

Lauri Alanko

LED-valaistuksen suunnittelu LEKOhalliin

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2014

LED-valaistuksen suunnittelu LEKOhalliin

Alanko, Lauri
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Maaliskuu 2014
Ohjaaja: Viljanen, Timo
Sivumäärä: 42
Liitteitä: 8

Asiasanat: ledit, valaistus, Puolustusvoimat,

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kannattaako nykyinen valaistus LEKOhalleissa vaihtaa LED-valaistukseen, ottaen huomioon sekä taloudellinen että valaistustekninen puoli. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on toimia apuna, kun suunnitellaan valaistuksen uudistamista LEKOhalleihin. Opinnäytetyön tekemiselle oli monia syitä, joista yksi oli LEDien nopea kehitys viime vuosina. Lisäksi käyttäjien tyytymättömyys nykyiseen valaistukseen ja mahdollisten säästöjen saaminen olivat painavia syitä opinnäytetyön tekemisen kannalta. Puolustusvoimilla on useita vastaavanlaisia halleja ilmavoimien käytössä.

Tutkittava LEKOhalli mallinnettiin DIALux-ohjelmalla ja valaisinvalmistajien tarjoamien valaisintiedostojen avulla selvitettiin, pystytäänkö valaistus uusimaan LED-valaisimilla. Vertailupohjaksi käytiin paikan päällä mittaamassa valaistusvoimakkuudet ja tämän hetkisten valaisimien todelliset kulutukset. Näiden mittausten perusteella tehtiin kustannuslaskelmat nykyisten valaisimien ja uusien LED-valaisimien kohdalla. Lisäksi päätettiin myös selvittää, olisiko kannattavampaa vaihtaa nykyisten valaisimien tilalle uudet purkauslamppuvalaisimet.

Opinnäytetyön tulosten perusteella on siirrytty tilanteeseen, jossa on kannattavaa asentaa uudet LED-valaisimet LEKOhalleihin. Ennusteiden mukaan perinteisten valonlähteiden ja uusien LED-valaisimien välinen ero tulee kehittymään LED-valaisimille suotuisaan suuntaan. Tämän opinnäytetyön tuloksien perusteella uusi-taan mahdollisesti johonkin LEKOhalliin testimielessä uusi LED-valaistus. Tämän testin perusteella tehdään jatkopäätöksiä valaistuksen uusimisesta laajemmin.

Planning of LED-lighting to a hangar

Alanko, Lauri

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

March 2014

Supervisor: Viljanen, Timo

Number of pages: 42

Appendices: 8

Keywords: LED, lighting, The Finnish Defense Forces

The aim of this thesis was to find out whether it is economically and technically viable to change to LED-lighting in to the hangars used by the Finnish Defense Forces. This thesis is intended to act as a guide when the planning of LED-lighting to a hangar is performed. There were many reasons for this thesis. One of them was that LEDs have developed greatly in the recent years. Also the employees who work in the hangars have criticized the current lighting and additionally, LED-lighting enables cost cutting. The Finnish Defense Forces have multiple similar hangars in the use of Air Force.

The hangar which was under research was first modeled with DIALux and with the photometric files provided by luminaire manufacturers the actual comparison was made. For comparison the current lighting was assessed on the spot and the actual consumption of electrical energy of the luminaires was measured. Based on these measurements and modeling, cost calculations were made on each luminaire. Metal-halide lamps were also included in the calculations.

Based on the results of this thesis we are currently in a situation where it is cost-effective to change the LED-luminaires to the hangars. Predictions say that the difference between conventional lighting and LED-lighting will grow in the favorable way of LEDs. There is a possibility that based on this thesis LED-lighting will be installed to one of the hangars for a trial. Further renewal of lighting might be made after the experiment.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	PUOLUSTUSHALLINNON RAKENNUSLAITOS	8
3	VALAISTUSTERMEJÄ.....	9
3.1	Perussuureet	9
3.1.1	Valovirta [Φ]	9
3.1.2	Valotehokkuus.....	9
3.1.3	Valovoima [Iv]	9
3.1.4	Luminanssi [L]	10
3.1.5	Valaistusvoimakkuus [E].....	10
3.2	Valoa kuvaavat termit	11
3.2.1	Väriämpötila	11
3.2.2	Värintoistoindeksi.....	11
3.2.3	Fotometrinen koodi	12
3.2.4	Häikäisy	12
4	VALON TUOTTAMINEN ERI TEKNIKOILLA	14
4.1	Termiset säteilijät.....	14
4.2	Loistelamput	14
4.3	Suurpainenatrium.....	15
4.4	Monimetallilamppu.....	16
5	LED	17
5.1	Historia.....	17
5.2	Tekniikka	17
5.3	Rakenne.....	18
5.4	Valon laatu	19
5.5	Elinikämääritelmät.....	20
5.6	LEDien kehitys	21
6	DIREKTIIVIT/STANDARDIT	22
6.1	IEC/PAS standardit.....	22
6.2	Direktiivit.....	22
6.3	Valaistusstandardi SFS-EN 12464-1	23
7	LEKOHALLIN VALAISTUS	24
7.1	Nykyinen valaistus.....	24
7.2	Valaistusvoimakkuusmittaukset	24
7.3	Mittausten suoritus.....	24
7.4	Käyttäjien mielipiteitä.....	26
8	MALLINNUKSEN DIALUX-OHJELMALLA	27

9	UUSI VALAISTUSRATKAISU	28
9.1	Valaistuksen mitoitus.....	28
9.2	Alppilux HiPak Pro LED	30
9.3	Philips GentleSpace	31
9.4	Valopaa VP1401i M16	33
10	TAKAISINMAKSUAIKA.....	35
10.1	Laskelman parametrit.....	35
10.2	Tulokset.....	36
11	VALAISTUSAUTOMAATIO.....	38
11.1	DALI.....	38
11.2	Valopaan älykkäät tuotteet.....	38
12	YHTEENVETO	39
	LÄHTEET	40
	LIITTEET	

SYMBOLI- JA TERMILUETTELO

CCT	Ekvivalentti väriämpötila (Correlated Colour Temperature)
CIE	Kansainvälinen valaistuskomissio (Commission Internationale de l'Eclairage)
CQS	Kehitteillä oleva värintoistoa kuvaava järjestelmä (Color Quality System)
CRI	Värintoistoa kuvaava indeksi (Colour Rendering Index)
DOE	Yhdysvaltain energiaministeriö (Department of Energy)
IEC	Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio (International Electrotechnical Commission)
LED	Valoa emittoiva diodi (Light emitting diode)
LEKOhalli	Lentokonehalli
NIST	Yhdysvaltalainen virasto, jonka tehtävänä on kehittää ja edistää mittaustekniikoita, standardeja ja tekniikkaa. (National Institute of Standards and Technology)
PAS	IEC:n julkaisu markkinoiden kiireelliseen tarpeeseen (Publicly Available Specifications)
SDCM	Kertoo kahden eri värin välisen eron (Standard Deviation Color Matching)
UGR	Kiusahäikäisyä ilmaiseva luku (Unified Glare Rating)

1 JOHDANTO

LED-teknologia on kehittynyt huimasti viime vuosien aikana ja lähitulevaisuudessa on edelleen odotettavissa nopeaa kehitystä. DOE:n ja elektroniikkateollisuuden arvioiden mukaan lähivuosina jo puolet valaistuksesta toteutetaan LED-tekniikalla. Opinnäytetyön tutkimuskohteena oli Satakunnan lennostossa Pirkkalassa oleva LEKOhalli, jota käytetään lentokoneiden säilyttämiseen ja huoltamiseen. LEKOhalleissa tehtävien töiden vuoksi on elintärkeää, että valaistus on riittävä. Puolustusvoimilla on useita vastaavanlaisia halleja ilmavoimien käytössä.

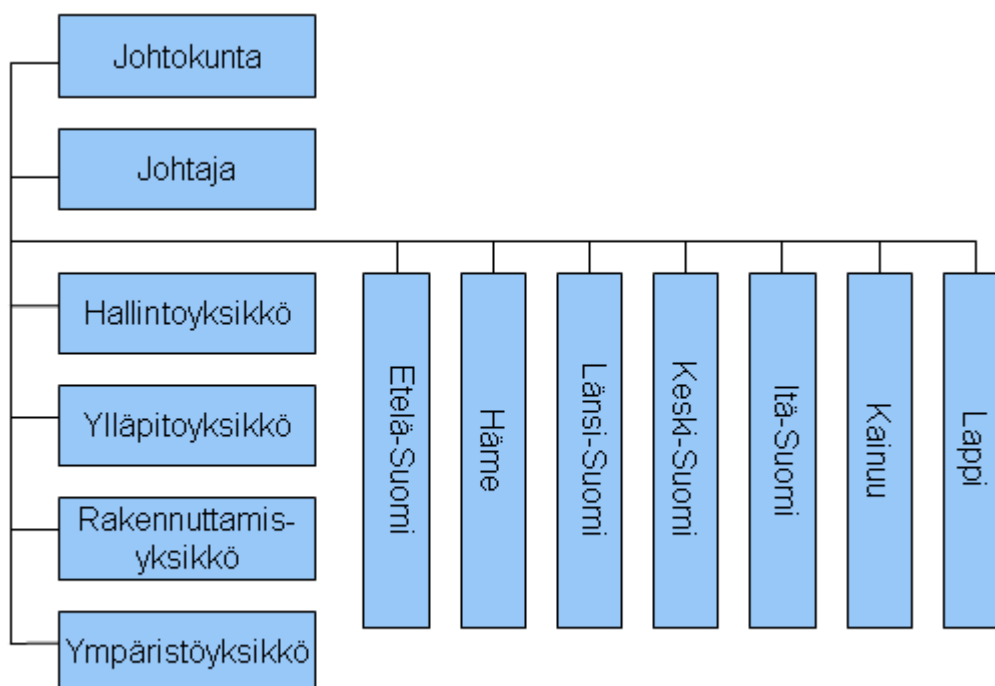
Tänä päivänä kustannustehokkuus on määrävässä roolissa sekä työelämässä että jokapäiväisessä elämässä. On alettu yhä enemmän kiinnittää huomiota energiatehokkuuteen ja LEDit tarjoavat mahdollisuuden säästää valaistuksen käyttökustannuksissa. Tässä opinnäytetyössä käydään läpi niitä valaistusteknisiä asioita, jotka voivat vaikuttaa valaisinhankintoihin LEKOhalleissa. Lisäksi opinnäytetyössä esitellään valonlähdetekniikat, joita on tällä hetkellä käytössä tutkittavassa LEKOhallissa sekä esitellään mahdolliset korvaavat tekniikat. Koska tämän toiminnallisen opinnäytetyön päätavoitteena oli selvittää LED-valaistuksen soveltuvuutta LEKOhalleihin, esitellään LED-tekniikkaa tarkemmin luvussa viisi. Tämän opinnäytetyön myötä syntynyttä aineistoa tullaan hyödyntämään päätettäessä valaistuksen uusimisesta LEKOhalleihin.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kannattaako nykyinen valaistus LEKOhallissa vaihtaa LED-valaistukseen, ottaen huomioon sekä taloudellinen että valaistustekninen puoli. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on toimia apuna, kun suunnitellaan valaistuksen uudistamista LEKOhalleihin.

2 PUOLUSTUSHALLINNON RAKENNUSLAITOS

Puolustushallinnon rakennuslaitos on puolustusministeriön alainen laitos. Rakennuslaitos vastaa puolustushallinnon kiinteistötoimen asiantuntija- ja hankintatehtävistä sekä palvelutuotannon järjestämisestä. Sen tehtäviä ovat puolustuskiinteistöjen hankesuunnittelu ja rakennuttaminen sekä kiinteistöjen ylläpito ja energiapalvelut. (Puolustushallinnon rakennuslaitoksen www-sivut 2014)

Puolustushallinnon rakennuslaitoksella on seitsemän alueorganisaatiota, kuten nähdään kuvasta 1. Tampereen paikallistoimisto kuuluu Hämeen alueorganisaatioon. Keskusyksikkö sijaitsee Haminassa. Vuonna 2012 puolustushallinnon rakennuslaitoksen liikevaihto oli 162,6 miljoonaa euroa ja henkilöstöä oli 889. Ylläpidettävä huoneistoala oli yli 3 miljoonaa neliötä. (Puolustushallinnon rakennuslaitoksen www-sivut 2014)



Kuva 1. Puolustushallinnon rakennuslaitoksen organisaatio (Puolustushallinnon rakennuslaitoksen www-sivut 2014).

3 VALAISTUSTERMEJÄ

3.1 Perussuureet

3.1.1 Valovirta [Φ]

Valovirta ilmaisee valonlähteen näkyvän valon säteilytehon. Valovirran yksikkö on lumen (lm). Se kertoo, kuinka paljon ihmissilmälle näkyvää valoa valonlähteestä saadaan. Mikäli halutaan verrata perinteisiä valonlähteitä LED-valaisimiin valaistustekniseltä kannalta, on suositeltavaa ottaa huomioon tosiasiallinen käyttö ja verrata valaistussuunnitelmia keskenään. Muissa kuin LED-valaisimissa valovirtaa ei kovin usein ilmoiteta, mutta arvon voi laskea kertomalla lampun valovirran valaisimen käyttöhyötysuhteella (LOR-luku). (Ensto www-sivut 2013; Teknologiateollisuus 2013)

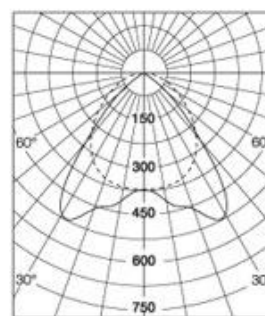
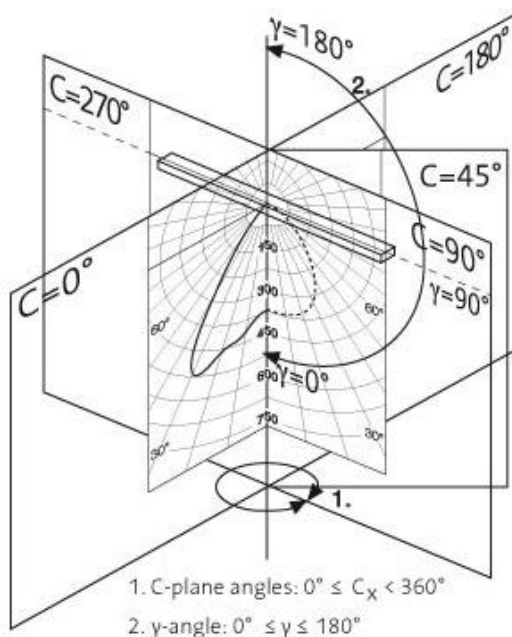
3.1.2 Valotehokkuus

Valotehokkuuden yksikkö on lm/W eli se ilmaisee valonlähteestä saadun valomäärän suhteessa käytettyyn sähkötehoon. Verrattaessa LED-valaisimia perinteisiin lampuihin on huomioitava puhutaanko yksittäisen LEDin valotehokkuudesta vai koko LED-valaisimen valotehokkuudesta. (Ensto www-sivut 2013)

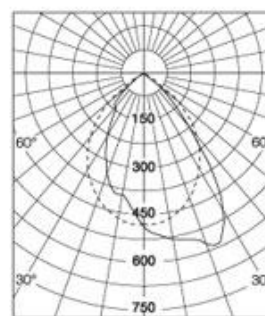
3.1.3 Valovoima [I_v]

Valovoima ilmaisee valonlähteestä tiettyyn säteilykulmaan säteilevän valon voimakkuuden eli se mittaa valon intensiteettiä. Sen yksikkö on kandela (cd). Tavallisen kynttilän valovoima sivusuuntaan on noin yksi kandela. Valovoima ilmoitetaan tavallisesti valaisimen tai valonlähteen valonjakokäyrän avulla. Kuvassa 1 on esimerkiksi valonjakokäyrästä. Valonjakokäyrä esittää valonlähteen valovoiman suuruuden eri suuntiin. Valonjakokäyrät on skaalattu valonlähteen tai valaisimen 1000 lm kohti (cd/1000 lm, cd/klm). (Ensto www-sivut 2013; Fagerhult www-sivut n.d.)

Valonjakokäyrä



Symmetrinen



Epäsymmetrinen

Kuva 2. Kuvassa oikealla esimerkkejä valonjakokäyristä ja vasemmalla havainnollisempi esitys valonjakokäyristä (Fagerhult www-sivut n.d.).

3.1.4 Luminanssi [L]

Luminanssilla tarkoitetaan pinnalta tai pisteestä tiettyyn suuntaan lähtevän valon kirkkautta. Luminanssin yksikkö on cd/m^2 . Luminanssi syntyy pinnan valaistusvoimakkuuden ja heijastussuhteen yhteisvaikutuksena ja siten se on valon ainut nähtävissä oleva suure. Ihmisen näkeminen perustuu luminanssierojen aistimiseen. (Ensto www-sivut 2013; Glamox www-sivut 2014; Keränen & Rytönen 2013)

3.1.5 Valaistusvoimakkuus [E]

Valaistusvoimakkuudella tarkoitetaan pinnalle tulevan valovirran (lm) suhdetta pinta-alaan. Sen yksikkö on luks (lx) eli lm/m^2 . (Keränen & Rytönen 2013) Tarkasteltavalle pinnalle tuleva valovirta voi tulla suoraan valonlähteestä tai heijastumalla. Valaistusvoimakkuus pienenee neliölain mukaisesti eli mitä kauempana valaistava

pinta on valonlähteestä, sitä pienempi on pinnan valaistusvoimakkuus. (Ensto www-sivut 2014)

3.2 Valoa kuvaavat termit

3.2.1 Värilämpötila

Värilämpötila kuvaa valonlähteen värisävyä. Värilämpötilan yksikkö on kelvin (K). Valonlähteen värilämpötila on sellaisen täydellisen mustan kappaleen säteilijän lämpötila, joka säteilee samankaltaista valoa kuin valonlähde. Värilämpötila soveltuu parhaiten termisen säteilyn avulla valoa tuottavien valonlähteiden valonvärin esittämiseen. Matalia värilämpötiloja eli pienempiä kuin 3000 K kutsutaan lämpimiksi, välillä 3000 – 5300 K olevia värilämpötiloja kutsutaan neutraaleiksi ja suurempia kuin 5300 K kutsutaan kylmiksi väreiksi. (Ensto www-sivut 2013)

Ekvivalenttia värilämpötilaa (T_{CP}) käytetään kuvaamaan niiden valonlähteiden värilämpötilaa, jotka eivät tuota valoa lämpösäteilyn avulla. Ekvivalentti värilämpötila on sellaisen Planckin kappaleen lämpötila, jossa sen tuottaman säteilyärsyksen väri-laatu on lähimpänä tarkasteltavan valon väriä, edellyttäen että vertailusäteilyn ja vertailtavan valon luminanssit ovat samat ja vertailun ympäristöolosuhteet mahdollisimman samanlaiset. Tarkkoja vertailuja eri valonlähdetyyppien välillä ei voi tehdä vertaamalla vain ekvivalenteja värilämpötiloja. Tällaisia valonlähteitä ovat muun muassa loisteputket, suurpaineputkalamput ja LEDit. (DOE 2012; Ensto www-sivut 2013; Sylvania www-sivut n.d.)

3.2.2 Värintoistoindeksi

Värintoistoindeksillä (CRI) eli R_a -indeksillä tarkoitetaan valonlähteen kykyä toistaa valaistavan kohteen eri värejä. Värintoistoindeksi määritellään vertaamalla testattavan valonlähteen valoa referenssivalonlähteeseen. Kuvassa 3 on esitetty värintoistoindeksin määrittämiseen käytetyt värit. Kehitteillä on uusi värintoiston määrittäminen CQS, joka määrittelee paremmin uudet valaistustekniikat, kuten LEDit. Tällä het-

kellä kuitenkin CIE:n kehittämä CRI-indeksi on ainoa laajalti hyväksytty värintoistoa kuvaava indeksi. (DOE 2012; NIST www-sivut 2014)

Valaistusstandardissa SFS-EN 12464-1 ohjeistetaan, että lamppuja joiden värintoistoindeksi on alle 80, ei tule käyttää tiloissa, joissa työskennellään tai oleskellaan pitkiä aikoja. Poikkeuksena mainitaan, että esimerkiksi syvästeilijätyypisissä valaisuksissa voidaan tehdä poikkeuksia, mutta tulee varmistua, että turvavärit pystytään tunnistamaan oikein.



Kuva 3. Värintoistoindeksin määrittämiseen käytetty väripaletti (NIST www-sivut 2014).

3.2.3 Fotometrinen koodi

Valon tärkeät laatuparametrit ilmaistaan kuusinumeroisen fotometrisen koodin avulla esimerkiksi 840/359. Liitteessä 3 on tarkemmat tiedot miten koodin eri osat määräytyvät. (Teknologiateollisuus 2013)

Taulukko 1. Fotometrisen koodin selitys. Esimerkkinä on koodi 830/359. (Teknologiateollisuus 2013)

Koodi	Selitys
8	Ilmaisee valonlähteen värintoistoindeksin alkuarvon.
3	Ilmaisee valonlähteen CCT:n alkuarvon, koodi muodostetaan jakamalla värilämpötila 100:lla.
0	
3	Värikoordinaattien alkuhajonta MacAdamin ellipsissä.
5	Värikoordinaattien loppuhajonta MacAdamin ellipsissä.
9	Valovirran pysyvyys.

3.2.4 Häikäisy

Sisätilojen valaistusasennuksissa valaisimien aiheuttama kiusahäikäisy määritetään CIE:n kehittämän UGR-menetelmän avulla. Kiusahäikäisy tarkoittaa häikäisyä, joka

aiheuttaa epämiellyttävyyden tunteen, mutta ei heikennä näkemistä. Kiusahäikäisyä syntyy suurista luminanssieroista tai kirkkaista valonlähteistä kuten kirkkaista valaisimista tai ikkunoista. Käytettäessä kirkkaita valonlähteitä, häikäisyä tulee rajoittaa käyttämällä esimerkiksi sopivia lamppujen häikäisysojia. (SFS 12464-1, 24-26)

4 VALON TUOTTAMINEN ERI TEKNIIKOILLA

4.1 Termiset säteilijät

Yleisimpiin termisiin säteilijöihin kuuluvat hehkulamput ja halogeenilamput. Niiden valontuotto perustuu tyhjiössä hehkuvaksi kuumennettuun hehkulankaan. Suurin osa näiden valonlähteiden säteilystä on infrapuna-alueella, joten niiden valotehokkuus on huono, mutta nämä valonlähteet omaavat erinomaiset värintoisto-ominaisuudet. Termiset säteilijät eivät sovellu käytettäväksi laaja-alaiseen valaistukseen, koska niiden valotehokkuus on huono. (Ensto www-sivut 2013)

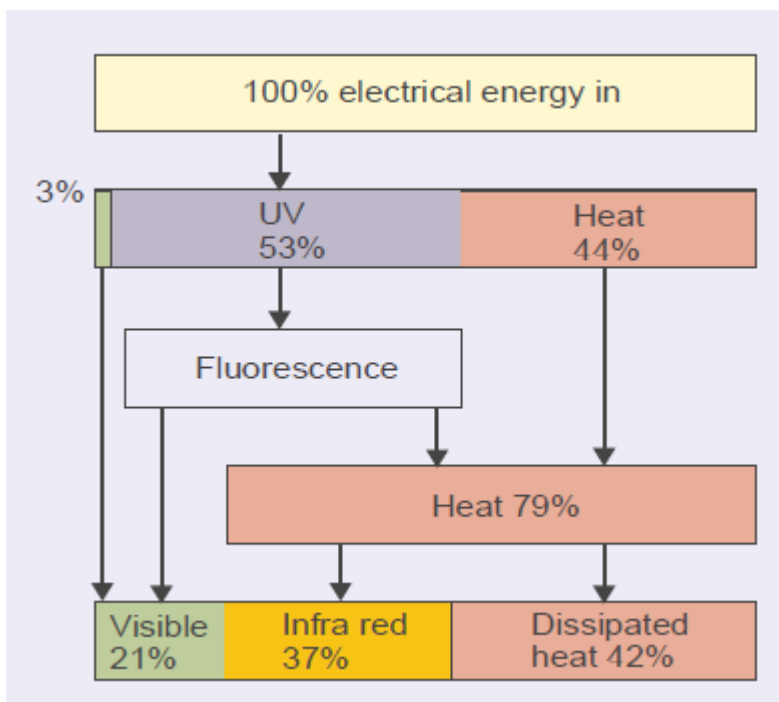
4.2 Loistelamput

Loistelamppujen valontuotto perustuu sähköiseen purkaukseen kaasussa tai höyryssä, jolloin täyteaine tuottaa sekä näkyvää valoa että ultraviolettisäteilyä. Loistelamppujen sisäpinnat on pinnoitettu loisteaineella, joka muuttaa ultraviolettisäteilyn näkyväksi valoksi. Tuotetun valon väri riippuu käytetystä loisteaineesta. Loisteputki tarvitsee toimiakseen sytytin- ja liitäntälaitteen. (Sähköturva www-sivut 2009)

Loisteputket eivät itsessään sisällä niiden käytön kannalta välttämättömiä sytytys- tai liitäntälaitetta, vaan ne ovat erillisiä komponentteja. Vanhoissa asennuksissa on käytetty sytytintä ja rautasydämistä kuparikäämistä kuristinta ja mahdollisesti erilaisia kondensaattoreita. Nykyisin käytetään elektronista liitäntälaitetta, joka korvaa edellä mainitut komponentit. Se nostaa jännitteen taajuuden esimerkiksi 30 kHz:n, minkä ansiosta saavutetaan muun muassa seuraavia etuja:

- Energiansäästö, energian kulutus voi laskea 15 – 30 %
- Välkyntä poistuu
- Syntyy vähemmän lämpöä
- Valotehon alenema hidastuu
- Huoltokustannukset pienenevät lamppujen pidentyneen eliniän ansiosta

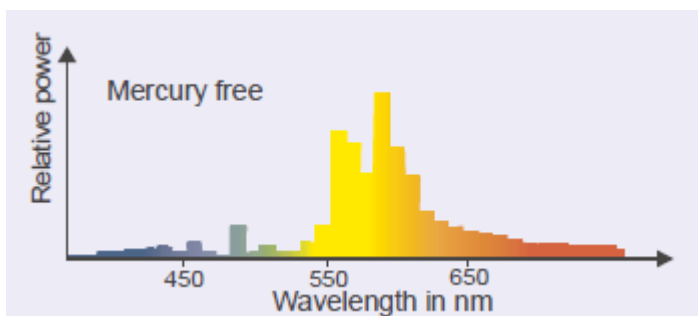
(Adlux www-sivut n.d.; Fagerhult www-sivut n.d.; Sähköturva www-sivut 2009)



Kuva 4. Esimerkki loisteputken energian muunnoksesta. Sähköenergiasta 21 % muuttuu lopulta näkyväksi valoksi. (Simpson 2003, 121)

4.3 Suurpainenatrium

Suurpainenatriumlamput ovat kaasupurkauslamppuja ja ne ovat yleisesti käytössä esimerkiksi katuväläistuksessa ja teollisuudessa. Suurpainenatriumlamppujen tuottaman valon spektri on lähes jatkuva koko näkyvän valon alueella, mutta se sisältää huomattavia piikkejä välillä 550 – 600 nm, kuten huomataan kuvasta 5. Tästä syystä suurpainenatriumlamppujen tuottama valo on kellertävää. Suurpainenatriumlamppujen sisällä on 5-10 kPa:n paine. Korkean hyötysuhteen lamput voivat säteillä jopa 25 % säteilystä näkyvänä valona. (Simpson 2003, 134)



Kuva 5. Erään elohopeavapaan suurpainenatriumlampun spektri (Simpson 2003, 134).

Suurpainelamppuja on saatavilla teholuokassa 35 – 1000 W ja niiden valotehokkuus on välillä 45 – 150 lm/W tehosta riippuen. Korkeampi paine lampussa parantaa värintoistoa, mutta laskee valotehokkuutta. Lamppujen odotettu elinikä on 10000 – 24000 tuntia, parhaimman värintoiston omaavat lamput omaavat myös lyhyimmän eliniän. Yleisesti käytetyn suurpainenatriumlampun värintoistoindeksi on noin 25, värikorjattujen lamppujen värintoistoindeksit ovat välillä 60 - 85. (Simpson 2003, 135).

4.4 Monimetallilamppu

Monimetallilamppujen voidaan ajatella olevan muunnelma suurpainenatriumlampuista. Molemmat sisältävät metallihalideja, mutta monimetallilampuissa on usein sekoitus montaa eri metallia. Monimetallilampun valontuotto perustuu purkausputkessa olevien metallien höyrystymiseen. Näissä lampuissa valotehokkuus on välillä 75 – 125 lm/W ja oletettu käyttöikä välillä 6000 – 20000 tuntia. Monimetallilamppuja käytetään yleensä ulkovalaistuksessa ja korkeiden tilojen valaistuksessa. Värintoistoindeksi on yleensä noin 70, mutta jos lamppuun on lisätty harvinaisia maametalleja, värintoistoindeksi voi olla jopa 90. Tämä parannus värintoistoon lyhentää lampun elinikää. Monimetallilamppu vaatii toimiakseen virranrajoittimen sekä sytytinlaitteen. (Ensto www-sivut 2013; Simpson 2003, 136)

5 LED

LEDit ovat parhaillaan mullistamassa tapaa miten valaisemme ympäristöämme. Niiden pieni koko ja alati paraneva valotehokkuus mahdollistavat uusien valaistustapojen kehittämisen. Tämä lisää valaistuksen suunnittelijoiden vastuuta. Vanhat tekniikat jäävät yhä käyttöön, koska tiettyihin kohteisiin LED-valaistus ei ole paras ratkaisu. Esimerkiksi kuumiin tiloihin LEDit eivät sovellu, koska ne eivät siedä lämpöä. DOE:n ja elektroniikkateollisuuden arvioiden mukaan lähivuosina jo puolet valaistuksesta toteutetaan LED-tekniikalla. (Kallasjoki 2010)

5.1 Historia

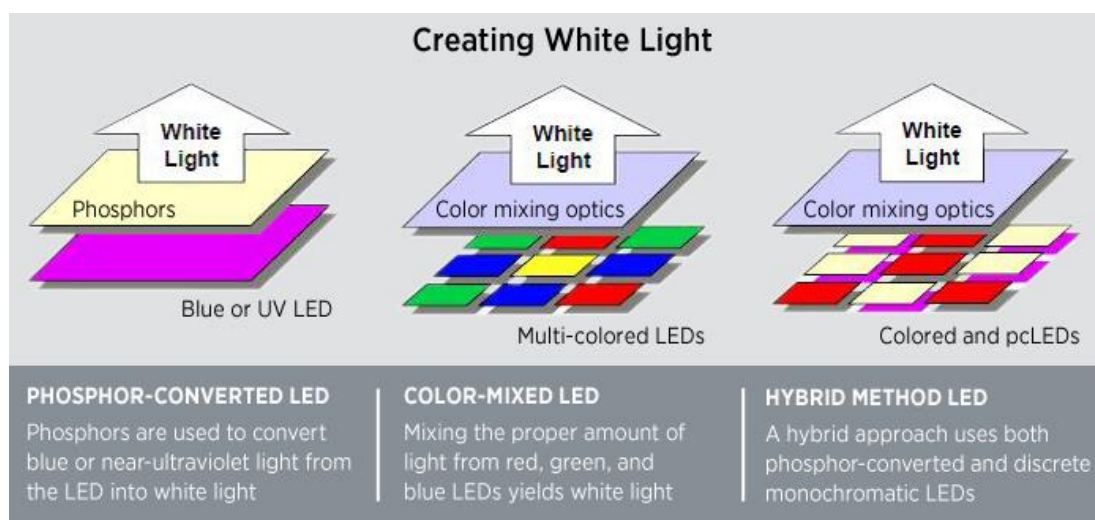
LED on keksintönä jo suhteellisen vanha, koska ensimmäiset infrapunasäteilyä lähettävät diodit keksittiin jo vuonna 1961, Bob Biardin ja Gary Pittmanin toimesta, jotka silloin toimivat tutkijoina Texas Instrumentsilla. Tällaista infrapunadiodia oli mahdollista hyödyntää esimerkiksi kaukosäätimessä. Samoihin aikoihin General Electricin tutkija Nick Holonyak Jr. tutki Biardin ja Pittmanin ohella galliumarsenidia. Kun Holonyak Jr. lisäsi seokseen fosforia, hän huomasi, että diodin lähettämän säteilyn taajuus kasvaa. Näin punaista valoa lähettävä LED oli keksitty. Keltaista ja vihreää valoa tuottavat LEDit keksittiin hieman tämän jälkeen. Seuraavaa suurta mullistusta saatiin odottaa vuoteen 1993 asti, jolloin Shunji Nakamura esitteli sinisen LEDin vuosien uurastuksen jälkeen. Nakamura oli lisännyt galliumnitridiin indiumia saadakseen tuotettua sinistä valoa lähettävän LEDin. (Rantanen 2006; Simpson 2003, 154-156)

5.2 Tekniikka

Nykyään on kaksi pääasiallista valmistustapaa, joiden avulla saadaan tuotettua valkoista valoa tuottavia LEDejä. Kuvan 6 mukaisesti, ensimmäisessä valmistustavassa sinistä tai lähes ultravioletti säteilyä muunnetaan fosforin avulla valkoiseksi valoksi. Toisessa sekoitetaan optiikan avulla oikeassa suhteessa eri värejä esimerkiksi punaista, vihreää ja sinistä valoa, jotta saadaan valkoista valoa. Näitä LEDejä kutsutaan RGB-ledeiksi. Joissakin tapauksissa on voitu lisätä mukaan värintoistoindeksin pa-

rantamiseksi keltaista valoa tuottava LED. On myös olemassa kolmas harvemmin käytetty vaihtoehto, joka on eräänlainen hybridi kahdesta edellisestä tavasta. (DOE www-sivut 2014)

LEDin lähettämä valon aallonpituus riippuu valmistusmateriaaleista. Yksittäisen LEDin lähettämän valon spektri on kapea, joten se lähettää lähes monokromaattista valoa. (Ensto www-sivut 2013)



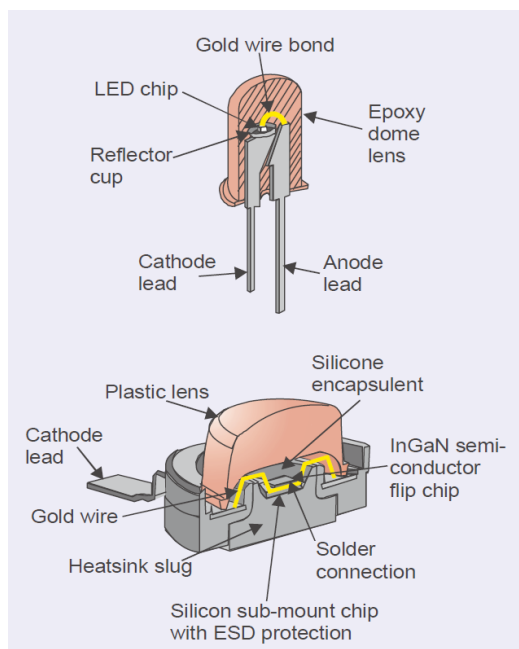
Kuva 6. Valkoista valoa tuottavien LEDien eri tekniikat (DOE www-sivut 2014).

5.3 Rakenne

LED on lyhenne englanninkielien sanoista Light Emitting Diode, joka tarkoittaa valoa säteilevää diodia. Diodit ovat puolijohdekomponentteja, jotka johtavat vain toiseen suuntaan. Puolijohdekomponentit ovat nimensä mukaisesti aineita, jotka johtavat huonommin kuin varsinaiset johteet, mutta paremmin kuin eristeet. Yhdistämällä kaksi erityyppistä puolijohdetta, P-tyyppi ja N-tyyppi, saadaan aikaiseksi PN-liitos, joka muodostuu edellä mainituista johteista sekä näiden rajapinnasta. Valoa syntyy PN-liitoksessa, kun ledissä kulkee sopiva virta. LEDien kykyä tuottaa valoa kutsutaan elektroluminenssiksi. (Ensto www-sivut 2013; Simpson 2003, 153-154)

LEDit voidaan jakaa niiden ulkomuodon perusteella kahteen eri ryhmään, pintaliitos-LEDeihin ja perinteisiin LEDeihin. Kuvassa 7 on esitetty molemmat. Pintaliitos-

ovat yleensä suuritehoisempia kuin perinteiset LEDit. Perinteisiä LEDejä käytetään lähinnä kohde- ja huomiovalaistuksessa. (Ensto www-sivut 2013)



Kuva 7. Ylempänä perinteinen LED ja alla pintaliitosledi (Simpson 2003, 154).

5.4 Valon laatu

LEDien valinnassa tulee kiinnittää huomiota värin laatuun ja värintoisto-ominaisuuksiin, koska niiden tuottama valo ei ole täysin jatkuvaspektristä. Viime vuosina valaistusmarkkinoille on tullut valtavasti uusia valmistajia testaamattomine tuotteineen. Valmistajien esittämiin suorituskykytietoihin tulee suhtautua varauksella, koska LEDien käytöstä ei ole pitkäaikaista kokemusta ja varsinkin jos ne eivät tule tunnetulta valmistajalta. (Glamox 2013; Teknologiateollisuus 2013)

LEDien tuotantoprosessissa syntyy LEDejä, joiden värikoordinaatit sijaitsevat molemmin puolin Planckin säteilijän säteilykäyrää CIE:n väriavaruudessa (1931). Tästä syystä käytetään LEDien luokitusjärjestelmää, jossa LEDit luokitellaan niiden värikoordinaattien/väriämpötilan perusteella. Luokittelu perustuu ihmissilmän herkkyyteen tunnistaa värejä niin kutsutun MacAdamin ellipsien mallin mukaan. Luokittelun kehitti David MacAdam vuonna 1942. MacAdam pyrki määrittämään CIE:n väriavaruuden piirtämiensä ellipsien avulla, kuinka herkästi ihminen erottaa kaksi eri väriä liikuttaessa värikoordinaatistossa x- ja y-suunnassa. Mitä suurempi MacAdamin arvo

eli suurempi askelluku sitä todennäköisemmin ihminen huomaa värieron. Amerikkalainen ANSI-standardi suosittelee, että valonlähdevalmistajat pysyisivät 4 askelman ellipsin sisällä. Tämä tarkoittaa, että taulukon 2 mukaisesti LEDien tuottaman valon värin tulisi olla ± 100 Kelvinin sisällä. MacAdamin neljäs askel on ihmissilmälle juuri ja juuri havaittava ero. (Cree 2013; Glamox 2013; Sylvania www-sivut n.d.)

Taulukko 2. MacAdamin ellipsien kerrannaisten sallitut värilämpötilan vaihtelurajat (Photometric & Optical testing www-sivut 2014).

SDCM	CCT @ 3000 K
1x	$\pm 30K$
2x	$\pm 60K$
4x	$\pm 100K$
7-8x	$\pm 175K$

Joillekin valonlähteille on ominaista, että niiden väriominaisuudet muuttuvat ajan myötä. Tällaisia valonlähteitä ovat esimerkiksi monimetallilamput. Muun muassa UV-valo ja käyttöympäristön olosuhteet ovat valonlähteiden väriominaisuuksien muutoksen aiheuttajia. Myös LEDeillä väriominaisuuksien muutosta esiintyy. Koska tämä muutos tapahtuu pitkän ajan kuluessa, sitä on hyvin vaikea testata. Ongelmia syntyy, mikäli asennetuissa valaisimissa muutos tapahtuu eri vauhtia ja täten syntyy kirjava valaistus. (Clark 2011; Kallasjoki 2010)

5.5 Elinikämääritelmät

Koska LEDien käyttöikä on pitkä, valovirran aleneman mittaukset veisivät todella paljon aikaa. Täten valmistajien lupaamia LEDien elinikään liittyviä suoritusarvoja ei voida riittävän luotettavasti todentaa. Jotta ilmoitetut eliniät voitaisiin todentaa, testitulokset on ekstrapoloitava. IEC:ssä harkitaan parhaillaan menetelmää, jolla mitaustulokset voitaisiin projisoida testausaikaa pidemmälle. IEC/PAS on eliniän todentamisen sijasta päätenyt esittämään valovirran pysyvyyttä tietyissä rajoissa. LEDejä testattaessa, valovirran arvo mitataan, kun ilmoitetusta eliniästä on kulunut 25 %, mutta korkeintaan 6000 tuntia. (Teknologiaeollisuus 2013)

LEDeillä valovirran alenema riippuu suuresti niille syötetystä virrasta ja käyttöympäristön lämpötilasta. Mikäli LEDeille syötetty virta puolitetaan, valovirran alenema puolittuu ja täten käyttöikä kasvaa. Toisaalta mikäli LED-valaisimet sijaitsevat ympäristössä joka on kuuma, valaisimien käyttöikä lyhenee. Jos käyttöympäristön lämpötila on +40 °C, LEDien elinikä alkaa pudota rajusti. (Ensto www-sivut 2013; Valopaa www-sivut n.d.)

On hyvä muistaa, että mikäli valaisinvalmistajat tai itse LEDien valmistajat testaavat laboratorio-olosuhteissa LEDien valovirran alenemia, he testaavat yleensä vain 6000 tunnin ajan. Tuloksista saadaan ekstrapoloinnin avulla teoreettinen valovirran alenema, mikä ei ole välttämättä yhtenevä käytännön valovirran aleneman kanssa. (Teknologiateollisuus 2013)

5.6 LEDien kehitys

Yhdysvaltain energiaministeriö (DOE) on raportissaan Solid-State Lighting R&D Multi-Year Program Plan arvioinut, että vuonna 2015 LEDien valotehokkuus olisi 150 – 190 lm/W riippuen käytetystä tekniikasta ja väriämpötilasta. Nämä luvut ovat arvioita ja tulee huomata, että taulukossa 3 annettu valotehokkuuden arvo on yksittäisen LEDin valotehokkuus, ei koko valaisimen. (DOE 2013)

Taulukko 3. Arvio LEDien valotehokkuuden kehittymisestä (lm/W). Oletuksena kylmillä väriämpötiloilla CCT = 4746 - 7040 K ja CRI > 70, lämpimillä väriämpötiloilla CCT = 2580 – 3710 K ja CRI > 80. (DOE 2013, 43)

Tyyppi	2012	2013	2015	2020	Tavoite
Kylmä valkoinen (RGB)	150	164	190	235	266
Kylmä valkoinen (FM)	147	157	173	192	199
Lämmin valkoinen (RGB)	113	129	162	224	266
Lämmin valkoinen (FM)	112	126	150	185	199

6 DIREKTIIVIT/STANDARDIT

6.1 IEC/PAS standardit

IEC:n julkaisemien kahden PAS-esistandardin tarkoituksena on mahdollistaa valaisintuotteiden ostajan vertailla eri valmistajien tuotteita niin, että ne ovat vertailukelpoisia. IEC/PAS-standardeissa on määritelty valaisimien suoritusarvojen tekniset määritelmät ja mittausmenetelmät. Varsinaisten standardien on tarkoitus ilmestyä vuoden 2014 alkupuolella. (Teknologiateollisuus 2013)

6.2 Direktiivit

Soveltumisalaltaan laajempi EcoDesign-direktiivi (2009/125/EY) korvasi aiemman ekosuunnitteludirektiivin (2005/32/EY, myös niin kutsuttu EuP-direktiivi) 20. marraskuuta 2009. EcoDesign-direktiivillä parannetaan energiaa käyttävien tuotteiden energiatehokkuutta ja ympäristön suojelun tasoa. EcoDesign-direktiivi on puitedirektiivi, jonka nojalla annetaan esimerkiksi valaistukseen tuoteryhmäkohtaisia täytäntöönpanotoimenpiteitä. (Motiva www-sivut 2013)

EcoDesign-direktiivi aiheuttaa joitakin muutoksia valonlähdetarjontaan, suurin muutos koetaan vuonna 2015, kun elohopealamput poistuvat markkinoilta. Kuten nähdään taulukosta 4, vuonna 2012 astui voimaan valotehokkuusvaatimuksia monimetalli- ja suurpainenatriumlampuille. Vuosina 2015 ja 2017 on tulossa lisää tiukentuvia vaatimuksia. Vuonna 2014 saattaa tulla muutoksia EcoDesign-direktiiviin komission, sillä komission on tarkoitus tehdä direktiiville välitarkastus. (Alppilux www-sivut n.d.; Komission asetus 2009;)

Taulukko 4. EcoDesign-direktiivin aiheuttamat muutokset valonlähteille (Komission asetus 2009).

Vuosi	Säädöksen 245/2009 vaatimuksia purkauslamppuille
2010	- Valmistajien on tarjottava purkauslamppujen tietyt tiedot ilmaisilla internetsivuilla ja teknisissä dokumenteissa
2012	- Monimetalli- ja suurpainenatriumlampuille valotehokkuusvaatimuksia - Hyötysuhdevaatimuksia purkauslamppujen virranrajoittimille

2015	- Elohopealamput ja niitä suoraan korvaavat suurpainenatriumlamput poistuvat markkinoilta
2017	- Monimetallilampuille kiristyneet valotehokkuusvaatimukset - Kvartsilasiset monimetallilamput poistuvat markkinoilta - Purkauslamppujen virranrajoittimien hyötysuhdevaatimukset kiristyvät

6.3 Valaistusstandardi SFS-EN 12464-1

Suomen Standardoimisliiton standardissa SFS-EN 12464-1 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Työkohteiden valaistus annetaan ohjeita sisätyötilojen valaistukseen. Kyseisessä standardissa annetaan muun muassa valaistusvoimakkuuden vähimmäisarvoja erilaisille tiloille ja työkohteille, työkohteen lähiympäristölle ja tausta-alueelle. Lisäksi standardissa annetaan suositukset häikäisyn UGR-arvolle ja värinointindeksille.

Taulukko 6. SFS-EN 12464-1 mukaiset suositukset huolto- ja korjaushalleille kuljetus- ja lentoasemilla (SFS-EN 12464-1, 68).

5.52 Kuljetus- ja lentoasemat				
Viite nro	Tila, tehtävä tai toiminta	E_m	UGR_L	R_a
5.52.9	Huolto- ja korjaushallit	500	22	80

7 LEKOHALLIN VALAISTUS

7.1 Nykyinen valaistus

Tällä hetkellä LEKOhallissa on käytetty valaistukseen suurpainenatrium- ja loisteputkivalalaisimia. LEKOhallin kattoon on asennettu seitsemään riviin 46 syväsäteilijää. Valaisimet on asennettu vuonna 1982. Kuhunkin valaisimeen on asennettuna 250 W suurpainenatriumlamppu. Lisäksi LEKOhallissa on käytössä 19 kappaletta 2 x 36 W loisteputkivalalaisimia.

7.2 Valaistusvoimakkuusmittaukset

Kenttäolosuhteissa kaikkia valaistukseen liittyviä osatekijöitä ei pystytä mittaamaan kovinkaan helposti. Yleensä tarpeeksi luotettaviin tuloksiin päästään soveltuvien osien suoritettuihin mittauksiin sekä silmämääräisin arvioinnein käyttäen hyväksi sopivia apuvälineitä. Mitattaessa teollisuusalueilla tai muissa suurissa kohteissa, tutkittava alue jaetaan neliömäisiin tai suorakaiteen muotoisiin yhtä suurin ruutuihin, joiden sivujen pituudet ovat mitattavan alueen koosta riippuen 5-10 m. (Ahponen, Kasurinen & Timonen 1996, 123, 129)

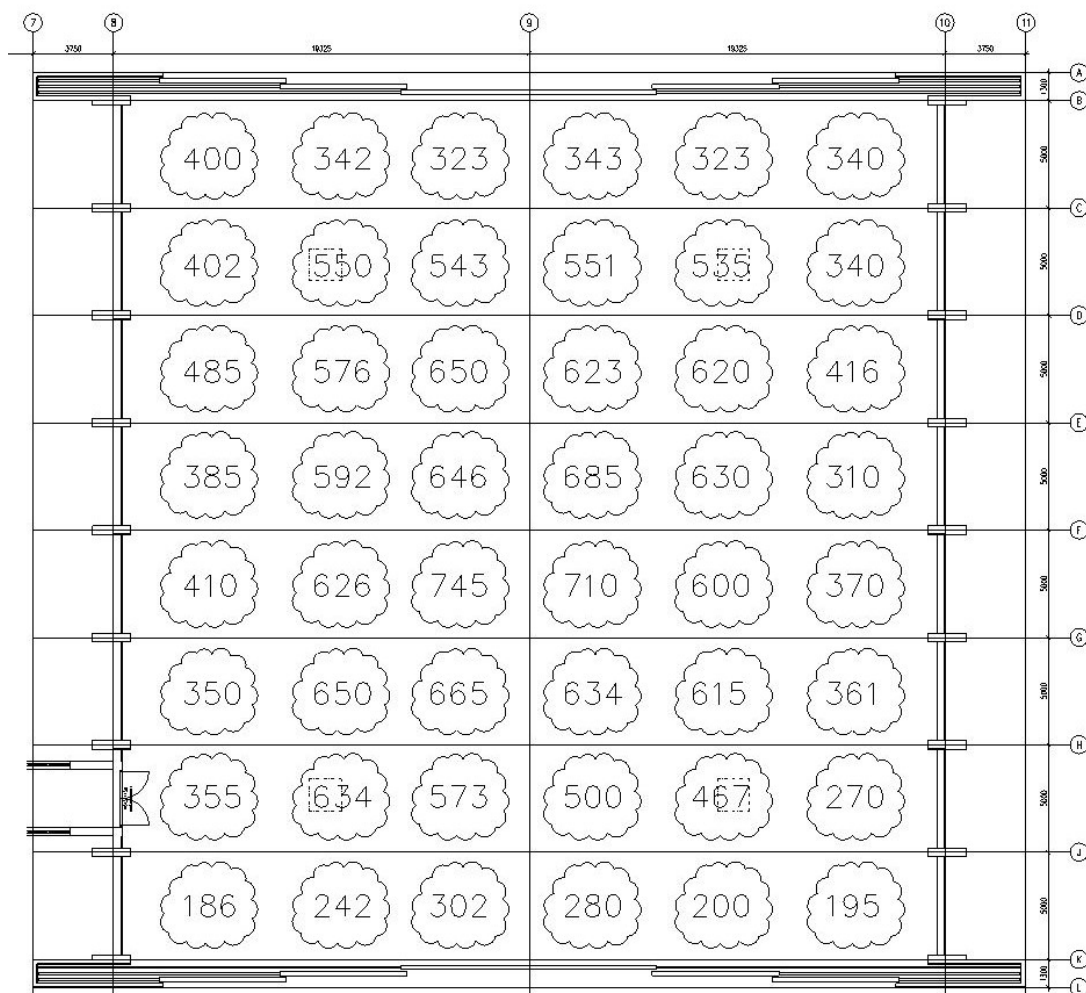
7.3 Mittausten suoritus

Valaistusvoimakkuusmittaukset suoritettiin Satakunnan lennostossa Pirkkalassa 28.11.2013 kello 9.00 – 10.30 välisenä aikana. Mittauksissa käytettiin Malmbergs LX 1010B+ valaistusvoimakkuusmittaria, jonka virhemarginaali on 11 % + 2 yksikköä. Tuloksia varten oli LEKOhallin pohjapiirustukseen määritelty mittauspisteet, johon saadut tulokset merkittiin. Mittaukset suoritettiin noin metrin korkeudesta. LEKOhallin reunoilla tulos oli välillä 186 - 400 lx, kun taas keskiosassa 400 – 745 lx.

Saaduista mittaustuloksista voidaan laskea tutkittavan alueen keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m , mikä on mittausruutujen keskipisteistä saatujen mittaustulosten

aritmeettinen keskiarvo (Ahponen ym. 1996, 130). Tällöin valaistusvoimakkuudeksi E_m saadaan 470 lx, mikä on hieman alle standardin suosittelemman arvon. Jos jätetään huomioimatta reunojen valaistusvoimakkuudet, saadaan keskimääräiseksi tulokseksi 609 lx. Pääasiallinen työskentely tapahtuu hallin keskiosassa.

Jotta saatiin selville valaisimien todellinen sähkönkulutus, mitattiin valaistusta syöttävältä ryhmäkeskukselta Fluke 41B-mittarilla syväsiteilijöiden kuluttama teho. Yhden valaisimen todellisen kulutuksen mitattiin olevan 320 W. Lämpötilan mitattiin olevan hallin katossa +23 °C, kun ulkoilman lämpötila oli +3 °C.



Kuva 8. LEKOhallin valaistusvoimakkuustasot tämänhetkisellä suurpainenatriumvalaistuksella.

7.4 Käyttäjien mielipiteitä

Mittauspäivänä käyttäjiltä nousi esiin mielipiteitä nykyisestä valaistuksesta. Nykyistä valaistusvoimakkuutta pidettiin hyvänä, mutta värilämpötilaa ja värintoistoa pidettiin huonona. Hallissa tehtävien työtehtävien vuoksi, värilämpötila ja värintoisto ovat tärkeitä tekijöitä, koska lentokoneista tulee löytää pienimmätkin poikkeamat, mikäli niitä esiintyy. Tämä tulee ottaa huomioon valaisimia valitessa.

LED-valaistuksesta oltiin yleisesti kiinnostuneita, mutta sen tuottamaan valoon ei luotettu. Nämä huonot mielikuvat ovat mahdollisesti syntyneet ensimmäisien sukupolvien LED-valaisimista, joista nykyvalaisimet ovat kehittyneet monella saralla.

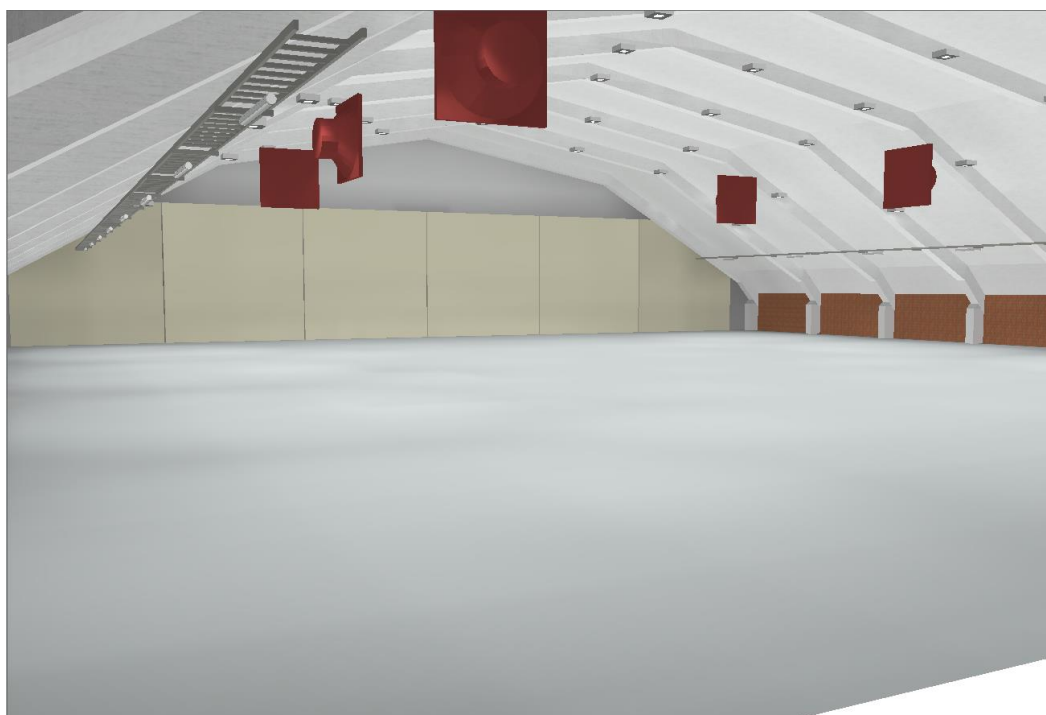


Kuva 9. Mittauspäivänä otettu valokuva LEKOhallista.

8 MALLINNUS DIALUX-OHJELMALLA

DIALux on saksalaisen DIAL GmbH:n kehittämä valaistuksenlaskentaohjelma. Se on yksi suosituimmista valaistuksen suunnitteluun käytetyistä ohjelmista ja se on saatavissa ilmaiseksi internetistä. DIAL GmbH perustettiin vuonna 1989 ja viisi vuotta myöhemmin vuonna 1994 saapui ensimmäinen versio DIALux:sta. On olemassa tiettyyn käyttöön kehittyneempi versio nimeltään DIALux evo, jota käytetään koko rakennuksen ja sen lähiympäristön valaistussuunnitteluun. (DIAL www-sivut 2014)

Tässä opinnäytetyössä suunnitteluun käytettiin ohjelmaa DIALux 4.11, koska siinä oli valmis ominaisuus kaarevan katon muodostamiseen. Tällaista ominaisuutta uudemmassa DIALux evo versiossa ei vielä ole. LEKOhallin mallinnus tehtiin pohjapiirustusta avuksi käyttäen ja paikalla otettuja valokuvia avuksi käyttäen. Vain suurimmat elementit piirrettiin kuvaan, koska pienien elementtien vaikutus tuloksiin on pieni. Hallin sivujen pituudet ovat 38 m ja 42 m, joten pohjan pinta-ala on noin 1600 m². Korkeus hallin keskiosassa on 11 m.



Kuva 10. Kuva mallinnetusta LEKOhallista.

9 UUSI VALAISTUSRATKAISU

Uutta valaistusratkaisua lähdettiin etsimään siten, että uudet LED-valaisimet sijoitettiin vanhojen valaisimien kohdalle, jotta kaapelointia ei tarvitse uusida. Alppiluxin valaisimen kanssa käytettiin alenemakerrointa 0,67. Se sisältää valon alenemakertoimen 0,7, sekä muista tekijöistä johtuvan pienen alenemakertoimen. Pieneen alenemakertoimeen päädyttiin, koska tiloissa ei esiinny normaalia suurempaa likaantumista. Philipsin valaisimen kanssa käytettiin alenemakerrointa 0,77, koska valmistaja lupaa valovirran aleneman olevan 20 % 50000 tunnin jälkeen.

Mikäli alenemakerroin on 0,67, valaistus ylimitoitetaan 49 % eli asennushetkellä valaistusvoimakkuus on noin puolet suurempi kuin käyttöään lopulla. Jos alenemakerroin on 0,77, ylimitoitus on 29 %. Tilan heijastussuhteet arvioitiin olevan seuraavat: katto 0,7, seinät 0,3 ja lattia 0,6. Lattian suuri arvo johtuu sen vaaleudesta ja kiiltävyydestä.

Tällä hetkellä valaisinvalmistajien yleisesti lupaama LED-valaisimien elinikä on noin 50000 tuntia, mutta joillakin valmistajilla on suurempia tuntimääriä. Mikäli valaisimia käytetään 10 tuntia arkipäivisin joka viikko, vuoden aikana käyttötunteja tulee 2600. Näin ollen valaisimien eliniäksi tulisi teoriassa noin 19 vuotta. Tämän vuoksi takaisinmaksulaskelmat luvussa 10 tehtiin 20 vuoden ajalle.

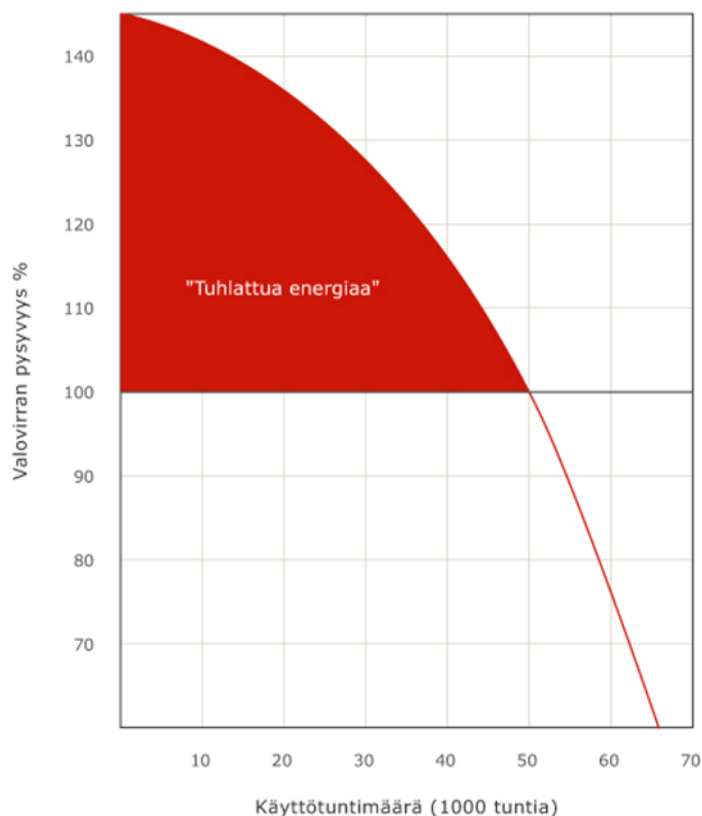
Loisteputkivalaisimien uusimista ei päätetty sisällyttää tähän opinnäytetyöhön, mutta koska ne jäävät käyttöön, laskentoihin lisättiin Alppiluxin IG20236A loisteputkivalaisimet, jotta tulos olisi lähempänä todellisuutta. Kyseiset valaisimet tuottavat 6700 lm valovirran. Kyseiseen valaisimeen päädyttiin koska loisteputkien valotehokkuus on Sähköturvan www-sivujen mukaan noin 90 lm/W. Tästä laskemalla 36 W:n loisteputki tuottaa noin 3200 lm valovirran.

9.1 Valaistuksen mitoitus

Standardissa SFS-EN 12464-1 todetaan, että valaistus tulee suunnitella käyttäen alenemakerrointa, joka vastaa valittuja valaistuslaitteita, tilan ympäristötekijöitä ja

määrättyä huoltosuunnitelmaa. Kaikille valaistustekniikoille on ominaista, että niiden valovirta alkaa aleta käytön myötä. Yleensä valaistus ylimitoitetaan siten, että valaisimien huoltohetkellä tai lamppujen vaihdon yhteydessä, valaistusvoimakkuus on standardien ja vaatimusten mukainen. Mitoituksessa käytettävä valon alenemakerroin (MF) muodostuu seuraavista tekijöistä: valonlähteen eloonjäämiskerroin (LSF), huonepintojen alenemakerroin (RSMF) ja valaisimien alenemakerroin (LMF). Alenemakerroin määrittyy usein välille 0,5 – 0,8 riippuen käytetyistä valaisimista ja ympäristötekijöistä. (Glamox 2013; SFS-EN 12464-1 32-34)

Mikäli järjestelmään ei ole lisätty älyä eli se on perinteinen on-off tyyppinen järjestelmä, se kuluttaa turhaa energiaa kuvan 8 mukaisesti. Philipsin mukaan, jos valaisimet mitoitetaan L70 arvon mukaan, valovirran aleneman kompensoinnilla voidaan säästää 15 % energiankulutuksessa. (Glamox www-sivut 2014; Philips www-sivut 2014)



Kuva 11. Kuvaaja turhan energian kulumisesta, kun mitoituksessa käytetään L70-arvoa (Glamox www-sivut 2013).

Määriteltäessä tavoiteltavaa valaistusvoimakkuustasoa tulee ottaa huomioon valaistuskohhteessa työskentelevien työntekijöiden ikä. 60-vuotiaan näköterveys on kes-

kimäärin puolet 20-vuotiaan näkötarkkuudesta. Näin ollen 60-vuotias vaatii 12-kertaisen valaistusvoimakkuuden saadakseen saman näkövaikutelman kuin 20-vuotias. (Keränen & Rytönen 2013)

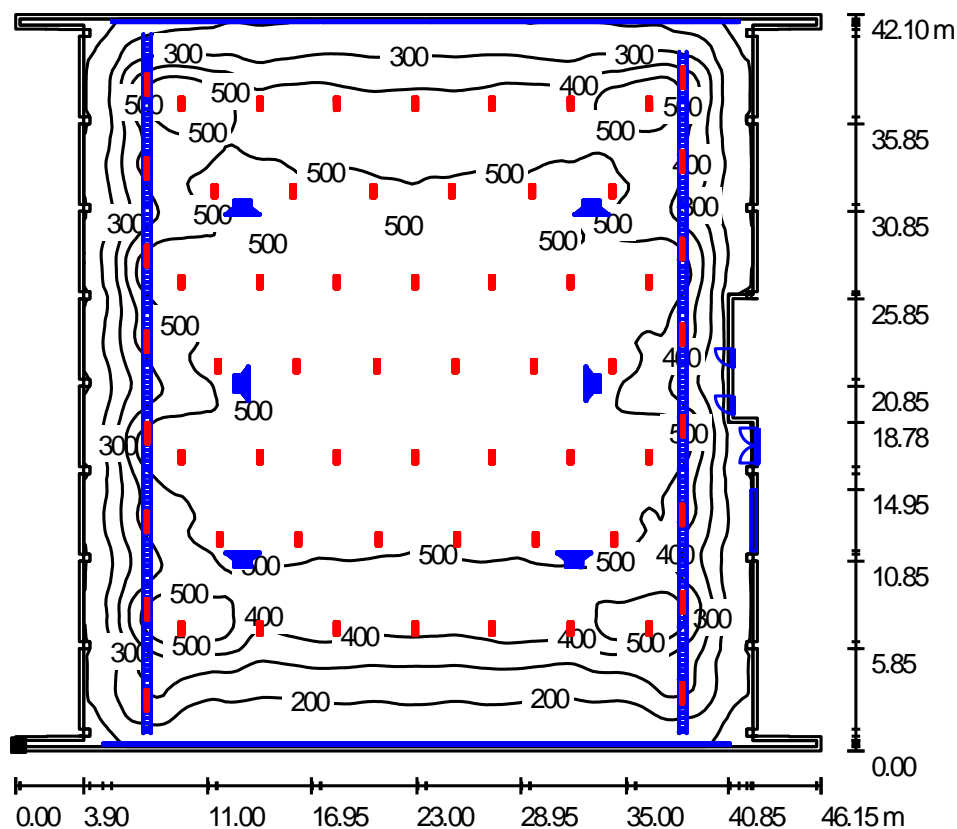
9.2 Alpilux HiPak Pro LED

Alpiluxin myymä HiPak Pro LED on vähäisen huoltotarpeen omaava teollisuusvalaisin. Siitä on saatavilla kahdessa eri teholuokassa, kahdella eri optiikkavaihtoehdolla. Parhaimmillaan HiPak Pro LED on korkeissa asennuksissa logistiikkakeskuksissa, varastoissa sekä teollisuus- ja näyttelyhalleissa. Valaisimet on varustettu DALI-liitännälaitteella ja niihin on mahdollista lisätä liikkeentunnistus. Tähän työhön valittiin 150 W:n valaisin keskisäteilevällä optiikalla. Kyseisen valaisimien suositushinta on 716,94 € (alv 0 %). (Alpilux www-sivut n.d.)



Kuva 12. Alpilux HiPak Pro LED (Alpilux www-sivut n.d.).

Kuten huomataan kuvasta 14, Alpiluxin HiPak Pro LED valaisimet pystyvät tuottamaan halutun valaistusvoimakkuustason hallin keskiosaan. Tulokset ovat lähellä tämän hetkisen valaistuksen valaistusvoimakkuutta.



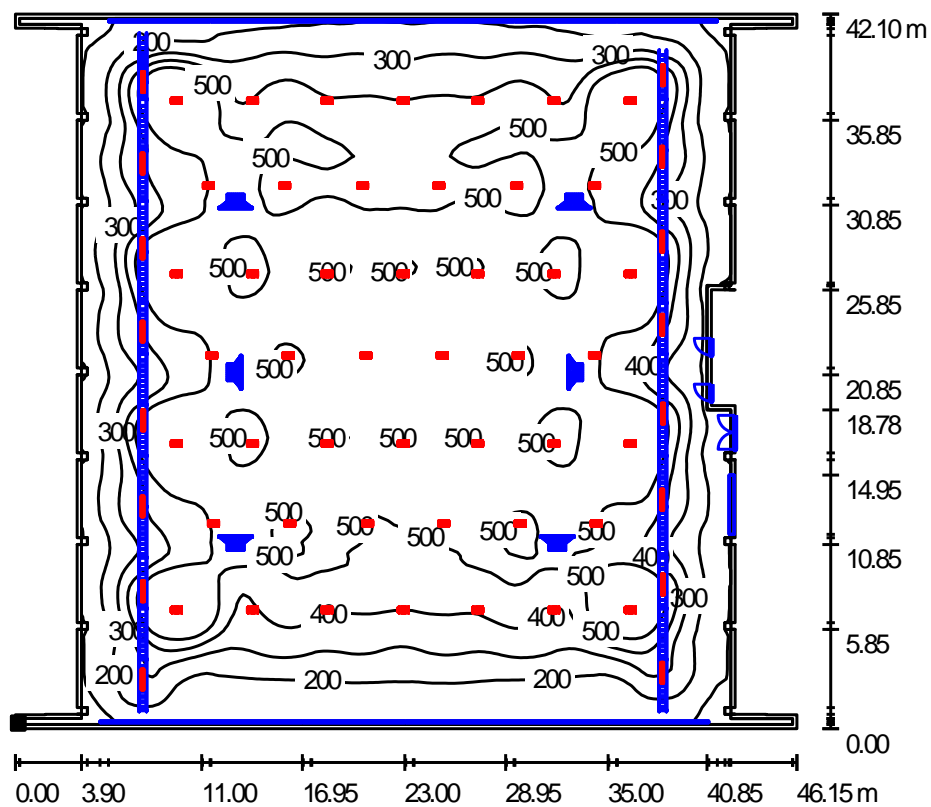
Kuva 13. Testatun Alppiluxin valaisimen Isolux-käyrät.

9.3 Philips GentleSpace

Philipsin GentleSpace on suunniteltu korvaamaan jopa 400 W:n purkauslamppuväläisimet. Tällä hetkellä saatavissa on kahdella tai neljällä LedGine-ledimoduulilla varustettuja väläisimia. Kahden moduulin väläisimet ovat teholtaan 100 – 120 W ja neljän moduulin väläisimet 200 – 240 W. (Philips 2013)

Testiin valittiin Philipsin GentleSpace väläisin malliltaan BY460P LED120S/740 PSD IP65 MB GC, jonka suositushinta on 880,00 €. Kyseinen väläisin tuottaa 12000 lm valovirran ja se ottaa verkosta 132 W:n tehon. (Philips 2013)

Kuvasta 15 voidaan todeta, että kyseisellä väläisinmallilla voidaan toteuttaa väläisimien korvaaminen valaistusteknisten vaatimusten pohjalta, koska ne tuottavat pääasialliselle työskentelyalueelle yli 500 lx valaistusvoimakkuuden.



Kuva 14. Philips GentleSpace valaisimien Isolux-käyrät.



Kuva 15. Kuva testatusta Philipsin valaisimesta (Philips www-sivut 2014).

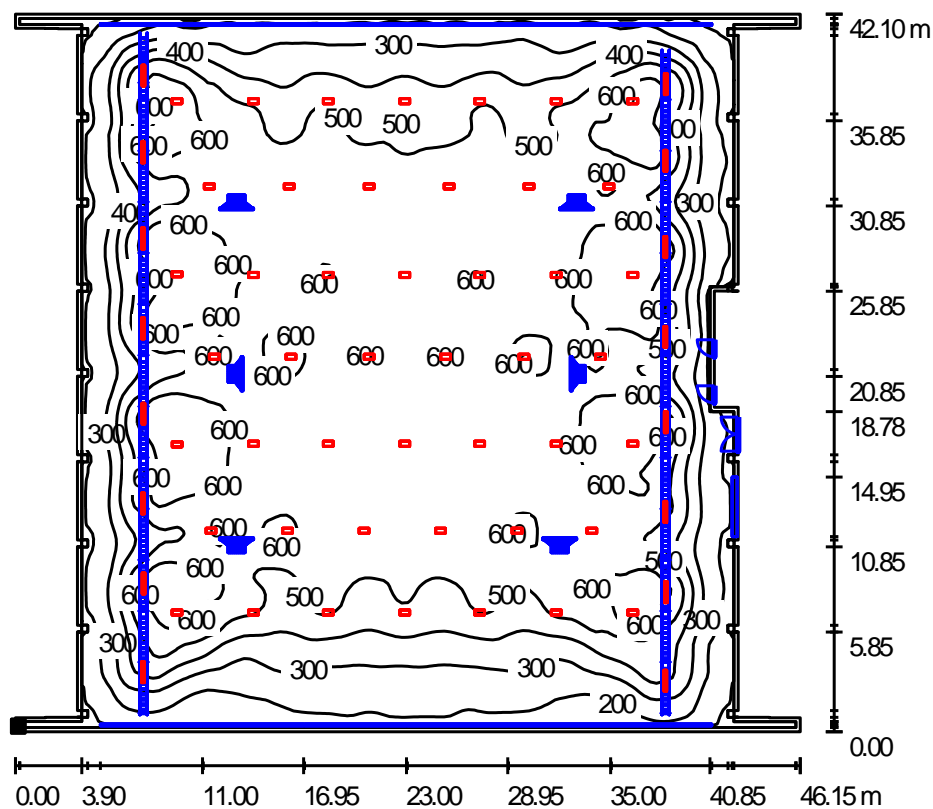
9.4 Valopaa VP1401i M16

Testattavaksi valittiin Valopaan kattovalaisinvalikoimasta VP1041i M16 valaisin, joka on suunniteltu katuvalaisimeksi, mutta sopivalla optiikalla varustettuna sitä voi käyttää myös teollisuusvalaisimena. VP1401i:n verkosta ottama teho on maksimissaan 248 W ja hyötyvalon määrä on silloin 25600 lm. Kyseinen valaisin on niin sanottu älykäs valaisin eli sitä voi ohjata langattomasti ja siinä on energiaa säästäviä ominaisuuksia kuten hiipumisen kompensointi ja valomäärän säädettävyys (0, 10...100 %). Valopaa VP1401i M16 valaisimen hinta on 760 € (alv 0 %). (Valopaa myynti sähköposti 2014; Valopaa 2013)

VP1401i testaaminen tehtiin hieman poikkeuksellisesti verrattuna muihin valaisimiin. Laskelma perustuu olettamukseen, että valaistusjärjestelmään asennettaisiin anturit, jotka pitäisivät valaistusvoimakkuuden vakiona. Aluksi etsittiin himmennystaso, jolla saadaan aikaiseksi vaaditun mukainen valaistusvoimakkuus. Se löytyi, kun valaisimet toimivat 35 % teholla. Tästä arvioitiin, että valaisimien valoteho alenisi yhden prosentin vuodessa, näin ollen 20 vuoden päästä valaisimet toimisivat 55 % teholla.



Kuva 16. Valopaa VP1401i M16 (Valopaa 2013).



Kuva 17. Valaistusvoimakkuudet asennushetkellä VP140i valaisimilla himmennettynä 35 %:iin.

Asennushetkellä Valopaan VP140i tuottaa riittävän valaistusvoimakkuuden työskentelyalueelle, kun valaisimet ovat himmennettynä 35 %:iin, kuten nähdään kuvasta 18. Liitteessä 2 on väärävärikuva asennushetken tilanteesta, josta saa paremman kuvan tilan valaistusvoimakkuustasojen vaihtelusta.

10 TAKAISINMAKSUAIKA

Koska LEDit kehittyvät lupaavaa vauhtia, laskettiin myös teoreettisen valaisimen takaisinmaksuaika. Testatun Alppiluxin valaisimen perusteella tiedetään, että mikäli valaisin tuottaa 14000 lm valovirran, LEKOhalliin saadaan haluttu valaistusvoimakkuus. Kun tulevaisuuden LED-valaisimen valotehokkuus on 140 lm/W, vaaditun valaisimen ottoteho olisi noin 100 W. On myös todennäköistä, että valaisimien hinnat tulevat tippumaan jonkin verran, joten oletettiin, että yhden valaisimen hinta olisi 600 € verot mukaan luettuna.

10.1 Laskelman parametrit

Takaisinmaksuaikaa laskettaessa käytettiin apuna Excel-taulukkolaskentaohjelmaa. Takaisinmaksu aika laskettiin 20 vuodelle, koska mikäli vuotuinen valaistuksen polttoaika on 2600 tuntia, 20 vuodessa käyttötunteja tulee 52000 tuntia. Tämä luku on lähellä arvoa, mitä valaisinvalmistajat lupaavat LED-valaisimien eliniän olevan. Tarkemmat laskelmat löytyvät liitteistä.

Seuraavia yhteisiä olettamia käytettiin laskelmissa:

- Sähkön hinnan alkuarvo 0,12 €/kWh ja sen vuotuinen hinnannousu 2 %
- Käyttötunnit vuodessa 2600 tuntia
- Asennustöiden kustannukset nousevat 2 % vuodessa
- Lamppujen vaihtokustannukset alussa 2000 €
- Lamppujen hinnat pysyvät samoina
- Arvonlisävero 24 %

Nykyisen valaistuksen laskentaan käytettiin seuraavia olettamia:

- Uusien suurpainenatriumlamppujen kustannus 20 €/lamppu
- Lamppujen uusiminen viiden vuoden välein

Uudet purkauslamppuvalaisimet

- Uudet valaisimet 250 €/kappale
- Monimetallilamppujen hinta 40 €
- Lamppujen vaihtoväli 4 vuotta

Tämän hetkisiin uusiin LED-valaisimiin käytettiin seuraavia oletuksia:

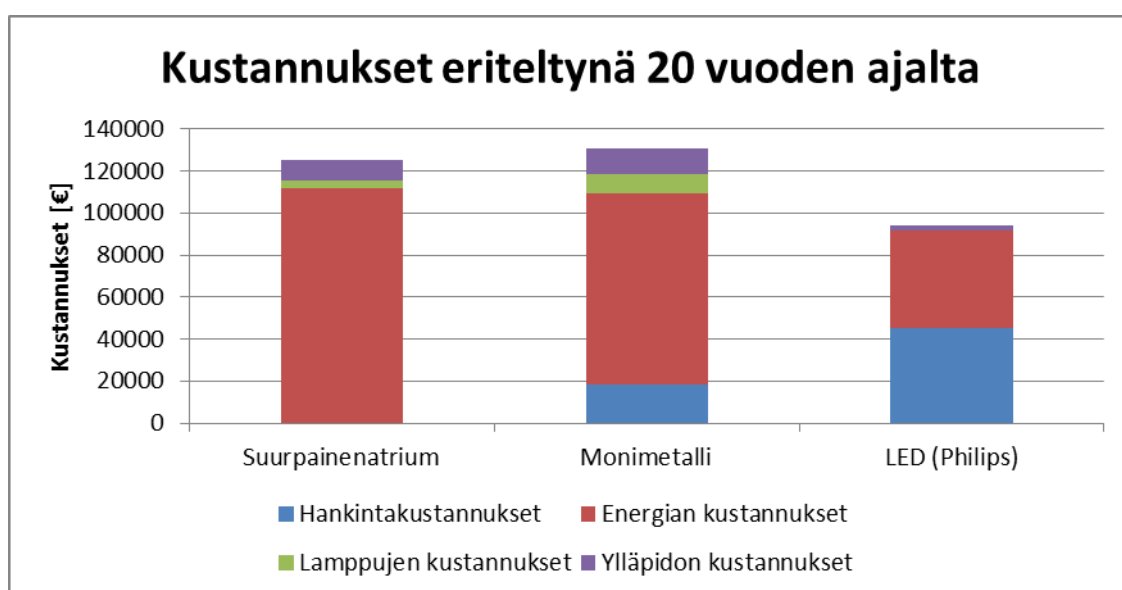
- Uusien valaisimien asennustyön kustannukset 5000 €
- Valaisimien puhdistus 10 vuoden välein
- Asennetaan automaatiojärjestelmä, jonka kustannukset ovat 2500 €

2015 vuoden LED-valaisimet

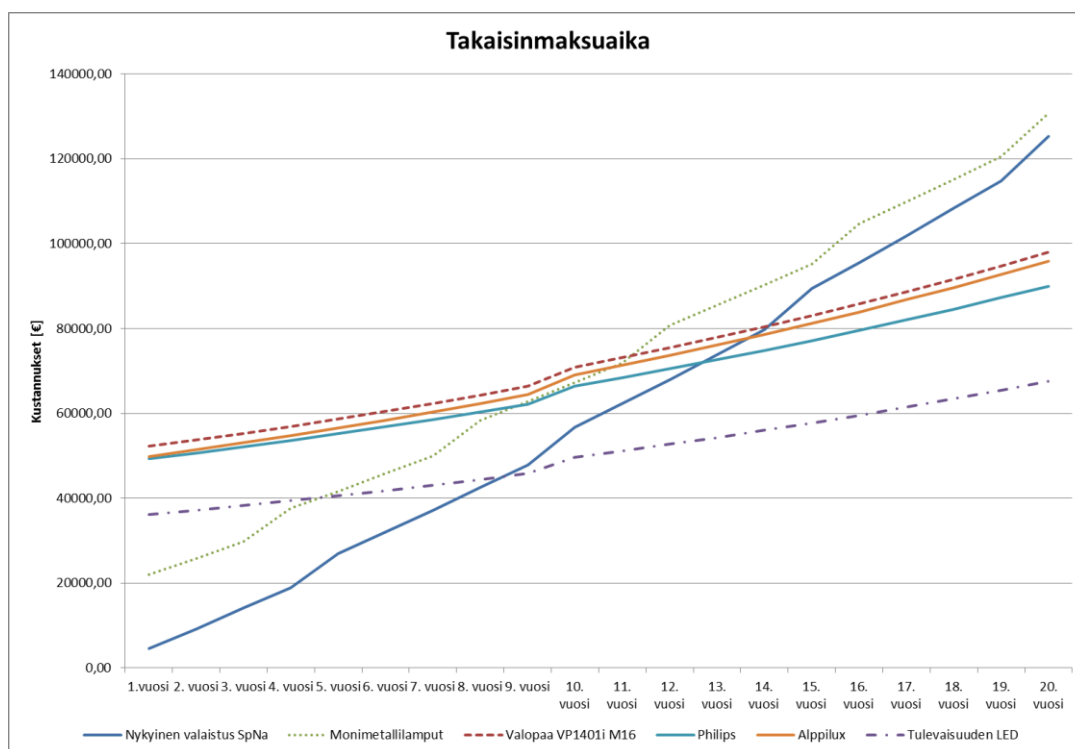
- Valotehokkuus 140 lm/W
- Yhden valaisimen hinta 600 €
- Asennetaan automaatiojärjestelmä, jonka kustannukset ovat 2500 €

10.2 Tulokset

Kuten kuvasta 20 huomataan, testattujen valaisimien välillä ei ole suurta eroa. Jo tämän hetken LED-valaisin tarjonnalla päästään noin 15 vuoden takaisinmaksuaikaan. Laskelmien mukaan uusia purkauslamppukäyttöön tarkoitettuja valaisimia ei kannata asentaa, koska LED-valaisimet tulevat laskelmien mukaan halvemmiksi noin 10 vuoden kuluessa. Lopulliset tulokset saadaan, kun pyydetään tarjoukset valaisimien myyjiltä, mikäli tehdään päätös uusista valaisimista. Kuvassa 19 on eritelty, mistä kustannukset syntyvät 20 vuoden aikana.



Kuva 18. Kustannukset eriteltyinä 20 vuoden ajalta. LED-valaisimen arvoina on käytetty Philipsin valaisimen kustannuksia.



Kuva 19. Takaisinmaksuaikaa esittävä kuvaaja.

Koska LEDit kehittyvät koko ajan, laskettiin paljonko kokonaiskustannukset laskevat teoriassa hankintahinnan laskiessa tai kun valotehokkuus paranee. Valotehokkuuden paraneminen laskettiin vaaditun tehon putoamisena. Taulukon 8 mukaan valaisimen tehon pieneneminen sekä hankintahinnan laskeminen vaikuttavat lähes yhtä paljon kokonaiskustannuksiin.

Taulukko 8. LEDien kehittymisestä johtuva kustannuksien aleneminen.

Philips GentleSpace valaisimen 20 vuoden kustannukset	Kustannukset	Erotus
Nykyinen (132 W, 880 €)	90000 €	-
Hankintahinta 10 % pienempi	86000 €	-4,4 %
Valaisimen tehon pieneneminen 10 %	86100 €	-4,3 %
Molemmat yhdessä 10 %	82000 €	-8,8 %
Molemmat yhdessä 20 %	74000 €	-17,8 %

11 VALAISTUSAUTOMAATIO

11.1 DALI

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) on standardisoitu ohjaustapa elektronisille liitäntälaitteille. DALIn kehittämisen takana ovat johtavat eurooppalaiset elektronisten liitäntälaitteiden valmistajat Helvar, Osram, Philips ja Tridonic. DALI-järjestelmässä käytetään valaisimien ohjaukseen yksinkertaista johtoparia, jolla kaksisuuntainen kommunikointi on mahdollista. Digitaalinen ohjaussignaali ei ole herkkä johtuville häiriöille, joten kaapeloinnissa voidaan käyttää viisijohtimista kaapelia. DALI-järjestelmässä voidaan hyödyntää muun muassa seuraavia energiaa säästäviä toimintoja: päivänvalo-ohjaus, läsnäolotunnistus ja valovirran aleneman kompensointi. Jos edellä mainittuja toimintoja on mahdollista käyttää, voidaan ideaalisessa tilanteessa säästää energiaa jopa kymmeniä prosentteja. (Fagerhult n.d.) Testatut Alppiluxin ja Philipsin valaisimet sisältävät DALI liitäntälaitteen. Jotta halutut energiaa säästävät toiminnot saadaan käyttöön, tulee järjestelmään asentaa erillinen ohjausyksikkö. (Alppilux www-sivut n.d.; Philips 2013)

11.2 Valopaan älykkäät tuotteet

Valopaan älykkäät tuotteet tarvitsevat sensorin, mikäli niitä halutaan ohjata. Tähän ongelmaan yritys on kehittänyt multisensorin, josta voidaan valita joko liikkeentunnistus, kirkkaustoiminto tai valomäärän mittaus ohjaamaan valaisimia. VPS Sensorin hinta on 420 € (alv 0 %). (Valopaa 2013; Valopaa myynti sähköposti 2014;)

Mikäli alueella tai rakennuksessa on käytössä runsaasti valaisimia, saatetaan tarvita Valopaa Master-yksikkö. Sillä voidaan ohjata valaisimien ja antureiden muodostamia ryhmiä. Lisäksi Master-yksikkö tuo lisää ominaisuuksia kuten kellon, kalenterin ja auringon nousun ja laskun mukaan tapahtuvat ryhmien ohjaukset. VPS Master yksikkö W-mallin hinta on 990 € (alv 0 %). (Valopaa 2013; Valopaa myynti sähköposti 2014,)

12 YHTEENVETO

Koska nykyiset valaisimet tulevat oman elinkaarensa päähän lähivuosina, on LEKO-halleissa valaisimien uusiminen edessä joka tapauksessa. Jo tällä hetkellä markkinoilla olevilla LED-valaisimilla voidaan toteuttaa LEKOhallien valaistus kustannustehokkaammin kuin suurpainenatrium- tai monimetallivalaisimilla. LEDien kehittyessä, niiden valotehokkuus paranee, joten sama valaistusvoimakkuus saadaan aikaiseksi pienemmällä teholla. Tästä seuraa käyttökustannusten pienenemistä. Valaistuksen uusimisen puolesta puhuu myös LEDien tuottaman valon parempi laatu verrattuna suurpainenatriumeihin. Monimetallilamput tuottaisivat suositusten mukaista valoa, mutta niiden elinikä on valitettavan lyhyt.

Testatuissa valaisimissa ei ollut suuria eroja. Ne muodostivat takaisinmaksukuvajaan lähes identtiset käyrät. Poikkeuksena oli Valopaan valaisin, jota voisi käyttää korvaamaan jopa 400 W:n purkauslamppuja, mutta koska se oli hinnoiteltu samaan luokkaan kahden muun testatun valaisimen kanssa, se kävisi yhtä hyvin korvaamaan vanhat valaisimet. Huomattavaa onkin, että Valopaan valaisimella olisi vielä käyttövuosia jäljellä 20 vuoden jälkeen. Valopaan tuotteen hankkimista puoltaa myös niiden käyttämä langaton ohjaus. Mikäli asennettaisiin jonkin muu automaatiojärjestelmä, joka vaatii omat kaapelit, saattaisi muutoksista tulla lisäkustannuksia.

LEKOhallin mallinnukseen kului paljon aikaa, koska jouduin opettelemaan uuden ohjelman lähes alusta. Kaarevan katon mallinnus muodosti hieman ongelmia, mutta siitä selvittiin lopulta hyvin.

Mielestäni olisi hyvin kannattavaa asentaa testimielessä johonkin halleista testimielessä LED-valaistus. Sen avulla käyttäjät voisivat antaa mielipiteensä uudesta valaistuksesta ja sen riittävydestä. Tämän jälkeen tehtäisiin päätöksiä muiden LEKOhallien valaistuksen uusimisesta. Ennen uusien valaisimien hankintaa tulisi varmistaa, että lämpötila katossa kesällä ei aiheuta ongelmia LED-valaisimille. Lämpötilamittauksia ei voitu tehdä opinnäytetyön ajankohdan johdosta. Työn aihe syntyi kesällä 2013 ollessani kesätoissa Puolustushallinnon rakennuslaitoksen Tampereen aluetoimistolla. Haluan kiittää Aarne Saloa mielenkiintoisen ja ajankohtaisen opinnäytetyön aiheen antamisesta.

LÄHTEET

Adlux www-sivut. n.d. Viitattu 25.2.2014. www.adlux.fi

Ahponen, V., Kasurinen, E. & Timonen, T. 1996. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. Espoo: Sähköinfo.

Alppilux www-sivut. n.d. Viitattu 14.2.2014. <http://www.alppilux.fi/fi>

Clark, T. 2011. Color Shift. Viitattu 14.2.2014.
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/clark_color_sslmiw2011.pdf

Cree. 2013. LED Color Mixing: Basics and Background. Viitattu 14.2.2014
<http://www.cree.com/>

DIAL www-sivut. 2014. Viitattu 24.2.2014. <http://www.dial.de/DIAL/en/home.html>

DOE. 2012. LED Color Characteristics. Viitattu 24.2.2014.
<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/led-color-characteristics-factsheet.pdf>

DOE. 2013. Solid State Lighting R&D Multi Year Plan. 2013. Viitattu 14.2.2014.
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_mypp2013_web.pdf

DOE www-sivut. 2014. Viitattu 27.2.2014.
<http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/>

Ensto www-sivut. 2013. Viitattu 24.2.2014. <http://www.ensto.com/fi>

Fagerhult. n.d. Valonsäätö. Viitattu 24.2.2014.
http://www.fagerhult.fi/indoor/planering/technical-info/pdf/Valonsaato_12.pdf

Fagerhult www-sivut. 2013. Viitattu 24.1.2014. <http://www.fagerhult.fi/>

Glamox. 2013. Kymmenen asiaa, jotka sinun tulee tietää ledeistä. Viitattu 14.1.2014
http://www.glamox.com/upload/2013/09/26/fi_singlepages-2.pdf

Glamox www-sivut. 2014. Viitattu 14.2.2014. <http://glamox.com/fi/>

Kallasjoki, T. 2010. Suomen Valoteknillisen Seuran puheenjohtaja Tapio Kallasjoen Valon päivän puhe SÄHKÖ, TELE, VALO JA AV 2010 – messuilla Jyväskylässä 3.2.2010. http://www.valosto.com/tiedostot/10_Valon_paiva_tiedote1.pdf

Komission asetus. 2009. EY/245/2009

Keränen, J. & Rytönen, E. 2013. Valaistus. Viitattu 24.2. 2014.
<http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/sivut/default.aspx>

Motiva www-sivut. 2013. Viitattu 12.2.2014. <http://www.motiva.fi/>

NIST www-sivut. 2014. Viitattu 24.2.2014. <http://www.nist.gov>

OMS lighting www-sivut. 2012. Viitattu 14.1.2014. <http://www.omslighting.com/>

Philips. 2013. Valaisinhinnasto 2013. Viitattu 24.2.2014.
<http://www.lighting.philips.fi/connect/assets/valaisinhinnasto.pdf>

Philips www-sivut. 2014. Viitattu 14.2.2014. <http://www.lighting.philips.com>

Photometric & Optical testing www-sivut. 2014. Viitattu 24.2.2014.
<http://www.photometrictesting.co.uk>

Puolustushallinnon rakennuslaitoksen www-sivut. 2014. Viitattu 5.1.2014
www.phrakl.fi

Rantanen, K. 2006. Palkitut ledit syntyivät sisulla ja tuurilla. Viitattu 24.2.2014.
http://www.tiede.fi/artikkeli/jutut/artikkelit/palkitut_ledit_syntyivat_sisulla_ja_tuurilla

SFS-EN 12464-1. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. 2011. 2. p. Suomen standardoimisliitto SFS. Viitattu 16.10.2013.
<http://sfs.fi>

Simpson, R. S. 2003. Lightning Control – Technology and Applications. Focal Press.
<http://www.scribd.com/doc/53167501/Lighting-Control-Technology-and-Applications>

Sylvania www-sivut. n.d. Viitattu 24.2.2014. http://www.havells-sylvania.com/fi_FI

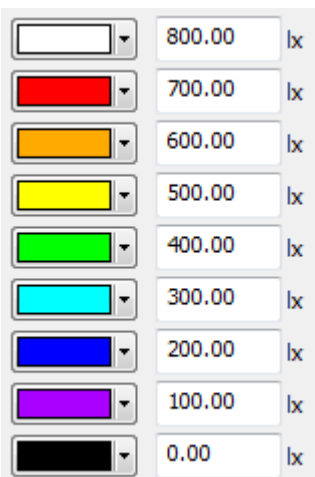
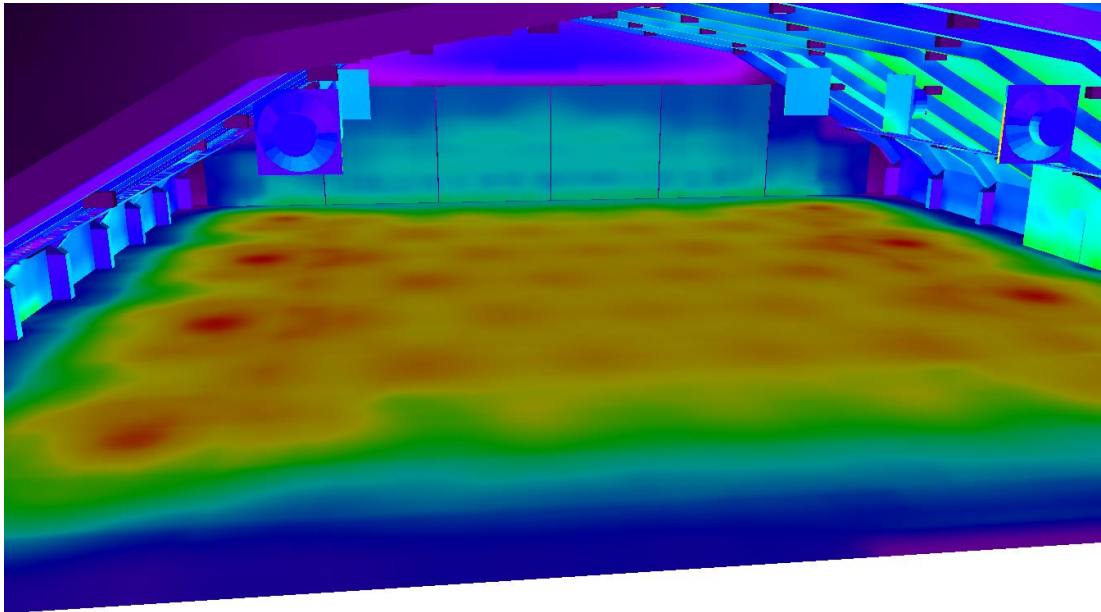
Sähköturva www-sivut. 2009. Viitattu 14.2.2014. www.stek.fi

Teknolohiateollisuus. 2013. Näin vertailet ledivalaisimia. Viitattu 25.2.2014.
<http://www.teknolohiateollisuus.fi/file/16470/LED-vertailu-20130912.pdf.html>

Valopaa 2013. Tuotekuvasto. Viitattu 14.2.2014. <http://www.valopaa.com/led-valaisimet/tuotekuvasto>

Valopaa myynti sähköposti. VP1401i M16 valaisimen hintatiedot opinnäytetyötä varten. Vastaanottaja: lauri.alanko@student.samk.fi. Lähetetty 5.2.2014 klo 12.29. Viitattu 14.2.2014.

LIITE 1



Taulukko 9. Värintoiston arvoasteikko. Fotometrisen koodin ensimmäinen numero.

Koodi	CRI-vaihteluväli	Värintoisto-ominaisuudet
6	57-66	Huono
7	67-76	Kohtalainen
8	77-86	Hyvä
9	86-100	Erinomainen

Taulukko 10. Värikoordinaattien toleranssit. Fotometrisen koodin toinen ja kolmas numero.

Tavoiteväriin keskitetyn MacAdamin ellipsin koko	Väri vaihteluokka	
	Alku	Loppu
3- portainen	3	3
5-portainen	5	5
7-portainen	7	7
>7-portainen	7+	7+

Taulukko 11. Valovirran pysyvyyttä kuvaava koodi testiajan lopussa.

Valovirran pysyvyys (%)	Koodi
≥ 90	9
≥ 80	8
≥ 70	7

Nykyinen suurpainatriumvalaisimet 250W													
	Käyttö%	Todellinen kulutus [W]	Ottoteho 46 valaisinta [kW]	Käyttötunnit vuodessa	kWh/vuosi	Kerroin	Sähkön hinta €/kWh	Energian hinta €/vuosi	Lamppujen hinta 46 kpl [€]	Asennus [€]	Puhdistus [€]	Vuosittaiset kustannukset [€]	Kumulatiiviset kustannukset [€]
1. vuosi	1	320	14,72	2600	38272		0,120	4592,64				4592,64	4592,64
2. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,122	4684,49				4684,49	9277,13
3. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,125	4778,18				4778,18	14055,32
4. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,127	4873,75				4873,75	18929,06
5. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,130	4971,22	920	2164		8055,22	26984,28
6. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,132	5070,65				5070,65	32054,93
7. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,135	5172,06				5172,06	37226,99
8. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,138	5275,50				5275,50	42502,49
9. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,141	5381,01				5381,01	47883,50
10. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,143	5488,63	920	2390		8798,63	56682,13
11. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,146	5598,40				5598,40	62280,53
12. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,149	5710,37				5710,37	67990,90
13. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,152	5824,58				5824,58	73815,48
14. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,155	5941,07				5941,07	79756,55
15. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,158	6059,89	920	2638		9617,89	89374,44
16. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,162	6181,09				6181,09	95555,53
17. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,165	6304,71				6304,71	101860,24
18. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,168	6430,80				6430,80	108291,04
19. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,171	6559,42				6559,42	114850,46
20. vuosi	1	320	14,72	2600	38272	1,02	0,175	6690,61	920	2900		10510,61	125361,07

Uudet monimetallilampputuvalaisimet 250W														
	Käyttö%	Todellinen teho [W]	Ottoteho 46 valaisinta [kW]	Käyttötunnit vuodessa	kWh/vuosi	Kerroin	Sähkön hinta [€/kWh]	Energian hinta €/vuosi	Valaisimien hinta 46 kpl [€]	Automaatio [€]	Asennus [€]	Puhdistus [€]	Vuosittaiset kustannukset [€]	Kumulatiiviset kustannukset [€]
1.vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00		0,120	3731,52	13340		5000		22071,52	22071,52
2. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,122	3806,15					3806,15	25877,67
3. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,125	3882,27					3882,27	29759,94
4. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,127	3959,92	1840		2080		7879,92	37639,86
5. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,130	4039,12					4039,12	41678,98
6. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,132	4119,90					4119,90	45798,88
7. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,135	4202,30					4202,30	50001,18
8. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,138	4286,34	1840		2297		8423,34	58424,52
9. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,141	4372,07					4372,07	62796,59
10. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,143	4459,51					4459,51	67256,10
11. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,146	4548,70					4548,70	71804,80
12. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,149	4639,68	1840		2486		8965,68	80770,48
13. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,152	4732,47					4732,47	85502,95
14. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,155	4827,12					4827,12	90330,07
15. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,158	4923,66					4923,66	95253,73
16. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,162	5022,13	1840		2691		9553,13	104806,87
17. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,165	5122,58					5122,58	109929,44
18. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,168	5225,03					5225,03	115154,47
19. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,171	5329,53					5329,53	120484,00
20. vuosi	1	260	11,96	2600	31096,00	1,02	0,175	5436,12	1840		2900		10176,12	130660,12

Alppilux HiPak Pro LED														
	Käyttö%	Nimellisteho [W]	Ottoteho 46 valaisinta [kW]	Käyttötunnit vuodessa	kWh/vuosi	Kerroin	Sähkön hinta [€/kWh]	Energian hinta €/vuosi	Valaisimien hinta 46 kpl [€]	Automaatio [€]	Asennus [€]	Puhdistus [€]	Kustannukset vuodessa [€]	Kumulatiiviset kustannukset [€]
1. vuosi	0,70	150	4,83	2600	12558,00		0,120	1506,96	40894	2500	5000		49900,96	49900,96
2. vuosi	0,72	150	4,94	2600	12843,25	1,02	0,122	1572,01					1572,01	51472,97
3. vuosi	0,73	150	5,05	2600	13128,49	1,02	0,125	1639,07					1639,07	53112,04
4. vuosi	0,75	150	5,16	2600	13413,74	1,02	0,127	1708,17					1708,17	54820,21
5. vuosi	0,76	150	5,27	2600	13698,98	1,02	0,130	1779,39					1779,39	56599,60
6. vuosi	0,78	150	5,38	2600	13984,23	1,02	0,132	1852,77					1852,77	58452,36
7. vuosi	0,80	150	5,49	2600	14269,48	1,02	0,135	1928,37					1928,37	60380,73
8. vuosi	0,81	150	5,60	2600	14554,72	1,02	0,138	2006,26					2006,26	62386,99
9. vuosi	0,83	150	5,71	2600	14839,97	1,02	0,141	2086,49					2086,49	64473,48
10. vuosi	0,84	150	5,82	2600	15125,21	1,02	0,143	2169,12				2390	4559,12	69032,60
11. vuosi	0,86	150	5,93	2600	15410,46	1,02	0,146	2254,23					2254,23	71286,83
12. vuosi	0,87	150	6,04	2600	15695,71	1,02	0,149	2341,88					2341,88	73628,71
13. vuosi	0,89	150	6,15	2600	15980,95	1,02	0,152	2432,13					2432,13	76060,83
14. vuosi	0,91	150	6,26	2600	16266,20	1,02	0,155	2525,05					2525,05	78585,88
15. vuosi	0,92	150	6,37	2600	16551,44	1,02	0,158	2620,71					2620,71	81206,59
16. vuosi	0,94	150	6,48	2600	16836,69	1,02	0,162	2719,20					2719,20	83925,79
17. vuosi	0,95	150	6,59	2600	17121,94	1,02	0,165	2820,57					2820,57	86746,36
18. vuosi	0,97	150	6,70	2600	17407,18	1,02	0,168	2924,91					2924,91	89671,27
19. vuosi	0,99	150	6,80	2600	17692,43	1,02	0,171	3032,30					3032,30	92703,57
20. vuosi	1,00	150	6,91	2600	17977,67	1,02	0,175	3142,81					3142,81	95846,38

Philips BY460P_120		Nimellisteho [W]	Ottoteho 46 valaisinta [kW]	Käyttötunnit vuodessa	kWh/vuosi	Kerroin	Sähkön hinta [€/kWh]	Energian hinta €/vuosi	Valaisimien hinta 46 kpl [€]	Automaatio [€]	Asennus [€]	Puhdistus [€]	Kustannukset vuodessa [€]	Kumulatiiviset kustannukset [€]
1. vuosi	0,70	132	4,25	2600	11051,04		0,120	1326,12	40480	2500	5000		49306,12	49306,12
2. vuosi	0,72	132	4,35	2600	11302,06	1,02	0,122	1383,37					1383,37	50689,50
3. vuosi	0,73	132	4,44	2600	11553,07	1,02	0,125	1442,38					1442,38	52131,87
4. vuosi	0,75	132	4,54	2600	11804,09	1,02	0,127	1503,19					1503,19	53635,07
5. vuosi	0,76	132	4,64	2600	12055,11	1,02	0,130	1565,86					1565,86	55200,93
6. vuosi	0,78	132	4,73	2600	12306,12	1,02	0,132	1630,43					1630,43	56831,36
7. vuosi	0,80	132	4,83	2600	12557,14	1,02	0,135	1696,97					1696,97	58528,33
8. vuosi	0,81	132	4,93	2600	12808,16	1,02	0,138	1765,51					1765,51	60293,83
9. vuosi	0,83	132	5,02	2600	13059,17	1,02	0,141	1836,11					1836,11	62129,94
10. vuosi	0,84	132	5,12	2600	13310,19	1,02	0,143	1908,83				2390	4298,83	66428,77
11. vuosi	0,86	132	5,22	2600	13561,20	1,02	0,146	1983,72					1983,72	68412,49
12. vuosi	0,87	132	5,31	2600	13812,22	1,02	0,149	2060,85					2060,85	70473,34
13. vuosi	0,89	132	5,41	2600	14063,24	1,02	0,152	2140,27					2140,27	72613,61
14. vuosi	0,91	132	5,51	2600	14314,25	1,02	0,155	2222,04					2222,04	74835,66
15. vuosi	0,92	132	5,60	2600	14565,27	1,02	0,158	2306,23					2306,23	77141,88
16. vuosi	0,94	132	5,70	2600	14816,29	1,02	0,162	2392,89					2392,89	79534,78
17. vuosi	0,95	132	5,80	2600	15067,30	1,02	0,165	2482,10					2482,10	82016,88
18. vuosi	0,97	132	5,89	2600	15318,32	1,02	0,168	2573,92					2573,92	84590,80
19. vuosi	0,99	132	5,99	2600	15569,34	1,02	0,171	2668,42					2668,42	87259,22
20. vuosi	1,00	132	6,08	2600	15820,35	1,02	0,175	2765,67					2765,67	90024,89

Valopaa VP1401i M16														
	Käyttö%	Nimellisteho [W]	Ottoteho 46 valaisinta [kW]	Käyttötunnit vuodessa	kWh/vuosi	Kerroin	Sähkön hinta [€/kWh]	Energian hinta €/vuosi	Valaisimien hinta 46 kpl [€]	Automaatio [€]	Asennus [€]	Puhdistus [€]	Kustannukset vuodessa [€]	Kumulatiiviset kustannukset [€]
1. vuosi	0,35	284	4,57	2600	11888,24	1,02	0,120	1426,59	43332	2500	5000		52258,59	52258,59
2. vuosi	0,36	284	4,70	2600	12227,90	1,02	0,122	1496,70					1496,70	53755,28
3. vuosi	0,37	284	4,83	2600	12567,57	1,02	0,125	1569,04					1569,04	55324,32
4. vuosi	0,38	284	4,96	2600	12907,23	1,02	0,127	1643,67					1643,67	56967,99
5. vuosi	0,39	284	5,09	2600	13246,90	1,02	0,130	1720,66					1720,66	58688,65
6. vuosi	0,4	284	5,23	2600	13586,56	1,02	0,132	1800,08					1800,08	60488,73
7. vuosi	0,41	284	5,36	2600	13926,22	1,02	0,135	1881,98					1881,98	62370,72
8. vuosi	0,42	284	5,49	2600	14265,89	1,02	0,138	1966,44					1966,44	64337,16
9. vuosi	0,43	284	5,62	2600	14605,55	1,02	0,141	2053,53					2053,53	66390,69
10. vuosi	0,44	284	5,75	2600	14945,22	1,02	0,143	2143,31				2390	4533,31	70924,00
11. vuosi	0,45	284	5,88	2600	15284,88	1,02	0,146	2235,86					2235,86	73159,86
12. vuosi	0,46	284	6,01	2600	15624,54	1,02	0,149	2331,26					2331,26	75491,12
13. vuosi	0,47	284	6,14	2600	15964,21	1,02	0,152	2429,58					2429,58	77920,70
14. vuosi	0,48	284	6,27	2600	16303,87	1,02	0,155	2530,90					2530,90	80451,59
15. vuosi	0,49	284	6,40	2600	16643,54	1,02	0,158	2635,30					2635,30	83086,89
16. vuosi	0,5	284	6,53	2600	16983,20	1,02	0,162	2742,86					2742,86	85829,74
17. vuosi	0,51	284	6,66	2600	17322,86	1,02	0,165	2853,67					2853,67	88683,41
18. vuosi	0,52	284	6,79	2600	17662,53	1,02	0,168	2967,82					2967,82	91651,23
19. vuosi	0,53	284	6,92	2600	18002,19	1,02	0,171	3085,39					3085,39	94736,62
20. vuosi	0,54	284	7,05	2600	18341,86	1,02	0,175	3206,47					3206,47	97943,09

Tulevaisuuden LED														
	Käyttö%	Nimellisteho [W]	Ottoteho 46 valaisinta [kW]	Käyttötunnit vuodessa	kWh/vuosi	Kerroin	Sähkön hinta [€/kWh]	Energian hinta €/vuosi	Valaisimien hinta 46 kpl [€]	Automaatio [€]	Asennus [€]	Puhdistus [€]	Kustannukset vuodessa [€]	Kumulatiiviset kustannukset [€]
1. vuosi	0,70	100	3,22	2600	8372,00		0,120	1004,64	27600	2500	5000		36104,64	36104,64
2. vuosi	0,72	100	3,29	2600	8562,16	1,02	0,122	1048,01					1048,01	37152,65
3. vuosi	0,73	100	3,37	2600	8752,33	1,02	0,125	1092,71					1092,71	38245,36
4. vuosi	0,75	100	3,44	2600	8942,49	1,02	0,127	1138,78					1138,78	39384,14
5. vuosi	0,76	100	3,51	2600	9132,66	1,02	0,130	1186,26					1186,26	40570,40
6. vuosi	0,78	100	3,59	2600	9322,82	1,02	0,132	1235,18					1235,18	41805,58
7. vuosi	0,80	100	3,66	2600	9512,98	1,02	0,135	1285,58					1285,58	43091,16
8. vuosi	0,81	100	3,73	2600	9703,15	1,02	0,138	1337,50					1337,50	44428,66
9. vuosi	0,83	100	3,81	2600	9893,31	1,02	0,141	1390,99					1390,99	45819,65
10. vuosi	0,84	100	3,88	2600	10083,48	1,02	0,143	1446,08				2390	3836,08	49655,73
11. vuosi	0,86	100	3,95	2600	10273,64	1,02	0,146	1502,82					1502,82	51158,55
12. vuosi	0,87	100	4,02	2600	10463,80	1,02	0,149	1561,25					1561,25	52719,81
13. vuosi	0,89	100	4,10	2600	10653,97	1,02	0,152	1621,42					1621,42	54341,22
14. vuosi	0,91	100	4,17	2600	10844,13	1,02	0,155	1683,36					1683,36	56024,59
15. vuosi	0,92	100	4,24	2600	11034,30	1,02	0,158	1747,14					1747,14	57771,73
16. vuosi	0,94	100	4,32	2600	11224,46	1,02	0,162	1812,80					1812,80	59584,53
17. vuosi	0,95	100	4,39	2600	11414,62	1,02	0,165	1880,38					1880,38	61464,91
18. vuosi	0,97	100	4,46	2600	11604,79	1,02	0,168	1949,94					1949,94	63414,85
19. vuosi	0,99	100	4,54	2600	11794,95	1,02	0,171	2021,53					2021,53	65436,38
20. vuosi	1,00	100	4,61	2600	11985,12	1,02	0,175	2095,21					2095,21	67531,59