

Jouni Manninen

LED-VALAISTUKSEN JA
OHJAUKSEN HANKINTA-,
KÄYTTÖ- JA
ENERGIAKUSTANNUSTEN
LASKENTA SEKÄ VERTAILU

Opinnäytetyö
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences	Opinnäytetyön päivämäärä 10.5.2012				
Tekijä Jouni Manninen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkövoimatekniikka				
Nimeke Led-valaistuksen ja ohjauksen hankinta-, käyttö- ja energiakustannusten laskenta sekä vertailu					
Tiivistelmä <p>Tämä opinnäytetyö käsittää Mikkelin Toriparkin led-valaistuksen ja valaistuksenohjauksen hankinta-, käyttö- ja energiakustannusten laskennan sekä vertailun. Työ on tehty yhteistyössä Mikkelin alueen YIT Kiinteistötekniikan kanssa, joka vuosien 2009–2011 aikana toteutti sähköistyksen Mikkelin Toriparkkiin. Aikomuksena oli jo alun perin vuonna 2010 toteuttaa valaistus led-tekniikalla, mutta toteutus kariutui silloisen led-tekniikan epävarmuustekijöiden, kuten eliniän, kestävyys ja valonlaadun vuoksi.</p> <p>Työssä selvitetään tämänhetkisen led-valaistus- ja valaistuksenohjaustekniikan mahdollistamia energiansäästöjä Mikkelin Toriparkin nykyiseen loisteputkivalaistukseen verrattuna. Energiasäästöjen lisäksi työssä pohditaan led-valaistuksesta 20 vuoden elinkaaren aikana mahdollisesti aiheutuvia valaistuksen huoltokustannuksia sekä valonlähteiden vaihtokustannuksia. On verrattain hankalaa ennustaa led-tekniikan komponenttien hintojen kehittymistä tulevan 10 vuoden aikana, jolloin parhaimmat ympäri-vuorokauden käytössä olleet led-valaisimet olisivat valonlähteen vaihtotarpeessa. Hyvällä valaistuksenohjauksella mahdollistettaisiin led-valaistukselle vieläkin pidempi käyttöikä, mikä myös toisi lisää säästöjä nykyiseen valaistukseen verrattuna.</p> <p>Työn tavoitteena on löytää mahdollisesti Mikkelin Toriparkin nykyisten loisteputkivalaisimien tilalle sopiva led-valaisin, jolla saavutettaisiin vähintään nykyisenlaiset valon laatuominaisuudet sekä valaistusvoimakkuudet. Samalla kuitenkin tulisi pitää led-valaistuksen investointikustannukset maltillisina, jotta käyttökustannusten pienenemisellä saataisiin maksettua led-valaistuksen hankintahinta nopeammin takaisin. Tämä vaatii todella tarkkoja ja perusteltuja laskelmia, jotta päättäjät uskaltaisivat tehdä ratkaisuvia valintoja valaistuksen tulevaisuuden suhteen.</p>					
Asiasanat (avainsanat) Led-valaistus, loisteputkivalaistus, valaistuksenohjaus, valo, Dialux, energiansäästö					
Sivumäärä 63 + 36 liitettä	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%;">Kieli</td> <td style="width: 33%;">URN</td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	Kieli	URN	Suomi	
Kieli	URN				
Suomi					
Huomautus (huomautukset liitteistä)					
Ohjaavan opettajan nimi Hannu Honkanen	Opinnäytetyön toimeksiantaja YIT Kiinteistötekniikka Oy Reima Hämäläinen				

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 10.5.2012
Author Jouni Manninen	Degree programme and option Electrical Engineering	
Name of the bachelor's thesis Led-lighting and lighting control's purchasing, operating and energy cost calculations as well as comparing		
Abstract <p>This thesis deals with purchase, operation and energy cost calculations as well as comparing these to current situation in Mikkeli Toriparkki. The thesis is made in cooperation with YIT Kiinteistötekniikka Oy of the Mikkeli region, which carried out Mikkeli Toriparkki's electrification during 2009-2011.</p> <p>The thesis investigates the led lighting and lighting control technology today that would allow the energy-savings compared to existing fluorescent lighting in Mikkeli Toriparkki. In my thesis I studied the existing lighting by measuring luminous intensity and power consumption. I compared these results to three different led lighting alternatives by using Dialux lighting calculation software.</p> <p>The existing fluorescent lighting is still currently cost-effective alternative versus led lighting alternatives even the energy is conserved at the level of 45 %. Investment costs of all three led alternatives that were explored in this thesis are expensive. Investment costs of led lighting should be considered as minimized as possible in order that the operating costs would pay the investment costs back as soon as possible.</p> <p>Lighting control could be save about 10-30 % on the energy costs depending on the use ratio. It would pay investment costs back in just a few years depend on lighting alternative.</p>		
Subject headings, (keywords) Led-lighting, fluorescent lighting, lighting control, light, Dialux, energy saving		
Pages 63 + 36 appendix	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Hannu Honkanen	Bachelor's thesis assigned by YIT Kiinteistötekniikka Oy Reima Hämäläinen	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	MIKKELIN TORIPARKKI.....	2
3	VALO JA VALAISTUKSEN PERUSTEET.....	3
3.1	Valo.....	3
3.2	Valaistuksen yleisiä termejä	3
3.2.1	Valon spektri	4
3.2.2	Väriämpötila	5
3.2.3	Kontrasti.....	6
3.2.4	Muodonanto	7
3.2.5	Häikäisy	7
3.2.6	Monokromaattinen valo	8
3.2.7	Väriäkökohdat: värinvalisto ja värivaikutelma.....	8
3.3	Valotekniset määritelmät ja yksiköt	9
3.3.1	Valovirta ϕ ja valovoima I	10
3.3.2	Valaistusvoimakkuus E.....	12
3.3.3	Luminanssi L	13
3.3.4	Valotehokkuus	14
3.3.5	Valaistuksen tasaisuus	14
3.4	Valaistuksen laatuvaatimukset.....	15
3.5	Hyvän valaistuksen tekijät.....	15
4	YLEISTÄ LED-VALOSTA	16
4.1	Syntyhistoria	17
4.2	Kehittyminen	17
4.3	Tekniikka	19
4.3.1	Rakenne.....	19
4.3.2	Valmistusmateriaalit	20
4.3.3	Elinikä.....	20
4.4	Valon jakautuminen.....	22
4.5	Käyttömahdollisuudet.....	23
4.6	Huonot puolet	23
5	TORIPARKIN NYKYINEN VALAISTUS	24
5.1	Dialux 4.10 valaistuksenlaskentaohjelmisto.....	24

5.2	Valaisimen tekniset tiedot.....	25
5.3	Sijoittelu.....	27
5.4	Valaistusvoimakkuus ja laatuvaatimukset.....	27
5.5	Käyttöaika ja tehonkulutus	29
5.6	T5/T8 led-valoputki muunnoksen aiheuttamat ongelmat.....	31
6	LED-VALAISTUKSEN VAIHTOEHDOT JA NIIDEN VERTAILU	32
6.1	Vaihtoehto 1.....	33
6.2	Vaihtoehto 2.....	36
6.3	Vaihtoehto 3.....	38
6.4	Vaihtoehtojen yhteenveto	40
7	VALAISTUKSENOHJAUS	42
7.1	Toriparkin valaistuksenohjauksen suunnittelu	43
7.2	Toriparkin valaistuksenohjauksen esimerkkisuunnitelma.....	44
8	ELINKAARIKUSTANNUSLASKENTA.....	47
8.1	Elinkaarikustannuslaskennan perusteet	48
8.2	Toriparkin nykyisen valaistuksen ja led-vaihtoehtojen elinkaarilaskenta ...	49
8.2.1	Investointikustannukset.....	50
8.2.2	Käyttökustannukset.....	51
8.2.3	Kokonaiskustannukset	52
8.3	Valaistuksenohjauksen elinkaarilaskenta	53
8.4	Takaisinmaksuaika	54
8.4.1	Valaistusvaihtoehdot.....	55
8.4.2	Valaistuksenohjaus	56
9	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	58
	LÄHTEET	61
	LIITTEET	
	1 Valon laatusuositukset erilaisissa tiloissa	
	2 Tukesin artikkeli led-valoputkien vaarallisuudesta	
	3 Elinkaarilaskelma	
	4 Vertailu Dialux 4.10 valaistuksenlaskentaohjelmistolla	

1 JOHDANTO

Tämä on Mikkelin Ammattikorkeakoulun Sähkövoimatekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö. Työn tarkoituksena on verrata led-valaistuksen ja paikallisohjauksen tuomia säästöjä normaaliin aikaohjattuun loisteputkitekniikkaan verrattuna. Työn idea syntyi YIT Kiinteistötekniikka Oy:n työelämänohjaajani insinööri Reima Hämäläisen halusta saada lisää tietoa nykyisten led-valaisimien mahdollistamista säästöistä sähkönkulutuksessa sekä huoltokustannuksissa. Myös valaisimien paikallisohjaus mahdollistaa säästöjä sähkönkulutukseen, mutta tässä on otettava huomioon liiketunnistinjärjestelmän tuomat lisäinvestoinnit ja huoltokustannukset.

Työssä suunnittelun kohteena on Mikkelin Toriparkki Oy:n omistama torinalusparkki Mikkelin keskustassa. Nykyisellään toriparkin valaistus on toteutettu 520 kpl:lla T5-loisteputkivalaisimia, joiden teho on 2x49W/kpl. Led-valaistus voidaan toteuttaa nykyisiin valaisinrunkoihin asennettavilla led-valoputkilla tai vaihtamalla kaikki valaisimet runkoineen. Suunnittelutyössä esitän kohteeseen kolmea eri korvaavaa vaihtoehtoa nykyiselle valaistukselle sekä yhtä laadukasta liiketunnistinvaihtoehtoa, jolla saadaan valaistus paikallistettua alueelle, missä sitä milloinkin tarvitaan.

Perehdyn työssä myös elinkaarikustannuslaskennan perusteisiin. Lasken työssä vaihtoehtoisille energiaa säästäville led-valaisimille investointikustannukset sekä käyttökustannukset, joita vertaan nykyisen valaistuksen käyttökustannuksiin. Laskelmien avulla pystyn vertaamaan led-valaistuksien mahdollista takaisinmaksuaikaa nykyiseen loisteputkitekniikkaan. Lisäksi lasken mahdolliset paikallisohjauksella saavutettavat säästöt sen eliniän aikana eri valaistusvaihtoehdoilla.

2 MIKKELIN TORIPARKKI

Mikkelin Toriparkki on kaksikerroksinen parkkihalli, joka sijaitsee nimensä mukaisesti torin alla Mikkelissä. Toriparkki avattiin virallisesti pysäköintiliikenteelle 1.2.2011 klo 12:00, mutta sen rakentaminen alkoi jo syyskuussa 2009. Toriparkkiin on autoilijalle yksi sisäänkäynti Mannerheimintien kautta rautatieaseman vierestä. Jalan toriparkkiin pääsee viittä eri reittiä edes takaisin. A-rappukäytävästä pääsee toripaviljontiin torin laidalle, B- ja C-rappukäytävistä torille Maaherrankadun puolelle ja tunnelleita pitkin kauppakeskus Akseliin sekä Stellaan.

Tiloissa on paikat 620 autolle ja parkkikerrokset ovat kutakuinkin samanlaiset. Erona on ainoastaan tilojen korkeus, joka on yläkerroksen matalimmasta kohdasta 2,4 m ja alakerroksen 2,2 m. Kuvassa 1 on panoraamakuva toriparkin yläkerroksesta./1/



KUVA 1. Panoraamakuva toriparkin yläkerroksesta (Aalto Oy).

3 VALO JA VALAISTUKSEN PERUSTEET

Tässä kappaleessa käsittelen valon ominaisuuksia sekä työssä jatkossa esiintyviä valaistusta koskevia perusteita ja suureita. Kerron myös, mitä uudet eurooppalaiset standardit SFS-EN 12464-1 ja -2 vaativat nykyajan valaistukselta ja minkälainen hyvän valaistuksen tulee olla. Lisäksi olen käsitellyt valaistuksen miellyttävyydenkin kannalta olennaisia asioita, kuten valon tasaisuutta.

3.1 Valo

Valo on ihmissilmällä nähtävää sähkömagneettista säteilyä, jonka aallonpituus on noin 400 - 700 nanometrin välissä, mikä vastaa sähkömagneettisessa spektrissä 430 - 740 THz:n taajuutta. Jokaisella meistä on kuitenkin erilaiset silmät ja eroavaisuuksia valonäön suhteen on, mikä tarkoittaa sitä, että toiset näkevät valon aallonpituuksia pidemmälle tai lyhyemmälle kuin ennalta mainitut arvot. Kuitenkin yleisesti ottaen ihminen näkee parhaiten vihreän keltaista valoa, mikä on noin 555 nanometrin aallonpituudella.

Aallonpituudella (λ) ja taajuudella (f) on yhteys toisiinsa valon nopeuden ($c = 299\,792\,458$ m/s) kautta eli jos toinen näistä tiedetään, saadaan laskettua toinen (kaava 1)./2 s.25–30, s.36, 3 s.13, 4/

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ tai } f = \lambda * c \quad (1)$$

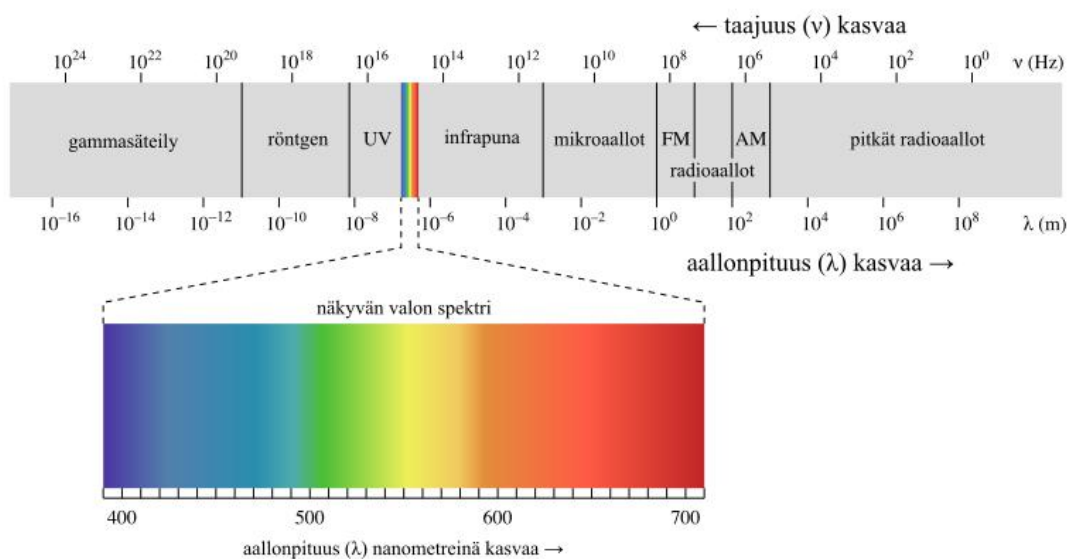
KAAVA 1. Aallonpituuden ja taajuuden välinen yhteys, jossa λ on aallonpituus, c valon nopeus ja f taajuus.

3.2 Valaistuksen yleisiä termejä

Eri valonlähteitä verratessa usein kohdataan seuraavissa kappaleissa käsiteltäviä valaistukseen liittyviä termejä. Näiden avulla saadaan käsitys valaistuksen laadusta ihmissilmälle.

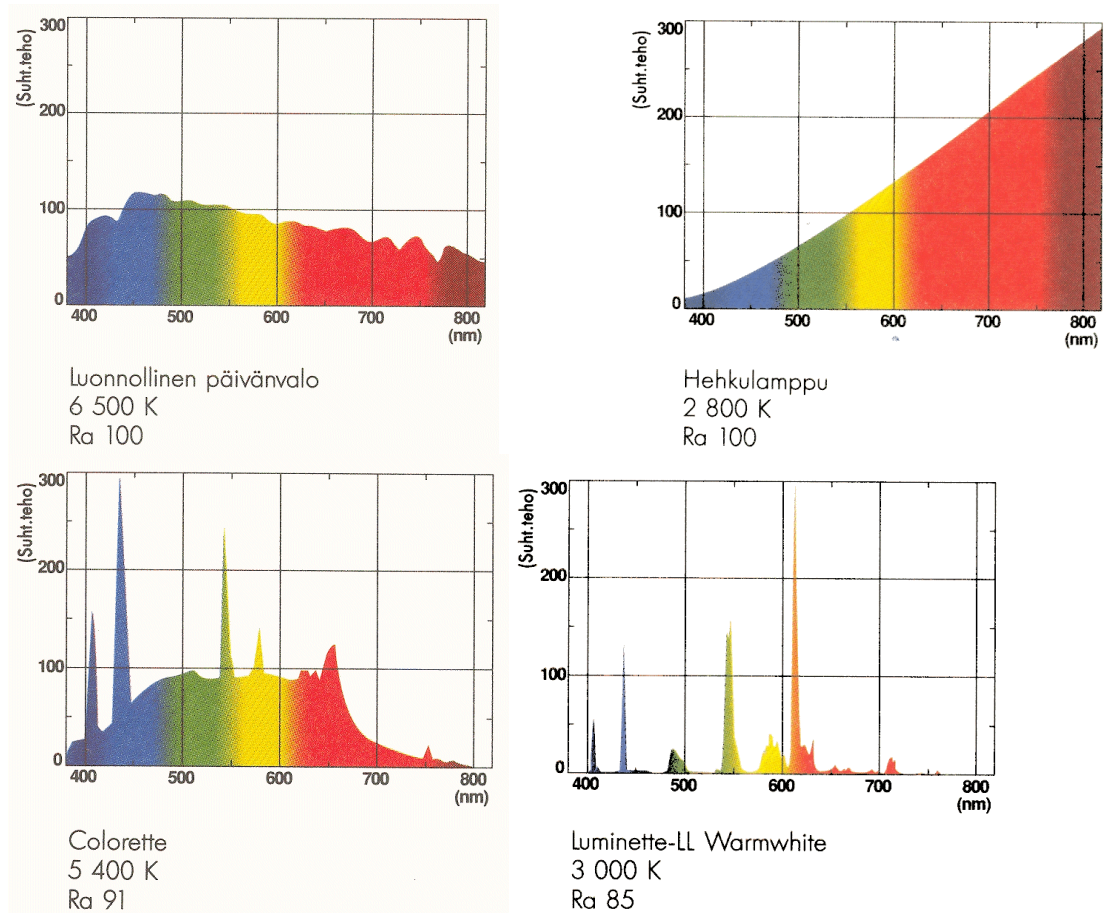
3.2.1 Valon spektri

Spektri eli kirjo esittää valon jakautumisen komponentteihin aallonpituuden mukaan. Sähkömagneettisesta spektristä kuvasta 2 huomataan, että mitä suurempi on taajuus, sitä pienempi on aallonpituus. 400 nanometrissä 700 nanometriin valon päävärit ovat violetti – sininen – vihreä – keltainen – oranssi – punainen. Valon spektristä tunnetuin esimerkki on auringon valon jakautuminen sateenkaarella eri väreihin, mutta helpoiten valon spektrin saa näkyviin osoittamalla valoa prisman lävitse, jossa valon eri aallonpituudet taittuvat eri tavalla ja silmä erottaa ne erivärisinä.



KUVA 2. Sähkömagneettinen spektri./5 s.6/

Luonnollinen päivänvalo eli Auringon valo on ns. jatkuspektristä, jossa esiintyy valon koko kirjo ja kaikki värit toistuvat luonnollisesti. Myös hehku- ja halogeenilamppujen valo on Auringon valon tapaista, mutta useimpien muiden käytössä olevien lamppujen ja valonlähteiden valo ei ole jatkuspektristä, vaan valo on erilaisten valon värikoostumusten summa. Kun vertaa päivänvalon tuottamaa värintoistoa erilaisten valonlähteiden värintoistoon niin ymmärtää, miksi värit eivät tietyissä tapauksissa toistu niin kuin pitäisi. Esimerkiksi hehkulampun ja halogeenilampun valossa värit näkyvät suhteellisen luonnollisina, mutta kellertävyyttä on havaittavissa, koska hehkulamppu tuottaa eniten pitkän aallonpituuden värejä. Kuvassa 3 on vertailtu erilaisten valonlähteiden tuottaman värien suhteellista tehoa eri aallonpituuksilla. Valonlähteiden pääväri eli eniten tuottama väri on ilmoitettu Kelvineinä(K)./3 s.13, 5 s.6/



KUVA 3. Vertailu eri valonlähteiden värikoostumuksista alkaen ylhäältä vasemmalta 6500K luonnollinen päivänvalo, 2800K hehkulamppu, 5400K pienoistoistelamppu ja 3000K perinteinen loisteputki (Pilvive – Fysiikka).

3.2.2 Väriämpötila

Väriämpötilan eli valonlähteen valon väri on valonlähteistä mitattava ominaisuus, joka ilmoitetaan Kelvin asteikolla ja sen yksikkö on (K). Väriämpötila kertoo, onko valonlähteen valon väri lämmintä(keltaista) vai kylmää(sinistä). Päivänvalo(valkoinen valo) sattuu Kelvin asteikolla noin 5500 K kohdalle ja siitä korkeampi Kelvin lukema kertoo valon olevan kylmää(valkoinen valo sinertää) ja matalampi lämmintä(valkoinen valo kellertää). Kuvassa 4 olevan asteikon avulla ilmoitetaan valonlähteiden valon väri ja siitä saa hyvän kuvan valon väristä näkemättä valoa käytännössä. Tämä asteikko on käytössä yleisesti ympäri maailmaa.



KUVA 4. Kelvin asteikko (Wikipedia).

Oikean valon värilämpötilan valinta riippuu suositusten mukaan psykologiasta, esteetikasta ja siitä, mikä koetaan luonnolliseksi kussakin paikassa. Niinpä eurooppalainen valaistusta ohjeistava standardi SFS-EN 12464 ei suositakaan mitään erityistä värilämpötilaa käytettäväksi. Värilämpötilaa tärkeämpi ominaisuus on valonlähteen värin- toistokyky, jolle annetaan standardissa tiukkoja raja-arvoja. Taulukossa 1 on esimerkkejä erilaisten valonlähteiden tuottamasta värilämpötilasta./6, 7/

Lampputyyppi	Valon väri Kelvineinä
Hehkulamppu	2700
Pienoisloistelamppu	2700–4000
Loistelamppu	2700–6500
Halogeenilamppu	3000
Xenon	4300–12000
Led	3000–6500
Päivänvalo	5500

TAULUKKO 1. Erilaisten valonlähteiden mahdollistamia värilämpötiloja (Helsingin Energia).

3.2.3 Kontrasti

Kontrasti tarkoittaa katsekohteen pintojen valon heijastussuhteiden erilaisuutta. Tumma pinta, esimerkiksi märkä asfaltti yöllä heijastaa valoa takaisin vain vähän eli ikään kuin imee valon itseensä, kun taas vaalea pinta, kuten valkoiset seinät kodissa heijastavat valoa ympäriinsä. Nämä eri tavoin valoa heijastavat pinnat muodostavat eri värin ja harmaa-asteikkojen kontrastit. Ilman riittävän suurien erojen valaistavan ympäristön pintojen kontrasteissa, ei näkyvyyttä voida parantaa pelkästään valaistustehoa lisäämällä, mutta hyvätkään pintojen kontrastit eivät tule näkyviin ilman riittävän tehokasta valaistusta./5 s.6/

3.2.4 Muodonanto

Muodonanto määräytyy diffuusin ja suoran valon keskinäisestä suhteesta. Diffuusi tarkoittaa hajanaista valoa, joka ei säteile suoraan kohteeseen. Muodonanto on tärkeä valaistuksen laatuun liittyvä ominaisuus kaiken tyyppisissä tiloissa. Valaistavassa tilassa yleisvaikutelma korostuu, kun rakenteet sekä siellä olevat ihmiset ja esineet valaistetaan siten, että muoto ja rakenne erottuvat selkeästi ja miellyttävästi. Hyvä muodonanto toteutuu, kun valo tulee pääasiallisesti vain yhdestä suunnasta yleisesti pelkästään katosta, jolloin varjot muodostuvat selkeästi ja tila on helposti hahmotettavissa./5 s.6/

3.2.5 Häikäisy

Häikäisy on nimensä mukaisesti valoa, joka häiritsee esimerkiksi työn tekemistä. Häikäisyä esiintyy, jos jonkin näkökentässä sijaitsevan kappaleen luminanssi eli kirkkaus on merkittävästi ympäristön luminanssia suurempi. Tämän syy on usein valonlähteen näkyminen, heijastukset peilaavista pinnoista tai päivänvalo. Häikäisy voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin, jotka ovat näköä haittaava häikäisy ja epämukava häikäisy.

Näköä haittaavassa häikäisyssä häikäisevän pinnan tai valonlähteen luminanssi ympäristöön on niin korkea, että silmä ei pysty mukautumaan siihen, tällöin näkökyky heikkenee. On myös yleistä, että tällainen häikäisy jättää silmiin melko pitkään näkyviä jälkikuvia. Esimerkiksi, jos ihminen katsoo aurinkoon hetken ja sitten räpyttelee nopeasti silmiään, niin jälkikuvana näkökentässä näkyy auringon läiskä pitkän aikaa.

Epämukavassa häikäisyssä kohteen luminanssi on niin suuri, että silmä ei voi mukautua siihen. Epämukava häikäisy perustuu luminanssin määrään, häikäisevän kohteen kokoon, taustaluminanssiin sekä kohteen sijaintiin näkökentässä. Sen määrä ilmaistaan häikäisyylukuna, joka lasketaan UGR-menetelmää käyttämällä. Standardi SFS-EN 12 464 määrittää häikäisyyluvun ylärajan erilaisissa sisä- ja ulkotilojen työtilanteissa./3 s.71–73, 5 s.6, 7, 8/

UGR-häikäisyindeksi(Unified Glare Rating System) on kansainvälisen valaistusjärjestö CIE:n kehittäämä suoran häikäisyn arvostelumenetelmä. Tämän menetelmän käyttö perustuu tilaan, joissa kattovalaisimet on säännöllisesti asennettu yhdensuuntaisesti

seinän kanssa. Tässä menetelmässä häikäisyindeksi lasketaan Sörensenin kaavasta (kaava 2):

$$UGR = 8 \log \sum \frac{0,25 L_s^2 \omega}{L_b p^2} \quad (2)$$

KAAVA 2. Sörensenin kaava, jossa:

L_s = Yksittäisen valaisimen projektiopinnan keskimääräinen luminanssi tarkastelu-suunnassa

ω = Avaruuskulma, jossa valaisin näkyy

L_b = Ympäristön keskimääräinen taustaluminanssi

P = Sijaintikerroin, joka ottaa huomioon valaisimen sijainnin näkökentässä

Häikäisyindeksin laskennan tuloksena saadaan kiusahäikäisyyn voimakkuuden mukaan tulos 10–28. 10 tarkoittaa mahdollisimman pientä kiusahäikäisyyttä ja 28 mahdollisimman suurta. Suosituksissa tämä 10–28 häikäisyindeksi porrastetaan kolmen yksikön välein, jolloin saadaan sarja 10, 13, 16, 19, 22, 25 ja 28. Häikäisyindeksin tason muuttaminen kolmella voidaan selvästi havaita kiusahäikäisyyttä. Liitteessä 1 on esimerkkejä häikäisyyn sallituista määristä erilaisille tiloille./2 s. 422, 3 s.187/

3.2.6 Monokromaattinen valo

Monokromaattinen valo tarkoittaa sitä, että se sisältää vain yhden aallonpituuden. Tällaisen säteilijän taajuusjakauma eli spektri on kapea. Väriäistillä havaittaessa monokromaattista valoa, on se nimensä mukaista eli yksiväristä ja se koostuu vain yhdestä väristä. Monokromaattisen valonlähteen näkyvä väri johtuu valon tuottamiseen käytetävän materiaalin ominaisuuksista, joka ei päästä lävitseen kuin yhtä väriä./9/

3.2.7 Värinäkökohdat: värintoisto ja värivaikutelma

Valonlähteen värintoisto on yksi tarpeellisimmista ominaisuuksista valonlähdettä valittaessa. Se on näkötehokkuuden, mukavuuden ja hyvinvoinnin kannalta erittäin tärkeä ominaisuus, koska värien näkyminen luonnollisena auttaa katsojaa tunnistamaan ympäristössä olevien ihmisten ja kohteiden värit oikein. Sen avulla pystytään myös vertaamaan erilaisia valonlähteitä toisiinsa ja saadaan mielikuva valonlähteen sopi-

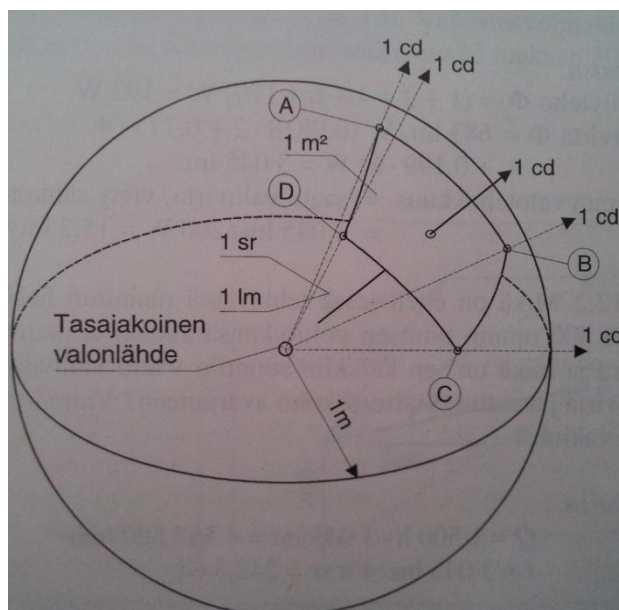
vuudesta erilaisiin tiloihin. Tätä varten on kehitetty yleinen värintoistoindeksi (Colour Rendering Index, CRI), jonka suure on R_a . Sen avulla ilmaistaan valonlähteen kykyä toistaa eri värejä verrattuna vertailu valonlähteeseen. Värintoistoindeksi ilmoitetaan lukuna 0-100, jossa 0 tarkoittaa täysin monokromaattista valoa ja 100 täysin jatkuvaspektristä valoa. Mitä lähempänä 100:sta valonlähteen värintoistoindeksi on, niin sitä parempi on sen värintoistokyky. Yleissääntönä hyvälle valonlähteen värintoistolle voidaan pitää arvoa, joka ylittää värintoistoindeksin lukeman 90. Työtiloissa R_a -indeksin on Kansainvälisen valaistuskomission CIE:n (Commission Internationale de l'Eclairage engl. International Commission On Illumination) suositusten mukaan oltava yli 80./3, s.49–51/

Tämä vanha värintoistoindeksi R_a tulee korvautumaan lähitulevaisuudessa uudella menetelmällä, sillä sen ei katsota mittaavan riittävän tarkasti nykyajan uusia valonlähteitä. Varsinkin uudet parannetut loisteputket ja muut purkauslamput sekä valkoiset LEDit, jotka tuottavat valoa kapeakaistaisella spektrillä aiheuttavat ongelmia mittaus tulosten paikkansapitävydessä. Ennen uuden standardin lanseeraamista kuvataan valonlähteiden värintoisto vanhalla menetelmällä./10/

Värivaikutelma kuvaa itse valonlähteestä saatavaa värivaikutelmaa. Sillä tarkoitetaan valonlähteen säteilemän valon näkyvää väriä eli värilämpötilaa. Värivaikutelmaa voidaan kuvata karkeasti kylmäksi, neutraaliksi tai lämpimäksi. Värivaikutelman suunnittelua varten tulisi huomioida suunniteltavan tilan käyttötarkoitus sekä pintojen ja sisustuksen värit, sillä erilaisiin tiloihin suositellaan eri sävyisiä valonlähteitä. Liitteessä 1 on esimerkkejä värisävyjen suosituksista erilaisiin tiloihin./5 s.7/

3.3 Valotekniset määritelmät ja yksiköt

Valaistustekniikan perussuureet on havainnollistettavissa hyvin poikkileikatun pallo-kuvion avulla. Kuvassa 5 on keskellä tasajakoinen yhden kandelan tuottava valonlähte, esimerkiksi steariini kynttilä, joka säteilee tasaisesti ympäriinsä. Tämän avulla kuvataan on mallinnettu valaistustekniikassa käytettäviä perussuureita ja niiden keskinäisiä riippuvuussuhteita.



KUVA 5. Poikkileikattu pallokuvio auttaa valaistustekniikan perussuureiden havainnollistamisessa. /3 s.25/

3.3.1 Valovirta Φ ja valovoima I

Valovirran tunnus on Φ . Se kuvaa valon määrää, mikä säteilee tiettyyn avaruuskulmaan. Sen SI-järjestelmän mukainen mittayksikkö on lumen, jonka tunnus on **lm**.

Valovoiman tunnus on **I**. Se kuvaa valonlähteen intensiteettiä eli voimakkuutta. Sen SI-järjestelmän mukainen mittayksikkö on kandela, jonka tunnus on **cd**. Yksi kandela on sellaisen valonlähteen valovoima, mikä lähettää tiettyyn suuntaan monokromaattista taajuudeltaan $540 \cdot 10^{12}$ Hz:n valonsäteilyä säteilyintensiteetillä $1/683$ wattia per steradiaani(**sr**). $540 \cdot 10^{12}$ Hz:n taajuus vastaa 555nm aallonpituutta. Yhden kandelan säteilyteho vastaa tavallisen kynttilän kirkkautta metrillä mitattuna.

Yhden lumenin valomäärä on mitattavissa, kun valovoimaltaan kandelan valonlähde säteilee steradianin avaruuskulmaan ja tämä valo lankeaa metrin päästä pallomaisen neliömetrin kartion pohjalle. Steradiaani(**sr**) on sellainen kartio, jonka pohjan pinta-ala on yhtä suuri kuin sen säteen neliö. Kuvasta 5 saa käsityksen näiden suureiden käsittelemisestä. Kaavassa 3 on valovirran laskukaava./2 s.35–36, 3 s.17–20/

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr} \quad (3)$$

KAAVA 3. Valovirran laskeminen.

Nämä yksiköt valovoimalle ja valovirralle ovat tarpeen, sillä fysikaalinen säteilyintensiteetti, jonka yksikkö on watti/steradiaani ja säteilyteho, jonka yksikkö on Watti, eivät kerro ihmisen näkemän valon voimakkuutta. Ihmisen silmän herkkyys valonsäteilylle johtuu valon aallonpituudesta.

Eriväristen valonlähteiden intensiteettien vertailua varten on tehty koehenkilöillä mittauksia ja niiden perusteella on muodostettu $V(\lambda)$ -funktio. Tämä funktio kuvaa keski-verta ihmissilmän herkkyyttä kirkkaalle valolle aallonpituuden funktiona ja se muistuttaa normaalijakaumaa. Sen huippu on 555 nanometrillä, jossa ihmisen näkö on herkimmillään. $V(\lambda)$ -funktion määrittelystä vastaa Kansainvälinen valaistuskomissio CIE. Taulukosta 2 huomataan, että vain hyvin harvat koehenkilöt ovat huomanneet valossa eroa aallonpituuksilla alle 400 nanometrillä ja yli 700 nanometrillä. /2 s.36, 3 s.19/

λ nm	$V(\lambda)$	λ nm	$V(\lambda)$	λ nm	$V(\lambda)$
380	0,0000	520	0,710	660	0,061
390	0,0001	530	0,862	670	0,032
400	0,0004	540	0,954	680	0,017
410	0,0012	550	0,995	690	0,0082
420	0,0040	560	0,995	700	0,0041
430	0,0116	570	0,952	710	0,0021
440	0,023	580	0,870	720	0,00105
450	0,038	590	0,757	730	0,00052
460	0,060	600	0,631	740	0,00025
470	0,091	610	0,503	750	0,00012
480	0,139	620	0,381	760	0,00006
490	0,208	630	0,265	770	0,00003
500	0,323	640	0,175	780	0,000015
510	0,503	650	0,107		

TAULUKKO 2. Keski-verta ihmissilmän spektriherkkyys $V(\lambda)$ kirkkaan valon eri aallonpituuksille. /3 s.19/

3.3.2 Valaistusvoimakkuus E

Valaistusvoimakkuuden tunnus on **E** ja yksikkö on luksit **lx**. Yhden luksin valaistus on neliömetrin alueella, kun sitä valaistaan 1 luumenin valovirralla. Valaistusvoimakkuus kuvaa tietylle pinta-alalle kohtisuoraan saapuvan valovirran määrää, joka on laskettavissa kaavasta:

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (4)$$

KAAVA 4. Valaistusvoimakkuuden laskenta, jossa:

Φ = valovirta(lm)

A = pinta-ala(m²)

Valaistusvoimakkuudella kuvataan tilojen valaistusolosuhteiden laatua ja se on mitattavissa helposti luksimittarilla valmistuneista tiloista, jotta ne vastaavat laatuvaatimuksia. On tärkeää tilojen suunnittelun yhteydessä ottaa huomioon tilan valaistusvoimakkuuksien vaatimukset. Nykyaikana valaistus voidaan helposti jo suunnitteluvaiheessa mallintaa kohteen valaistusvoimakkuus vaatimusten mukaan, kuten esimerkiksi tässäkin työssä käyttämälläni Dialux-valaistuksenlaskentaohjelmalla. Taulukossa 3 on suositeltuja/mitattuja luksit määriä erilaisissa paikoissa.

0,1 lx	Kuun valo
30 lx	Ulkoalueiden yleisvalaistus
150 lx	Liikennealueet, jossa ajoneuvoja!
300 lx	Isot tilat karkeaan työhön
500 lx	Toimisto- ja luokkahuoneet
1000 lx	Tarkkuutta vaativa työ
10 000 lx	Normaali pilvinen päivä
100 000 lx	Auringonvalo kirkkaimmillaan

TAULUKKO 3. Esimerkkejä valaistusvoimakkuuksista./11/

Valaistusvoimakkuudelle annetaan standardissa SFS-EN 12464 keskimääräisen valaistusvoimakkuuden arvo **E_m**, joka on valaistusvoimakkuuden huoltoarvo. Tämän

arvon alle valaistustaso ei saa pudota asennuksen eliniän aikana. Kyseessä on siis arvo, joka kertoo ennen valaistuksen huoltoa saatavan keskimääräisen valaistusvoimakkuuden minimin. Tämä arvo on yleisesti käytössä valaistuksenlaskentaohjelmistoissa, jotka kertovatkin suoraan valaistusvoimakkuudet E_m arvoina raporteissaan. Esimerkiksi, jos valaistuksen suunnittelija tekeekin laskelmat valaisimien maksimi lukseilla, eikä ota huomioon vallitsevia olosuhteita, joiden takia valaisimet likaantuvat nopeasti, niin ympäristön valaistusvoimakkuus jää mahdollisesti alle halutun./2 s.36, 3 s.21, 11/

3.3.3 Luminanssi L

Luminanssin tunnus on L ja sen yksikkö on kandela neliömetriä kohden (cd/m^2). Luminanssi on valoa säteilevän kappaleen tai sen pinnasta silmiin heijastuvan valon ”pintakirkkauden” tunnus. Yksinkertaisemmin sanoen luminanssi kertoo pinnalta lähtevän valovoiman määrän. Näkemisen kannalta kohteiden ja ympäristön luminanssit ovat tärkeimmät näkyvyyteen vaikuttavat tekijät. Jos ympäristö on hämärä, niin silmä erottaa huonosti lähekkäin olevat kohteet sekä niiden pienet yksityiskohdat ja kontrastierot. Luminansseja ympäristöön lisättäessä silmän näkökyky paranee, mutta silmän näkökyvyllä on kuitenkin yläraja. Ylärajalla ympäristön näkyvyys on maksimissaan ja siitä näkyvyys ei enää parane. Lisäksi liian korkeat luminanssiarvot tai luminanssisuhteiden suuret erot voivat aiheuttaa häikäisyä, mikä vaikeuttaa näkemistä. Pinnan luminanssiin vaikuttavat pinnalle tuleva valo sekä pinnan heijastusominaisuudet. Pinnalle osuvaan valoon ja sen määrään sekä suuntaan pystytään vaikuttamaan valaistuksen valonlähteellä, rakenteella ja suuntauksella./2 s.37, 3 s.23–24, 5 s.7/

Luminanssi voidaan laskea kaavasta:

$$L = I/A \quad (5)$$

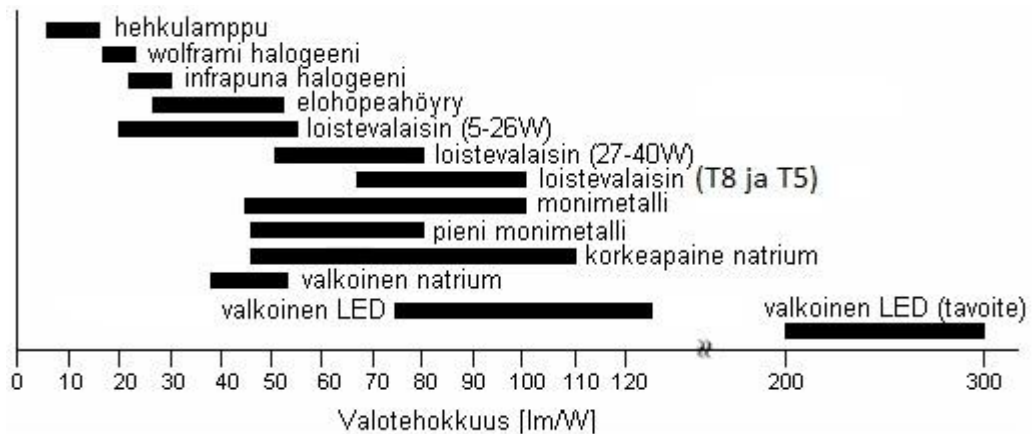
KAAVA 5. Luminanssin laskenta, jossa:

I = valovoima(cd)

A = pinta-ala(m^2)

3.3.4 Valotehokkuus

Valotehokkuus on valonlähteestä saadun valomäärän suhde siihen käytettyyn sähkötehoon verrattuna ja se kuvaa suoraan valonlähteen hyötysuhdetta. Valotehokkuuden yksikkö on lm/W ja se on olennainen suure verrattaessa eri valonlähteiden energiatehokkuutta. Valonlähteen valotehokkuus saadaan jakamalla sen tuottama valomäärä lm sen kuluttamalla sähköteholla W. Sen energiatehokkaampi eli hyötysuhteeltaan parempi valonlähde on, mitä enemmän se tuottaa valovirtaa sähkötehoa kohti. Valotehokkuutta voidaan myös kuvata valaisimen valotehokkuutena, jolloin mukaan tulee valaisimen sisällä häviötehoja kuluttavat laitteet, kuten virtalähteet, kuristimet, elektroniset liitäntälaitteet jne. Nämä tyypillisesti huonontavat valonlähteen valotehokkuutta. Kuvassa 6 on tyypillisiä valotehokkuuksia erilaisille valaisintyypeille./6/



KUVA 6. Valotehokkuuksia erilaisille valaisintyypeille.

3.3.5 Valaistuksen tasaisuus

Valaistuksen tasaisuus riittävän valaistusvoimakkuuden kanssa on hyvä yhdistelmä tiloissa, joissa täytyy nähdä selkeästi. Tasaisuudelle on määritetty vaatimuksia työalueille sekä niiden lähialueille standardissa SFS-EN 12464. Tasaisuus määritetään valaistusvoimakkuuden miniarvon suhteella keskiarvoon. Työpisteellä valaistuksen tasaisuuden suhteen on pysyttävä minimin ja keskiarvon osalta yli 0,7 kertoimen ja lähiympäristössä tasaisuus ei saa laskea alle 0,5 kertoimen. Taulukosta 4 käy ilmi, että valaistusvoimakkuus ei saa laskea radikaalisti työpisteeltä lähettäessä. Esimerkiksi työpisteellä oleva 500 luksin valaistusvoimakkuus ei saa laskea työpisteen välittömässä lähiympäristössä alle 300 luksin./7/

Työalueen valaistusvoimakkuus (lx)	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus (lx)
>750	500
500	300
300	200
<200	sama kuin kohteessa
Tasaisuus: > 0,7	Tasaisuus: > 0,5

TAULUKKO 4. Valaistuksen tasaisuus./7/

3.4 Valaistuksen laatuvaatimukset

Valaistuksen energiansäästöistä ei saa tinkiä valaistuksen laadun eikä määrän kustannuksella. Valaistuksen laatuvaatimuksille on asetettu uudet eurooppalaiset suositukset, joista on tehty SFS-EN 12464-1 ja 12464-2 standardit, mitkä käsittävät sekä sisä- sekä ulkotilojen vaatimukset valaistukselle. Valaistuksen suositukset riippuvat esimerkiksi siitä, kuinka tarkka työtehtävä valaistavassa paikassa täytyy pystyä suorittamaan. Näistä standardeista on valaistuksen suunnitteluvaiheessa helppo tarkastella, mitä vaatimuksia valaistukselle kyseessä olevaan tilaan minimissään vaaditaan./7/

3.5 Hyvän valaistuksen tekijät

Valaistukseen ja sen laatuun liittyy paljon erilaisia tekijöitä. Hyvä ja laadukas valaistus saadaan toteutettua riittävällä ja tasaisella valaistusvoimakkuudella. Sen yksi tärkeimmistä ominaisuuksista tulisi olla häikäisemättömyys, jolloin valonlähde ei heijasta suoraan näkökenttään eikä muitakaan häikäisyjä tapahtuisi. Eri pintojen välillä olevat kohtuulliset luminanssierot auttavat hahmottamaan tilan muotoja, mutta avaintekijät tilan hahmotukseen ovat valaistusvoimakkuus, valonväri ja heijastumissuhteet. Valonlähteen värinointokyky vaikuttaa oleellisesti valaistavan kohteen väriin, joten hyvällä valonlähteellä on oleellinen vaikutus ympäristöstä oikean näköinformaation saamiseen.

Valon oikein suuntaamisella saadaan poistettua haittaavat varjot tärkeimmistä katselukohteista, mutta on otettava huomioon se, että varjon muodostus on tärkeä tekijä katselukohteen muodon tunnistamisessa. Näin ollen, on syytä välttää liian suurien varjo-

jen muodostusta kulkureiteille tai tiloihin, joissa loukkaantumisen vaara on suuri. Esimerkkinä tilat, joissa käsitellään suuria kappaleita.

Kuvassa 7 on hyvän valaistuksen mietekupla. Kuvassa on havainnollistettu valaistuksen tärkeimmät laatuominaisuudet, joilla voi itse kukin arvioida valonlaatua esimerkiksi työpaikalla ja kotona./12/



KUVA 7. Hyvän valaistuksen mietekupla./12/

Hyvä valaistus tarkoittaa kaiken edellisen lisäksi nykyään myös sitä, että valaistuksen valotehokkuus on hyvä. Aiemmassa kappaleessa kerroin, että energiansäästöt eivät saa vaikuttaa valon laatuun, eikä määrään, mutta hyvään valaistukseen sijoittamalla saat-
taa säästää valaistuksen energiakuluissa vuosittain suuriakin summia. Alkuinvestointi voi olla suuri, mutta energiatehokas ja pitkäikäinen valaistus maksaa itsensä ajastaan takaisin energia- ja huoltokustannuksissa. Tämä tapahtuu sitä nopeammin, mitä suurempi ero on tehonkulutuksessa vanhan ja uuden välillä.

4 YLEISTÄ LED-VALOSTA

LED(engl. Light Emitting Diode) on valoa emittoiva diodi, joka säteilee valoa ja se perustuu puolijohdetekniikkaan. Ledin valmistusmateriaali määrää sen lähettämän valon värin ja sitä voidaan edelleen muokata pintaan lisättävillä kalvoilla sekä pinnoit-

teilla. Ledit ovat olleet käytössä yleisesti jo 1970-luvulta lähtien, jolloin ne alkoivat yleistyä mm. laitteiden merkkivaloina sekä laskinten näytöissä./13, 14/

4.1 Syntyhistoria

Brittiläinen kokeilija Henry J. Round kehitti ensimmäisen valoa lähettävän diodin Marconin laboratoriossa jo vuonna 1907, mutta hänestä riippumatta, venäläinen radio-tekniikko, Oleg Vladimirovich Losev teki saman keksinnön 1920-luvulla. Valoa lähettävästä diodista kerrottiin venäläisissä, saksalaisissa ja brittiläisissä aikakauskirjoissa, mutta keksintö ei tullut kovin tunnetuksi eikä sitä käytetty hyväksi mihinkään tarkoituksiin vuosikymmeniin. Kunnes vuonna 1955 Radio Corporation of Americassa työskennellyt Rubin Braunstein havaitsi, että eräät puolijohdeaineet lähettävät infra-punasäteilyä. Hänen tutkimustulostensa mukaan sitä lähettivät galliumarsenidista (GaAs), galliumantimonidista (GaSb), indiumfosfodista tai piin ja germaniumin seoksesta valmistetut puolijohdekomponentit. Tämän saman havainnon tekivät myös galliumarsenidin osalta vuonna 1961 Texas Instrumentsissa työskennelleet kokeilijat Bob Biard ja Gary Pittman. Vaikka Braunstein oli keksinyt tämän jo 6 vuotta aikaisemmin, Biard ja Pittman voittivat prioriteettikiistan ja patentti keksinnöstä myönnettiin heille.

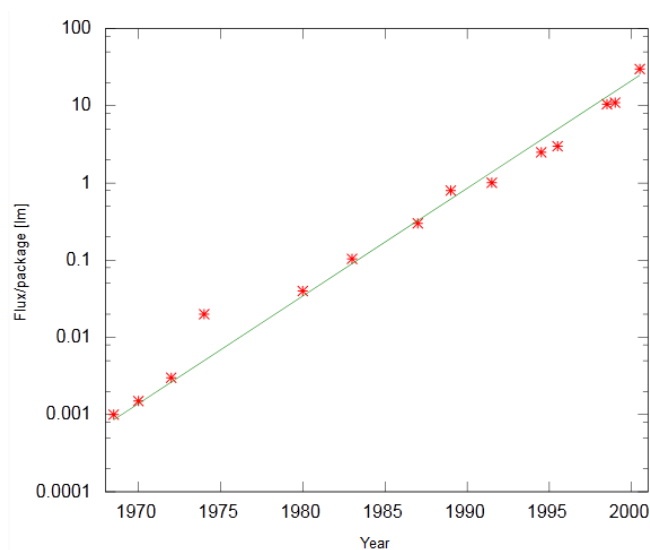
Ensimmäisen näkyvää valoa lähettävän punaisen Ledin kehitti Nick Holonyak työskennellessään General Electricissä vuonna 1962. Myöhemmin hän siirtyi Illinois'n yliopistoon ja häntä pidetäänkin valoa säteilevän diodin isänä. Hänen oppilaana yliopistossa ollut George Craford keksi vuonna 1972 ensimmäisen keltaisen Ledin sekä kymmenen kertaa entistä kirkkaammat punaiset, oranssit ja vihreät ledit./13/

4.2 Kehittyminen

Ledin ensimmäiset käyttötarkoitukset olivat toimia pääasiassa erilaisten laitteiden indikaattoreina niiden heikon valovoiman vuoksi. Ennen yleistymistä niitä käytettiin mm. kalliissa laboratoriolaitteissa ja elektronisissa tutkimusvälineissä kuten oskilloskoopeissa. Led yleistyi nopeasti 1970-luvun aikana ja sitä käytettiin tällöin jo monessa eri sovelluksessa kuten televisioissa, radioissa, puhelimissa, laskimissa ja rannekeiloissa./13, 14, 15/

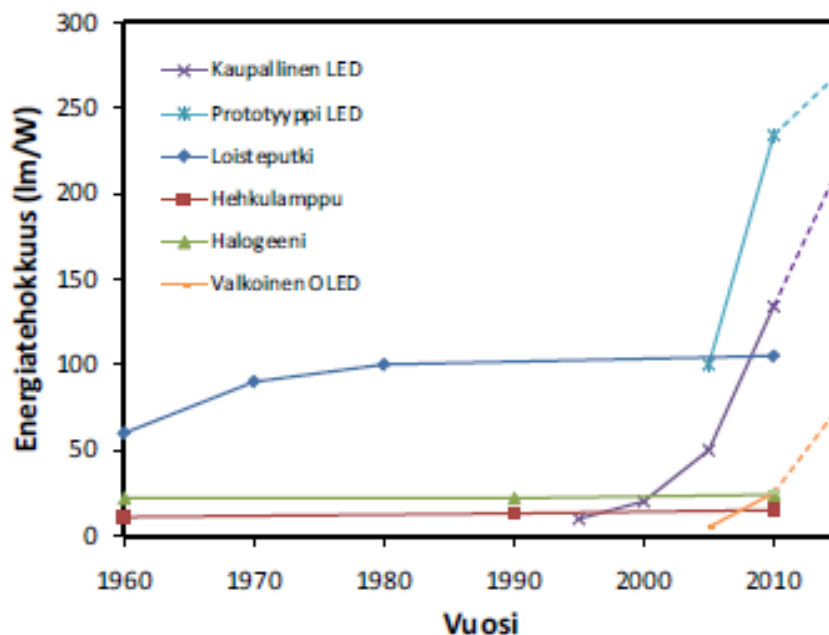
Vuonna 1993 japanilaisen Nichia Corporation yrityksen työntekijä Shuji Nakamuran esitellessä uuden keksintönsä, kirkkaan sinisen InGaN-pohjaisen (indium-galliumnitridi) ledin. Tämä sininen ledi täydensi ledien väriskaalan kattamaan näkyvän valon spektrin kokonaan ja mahdollisti myös valkoisen ledin keksimisen. Nakamura käytti ensimmäisen valkoisen ledin luontiin yttrium-alumiinioksidin ja ceriumin seosta $Y_3Al_5O_{12}:Ce$, "YAG", jossa tällä fosforipitoisella päällysteellä saatiin sinisen valon väri muuttumaan valkoiseksi. Tämä keksintö loi edellytykset energiaa säästäviin ja tehokkaiden led-valojen tuotannolle. Täten ledejä käytetään nykypäivänä enenevässä määrin valaistuksessa./13/

Ledien tehokkuus ja valovoima ovat 1960-luvun lopulta 2000-luvun alkuun asti nousseet likipitään eksponentiaalisesti ja kaksinkertaistuneet noin 36 kuukaudessa. Kuvassa 8 oleva käyrä valotehokkuuden kehityksestä muistuttaa tietotekniikan alalta havaittua Mooren lakia ja siitä onkin käytetty nimitystä Haitzin laki, Tohtori Roland Haitzin mukaan./13/



KUVA 8. Ledien valotehokkuuden kehitys lm/W 1960-luvun lopusta 2000-luvun alkuun./13/

2000-luvulla ledien valovoiman kehitys on jatkunut, mutta kehityksen vauhti on hidastunut. Nykyisin vuonna 2012 parhaiden kuluttajille suunnattujen ledien valotehokkuus hipoo 150lm/W rajaa. Kuvasta 9 selviää valkoisen ledin valotehokkuuden kehitys verrattuna eri valonlähteisiin./16/



KUVA 9. Valkoisen ledin valotehokkuuden(lm/W) historiallinen kehitys verrattuna muihin valonlähteisiin./16/

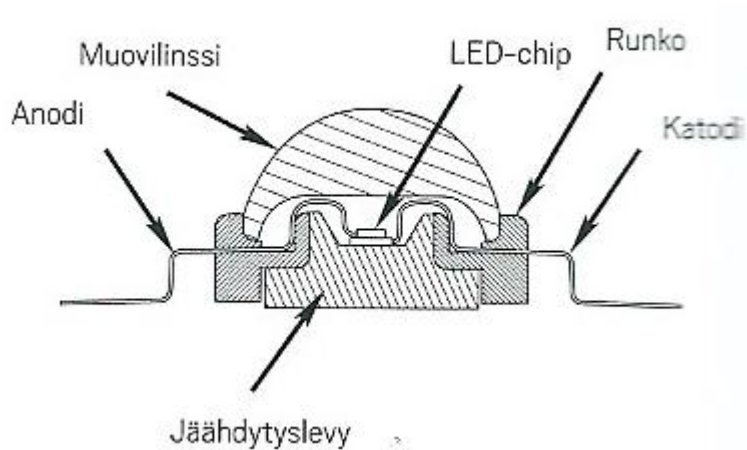
4.3 Tekniikka

Led-tekniikka on kehittynyt paljon alkuaikojen tekniikasta, jolloin ledit toimivat yleensä vain laitteiden indikaattoreina. Nykypäivänä ledejä on opittu jäähdyttämään oikein ja valoa saadaan hyvällä tehohyötysuhteella sekä niiden elinikä on pitkä.

4.3.1 Rakenne

Nykyisin suurimmat ledit ovat kooltaan noin 1 mm:n ja pisteen muotoisia. Ledi asennetaan yleensä muovilinssisen kotelon sisään, jotta se kestäisi ehjänä. Kotelon linssin avulla pystytään muokkaamaan valokeilan avautumiskulmaa ja suuntausta. Linssi mahdollistaa hyvin suunnatun valon toteuttamisen todella pienellä rakenteella verrattuna vanhempiin ympärisäteileviin valonlähteisiin.

Teholedin poikkileikattu rakennekuva on esitetty kuvassa 10. Hyvin toimiakseen, ledi asennetaan piirilevyyn, mikä mahdollistaa hyvän sähköisen kytkennän ja samalla piirilevy johtaa lämpöä pois ledistä. Ledillä itsellään ei ole sähkövastusta, minkä vuoksi virtapiirissä on oltava virranrajoitus. Ledin ohjain syöttää juuri oikean suuruista vakiovirtaa ledille ja sen suuruus määrittää, kuinka paljon led tuottaa valoa./17/



KUVA 10. Led-moduulin poikkileikkaus./17/

4.3.2 Valmistusmateriaalit

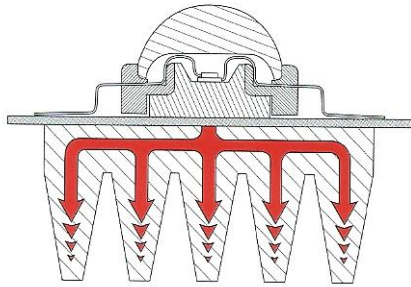
Ledit valmistetaan kiteisistä puolijohdemateriaaleista. Puolijohdeilla tarkoitetaan elektroniikassa käytettäviä komponentteja, jotka nimensä mukaisesti johtavat sähköä heikommin kuin varsinaiset johteet, kuten kupari. Puolijohdeita ovat mm. elektroniikasta tutut diodit, transistorit ja tyristorit. Elektroniikassa käytetyimmät puolijohdeiden raaka-aineet ovat pii (Si) ja germanium (Ge), mutta nykyiset tehokkaat ledit valmistetaan pääosin galliumnitridistä.

Puolijohdeille ominaista on, että sen aineen atomin uloimmaisessa elektroneista muodostuvassa kerroksessa eli ns. johtavuusvyössä on neljä elektronia (esim. piiatomi), kun taas johteilla niitä on kaksi ja eristeillä kahdeksan. Eristeillä johtavuusvyö on ”täynnä” eivätkä elektronit pääse siirtymään atomista toiseen, kun taas johtavissa aineissa elektroneilla on tilaa siirtyä. Puolijohdeiden käyttäytyminen on siis eristeiden ja johteiden välistä./18/

4.3.3 Elinikä

Ledin elinikään ensisijaisesti vaikuttaa lämpötila, mutta myös virrantasaisuus, lämmön johtuminen ja ympäristön lämpötila ovat ratkaisevassa asemassa ledin iän suhteen. Led ei säteile lämpöä IR-säteilyn muodossa ja koska lediin johdetusta energiasta muuttuu valoksi noin 15–25%, pitää syntyvä hukkalämpö johtaa lediin liitettyyn jäähdyttimeen ja siitä edelleen ilmaan. Kuvassa 11 on esimerkkinä lediin liitetty jäähdytinsäiliö, jonka kautta ledin tuottama hukkalämpö johdetaan pois./17/

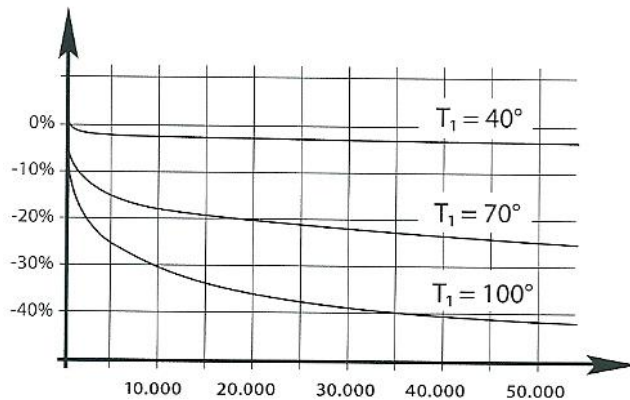
LÄMMÖN JOHTUMINEN LED-MODUULISSA



KUVA 11. Lämmön johtuminen led-moduulissa, johon on asennettu jäähdytinriipa./17/

Lämpötilan nousu niin lyhyellä kuin pitkälläkin aikatahtimella lyhentää ledin suorituskykyä. Lyhytkestoinen korkea lämpötila heikentää sen väriintoistoa ja valotehoa. Pitkäkestoinen taas nopeuttaa valotehon laskua ja siitä johtuen lyhentää sen elinikää. Kuvassa 12 on kuvattuna valomäärän alenema suhteessa käyttöikään ja lämpötilaan. Optimaalisissa olosuhteissa toimivan led-valaisimen valon määrän alenema on pientä verrattuna korkeissa lämpötiloissa toimiville valaisimille./17/

VALON MÄÄRÄ SUHTEESSA KÄYTTÖIKÄÄN JA LÄMPÖTILAAN



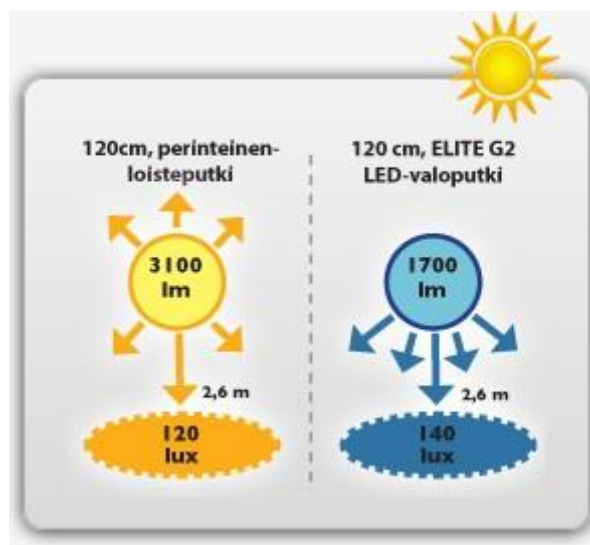
KUVA 12. Laadukkaan ledin valomäärän alenema suhteessa käyttöikään ja lämpötilaan./17/

Ledin elinikä määräytyy sen valotehon laskun mukaan. Led-valaisin valmistajat ovat yhteistyössä sopineet eliniän arviointi kriteereiksi valotehon tuotolle prosentteina ilmoitettavan 70 % (L70) raja-arvon, jonka jälkeen katsotaan ledin tulleen elinikensä loppuun vaikka toimisikin vielä. Tällä arvolla verrataan kuinka paljon käytetty led-valaisin tuottaa valotehoa uuteen vastaavaan valonlähteeseen verrattuna. Hyvin har-

voissa tapauksissa itse led rikkoontuu, useimmiten ledin sammumisen syy on virtalähteen jokin komponentti. Tämän vuoksi pitkäikäiseksi tarkoitettun led-valaistuksen toteutuksessa on suotavaa käyttää laadukkaita virtalähteitä, jotta valaistuksen elinikä ei olisi siitä riippuvainen./17/

4.4 Valon jakautuminen

Led-valaisimen valon jakautuminen on toteutettavissa ledeihin asennettavilla optisilla linseillä, joiden avulla valon avautumiskulmaa saadaan muutettua jokaiseen tilaan sopivaksi. Optisia linsejä käytettäessä ledin tuottama valo on kaikki käytettävissä tarkasti sinne, mihin valoa halutaan. On toki myös mahdollista käyttää erillisiä heijastimia valon suuntaamisessa, mutta tällöin on huomioitava heijastimen aiheuttama häviö valotehokkuudessa ja myös heijastimen puhdistaminen tuo lisäkuluja valaistuksen ylläpitoon. Kuvassa 13 on vertailussa perinteinen ympärisäteilevä loisteputki ja led-putki, joiden valon jakautuminen on ilmoitettu nuolin ja valaistusvoimakkuudet on mitattu 2,6 metrin asennuskorkeudesta. Kuvasta voidaan todeta led-putken tuottavan 1700 luumenin valovirran vastaavan mittaisen loisteputken tuottaessa 3100 luumenin valovirran, mutta valaistusvoimakkuudessa käyttötasolla led-putki voittaa 140 luksilla perinteisen ilman heijastinta olevan loisteputken 120 luksin valaistusvoimakkuuden./18/



KUVA 13. Valon jakautuminen perinteisestä loisteputkesta ja led-putkesta (Valtavallo).

4.5 Käyttömahdollisuudet

Led-valaistuksella voidaan nykypäivänä toteuttaa lähes jokainen valaistusta vaativa kohde tievalaistuksesta kodinvalaistukseen. Ledien avulla valaistuksesta saadaan energiatehokkaampi sekä samalla innovatiivisempi verrattuna perinteisiin valaistustapoihin. Innovatiivisemmalla toteutuksella tarkoitan, että valaistuksella voi tehdä esimerkiksi hienoja ja suunnitelmallisia kohde-, alue- ja koristevalaistuksia paljon tarkemmin kuin vanhoilla valaistustekniikoilla. Ledin pienen rakenteen avulla valon suuntaus ja avautuminen on toteutettavissa pienissäkin tiloissa käyttäjän haluamalla tavalla, on vaan muistettava ottaa huomioon ledin lämmöntuotto, joka on saatava siirrettyksi pois ledistä. Laadukkaiden led-valaisimien hyötysuhde on noussut yleisesti käytettyjen loisteputkien ohitse ja näin ollen valtaa markkinoita energiatehokkuudellaan ympäri maailmaa.

Sisä- ja ulkovalaistuksessa niin kotona, töissä kuin julkisilla paikoilla led-valaistus alkaa nykypäivänä olla arkipäivää. Ledit kehittyvät jatkuvasti hurjaa vauhtia ja niiden korkea eliniän odotus mahdollistaa pitkän aikavälin valaistussuunnittelun. Käyttömahdollisuudet led-valaistuksessa on lähes rajattomat niiden monipuolisuuden ja muokattavuuden vuoksi. Maailmalla on nykyään paljon yrityksiä, jotka keskittyvät juurikin vain ledien kehitykseen erilaisissa sovelluksissa, joissa pyritään tekemään säästöä ja laadun parannusta entiseen verrattuna.

4.6 Huonot puolet

Ledien huonoja puolia edustavat pääasiassa kaikki ”halvat” led-lamput ja valaisimet, joissa ei ole panostettu ledin jäähdytykseen ja virransyöttöön, jotka vaikuttavat suoraan valonlähteen elinikään. Myös valovirran tuotto ja värinvalinta on todella huonoa näillä halvemmilla led-lampuilla. Näitä halpoja led-lamppuja on marketit pullollaan ja itsekin olen niitä testimielessä koittanut kodinvalaistuksessa. Esimerkkinä keittiöön asensin lämpimän valkoisia 3W led-lamppuja 4 kpl ruokapöydän päälle, joiden valon värilämpötilan piti olla 3400K, mutta se olikin lähempänä sinertävää kuin keltaista. Myös valonjaon piti olla paketin mukaan tasaista, mutta se tuntuu spottimaiselta valaisten yhden pisteen kirkkaammin.

Led-valaistuksen tämän hetken suurin ongelma on sen hinta ja arka ostajakunta. Laadukkaan ledeillä toteutetun valaistuksen investointikustannus on julkisella sektorilla karkeasti paikasta riippuen verrattuna muihin valonlähteisiin noin 2-5-kertainen ja kotivalaistuksessa jopa 10-kertainen. Uskon kyllä, että lähitulevaisuudessa suurenevan led-valaistuksen käytön myötä hinnat laskevat ja investoinnin kannattavuus paranee, niin energiakustannuksissa kuin valonlaadussa.

5 TORIPARKIN NYKYINEN VALAISTUS

Tässä kappaleessa käsittelen toriparkin nykyistä valaistusta. Vertailua varten tein nykyisestä valaistuksesta Dialuxilla laskelmat, joita käytän jatkossa led-valaistus vaihtoehtoja vertaillessa. Nämä tulokset ovat liitteessä 4. Kävin myös mittaamassa toriparkissa valaistusvoimakkuuksia lux-mittarilla, jonka tuloksia vertaan Dialuxin antamiin tuloksiin.

5.1 Dialux 4.10 valaistuksenlaskentaohjelmisto

Käytän työssä valaistuksen laskentaan DIALUX 4.10 valaistuksenlaskentaohjelmistoa. Ohjelmisto on käyttäjälle ilmainen ja sitä hyödyntää lähestulkoon jokainen valaisin valmistaja tarjoamalla ohjelmistoon valaisintietokannat omista valaisimistaan. Ohjelmasta käy ilmi valaisimien tarkat tiedot, valonjakokäyrät ja laskettavan paikan yhteenvedo sekä simulointi onnistuvat hyvin kattavasti.

Ohjelma on helppokäyttöinen ja siihen käykin suunniteltavan kohteen pohjakuva suoraan CAD-tiedostona, mistä on helppo lisätä haluamansa valaisimet suoraan valaisimien piirrosmerkkien päälle. Kohteesta täytyy antaa ohjelmalle laskettavan alueen rajat, katon korkeus ja mahdollisesti myös valaisinten asennuskorkeus, jos sattuu olemaan ripustettavia valaisimia suunnittelussa. Myös erilaisten objektien lisääminen onnistuu, kuten esimerkiksi pylvää, rampit, ovet ja ikkunat voi lisätä piirroksen, jotta valaistavasta tilasta saisi tehtyä mahdollisimman todentuntuisen 3D-mallin. Nämä huomioon ottaen ohjelmisto laskee kattavasti jokaisen alueen lux-arvot suunnittelella valaistuksella ja tekee suunnitelmasta pohjakuvan, mistä käy ilmi mm. alueiden valonmäärät sekä väärävärit.

Dialuxilla pystyy myös laskemaan valaisimien häikäisy arvon UGR-indeksillä haluamalleen alueelle, mikä on käsin laskemalla melko vaivalloinen laskea. Ohjelmaan voi lisätä virtuaalisesti ihmisen haluamaansa mittauspaiikkaan, jonka näkökenttää ja siihen tulevaa häikäisyä pystytään mallintamaan todentuntuisesti. Tämä on hyvä ominaisuus, kun halutaan tietää ennen valaisinten asennusta, miten valaisimen valonjako ja häikäisy tulee käyttäytymään tietyssä paikassa.

Ennen ohjelman sujuvaa käyttöä, siihen täytyy asentaa haluamansa valaisin valmistajien valaisintietokannat, jotta valaisimia pystyy lisäämään projekteihin. Tässä täytyy ottaa huomioon näiden pakettien suuret tiedostokoot eli hitaammilla yhteyksillä valaisinpakettien päivitys saattaa kestää jopa tunteja. On myös mahdollista lisätä yksittäisiä valaisimia käyttäjän omaan tietokantaan, jolloin valaisimien lisääminen onnistuu nopeasti./20/

5.2 Valaisimen tekniset tiedot

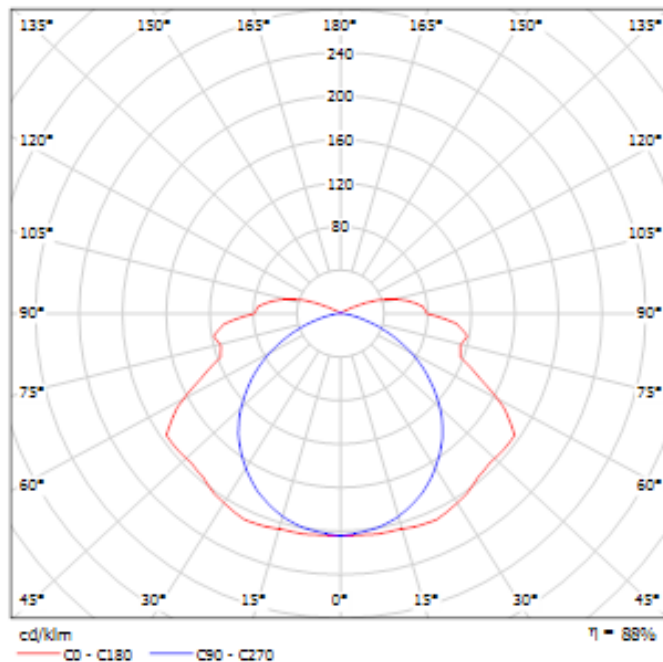
Kuvassa 14 on toriparkin nykyinen yleisvalaisin, joita on parkkihallin molemmissa kerroksissa yhteensä 520 kappaletta kattoon tai ripustuskiskoon asennettuina. Malli on Philipsin TCW216 2xTL5-49W HFP TW3, jossa on kaksi kappaletta TL5-49W loisteputkia. Valaisin on suojausluokaltaan IP66 ja kestää myös ilkiävaltaa. Putkien valovirran tuotto on 4300lm kappaleelle ja valaisimen valovirran tuotto on Dialuxin mukaan 7568lm. Valaisimen valotehokkuus on elektronisen liitäntälaitteen häviöt huomioon ottaen 73,5lm/W. Sähkötehonkulutusta käsittelemme laajemmin tulevassa luvussa 5.2.4./21/



KUVA 14. Philips TCW216 2xTL5-49W HFP/21/

Valaistus on toteutettu T5-loisteputkitekniikalla, mikä on nykypäivänä yleisin loisteputkitekniikka sen energiatehokkuuden vuoksi vanhempaan T8-loisteputkitekniikkaan verrattuna. T5-tekniikalla toteutetuissa valaisimissa käytetään ainoastaan elektronisia liitäntälaitteita ja ohkaisia 16mm putkia, mitkä tuovat noin 20 - 30 % tehonsäästön verrattuna vanhempaan magneettikuristimella toimivaan T8-tekniikkaan. Elektronisen liitäntälaitteen etuja ovat mm. hyvä hyötysuhde(0,90–0,98), parempi valontuottokyky ja lampun välkkymättömyys, mikä johtuu suuresta noin 30 kHz:n taajuudesta verrattuna vanhaan magneettikuristintekniikkaan, jossa loisteputki ”välkkyi näkymättömästi” 100Hz:n taajuudella./21/

Nykyisen valaisimen valonjako on varsin laaja, mikä sopii hyvin tällaiseen matalaan parkkihalli tilaan. Kuva 15 kertoo valaisimen valonjaon, jossa sininen on valaisimen tuottama suoravalo ja punainen hajavalo. Hajavalo on normaalia, kun kyseessä on ympärisäteilevä valonlähde, eikä sitä heijasteta tässä kyseisessä valaisimessa millään. Ympärisäteilevän valonlähteen ylöspäin suuntautuva valo on teoriassa hukkaan menevää valoa, jos siitä ei pelasteta edes osaa heijastamalla sitä valaisimessa olevalla heijastimella tai esimerkiksi vaalean katon kautta./21/



KUVA 15. Valonjako Philips TCW216 2xTL5-49W HFP (Dialux).

5.3 Sijoittelu

Valaisinten asennus parkkihalliin on toteutettu molemmille pysäköintitasoille tyypillisesti kattoon tai ripustuskiskoon tasaisin välein linjoiksi putket alaspäin. Tämä on paras tapa tuottaa valoa käyttötasolle tällaisessa tilassa, jossa pintamateriaalit eivät heijasta valoa paljoakaan. Pimeimmissä kulmissa valaistustasoa voitaisiin tietysti nostaa esimerkiksi vastavalaisevalla valaisimella seinään asennettuna, mikä tuottaisi valoa valaisimen heijastimen kautta seinälle, mutta tässä tilassa se ei ole tarpeen. Parkkihallin sisääntulojen valaistustasoa on nostettu lisäämällä niihin muutamia ylimääräisiä valaisimia ja varsinkin sisääntulorampin valaistus on muuta valaistusta huomattavasti kirkkaampi, koska siinä täytyy nähdä ajaa tarkasti ja painaa sisääntuloportti auki. Kuvassa 16 on parkkihallin nykyistä valaistusta ripustuskiskoon asennettuna.



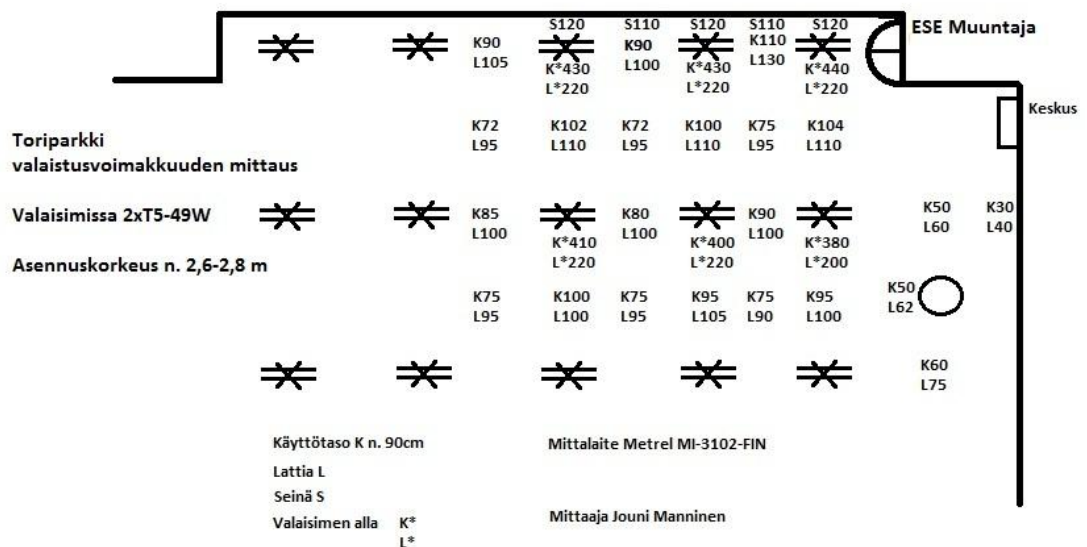
KUVA 16. Parkkihallin nykyinen valaistus (Jouni Manninen).

5.4 Valaistusvoimakkuus ja laatuvaatimukset

Valaistusvoimakkuus on nykyisellä valaistuksella Dialuxilla laskettuna keskimäärin 152 luksia. Aikaisemmin luvussa 3.3.2 oli vaatimukset valaistusvoimakkuuksille erilaisiin tiloihin ja tällä luksimäärällä parkkihallissa toteutuu kyseinen 150 luksin vaati-

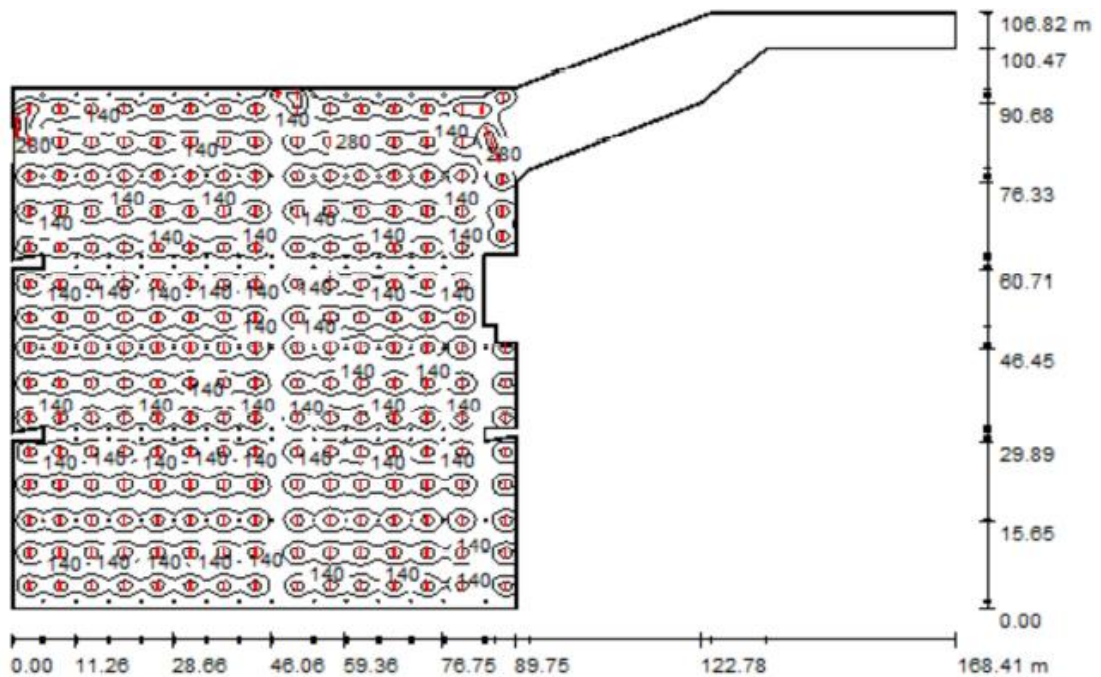
mus. Laatuvaatimuksia toriparkin kaltaiselle parkkihallitilalle on lisää liitteessä 1, jossa ajoneuvoille tarkoitettulla liikenne alueella suositellaan häikäisyindeksin arvoksi UGR 28 ja värintoistoindeksiksi Ra 40. Vaatimukset häikäisylle ja värintoistolle ovat siis melko karkeat, joten pääpaino vertailussa voidaan keskittää valaistusvoimakkuuksiin. Vertailun ja mielenkiinnon vuoksi kävin itse mittaamassa toriparkin nykyisiä valaistusvoimakkuuksia ja vertasin niitä Dialuxin ilmoittamiin arvoihin.

Kuvassa 17 on mittaustulokseni toriparkista. Valaisimien alla käyttötasolla luksimäärät olivat 380–440 ja lattiatasolla 200–220. Valaisimien välissä käyttötasolla putkien ollessa pitkittäin 80–110, poikittain 95–104 ja ristissä 72–75 luksia. Lattiatasolla pitkittäin 100–130, poikittain 100–110 ja ristissä 90–95 luksia. Epäedullisimmassa paikassa eli pimeimmässä kohdassa seinänvieressä käyttötasolla valaistusvoimakkuus on noin 30 luksia ja lattialla noin 40 luksia. Paikoin myös parkkihallin kantavat pylväsraenteet laskevat hieman valaistusvoimakkuutta, koska valoa ei silloin pääse joka suunnasta valaistavalle alueelle.



KUVA 17. Valaistusvoimakkuuden mittaus Mikkelin Toriparkki.

Mittauksesta huomataan, että valaistus ei ole kovin tasaista. Valaisimien alla käyttötasolla valaistusvoimakkuus on jopa 440 luksia ja valaisimien välissä se laskee alhaisimmillaan noin 70 luksiin. Nämä arvot putoavat valaistuksen ikääntymisen ja likaantumisen myötä vielä näistä arvoista, mutta keskiarvona Dialuxista saatu 152 luksin valaistusvoimakkuuden huoltoarvo pitää näin ollen suunnilleen paikkansa. Kuvassa 18 on parkkihallin valaistus Dialuxilla laskettuna.



KUVA 18. Parkkihallin toisen kerroksen nykyinen valaistus (Dialux).

5.5 Käyttöaika ja tehonkulutus

Käyttötunteja valaistukselle tulee vuoden mittaan paljon, koska valaistus on täysiteholla aamusta kello 5:30 iltaan kello 22:00 asti. Yöllä valaistuksesta on päällä 1/3-osa, mikä on toteutettu aika-ohjauksella. Jatkuvasti valaistus on päällä vuoden mittaan 6022,5 tuntia ja tähän vielä lisäksi 1/3-osan päällä olo yön aikana tekee koko valaistukselle käyttötunteja vuodessa yhteensä 6935 tuntia.

Nykyisen loisteputkivalaistuksen tehonkulutus on teoriassa laskettuna (valaisinten määrä x 2 putkea/valaisin x putkien teho x EL:n hyötysuhde(Philips)). Tällä tavalla saadaan laskettua koko toriparkin valaistuksen energiankulutus teoriatasolla./21/

$$520 \text{ valaisinta} * 2 \text{ putkea} * 49W * 1,05 = 53\,508W$$

Teoriassa energiankulutus olisi siis kaikkien valaisimien ollessa päällä 53,508 kW tunnissa. Tämän laskun todenmukaisuutta varten toriparkkiin käytiin kytkemässä kilowattituntimittari, jolla saadaan mitattua valaistuksen todellinen energiankulutus vuorokaudessa. Mittarina toimi ABB OD4165, jolla onnistuu kolmen vaiheen kWh:n mitaus.

Mittari asennettiin 23.2.2012 klo 11.00 ja sillä mitattiin 24 valaisimen ryhmää. Mittaustulokset kävin lukemassa 26.3.2012 klo 10.30, jolloin mittarissa oli 1390 kWh:a. Tämä aika kun muutetaan tunneiksi, niin saadaan laskettua tehonkulutus tunnille. Päiviä tuossa välissä on 32 ja tunteja 23,5. Nämä laskettuna tunneiksi saadaan:

$$32 \text{ päivää} * 24h + 23,5h = 791,5h$$

1390 kWh:a on siis 24 valaisimen eli 48 loisteputken tehonkulutus 791,5 tunnissa. Tästä laskettaessa tehonkulutus kyseiselle ryhmälle saadaan tuntikulutukseksi:

$$\frac{1390kWh}{791,5h} = 1,7562kW$$

1,7562 kW:n teho jaettuna valaisinten lukumäärällä saadaan valaisimen tehonkulutus tunnissa.

$$\frac{1,7562kW}{24kpl} = 0,073175kW = 73,2W$$

Valaisimen tehonkulutus on laskun mukaan 73,2W tunnissa. Teoriassa valaisimen tehonkulutus olisi noin 103 wattia, mutta tässä täytyy ottaa huomioon toriparkin valaistuksen yöohjaus, mikä sammuttaa yöksi kello 22:00–5:30 väliseksi ajaksi 2/3 osan valoista.

Käytännössä valaisinten tehonkulutukseksi saadaan laskemalla mitatusta tuloksesta lasketun yksittäisen valaisimen tehonkulutuksen arvolla koko parkkihallin tehonkulutus. Tällä nykyisellä aika-ohjatulla yleisvalaistuksella tehonkulutus on tunnissa keskimäärin:

$$520 \text{ valaisinta} * 73,175W = 38051W$$

Toriparkin yleisvalaistuksen tehonkulutus on siis keskimäärin 38,051kW:a tunnissa. Tässä täytyy huomioda, että tämä on keskimääräinen tehonkulutus eli päiväsaikaan teho on suurimmillaan kaikkien valaisimien ollessa päällä ja yöllä pienempi 1/3-osa kuormalla. Taulukosta 5 selviää nykyisen valaistuksen todellinen energiankulutus päivässä ja vuodessa.

Toriparkin valaistus	Energiankulutus	
	Päivässä (24h)	Vuodessa (365pv)
Nykyinen, yöllä päällä 1/3-osa klo 22:00-5:30	913,224 kWh	333326,8 kWh

TAULUKKO 5. Nykyisen valaistuksen todellinen energiankulutus mitatulla teholla.

5.6 T5/T8 led-valoputki muunnoksen aiheuttamat ongelmat

T5-tekniikalla toteutettujen 1450mm pitkien loisteputkivalaisimien muuttaminen led-putkisiksi valaisimiksi vaatisi ”täydellisen” valaisin remontin. Valaisimesta täytyy ensin ohittaa/poistaa elektroninen liitäntälaitte ja tilalle on mahdollisesti asennettava led-valoputkien liitäntälaitte tai kytkettävä sähkö suoraan lampunpitimiin. Lisäksi on asennettava led-valoputkille oma valaisinkohtainen sulake sekä lampunpitimet täytyy vaihtaa, jos tilalle aikoo asentaa T8-kokoisen led-valoputken. Tämän jälkeen valaisin olisi tyyppihyväksytettävä ja valaisimeen täytyisi kiinnittää tyyppikilpi, jotta se olisi laillinen käyttää. On myös otettava huomioon, että itse led-valoputki on hyväksytty käytettäväksi Suomessa. Markkinoilla on ollut lähivuosina paljon led-valoputkia, joissa on olemassa teoreettinen sähköiskun vaara putken asennusvaiheessa. Led-valoputkea paikalleen käännettäessä asentajan on mahdollista saada sähköisku putken toisesta päästä toisen pään ollessa kiinni lampunpitimessä. Tästä Tukesin artikkeli liitteessä 2.

Nykyisen valaistuksen muuttaminen T5 led-valoputkisiksi valaisimiksi aiheuttaa vaikeuksia tämän valaisin muunnoksen lisäksi, sillä näitä ohkaisia ja pitkiä led-valoputkia ei ole vielä markkinoilla montaa kappaletta, koska on vaikeaa saada 16mm halkaisijaltaan ja 1450mm pituudeltaan olevaan putkeen mahtumaan sellaista määrää ledejä ja niiden vaatimia komponentteja(jäähdytyslevyt ja ohjaimet), jolla pystyttäisiin tuottamaan nykyisen T5-loisteputken tasoinen valaistusvoimakkuus.

Näistä pitkistä T5 led-valoputkista saatava valovirta on todella huono, verrattuna esimerkiksi vastaavanlaiseen, mutta paksumpaan 26mm T8 led-putkeen, johon komponentit mahtuvat paremmin. Esimerkkinä Elopart Oy:n maahantuomat led-valoputkilamput, joissa T5 mallissa on 228kpl ledejä ja T8 mallissa onkin jo 350kpl

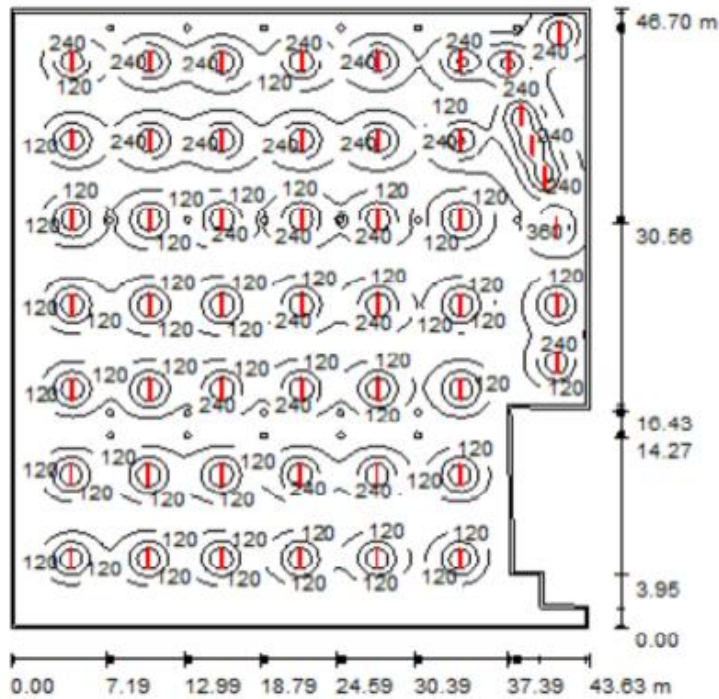
ledejä. T5:sta saatava valovirta on $1300\text{lm}\pm 10\%$, kun T8:lla päästään jo $1800\text{lm}\pm 10\%$./22/

6 LED-VALAISTUKSEN VAIHTOEHDOT JA NIIDEN VERTAILU

Valitsin työhöni vertailtavaksi 3 erilaista led-valaistus vaihtoehtoa. Ensimmäinen vaihtoehto on nykyisten T5-loisteputkien vaihtaminen jälkiasennetuiksi Philipsin ns. ”retrofit” led-valoputkiksi. Toinen ja kolmas vaihtoehto ovat Suomen johtavan led-valaisimien valmistajan Easy Led Oy:n suosittelemat valaisimet Heidän Pro-sarjan valaisimistaan. Vertailen näitä vaihtoehtoja ja painotan tätä vertailua valon tasaisuuden, laadun ja -tuoton ennallaan pysymiseen sekä energiansäästöön.

Tavoitteenani on löytää mahdollisesti nykyisiin valaisinpaikkoihin sopiva led-valonlähde, jonka avulla säästäisi energiankulutuksen lisäksi asennuskuluissa. Asennustyö onnistuisi nopeammin, jos valaisimen irrotus ja asennus onnistuisivat samaan paikkaan, eikä turhaa johdotuksen muutosta tarvitsisi tehdä.

Nopeuttaakseni Dialuxilla valaistuksen laskentaa, pienensin laskettavan alueen $\frac{1}{4}$ -osaan kerroksen pinta-alasta. Tein $\frac{1}{4}$ -osa alueen kaikilla eri valaisin vaihtoehdoilla laskennat, sekä vertailun vuoksi myös nykyisellä valaistuksella, joka on kuvassa 19. Valaistusvoimakkuudeksi $\frac{1}{4}$ -osalle saadaan nykyisellä valaistuksella keskimäärin 154 luksia, mikä on hyvin lähellä koko 2 kerroksen aiemmin laskettua 152 luksin arvoa. Näin ollen, tätä alueellistamista voidaan pitää riittävän tarkkana tapana tuottaa valaistuksen laskenta ja vertaaminen led-vaihtoehtoihin.



KUVA 19. ¼-osa parkkihallin 2-kerroksen valaistuksesta nykyisellä valaistuksella (Dialux).

6.1 Vaihtoehto 1

Valitsin ensimmäiseksi vaihtoehdoksi Philipsin valmistaman MASTER LEDtube GA 1500mm 25W 840 G13 led-putken, jonka pystyisi asentamaan tietyin ehdoin nykyisiin valaisimiin. Philipsillä on valikoimissaan sama valaisinrunko kuin nykyisissä valaisimissa ja juuri näillä led-putkilla toteutettuna. Kyseinen led-valoputki on tällä hetkellä markkinoiden parhaimpia jälkiasennukseen (retrofit) tarkoitettuja led-valoputkia. Lampussa on mattapintainen lasi ja tämän avulla lampun ledit tuottavat perinteisen loistelampun tapaan luonnollisen väristä valoa 4000 K. Lampun värinvalon laadusta kertoo värinvalonindeksi R_a , joka on valmistajan mukaan 85 eli loisteputken vertainen. Tehonkulutus on 25 wattia kappale eli yhden valaisimen teoreettiseksi tehoksi tulisi 50W.

Philips MASTER LEDtube kuvassa 20 on ulkoiselta olemukseltaankin kuin tavallinen T8-loisteputki. Led-putken valovirran tuotto on 1900lm ja valaisimen, jossa on kaksi putkea, valovirran tuotoksi tulee Dialuxin mukaan 3458lm. Valaisimen valotehokkuudeksi saadaan 69,2 lm/W, mikä on noin 5 lm/w huonompi kuin loisteputkella, mutta täytyy ottaa huomioon led-valoputken parempi valon suuntaus loisteputkeen verrattu-

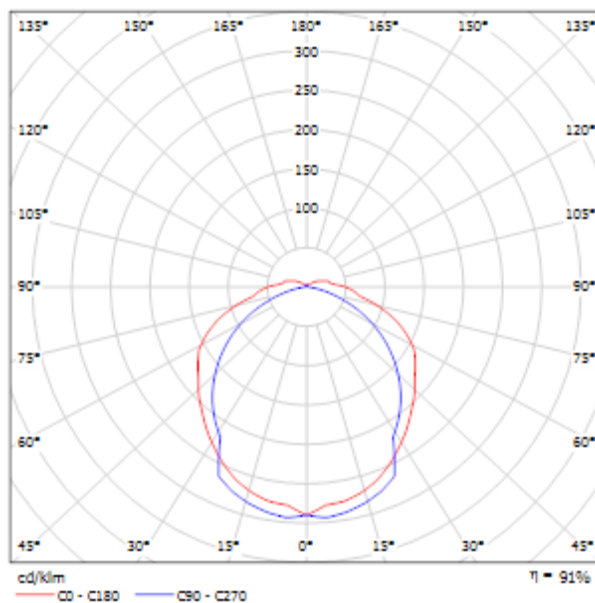
na. Valovirran kokonaistuotto jää noin 4000 lm pienemmäksi normaaleihin loisteputkiin Dialuxissa verrattuna, mutta tehonkulutus laskee 103 watista 50 wattiin./23/



KUVA 20. Philips MASTER LEDtube GA 1500mm 25W./23/

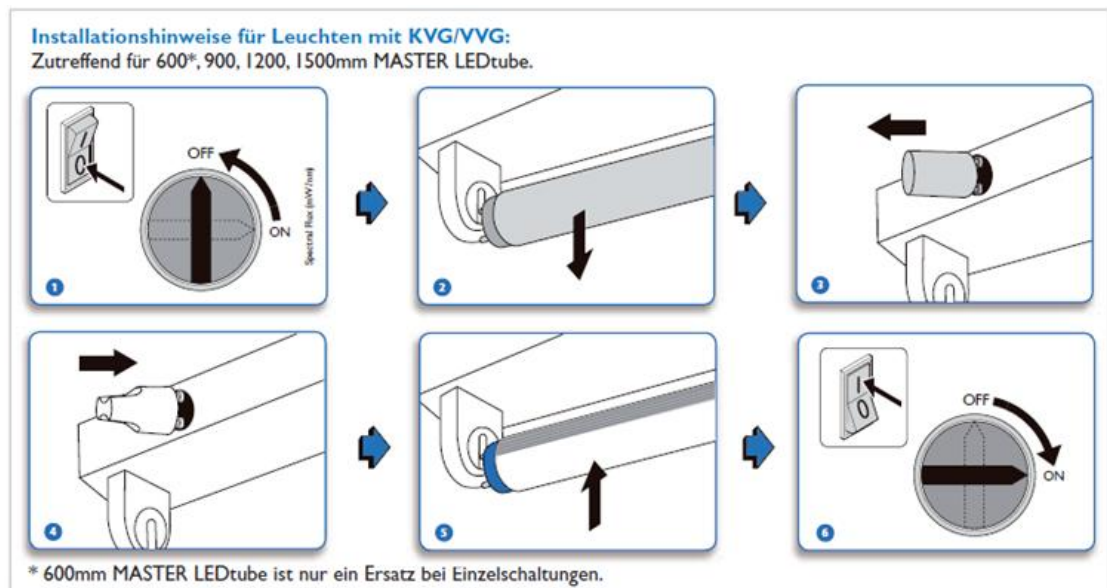
MASTER LEDtuben keskimääräinen elinikä on valmistajan mukaan 40 000 tuntia. Tällöin valaisimen valontuotto olisi laskenut L70-tasolle. Ympäristön lämpötilan maksimi on valmistajan mukaan 45 celsiusastetta, jonka jälkeen lämpötilan nousulla alkaa olla vaikutusta elinikään. Ympärivuorokauden päällä olevan valaisimen teoreettinen käyttöikä olisi noin 4,5 vuotta.

Tämän led-valoputki valaisimen valonjako on hieman kapeampi kuin normaaleilla ympärisäteilevillä loisteputkilla. Valmistaja ilmoittaa valon avautumiskulmaksi 120 astetta. Kuvassa 21 on valonjako kyseiselle valaisimelle, josta selviää led-valoputkien tuottavan tasaista valoa, eikä hajavaloa synny loisteputkien tapaan.



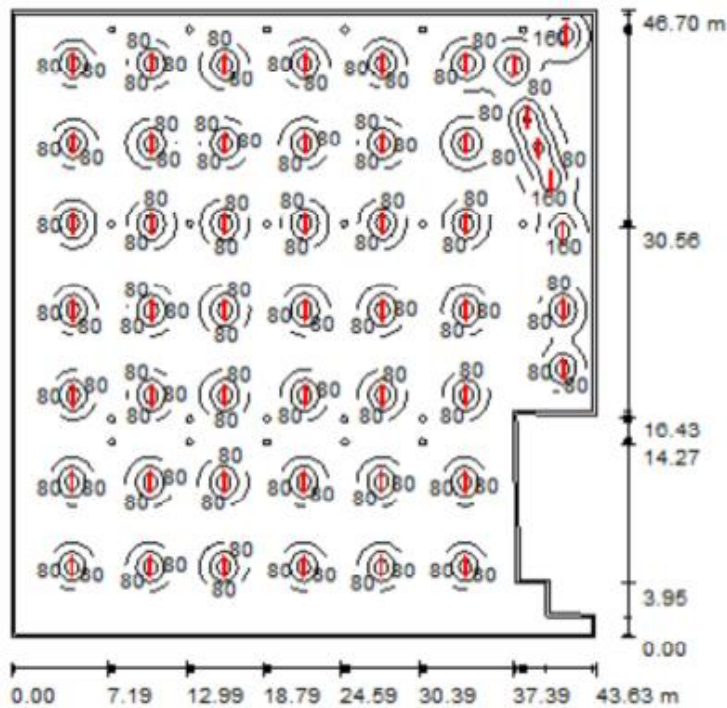
KUVA 21. Valonjako 2xMaster LEDtube GA 1500mm 25W (Dialux).

Näiden led-valoputkien asennus onnistuu helposti vanhanmalliseen elektromagneettisella kuristimella olevaan valaisimeen. Kuvassa 22 on ohjeet vaihtotyölle, kun kyseessä on vanhanmallinen valaisin. Nykyisiin elektronisella liitäntälaitteella varustettuihin valaisimiin putken asennus onnistuu poistamalla/ohittamalla elektronisenliitäntälaitteen, lisäämällä putkille sulakkeet(kuvassa 22 sytyttimen korvaaja) ja vaihtamalla putken pidikkeet T5:sta -> T8:ksi. Lisäksi valaisimen rakennemuutokset täytyy tyyppi hyväksyttää ja valaisimeen on lisättävä tyyppikilpi, jotta valaisin olisi laillinen käyttää./23/



KUVA 22. Philips MASTER LEDtuben asennus normaaliin elektromagneettisella kuristimella olevaan loisteputkivalaisimeen./23/

Seuraavassa kuvassa 23 on toriparkin 2-kerroksen ¼-osa, jossa nykyisiin valaisimiin on asennettuna nämä Philipsin Master LEDtubet. Tilan keskimääräinen valaistusvoimakkuus on laskenut 73 luksiin, joka on noin puolet huonompi kuin nykyisellä valaistuksella toteutettuna. Vaikkakin valaistuksen laatu pysyy valmistajan mukaan samana kuin loisteputkilla, täytyy valaistusvoimakkuuden laskun takia todeta, että kyseistä putkien muutosta ei kannata vielä tällä hetkellä tehdä. Jos näillä led-putkilla haluaisi kohteeseen vaaditun 150 luksia, täytyisi valaisimien määrä lähes tuplata parkkihallissa.



KUVA 23. ¼-osa parkkihallin 2-kerroksen valaistuksesta, kun nykyisiin valaisimiin vaihdettaisiin Philipsin MASTER LEDtubet (Dialux).

6.2 Vaihtoehto 2

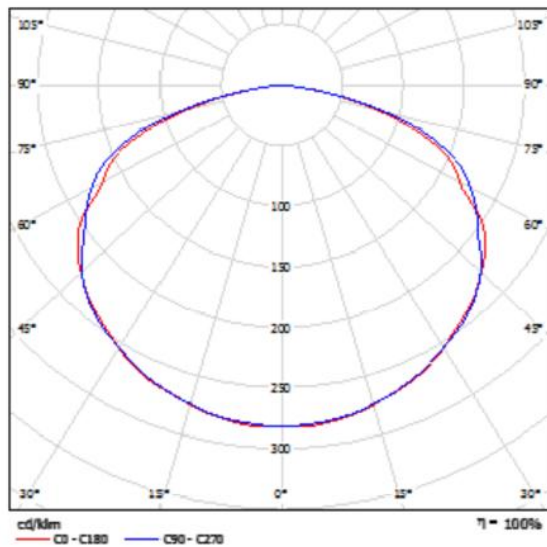
Toiseksi vaihtoehdoksi valitsin Easy Led Oy:n mataliin tiloihin(2-4 m) suositteleman kuvassa 24 olevan Pro 100 Dragon valaisimen. Valaisimen teho on 27W ja se tuottaa 3000 lumenin valovirran. Edelliseen vaihtoehtoon verrattuna valonlähteen teho on laskenut 23W ja valovirran tuotto on laskenut vain 458 luumenia 3000 luumeniin. Valotehokkuus on 111,1 lm/W, mikä on noin 42 lm/W parempi kuin 1 vaihtoehdolla ja nykyisiin loisteputkiin verrattuna noin 38lm/W parempi.

Eliniäksi Pro 100 Dragonin led-elementille valmistaja lupaa yli 80 000 tuntia, kun valaisimen ympäristönlämpötila on alle 25 celsiusastetta. Kyseisen käyttöään jälkeen valaisimessa pitäisi olla vielä 80 % valontuotosta jäljellä, jos valaisin on ollut koko elinikänsä sopuisissa olosuhteissa. Valmistajien yhdessä sopimaan L70 elinikään olisi vielä siis noin 10 % käyttöaika jäljellä, mutta en itse lähde arvuuttelemaan tämän tuomaa eliniän lisäystä. Valaisimen ollessa jatkuvasti päällä 80 000 tuntia käyttöikä olisi siis yli 9 vuotta.



KUVA 24. Easy Led Oy:n valmistama Pro 100 Dragon valaisin./21/

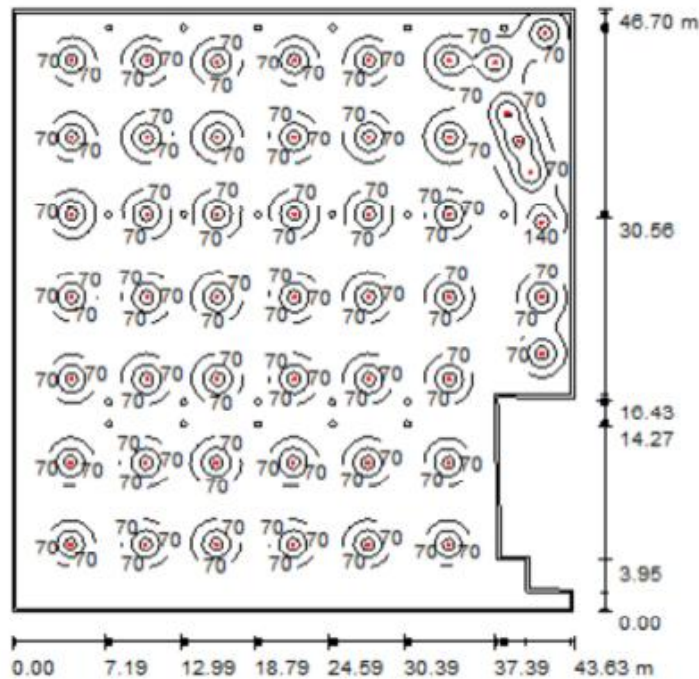
Valaisimen valonjako on hyvin tasaista ja kaikki tuotettu valo suuntautuu sinne, missä sitä tarvitaan, eikä hajavaloa synny lainkaan. Kuvassa 25 on valaisimen valonjako ja valmistajan ilmoittaman mukaan tämän tasaista valoa tuottavan valaisimen ledien avautumiskulmat ovat 170 astetta, mitkä ovat toteutettu ledeihin asennettujen optisten linssien avulla. Valaisimen värinöistoindeksi R_a on yli 85, joka on todella hyvä arvo led-valaisimelle.



KUVA 25. Valonjako Easy Led Pro 100-200 Dragon./21/

Kuvassa 26 on esitetty Pro 100 Dragon valaisimien asennus nykyisten valaisinten tilalle. Tämä muutos aiheuttaisi valovoimakkuuden laskun 67 luksiin, mikä on loisteputkiin verrattuna yli puolet huonompi, mutta on myös huomioitava tehonkulutuksen lasku entisestä 103 watista 27 wattiin per valaisin. Valon laatu pysyisi hyvin tasaisena tällä valaisimella, eikä haittaavaa häikäisyä tapahtuisi. Todettava vaan on, että tällä-

kään vaihtoehdolla ei päästäisi suositeltuun 150 luksiin nykyisten loisteputkien tilalle asennettuina, joten valaisimia joutuisi lisäämään noin puolet nykyiseen määrään verrattuna.

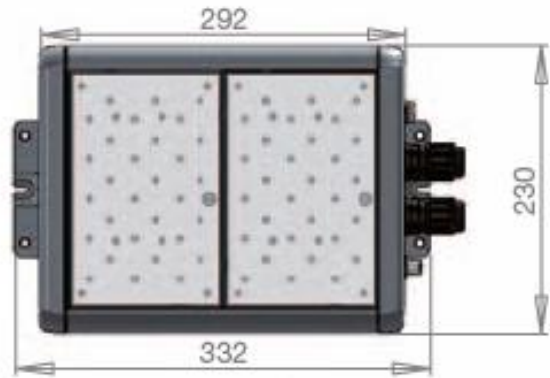


KUVA 26. ¼-osa parkkihallin 2-kerroksen valaistuksesta, kun valaistus olisi toteutettu nykyisten valaisimien paikoille asennettavilla Pro 100 Dragon valaisimilla (Dialux).

6.3 Vaihtoehto 3

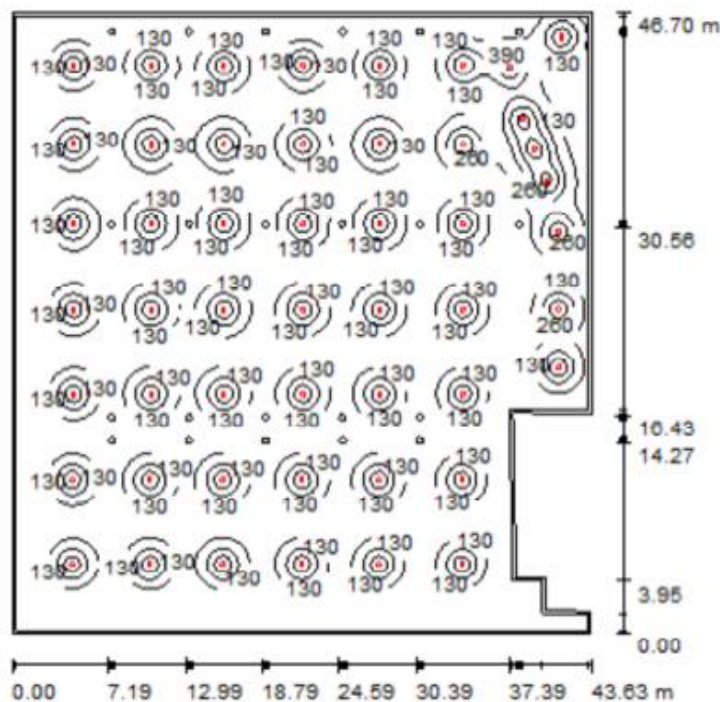
Kolmanneksi vaihtoehdoksi valitsin kuvassa 27 olevan Easy Led Oy:n 4-6m korkeisiin tiloihin tarkoitettun Pro 200 Dragon valaisimen, jota voi käyttää myös matalammissa tiloissa suuremman valaistusvoimakkuuden saavuttamiseksi. Valaisin on edellisen vaihtoehdon ”isoveili”, johon on lisätty toinen led-elementti jatkoksi. Tehonkulutus edelliseen verrattuna on noussut 52 wattiin ja valovirta on kasvanut puolella 6000 lumeniin. Valotehokkuus tällä valaisimella on 115,4 lm/W eli hieman enemmän kuin edellisellä vaihtoehdolla. Tämä valaisin vaikuttaa hyvältä valinnalta kohteeseen sen valontuoton kannalta, mikä on enää noin 1600 lumenia huonompi kuin normaaleilla loisteputkilla.

Tehonkulutus: 52 W
 Jännite: 230 VAC
 Ra: >85
 Elinikä $\lt;Ta 25^\circ$ >80.000 h / 80%
 Paino: 2,4 kg
 Suojausluokka: IP65
 Mitat: 292 x 230 x 88,8 mm



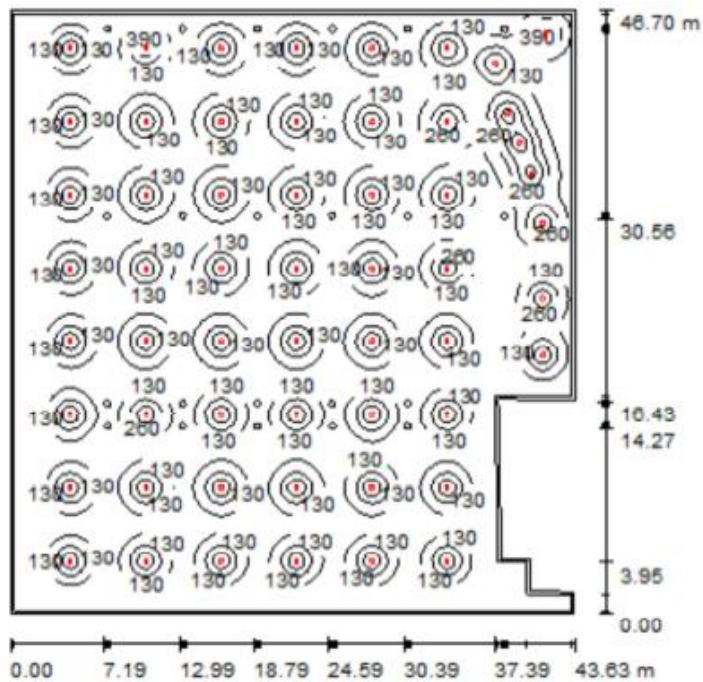
KUVA 27. Easy Led Oy:n valmistama Pro 200 Dragon valaisin./21/

Valaisimen valonjako on täysin samanlainen kuin vaihtoehdolla 2 kuvassa 25. Valo on siis hyvin tasaista ja suuntautuu tasaisesti käyttöalueelle. Kuvassa 28 on valaistusvoimakkuus laskettuna nykyisiin valaisinpaikkoihin asennetuilla Pro 200 Dragon valaisimilla. Käyttötason valaistusvoimakkuudeksi saadaan 135 luksia, mikä on jo hyvin lähellä 150 luksin suositusta ja loisteputkien käyttötasolle tuottamaa 152 luksin valaistusvoimakkuutta.



KUVA 28. ¼-osa parkkihallin 2-kerroksen valaistuksesta, kun valaistus olisi toteutettu nykyisten valaisimien paikoille asennettavilla Pro 200 Dragon valaisimilla (Dialux).

Koska Pro 200 Dragon olisi hyvin lähellä 150 luksin valaistusvoimakkuustasoa jo nykyisiin paikkoihin asennettuna, niin tein testin ja lisäsin 1 kappaleen valaisimia linjaa kohti tähän ¼-osaan parkkihallista. Tällä yhden valaisimen lisäyksellä linjaan valaistusvoimakkuus nousi käyttötasolla 150 luksiin ja näin ollen täyttäisi suosituksen vaatiman tason. Tämän lisäyksen ansiosta myös valaistuksen tasaisuus parantuisi entistään. Kuvassa 29 on valaistuksen tilanne lisäyksen jälkeen.



KUVA 29. ¼-osa toriparkin 2-kerroksesta. Kuvassa Easy Led Oy:n Pro Dragon 200 valaisimilla toteutettuna 150 luksin vaatimuksen täyttävä tilanne, jossa valaisimia lisätty jokaiseen täyteen riviin yksi eli yhteensä 6 kpl per ¼-osa (Dialux).

6.4 Vaihtoehtojen yhteenveto

Taulukossa 6 on nykyisen valaistuksen valovirran tuotto ja valaistusvoimakkuus käyttötasolla verrattuna vaihtoehtoihin, jotka olisivat asennettuina nykyisen valaisimen tilalle. Tässä vertailussa tärkeintä on saada käyttötason valaistusvoimakkuus pysymään samana kuin nykyhetkellä. Taulukosta 6 voi todeta, että mikään verratuista led-valaisimista ei yllä samaan valaistusvoimakkuuteen kuin loisteputkivalaisin, mutta on huomioitava myös se, että tehonkulutus on näillä valaisimilla paljon pienempi kuin loisteputkilla. Taulukossa 7 on vaihtoehtojen tehonkulutus vertailu.

Vaihtoehto	Valovirta lm/ valaisin	Valovirran tuotto yhteensä 520 valaisinta	Valaistusvoimakkuus Em käyttötasolla 0,85m
Nykyinen Philips TCW216 2x49W	7568	3935360 lm	154 lux
1. Philips Master LEDtube 2x25W	3458	1798160 lm	73 lux
2. Easy Led Pro 100 Dragon	3000	1560000 lm	67 lux
3. Easy Led Pro 200 Dragon	6000	3120000 lm	135 lux

TAULUKKO 6. Valaisimien valovirrantuotto ja valaistusvoimakkuus nykyisten valaisimien tilalle asennettuna.

Tehonkulutus aikaohjatulla 1/3-osa yövalaistuksella on vuodessa nykyisellään mitattuna 333 327 kWh. Lähimmäksi valaistusvoimakkuudessa päässeellä Led Pro 200 Dragonilla tehonkulutus olisi samalla aikaohjauksella 187522 kWh vuodessa. Säästöä syntyisi tällä vähän valaistuksen voimakkuutta laskevalla asennuksella yli 145 000 kWh:a vuodessa, mutta jotta vertailtava vaihtoehto olisi valaistusvoimakkuus vaatimusten mukainen, täytyy valaisinmäärää hieman lisätä.

Vaihtoehto	Sähköteho W	Määrä kpl	Tehonkulutus 24h/päivä vuodessa	Tehonkulutus 1/3-osa yövalaistuksella vuodessa
Nykyinen Philips TCW216 2x49W	103	520	469186 kWh	333327 kWh
1. Philips Master LEDtube 2x25W	50	520	227760 kWh	180310 kWh
2. Easy Led Pro 100 Dragon	27	520	122990 kWh	97367 kWh
3. Easy Led Pro 200 Dragon	52	520	236870 kWh	187522 kWh

TAULUKKO 7. Valaisimien teoreettinen tehonkulutus jatkuvalla käytöllä ja nykyisellä yöohjauksella vuodenaikana. Nykyisen valaistuksen 1/3-osa yöohjauksen arvo on mitattu.

Nykyisten loisteputkien muuttaminen ensimmäisessä vaihtoehdossa verrattuun led-valoputkeen ei ole tällä hetkellä järkevää niiden huonon valovirran tuoton takia. Valaistusvoimakkuus laskisi nykyisestä 154 luksista 83 luksiin. Tämän vuoksi valaisimien lukumäärää olisi lisättävä entisestä 520 kappaleesta noin 900, jotta saavutettaisiin sama valaistusvoimakkuus käyttötasolle. Tämä valaisinten lisäys lisäisi investointi- ja huoltokustannuksia huomattavasti ja energiansäästö jäisi vähäiseksi, joka on todettavissa taulukosta 8.

Myös toisesta vaihtoehdosta on todettava, että sen valaistusvoimakkuus ei riitä kattamaan vaatimuksia nykyisten valaisimien tilalle asennettuna. Tämän johdosta valais-

tusvoimakkuus laskisi käyttötasolla 77 luksiin ja valaisimia saisikin asentaa puolet enemmän nykyiseen verrattuna eli noin 1040 kappaletta. Valaistus olisi tällä valaisinmäärällä laadultaan tosi tasainen, mutta taasen investointi- ja huoltokustannusten takia ei ole kannattavaa asentaa tuplasti lisää valaisimia, kun on olemassa optimaalisempikin vaihtoehto.

Näistä vertailtavista vaihtoehtoista järkevin olisi kolmas vaihtoehto Pro 200 Dragon, jolla saavutettaisiin sama valaistusvoimakkuus noin 10 % valaisin lisäyksellä nykyiseen verrattuna. Dialuxilla 10 %:n lisäyksellä laskettuna saavutetaan tasan 150 luksin valaistusvoimakkuus, joka riittää suosituksen täyttämiseen. Taulukossa 8 on laskettu päivitetyllä valaisinmäärällä tehonkulutus jokaiselle vaihtoehdolle. Vaihtoehdot 1 ja 2 laskin myös Dialuxilla, mutta en liittänyt raportteja niiden kannattamattomuuden takia.

Vaihtoehto	Sähköteho W	Määrä kpl	Tehonkulutus 24h/päivä vuoden ajan	Tehonkulutus 1/3-osa yövalaistuksella
1. Lisäys Philips Master LEDtube 2x25W	50	900	394200 kWh	312075 kWh
2. Lisäys Easy Led Pro 100 Dragon	27	1040	245981 kWh	194735 kWh
3. Lisäys Easy Led Pro 200 Dragon	52	572	260557 kWh	206275 kWh

TAULUKKO 8. Valaisimien lisäyksestä aiheutuvat tehonkulutuksen nousut vaa- ditun 150 luksin valaistusvoimakkuuden saavuttamiseksi.

7 VALAISTUKSENOHJAUS

Valaistuksenohjauksella voidaan toriparkkiin tehdä valaistus, mikä säästää sen käyttömäärän mukaan energiakustannuksissa. Ohjaus voidaan nykypäivänä toteuttaa monella eri tavalla, kuten aika-, liike- ja läsnäolo-ohjauksilla. Näiden yksinkertaisten ohjaustapojen lisäksi on tarjolla monia eri ohjausjärjestelmiä, joilla pystytään toteuttamaan valaistukselle esimerkiksi käyttäjän toiveiden mukaisia tilannevalaistuksia, himmennyskäskyjä, liikkeentunnistuksia jne.

Tähän työhön valitsin toriparkin nykyisen yöllä 1/3-osaan valaistuksen tehon laskevan aikaohjauksen lisäksi vertailtavaksi perinteisen liiketunnistinohjauksen, minkä avulla

valoa saadaan sinne, missä sitä milloinkin tarvitaan. Tällainen perinteinen valaistuksenohjaus on helppo toteuttaa ja maksaa itsensä nopeasti takaisin turhasta valaisimien polttamisesta säästyvinä energiakustannuksina. Myös huolto- ja investointikustannukset pysyvät perinteisellä ohjauksella alhaisempina, kun liika elektroniikka jätetään pois. Vastaavanlaisissa parkkihalleissa, joiden käyttöaste on yleensä melko vaihteleva, on valaistuksenohjauksella saavutettu mittausten mukaan 10–30 %:n energiansäästö./28/

7.1 Toriparkin valaistuksenohjauksen suunnittelu

Toriparkki on yleinen tila, jossa ihmisen tarvitsee nähdä liikkueensa siellä autolla tai jalan. Tällaiseen tilaan, jossa ihmiset eivät oleskele sopii hyvin perinteinen liikkeentunnistusjärjestelmä, johon liitettäisiin pitkänkantaman liikkeentunnistimia ja valaistuksen toiminta suunniteltaisiin porrastetusti, jotta valoa olisi jatkuvasti tarjolla siirryttäessä alueelta toiselle. Liikkeentunnistimien katvealueita varten pystyttäisiin tilakohtaisesti lisäämään kytkentäaikoja, jolloin katvealueella oleva henkilö ehtisi rauhassa esimerkiksi pakkaamaan autoonsa ostokset ja ajamaan pois. Tällä vältettäisiin tilanne, jossa valot yhtäkkiä sammuisivat ja henkilö joutuisi olemaan tämän jälkeen pimeässä.

Ohjauksen suunnittelu voidaan jakaa viiteen eri osa-alueeseen:

1. Tarpeiden selvittäminen
2. Ohjausstrategioiden selvittäminen
3. Laite- ja järjestelmävalinta
4. Pistesijoitus- ja johdotussuunnittelu sekä ohjausten määrittely
5. Käyttöönotto/25/

Tarpeiden selvitysvaihe on suunnittelussa tärkein, koska sen avulla voidaan ymmärtää hankkeen tarkoitus ja sovellusten laajuus sekä käytettävyys. Valaistuksenohjausjärjestelmään investoinnin tärkeimpänä tavoitteena on yleensä halu pienentää turhaa energiankulutusta säilyttämällä kuitenkin sama valaistuksen laatu ja käyttäjien turvallisuus, mikä saavutettaisiin jatkuvalla valaistuksella. Tämän vuoksi ohjausstrategioiden selvittäminen erilaisiin tiloihin on myös tärkeää, jotta saataisiin mahdollisimman energiatehokas tapa ohjata valaistusta tietyissä tiloissa.

Laite- ja järjestelmävalinnat on tehtävä siten, että ne palvelisivat käyttäjää mahdollisimman hyvin. On hyvin tärkeää kuunnella ennen laitteiston valintaa myös käyttäjän mielipidettä ja haluja järjestelmän vaatimuksista. Monesti käyttäjä haluaa tietää järjestelmän myöhemmästä laajennettavuudesta ja liittymäraja- ja pinnoista muihin järjestelmiin, kuten rakennusautomaatioon.

Pistesijoitus- ja johdotussuunnittelu sekä ohjausten määrittely on myös tehtävä mahdollisimman tarkasti. Tärkeimpänä on otettava huomioon kytkettävien valaisinkuorien määrä liiketunnistinta kohti, sillä perinteisillä liiketunnistimilla kytkentämäärä on noin 10 kpl 2x49W valaisinta per liiketunnistin. Jos tämä valaisinmäärä ei riitä kyseessä olevan alueen kaikkien valaisimen ohjaukseen, täytyy ohjaukselle suunnitella erillinen valaistuksenohjauskeskus tai päivittää olemassa olevia keskuksia ohjauksen tarpeen mukaan. Ohjauskeskukseen asennettaisiin perinteisiä valaistuksenohjaukseen tarkoitettuja releitä ja kontaktoreja, joiden avulla liiketunnistin pystyy kytkemään itselleen mahdottoman valaisinmäärän päälle. Näiden käyttö mahdollistaa myös ohjausjärjestelmän toteutuksen pienemmällä määrällä liikkeentunnistimia.

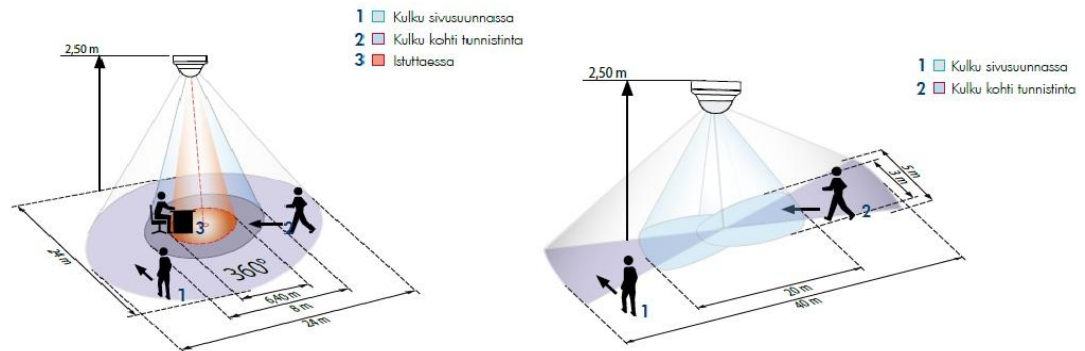
Toriparkki on niin suuri pinta-alainen kiinteistö, jossa kerrosten valaistuksenohjaukset kannattaa myös alueellistaa. Alueellistamisen hyvällä suunnittelulla pystytään saamaan säästöjä, kun valaistus palaa vain alueella, jossa on liikettä. Valaistusta ei kannata alueellistaa liian pieniin eikä liian isoihin alueisiin vaan on tilakohtaisesti mietittävä, mikä on järkevintä ja toiminnallisinta. Hyvällä aluesuunnittelulla säästetään liiketunnistimien määrässä ja järjestelmän vikaherkkyys pysyy parempana, kun ei ole liikaa tunnistimia.

Perinteisen valaistuksenohjauksen toteutukseen on myös monia erilaisia variaatioita. Parkkihallissa voisi esimerkiksi olla 1/3-osa valaistuksesta jatkuvasti päällä ja henkilön saapuessa tiloihin, syttyisi valaistus täydelle tehollaan. Tällöin sähköä kuluisi jatkuvasti se 1/3 valaistuksen tehosta, mutta koko ympäristö olisi ”hämärästi” valaistu. Käyttäjille tämä toisi lisää turvallisuuden tunnetta, kun näkisi koko ympäristön./25/

7.2 Toriparkin valaistuksenohjauksen esimerkkisuunnitelma

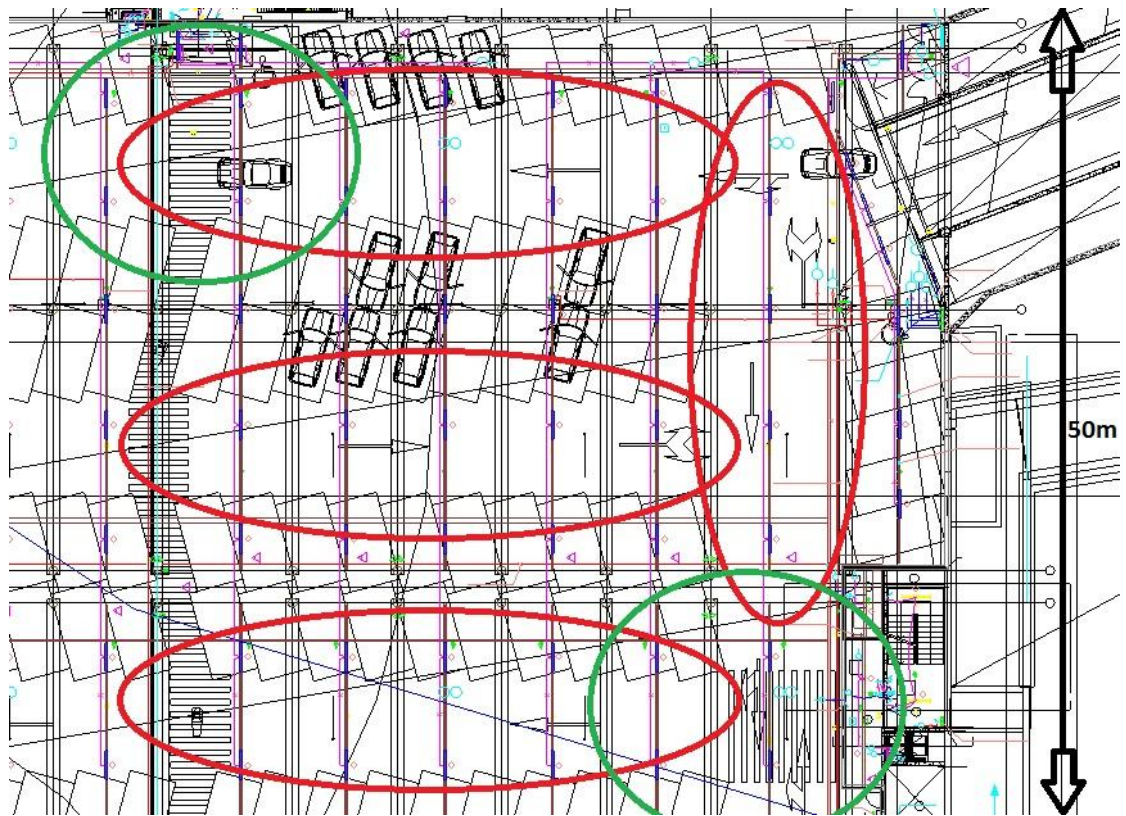
Tähän esimerkkisuunnitelmaan valitsin liikkeentunnistimeksi Nylundin valmistamat Luxomat 1. PD4-1C ja 2. PD4-1C-C liike- ja läsnäolotunnistimet. Nämä tunnistimet

ovat markkinoilla olevista tunnistimista laadukkaimmasta päästä ja pisimmälle liik-
keentunnistavia. Tunnistimien valvonta-alueet ϕ 2,5 metrin korkeudelle asennettuna
on istuttaessa 1. 6,4 m, 2. 7 m, säteen suunnassa 1. 12 m 2. 20 m ja sivusuunnassa 1.
24 m 2. 40 m. PD4-1C tunnistimen toiminta-alue on pyöreä 360 astetta, mutta PD4-
1C-C tunnistimen toiminta-alue on kapea, mikä mahdollistaa pidemmän toimintaetäi-
syyden. Kuvassa 30 on esitettyinä näiden tunnistimien toiminta valvonta-alueelle lä-
hestyttäessä./26/



KUVA 30. Vasemmalla PD4-1C ja oikealla PD4-1C-C valvonta-alueet./26/

Näiden tunnistimien ominaisuudet huomioon ottaen, voidaan toriparkkiin suunnitella
valaistuksenohjaus mahdollisimman pienellä määrällä tunnistimia. Ajoväylille tulisi
asentaa kapean toiminta-alueen tunnistimia sekä jalankulkutiet sisään ja ulos tulisi
kattaa pyöreän toiminta-alueen tunnistimilla. Kuvassa 31 on mallinnettuna suunnitte-
luidean periaate, jolla valaistuksenohjaus olisi toteutettavissa.



KUVA 31. Toriparkin 1/4-osan valaistuksen suunnitelma Luxomat PD4 liike- ja läsnäolotunnistimilla. Punaisella kapean valvonta-alueen PD4-1C-C ja vihreällä pyöreän PD4-1C.

Tällä tavalla tunnistimet asennettuna valaistuksenohjauksen alueellistaminen kannattaa kerroksessa tehdä esimerkiksi 8 eri alueeseen porrastetusti eli, kun autolla ajaa sisään, syttyy 1/8-osa hallin valaistuksesta juuri siltä alueelta, missä liikutaan. Tämän alueen rajoilla tulisi olla seuraavan alueen tunnistimien valvonta-alue, jotta seuraavalle alueelle päästäisiin liikkumaan valaistuksessa. Jalankulkuväylien valaistus voitaisiin myös erikseen ohjata tarkemmin väylälle asennettavilla tunnistimilla, mutta siihen tarkoitukseen jouduttaisiin hankkimaan lisää tunnistimia.

Valaistuksenohjauksessa olisi mahdollista myös käyttää hyödyksi nykyistä yövalaistuksen mahdollistamaa 1/3-osan valaistusta, joka voisi toimia tilan yleisvalaistuksena kokoajan ja liikettä havaitessa valaistus kirkastuisi täydelle tehollensa. Jos tämä 1/3-osan valaistus säädettäisiin vaihtamaan esimerkiksi päivittäin valaistusta toiselle 1/3-osalle valaistusta, niin pystyttäisiin optimoimaan jokainen valaisin toimimaan saman ajan vuodessa, kun ei oteta ohjauksista johtuvaa valojen palamista huomioon.

Ennen liiketunnistimien asennusta on tehtävä valaistuksenohjaus suunnitelma tarkasti, jotta suuremmilta ongelmilta välttyttäisiin. On kartoitettava nykyisten keskusten päivitys mahdollisuudet valaistuksen paikallisohjaukseen, ja jos näiden tila ei riitä, on asennettava uusia ohjauskeskuksia. Tähän perinteiseen liiketunnistinjärjestelmään ei keskuksen sisään tarvitsisi asentaa kuin perinteisiä ohjausreleitä ja kontaktoreita, joilla saataisiin porrastettua valaistusta toivotulla tavalla.

Tämän kokoisen ohjauksen suunnitteluun ja toteutukseen vaaditaan niin suunnittelijan kuin sähköasentajien työtä kymmeniä tunteja, ihan suunnitelman ja sen aiheuttamien muutosten mukaan, mutta energiakuluissa tällainen perinteinen valaistuksenohjaus maksaa varmasti itsensä takaisin jossain vaiheessa. Takaisinmaksun nopeus riippuu tässä tapauksessa periaatteessa vain toriparkin käyttösuhteesta. Energiansäästön kannalta kannattaa myös miettiä, onko kannattavaa antaa toriparkkiin sisään ajaville asiakkaille tietoa ylemmän tason tyhjästä parkkiruuduista, jolloin turhaa alempaan kerrokseen ajoa voidaan välttää.

On paljon erilaisia mahdollisuuksia suunnitella tällainen perinteinenkin liiketunnistinohjaus ja tämä on vain yksi esimerkki. Seuraavassa kappaleessa 8 olen laskenut elinkaarikustannukset liikkeentunnistukselle ja sen mahdollistamat säästöt erilaisilla toriparkin käyttösuhteilla. Liiketunnistimien määrän toriparkkiin olen laskenut kuvassa 30 olevan esimerkkisuunnitelman pohjalta kertomalla määrän 8:lla ja ottaen lisäksi huomioon sisääntulojen vaatimat tunnistimet.

8 ELINKAARIKUSTANNUSLASKENTA

Toriparkin nykyinen T5-loisteputkivalaistus on rakennettu vuosien 2010–2011 aikana. Tässä tapauksessa elinkaarikustannuslaskenta on hyvä aloittaa vertaamalla olemassa olevaa valaistusta tarjottuihin vaihtoehtoihin, sillä nykypäivänä led-valaistus kehittyy hurjaa vauhtia ja jatkuvasti toisistaan parempia valaisimia tulee markkinoille. Laskelmia tehdessä on hyvä pitää mielessä, että olemassa olevaa valaistusta kannattaa ehkä hyödyntää vielä yhden- tai kahden putkien vaihtokerran ajan, jolloin led-valaistus on ottanut nykypäivän trendin mukaan taas pitkän harppauksen kehityksessä ja säästöä saa mahdollisesti nopeammin verrattuna nykypäivän led-tekniikkaan. Mutta toisin ajatellen mitään säästöä nykytilaan ei tule, jos asialle ei mitään tee.

8.1 Elinkaarikustannuslaskennan perusteet

Valaistuksen elinkaarikustannuslaskelmassa (Life Cycle Costs, LCC) tarkastellaan kaikkia yhteenlaskettuja kustannuksia valaistuksen koko elinkaaren aikana, sen valmistuksesta käytöstä poistamiseen asti. Elinkaaren aikana syntyvät kustannukset on hyvä jakaa kahteen eri lohkoon: vuotuisesta käyttöajasta riippumattomiin kiinteisiin kustannuksiin ja siitä johtuviin muuttuviin kustannuksiin. Nämä kustannukset edelleen pienempiin lohkoihin jaoteltuna auttaa käsittämään kokonaiskustannusten jakautumisen.

Esimerkiksi kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin voidaan käyttää jaottelua:

- Kiinteät kustannukset
 - o Valaistuksen hankintakustannukset
 - o Tarvikekustannukset
 - o Asennuskustannukset

- Muuttuvat kustannukset
 - o Energiankulutus
 - o Lamppukustannukset
 - o Huolto- ja korjauskustannukset/3 s.297–298/

Tarkassa elinkaarilaskennassa on otettava huomioon diskontata tulevaisuudessa syntyvien kustannusten arvo nykyhetkeen, jotta valaistuksen hankinta- ja käyttökustannuksia voitaisiin tarkasti vertailla. Valaistukseen sijoitetun pääoma kustannusten diskonttokorkona käytetään usein markkinakorkoa, mutta on myös otettava huomioon sähkön ja sen siirtohinnan mahdolliset korotukset sekä lisäksi laitteistojen vaatimien huoltotarvikkeiden ja -työn hinnannousu olisi arvioitava laskuissa.

Yleensä elinkaarilaskuista saadaan riittävän tarkkoja hieman yksinkertaistamalla niitä. Voidaankin olettaa, että energian, tarvikkeiden ja työn kustannukset nousevat vuosien myötä, ja jos näiden hintojen nousu kompensoi suunnilleen investoinnin koron vaikutuksen, saadaan elinkaarilaskennasta yksinkertaisempi.

Elinkaarilaskentaa hankaloittaa myös nykyajan led-valaistuksen vertaaminen tulevan 10 vuoden aikana kehittyvään led-valaistukseen. Vanhempien jo pidempään markkinoilla olleiden valaisintyyppien vertailu on nykypäivänä helpompaa, kun tiedetään niiden hinnankehityksen suunta pidemmältä aikaväliltä ja osia on saatavana pitkälle tulevaisuuteen, kunhan valaistuksen energiatehokkuus on vain viranomaisten mieleen.

Led-valaistuksessa valonlähteen eliniän jälkeisten kustannusten laskenta on vaikeaa, koska ei tiedetä, onko kyseiseen valaisimeen saatavana huolto-osia (valonlähde, liitäntälaitte tai rungonosia) silloin, kun ryhmävaihtohuolto tulee ajankohtaiseksi noin 10 vuoden kuluttua. Tänä aikana valmistaja on voinut vaihtaa esimerkiksi valaisimen runkoa, ja jos kyseessä olevaan vanhaan malliin ei saa päivitettyjä osia niin joudutaan uusimaan koko valaisin runkoineen.

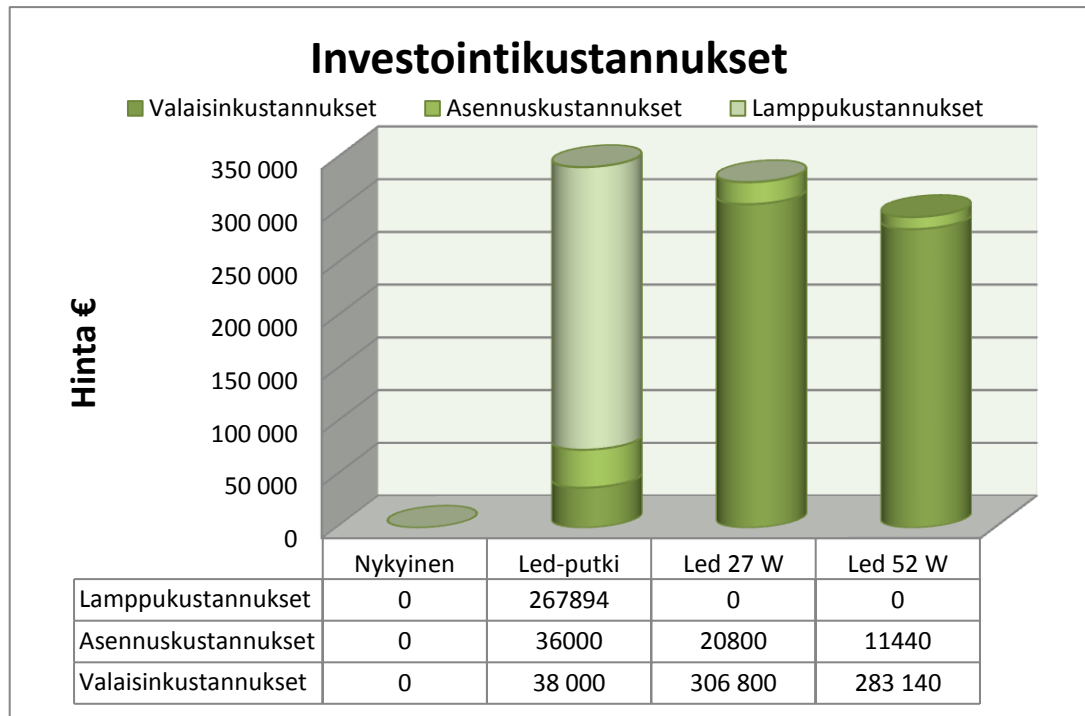
Omasta mielestäni tällä hetkellä on järkevintä verrata kustannusten hintaa ja takaisinmaksun aikaa led-valaistuksen oletettavissa olevan eliniän mukaan. Arvion mukaan koko led-valaistuksen huollolle voidaan olettaa hinnaksi noin 40 % tämän hetkisestä investointihinnasta. Tällä tavoin saadaan melko hyvä kuva uuden valaistuksen elinkaarikustannuksista verratessa sitä vanhempaan tekniikkaan. Valmistajan luvatta led-valaistukselle sopusuhteisissa olosuhteissa eliniäksi 80 000 tuntia valovirran aleneman ollessa alle 20 %, voidaan karkeasti todeta, että valaisin kestää jatkuvaa käyttöä ainakin 10 vuoden ajan./27/

8.2 Toriparkin nykyisen valaistuksen ja led-vaihtoehtojen elinkaarilaskenta

Nykyisen valaistuksen ja led-vaihtoehtojen elinkaarilaskentaan sisältyy investointikustannusten eli kiinteiden kustannusten ja käyttökustannusten eli muuttuvien kustannusten laskennat. Yhdistettynä nämä, saadaan laskettua kokonaiskustannukset eli elinkaarinaikana syntyvät kustannukset. Tähän työhön laskin kokonaiskustannukset 20 vuoden ajaksi sekä led-valaisimen 80 000 tunnin eliniän mukaan. Yksinkertaistin laskelmia, joten en ottanut huomioon mahdollisia kustannusten nousuja olettaen, että investoinnikorko kattaisi ne.

8.2.1 Investointikustannukset

Investointikustannukset nykyiselle valaistukselle ja ehdotetuille vaihtoehdoille on tarkemmin eroteltuna liitteessä 3. Investointikustannukset jaoin kolmeen eri lohkoon: Valaisinkustannuksiin, Lamppukustannuksiin ja Asennuskustannuksiin. Taulukko 9 sisältää investointikustannusten kokonaiskustannukset tuotteiden suositushinnoilla arvonlisävero 23 % mukaan lukien.

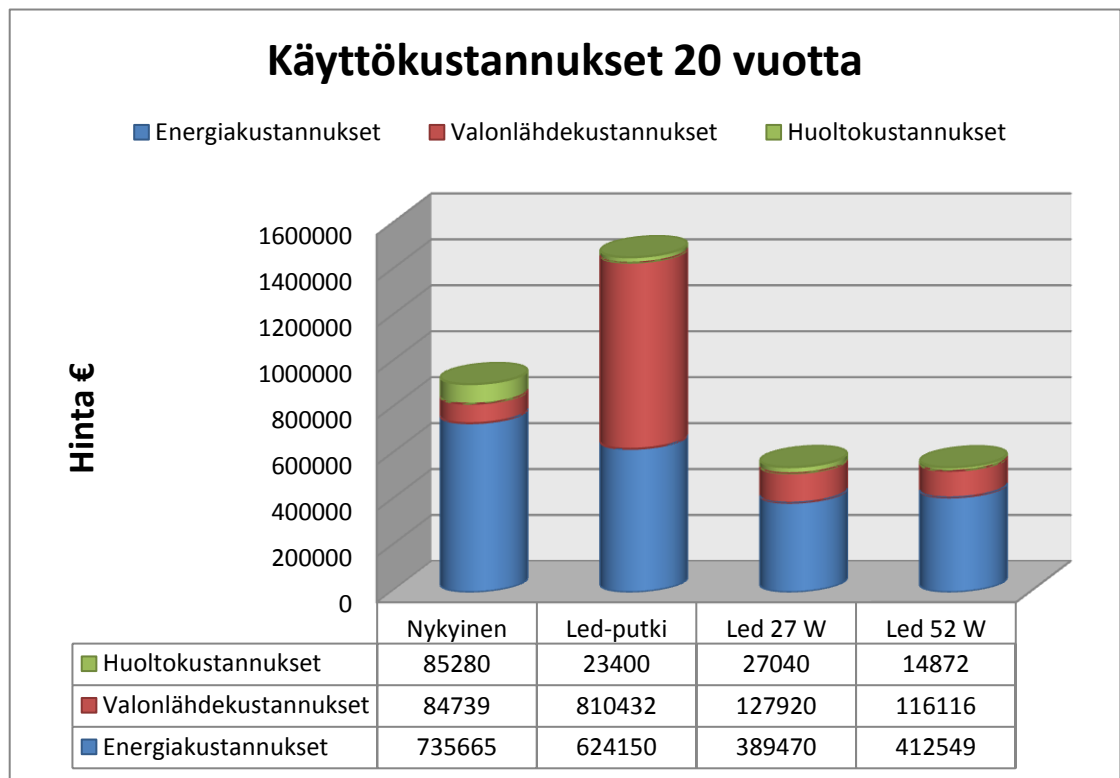


TAULUKKO 9. Investointikustannukset tuotteiden suositushinnoilla arvonlisävero 23 % mukaan lukien.

Nykyinen valaistus on jo valmiiksi olemassa ja asennettuna, niin sillä ei ole investointikustannuksia lainkaan. Vaihtoehtojen kustannukset on laskettu tuotteiden suositushinnoilla, eikä niissä ole otettu huomioon mahdollisia paljousalennuksia. Philipsin led-putkien valaisimille annettu 100€ hinta on nykyisen valaisinrunгон hinta, joita tulisi asentaa lisää 380 kappaletta, jos led-putkiin siirryttäisiin. Easy Ledin 27 W:n ja 52 W:n vaihtoehtojen lamppukustannukset on 0€, koska valonlähde tulee valaisimen mukana.

8.2.2 Käyttökustannukset

Seuraavaksi laskin nykyiselle valaistukselle ja vaihtoehdoille käyttökustannukset, jotka ovat tarkemmin eroteltuna liitteessä 3. Erotin käyttökustannukset kolmeen eri lohkoon: Energia-, Valonlähde- ja Huoltokustannuksiin. Nämä kaikki yhteenlaskettuna saadaan käyttökustannukset. Kaikille kolmelle käyttökustannukselle laskin myös niiden yhden vuoden ja 20 vuoden käyttö hinnat erikseen. Taulukossa 10 on valonlähteiden käyttökustannukset 20 vuodelle. Hinnat on laskettu tämän hetken(2012) markkinahinnoilla arvonlisävero 23 % mukaan lukien.

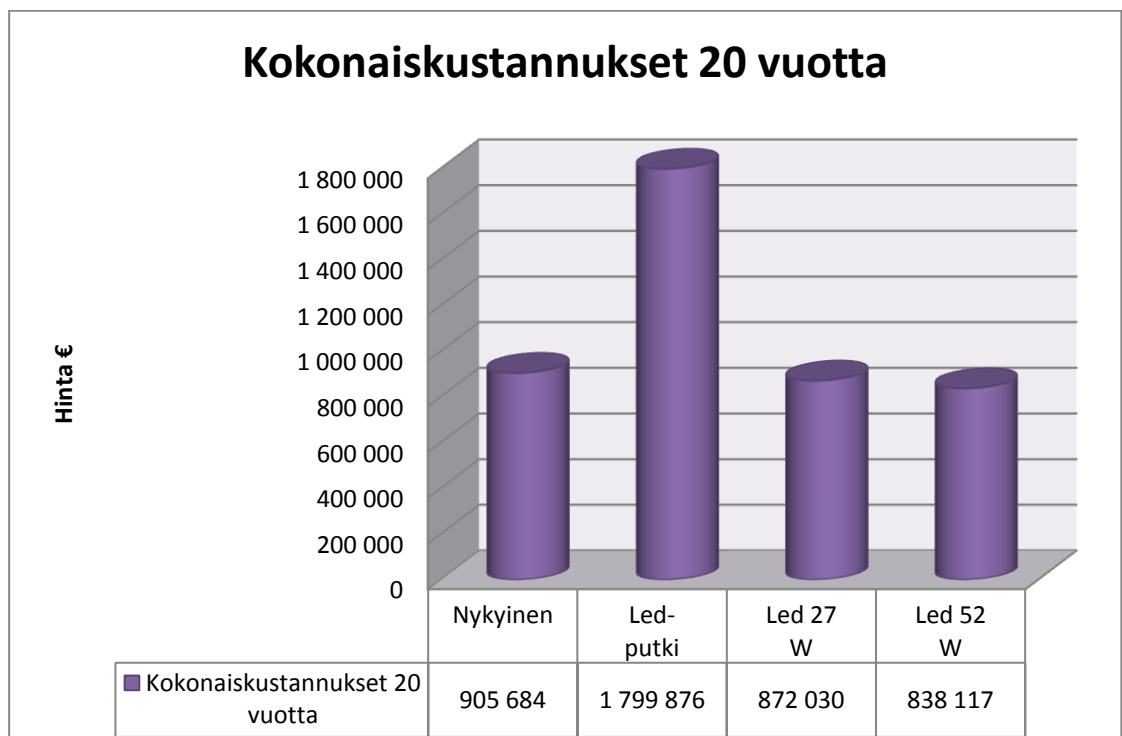


TAULUKKO 10. Käyttökustannukset 20 vuodelle.

Easy ledin liitäntälaitteiden valmistaja on speksannut laitteilleen jatkuvan käytön kestävyudeksi 42 vuotta, joten nykyisellä toriparkin valaisinten käyttömäärällä liitäntälaitteet toimisivat 53 vuotta. Valaisimen runko olisi oletettavasti vielä hyödynnettävissä ainakin sen ensimmäisen huollon aikaan, joten pääpaino huollon suhteen on kiinnitettävä led-elementin vaihtokustannuksiin sen eliniän loppuun tullessa. On erittäin vaikea arvioida tulevia hinnan muutoksia, mutta Easy Ledin edustajan arvion mukaan voidaan tämän 80 000 tunnin valaistushuollon arvoksi laskea noin 40 %:a valaistuksen nykyarvosta./27/

8.2.3 Kokonaiskustannukset

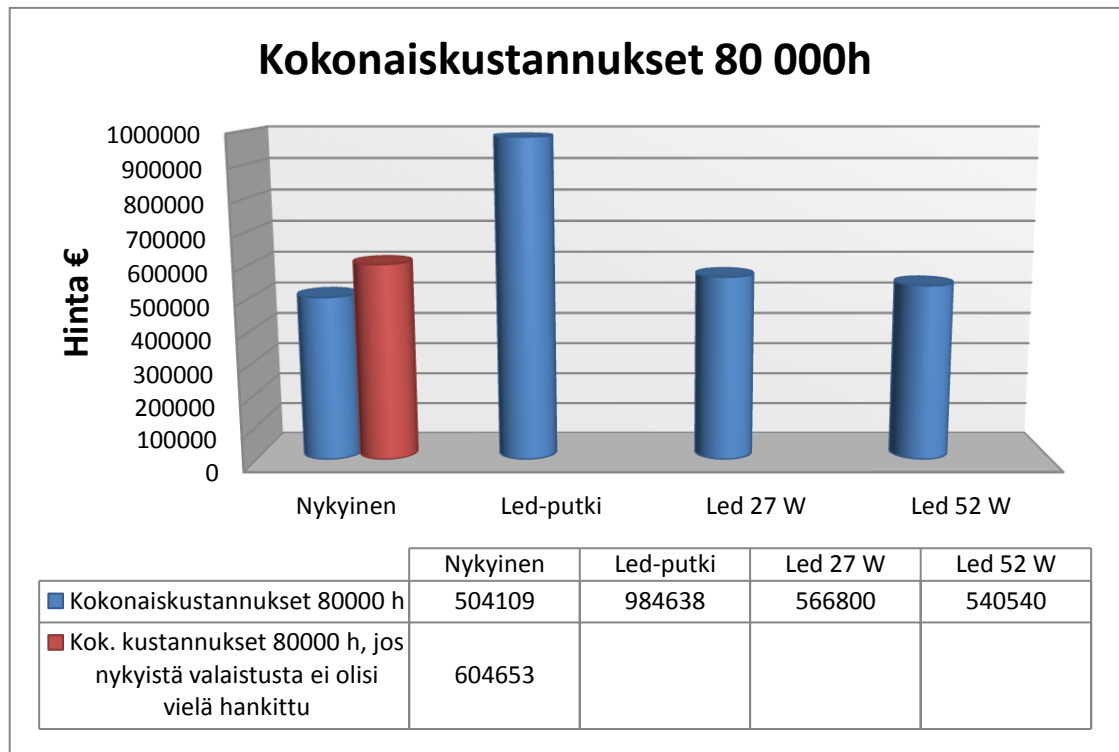
Kokonaiskustannuksiin kuuluvat investointikustannukset sekä käyttökustannukset eli voidaan puhua elinkaarikustannuksista, kun lasketaan nämä kustannukset yhteen oletetulle valaistuksen eliniälle. Taulukossa 11 on kustannukset 20 vuodelle. Tästä voidaan todeta, että nykyisen valaistuksen ja led 52 W kustannukset ovat melko lähellä toisiaan. Täytyy vaan huomioida, että ehdotettujen vaihtoehtojen investointikustannukset ovat tässä laskussa mukana. Paras vaihtoehto led 52 W tekisi säästöä investointikustannuksineen 20 vuodessa nykyiseen verrattuna 67 567 euroa, ja jos huomioidaan näiden molempien eli nykyisen ja led 52 W investointikustannukset, saadaan led 52 W kannattavammaksi vaihtoehdoksi 168 111 euron erotuksella.



TAULUKKO 11. Kokonaiskustannukset 20 vuoden ajalle.

Mielestäni saadaan paljon tarkempi kuva kokonaiskustannuksista, kun verrataan nykyistä valaistusta 80 000 tuntia kestäviin led-valaisimiin ja otetaan tämä elinikä elinkaarikustannuslaskennan ajaksi. Kun mietitään, että nykyisiä loisteputkivalaisimia joudutaan huoltamaan led-valaistuksen eliniän aikana mm. 4 x valonlähteiden ja 1 x liitäntälaitteiden ryhmävaihto. 80 000 tunnin palo aika vastaisi tällä nykyisellä aikaohjauksellakin yli 11,5 vuoden palo aikaa.

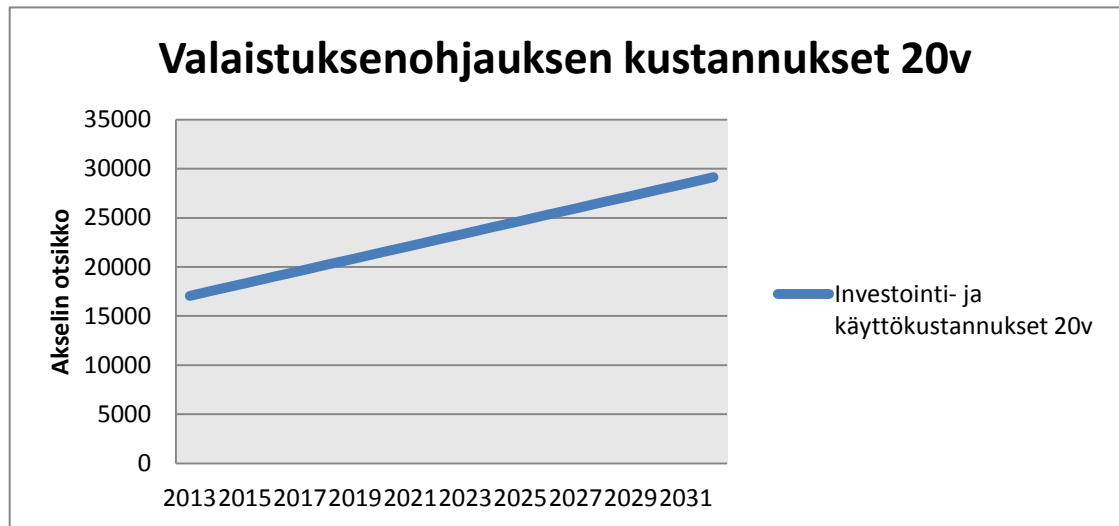
Taulukossa 12 on kokonaiskustannukset valaistukselle tilanteessa, jossa 80 000 tunnin ledien elinikä on lopussa sekä tilanteessa, jossa nykyistä valaistusta ei olisi vielä hankittu. Tästä voidaan todeta Led 52 W olevan vaihtoehtoista järkevin, mutta ei korvaa vielä itseään suurien investointikustannusten takia ja jää vielä miinukselle 36 431 €. Jos nykyistä valaistusta ei olisi hankittu, niin led 52 W olisi 11,5 vuoden jälkeen kokonaiskustannuksissa 64 113 € voitolla.



TAULUKKO 12. Kokonaiskustannukset 80 000 h ja tilanteessa, jossa nykyistä valaistusta ei olisi vielä hankittu.

8.3 Valaistuksenohjauksen elinkaarilaskenta

Valaistuksenohjauksen elinikä tulisi olemaan ainakin nykyisen tiloissa olevan valaistuksen eliniän mukainen ja sitä voitaisiin mahdollisesti hyödyntää myös jatkossa. Ohjauksen elinkaarilaskelma koostuu järjestelmän investointikustannuksista sekä käyttökustannuksista. Käyttökustannukset valaistuksenohjauksessa johtuvat pääasiassa sen komponenttien huollon ja puhdistuksen aiheuttamista kustannuksista, sillä sähköä ne eivät vie nimeksikään. Seuraavassa taulukossa 13 on aiemmin tekemäni esimerkki suunnitelman investointi- ja käyttökustannukset 20 vuodelle. Liitteessä 3 on valaistuksenohjauksen elinkaarilaskenta, jossa hinnat ovat laskettu tuotteiden suositushinnoilla ja ne sisältävät 23 % alv:n.



TAULUKKO 13. Valaistuksenohjauksen investointi- ja käyttökustannukset 20 vuodelle.

Ohjaamalla toriparkin valaistusta sen käyttötarpeen mukaan, voidaan kuvitella säästöjä tulevan vilkkaana päivänä noin 10 % ja hiljaisempina aikoina noin 30 %. Taulukossa 14 on laskettu, minkälaisia säästöjä valaistuksenohjauksella pystytään saavuttamaan eri käyttöasteilla ja valaisin vaihtoehdoilla vuoden ja 20 vuoden aikana.

Energiakustannukset vaihtoehdoille		Nykyinen	Led-putki	Led 27 W	Led 52 W
Vuodessa	eur	36783	31208	19473	20627
20 vuodessa	eur	735665	624150	389470	421549
Valaistuksenohjauksen mahdollistama säästö eri käyttöasteilla					
10 %	eur/v	3678	3121	1947	2063
	eur/20v	73567	62415	38947	42155
20 %	eur/v	7357	6242	3895	4125
	eur/20v	147133	124830	77894	84310
30 %	eur/v	11035	9362	5842	6188
	eur/20v	220700	187245	116841	126465

TAULUKKO 14. Valaistuksenohjauksen mahdollistamat säästöt 10, 20 ja 30 prosentin käyttöasteilla.

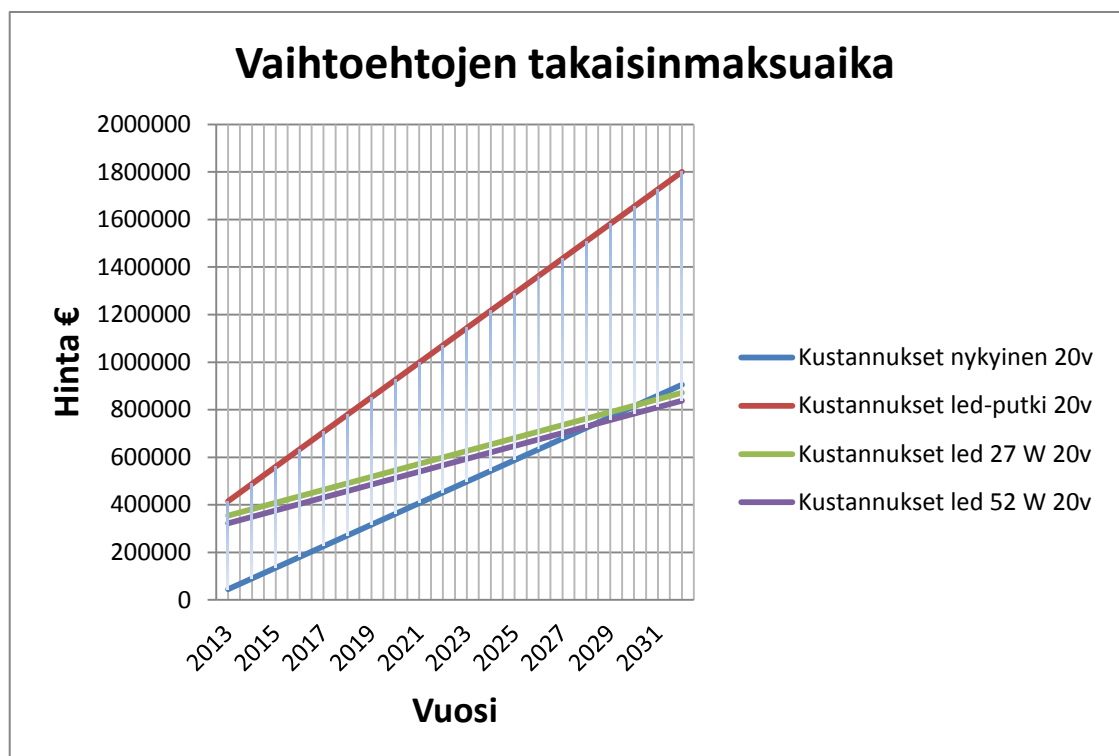
8.4 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajalla tarkoitetaan aikaa, jossa uusi valaistus tai valaistuksenohjaus maksaa itsensä takaisin ja alkaa tehdä säästöä vanhoihin kustannuksiin nähden. Valaistuksen takaisinmaksuaika riippuu pääasiassa uuden valaistuksen energiatehokkuu-

desta, mutta myös muiden käyttökustannusten vaikutus täytyy ottaa huomioon. Tällaisessa tilanteessa, jossa valaistus vaihdettaisiin kokonaan, on myös uusien valaistusvaihtoehtojen investointikustannukset huomioitava takaisinmaksuajassa.

8.4.1 Valaistusvaihtoehdot

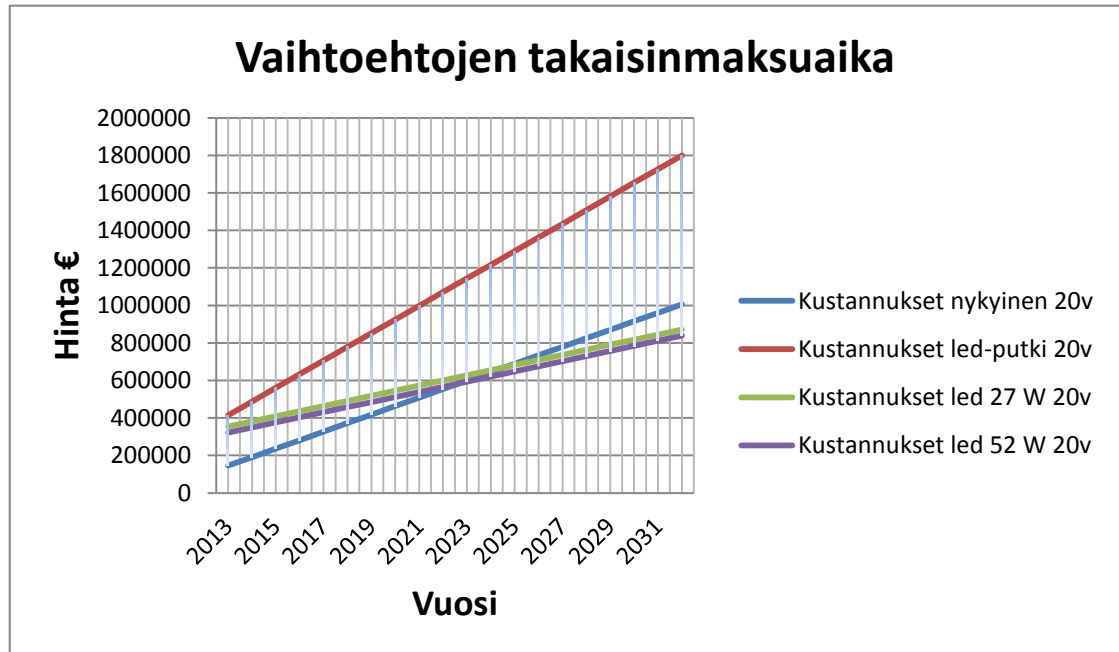
Jo ainoastaan toriparkin nykyisen loisteputkivalaistuksen muuttaminen LED-valaistukseksi toisi tekemieni laskemien mukaan parhaalla vaihtoehdolla energiansäästöjä noin 45 % ja samalla koko käyttökustannukset laskisivat yhteensä noin 40 % vuositasolla. Liitteen 3 elinkaarilaskelmasta selviää kokonaiskustannusten jakautuminen nykyisellä sekä LED-vaihtoehdoilla. Taulukossa 15 on vaihtoehtojen takaisinmaksuaika investointikustannukset huomioiden. Parhaan LED 52 W vaihtoehdonkin takaisinmaksuaika tulisi olemaan noin 15 vuotta suuren investointikustannuksen vuoksi. LED-putki ei tulisi maksamaan itseään takaisin nykyiseen verrattuna ollenkaan, koska sen elinikä on vain puolet näiden parhaiden LED-valaisimien eliniästä sekä hankintahinta on verrattain korkea.



TAULUKKO 15. Vaihtoehtojen takaisinmaksuaika investointikustannuksineen.

Jos nykyistä loisteputkivalaistusta ei olisi vielä hankittu, niin takaisinmaksuaika lyhenisi laskelmieni mukaan 10 vuoteen. Tämä on todettavissa taulukosta 16, johon olen

lisännyt nykyisen valaistuksen investointikustannukset. 52 W led-valaisin rupeaisi siis tuottamaan tässä vaiheessa voittoa, mutta 10 vuoden käytön jälkeen lähestyvä valonlähteiden huolto olisi tehtävä lähivuosina. Tämä tekee pienen notkahduksen käyttökustannuksiin, mutta pitäisi investoinnin tämän hetkisten tietojen mukaan hyvinkin kannattavana.



TAULUKKO 16. Vaihtoehtojen takaisinmaksuaika, kun lisäksi otetaan huomioon nykyisen valaistuksen investointikustannukset.

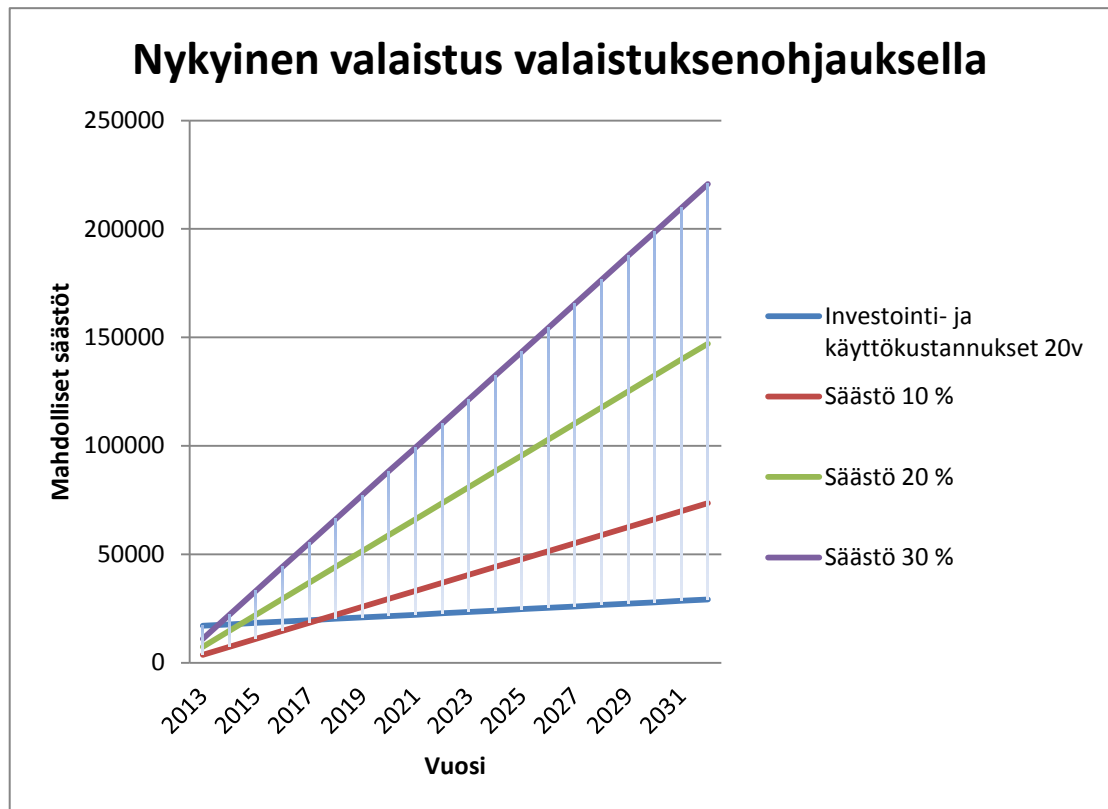
Takaisinmaksuaika lyhentyisi entisestään näillä kahdella Easy Led Oy:n vaihtoehdolla, kun laskuissa otettaisiin huomioon mahdolliset valaisimien paljousalennukset. Lisäksi on myös mahdollista hakea energiatukea valaistuksen muuttamisesta energiataloudellisempaan suuntaan Suomen työ- ja elinkeinoministeriöltä. Näiden etuuksien avulla led-valaistuksen takaisinmaksuaika lyhentyisi investointikustannusten laskiessa arvioiden mukaan noin 30 %, mikä lyhentäisi takaisinmaksuajan taulukon 15 tilanteesta noin 10 vuoteen ja taulukon 16 tilanteessa noin 7 vuoteen./29/

8.4.2 Valaistuksenohjaus

Valaistuksenohjauksella saavutettavat säästöt kohdistuvat pääasiassa valaistuksen energiansäästöihin, mutta toisaalta se myös pidentää valaistuksen elinikää ja näin ollen pidentää valaistuksen huoltoväliä. Valaistuksenohjaus tulisi olemaan led-valaistuksen kanssa erittäin kustannustehokas vaihtoehto ja lisäksi se syttyy heti liike-

tunnistimen havaittua liikettä. Ohjaus sopisi hyvin myös nykyiselle valaistukselle, mutta valaistus syttyisi hieman hitaammin led-valaistukseen verraten. Näiden T5-loisteputkien elektroninen liitäntälaitte tekee sytytyksen alussa putkille yhden sekunnin esilämmityksen, jonka avulla niiden elinikä ei laske.

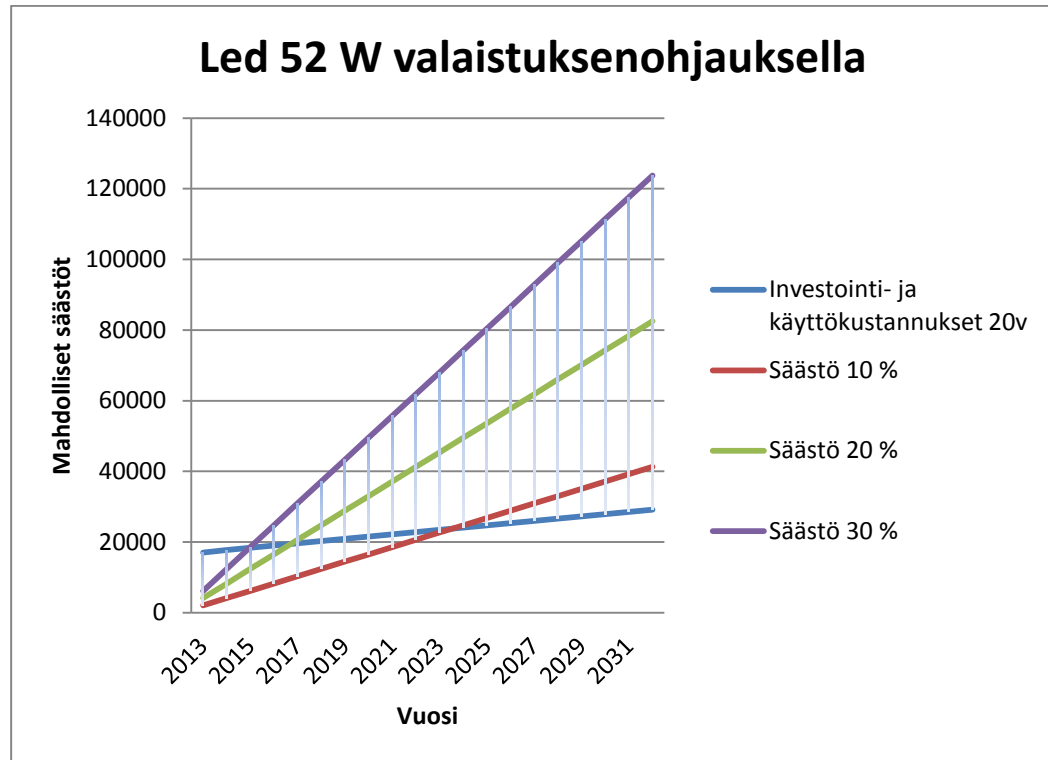
Nykyiselle valaistukselle liiketunnistinohjaus asentamalla voidaan saavuttaa energiansäästöjä toriparkin käyttösuhteen mukaan. Yleisesti parkkihallitiloissa on päästy 10–30 % energiansäästöön. Taulukossa 17 on liiketunnistinjärjestelmän mahdollinen takaisinmaksuaika eri käyttösuhteilla. 10 %:n energiansäästöillä valaistuksenohjaus maksaisi itsensä takaisin 4 vuodessa ja 20 %:n alle 2 vuodessa. 20 vuoden aikana säästöä kertyisi 10 % energiansäästöillä noin 45 000 € investointi- ja käyttökustannukset huomioon ottaen.



TAULUKKO 17. Nykyisen valaistuksen tuottama säästö valaistuksenohjauksella sekä takaisinmaksuaika.

Optimaalisimmalla Led 52 W-valaistuksella energiansäästöä syntyisi hieman hitaammin, koska energiankulutus on noin 45 % pienempi kuin nykyisellä valaistuksella. Taulukosta 18 voidaan todeta, että 10 % energiansäästöillä valaistuksenohjauksen ta-

kaisinmaksu tapahtuu vasta noin 10 vuoden kuluttua, mutta 20 % jo 4 vuodessa. 20 vuodessa säästöä kertyisi 10 % energiansäästöllä noin 13 000 €.



TAULUKKO 18. Led 52 W-valaistuksen tuottama säästö valaistuksenohjauksella sekä takaisinmaksuaika.

9 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Led-valaistus on tänä päivänä murrosvaiheessa ja parhaimpien kuluttajille suunnattujen led-valaisimien valotehokkuus on ylittänyt perinteisen loisteputken valotehokkuuden. Tämä on lisännyt valmistajien kiinnostusta energiatehokkaiden ledien kehitykseen yleisesti ja yhä useammat suuret valaisinvalmistajat ovat siirtyneet kehittämään led-valaistusta vanhojen valaistustapojen rinnalla ja osa on jopa kokonaan siirtynyt led-valaistukseen. Lisäksi markkinoille on tullut paljon uusia, pelkästään led-tekniikkaan keskittyneitä yrityksiä, joista suurimmat valmistavat itse tuotteensa. Osa näistä yrityksistä toimii vain tuotteiden maahantuojana sekä jälleenmyyjänä. Ledistä on kehittymässä tulevaisuuden yleisin valaistustapa vääjäämättä, mistä kertoo myös Frankfurtin 2012 valaistussessujen sisältö, joka koostui pääasiassa led-valaistus tuotteista./27/

Led-valaistuksella saadaan tänä päivänä toteutettua hyvin tasainen ja laadukas yleisvalaistus niin ulko- kuin sisätiloissa. Ledin optiikka on hyvin säädettävissä valaistuksen tarpeen mukaan spottimaisesta valosta laajakulmaiseen valoon. Myös led-valon tuottamaa värilämpötilaa voidaan muuttaa helposti ledin materiaaleja hieman muuttamalla. Värintoistokyky on laadukasta nykyisellä värintoistoindeksillä arvioiden, mutta valitettavasti se ei kerro kokototuutta sen värintoistosta. Led-valon spektrissä on yksi notkahdus ja se tuottaa suhteessa yhtä värilämpötilaa paljon enemmän muihin verrattuna. Elinikä led-valaistuksella pysyisi hyvin korkeana käytettäessä hyvin jäähdytettyjä vakavoidulla virtalähteellä syötettyjä teholedejä, joiden käyttölämpötila pysyisi suosituksissa ja syöttövirta olisi tasaista.

Opinnäytetyöni tavoitteena oli löytää toriparkkiin led-valaisin, mikä soveltuisi asennettavaksi nykyisten valaisimien paikalle ja tuottaisi saman valaistusvoimakkuuden energiakustannuksia laskemalla. Työssä ehdotetuista led-vaihtoehtoista mikään ei pystynyt tuottamaan loisteputkivalaisimen tilalle asennettuna samaa valaistusvoimakkuutta, mutta lähelle päästiin. Paras ja optimaalisin toriparkkiin ehdottamistani valaisinvaihtoehtoista olisi kolmas Easy Led Oy:n valmistama Pro 200 Dragon. Tällä valaisimella päästäisiin tasaisempaan ja valaistusvoimakkuudeltaan nykyistä vastaavaan valaistukseen 10 %:n valaisimien lisäyksellä. Vaikka valaisimia lisittäisiinkin, sähkönkulutus laskisi noin 45 % nykyiseen verraten. Elinikä nykyisellä aikaohjauksella tulisi olemaan vähintään 11,5 vuotta eli nelinkertainen nykyisiin verrattuna, ja jos paikallisohjaus toteutettaisiin samalla, elinikä nousisi tästäkin.

Ensimmäinen vaihtoehto Philipsin LED-valoputki olisi hankala toteuttaa, koska se vaatisi valaistukselle kytkentä- ja osamuutoksen sekä tyyppihyväksynnän ja tyyppikilven muutosten jälkeen. Lisäksi valaistusvoimakkuus tippuisi lähes puoleen nykyisestä, mikä vaatisi valaisinten lisäyksen noin 900 kappaleeseen, jotta 150 luksin suositus täytyisi. Tämä LED-valoputki voisi ajaa asiansa pienemmässä tilassa, jossa olisi valmiina T8-loisteputkivalaistus ja näin ollen asennus onnistuisi suoraan ilman radikaalimpia muutoksia.

Toinen vaihtoehto Easy Led Oy:n Pro 100 Dragon valaisin sopisi tilaan muuten mainiosti, mutta 150 luksin valaistusvoimakkuuden saavuttamiseen tarvittaisiin tuplamäärä valaisimia nykyiseen 520 kappaleeseen verrattuna. Tämä valaisinmäärä nostaisi

valaistuksen huoltokustannuksia ja samalla vikaerkyys kasvaisi. Asennuskustannukset tulisivat olemaan myös noin puolet suuremmat.

Toriparkin led-valaistusmuutoksen takaisinmaksuaika on suurien investointikustannusten vuoksi melko pitkä. Nykyinen T5-loisteputkivalaistus on vielä tällä hetkellä hyvin kustannustehokas vaihtoehto, joten led-valaistuksen tuottamalla säästöillä ei saada nopeasti loisteputkivalaistuksen kustannuksia kiinni. Jos kohteeseen saisi Suomen työ- ja elinkeinoministeriöltä energiatukea ja valaistuksen hankinnasta mahdollisia paljousalennuksia, tulisi investoinnista kannattavampi ja takaisinmaksuaika lyhenisi. Myös nykyisen valaistuksen jälleenmyynnillä voitaisiin kattaa osa led-valaistuksen kustannuksista.

Tällä hetkellä olisi varmasti järkevintä etsiä sellainen led-vaihtoehto, jolla investointikustannukset pysyisivät suhteellisen matalina, jotta takaisinmaksuaika ei venyisi niin pitkäksi kuin näillä esittämilläni vaihtoehdoilla. On vain otettava tarkasti selvää led-valon laadusta, kun siirrytään pienempien valmistajien tuotteisiin.

Opinnäytetyöni aihe oli erittäin mielenkiintoinen ja osaltaan melko haastava. Markkinoilla on nykypäivänä todella paljon led-tekniikka alan yrittäjiä, joten on oltava hyvin tarkkana tuntemattomampien markkinoijien ”ehkä hieman” ylitseampuvissa puheissa tekniikan kestävyyttä koskien. Kävin hyvin mielenkiintoisia keskusteluja työni aikana eri yrittäjien kanssa ja oli tosi opettavaista tutustua aiheeseen enemmän. Näitä tietoja tulen käyttämään myös jatkossa hyväksi tulevaisuuden työelämässäni.

LÄHTEET

1. Mikkelin Toriparkki. WWW-dokumentti. <http://www.mikkelintoriparkki.fi/>. Päivitetty 3.2.2011. Luettu 19.2.2012
2. Halonen, Liisa 1992. Valaistustekniikka. Jyväskylä: Otatieto Oy.
3. Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry ja Suomen Valoteknillinen Seura ry 1996. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto, Valaistustekniikka-sarja osa 1. Espoo: Sähköinfo Oy.
4. Valo. WWW-dokumentti. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Valo>. Päivitetty 21.1.2012. Luettu 24.1.2012.
5. Tiensuu, Antti 2010. Uusi valaistuskirja. Helsinki: LiCon-AT Oy.
6. Led-tekniikka. WWW-dokumentti. <http://www.limic.fi/html/led-tx.htm>. Päivitetty 15.2.2012. Luettu 24.2.2012.
7. Valaistushankintojen energiatehokkuus. Suomen Valoteknillinen Seura ry PDF-dokumentti. http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf. Päivitetty Toukokuu 2008. Luettu 15.3.2012.
8. Light Technicue. Glamox. <http://www.glamox.fi/glx/eCat/DataSheet.aspx?T=Lux/Glare&tabindex=0&ta bid=65&eCat=True&L=FI&M=4&CatID=100&MountID=103&ItemGroup=TXT008>. Päivitetty ei tiedossa. Luettu 16.3.2012.
9. Monokromaattinen säteily. Wikipedia fi. http://fi.wikipedia.org/wiki/Monokromaattinen_säteily. Päivitetty 13.5.2011. Luettu 26.1.2012.
10. Värintoistoindeksi. Wikipedia en. http://en.wikipedia.org/wiki/Color_rendering_index. Päivitetty 12.3.2012. Luettu 12.4.2012.
11. Valaistusvoimakkuus. Wikipedia fi. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Valaistusvoimakkuus>. Päivitetty 3.12.2011. Luettu 12.3.2012.
12. Hyvä valaistus. Työterveyslaitos. http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/hyva_valaistus/sivut/default.aspx. Päivitetty 8.12.2011. Luettu 25.3.2012.
13. Light Emitting Diode. Wikipedia en. http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode. Päivitetty 24.1.2012. Luettu 26.1.2012.

14. Calculator Displays. Vintagecalculators.
http://www.vintagecalculators.com/html/history_of_electronic_calculat.html.
Päivitetty 2012. Luettu 26.1.2012.
15. Ledwatches. Pulsar P1.
<http://www.ledwatches.net/photo-pages/pulsar-p1-tiffany.htm>
Päivitetty 2007. Luettu 26.1.2012.
16. TkT. Sami Suihkonen 2011. Leditekniikan kehitysvauhti hämmentää tutkijoi-
takin. Sähköala 9/2011. Artikkel. PDF-dokumentti.
http://www.sahkoala.fi/ajankohtaista/artikkeleita/valaistus/fi_FI/leditekniikan_kehitys/files/86245464101095570/default/Ledit_Sami_Suihkonen.pdf
Päivitetty 14.9.2011. Luettu 14.4.2012.
17. Hidealite 2012. LED valaisimet 2012. OEM Finland Oy.
18. Led-valoputket. Valtavalo.
<http://www.valtavalo.com/Tuotteet/LED-valoputket>
Päivitetty ei tiedossa. Luettu 22.4.2012.
19. Tuominen Aulis 2007. Professori. Turun yliopisto. Led-teknologia. Led1.
http://www.led1.fi/led_teknologia
Päivitetty 2007. Luettu 23.1.2012.
20. Pirkko Harsia 2010. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Dialux-koulutus.
http://www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/etuotanto/0505015/5nDLX7KfB/Dialux470_2010.pdf
Päivitetty 1.2.2010. Luettu 29.1.2012.
21. Philips valaistus 2012. <http://www.lighting.philips.fi/>
Päivitetty 3.4.2012. Luettu 3.4.2012.
22. Led-loisteputket. Elopart Oy.
<http://ledituonti.valmiskauppa.fi/documents/HinnastoLedputket.pdf>
Päivitetty 5.12.2010. Luettu 29.3.2012.
23. Philips Master LEDtube GA 1500mm.
http://www.ecat.lighting.philips.com/l/oem/led-systems/led-tubes/master-ledtube-ga/929000290408_eu/
Päivitetty 2012. Luettu 9.4.2012.
24. Pro-sarja Tekninen esite. Easy Led Oy. PDF-dokumentti.
<http://led1.fi/sites/default/files/PRO-sarja%20Tekninen%20esite%20FI%20LORES.pdf>
Päivitetty 11.3.2012. Luettu 10.4.2012.
25. Designing a Lighting Control System. WattStopper. PDF-dokumentti.
<http://www.wattstopper.com/getdoc/415/binderappintro0904.pdf>
Päivitetty 24.1.2005. Luettu 15.4.2012.

26. BEG Luxomat liike- ja läsnäolotunnistimet. Nylund. PDF-dokumentti.
http://www.nylund.fi/globalimg/ngj_liite/8076/PD4-1C%28-Corridor%29_FI.pdf
Päivitetty 6.6.2011. Luettu 15.4.2012.
27. Petteri Jauhiainen. Sähköposti- ja puhelinkeskustelut Helmi-Huhtikuu 2012.
Myynti. Easy Led Oy.
28. Riku Mäki. Sähköposti- ja puhelinkeskustelut Huhtikuu 2012. Myynti. Esylux Oy.
29. Työ- ja elinkeinoministeriö. Energiatuki.
<http://www.tem.fi/index.phtml?s=3091>
Päivitetty 13.10.2011. Luettu 27.4.2012.

Liite 1. Valon laatusuositukset erilaisissa tiloissa

Valaistusvoimakkuus (Lux) tasot ja valaistuksen laatuvaatimukset erilaisissa tiloissa

Esimerkkejä tilojen, alueiden, tehtävien ja toimintojen valaistusvaatimuksista

Alue	lx	ugr	Ra	huom!
Liikennealueet	100	28	40	150lx jos ajoneuvoja
Varastotilat	100	25	60	200lx jos jatkuva työ
Portaikot, ajoluiskat	150	25	40	
Käytävät	150	22	60	lattia tasolla
Vaate- ja kylpyhuoneet	200	25	80	
Wc, pesutilat ja kahvih.	200	25	80	
Kouluruokalat	200	22	80	
Lähetämö ja käsittelyalu.	300	25	60	
Sisäänajorampit	300	25	20	lattiatasolla
Vastaanotto	300	22	80	
Myyntialue	300	22	80	
Lastentarhat, luokat	300	19	80	
Luentosali, Liitutaulu,	500	19	80	
Toimistot, kassat	500	19	80	
Pakkaus, konekirjoitus	500	19	80	
Käsikirjoitus	500	19	80	4000K
Lukeminen, tietojenkäs.	500	19	80	näyttöpäätetyö
Neuvottelu- ja kokoush.	500	19	80	säädettävä valaist.
Tekninen piirtäminen	750	16	80	
Viimeistely, leikkuutyö	750	19	80	
Tutkimus, hoitotoimenp.	1000	19	90	
Laadun tarkkailu	1000	19	90	yli 4000K
Koristehionta, värin tark.	1000	16	90	yli 4000K
Elektroniikkapajat, testaus	1500	16	80	
Jalokivien valmistus, korut	1500	16	90	yli 4000K
Teräs ja kupari kaiverrus	2000	16	80	suuntaavuus
Leikkaus, ruumiinavaus	5000	-	90	ehkä yli 5000lx

Loisteputkia korvaavat led-valoputket todettu vaarallisiksi

20.4.2010

Loisteputkia korvaavissa led-valoputkissa on todettu erittäin vakava puute, joka vaarantaa lampun vaihtajan turvallisuuden. Led-valoputkea vaihdettaessa on mahdollista saada sähköisku putken toisesta päästä toisen pään ollessa kiinni lampunpitimessä.

Turvatekniikan keskus Tukes on testauttanut markkinoilta hankkimiaan led-valoputkia akkreditoituissa testauslaboratorioissa. Tähän mennessä saatujen tutkimustulosten perusteella kaikki testatut led-valoputket ovat olleet vaatimusten vastaisia, koska niistä aiheutuu sähköiskun vaara lampun vaihdon yhteydessä. Kaikki Tukesin testauttamamat led-valoputket ovat rakenteeltaan sellaisia, että ne voidaan asentaa standardinmukaisesti mitoitettujen loisteputkien tilalle tavallisiin loistelamppuvalaisimiin.

Testautetuissa led-valoputkissa 230 V:n jännite syötetään valaisimen loistelampunpitimien kautta valoputken päihin. Tällöin on vaarana saada sähköisku, koska lamppua vaihdettaessa toisen pään ollessa kiinni lampunpitimessä voi helposti koskettaa lampun toisen pään paljaita koskettimia, jotka ovat jännitteisiä led-valoputken välityksellä.

Led-valoputkia on markkinoitu sähköä säästävänä vaihtoehtona erilaisiin kohteisiin standardinmukaisen loistelampun tilalle. Valoputkia on markkinoitu myös useissa Internetin verkkokaupoissa.

Led-valoputken asentaminen valaisimeen edellyttää valaisimen rakenteeseen muutoksia. Valaisimesta on poistettava sytytin, jotta lamppu toimii. Usein myös kuristin neuvotaan ohitettavaksi tehohäviöiden pienentämiseksi. Muutettu valaisin ei jälkepäin enää sovellu alkuperäiseen käyttötarkoitukseensa. Led-valoputken asentaminen loistelampulle tarkoitettuun valaisimeen ei vastaa valaisinvalmistajan tarkoittamaa käyttöä. Valaisimen käyttötarkoituksen sekä rakenteen muuttaminen edellyttävät aina uutta vaatimustenmukaisuuden arviointia, jotta tuotteen turvallisuus varmistetaan. Vastuu valaisimen turvallisuudesta siirtyy muutostöiden tekijälle.

Riskin aiheuttavia led-valoputkia on Tukesin arvioiden mukaan käytössä Suomessa useita tuhansia. Tukes muistuttaa käyttäjiä ja asentajia valaisimien muutostöihin liittyvistä vastuukysymyksistä ja kehottaa led-valoputkien käyttäjiä selvittämään myyjältä tuotteiden soveltuvuuden kyseessä olevaan valaisimeen. Lisäksi tulee selvittää mahdolliset valaisimen käytössä ja huollossa edellytettävät erityistimenpiteet. Todettu turvallisuuspuute voi tulla esiin mahdollisesti pitkänkin ajan kuluttua, kun led-valoputkia vaihdetaan tai siirretään muihin valaisimiin.

Lisätietoja:

turvallisuusinsinööri Olli Tiainen, puh. 010 6052 517
ylitarkastaja Mika Toivonen, puh. 010 6052 653

Elinkaarilaskelma

Projekti: Mikkelin Toriparkki Oy
Päivämäärä ja tekijä: 17.4.2012 Jouni Manninen

Valaistuksen oletettu käyttöikä vuosia 20

Investointikustannukset

Valaisin		Nykyinen	Led-putki	Led 27 W	Led 52 W
Valmistaja		Philips	Philips	Easy Led	Easy Led
Lamppu(jen) teho	W	2x49	2x25	27	52
Lukumäärä/tarvittava lkm.	kpl	520	900	1040	572
Suositusuhinta	eur/kpl	0,00 €	100,00 €	295,00 €	495,00 €
Valaisinkustannukset	eur	0	38 000	306 800	283 140
Lamput					
Lamppu teho	W	49	25	27	52
Liitäntälaitteen tehohäviöt	W	2	0*	0*	0*
Lukumäärä/valaisin	kpl	2	2	1	1
Yksikköhinta	eur	0	148,83	0**	0**
Lamppukustannukset		0	267894	0	0
Asennus					
Materiaali- ja työkustannukset	eur/kpl	0	40	20	20
Asennuskustannukset	eur	0	36000	20800	11440
		Nykyinen	Led-putki	Led 27 W	Led 52 W
Investointikustannukset yhteensä	eur	0	341 894	327 600	294 580

*Tehohäviöt on otettu huomioon lampputehossa.

**Lamppu kuuluu moduulina valaisimeen ja sisältyy suositushintaan.

Käyttökustannukset

Energiakustannukset		Nykyinen	Led-putki	Led 27 W	Led 52 W
Asennettu kokonaisteho	W	53040	45000	28080	29744
Käyttöaika vuodessa	h	6935	6935	6935	6935
Energiankulutus vuodessa	MWh	367,83	312,08	194,73	206,27
Sähköenergian hinta	eur/kW h	0,10	0,10	0,10	0,10
Energiakustannukset vuodessa	eur	36783	31208	19473	20627
Energiakustannukset 20 vuodessa	eur	735665	624150	389470	412549
Valonlähdekustannukset					
Valonlähteen elinikä	h	20000	40000	80000	80000
Vaihtoväli	vuotta	2,884	5,768	11,536	11,536
Valonlähde	eur/kpl	10,39	148,83	118	198
Vaihtokustannus	eur/kpl eur/kert	2,5	2,5	5	5
Valonlähde ryhmävaihdon kustannus	a	12106	270144	127920	116116
Valonlähdekustannukset vuodessa	eur	4237	40522	6396	5806
Valonlähdekustannukset 20 vuodessa	eur	84739	810432	127920	116116
Huoltokustannukset					
Puhdistus	eur/kpl	2	2	2	2
Liitälaitte+asennus	eur/kpl	60	0	0	0
Käyttöaika ennen puhdistushuoltoa	h	10000	10000	10000	10000
Käyttöaika ennen liitälaitteen vaihtoa	h	50000	40000	397620	397620
Huoltoväli puhdistus	vuotta	1,442	1,442	1,442	1,442
	eur/kert				
Puhdistuksen kustannus	a	1040	1800	2080	1144
Ryhmävaihto liitälaitte	vuotta	7,210	5,768	57,335	57,335
Ennen ryhmävaihtoa hajoavat liitälait.	eur	3120	0	0	0
	eur/kert				
Liitälaitteiden ryhmävaihdon kustannus	a	31200	0	0	0
Huoltokustannukset vuodessa	eur	4264	1170	1352	744
Huoltokustannukset 20 vuodessa	eur	85280	23400	27040	14872
Käyttökustannukset vuodessa	eur	45284	72899	27221	27177
Käyttökustannukset yhteensä 20 vuodessa	eur	905684	1457982	544430	543537
Kokonaiskustannukset 20 vuotta	eur	905 684	1 799 876	872 030	838 117

Kokonaiskustannukset, kun 80000h ledien elinikä on lopussa eli 11,536 vuotta nykyisellä aika-ohjauksella

eur	504109	984638	566800	540540
-----	--------	--------	--------	--------

Kokonaiskustannukset 80000h, jos nykyistä

valaistusta ei olisi vielä hankittu eur **604653**

Philips TCW216 2x49W TL5 172,20€/kpl

Valaistuksenohjaus

Investointikustannukset

Ilmaisimen valmistaja	Nylund	BEG	BEG
Malli	Luxo- mat	PD4-1C	PD4-1C- C
Suositus hinta	eur	204,18	204,18
1.Kerros	kpl	8	16
2.Kerros	kpl	8	16
Ajorampit	kpl	6	-
Asennuskustannukset(johdotus, ohjaukset)	eur/kpl	100	100
Investointikustannukset	eur	6692	9734
Yhteensä	eur		16426

Käyttökustannukset 20v

Huoltokustannukset		
Ilmaisimien vaihto 50 %/ 20v+vaihtokulut	eur	8213
Ohjausjärjestelmän huolto 20v	eur	3000
Puhdistus valaisinhuollon yhteydessä	eur/ker ta	108
Käyttökustannukset vuodessa	eur	636
Käyttökustannukset yhteensä 20 vuodessa	eur	12711

Takaisinmaksuaika valaistuksenohjaus

Investointikustannukset	eur	16426
Käyttökustannukset vuodessa	eur	636
Kokonaiskustannukset vuodessa	eur	17062
Kokonaiskustannukset 20 vuodessa	eur	29146

Energiakustannukset vaihtoehdoille		Nykyinen	Led-putki	Led 27 W	Led 52 W
Vuodessa	eur	36783	31208	19473	20627
20 vuodessa	eur	735665	624150	389470	421549
Valaistuksenohjauksen mahdollistama säästö					
10 %	eur/v	3678	3121	1947	2063
	eur/20v	73567	62415	38947	42155
20 %	eur/v	7357	6242	3895	4125
	eur/20v	147133	124830	77894	84310
30 %	eur/v	11035	9362	5842	6188
	eur/20v	220700	187245	116841	126465

Opinnäytetyö Toriparkki

Yhteyshenkilö:
Tilausnumero:
Toiminimi:
Asiakasnumero:

Päivämäärä: 11.04.2012
Tekijä: Jouni Manninen

Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Sisällysluettelo

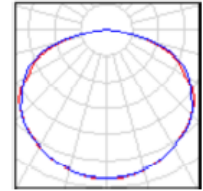
Opinnäytetyö Toriparkki	
Projektin etusivu	1
Sisällysluettelo	2
Luettelo valaisimista	3
Philips BCW216 2xLT-GA25W/840	
Valaisintietoarkki	4
Easy Led Oy PRO 200 DRAGON 60+ 6500K 501003 & 501303 PRO 200 DRAGON...	
Valaisintietoarkki	5
Easy Led Oy PRO 100 DRAGON 30 PLUS / 6500K PRO 100 DRAGON 30 PLUS / ...	
Valaisintietoarkki	6
Philips TCW216 2xTL5-49W HFP	
Valaisintietoarkki	7
Nykytilanne kerros 1	
Yhteenveto	8
Kolmiulotteinen kuvanmuodostus	9
Vääräväri-kuvanmuodostus	10
Tilan pinnat	
Käyttötaso	
Arvokaavio (E)	11
1/4 Parkkihalli 1 kerros Easy Led Pro 100	
Yhteenveto	12
Kolmiulotteinen kuvanmuodostus	13
Vääräväri-kuvanmuodostus	14
Tilan pinnat	
Käyttötaso	
Arvokaavio (E)	15
1/4 Parkkihalli 1 kerros Easy Led Pro 200	
Yhteenveto	16
Kolmiulotteinen kuvanmuodostus	17
Vääräväri-kuvanmuodostus	18
Tilan pinnat	
Käyttötaso	
Arvokaavio (E)	19
1/4 Parkkihalli 1 kerros Philips BCW216 2x25W led	
Yhteenveto	20
Kolmiulotteinen kuvanmuodostus	21
Vääräväri-kuvanmuodostus	22
Tilan pinnat	
Käyttötaso	
Arvokaavio (E)	23
1/4 Parkkihalli 1 kerros Philips TCW216 T5 2x49W	
Yhteenveto	24
Kolmiulotteinen kuvanmuodostus	25
Vääräväri-kuvanmuodostus	26
Tilan pinnat	
Käyttötaso	
Arvokaavio (E)	27
1/4 Parkkihalli 1 kerros Easy Led Pro 200 Lisäys	
Yhteenveto	28
Kolmiulotteinen kuvanmuodostus	29
Vääräväri-kuvanmuodostus	30
Tilan pinnat	
Käyttötaso	
Arvokaavio (E)	31

Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Opinnäytetyö Toriparkki / Luettelo valaisimista

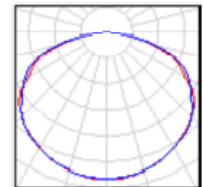
50 Kappale Easy Led Oy PRO 100 DRAGON 30 PLUS / 6500K PRO 100 DRAGON 30 PLUS / 6500K
Tavarnumero: PRO 100 DRAGON 30 PLUS / 6500K
Valovirta (Valaisin): 3000 lm
Valovirta (Lamput): 3000 lm
Valaisimien teho: 27.0 W
Valaisinten luokittelu CIE: 100
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 41 74 96 100 100
Varustus: 1 x Käyttäjän määrittelemä (Korjaustekijä 1.000).

Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.

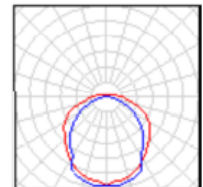


106 Kappale Easy Led Oy PRO 200 DRAGON 60+ 6500K 501003 & 501303 PRO 200 DRAGON 60+ 6500K 501003 & 501303
Tavarnumero: PRO 200 DRAGON 60+ 6500K 501003 & 501303
Valovirta (Valaisin): 6000 lm
Valovirta (Lamput): 6000 lm
Valaisimien teho: 52.0 W
Valaisinten luokittelu CIE: 100
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 41 74 96 100 100
Varustus: 1 x Käyttäjän määrittelemä (Korjaustekijä 1.000).

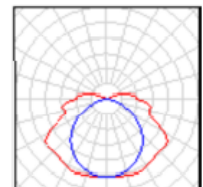
Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.



50 Kappale Philips BCW216 2xLT-GA25W/840
Tavarnumero:
Valovirta (Valaisin): 3458 lm
Valovirta (Lamput): 3800 lm
Valaisimien teho: 50.0 W
Valaisinten luokittelu CIE: 94
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 44 74 92 94 91
Varustus: 2 x LT-GA25W/840 (Korjaustekijä 1.000).



280 Kappale Philips TCW216 2xTL5-49W HFP
Tavarnumero:
Valovirta (Valaisin): 7568 lm
Valovirta (Lamput): 8600 lm
Valaisimien teho: 108.0 W
Valaisinten luokittelu CIE: 91
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 37 67 87 91 88
Varustus: 2 x TL5-49W/840 (Korjaustekijä 1.000).

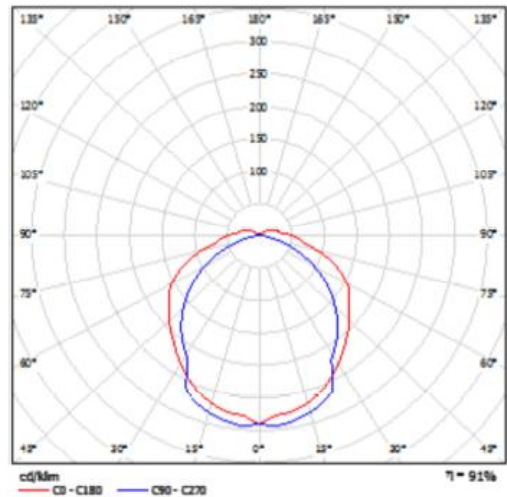


Tekijä Jouni Manninen
 Puhelin
 Faksi
 Sähköpostiosoite

Philips BCW216 2xLT-GA25W/840 / Valaisintietoarkki



Valaistu alue 1:



Valaisinten luokittelu CIE: 94
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 44 74
 92 94 91

Valaistu alue 1:

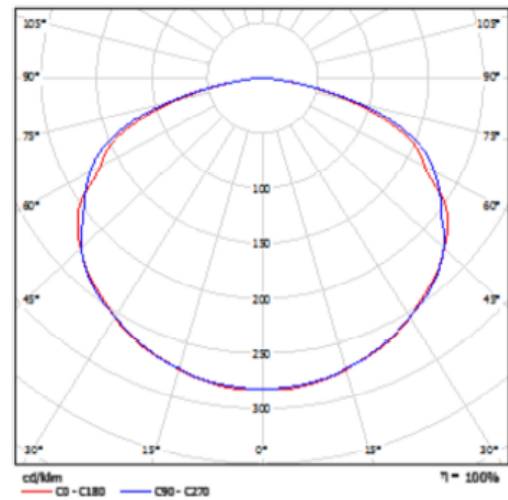
Häikäisyarvot UGR:N mukaan											
		10	20	30	30	30	30	30	30	30	
α	β	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
γ	Lat	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tilan koko		näkökulma pöytälamppuun					näkökulma pöytälamppuun				
X	Y	Lampun korkeus					Lampun korkeus				
2m	2m	18.9	18.2	17.3	16.5	15.9	15.8	17.1	16.2	17.4	17.8
	3m	18.9	20.1	19.3	20.4	20.8	18.9	18.1	17.3	18.5	18.9
	4m	19.7	20.8	20.2	21.2	21.8	17.3	18.4	17.7	18.8	19.2
	5m	20.4	21.4	20.8	21.8	22.3	17.9	18.9	17.9	18.9	19.4
	6m	20.7	21.7	21.1	22.1	22.8	17.9	18.9	18.0	18.9	19.4
	12m	21.0	21.9	21.3	22.4	23.8	17.9	18.9	18.0	18.9	19.4
4m	2m	17.8	18.8	17.9	19.0	19.4	18.8	17.7	17.0	18.1	18.5
	3m	19.7	20.8	20.2	21.1	21.8	18.0	19.0	18.5	19.4	19.9
	4m	20.7	21.8	21.2	22.0	22.8	18.5	19.4	19.0	19.9	20.3
	5m	21.8	22.8	22.0	22.7	23.3	18.8	19.8	19.3	20.0	20.8
	6m	21.8	22.8	22.4	23.1	23.8	18.9	19.8	19.4	20.1	20.8
	12m	22.3	22.9	22.8	23.4	24.0	18.9	19.8	19.8	20.1	20.8
8m	4m	21.0	21.0	21.0	22.2	22.7	19.1	19.0	19.0	20.3	20.8
	5m	22.0	22.8	22.8	23.1	23.8	19.8	20.2	20.2	20.7	21.3
	6m	22.8	23.0	23.0	23.9	24.1	19.8	20.3	20.3	20.8	21.4
	12m	23.0	23.8	23.8	24.0	24.7	19.9	20.3	20.3	20.9	21.8
12m	4m	21.0	21.8	21.8	22.1	22.7	19.2	19.8	19.7	20.3	20.9
	5m	22.0	22.8	22.8	23.1	23.7	19.8	20.3	20.4	20.9	21.9
	6m	22.8	23.0	23.2	23.8	24.2	20.0	20.8	20.8	21.1	21.7
Valaistuksen paikallisen väkijärjestelmän häikäisyarvo laskettaessa											
S = 1.0m		+0.1 / +0.1					+0.1 / +0.1				
S = 1.5m		+0.2 / +0.2					+0.2 / +0.4				
S = 2.0m		+0.3 / +0.3					+0.3 / +0.8				
Valaistusalue		0/02					0/02				
Korjauskerroin		3.5					3.1				
Korjauksen häikäisyarvo laskettaessa 300cm korkeudelta											

Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Easy Led Oy PRO 200 DRAGON 60+ 6500K 501003 & 501303 PRO 200 DRAGON 60+ 6500K 501003 & 501303 / Valaisintietoarkki

Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.

Valaistu alue 1:



Valaisinten luokittelu CIE: 100
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 41 74
96 100 100

Valaistu alue 1:

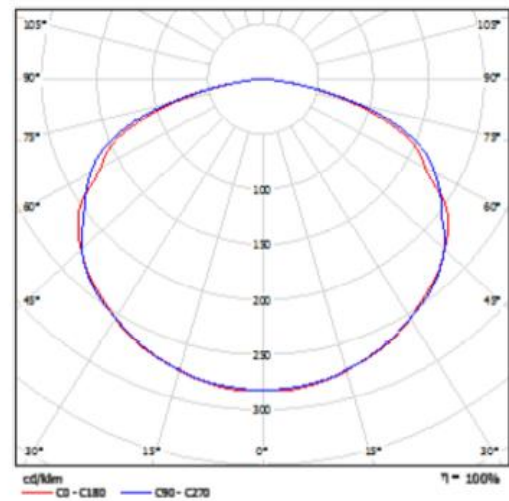
Häikäisyarvot UGR:N mukaan											
Lähtökohde		70	70	80	80	90	90	70	70	80	80
Lähtökohde		80	80	80	80	90	90	90	90	80	80
Lähtökohde		90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Tilan korkeus	X	näkökulma pöytälamppuun					näkökulma pöytälamppuun				
	Y	näkökulma pöytälamppuun					näkökulma pöytälamppuun				
2m	2m	28.4	27.8	28.7	28.0	28.5	28.4	27.8	28.7	28.0	28.5
	3m	28.4	28.7	28.7	30.0	30.1	28.8	28.8	28.9	30.1	30.4
	4m	28.2	28.4	28.8	30.7	31.0	28.4	30.8	28.7	30.9	31.2
	5m	29.5	30.7	29.9	31.0	31.3	28.8	30.9	30.2	31.2	31.8
4m	2m	29.8	30.7	30.0	31.0	31.3	29.9	30.9	30.2	31.2	31.8
	3m	29.8	30.8	30.0	30.9	31.3	29.8	30.9	30.2	31.2	31.8
	4m	27.2	28.4	27.8	28.7	28.0	27.2	28.8	27.8	28.7	28.0
	5m	28.4	28.4	28.8	30.8	31.1	28.5	30.8	28.9	30.9	31.5
8m	2m	30.3	31.2	30.7	31.8	31.9	30.5	31.4	30.9	31.8	32.1
	3m	30.7	31.8	31.2	31.9	32.3	31.0	31.8	31.4	32.2	32.8
	4m	30.8	31.8	31.3	31.9	32.4	31.1	31.8	31.9	32.2	32.8
	5m	30.8	31.8	31.3	31.9	32.3	31.1	31.7	31.8	32.1	32.8
12m	2m	31.1	31.7	31.8	32.2	32.8	30.8	31.8	31.2	31.8	32.8
	3m	31.2	31.8	31.7	32.2	32.7	31.8	32.0	31.9	32.4	32.9
	4m	31.3	31.7	31.8	32.2	32.7	31.9	31.9	32.0	32.4	32.9
	5m	30.8	31.5	31.0	31.7	32.1	30.8	31.4	31.2	31.9	32.5
12m	8m	31.2	31.7	31.8	32.1	32.6	31.4	31.9	31.8	32.3	32.8
	9m	31.3	31.7	31.8	32.2	32.7	31.5	31.9	32.0	32.4	32.9
Vähäisimmin sallittu näkökulma pöytälamppuun											
S = 1.0m		+0.1 / +0.1					+0.1 / +0.1				
S = 1.5m		+0.2 / +0.4					+0.1 / +0.2				
S = 2.0m		+0.4 / +0.5					+0.2 / +0.3				
Valaistusluokka		8/20					8/20				
Korjauskerroin		14.1					14.3				
Korjauksen lähtökohde: E20m katonkorkeus											

Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Easy Led Oy PRO 100 DRAGON 30 PLUS / 6500K PRO 100 DRAGON 30 PLUS / 6500K / Valaisintietoarkki

Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.

Valaistu alue 1:



Valaisinten luokittelu CIE: 100
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 41 74
96 100 100

Valaistu alue 1:

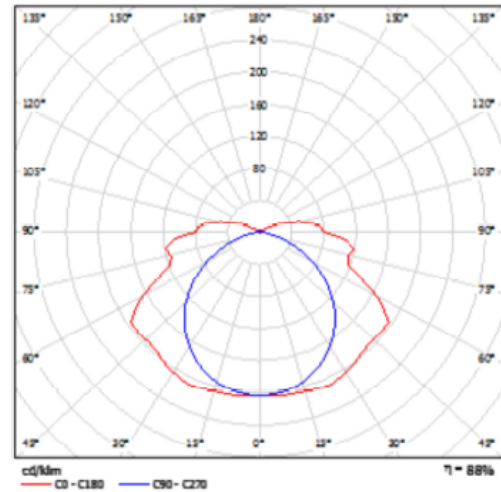
Häikäisyarvot UGR:N mukaan											
		70	70	80	80	90	90	90	90	90	
L. Halk.		30	30	30	30	30	30	30	30	30	
L. Suur.		20	20	20	20	20	20	20	20	20	
L. Leveys		20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tilan koko X Y		näkökulma pöydän Lampun korkeus vast.					näkökulma pöydän Lampun korkeus vast.				
		2H	2H	23.9	23.3	24.2	23.8	23.8	23.9	23.3	24.2
3H	3H	23.9	27.2	29.3	27.9	27.8	28.1	27.4	28.4	27.8	27.9
4H	4H	23.7	27.9	27.0	28.2	28.9	28.9	28.1	27.3	28.4	28.7
5H	5H	27.1	28.2	27.4	28.8	28.8	27.3	28.8	27.7	28.8	29.1
6H	6H	27.1	28.2	27.8	28.8	28.8	27.4	28.8	27.8	28.8	29.1
12H	12H	27.1	28.1	27.8	28.8	28.8	27.4	28.4	27.8	28.7	29.1
4H	2H	24.7	23.9	23.1	23.2	23.9	24.8	23.0	23.1	23.3	23.8
3H	3H	23.9	23.0	27.3	23.3	23.8	27.1	23.1	27.3	23.4	23.8
4H	4H	27.8	23.7	23.2	23.1	23.4	23.0	23.9	23.4	23.3	23.7
5H	5H	23.3	23.1	23.7	23.3	23.9	23.5	23.3	23.9	23.7	23.1
6H	6H	23.3	23.1	23.8	23.3	23.9	23.8	23.3	23.0	23.7	23.1
12H	12H	23.3	23.0	23.8	23.4	23.9	23.8	23.3	23.0	23.7	23.1
8H	6H	23.1	23.9	23.8	23.2	23.7	23.9	23.0	23.7	23.6	23.8
8H	8H	23.7	23.3	23.1	23.7	23.2	23.9	23.9	23.3	23.9	23.4
8H	8H	23.8	23.2	23.2	23.7	23.2	23.0	23.3	23.3	23.9	23.4
12H	12H	23.8	23.2	23.3	23.7	23.2	23.0	23.4	23.3	23.9	23.4
12H	4H	23.1	23.8	23.8	23.2	23.8	23.3	23.0	23.8	23.4	23.8
8H	8H	23.7	23.2	23.2	23.7	23.1	23.9	23.4	23.4	23.9	23.3
8H	8H	23.8	23.2	23.3	23.7	23.2	23.0	23.4	23.3	23.9	23.4
Vähintään katsottava pöydän näkökulman tarkastuksen laatu 3											
S = 1.0H		+0.1 / -0.1					+0.1 / -0.1				
S = 1.5H		+0.2 / -0.4					+0.1 / -0.2				
S = 2.0H		+0.4 / -0.8					+0.3 / -0.5				
Valaistusluokka		8/08					8/08				
Käytösääntö		11.8					11.8				
Korkeus häikäisyarvot suhteessa 200cm katsomakäyttöön											

Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Philips TCW216 2xTL5-49W HFP / Valaisintietoarkki



Valaistu alue 1:



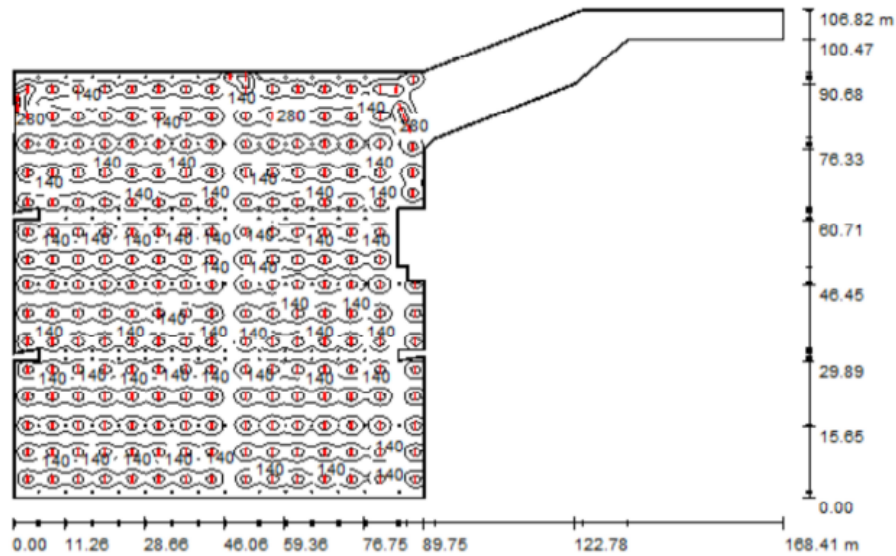
Valaisinten luokittelu CIE: 91
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 37 67
87 91 88

Valaistu alue 1:

Häikäisyarvot UGR:N mukaan																
		70					70					70				
		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tilan koko T	Tilän korkeus T	Näkökulma pöytälamppu Lampun korkeus Lampun korkeus					Näkökulma pöytälamppu Lampun korkeus Lampun korkeus					Näkökulma pöytälamppu Lampun korkeus Lampun korkeus				
2m	2m	20.5	21.6	22.7	22.0	22.4	17.7	18.1	18.1	18.8	18.9	18.9	18.8	18.8	18.8	18.9
	3m	22.0	23.2	23.9	23.7	24.1	18.9	19.2	19.4	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	4m	23.0	24.2	25.0	24.8	25.1	19.5	19.8	19.8	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5
	5m	24.3	25.3	26.7	26.8	26.3	19.9	20.8	20.0	21.1	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8
	6m	24.9	26.0	28.4	28.4	27.0	19.9	20.8	20.1	21.1	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8
4m	2m	25.8	26.8	28.1	27.1	27.8	19.8	20.8	20.1	21.1	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8
	3m	26.8	27.8	29.1	28.1	28.8	20.0	21.0	20.0	21.0	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8
	4m	24.0	24.9	26.3	25.4	25.9	21.0	22.0	21.8	22.5	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
	5m	25.8	26.3	28.0	28.8	27.4	21.4	22.2	21.9	22.7	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3
	6m	26.3	27.0	29.8	27.8	28.2	21.4	22.2	22.0	22.8	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4
6m	2m	27.0	27.7	27.8	28.3	28.9	21.9	22.2	22.1	22.7	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4
	3m	24.6	25.0	26.8	25.0	25.2	21.0	22.0	22.0	22.1	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7
	4m	26.0	26.7	28.8	27.2	27.9	22.4	23.0	23.0	23.8	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3
	5m	27.0	27.8	27.8	28.2	28.9	22.8	23.2	23.2	23.8	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5
	6m	28.0	28.8	28.8	29.1	29.8	22.8	23.3	23.4	23.9	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
12m	4m	24.9	24.9	24.9	24.8	24.1	22.0	22.7	22.8	23.3	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
	5m	26.1	26.7	26.7	27.3	27.9	22.8	23.4	23.4	24.0	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7
	6m	27.2	27.7	27.8	28.3	28.0	23.2	23.7	23.8	24.3	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
Valheen sijaisten pöytälamppujen näkökulman tarkastusarvot																
S = 1.0m		+0.1 / +0.1					+0.1 / +0.1					+0.1 / +0.1				
S = 1.5m		+0.3 / +0.2					+0.2 / +0.2					+0.2 / +0.2				
S = 2.0m		+0.4 / +0.3					+0.3 / +0.3					+0.3 / +0.3				
Valheusluvut		0.00					0.00					0.00				
Korjautokijä		10.7					10.7					10.7				
Korjautokijän oletusarvo 0.00m korkeudella																

Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Nykytilanne kerros 1 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:1372

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	152	0.08	693	0.001
Lattia	20	146	0.12	461	0.001
Katto	50	43	0.04	333	0.001
Seinät (30)	30	77	0.05	827	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 128 x 128 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

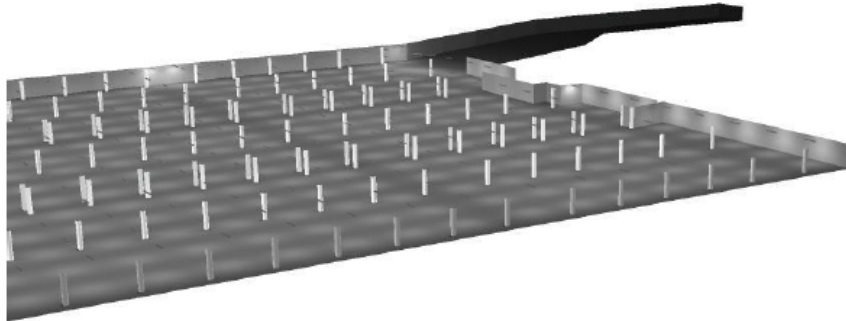
Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	230	Philips TCW216 2xTL5-49W HFP (1.000)	7568	8600	108.0
			Yhteensä: 1740640	Yhteensä: 1978000	24840.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $2.71 \text{ W/m}^2 = 1.79 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 9171.64 m^2)

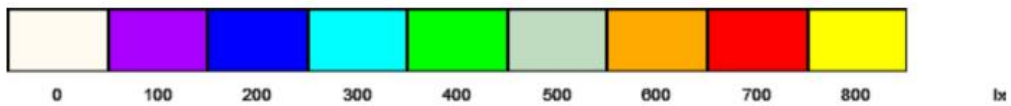
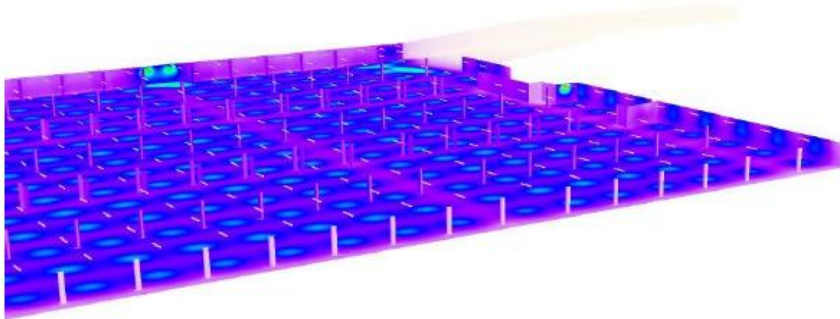
Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Nykytilanne kerros 1 / Kolmiulotteinen kuvanmuodostus



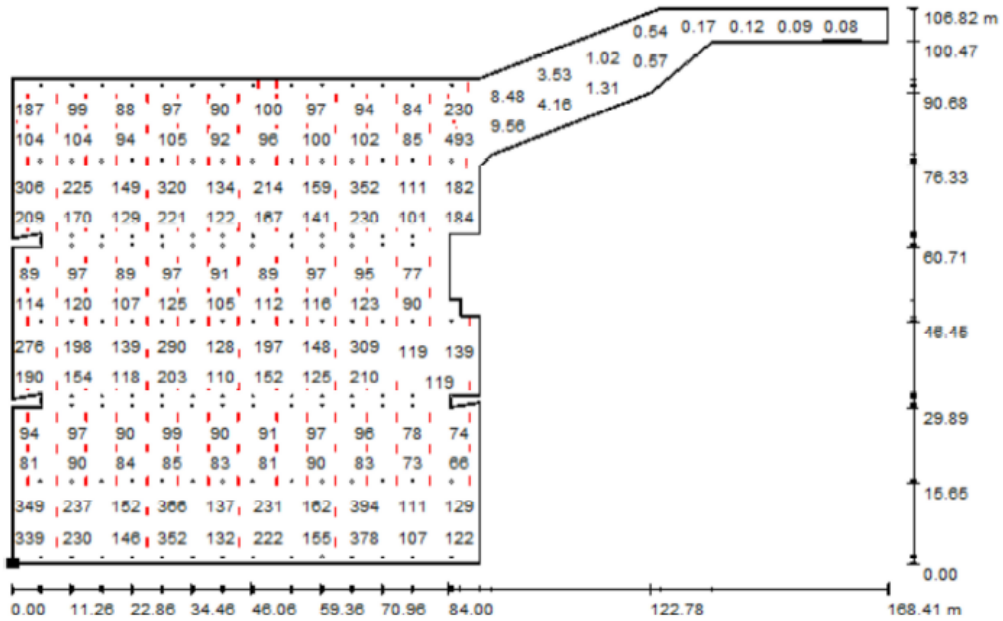
Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Nykytilanne kerros 1 / Vääräväri-kuvanmuodostus



Tekijä Jouni Manninen
 Puhelin
 Faksi
 Sähköpostiosoite

Nykytilanne kerros 1 / Käyttötaso / Arvokaavio (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 1205

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää.

Pinnan sijainti tilassa:
 Käyttötason 0.250 m Reuna-alue
 Merkitty piste:
 (90.846 m, 30.743 m, 0.850 m)

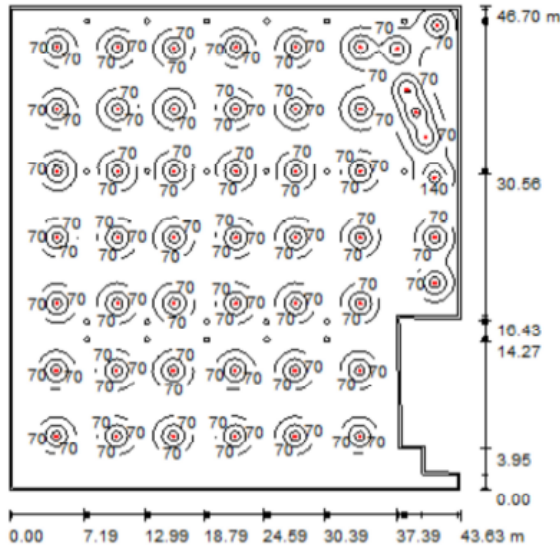


Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
152	0.08	693	0.001	0.000

Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Easy Led Pro 100 / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 2.600 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:600

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	67	0.97	314	0.014
Lattia	20	64	0.96	191	0.015
Katto	50	12	0.96	22	0.081
Seinät (10)	30	20	0.74	104	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 128 x 128 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

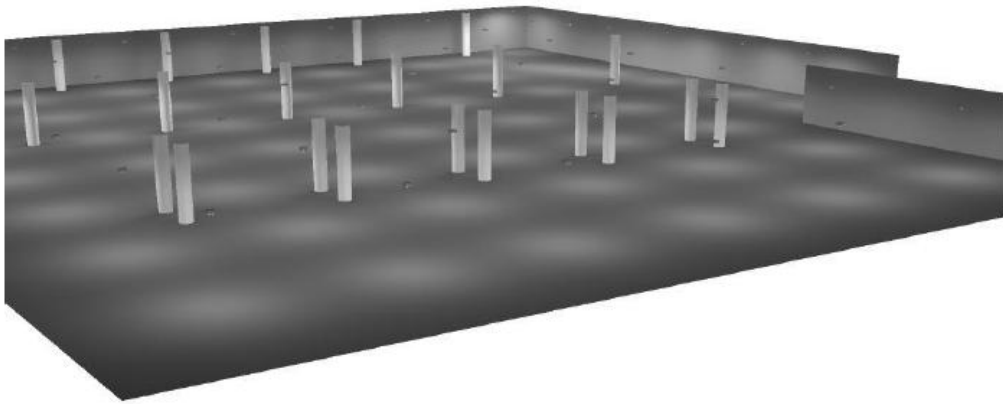
Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	50	Easy Led Oy PRO 100 DRAGON 30 PLUS / 6500K PRO 100 DRAGON 30 PLUS / 6500K (1.000)	3000	3000	27.0
			Yhteensä: 150000	Yhteensä: 150000	1350.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $0.69 \text{ W/m}^2 = 1.02 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1955.93 m^2)

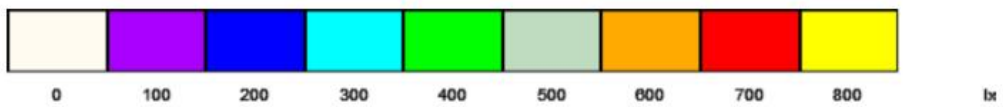
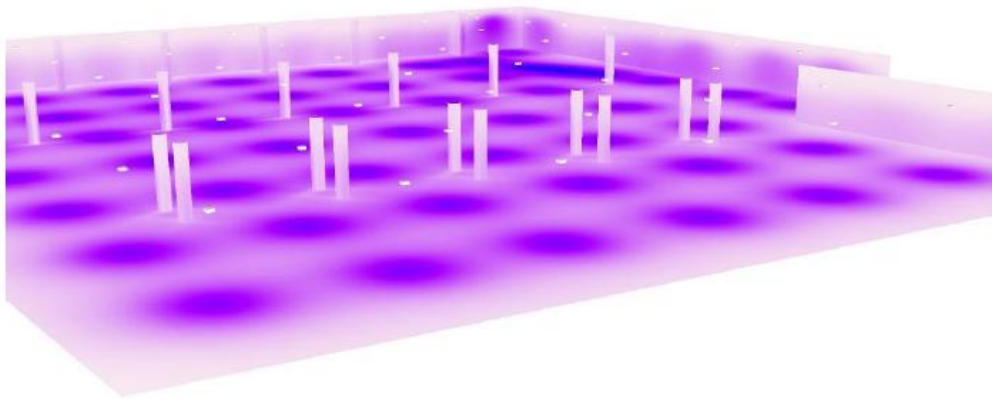
Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Easy Led Pro 100 / Kolmiulotteinen kuvanmuodostus



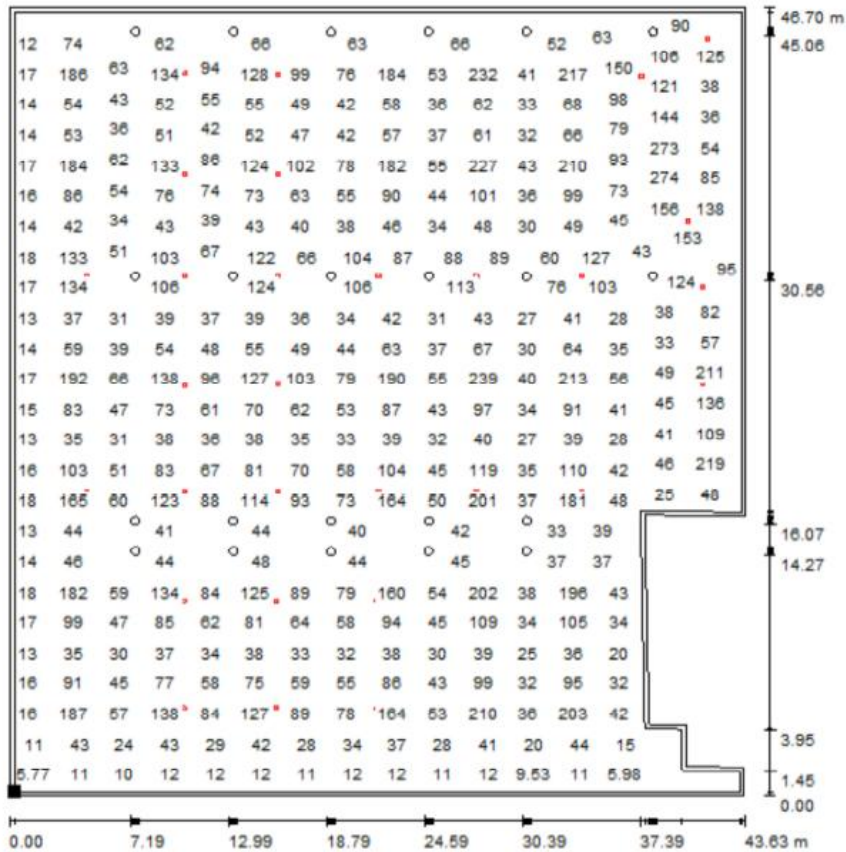
Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Easy Led Pro 100 / Vääräväri-kuvanmuodostus



Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

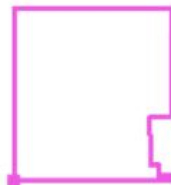
1/4 Parkkihalli 1 kerros Easy Led Pro 100 / Käyttötaso / Arvokaavio (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 366

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää.

Pinnan sijainti tilassa:
Käyttötason 0.250 m Reuna-alue
Merkitty piste:
(137.214 m, 77.443 m, 0.850 m)



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]
67

E_{min} [lx]
0.97

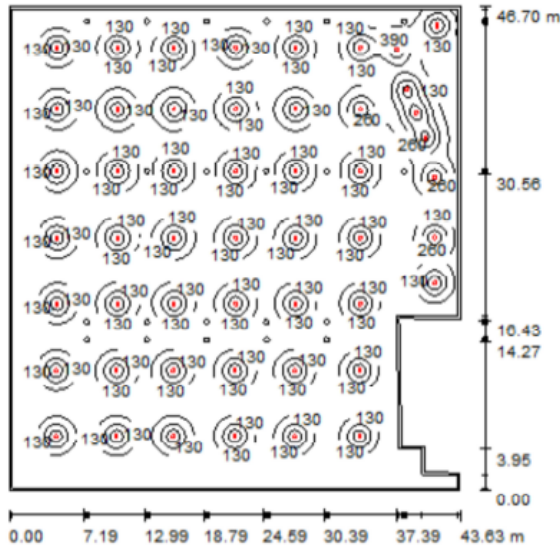
E_{max} [lx]
314

E_{min} / E_m
0.014

E_{min} / E_{max}
0.003

Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Easy Led Pro 200 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:600

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	135	1.93	628	0.014
Lattia	20	128	1.93	382	0.015
Katto	50	24	1.92	44	0.081
Seinät (10)	30	40	1.48	208	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 128 x 128 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

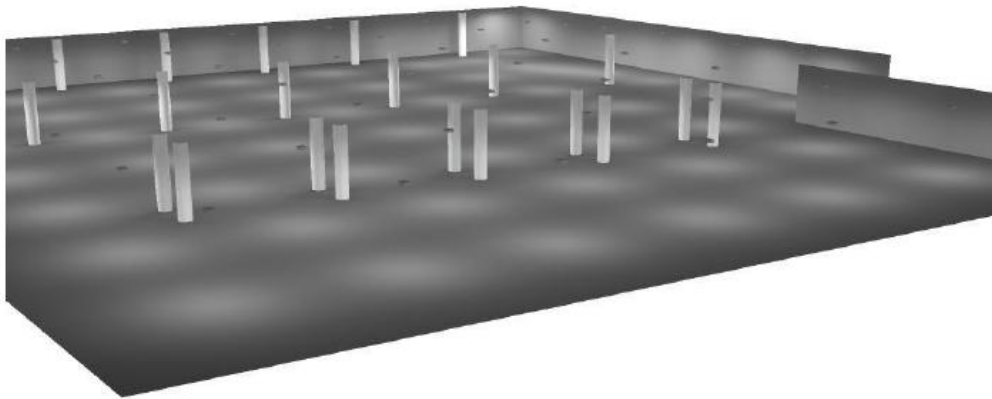
Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	50	Easy Led Oy PRO 200 DRAGON 60+ 6500K 501003 & 501303 PRO 200 DRAGON 60+ 6500K 501003 & 501303 (1.000)	6000	6000	52.0
			Yhteensä: 300000	Yhteensä: 300000	2600.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $1.33 \text{ W/m}^2 = 0.99 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1955.93 m^2)

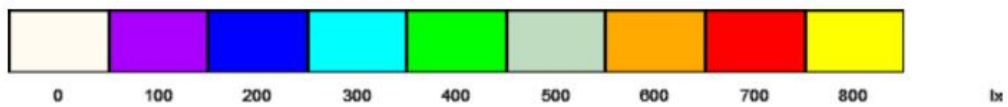
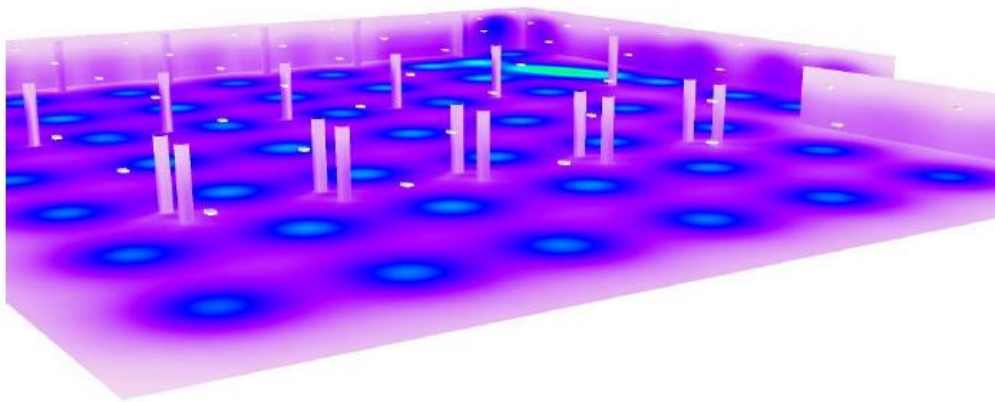
Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Easy Led Pro 200 / Kolmiulotteinen kuvanmuodostus



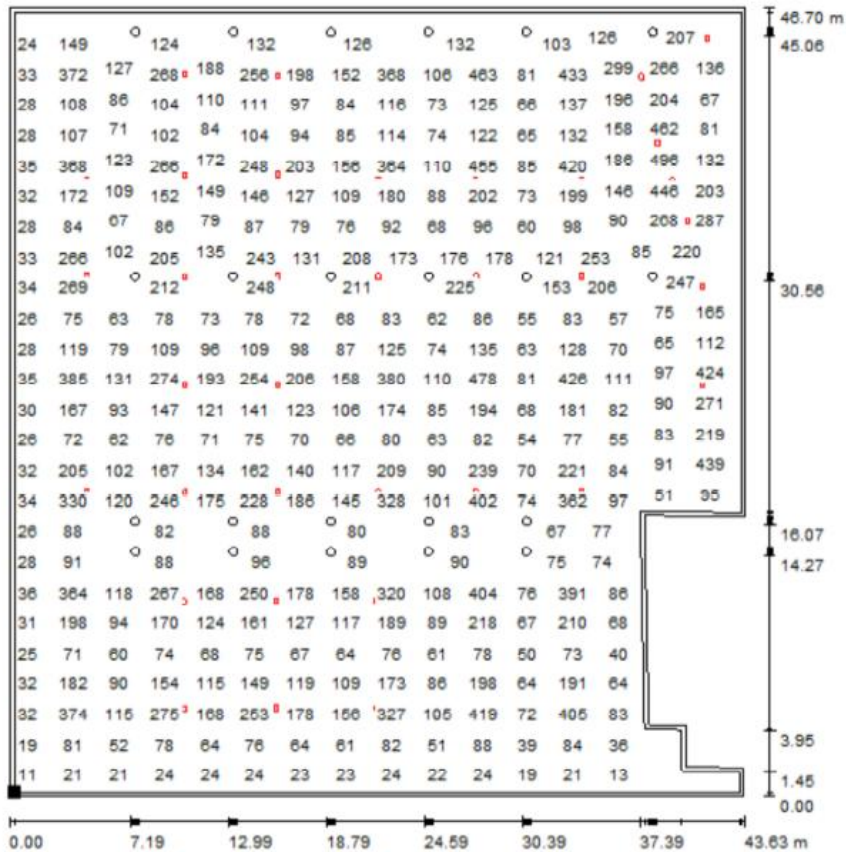
Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Easy Led Pro 200 / Vääräväri-kuvanmuodostus



Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Easy Led Pro 200 / Käyttötaso / Arvokaavio (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 366

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää.

Pinnan sijainti tilassa:
Käyttötason 0.250 m Reuna-alue
Merkitty piste:
(137.214 m, 77.443 m, 0.850 m)



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]
135

E_{min} [lx]
1.93

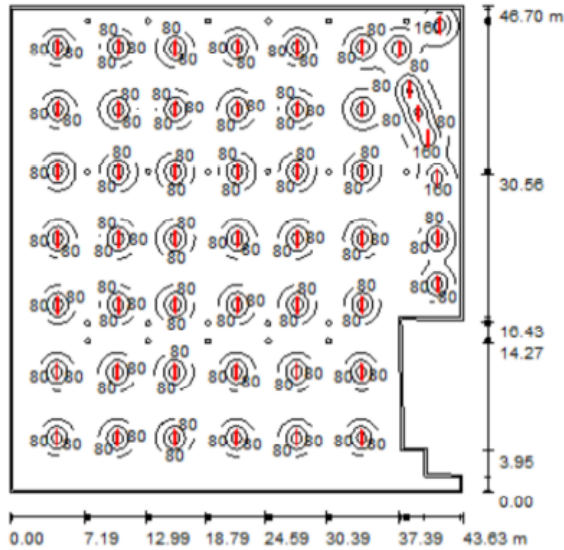
E_{max} [lx]
628

E_{min} / E_m
0.014

E_{min} / E_{max}
0.003

Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Philips BCW216 2x25W led / Yhteenveto



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:600

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	73	1.67	357	0.023
Lattia	20	69	2.16	222	0.031
Katto	50	17	1.65	123	0.096
Seinät (10)	30	28	1.22	96	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 128 x 128 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

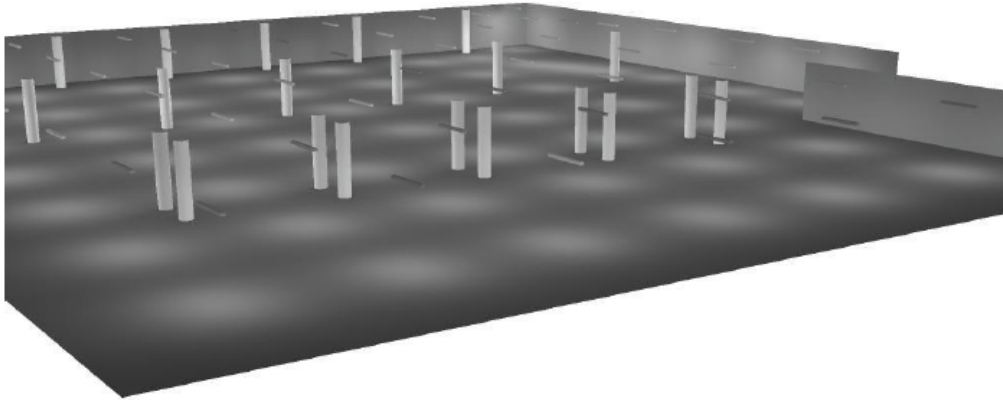
Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	50	Philips BCW216 2xLT-GA25W/840 (1.000)	3458	3800	50.0
			Yhteensä: 172900	Yhteensä: 190000	2500.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $1.28 \text{ W/m}^2 = 1.74 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1955.93 m²)

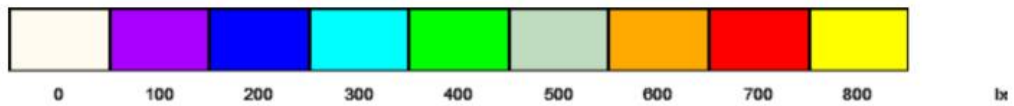
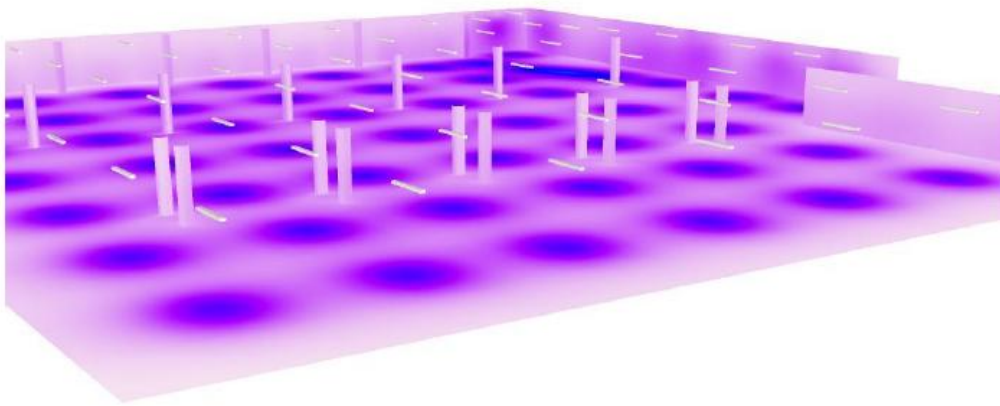
Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

**1/4 Parkkihalli 1 kerros Philips BCW216 2x25W led / Kolmiulotteinen
kuvanmuodostus**



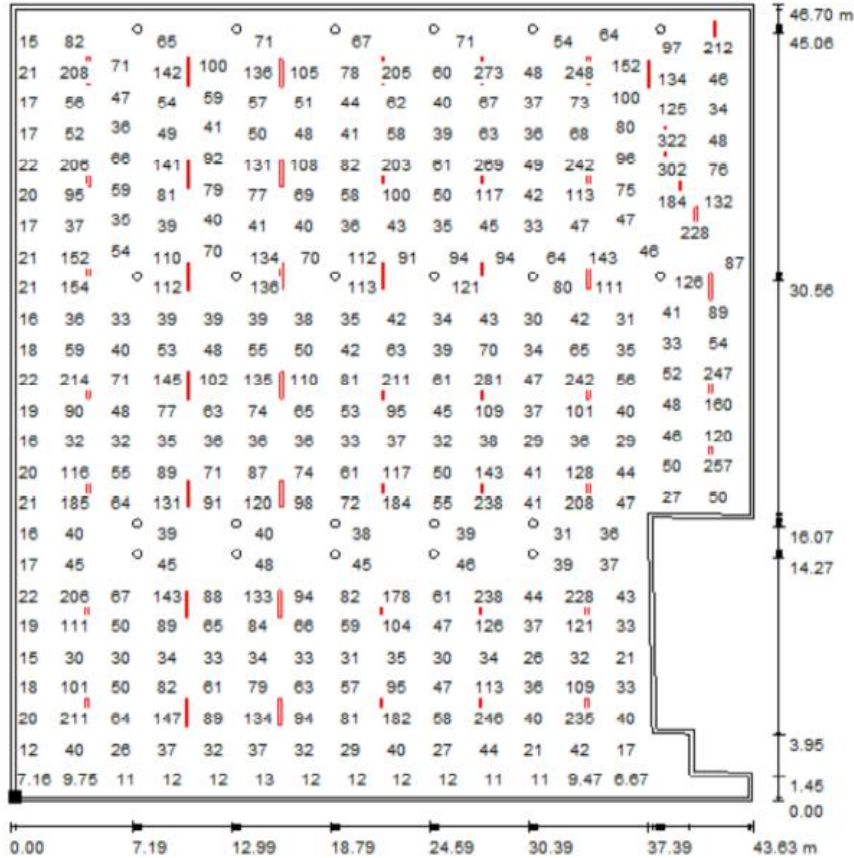
Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Philips BCW216 2x25W led / Vääräväri-kuvanmuodostus



Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Philips BCW216 2x25W led / Käyttötaso / Arvokaavio (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 366

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää.

Pinnan sijainti tilassa:
Käyttötason 0.250 m Reuna-alue
Merkitty piste:
(137.214 m, 77.443 m, 0.850 m)

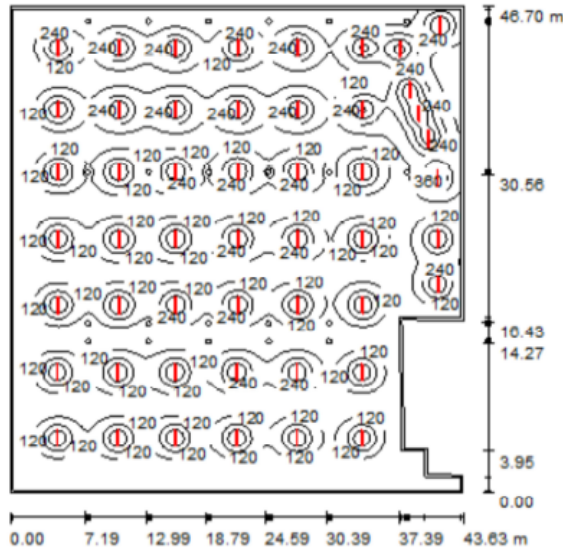


Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
73	1.67	357	0.023	0.005

Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Philips TCW216 T5 2x49W / Yhteenveto



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:600

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	154	4.66	603	0.030
Lattia	20	145	5.62	392	0.039
Katto	50	41	4.33	315	0.105
Seinät (10)	30	77	3.53	219	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 128 x 128 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

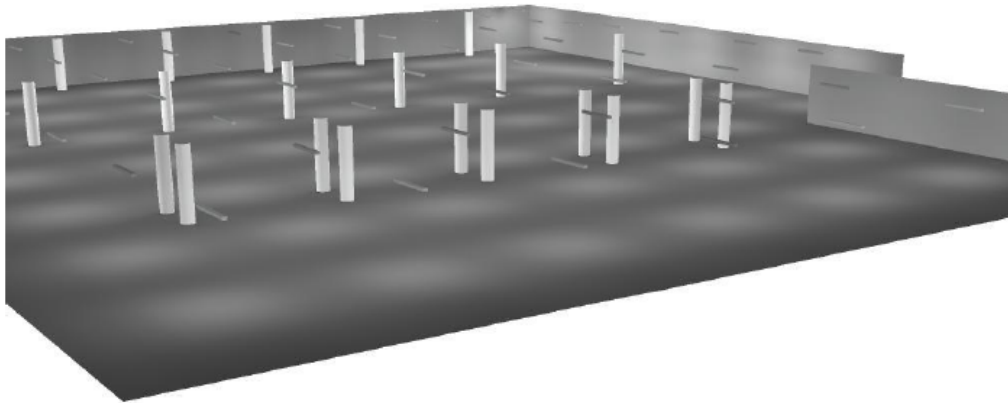
Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	50	Philips TCW216 2xTL5-49W HFP (1.000)	7568	8600	108.0
			Yhteensä: 378400	Yhteensä: 430000	5400.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $2.76 \text{ W/m}^2 = 1.79 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1955.93 m^2)

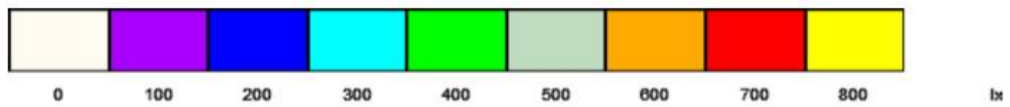
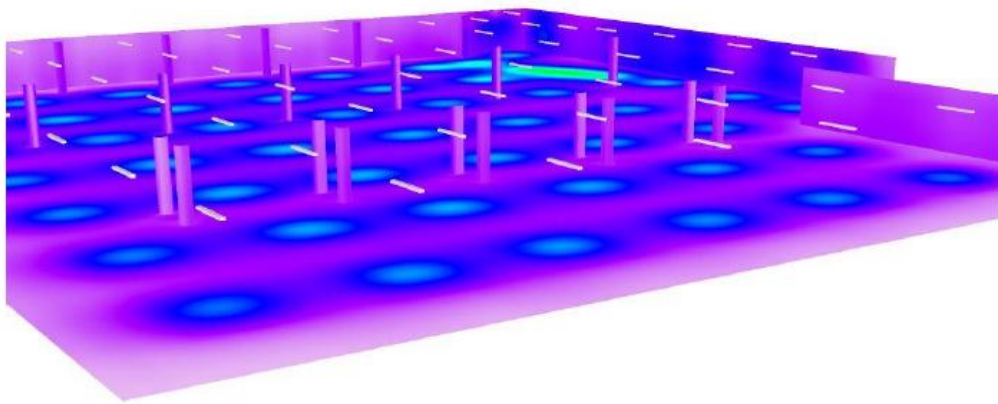
Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Philips TCW216 T5 2x49W / Kolmiulotteinen
kuvanmuodostus



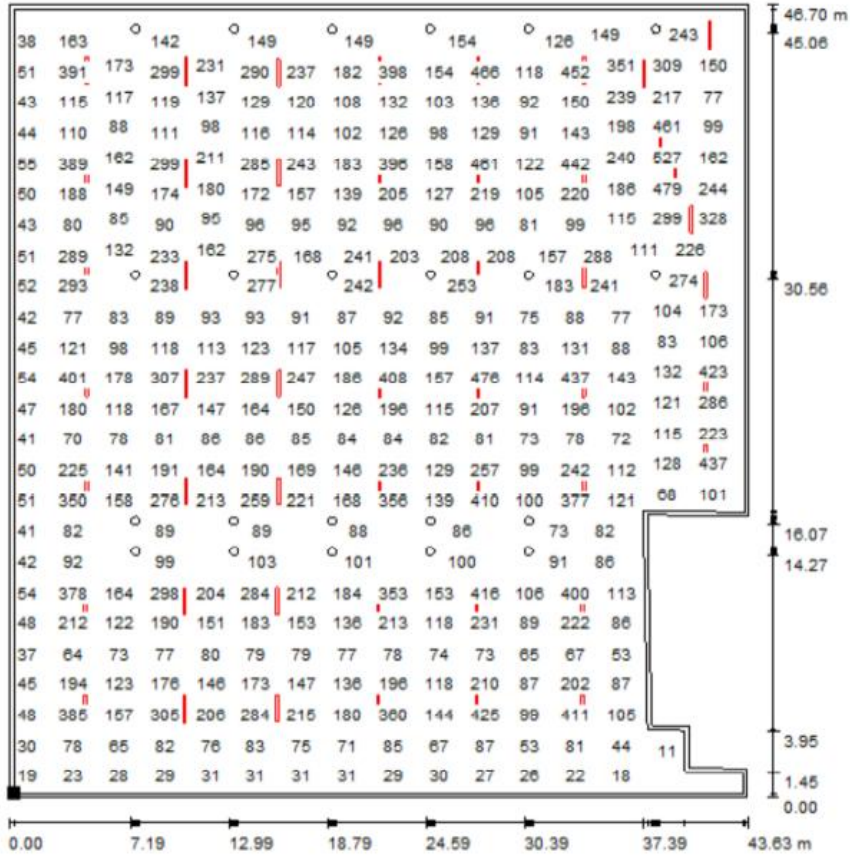
Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Philips TCW216 T5 2x49W / Vääräväri-kuvanmuodostus



Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Philips TCW216 T5 2x49W / Käyttötaso / Arvokaavio (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 366

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää.

Pinnan sijainti tilassa:
Käyttötason 0.250 m Reuna-alue
Merkitty piste:
(137.214 m, 77.443 m, 0.850 m)

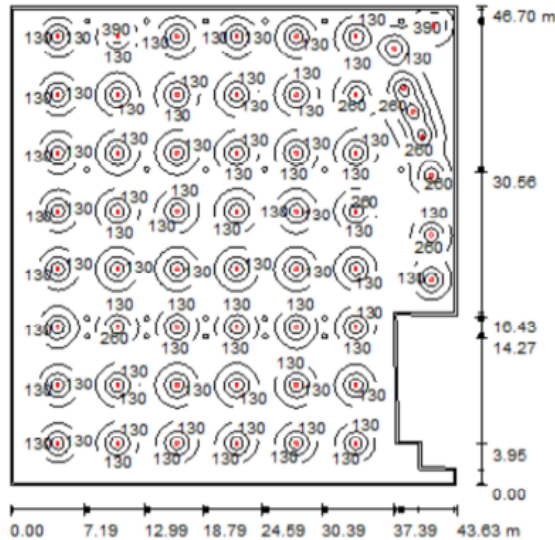


Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
154	4.66	603	0.030	0.008

Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Easy Led Pro 200 Lisäys / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:600

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	150	2.51	626	0.017
Lattia	20	142	2.35	383	0.017
Katto	50	27	2.11	45	0.079
Seinät (10)	30	48	1.98	208	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 128 x 128 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

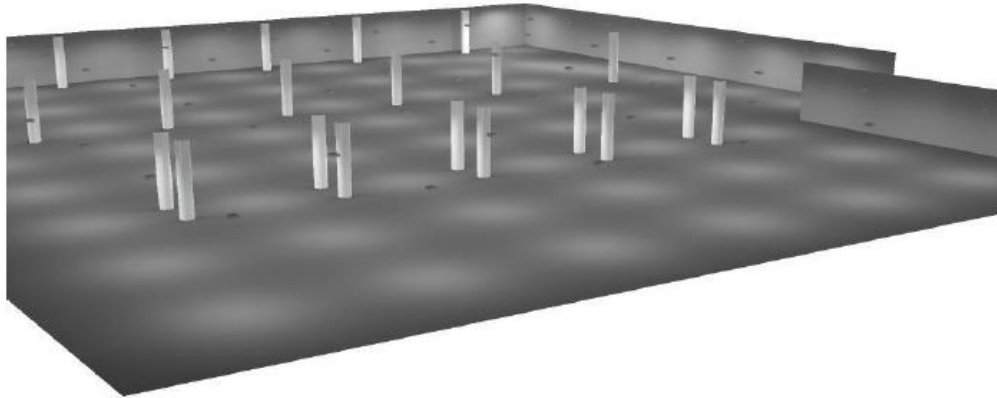
Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	56	Easy Led Oy PRO 200 DRAGON 60+ 6500K 501003 & 501303 PRO 200 DRAGON 60+ 6500K 501003 & 501303 (1.000)	6000	6000	52.0
Yhteensä:			336000	Yhteensä: 336000	2912.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $1.49 \text{ W/m}^2 = 0.99 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1955.93 m^2)

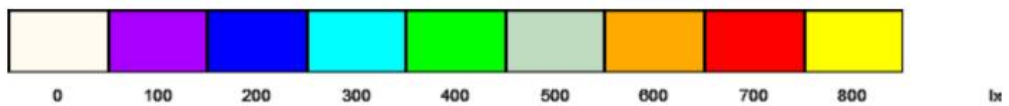
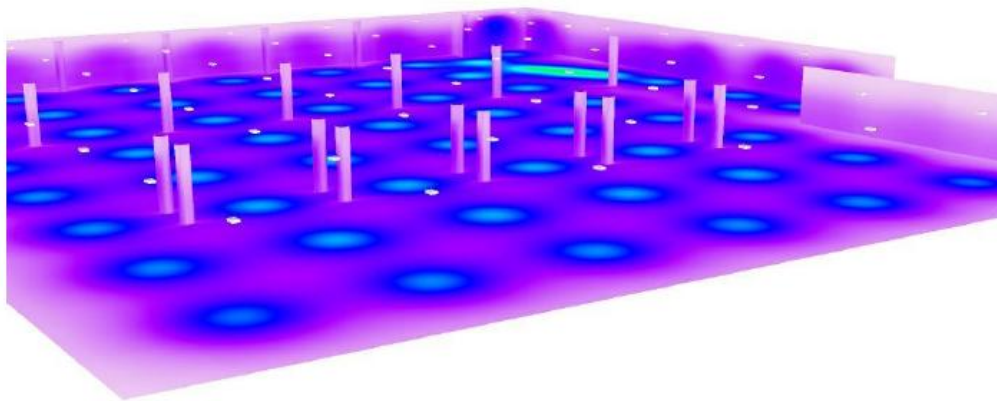
Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Easy Led Pro 200 Lisäys / Kolmiulotteinen
kuvanmuodostus



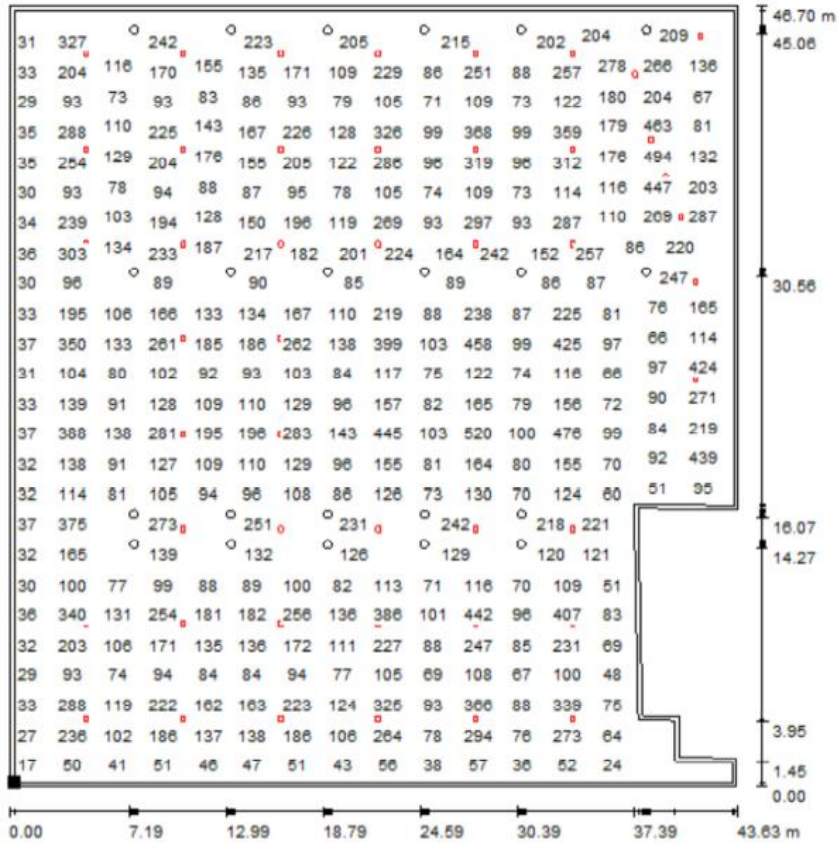
Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Easy Led Pro 200 Lisäys / Vääräväri-kuvanmuodostus



Tekijä Jouni Manninen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

1/4 Parkkihalli 1 kerros Easy Led Pro 200 Lisäys / Käyttötaso / Arvokaavio (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 366

Kaikkia laskettuja arvoja ei voi esittää.

Pinnan sijainti tilassa:
Käyttötason 0.250 m Reuna-alue
Merkitty piste:
(137.214 m, 77.443 m, 0.850 m)



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]
150

E_{min} [lx]
2.51

E_{max} [lx]
626

E_{min} / E_m
0.017

E_{min} / E_{max}
0.004