guide/>
- Ledke. 2009. What is the led chip. Luettu 5.5.2015. <http://www.ledke.com/news/LED-chip-Definition.html>
- Livescience. 2013. LED Lights Might Damage Eyes, Researchers Say. Luettu 1.4.2016. <http://www.livescience.com/31949-led-lights-eye-damage.html>
- Lumenistics. 2012. Is Color Quality Scale (CQS) an improvement on CRI? Luettu: 27.4.2016. <http://lumenistics.com/is-color-quality-scale-cqs-an-improvement-on-cri/>
- Machinedesign. 2014. 3 Myths Surrounding LEDs,. Luettu 22.2.2016. <http://machinedesign.com/blog/3-myths-surrounding-leds-0>
- Mann, M. 1957. The Light That Won't Burn Out. Popular Science 170 (1), 115-117, 256.
- Manninen, J. 2012. Led-valaistuksen ja ohjauksen hankinta-, käyttö- ja energiakustannusten laskenta sekä vertailu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Metro. 2013. LED lights: Should we worry about damage to our eyes?. Luettu 1.4.2016. <http://metro.co.uk/2013/12/09/led-lights-should-we-worry-about-damage-to-our-eyes-4220937/>
- Minivalomessut. Tampere 26–27.11.2013
- Motiva. 2015. Lamppujen kierrätys. Luettu 2.4.2016. [http://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/koulut\\_ ja\\_oppilaitokset/aktiivista\\_oppimista\\_ ja\\_konkreettisia\\_saastoja\\_valaistus/lamppujen\\_kierratys](http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/koulut_ ja_oppilaitokset/aktiivista_oppimista_ ja_konkreettisia_saastoja_valaistus/lamppujen_kierratys)
- Naamanka, P. 2014. Valollinen improvisaatio musiikillisessa tapahtumassa. Elokuvan ja television koulutusohjelma. Leikkaus. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

National Geographic. 2014. Separating Myth From Fact on CFL and LED Light Bulbs: Five Concerns Addressed. Luettu: 2.4.2016. <http://energyblog.nationalgeographic.com/2014/01/08/separating-myth-from-fact-on-cfls-and-leds-five-concerns-addressed/>

National Geographic. Light Bulb Savings Calculator. Luettu 2.4.2016 29. <http://environment.nationalgeographic.com/environment/energy/great-energy-challenge/light-bulb-savings-calculator/>

New Scientist Blogs. 2007. Technology. The LED – older than we thought. Blogi. Luettu 26.5.2015. <http://www.newscientist.com/blog/technology/2007/04/led-older-than-we-thought.html>

Osram. Ledin historia. Luettu 5.5.2015. [http://www.osram.fi/osram\\_fi/uutiset--tiedot/led/ammattitietoa/led-perusteet/led-historia/index.jsp](http://www.osram.fi/osram_fi/uutiset--tiedot/led/ammattitietoa/led-perusteet/led-historia/index.jsp)

Petroski, J. 2006. Thermal Challenges In LED Cooling. Luettu 19.5.2015 <http://www.electronics-cooling.com/2006/11/thermal-challenges-in-led-cooling/>

Philips. 2004-2005. Tietoa led-teknologiasta-verkkokurssi. Luettu 5.5.2015. <http://spodoc.com/doc/3502510/lataa-kurssi-pdf---philips-lighting>

Richard, M. G. 2011. Haitz's Law: Moore's Law for LED Lightbulbs. Luettu 26.5.2015. <http://www.treehugger.com/clean-technology/haitzs-law-moores-law-for-led-light-bulbs.html>

Science Museum. Round, Henry Joseph. Luettu 4.5.2015. [http://www.sciencemuseum.org.uk/online\\_science/explore\\_our\\_collections/people/round\\_henry\\_joseph](http://www.sciencemuseum.org.uk/online_science/explore_our_collections/people/round_henry_joseph)

Scientific American. 2012. The Dark Side of LED Lightbulbs. Luettu 1.4.2016. <http://www.scientificamerican.com/article/led-lightbulb-concerns/>

Shuuya, N. 2011. Led-teholähteet ja niiden ominaisuudet. Tietoliikenne ja sähköinen kauppa. Elektroniikka. Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Sinkpad 2016. What is Sinkpad? Luettu 19.5.2015. <http://www.sinkpad.com/what-is-sinkpad.php>

Spotlight. Luettu 28.4.2016. <http://www.spotlight.it/azienda.asp?lang=Eng>

Stage 2015. Valon tulevaisuus-tapahtuma, Kerava-Sali 16.2.2015.

STEK. Valonlähteen ja valaisimien kierrätys. Sähköturvallisuuden edistämiskeskus STEK. Luettu 8.4.2016. [http://www.stek.fi/Energiatehokkuutta\\_sahkolla/Valaistus/fi\\_FI/Valonlahteen\\_ja\\_valaisimien\\_kierratys/](http://www.stek.fi/Energiatehokkuutta_sahkolla/Valaistus/fi_FI/Valonlahteen_ja_valaisimien_kierratys/)

Stevenson, R. 2010. LED Lightning: Blue + Yellow = White. Luettu 22.4.2015. <http://spectrum.ieee.org/semiconductors/optoelectronics/led-lighting-blue-yellow-white>

Tekla, P. 2003. Red Hot. Luettu 22.4.2015. <http://spectrum.ieee.org/semiconductors/optoelectronics/red-hot>

Tukes. 2012. Vakavasti puutteellisia sähkötuotteita löytyi aiempaa enemmän. Luettu: 8.4.2016. <http://www.tukes.fi/fi/Ajankohtaista/Tiedotteet/Sahkolaitteet/Vakavasti-puutteellisia-sahkotuotteita-loytyi-aiempaa-enemman/>

UPI. 2013. LED lights ruin retinas, researchers say. Luettu 1.4.2016. [http://www.upi.com/Science\\_News/2013/05/11/LED-lights-ruin-retinas-researchers-say/UPI-52041368287606/](http://www.upi.com/Science_News/2013/05/11/LED-lights-ruin-retinas-researchers-say/UPI-52041368287606/)

Uusi Suomi. 2011. Vaaralliset LED-valot: ”80 % jotain huomautettavaa. Luettu 2.4.2016. <http://www.uusisuomi.fi/kotimaa/118659-vaaralliset-led-valot-%E2%80%9D80-ssa-jotain-huomautettavaa%E2%80%9D>

Valokas. 2010-2015. Miksi jotkut LED valot maksavat enemmän kuin toiset? Osa 2, lämmönhallinta. Luettu 19.5.2015. <http://www.valokas.fi/fi/miksi-led-valon-maksaa-laemmoenhallinta>

Yle. 2015. Voiko sinisen valon hurma olla silmien turma?. Luettu: 1.4.2016. [http://yle.fi/uutiset/voiko\\_sinisen\\_valon\\_hurma\\_olla\\_silmien\\_turma/7802518](http://yle.fi/uutiset/voiko_sinisen_valon_hurma_olla_silmien_turma/7802518)

Zvi, A. Lumens vs. Watts for LED Bulbs. SFGATE. Luettu 26.5.2015. <http://home-guides.sfgate.com/lumens-vs-watts-led-bulbs-78825.html>

### **Asiantuntijahaastattelut**

Tuominen, Pikku-Markku. Myyntipäällikkö, Audico. 2016. Haastattelu 26.4.2016. Haastattelija Kuokkanen, M. Litteroitu.

Delwiche, Luke. Kentällä toimiva projektikoordinaattori, ETC. 2016. Questions about led-light concerning my thesis. Sähköpostiviesti. luke.delwiche@etconnect.com. Luettu 27.4.2016.

Kaattrasalo, Jussi. Tekninen tuottaja, Kerava-Sali. 2016. Led-aiheisia kysymyksiä opinäytetyöhön liittyen. Sähköpostiviesti. jussi.kaattrasalo@keuda.fi. Luettu 5.5.2016.

### **Kuvalähteet**

KUVA 1. HowStuffWorks. 2002. How Light Emitting Diodes Work. <http://electronics.howstuffworks.com/led1.htm>

KUVA 2. Petroski, J. 2006. Thermal Challenges In LED Cooling. <http://www.electronics-cooling.com/2006/11/thermal-challenges-in-led-cooling/>

KUVA 3. Amazon. <http://www.amazon.com/GBGS-Lighting-DMX512-Ballroom-Wedding/dp/B00JKGHP1C>

KUVA 4. Oobe. <http://oobe.co/pleasant-idea-led-par-64-led-par-64/>

KUVA 5, Chauvet Professional. <http://www.chauvetprofessional.com/products/colorado-2-quad-zoom-tour/>

KUVA 6. Minivalomessut. Tampere 26–27.11.2013

KUVA 7. Elation Professional. <http://www.elationlighting.com/PressDetail.aspx?ID=512>

KUVA 8. ETC Video Library. <https://www.youtube.com/watch?v=oEjG8XLzuvs>



## LIITTEET

### Liite 1. Haastattelukysymykset

Pikku-Markku Tuominen (puhelu) 26.4.2016:

Onko sinulla ollut ennakko-odotuksia led-heittimistä, hyviä tai huonoja?

Mitä näet led-heittimien tulevaisuudessa?

Oletko törmännyt ennakko-odotuksiin led-heittimistä ja millaisiin?

Mitkä ovat mielestäsi tärkeimmät asiat joita tulee ottaa huomioon led-heittämiä hankkiessa?

Luke Delwiche (sähköposti) 27.4.2016:

Has your perception of led-lights changed during your career with light?

Have you had any positive or negative expectancy's about led-lights?

How do you view the future of led lights?

Jussi Kaatrasalo (sähköposti) 5.5.2016:

Miksi päädyit hankkimaan led-heittämiä konventionaalisten rinnalle Kerava-saliin?

Onko ledien yhdistäminen perinteisiin heittämiin teatterissa ollut haasteellista?

Oliko sinulla ennakkokäsityksiä ledeistä, hyvää huonoa?

Kuinka monta vaihtoehtoa kävit läpi ennen led-heittimien valintaa?

Mitkä ominaisuudet ja havainnot johtivat valitsemiisi led-heittämiin?