

Teemu Koskinen

Tuotanto- ja toimistotilojen valaistuksen kehittäminen LED-
valonlähteitä hyödyntäen.

Sähkötekniikan koulutusohjelma
2016

TUOTANTO- JA TOIMISTOTILOJEN VALAISTUKSEN KEHITTÄMINEN LED-VALONLÄHTEITÄ HYÖDYNTÄEN

Koskinen, Teemu
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Helmikuu 2016
Ohjaaja: Asmala, Hannu
Sivumäärä: 46
Liitteitä:10

Asiasanat: led, valaistustekniikka, investoinnit, ergonomia

Opinnäytetyössä kartoitettiin Satmatic Oy:lle energiatehokkaita ja työergonomisia valaistusvaihtoehtoja tuotanto- ja toimistotiloihin vanhentuneiden loisteputkivalaisimien tilalle. Yritykselle tarjottiin erilaisia LED-valaistusratkaisuja, joista voitaisiin valita kannattavin vaihtoehto. Valaistuskartoitus toteutettiin kustannustehokkaasti alhaiset investointikustannukset huomioiden.

Erilaisten valaistusinvestointimallien kannattavuutta tutkittiin Fagerhult LCC-ohjelmistoa käyttäen. Kyseisellä ohjelmalla arvioitiin myös investoinnin vaikutuksia valaistuksen aiheuttamaan hiilidioksidikuormaan. Yrityksessä toteutettiin myös kyselytutkimus henkilöstön tyytyväisyydestä valaistukseen. Sen tuloksia analysoitiin SPSS-ohjelmaa käyttäen.

Työssä perehdyttiin valaistukseen liittyviin standardeihin ja määräyksiin, sekä hyvän sisävalaistuksen vaatimuksiin työergonomisesta näkökulmasta. Lisäksi syvennyttiin LED-valonlähteiden toimintaan, valaistussuureisiin ja loisteputkien korvaamiseen LED-valoputkilla.

Tehtyjen investointilaskelmien perusteella LED-valaistukseen vaihtaminen on kannattavaa, mutta se vaatii opinnäytetyössä esitettyjen ongelmakohtien huomioimista. LED-valaistuksella pystytään saavuttamaan lasketulla aikavälillä tuhansien eurojen säästöt.

DEVELOPING LIGHTNING TO PRODUCTION AND OFFICE PREMESIS BY USING LED-LIGHT SOURCES

Koskinen, Teemu

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

February 2016

Supervisor: Asmala, Hannu

Number of pages: 46

Appendices: 10

Keywords: led, lightning systems, investments, ergonomics

The thesis studied energy-efficient lightning solutions for production and office premises. Satmatic ltd was offered a variety of LED-lightning options where they could choose the most profitable and suitable one for their needs. Part of the thesis was a survey for employees. It was developed to find out their opinions about the current lightning system.

Various lightning solutions were analyzed by Fagerhults LCC-program. The program calculates repayment periods for the planned investment and evaluates its carbon dioxide load to environment.

Lightning standards and regulations were studied, as well as indoor lightning requirements. In addition, the thesis explains how LED-light sources work and what problems they might cause in lightning systems.

LED-lightning investments can be profitable in large properties based on life cycle cost calculations. Before investments there are issues with LED-lightning systems which are important to be aware of.

1 ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin Satmatic Oy:n toimeksiannosta Porissa 2016. Kiitän opinnäytetyöni ohjaavaa opettajaa lehtori Hannu Asmalaa kirjallisen ja käytännön työn opastuksesta.

Haluan osoittaa kiitokseni myös Satmatic Oy:lle mielenkiintoisen opinnäytetyöaiheen tarjoamisesta.

Viimeisenä haluan kiittää vanhempiani, jotka ovat aina kannustaneet minua opiskelemaan.

Porissa 17.2.2016
Teemu Koskinen

SISÄLLYS

1	ALKUSANAT.....	4
3	JOHDANTO.....	7
4	SATMATIC OY.....	8
5	VALAISTUSSUUREET.....	8
5.1	Valovoima.....	9
5.2	Valovirta.....	9
5.3	Valaistusvoimakkuus.....	10
5.4	Luminanssi.....	10
5.5	Väriominaisuudet.....	11
5.5.1	Värintoistoindeksi R_a	11
5.6	Valonjakokäyrä.....	11
6	VALONLÄHTEET.....	12
6.1	Valontuoton pääperiaatteet.....	12
6.1.1	Elektroluminesenssi.....	13
6.2	Liitäntälaitteet.....	13
6.2.1	Magneettinen virranrajoitin.....	14
6.2.2	Elektroniset liitäntälaitteet.....	15
6.2.3	LED-liitäntälaitteet.....	15
6.3	Loistelamput.....	16
6.4	LED-valonlähteet.....	17
6.4.1	Valotehokkuus.....	17
6.4.2	Käyttöikä.....	18
6.4.3	EMC-ominaisuudet ja CE-merkintä.....	19
6.4.4	Retrofit LED-valoputket.....	20
6.4.5	LED-valoputki-muutossarjat.....	21
6.4.6	Kompensointikondensaattorit LED-valoputkivalaisimissa.....	22
6.5	LED-valonlähteiden aiheuttamat muutokset verkon yliaaltosisältöön.....	24
7	VALAISTUSINVESTOINNIN KANNATTAVUUS.....	24
7.1	Investointilaskelmat.....	24
7.1.1	Vuosikustannusmenetelmä.....	25
7.1.2	Takaisinmaksuaika.....	25
7.2	Valaistuksen energiatehokkuus.....	26
7.2.1	LENI-luku.....	26
7.2.2	Häviöloistehon aiheuttama vuosikustannus.....	28
7.3	Huolto.....	28
7.3.1	Valovirran aleneminen.....	29

7.4	Fagerhult Life Cycle Cost kustannuslaskentaohjelma.....	30
8	TOIMISTO- JA TUOTANTOTILOJEN VALAISTUS	30
8.1	Lähtötilanne	31
8.2	Valaistusratkaisu 1. Retrofit LED-valoputket.....	31
8.3	Valaistusratkaisu 2. LED-valoputki ohitetulla liitännälaitteella.....	33
8.4	Valaistusratkaisu 3. Uusi valaisin ensiasennetuilla LED-valoputkilla	34
8.5	Valaistusratkaisu 4. Uusi LED-moduulilla varustettu valaisin.....	35
8.6	Toimistotilojen valaistusratkaisu	36
9	VALAISTUS OSANA TYÖERGONOMIAA	36
9.1	Valaistusympäristö.....	36
9.1.1	Häikäisy	36
9.1.2	Valaistuksen vaikutukset näyttöpäätetyöskentelyyn	38
9.2	Valon valaistusvoimakkuus ja värinlaatu	39
9.3	Valaistuksen vaikutus näkemisen helppouteen ja työhön.....	39
9.3.1	Vaikutus näkemisen helppouteen	39
9.3.2	Vaikutus työsuoritukseen.....	40
9.4	Ihmisen iän vaikutus valaistustarpeeseen	40
9.5	Kyselytutkimus valaistuksen laadusta Satmatic Oy:ssä	41
9.5.1	IBM SPSS Statistics ohjelmisto	41
9.6	Kyselytutkimuksen tulokset.....	42
10	YHTEENVETO	44
10.1	Päätelmät valaistuksen työergonomiasta	45
	LÄHTEET.....	46
	LIITTEET	

3 JOHDANTO

Valaistus ja sen tulevaisuus ovat keskeisiä asioita sähkötekniikan koulutusohjelmassa. Valaistustekniikan kehittyessä syntyy potentiaalisesti suuria säästömahdollisuuksia, etenkin suurissa kiinteistöissä. Kansanvälisten standardien puutteet ja valmistajien erilaiset teknisten tietojen ilmoitus- ja mittaustavat aiheuttavat haasteita valaistusinvestointien suunnitteluun. Tästä syystä opinnäytetyön tekeminen Satmatic Oy:n tarjoamasta aiheesta oli mielenkiintoista. Työssä ei käsitellä valaistuksen ohjausjärjestelmiä kalliiden investointikustannusten vuoksi.

Opinnäytetyössä kartoitettiin Satmatic Oy:n tuotanto- ja toimistotiloihin LED-valaistuksen tuomia mahdollisuuksia ja valaistusinvestoinnin kannattavuutta. Työn teoriaosuudessa syvennyttään valaistussuureisiin, sisätilavalauksen vaatimuksiin, LED-valonlähteisiin ja niiden aiheuttamiin haasteisiin sekä valaistuksen työergonomisiin vaikutuksiin.

Työn investointilaskelmat toteutettiin hyödyntäen Fagerhultin LCC-ohjelmaa, jonka avulla pystyttiin vertailemaan ja havainnollistamaan erilaisten valaistusvaihtoehtojen kustannuksia toisiinsa nähden. Investointilaskelmien pohjalta määritettiin valaistusratkaisuiden takaisinmaksuaika ja tuotto määrättyllä aikavälillä. Yritykselle tehtiin myös kyselytutkimus henkilöstön tyytyväisyydestä valaistukseen Webprobol ja SPSS-ohjelmia hyödyntäen. Kyselyn pohjalta pystyttiin valitsemaan sopivimmat valaistusvaihtoehdot Satmatic Oy:lle.

Energiatehokkuuteen on alettu kiinnittämään enemmän huomiota esimerkiksi tuotteiden ekosuunnittelu (EUP) direktiivin vaikutusten ansiosta. LED-valonlähteet mahdollistavat nyt ja etenkin tulevaisuudessa energiatehokkaammat valaistukset, siksi esimerkiksi LED-valoputkissa on huomattava potentiaali suurissa kiinteistöissä.

Työergonomiset valaistussuosituksia ovat tiukentuneet ja ohjeavot sisävalaistuksen vaatimuksiin kehittyvät jatkuvasti. Valaistukseen investoimalla voidaan saavuttaa taloudellisia säästöjä, sekä parantaa työntekijöiden jaksamista ja tehokkuutta.

4 SATMATIC OY

Satmatic Oy on yksi Suomen johtavista sähkö- ja automaatiotekniikan rakentajista. Työntekijöitä yrityksessä on lähes 100 kahdessa toimipisteessä, jotka sijaitsevat Ulvilassa ja Keravalla. Näiden lisäksi Satmaticiin kuuluu Kurikassa toimiva muuntamovalmistaja Finnkumu Oy. Satmatic Oy on osa pörssi-yhtiö AS Harju Elekteriä. Koko konsernissa työskentelee noin 500 alan ammattilaista. Yritys toimii sekä sopimusvalmistusperiaatteella että projektiluontoisesti. Palvelut kattavat kaiken esisuunnittelusta huoltoon.

Toiminta-ajatuksena heillä on kehittää, valmistaa ja markkinoida sähkö- ja automaatiotekniikan tuotteita. Esimerkkejä yrityksen tuotteista ovat automaatiokeskukset, sähkökäyttökeskukset ja sähkökojeistot teollisuuden ja sähkönjakelun tarpeisiin. Satmatic Oy on ympäristövastuunsa tunteva yritys ja se myös valmistaa uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämiseen tarvittavia järjestelmiä ja tuotteita. Valaistuksen kehittämisen energiatehokkaammaksi LED-teknologiaa hyödyntäen on siis myös yrityksen arvomaailman mukaista. (Satmatic Oy:n www-sivut)

5 VALAISTUSSUUREET

Taulukko 1. Valaistustekniikan tärkeimmät suureet (Halonen & Lehtovaara 1992, 34)

Suure	Symboli	Yksikkö
Valovoima	I	Kandela [cd]
Valovirta	Φ	Luumen [lm]
Valaistusvoimakkuus	E	Luksi [lx]
Luminanssi	L	Kandela/neliömetri [cd/m ²]
Valomäärä	Q	Luumensekunti [lms]

5.1 Valovoima

Valovoima on valaistustekniikan perussuure ja sen yksikkö on kandela [cd]. Muut yleisesti käytetyt valaistussuureet ovat taulukossa 1. Valovoima suureena kuvaa valonlähteestä määrättyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuutta ja intensiteettiä. Sannallisesti se voidaan määrittellä seuraavasti: ”Valonlähteen valovoima tiettyyn suuntaan on yksi kandela (1 cd) silloin, kun valonlähde säteilee monokromaattista, $540 \cdot 10^{12}$ Hz:n taajuista säteilyä ja sen säteilyteho tähän suuntaan on $1/683$ W/sr.” (Halonen & Lehtovaara, 1992, 35). Kaikki valon määrittämiseen ja mittaamiseen perustuvat yksiköt on johdettu kandelasta.

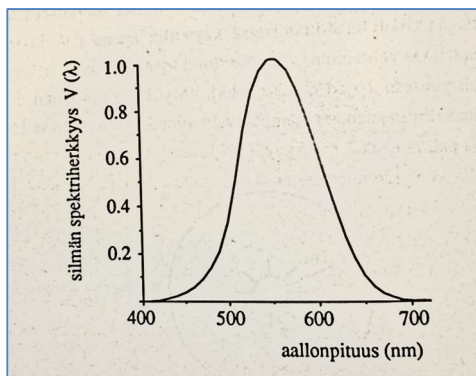
Etäisyys ei vaikuta kandelan arvoon. Esimerkiksi lamppu voi säteillä kandelan voimakkuudella joka suuntaan. Jos lampusta peitetään osa, ei valovoimakkuus muutu, mutta valovirta luumeneissa heikkenee.

5.2 Valovirta

Valovirta Φ luumen [lm] edustaa valoenergian virtausnopeutta tasaisesti säteilevästä lähteestä yhden metrin säteisen pallon pinnalle. Yksinkertaistettuna voidaan todeta, että valovirta on valonlähteen säteilyteho Φ_e [W] painotettuna silmän spektriherkkyyssäyrällä $V(\lambda)$ kuvassa 1.

Valonlähteiden tuottamaa valon määrää on hyvä vertailla luumeneissa. Energiasäästölamppujen, ledien ja halogeenien tehot wateissa eivät ole vertailukelpoisia, sillä yksikkö watti [W] tarkoittaa yleisesti lampun myyntipakkauksessa ottotehoa. Jotta LED-lampun valovirran määrä olisi vastaava 60W hehkulampun kanssa, sen tulisi olla 800 luumenia, kuten taulukosta 2 ilmenee.

Ihmisen näköjärjestelmä ei ole yhtä herkkä kaikille valon aallonpituuksille. Silmän suurin herkkyys on aallonpituudeltaan 555 nanometriä keltavihreällä valolla. Tällä aallonpituudella käyrästä $V(\lambda)$ kuvassa 1 saadaan arvoksi 1.0. Muilla aallonpituuksilla silmän herkkyys on pienempi, joten tarvitaan suurempi säteilyteho, jotta saavutetaan sama valoistimus.



Kuva 1. Silmän spektriherkkyys aallonpituuden funktiona (Halonen & Lehtovaara, 1992, 36)

Hehkulamppu	Led-lamppu
Ottoteho [W]	Valovirta [lm]
15	140
25	250
40	470
60	800
75	1050
100	1520

Taulukko 2. LED-lampun tarvittava valovirta hehkulamppun korvaamiseen. (Lampputieto www-sivut)

5.3 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus kuvaa valovirran tiheyttä valaistavalla pinnalla ja sen yksikkö on lumentametri neliömetrille [lm/m^2], eli luksi (lx). Valaistusvoimakkuus on riippuvainen valovirrasta, valaisimen heijastimen ominaisuuksista ja valaistavan pinnan etäisyydestä. Sille voidaan kirjoittaa yhtälö:

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

jossa A on valaistavan pinnan ala ja Φ on pinnalle osuva valovirta.

Voidaan siis todeta, että mitä kauempana valaistava pinta on valonlähteestä, sitä pienempi valaistusvoimakkuus on. Sisävalaistuksen arvot vaihtelevat usein 100 - 1000 luksin välillä. Työpaikkojen valaistukseen on määritelty standardit, joista lisää luvussa 7. (Halonen & Lehtovaara, 1992, 36. lamputieto www-sivut)

5.4 Luminanssi

Pintaan osuvasta valovirrasta osa absorboituu pintaan ja loppuosa heijastuu kohteesta. Heijastuva osuus määrää pinnan luminanssin. Se siis käytännössä ilmaisee kohteen pintakirkkauden. Luminanssin yksikkö on kandela per neliometri (cd/m^2) ja tunnus

L. Näkökentän luminanssit vaikuttavat suoraan näkö tarkkuuteen ja kontrastiherkkyteen. Liian korkeat luminanssit aiheuttavat häikäisyä ja niiden suuret erot tai nopeat muutokset rasittavat silmää. (ST-kortti 58.07, 4.1.2)

5.5 Väriominaisuudet

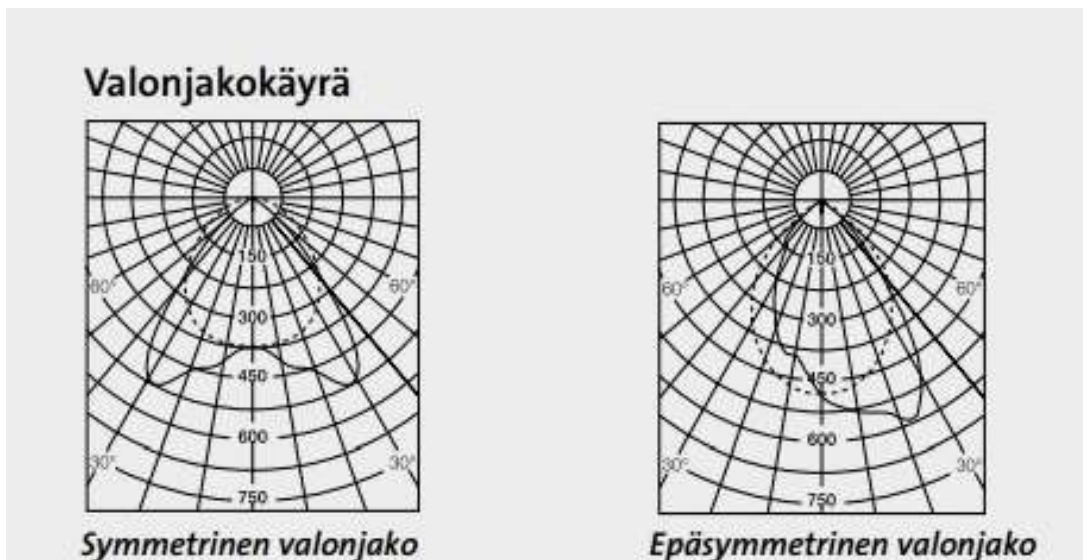
Valon värisävy voidaan ilmoittaa väriämpötilana Kelvin asteikolla [K]. Lamputta käytetään yleisesti 2700K ja 6500K välisiä väriämpötiloja. Neutraalin valkoinen valo on 3300K-5300K. Alle 3300K väriämpötilat ovat lämpimiä ja yli 5300K:n viileänsävyisiä.

5.5.1 Värintoistoindeksi R_a

Värintoistoindeksillä mitataan kuinka paljon määrätyn valonlähteen värintoisto poikkeaa vertailulähteen värintoistosta. Yleisesti käytetty värintoistoindeksi on R_a -indeksi. Sitä määrittäessä verrataan valonlähteen värintoistokykyä vertailuvalonlähteeseen. Alle 5000K:n valonlähteillä vertailuun käytetään vastaavan väriämpötilan Planckin (musta kappale) säteilijää. Yli 5000K:n lamputta taas tehdään väriämpötilan päivänvalospektriin. R_a -indeksin maksimiarvo on 100 ja se vastaa täydellistä värintoistoa. Sisävalaistuksessa sen tulisi olla yli 80.

5.6 Valonjakokäyrä

Valaisimen valonjakokäyrä kertoo valonlähteen tai valaisimen avautumiskulmasta ja täten sen sopivuudesta tiettyyn tilaan. Yleensä esitysmallina on polaarinen valonjakokäyrä, jossa esitetään kaksi akselia. Jos valonlähde tai valaisin on pyörähdyssymmetrinen, leikkaus valonjakokappaleesta yhdessä tasossa riittää. Punainen viiva esittää 0-180 asteen linjassa valonjaon ja sininen viiva poikittaisen 90-270 asteen valonjaon. Valonjakokäyrät on skaalattu valonlähteen 1000 lm kohden. Usein valonjakokäyrästä näkee myös valonlähteen hyötysuhteen. Kuvassa 2 on esimerkit symmetrisestä ja epäsymmetrisestä valonjakokäyrästä. (Karhapää, 2012)



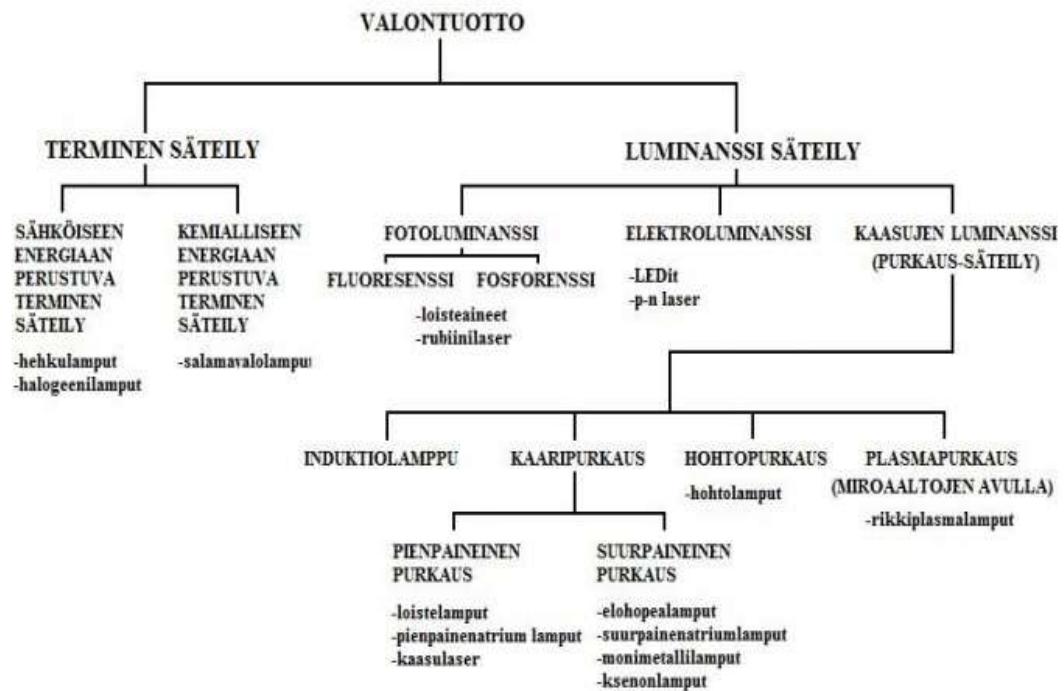
Kuva 2. Valonjakokäyrän valonjako symmetrisesti ja epäsymmetrisesti (Fagerhult 2012-2013, 4)

6 VALONLÄHTEET

6.1 Valontuoton pääperiaatteet

Valontuotossa säteily on aina lähtöisin fysikaalisesta aineesta esimerkiksi hehkulampusta tai loistelampun loisteaineesta. Yleisesti näkyvää valoa säteilevät valonlähteet tuottavat myös infrapuna- ja ultraviolettisäteilyä.

Valon eri tuottotavat voidaan yleisesti jakaa kahteen ryhmään, termiseen- ja luminenssisäteilyyn kuvan 3 osoittamalla tavalla. Termisessä säteilyssä valon tuottaa aineen osasten lämpöliike. Luminenssisäteilyssä säteily tapahtuu vain tietyillä aallonpituuksilla tai spektrin osilla. Kun luminenssi tapahtuu kiinteässä aineessa, on kyseessä loistesäteily. Jännitteestä johtuva varauksenkuljettajien liike tuottaa luminenssi-ilmiön kaasuissa. (Halonen & Lehtovaara, 1992, 157)



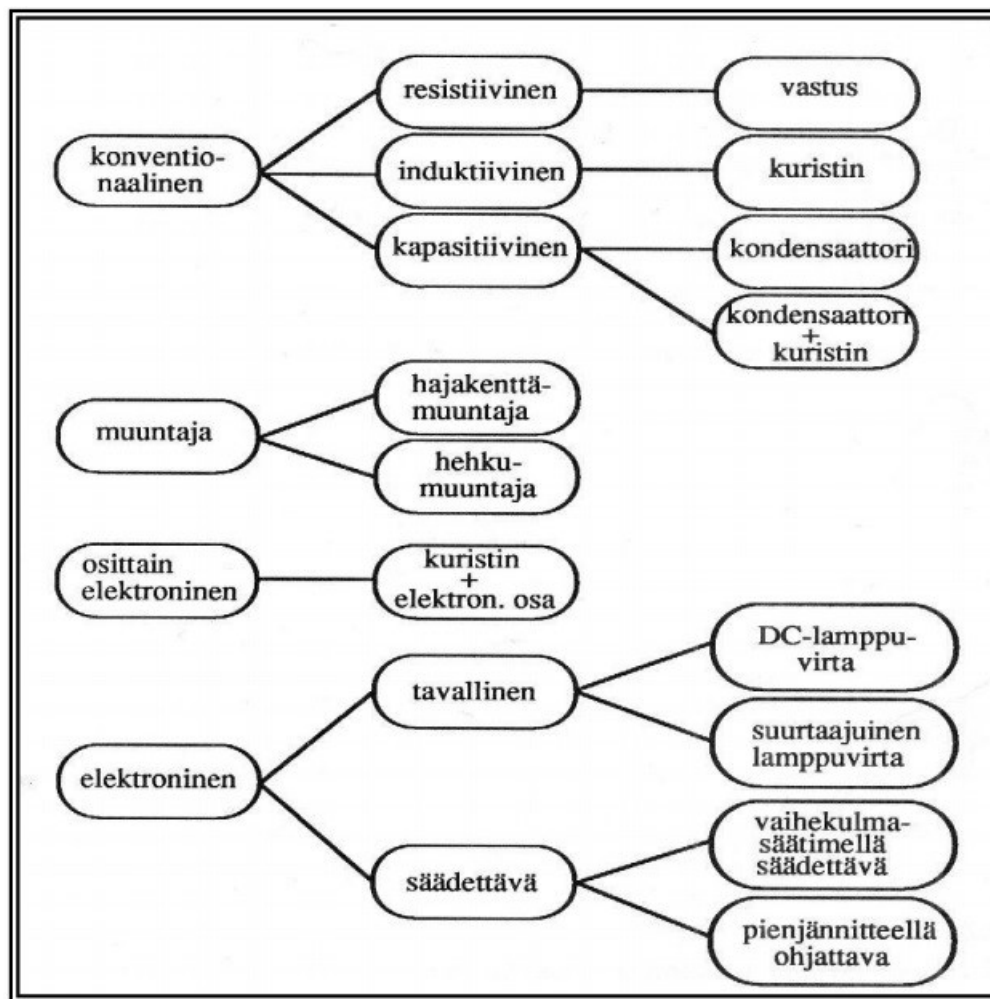
Kuva 3. Valontuoton pääajit (Halonen & Lehtovaara, 1992, 158)

6.1.1 Elektroluminesenssi

Elektroluminesenssi on kiinteässä aineessa ja kaasussa sähkökentän vaikutuksesta johdettava säteilyä. Sitä voi syntyä joko puolijohteessa varauksenkuljettajien rekombinoituessa tai kiihtyvien elektronien vaikutuksesta loisteaineissa. Elektroniluminesenssissä emittoituu monokromaattista valoa. Ilmiötä hyödynnetään valoa emittoivissa diodeissa, eli LED:issä. (Halonen & Lehtovaara, 1992, 174)

6.2 Liitäntälaitteet

Purkaus- tai LED-lamppuja ei voida liittää suoraan verkkojännitteeseen, vaan ne vaativat erillisen liitäntälaitteen. Ne voidaan jakaa kuvan 4 osoittamalla tavalla rakenteensa ja toimintaperiaatteensa mukaan.



Kuva 4. Valonlähteiden liitännälaitteet. (Halonen & Lehtovaara, 1992, 289)

6.2.1 Magneettinen virranrajoitin

Magneettista virranrajoitinta eli kuristinta käytetään yleisimmin loisteputkilamppujen liitännälaitteena. Virranrajoitin voidaan toteuttaa myös kuristimen ja kondensaattorin sarjakytkentänä. Kondensaattorin kapasitanssi on mitoittettava yhtä suureksi kuin pelkän kuristimen impedanssi kuitenkin siten, että vaihesiirto on kapasitiivinen. Tällöin valovirran vaihtelu verkkojännitteen heilussa on pieni. (Halonen & Lehtovaara, 1992, 290)

Kuristin on hyvin yksinkertainen ja suhteellisen pitkäikäinen liitännälaitte, mutta sen hyötysuhde ei ole yhtä hyvä kuin elektronisen liitännälaitteen. Hajotessaan kuristin on paloturvallisuusriski ja se usein polttaa koko valaisinryhmän sulakkeen. Viiallisen kuristimen etsiminen valaisinryhmästä saattaa olla työlästä.

6.2.2 Elektroniset liitäntälaitteet

Elektroninen liitäntälaitte korvaa sytyttimen, kuristimen sekä kondensaattorin kasvattaen samalla lampun elinikää. Sillä voidaan kasvattaa loisteputkivalaisimen valotehokkuutta nostamalla syöttöjännitteen taajuutta, jolloin myös valaisimen tehokerroin on hyvä, noin 0,95–1,0. Elektronista liitäntälaitetta käytettäessä loppuun palaneet lamput eivät jää välkkymään, eikä valon värinää ole havaittavissa. (Halonen & Lehtovaara, 1992, 301)

Sen huonoihin ominaisuuksiin lukeutuu sähköverkkoa kuormittavat harmoniset yliaalloit sekä mahdolliset vuotovirrat maihin. Myös ympäristöolosuhteiden sietokyky on liitäntälaitteella hyvin rajallinen. Ongelmia tuottavat muun muassa kylmyys, kosteus ja korkeat lämpötilat. Niiden käyttöikä (eli kun 10 % laitteista vikaantunut) normaalissa käytössä on noin 10 vuotta, eli noin 50 000 tuntia. (ST-kortti 58.08)

Valtavallo Oy:n mukaan elektroninen liitäntälaitte ei sovellu LED-valoputkien kanssa käytettäväksi. Kyseinen valonlähde saattaa syttyä ja toimia hetken aikaa, mutta luvattu käyttöikä ei välttämättä heidän mukaansa toteudu. LED-valoputkien toimivuus elektronisten liitäntälaitteiden kanssa onkin vielä epävarmaa. Toisaalta esimerkiksi General Electric markkinoi omaa valoputkeaan soveltuvaksi lähes kaikille liitäntälaitteille. (Ruoko henkilökohtainen tiedonanto 25.1.2016)

6.2.3 LED-liitäntälaitteet

LED-valonlähteitä on mahdollista käyttää etuvastuksen kanssa, suoraan tasajännitteellä tai tasajännitepulsseja antavalla ohjaimella. LED-liitäntälaitteen tehtävä on muuttaa verkkovirta (AC) LED:ille soveltuvaksi tasavirraksi (DC). Yksinkertaisimmillaan se voi olla virtaa rajoittava vastus, mutta yleensä liitäntälaitteena toimii hyvän hyötysuhteen omaava hakkuri. Liitäntälaitetta valittaessa on huomioitava, että useita LED-valonlähteitä kytkettynä sarjaan tai rinnan voivat virta, jännite ja teho suurentua. Ohjaimen ja liitäntälaitteen tulee olla yhteensopivia. Näitä ohjaavat standardit ovat kuitenkin kehittyvaiheessa, joten suunnittelukustannusten säästämiseksi on hyvä käyttää saman valmistajan liitäntälaitteita, ohjaimia ja valonlähteitä. Ongelma reali-

soituu käytännössä esimerkiksi äänihäiriöinä himmentimessä, kun käytössä on eri valmistajan valonlähde. Taloudellisesti järkevintä olisi pitää LED-valonlähteet ja liitäntälaitteet erillään, se ei kuitenkaan ole kuluttajaystävällistä. (ST-kortti 57.52)

6.3 Loistelamput

Valontuotto loistelampussa perustuu elektronien sähköpurkaukseen. Loisteputki sisältää paineistettua elohopeahöyryä, jonka atomit virittyvät sähköä kytkettäessä. Elektronien viritys purkautuu, kun ne palaavat takaisin alemmille energiatasolle. Ilmiöstä syntyy ultraviolettisäteilyä, jota putken loisteainekerros muuntaa näkyväksi valoksi. Loistelamput vaativat aina erillisen liitäntälaitteen, joista oli aiemmin maininta kappaleessa 4.2.

Yleisimmin käytössä on T5- ja T8-kantaisia lamppeja, joiden halkaisijat ovat 16 mm ja 26 mm. T5-kantaiset lamput ovat käytettävissä vain elektronisen liitäntälaitteen kanssa.

Loistelamppujen käyttöiät vaihtelevat paljon 10 000-70 000 tunnin väliltä. Jos lamppeja sytytetään ja sammutetaan tiheästi, lyhenee niiden käyttöikä merkittävästi, erityisesti konventionaalaisia kuristimia käytettäessä. Loisteputkivalaisimen käyttöikää määrittäessä pitää kuitenkin ottaa huomioon myös liitäntälaitteiden käyttöikä, joka on valaisintyyppin yksi heikkouksista.

Loistelamput sisältävät raskasmetalleja, kuten elohopeaa. Kyseisestä syystä ne luokitellaan ongelmajätteeksi. Loistelamppuja ostaessa niiden hintaan on sisällytetty EU:n WEEE-direktiiviin perustuva SER-kierrätysmaksu, joka sitouttaa tuottajan jätteen käsittelyyn.

(ST-Kortti 58.08, 5.3)

Loistelamppujen ominaisuudet tiivistettynä:

- Hyviä puolia ovat valotehokkuus, kohtuullinen käyttöikä ja monenlaiset teho-, väri- ja säätövaihtoehdot.
- Huonoja puolia ovat energiatehokkuusvaatimusten mukaisen elektroniikan rajoittama käyttöikä ympäristöolosuhteet huomioiden verrattuna konventionaalisiin kuristimiin.

6.4 LED-valonlähteet

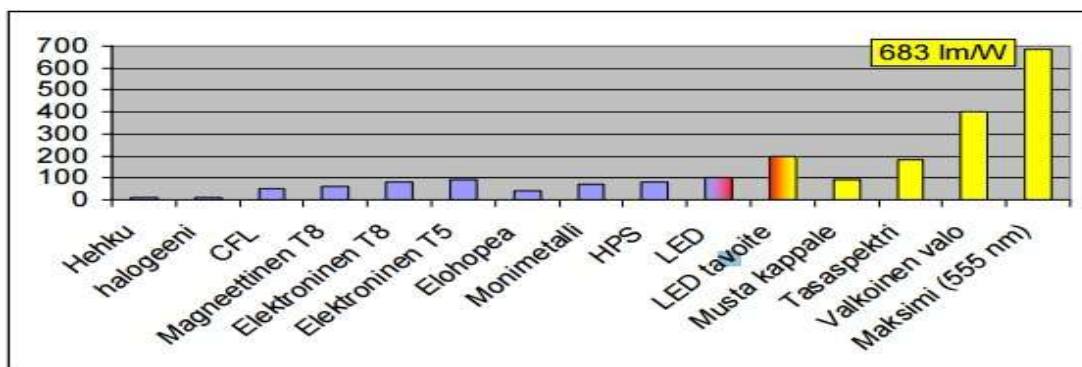
Hohtodiodi eli LED (light emitting diode) on puolijohdekomponentti, joka emittoi valoa hyödyntämällä elektroluminesenssiä. Ilmiö on selitettyinä kappaleessa 4.1.1. LED-valonlähteet pohjautuvat pn-liitokseen, jossa fotonin emission saa aikaan elektroniaukkoparin rekombinoituminen. LED:it soveltuvat niin yleis- kuin kohdevalaistukseen, ulko- ja sisävalaistukseen sekä useisiin erikoissovelluksiin. LED:eillä toteutettu valaistus arvioidaan samoilla kriteereillä, kuin perinteisemmät valaistusvaihtoehdot.

Suhteellisen korkea hinta jarruttaa edelleen LED:ien käyttöä. Itsessään ne eivät ole kalliita, mutta toimiakseen LED vaatii useita muita komponentteja, jotka vaikuttavat lopputuotteen hintaan. LED-valaistusjärjestelmän hankintakustannukset ovat suuret, mutta nopeasti kehittyvänä valonlähteenä se haastaa pitkällä käyttöiällään ja energiatehokkuudellaan perinteisemmät valaistusjärjestelmät.

Vuonna 2003 voimaan astunut RoHS-direktiivi rajoittaa sähkölaitteiden valmistuksessa terveydelle ja ympäristölle haitallisten aineiden käyttöä. Direktiivi johtaa lyijytömiin valmistusprosesseihin esimerkiksi piirikorteissa alentamalla näiden elinikää. (St-kortti 57.52)

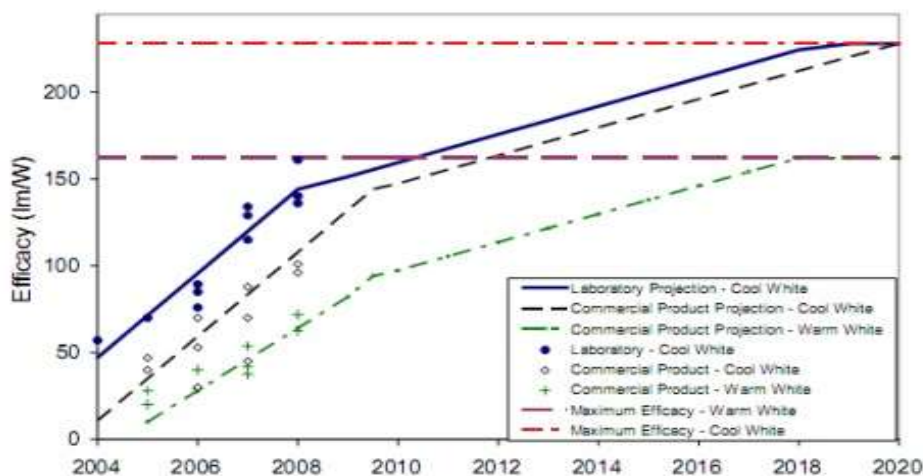
6.4.1 Valotehokkuus

Valotehokkuus ilmoittaa miten paljon valoa valonlähde tuottaa käytettyä sähkötehoa kohden. Mitä suurempi arvo, sitä energiatehokkaampi valonlähde on. Valotehokkuuden yksikkö on [lm/W]. Muihin valonlähteisiin nähden LED:ien paremmuus perustuu niiden suureen valotehokkuuteen. LED-valonlähteiden energiatehokkuutta voidaan verrata muihin valonlähteisiin kuviossa 1.1.



Kuvio 1.1 Valonlähteiden valotehokkuudet. (Valosto www-sivut)

Huomattavaa on, että esimerkiksi T5 loisteputkilamppu on valotehokkuudeltaan hyvin lähellä LED-valonlähteitä. LED-tekniikka kuitenkin kehittyy vauhdilla parantaen niiden valotehokkuutta edelleen tulevina vuosina. Kuviossa 1.2 on arvioitu LED-valonlähteen valotehokkuuden kehittymistä vuoteen 2020 asti. Arviossa on käytetty teholediä, jonka sirun koko on 1 mm², ympäristön lämpötila 25 °C, virta 350mA ja polttoikä säilyy kohtuullisena.



Kuvio 1.2. Valkoisen LED:in valotehokkuuden arvioitu kehittyminen (Valosto www-sivut)

6.4.2 Käyttöikä

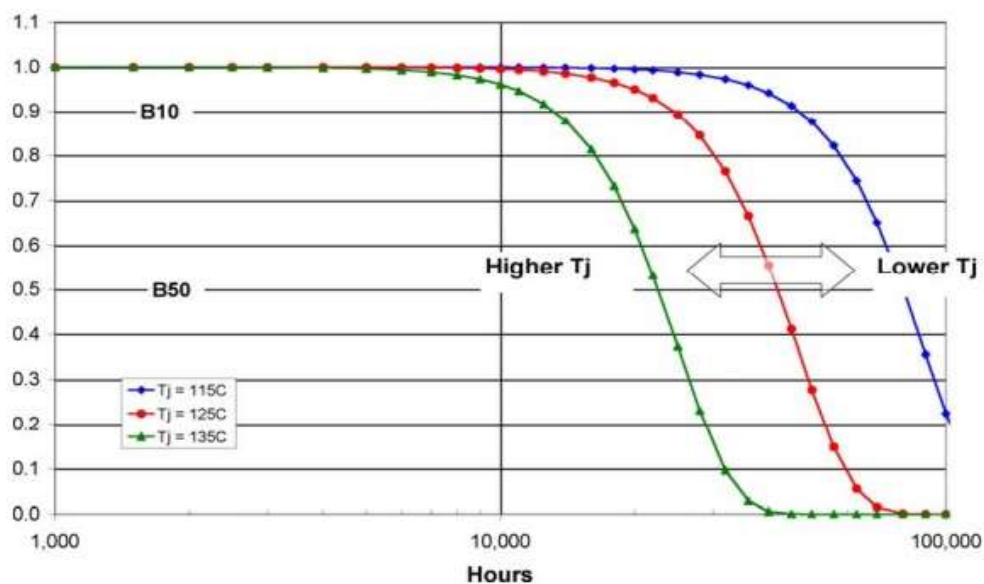
LED-valonlähteiden käyttöikä on pitkä edellyttäen, että valaistusjärjestelmä on suunniteltu, asennettu ja ylläpidetty oikein. Korjausten ja huollon välien määrittely on huomattava osa kyseisen valaistusjärjestelmän elinkaarilaskentaa. LED:ien maksimieliniän oletetaan olevan noin 100 000 tuntia. Elinikään kuitenkin vaikuttaa suuresti LED-tyyppi ja tuotteen laatu. LED-valonlähteiden käyttöikäksi yleensä ilmoitetaan 10 000-50 000 tuntia. Taulukossa 3 on ilmoitettu LED-valaistusjärjestelmän osien oletetut käyttöiät.

Käyttöiällä tarkoitetaan, että 50–70% valotehosta on jäljellä alkuperäiseen verrattuna. LED:ien käyttöikä on vahvasti riippuvainen seuraavista tekijöistä: valmistajasta, käyttövirrasta, liitäntälaitteen tehosyötön laadusta, lämpötilasta ja lämmönsiirrosta. Lämpötilan hallinta on yksi avaintekijöistä LED-valonlähteiden käyttöiän parantamisessa.

	Valaisin	LED-valonlähde	Liitin	Johdot	Liitäntälaitte	Ohjain
Elinikä-arviossa huomioon otettavaa	Muoviosaa 100 kääntökertaa ³	10 000–50 000 h (100 000 h) ²	Kestää 50, 200, 1 000 kytkentäkertaa	Yleinen elektronikan elinkaari-olettamus	Riippuu lämpötilasta, suunnittelijasta, häiriöistä, ylikuormituksesta ¹	Riippuu suunnittelijasta haluaako hän varmatoimisuutta vai ei
Elinikäarvio vuosina	5	5–10	5–20	20–25	3–30	2–25

Taulukko 3. LED-valaistusjärjestelmän komponenttien käyttöiät. (ST-kortti 57.52)

Kuvio 2 havainnollistaa miten Philipsin Luxeon K2:sen liitoslämpötila vaikuttavat käyttöikänsä, kun sitä kuormitetaan 1.5 ampeerilla. LED-valonlähteen käyttövirran kohtominen kuumentaa sitä, josta aiheutuu käyttöiän heikentyminen. (ST-kortti 57.52)



Kuvio 2. LED:in liitoslämpötilan vaikutus käyttöikänsä. (Ledjournal www-sivut)

6.4.3 EMC-ominaisuudet ja CE-merkintä

Sähkölaite ei saa aiheuttaa muita laitteita haittaavia häiriöitä toimiessaan normaalissa ympäristössä. Häiriöitä ovat kaikki laitteen käyttöön kuulumattomat ympäristöön lähettämät sähkömagneettiset ilmiöt. (Tukes 2014)

EMC lyhennetään sanoista electromagnetic compatibility, eli sillä tarkoitetaan sähkömagneettista yhteensopivuutta. Radion rätinä tai tietokoneen virhetoiminnot ovat monesti sähkölaitteiden aiheuttamia häiriöitä. Sähkömagneettisille ilmiöille annetaan raja-arvot EMC-direktiivissä, jota valmistajien on noudatettava. Syvällisemmin LED-valonlähteiden EMC-standardeihin voi tutustua SFS-käsikirjassa 651-2.

LED-valaistusjärjestelmässä EMC-ominaisuudet yleensä liittyvät järjestelmän virran- tuottoon ja sen muuntamiseen. Esimerkiksi hakkurihimmennimet tulee olla EMC- ominaisuuksiltaan hyväksytyt. (ST-kortti 57.52)

Valmistajan on osoitettava, että laite täyttää direktiivien vaatimukset ja huolehdittava EU-vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta. Tämän jälkeen valmistaja voi kiinnittää tuotteeseensa CE-merkin. (Tukes www-sivut)

6.4.4 Retrofit LED-valoputket

LED-valoputkia käyttöönottaessa pitää ottaa huomioon monia asioita. Valoputkien asentamisessa, tai niistä mahdollisesti aiheutuvista valaisin muutoksissa saattaa ilmen- tyä turvallisuusriskejä sekä sähköalan ammattilaiselle että kuluttajalle. LED- valoputkea käytetään pääasiassa T8-loisteputkien korvaajina G13-kantaisissa valai- simissa. T5-loisteputkien korvaaminen LED-valoputkilla G5-kantaisissa valaisimissa on myös mahdollista erillisellä adapterilla. Elektronisella liitäntälaitteella toimiva T5- loisteputki on kuvion 1.1 osoittamalla tavalla kuitenkin niin energiatehokas, ettei kon- versio ole vielä vuonna 2016 välttämättä taloudellisesti kannattavaa. Magneettisella virranrajoittimella ei ole suurta vaikutusta LED-valoputkivalaisimen energiatehok- kuuteen.

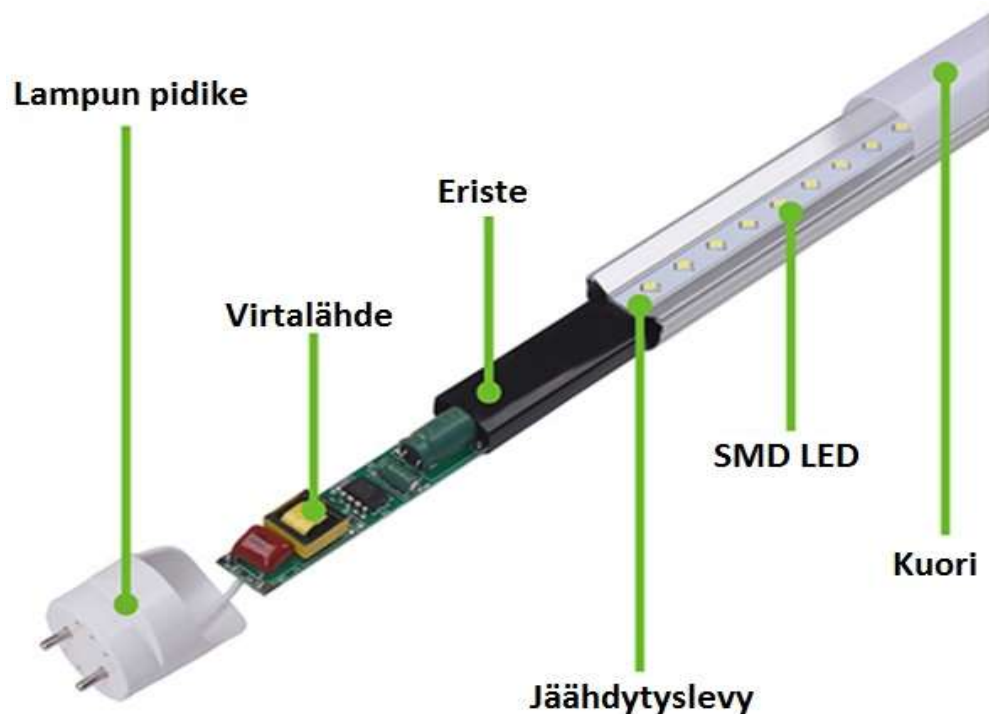
Markkinoilla on myynnissä yksittäisiä retrofit LED-valoputkia, niillä ensiasennettuja valaisimia sekä LED-valoputki-muutossarjoja (conversion kits). Valoputkien pääasia- lisiä käyttökohteita ovat muun muassa julkiset tilat, varastot, kaupat, kylmätilat ja te- olliset tuotantotilat. (Tukes 2014)

Retrofit LED-valoputken voi asentaa loisteputkivalaisimeen ilman muutoksia ja työ rinnastetaan ylläpitotyöksi, aivan kuten palaneen loisteputken vaihto. Tällöin alkupe- räisen loisteputkivalaisimen CE-merkintä ja muut sertifiointimerkinnot pysyvät voi- massa. Ennen retrofit-putken asennusta on syytä selvittää sisältääkö valaisin:

- häiriönpoistokondensaattoreita (Katso kappale 4.4.6)
- elektronista liitäntälaitetta. (Katso kappale 4.2.2)

Käytännössä retrofit-asennustapaan soveltuviissa valaisimissa on oltava magneettinen virranrajoitin eli kuristin. Asennustavassa loisteputken sytytin korvataan niin kutsu- tulla LED-sytyttimellä. Valaisin voidaan palauttaa normaaliin loisteputkikäyttöön vaihtamalla LED-sytytin takaisin loisteputken sytyttimeksi. LED-valoputken yleinen

rakenne on havainnollistettu kuvassa 5. LED-valonlähteet saattavat ottaa käynnistys-
hetkellä lyhytkestoisesti hyvin paljon virtaa, mikä on huomioitava järjestelmän kaape-
lointeja suunniteltaessa. (Valtavallo muistio 16.1.2016)



Kuva 5. LED-valoputken yleinen rakenne. (eslightbulbs www-sivut)

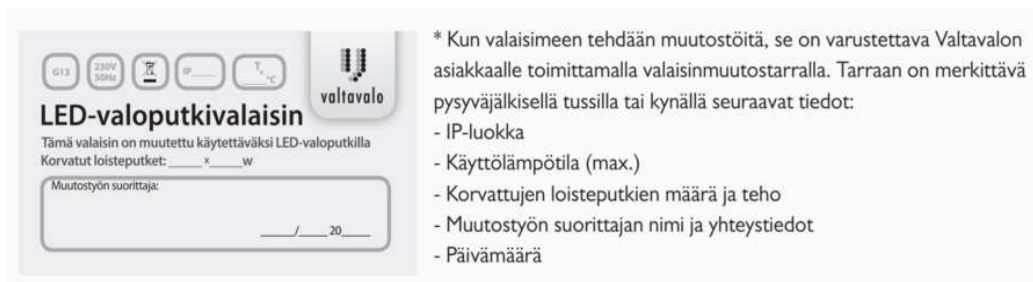
6.4.5 LED-valoputki-muutossarjat.

LED-valoputki-muutossarja saattaa olla tarpeellinen, mikäli loistevalaisin sisältää elektronisen liitännälaitteen. Muutossarja sisältää kaikki komponentit sekä asennus- ja testausohjeet, joiden avulla loisteputkivalaisin on muutettavissa LED-käyttöön. Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi liitännälaitteet, ohjauselektronikka, johdotus ja lampunpitimet. (Tukes 2014)

Valaisimeen tehtävät sisäiset muutokset ovat lähtökohtaisesti ongelmallisia, koska turvallisuus ja kemikaaliviraston mukaan tällöin valaisimen alkuperäisen valmistajan vastuu tuotteesta lakkaa. Alkuperäisen loisteputkivalaisimen rakenteelliseksi muuttamiseksi katsotaan esimerkiksi liitännälaitteiden sisäisen johdotuksen muuttaminen, korvaaminen tai poistaminen. Muutosten jälkeen valaisimen arvokilpi, sertifiointimerkinnot ja CE-merkintä eivät ole voimassa.

Valtavallo Oy tarjoaa muutossarjaa, jota käyttäessä vastuu valaisimen vaatimuksenmukaisuudesta ja turvallisuudesta siirtyy Valtavalolle. Valaisimiin tulee laittaa merkintä,

siitä, että ne on muutettu LED-valoputkikäyttöön. Käytännössä muutostyön jälkeen uudesta LED-valoputkivalaisimesta on löydettävä uusi arvokilpi, muutostyön suorittajan yhteystiedot ja kyseisessä tapauksessa Valtavalolta saatava valaisinmuutostarra, joka on nähtävissä kuvassa 6. Uusi CE-merkintä ei ole tarpeen, mikäli valaisinta ei saateta uudelleen markkinoille ja se on sähköturvallinen. (Valtavalo muistio 16.1.2016)

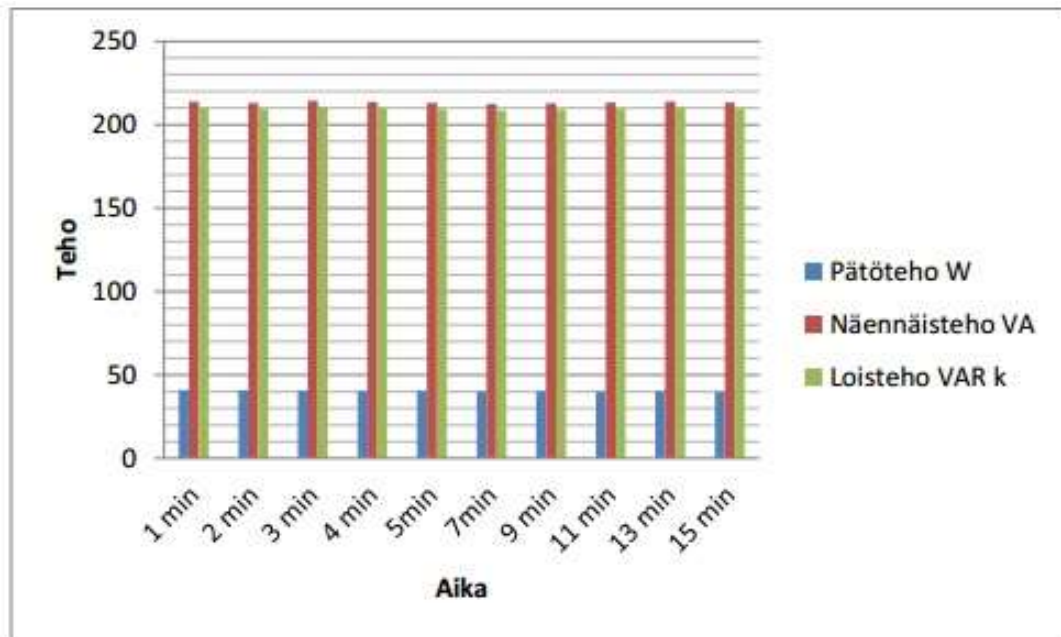


Kuva 6. Esimerkki valaisinmuutostarrasta. (Valtavalo muistio 16.1.2016)

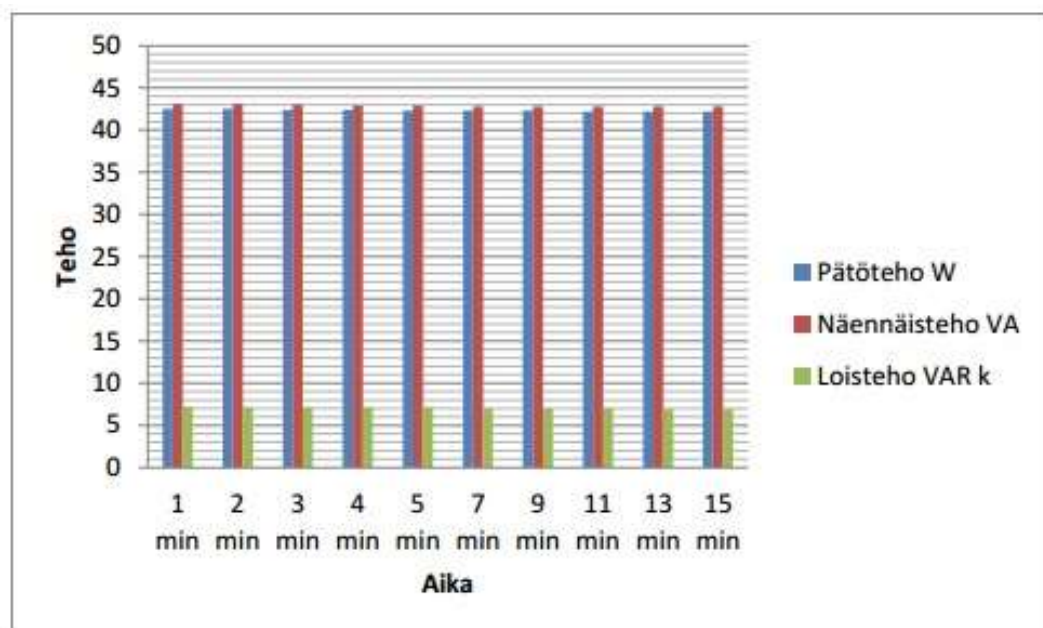
6.4.6 Kompensointikondensaattorit LED-valoputkivalaisimissa.

Magneettisella virranrajoittimella eli kuristimella varustettu loisteputkivalaisin sisältää mahdollisesti kompensointikondensaattorit. Niiden tarkoitus on kompensoida kuristimen tuottamaa induktiivista loistehoa.

Retrofit LED-valoputkien käyttäminen kyseisissä loisteputkivalaisimissa saattaa heikentää tehokerrointa ja tuottaa verkkoon kapasitiivista loistehoa, minkä vuoksi kompensointikondensaattoreiden poisto valaisimista on suositeltavaa. Kyseisten komponenttien poisto katsotaan valaisimen rakenteen muuttamiseksi, jolloin valaisinmuutostarra on pakollinen. LED-valoputkia käytettäessä pätöteho on huomattavan pieni, mutta kondensaattorit saattavat kasvattaa valaisimen loistehoa merkittävästi. Kondensaattorien vaikutuksia LED-valoputkivalaisimiin voidaan vertailla kuvioissa 3.1 ja 3.2. Loisteho saattaa olla ongelma kiinteistössä, joissa siitä joutuu maksamaan energiayhtiölle. Tällöin loistehon kompensoiminen voi olla tarpeellista kiinteistössä. Loisteho voi myös johtaa merkittävään kokonaisvirran kasvuun, joka johtaa valaisinkaapeloinnin lisälämpenemiseen. Toisaalta mikäli kiinteistössä on induktiivista loistehoa liiaksi, saattaa kyseinen konvertoitu LED-valoputkivalaisin kondensaattoreineen kompensoida mahdollisesti ongelmallista induktiivista loistehoa.



Kuvio 3.1. LED-valaisimen tehot kondensaattorilla ja kuristimella (Ylimannila Jouko 2011)



Kuvio 3.2. LED-valaisimen tehot ilman kondensaattoria. (Ylimannila Jouko 2011)

6.5 LED-valonlähteiden aiheuttamat muutokset verkon yliaaltosisältöön.

Osa LED-valonlähteistä ottaa verkosta hyvin säröytynyttä virtaa. Sen yhteydessä esiintyy usein virran yliaaltoja. Suurilla LED-valonlähdekuormilla yliaallot voivat aiheuttaa säröä syöttävään verkkoon. Erityisen haitallisia ovat kolmella jaolliset virran yliaallot, joita osa LED-valonlähteistä tuottaa runsaasti.

LED:ien himmennykseen käytetyt jännitteen katkomiseen perustuvat TRIAC- ja transistorihimmentimet edesauttavat myös osaltaan yliaaltojen muodostumista. Kolmella jaolliset virran yliaallot summautuvat nollajohtimeen ja saattavat aiheuttaa sen selkeää ylikuormitusta. Kyseisessä tilanteessa saattaa syntyä palovaara, koska nollajohdinta ei suojata sulakkeella. (Katajisto, 2015, 40)

LED-valonlähteistä johtuvat verkkohäiriöt eivät juurikaan vaikuta pienkuluttajiin, mutta suurissa teollisuus- ja liiketiloissa voi esiintyä yliaaltojen suodatuksen tarvetta. On kuitenkin huomattava, että loisteputkivalaisimien elektroniset liitäntälaitteet aiheuttavat myös harmonisia yliaaltoja, tällöin LED-konversio ei välttämättä lisää verkon säröytymistä vanhaa järjestelmää enempää. (ST-kortti 58.08)

7 VALAISTUSINVESTOINNIN KANNATTAVUUS

7.1 Investointilaskelmat

Investointilaskelmilla pyritään yleensä selvittämään eri sijoitusvaihtoehtojen paremmuutta, joten ne ovat vaihtoehtolaskelmia. Toisaalta investointilaskelmat ovat myös taloudellisuuslaskelmia, koska niitä käyttäen arvostellaan omaisuusinvestointien taloudellisuutta ja kannattavuutta.

Yritystaloudessa investointilaskelmien lähtökohta on, että sijoitettu pääoma tuottaa korkoa. Tämä perustuu siihen, että tuotantotoiminnan rahoitus tulee pääasiassa lainaamalla. Laitteen tulisi tuottaa pitoaikanaan riittävän paljon uuden laitteen hankintaan ja lainan takaisinmaksuun. Laitteen ylläpito aiheuttaa lisäksi esimerkiksi huollosta aiheu-

tuvia muita kuluja. Nämä on myös pystyttävä kattamaan tuotoilla. Investointilaskelmat aloitetaan yleensä investointiselvityksellä, joka kattaa vaihtoehtojen valinnan, investointien ajoituksen ja taloudellisimman vaihtoehdon valinnan. (Ruppa, 2001, 15)

7.1.1 Vuosikustannusmenetelmä

Mikäli vaihtoehtojen käyttökustannukset ovat vuosittain yhtä suuret, sopii niiden vertailuun vuosikustannusmenetelmä.

Esimerkki:

7W LED-lampun hinta on 12€. Valaistusta käytetään 3500h/a ja lampun käyttöikä on 40 000. Sähköenergian hinta olkoon 0,060 €/kWh. Kuinka suuret ovat lampun vuosikustannukset 5 % laskentakorolla?

Keskimääräinen kestoikä:

$$\frac{40000h}{3500h/a} = 11,43a$$

Lampun hinnasta aiheutuva vuosikustannus voidaan johtaa tasa-annuiteettimenetelmän kaavasta:

$$K_k = \frac{p}{100} * \frac{K_0}{1 - \frac{1}{a^\tau}},$$

Jossa a on korosta johtuva vuosimaksu, K_0 on hankinta-arvo, p on laskentakorko ja τ on pitoaika vuosina. Sijoittamalla arvot kaavaan saadaan hinnasta aiheutuvaksi vuosikustannukseksi 1.40 €/a

Vuoden energiakustannus on

$$K_W = 7 \text{ W} * 3500 \text{ h/a} * 0,60 \text{ €/kWh} = 1,47 \text{ €/a}$$

Vuosikustannukset yhteensä ovat

$$K_k + K_W = 2,87 \text{ € (Ruppa, 2001, 24)}$$

7.1.2 Takaisinmaksuaika

Jonkin välineen tai laitteen hankinnasta johtuva vuotuinen tuotto tai säästö on laskettavissa. Takaisinmaksuaika havainnollistaa hyvin investoinnin kannattavuutta. Sen voi laskea kaavalla

$$K_0 = T_1 * \frac{100}{p} * (1 - \frac{1}{a^x}),$$

Jossa K_0 on hankintahinta, T_1 on vuotuinen tuotto ja p on käytetty korko. Kappaleen 5.1.1 vuosikustannusmenetelmää hyödyntäen voidaan esimerkiksi määrittää LED-valaistuksen takaisinmaksuaika verraten loisteputkivalaistukseen. Lasketaan myös loisteputkivalaistuksen vuosikustannukset. Täten voidaan määrittää LED-valaistuksen vuosittainen tuotto. Ratkaisemalla x takaisinmaksuajan kaavasta saadaan aika τ , jona uusi valaistus tuottaa ostohintansa takaisin korolla p . (Ruppa, 2001, 54)

7.2 Valaistuksen energiatehokkuus

Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat etenkin valaisimet, valonlähteet, valaistuksen toteutus ja valaistuksen käyttö. Kuvassa 7 energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät on ryhmitelty lopulta viiteen olennaiseen ryhmään.



Kuva 7. Energiatehokkaan valaistuksen tekijät. (Suomen valoteknillinen seura ry, 2008, 24)

Työkohteen tai tilan valaistustasot on määritelty standardissa SFS-EN 12464-1. Standardia hyödynnettäessä suunnittelussa saattaa ongelmaksi muodostua työkohteen paikan ja koon määrittäminen. Esimerkiksi Satmatic Oy:n tuotantotiloissa työpisteet ovat liikuteltavia ja siksi onkin järkevintä toteuttaa riittävä valaistus koko tuotantotilaan. (Suomen valoteknillinen seura ry, 2008, 24)

7.2.1 LENI-luku

Valaistuksen energiatehokkuutta eri kiinteistöissä pystytään vertailemaan, kun tarkastellaan valaistuksen energiakulutusta pinta-alaa kohden. Kyseinen arvo on nimetty

LENI:ksi (Lightning Energy Numeric Indicator). LENI-arvo voidaan laskea käyttämällä tarkkaa- tai pikamenetelmää. Pikamenetelmä arvioi koko kiinteistön energiakäyttöä vuodessa ja sitä voidaan käyttää vain yleisesti esiintyviin kiinteistötyyppeihin. Tarkassa menetelmässä käytetään kiinteistön todellisia arvoja ja sillä saadaan usein alhaisempi LENI-arvo. DIAluxin ja Fagehultin LCC ohjelmat pohjautuvat tarkkaan laskentamenetelmään.

Kyseinen arvo ei juurikaan ota huomioon valaistuksen käyttöä, mutta se kuvaa hyvin, miten energiatehokkailla liitäntälaitteilla, valonlähteillä ja valaistusperiaatteella toteutus on tehty. (Suomen valoteknillinenseura ry, 2008, 24)

LENI-arvo voidaan määrittää yhtälöstä

$$LENI = W/A [kWh/m^2 * vuosi] ,$$

Jossa W on valaistuksen energiakulutus ja A kiinteistön pinta-ala.

Valaistuksen energiakulutus voidaan joko mitata tai laskea. Se koostuu valonlähteiden kulutuksesta W_L ja valaistusjärjestelmän lepokulutuksesta W_p .

Valaistuksen energiakulutus lasketaan kaavasta

$$W = W_L + W_p [kWh]$$

Valonlähteiden kulutus muodostuu käytännössä sen kokonaistehon ja käyttöajan tulosta. Tarkalleen se voidaan määrittää yhtälöstä

$$W_L = \sum\{(P_n * F_c) * [(t_D * F_o * F_D) + (t_N * F_o)]\}/1000 [kWh] ,$$

Jossa P_n on kokonaisteho, käyttöaika päivänvalossa t_D , käyttöaika pimeään aikaan t_N , läsnäoloon perustuvan ohjauksen kerroin F_o , vakiovalo-ohjauksen säästökerroin F_c ja vakiovalo-ohjauksen säästökerroin huomioiden päivänvalon F_D . Taulukossa 4.1 on yleisiä ohjearvoja valonlähteiden kokonaiskulutuksen laskentaan. LENI-vertailuarvoja on saatavilla standardista SFS-EN 15193.

Lepokulutuksessa huomioidaan käyttämättömän valaistuksen ottama teho sekä turvalaistuksen teho. Taulukossa 4.2 on ilmoitettu toimistohuoneelle soveltuvia suositusarvoja. (Fagerhult, 2012–2013, 511)

Rakennus- tyyppi	Laatu- luokka	P_n W/m ²	t_o h	t_N h	LENI-arvot ei vakiovalosäätöä		LENI-arvot vakiovalosäätö	
					käsiohj.	auto	käsiohj.	auto
					kWh/m ² ,y	kWh/m ² ,y	kWh/m ² ,y	kWh/m ² ,y
Toimisto	*	15	2250	250	42,1	35,3	38,3	32,2
	**	20	2250	250	54,6	45,5	49,6	41,4
	***	25	2250	250	67,1	55,8	60,8	50,6
Teollisuus	*	10	2500	1500	43,7	41,2	39,7	37,5
	**	20	2500	1500	83,7	78,7	75,7	71,2
	***	30	2500	1500	123,7	116,2	111,7	105,0

Taulukko 4.1. Standardin mukaisia LENI-arvoja. (Suomen valoteknillinen seura ry, 2008, 26)

Suositellut LENI-arvot toimistohuoneille			
Huonetyyppi	Ilman automaattista ohjausta		Automaattinen valonsäätö luonnonvalon mukaan ja läsnäolo-ohjaus
	Ohjearvo	Tavoitearvo	Tavoitearvo
Suurhuoneet	35	30	25
Pienhuoneet	30	25	20

Taulukko 4.2. LENI-arvo suositukset toimistoon. (Suomen valoteknillinen seura ry, 2008, 28)

7.2.2 Häviöloistehon aiheuttama vuosikustannus

Sähköjohdot ja pyörivät koneet kuluttavat induktiivista loistehoa. Loisteho ei ole työtä tekevää tehoa ja siksi sitä pyritään tarpeen mukaan kompensoimaan pois, esimerkkinä loisteputkivalaisimen kondensaattorit (katso kappale 4.4.6). LED-valoputkea käytettäessä loisteputkivalaisimessa loisteho saattaa kääntyä kapasitiiviselle puolelle.

Loistehomaksu eli loistehon yksikköhinta on käytännössä noin kymmenesosa päätötehomaksusta. Häviöloistehosta aiheutuva vuosikustannus on loistehomaksun ja häviöloistehon vuotuisen huippuarvon tulo:

$$K_Q = H_Q * Q_{h \max} ,$$

Jossa K_Q on häviöloistehon vuosikustannus, $Q_{h \max}$ on häviöloistehon vuotuinen huippuarvo ja H_Q on loistehomaksu. (Ruppa, 2001, 9)

7.3 Huolto

Yksi merkittävä kustannustehokkuuteen vaikuttava tekijä valaisinten valinnassa on niiden huoltokustannukset. Valaistussuunnittelussa on huomioitava valonlähteen polttoikä, valaisimen sijoitus, liitäntälaitteen elinkaari ja valaistuksen ylläpidon hallinta. Huoltokustannukset ovat noin 10 % valaistuksen kokonaiskustannuksista valonlähteestä riippuen. (valosa www-sivut)

Valaisimien mitoitus perustuu niin sanottuun huoltoarvoon. Se tarkoittaa valaistustason säilymistä koko käyttöjakson ajan mitoitetulla tasolla. Valaistustason säilyttämi-

nen edellyttää valaisimien puhdistamista ja lamppujen vaihtamista. Valaistuksen suunnittelija määrittelee huoltojakson pituuden valovirran alenemakerrointa käyttäen. Kerroin huomioi mitoituksessa huoltojakson aikana tapahtuvan likaantumisen ja valovirran alenemisesta aiheutuvan valaistusvoimakkuuden putoamisen (katso kappale 5.3.1).

LED-valoputkikonversio vähentää huollon kustannuksia merkittävästi, koska valoputki sisältää liitäntälaitteen. Tällöin ainoa kulumiselle altis osa valaisimessa on valoputken pitimet. LED-valoputkivalaisimen ylläpitoon kykenee lähes aina sähköalan maallikko. (Ruoko henkilökohtainen tiedonanto 25.1.2016)

7.3.1 Valovirran aleneminen

Valaisimissa valovirta alenee hiljalleen johtuen esimerkiksi likaantumisen vuoksi. Valon tuoton heikentyminen on ominaista LED-valonlähteille ja se tulee huomioida valaistuksen suunnittelussa. Tämä on kuitenkin hankalaa yksinkertaisilla matemaattisilla kaavoilla, koska LED saattaa menettää valotehoaan aluksi nopeasti kuitenkin myöhemmin tasaantuen. Valovirranarvo mitataan, kun ilmoitetusta eliniästä on kulunut 25 %.

Valaisinvalmistajan on ilmoitettava standardin LM-80 mukaisesti valovirran pysyvyysarvo L_x ja vikaantumisosuus F_y . Valovirran pysyvyysarvo selviää valonlähteen fotometrisestä koodista, joka puretaan kuvassa 8 ja taulukossa 5. Se voidaan ilmoittaa myös erikseen esimerkiksi L_{90} , joka tarkoittaa aikaa, jolloin 90 % valovirrasta on jäljellä. Standardi vaatii vähintään 6000 testituntia.

Fagerhult suosittelee LED:ien laskennalliseksi alenemakertoimeksi 0,8, jolloin esimerkiksi neljän vuoden huoltojaksolla valaistuksen energiankulutus tulee olla 25 % ylimitetty. (Teknologiateollisuus, 2011, 10)

Fotometrisen koodin rakenteen esittämiseksi alla fotometrinen koodin 830/359 purettuna:

- CRI:n alkuarvo 84 – koodi 8
- CCT:n alkuarvo 3 000 K – koodi 30
- värikoordinaattien alkuhajonta 3-portaisessa MacAdamin ellipsissä – koodi 3
- värikoordinaattien loppuhajonta 5-portaisessa MacAdamin ellipsissä – koodi 5
- valovirran pysyvyys testiajan lopussa 91 % – koodi 9.

LED-moduulin fotometrinen koodi on ilmoitettava tuotepakkauksessa ja tuote-esitteessä.

Kuva 8. Fotometrisen koodin purkaminen (Teknologiateollisuus, 2011, 7)

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

Taulukko 5. Valovirran pysyvyys fotometrisessä koodissa. (Teknologiateollisuus, 2011, 7)

7.4 Fagerhult Life Cycle Cost kustannuslaskentaohjelma

Fagerhult LCC ohjelma on suunniteltu valaistuksen elinkaaren kustannusten selvittämiseen. Sen on toteuttanut valaisinvalmistaja Fagerhult, joka yksi Euroopan johtavista valaistusalan ryhmittymistä. Laskentaohjelma käyttää tarkkaa LENI-arvon laskentamenetelmä, joka on melko työläs käsin laskettavaksi. Valaistusratkaisujen vertailu on sitä käyttäen käytännöllistä, vaikka osaa ohjelman vaatimista arvoista joutuukin arvioimaan tapauskohtaisesti.

8 TOIMISTO- JA TUOTANTOTILOJEN VALAISTUS

Valaistusratkaisut valikoitiin Satmatic Oy:n tiloihin yrityksessä tehdyn työergonomiakyselyn pohjalta, kuitenkin alan standardit huomioiden. Kiinteistön tuotantotiloihin haettiin vähintään yhtä tehokasta, mutta samalla energiatehokkaampaa valaistusta. Elinkaarilaskelmissa laskentakorko oli 3.0 %, inflaatio 1.0 % ja järjestelmän pitoaika 20 vuotta.

Toimistovalaistuksen kehityskohteenä oli erityisesti kiusahäikäisyn vähentäminen. Kaikki vaihtoehtoiset valaistusmallit on suunniteltu nykyisellä manuaalisella ohjauksella kustannusten kohoamisen välttämiseksi. Valaistusratkaisuiden toimittajat ja hinnat eivät ole julkista tietoa, mutta opinnäytetyön tilaaja voi nähdä ne liitteissä 8-10.

8.1 Lähtötilanne

Tuotantotilojen (liite 3) valaistus on toteutettu yhteensä 400 loisteputkivalaisimella, joista 241 on vanhanmallisia T8-kantaisia loisteputkivalaisimia. Loput 159 valaisinta ovat malliltaan uudempaa T5-sukupolvea. T5-kantaiset loisteputkivalaisimet sijaitsevat kiinteistön projektihallissa. Muissa tuotantotiloissa on käytössä T8-kantaiset loisteputkivalaisimet, joista 16 kappaletta on malliltaan 1x58W ja 225 kappaletta 2x58W. Kaikki valaisimet ovat varustettu elektronisella liitälaitteella ja etenkin vanhemmissa T8-valaisimissa ne alkavat olla käyttöikänsä loppupäässä. Valaistuksien ohjaukset ovat toteutettu manuaalisesti ja niiden syötöt tulevat valaistuskeskuksilta eripuolilta kiinteistöä. Tuotantotilojen valaisimet ovat yleisesti kiinnitettynä valaisinkiskoon, joka helpottaa merkittävästi mahdollisten uusien valaisimen asentamista.

Toimisto- ja käytävätilojen valaistus on toteutettu useilla erimallisilla ja tehoisilla valaisimilla. Pääosin käytössä on 2x58W tai 1x58W T8-kantaiset loisteputkivalaisimet sekä T5-valaisimet kahdella loisteputkella varustettuna. Taulukossa 6 on esitetty valaisintyyppit ja määrät sijoitettuna kiinteistön eri tiloihin.

Valaisintyyppit Satmatic Oy:n kiinteistössä							
Sijainti ja määrä [kpl]							
Valaisintyyppi	Pienrasiat	Sopimushalli	Projektihalli	Varasto	Vastaanotto	Toimistotilat	Yhteensä
2x58W T8	16	91	-	21	107	28	263
1x58W T8	6	-	-	-	-	34	40
2x36W T8	-	-	-	-	-	4	4
2xT5	-	-	159	-	-	49	208
1xT5	-	-	-	-	-	5	5
							520

Taulukko 6. Kiinteistön valaisimien tyypit ja sijainnit.

8.2 Valaistusratkaisu 1. Retrofit LED-valoputket

Ensimmäinen vaihtoehto tuotantotiloihin LED-valaistuksen toteuttamiseksi oli retrofit LED-valoputki. Se oli vaihtoehtoista selkeästi halvin ja yksinkertaisin ratkaisu, kun vanhat loisteputket vaihdetaan LED-valoputkiin ja sytyttimet LED-sytyttimiin. Satmatic Oy:n kiinteistössä olevat loisteputkivalaisimet olivat varustettu elektronisilla liitälaitteilla, joiden kanssa retrofit LED-valoputket eivät välttämättä toimi oikein.

Tästä syystä on suositeltavaa testata valoputkien toimivuutta ensin pienessä osassa kiinteistöä, esimerkiksi pienrasioiden tuotantoalueella. (Katso kappaleet 4.2.2 ja 4.4.4) Tuotteeksi valikoitui 27W/T8/840 LED-valoputki, jota markkinoidaan myös elektroniselle liitäntälaitteelle sopivaksi. Sen takuu on 5 vuotta ja käyttöikä 40 000 tuntia (L70), valovirta 3000 luumenia 27 watin ottoteholla (111lm/W). Kyseisellä valoputkella valotehon pitäisi siis hieman lisääntyä verrattuna vanhoihin loisteputkivalaisimiin. Kuvassa 9 on vanhan loisteputkivalaistuksen kustannuksia vertailtu retrofit LED-valoputkilla toimivaan valaistukseen.

Fägerhult LCC Satmatic valaistusinvestointi		15.2.2016	
Valaistusratkaisujen kustannusvertailu			
Yleiset tiedot	Lähtötilanne	Valaistusratkaisu 1	
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailuratkaisu takaisinma...)	Nykyinen valaistusratk...		
Valaisintyyppien lukumäärä	1	1	
Valaisintyyppi	241 - 2x58W	241 - 27W/T8/840	
Lampputyyppi	Loisteputki	27W/T8/840 retrofit LE...	
Valaisimien lukumäärä	241	241	
Valonlähteiden kokonaismäärä	482	482	
Investointikustannukset			
Valaisimen kokonaiskustannus	0 EUR	0 EUR	
Valonlähdekustannukset yhteensä	0 EUR	12 532 EUR	
Asennuskustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR	
Materiaali- ja työkustannukset yhteensä	0 EUR	2 706 EUR	
Investointi	0 EUR	15 238 EUR	
Energiakustannukset			
Valaistusratkaisun kokonaisteho	28 kW	13 kW	
Keskimääräinen käyttökerroin	100,0 %	100,0 %	
Teho yhteensä	28,0 kW	13,0 kW	
Keskimääräinen toiminta-aika	2 500 h/vuotta	2 500 h/vuotta	
Energiankulutus yhteensä/vuosi (ilman tyhjäkäyntitehoa)	69,89 MWh/vuotta	32,535 MWh/vuotta	
tyhjäkäyntiteho yhteensä	120,5 W	120,5 W	
Keskimääräinen tyhjäkäyntitehoaika	6 260 h/vuotta	6 260 h/vuotta	
Tyhjäkäyntienergian kulutus	754,3 kWh/vuotta	754,3 kWh/vuotta	
Energiankulutus vuodessa	70,6 MWh	33,3 MWh	
Sähkön hinta	0,1 EUR/kWh		
Energiakustannukset vuodessa	7 064 EUR	3 329 EUR	
Energiakustannusten nykyarvo	118 026 EUR	55 617 EUR	
Valonlähdekustannukset			
Valonlähteen nimi	Loisteputki	27W/T8/840 retrofit LE...	
Valonlähteiden kokonaismäärä	482	482	
Valonlähteiden vaihtokustannukset yhteensä	1 446 EUR	12 532 EUR	
Valonlähdekustannusten nykyarvo	3 444 EUR	9 157 EUR	
Liitäntälaitteen kustannukset			
Liitäntälaitteen kokonaisvaihtokustannus	14 460 EUR	14 460 EUR	
Liitäntälaittekustannusten nykyarvo	1 163 EUR	1 163 EUR	
Huoltokustannukset			
Huoltokustannukset yhteensä	723 EUR	6 266 EUR	
Huoltokustannusten nykyarvo	1 722 EUR	4 579 EUR	
Valaistusratkaisun nykyarvo	124 356 EUR	85 754 EUR	
Kriittinen piste (nykyarvomenetelmä)	- vuotta	4,2 vuotta	
Tuotto	0 EUR	38 602 EUR	

Kuva 9. Lähtötilanteen ja valaistusratkaisu 1 kustannusvertailu.

8.3 Valaistusratkaisu 2. LED-valoputki ohitetulla liitäntälaitteella.

Toiseksi valaistusratkaisuksi tuotantotiloihin valikoitui pitkäikäisempi LED-valoputki yhdistettynä valaisimien elektronisten liitäntälaitteiden ohituskytkentään. Kyseinen valmistaja ottaa ohituskytkennästä vastuun ja tarjoaa valaisimeen uuden arvokilven. LED-valoputken takuu on 7 vuotta ja elinikä 125 000 tuntia (L70), valovirta 2970 luumenia 24 watin ottoteholla (124lm/W). Kuvassa 10 vertaillaan lähtötilanteen kustannuksia LED-valoputkella varustettuun valaisimeen, kun liitäntälaitte on ohitettu.

Fagerhult LCC Salmatic valaistusinvestointi		15.2.2016
Valaistusratkaisujen kustannusvertailu		
Yleiset tiedot	Lähtötilanne	Valaistusratkaisu 2
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailuratkaisu takaisinma...)	Nykyinen valaistusratk...	
Valaisintyyppien lukumäärä	1	1
Valaisintyyppi	241 - 2x58W	241 - 24W/T8/840
Lampputyyppi	Loisteputki	24W liitäntälaitte ohitettu
Valaisimien lukumäärä	241	241
Valonlähteiden kokonaismäärä	482	482
Investointikustannukset		
Valaisimen kokonaiskustannus	0 EUR	0 EUR
Valonlähdekustannukset yhteensä	0 EUR	17 834 EUR
Asennuskustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR
Materiaali- ja työkustannukset yhteensä	0 EUR	4 850 EUR
Investointi	0 EUR	22 684 EUR
Energiakustannukset		
Valaistusratkaisun kokonaisteho	28 kW	11,6 kW
Keskimääräinen käyttökerroin	100,0 %	100,0 %
Teho yhteensä	28,0 kW	11,6 kW
Keskimääräinen toiminta-aika	2 500 h/vuotta	2 500 h/vuotta
Energiankulutus yhteensä/vuosi (ilman tyhjäkäyntitehoa)	69,89 MWh/vuotta	28,92 MWh/vuotta
tyhjäkäyntiteho yhteensä	120,5 W	0,0 W
Keskimääräinen tyhjäkäyntitehoaika	6 260 h/vuotta	- h/vuotta
Tyhjäkäyntienergian kulutus	754,3 kWh/vuotta	0 kWh/vuotta
Energiankulutus vuodessa	70,6 MWh	28,9 MWh
Sähkön hinta	0,1 EUR/kWh	
Energiakustannukset vuodessa	7 064 EUR	2 892 EUR
Energiakustannusten nykyarvo	118 026 EUR	48 317 EUR
Valonlähdekustannukset		
Valonlähteen nimi	Loisteputki	24W liitäntälaitte ohitettu
Valonlähteiden kokonaismäärä	482	482
Valonlähteiden vaihtokustannukset yhteensä	1 446 EUR	17 834 EUR
Valonlähdekustannusten nykyarvo	3 444 EUR	0 EUR
Liitäntälaitteen kustannukset		
Liitäntälaitteen kokonaisvaihtokustannus	14 460 EUR	0 EUR
Liitäntälaitteekustannusten nykyarvo	1 163 EUR	0 EUR
Huoltokustannukset		
Huoltokustannukset yhteensä	723 EUR	8 917 EUR
Huoltokustannusten nykyarvo	1 722 EUR	0 EUR
Valaistusratkaisun nykyarvo	124 356 EUR	71 001 EUR
Kriittinen piste (nykyarvomenetelmä)	- vuotta	5,6 vuotta
Tuotto	0 EUR	53 355 EUR

Kuva 10. Lähtötilanteen ja valaistusratkaisu 2 kustannusvertailu.

8.4 Valaistusratkaisu 3. Uusi valaisin ensiasennetuilla LED-valoputkilla

Kolmas valaistusratkaisu tuotantotiloihin on vanhojen loisteputkivalaisimien vaihtaminen uusiin valaisimiin, joissa on ensiasennettuna LED-valoputket. Tuotteeksi valikoitui valaisin, jossa on käytetty kahta 23 watin LED-valoputkea. Tuotteella on viiden vuoden takuu, sen käyttöikä on 94 000 (L80) tuntia ja valovirta 5808 luumenia 52 watin ottoteholla (112lm/W). Kuvassa 11 on vertailtu lähtötilannetta uuteen LED-valoputkilla varustettuun valaisimeen.

Fagerhult LCC Salmatio valaistusinvestointi		15.2.2016	
Valaistusratkaisujen kustannusvertailu			
Yleiset tiedot	Lähtötilanne	Valaistusratkaisu 3	
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailuratkaisu takaisinma...)	Nykyinen valaistusratk...	1	
Valaisintyyppien lukumäärä	241 - 2x58W	241 - Uusi valaisin LE...	
Valaisintyyppi	Loisteputki	23W LED-valoputki	
Lampputyyppi	241	241	
Valaisimien lukumäärä	482	482	
Valonlähteiden kokonaismäärä			
Investointikustannukset			
Valaisimen kokonaiskustannus	0 EUR	44 585 EUR	
Valonlähdekustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR	
Asennuskustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR	
Materiaali- ja työkustannukset yhteensä	0 EUR	9 640 EUR	
Investointi	0 EUR	54 225 EUR	
Energiakustannukset			
Valaistusratkaisun kokonaisteho	28 kW	12,5 kW	
Keskimääräinen käyttökerroin	100,0 %	100,0 %	
Teho yhteensä	28,0 kW	12,5 kW	
Keskimääräinen toiminta-aika	2 500 h/vuotta	2 500 h/vuotta	
Energiankulutus yhteensä/vuosi (ilman tyhjäkäyntitehoa)	69,89 MWh/vuotta	31,33 MWh/vuotta	
tyhjäkäyntiteho yhteensä	120,5 W	0,0 W	
Keskimääräinen tyhjäkäyntitehoaika	6 260 h/vuotta	- h/vuotta	
Tyhjäkäyntienergian kulutus	754,3 kWh/vuotta	0 Wh/vuotta	
Energiankulutus vuodessa	70,6 MWh	31,3 MWh	
Sähkön hinta	0,1 EUR/kWh		
Energiakustannukset vuodessa	7 064 EUR	3 133 EUR	
Energiakustannusten nykyarvo	118 026 EUR	52 343 EUR	
Valonlähdekustannukset			
Valonlähteen nimi	Loisteputki	23W LED-valoputki	
Valonlähteiden kokonaismäärä	482	482	
Valonlähteiden vaihtokustannukset yhteensä	1 446 EUR	25 064 EUR	
Valonlähdekustannusten nykyarvo	3 444 EUR	0 EUR	
Liitäntälaitteen kustannukset			
Liitäntälaitteen kokonaisvaihtokustannus	14 460 EUR	0 EUR	
Liitäntälaittekustannusten nykyarvo	1 163 EUR	0 EUR	
Huoltokustannukset			
Huoltokustannukset yhteensä	723 EUR	6 266 EUR	
Huoltokustannusten nykyarvo	1 722 EUR	0 EUR	
Valaistusratkaisun nykyarvo	124 356 EUR	106 568 EUR	
Kriittinen piste (nykyarvomenetelmä)	- vuotta	14,4 vuotta	
Tuotto	0 EUR	17 788 EUR	

Kuva 11. Lähtötilanteen ja valaistusratkaisun 3 kustannusvertailu.

8.5 Valaistusratkaisu 4. Uusi LED-moduulilla varustettu valaisin.

Neljäs valaistusratkaisu oli led-moduulilla varustettu valaisin, joka korvaa vanhat loisteputkivalaisimet. Tuotteeksi valikoitui 78 watin LED-moduulilla varustettu valaisin. Se soveltui vanhojen loisteputkivalaisimien tilalle kaapelointeja tai kiinnityksiä muuttamatta. Valaisimella on viiden vuoden takuu, sen käyttöikä on 60 000 tuntia (L80) ja valovirta 7300 luumenia 78 watin ottoteholla (94lm/W). Kyseisessä mallissa oli huomattavasti korkeampi valoteho, kuin vanhoissa loisteputkivalaisimissa. Tästä syystä valittiin malliin häikäisyä vähentävä kupu ja laaja heijastuskulma. Kuvassa 12 verrataan LED-moduulivalaisimen ja lähtötilanteen kustannuksia keskenään.

Fagerhult LCC SatmaBio valaistusinvestointi		15.2.2016	
Valaistusratkaisujen kustannusvertailu			
Yleiset tiedot	Lähtötilanne	Valaistusratkaisu 4	
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailuratkaisu takaisinma...)	Nykyinen valaistusratk...	1	
Valaisintyyppien lukumäärä	1	1	
Valaisintyyppi	241 - 2x58W	241 - LED-moduulivala...	
Lampputyyppi	Loisteputki	LED-moduuli	
Valaisimien lukumäärä	241	241	
Valonlähteiden kokonaismäärä	482	241	
Investointikustannukset			
Valaisimen kokonaiskustannus	0 EUR	40 247 EUR	
Valonlähdekustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR	
Asennuskustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR	
Materiaali- ja työkustannukset yhteensä	0 EUR	9 640 EUR	
Investointi	0 EUR	49 887 EUR	
Energiakustannukset			
Valaistusratkaisun kokonaisteho	28 kW	18,8 kW	
Keskimääräinen käyttökerroin	100,0 %	100,0 %	
Teho yhteensä	28,0 kW	18,8 kW	
Keskimääräinen toiminta-aika	2 500 h/vuotta	2 500 h/vuotta	
Energiankulutus yhteensä/vuosi (ilman tyhjäkäyntitehoa)	69,89 MWh/vuotta	46,995 MWh/vuotta	
tyhjäkäyntiteho yhteensä	120,5 W	120,5 W	
Keskimääräinen tyhjäkäyntitehoaika	6 260 h/vuotta	6 260 h/vuotta	
Tyhjäkäyntienergian kulutus	754,3 kWh/vuotta	754,3 kWh/vuotta	
Energiankulutus vuodessa	70,6 MWh	47,7 MWh	
Sähkön hinta	0,1 EUR/kWh		
Energiakustannukset vuodessa	7 064 EUR	4 775 EUR	
Energiakustannusten nykyarvo	118 026 EUR	79 775 EUR	
Valonlähdekustannukset			
Valonlähteen nimi	Loisteputki	LED-moduuli	
Valonlähteiden kokonaismäärä	482	241	
Valonlähteiden vaihtokustannukset yhteensä	1 446 EUR	47 477 EUR	
Valonlähdekustannusten nykyarvo	3 444 EUR	0 EUR	
Liitäntälaitteen kustannukset			
Liitäntälaitteen kokonaisvaihtokustannus	14 460 EUR	0 EUR	
Liitäntälaittekustannusten nykyarvo	1 163 EUR	0 EUR	
Huoltokustannukset			
Huoltokustannukset yhteensä	723 EUR	40 247 EUR	
Huoltokustannusten nykyarvo	1 722 EUR	0 EUR	
Valaistusratkaisun nykyarvo	124 356 EUR	129 662 EUR	
Kriittinen piste (nykyarvomenetelmä)	- vuotta	- vuotta	
Tuotto	0 EUR	-5 306 EUR	

Kuva 12. Lähtötilanteen ja valaistusratkaisu 4 kustannusvertailu.

8.6 Toimistotilojen valaistusratkaisu

LED-toimistovalaisin valittiin vaihtoehdoksi korvaamaan kiusahäikäisyä aiheuttavat T5-loisteputkivalaisimet työpisteiden yläpuolella, koska se soveltuu erityisesti tietokonetöskentelyyn. Valaisimen UGR-luku on näyttöpäätetyöskentelyyn sopiva 19 ja käyttöikä 50 000 tuntia. Korkealaatuinen LED-paneeli tuottaa 40 % suoraa- ja 60 % epäsuoraa valoa. Valaisimen hinnan vuoksi niitä ei ole kannattavaa investoida koko toimistoon, vaan vaihtaa vain häikäisevien valaisimien tilalle. Kyseiseen LED-toimistovalaisimeen ei ole mielekästä investoida pelkästään energiasäästön näkökannalta.

Toimistossa sijaitsevien T8-loisteputkivalaisimiin voidaan asentaa joko valaistusratkaisussa yksi mainittu retrofit LED-valoputki tai ratkaisussa kaksi oleva LED-valoputki ohitetulla liitäntälaitteella. Lisäksi valmistaja tarjoaa toivottua ergonomista LED-pöytävalaisinta värilämpötilan säädöllä kohdevalokäyttöön.

9 VALAISTUS OSANA TYÖERGONOMIAA

9.1 Valaistusympäristö

Hyvä valaistus työpaikalla merkitsee terveellisyyttä, viihtyvyyttä, turvallisuutta ja tuottavuutta. Viihtyvyys syntyy optimiolosuhteissa, jolloin ihmisen vireystila on hui-pussaan. Hyvä valaistus työpaikalla vähentää silmien rasituseireita ja terveyshaittoja, kuten esimerkiksi silmien kuivumista. (TTL www-sivut)

9.1.1 Häikäisy

Häikäisyn aiheuttavat näkökentässä olevat kirkkaat alueet. Se voidaan jakaa kahteen lajiin, jotka ovat kiusa- ja estohäikäisy. Estohäikäisy huonontaa näkemistä, mutta ei aina aiheuta epämukavuutta. Kiusahäikäisy yleensä aiheuttaa epämukavan tunteen, mutta ei välttämättä huononna näkökykyä. Harsoheijastuminen taas on näköhohteen

kiiltävistä pinnoista heijastuvan valon aiheuttamaa häikäisyä. Ne pienentävät usein kohteen kontrastia ja vaikeuttavat täten näkemistä.

Kiusahäikäisyn raja-arvot esitetään standardissa EN 12464-1 ja ne voidaan määrittellä käyttämällä CIE:n (International Commission on Illumination) kehittämää UGR (Unified Glare Rating)-menetelmää. Kyseisen häikäisyindeksin pystyy laskemaan käsin, mutta käytännössä se edellyttää soveltuvan tietokoneohjelman käyttämistä.

Määriteltyjen UGR-indeksien vaihteluväli on 10...28, jossa pienempi arvo tarkoittaa parempaa häikäisysojausta. Standardin mukaisesti indeksit esitetään tilakohtaisesti kolmen yksikön portaissa (16, 19, 22, 25 ja 28). UGR-arvot laskee valaisinvalmistaja, joka esittää ne osana valaisimen teknisiä tietoja. (ST-kortti 58.02)

Käytännössä valaisinhankintoja tehdessä pitää ostajan osata huomioida UGR-suositukset eri tiloihin. Standardi SFS-EN 12464-1 antaa tilakohtaiset suositukset häikäisyindeksi UGR-arvolle, valaistusvoimakkuudelle, ja pienimmälle sallitulle värin- toistoindeksille R_a . Huomioitavat arvot voidaan lukea standardin mukaisista taulukoista 7.1 ja 7.2. (Suomen valoteknillinen seura, 2008, 8)

Viite nro	Tila, tehtävä tai toiminta	E_m lx	UGR _L	R_a	Huomautukset
2.13.11	Kokoonpano: - karkea - tavallinen - hieno - tarkkuustyö	200 300 500 750	25 25 22 19	80 80 80 80	Korkeat tilat, ks 4.6.2.

Taulukko 7.1. Kokoonpanotyön valaistussuositukset. (Suomen valoteknillinen seura ry, 2008, 9)

Viite nro	Tila, tehtävä tai toiminta	E_m lx	UGR _L	R_a	Huomautukset
3.1	Arkistointi, kopiointi, jne	300	19	80	
3.2	Kirjoittaminen, konekirjoitus, lukeminen, tietojenkäsittely	500	19	80	Näyttöpäätetyö: katso luku 2.1.1
3.3	Tekninen piirtäminen	750	16	80	
3.4	CAD-työasemat	500	19	80	Näyttöpäätetyö: katso luku 2.1.1
3.5	Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
3.6	Vastaanottotiski	300	22	80	
3.7	Arkisto	200	25	80	

Taulukko 7.2. Toimistotilojen valaistussuositukset. (Suomen valoteknillinen seura ry, 2008, 10)

9.1.2 Valaistuksen vaikutukset näyttöpäätetyöskentelyyn

Valaistus on mitoitettava näyttöpäätetyöhön soveltuvaksi huomioiden yleiset työtehtävät. Niihin voidaan lukea esimerkiksi painetun tekstin lukeminen, näppäimistön käyttö, kirjoittaminen paperille ja näytöltä lukeminen. Näytöt ja näppäimistöt aiheuttavat helposti häiritseviä heijastumia, joiden välttämiseksi valaistuksen sijoitukseen ja valintaan pitää kiinnittää huomiota.

Vanhojen suositusten mukaisesti rakennetut toimistovalaukset olivat järkeviä, kun näyttöjen taustaväri oli tumma. Näyttöpäätteet ovat kuitenkin kehittyneet huomattavasti sallien epäsuoran valaistuksen hyödyntämisen. Näyttöpäättilöjen valaistuksen kehittämisessä tulisikin huomioida standardia ISO 9241-7. (ST-kortti 58.02)

Mikäli olemassa oleva valaistus häiritsee näyttöpäätetyöskentelyä pitää valaistusta muuttaa tai uudelleen sijoittaa työpisteet toimistossa. Valaistuksen muutos vaatii lähes aina investointeja, joten aluksi kannattaa selvittää onko työpisteet sijoitettu huonosti valaistukseen nähden. Kuva 13 havainnollistaa miten valaisimet on sijoitettava työpisteeseen näyttöpäätetyöskentelyssä. Toimistoissa tulisi käyttää joko epäsuoraa valoa tuottavia valaisimia tai pienen UGR-indeksin omaavia valaisimia. (katso kappale 7.1.1)



Kuva 13. Valaisimien suositeltu sijoitus työpisteeseen näyttöpäätetyöskentelyssä. (Työturva www-sivut)

9.2 Valon valaistusvoimakkuus ja värinlaatu

Viihtyvyyden kannalta valon värilaadulla on huomattava merkitys. Jokaisella värilämpötilan arvolla on suurin ja pienin valaistusvoimakkuus, jolla valaistus koetaan miellyttäväksi. Mikäli valaistusvoimakkuus on liian korkea, vaikuttaa valaistus luonnottomalta. Liian matalana taas se saa valaistuksen vaikuttamaan kylmältä.

Valkoinen valo ja suuri valaistusvoimakkuus auttavat keskushermostoa ylläpitämään toiminnallista aktiivisuutta ja nostamaan juuri sitä mielialaa, mitä ihminen kaipaa työhönsään. Kellanpunainen valo ja pienivalaistusvoimakkuus yllyttävät keskushermostoa jännityksen laukaisemiseen ja säätämään elimistön levon tilaan. Täten ne edistävät kyseisen mielialan syntymistä. Edellä mainitusta voidaan todeta, että lepo- ja virkistyskäytössä tarvitaan voimakkuudeltaan ja värilämpötilaltaan hyvin erilainen valaistus verrattuna työtiloihin. (Ahponen V, 1996, 74).

Valaistuksen miellyttävyys on kuitenkin ihmiselle hyvin subjektiivinen kokemus, kuten Satmatic Oy:ssä tehty kyselytutkimus osoitti.

9.3 Valaistuksen vaikutus näkemisen helppouteen ja työhön

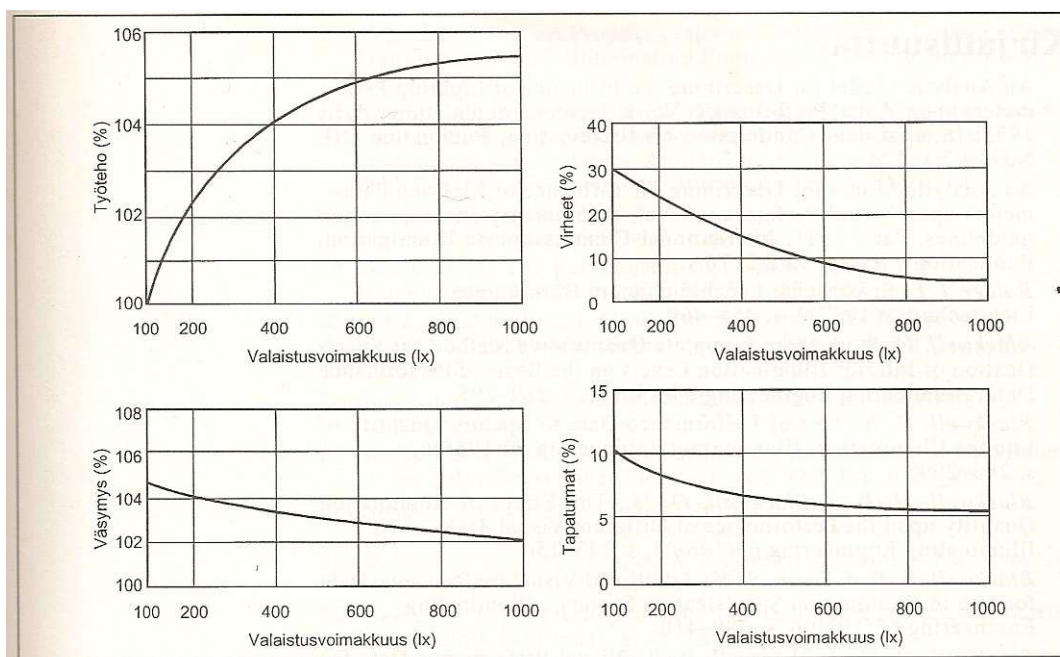
9.3.1 Vaikutus näkemisen helppouteen

Mitä huonompi valaistus on, sitä enemmän näkeminen vaatii henkistä energiaa. Tästä syystä huonossa valossa työskentely väsyttää nopeammin verrattuna hyvään valaistukseen. Huono valaistus saattaa aiheuttaa myös lihaskipuja ja päänsärkyjä. Niska- ja selkälihakset rasittuvat, kun henkilön tarvitsee taivuttaa itseään eteenpäin huonossa valossa nähdäkseen kunnolla.

Silmien konvergoiminen katsottavaan pisteeseen, niiden liikuttelu ja pupillin säätelminen vaativat lihastyötä. Hyvä ja tasainen valaistus vähentää silmän mukautumistarvetta vähentäen silmälihaksiin kohdistuvaa kuormitusta. Silmät saattavat vetistää ja punoittaa erityisesti rasittavassa pitkäaikaisessa lähikatselussa. (Ahponen V, 1996, 77)

9.3.2 Vaikutus työsuorituksiin

Työpaikan valaistuksella on merkittävä vaikutus ihmisen suorituskyykyyn. Valaistuksen ollessa hyvä, virheet ja vaaratilanteet voidaan havaita pikimmiten, työnkulkua voidaan valvoa paremmin ja työprosessin yksityiskohdat voidaan huomata nopeammin. Näin ollen hyvä valaistus parantaa työnlaatua ja työtehoa pienentäen samalla sen rasittavuutta ja tapaturmariskiä. Kuvassa 14 on esitetty valaistusvoimakkuuden vaikutukset työn rasittavuuteen, työtehoon, tapaturmien määrään ja virheellisten työsuoritusten määrään. (Ahponen V, 1996, 76)



Kuva 14. Valaistuksen vaikutukset työsuorituksiin. (Ahponen, 1996, 77)

9.4 Ihmisen iän vaikutus valaistustarpeeseen

Valon tarve kasvaa ihmisen ikääntyessä. Syynä tähän on pupillin pieneminen, silmälinssin kellastuminen ja silmän optisen järjestelmän heikentyminen.

Ihmisen vanhetessa valonsäteiden absorptio silmässä kasvaa erityisesti lyhyillä aallonpituuksilla. Pitkäaaltoinen säteily sen sijaan kulkeutuu silmän läpi verkkokalvolle lähes yhtä nopeasti niin nuorilla kuin vanhoilla. Tästä johtuen vanhemmiten ympäristö ei näytä enää yhtä värikkäänä sinisten värien osalta kuin nuorena.

län myötä silmä sopeutuu huonommin hämärään ja alttius estohäikäisyyteen kasvaa. Vanhemmiten estohäikäisyyteen johtava harsoluminanssi voi olla jopa kolminkertainen nuoriin verrattuna. Taulukossa 8 on esitetty eri-ikäisten ihmisten valontarpeet painettua tekstiä luettaessa. Taulukossa 40 vuotiaan henkilön tarvitsemaa valaistusvoimakkuutta merkitään yhdellä. (Ahponen V, 1996, 64)

Ikä	10v	20v	30v	40v	50v	60v
Suhteellinen valontarve	1/3	1/2	2/3	1	2	6

Taulukko 8. Suhteellinen valontarve eri-ikäisillä. (Ahponen V, 1996, 64)

9.5 Kyselytutkimus valaistuksen laadusta Satmatic Oy:ssä

Satmatic Oy:n kiinteistössä tuotetaan paljon erilaisia pienjännite-, sähköjakelu ja ohjausjärjestelmiä. Järjestelmien kokoonpano tapahtuu pääosin käsin ja siksi tuotantotyöntekijöiden mielipide valaistuksen laadusta koettiin tarpeelliseksi. Kyselytutkimukseen vastasi myös toimistotyöntekijät, jotta toimistovalaistuksen työergonomisia vaikutuksia pystyttäisiin arvioimaan tehokkaammin.

Tutkimus järjestettiin tuotantotyöntekijöille paperikaavakkeella, joka sisälsi erilaisia moni valinta- ja avoimia kysymyksiä. Toimihenkilöille kysely tehtiin Webropol ohjelmalla ja toimitettiin sähköpostilinkkinä sen helppouden ja nopeuden vuoksi. Vastauksia kyselyyn saatiin 28 kappaletta, joista 9 tuli toimistotiloista ja loput tuotannon eri alueista. Tutkimuksen kyselykaavakkeet ovat esitettynä liitteissä yksi ja kaksi, lisäksi liitteessä kolme on kiinteistön pohjakuva, josta selviää työalueiden sijainnit.

9.5.1 IBM SPSS Statistics ohjelmisto

Kyselyllä kerätty tieto analysoitiin käyttäen SPSS (Statistical Package for Social Sciences) ohjelmistoa. IBM SPSS Statistics on suunniteltu tilastotieteelliseen analyysiin ja sen ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 1968. SPSS on myös ohjelmistoa myyvän yrityksen nimi. Tarkemmin ohjelmistoon voi perehtyä Maarit Valtarin Helsingin yliopistolle tekemässä SPSS-perusteet oppaassa. Kuvassa 15 on esitetty SPSS-ohjelmiston variable view, jossa on määriteltynä kyselylomakkeessa olleet kysymykset ja kysymystyyppiin.

Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure	Role	
1	Työpiste	Numeric	8	0	Valitse millä alueella työpisteesi sijaitsee	{1, Piharasat, pienkotelot}	None	8	Right	Nominal	Input
2	sopivn1	Numeric	8	0	Työpisteesi on riittävän valaistu	{1, Täysin eri mieltä}...	None	8	Right	Nominal	Input
3	sopivn2	Numeric	8	0	Työpisteessäni on häiritseviä varjoja	{1, Täysin eri mieltä}...	None	8	Right	Nominal	Input
4	sopivn3	Numeric	8	0	Koen valaistuksen häikästä häiritsevästi työpisteessäni	{1, Täysin eri mieltä}...	None	8	Right	Nominal	Input
5	sopivn4	Numeric	8	0	Olen tyytyväinen työpaikkani valaistukseen	{1, Täysin eri mieltä}...	None	8	Right	Nominal	Input
6	heijastumat	Numeric	8	0	Työpisteeseen syntyy häiritseviä heijastumia	{1, syntyjy}...	None	8	Right	Nominal	Input
7	värilämpö	Numeric	8	0	Koen valaistuksen värilämpöään miellyttäväksi	{1, en koej}...	None	8	Right	Nominal	Input
8	sopivn2_käännetty	Numeric	8	2		None	None	22	Right	Nominal	Input
9	sopivn3_käännetty	Numeric	8	2		None	None	22	Right	Nominal	Input
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34											
35											
36											
37											

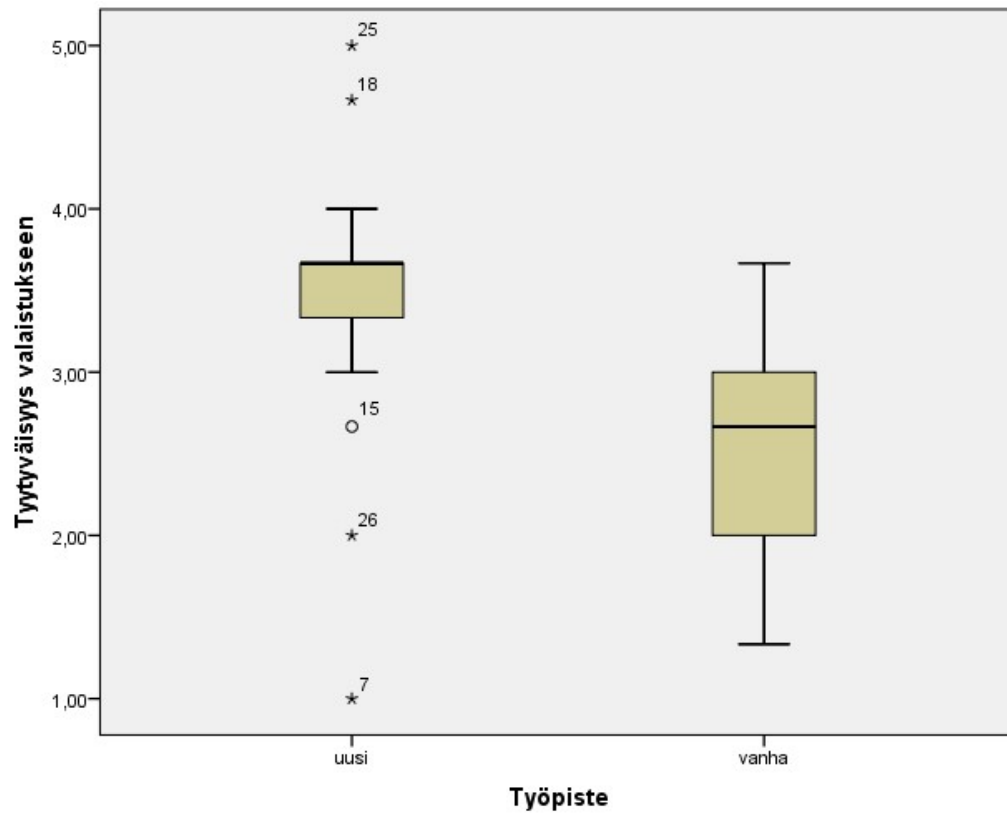
Kuva 15. SPSS-ohjelman variable view.

9.6 Kyselytutkimuksen tulokset

Kyselyn tavoitteena oli vanhan valaistuksen laadun arviointi, jota huomioiden pystytään suunnittelemaan uusia valaistusratkaisuja tehokkaammin. Kyselyn kaikki vastaukset on taulukoitu liitteisiin neljä ja viisi.

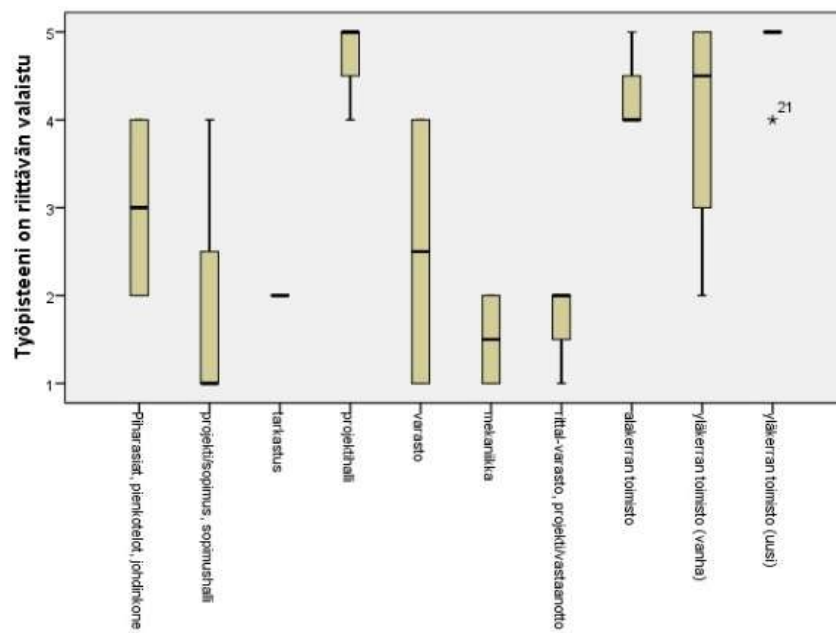
Yksi mielenkiinnon kohteista oli, miten tuotantotyöntekijät kokivat projektihallin uudempien T5-kantaisten loisteputkivalaisimien valon verrattuna vanhoihin T8-kantaisiin loisteputkivalaisimiin. Kyselytulokset analysoitiin Mann Whitney U-testillä, jonka asymp sig arvoksi saatiin 0,008. Mikäli kyseinen arvo on alle 0,05, voidaan todeta, että vertailu on tilastollisesti merkitsevä eikä ole sattumanvarainen.

Kuviossa 4 on vertailtu tuotantotyöntekijöiden tyytyväisyyttä T5 (uusi) ja T8 (vanha) valaisimiin. Kuvioista voidaan todeta, että T5-valaisimien valossa työskentelevät tuotantotyöntekijät olivat tyytyväisempiä valaistukseen, kuin T8-valaisimien valossa työskentelevät.



Kuvio 4. Tyytyväisyys valaistukseen T5-valaisimet verrattuna T8-valaisimiin.

Kyselyn tärkeimpiä tuloksia oli, millä kiinteistön alueilla valaistukseen oltiin tyytymättömiä. Kuviossa 5 havainnollistetaan työntekijöiden tyytyväisyyttä valaistukseen kiinteistön eri tiloissa asteikolla yhdestä viiteen.



Kuvio 5. Työntekijöiden tyytyväisyys työpisteensä valaistukseen.

Toimistossa valoteho koettiin monesti riittäväksi, mutta väärin asetellut valaisimet aiheuttivat usein kiusahäikäisyä työpisteissä etenkin näyttöpäätteisiin ja näppäimistöön. Lisäksi työpöydille toivottiin pöytävalaisimia.

Tuotantotiloissa yleisimpiä kehitysehdotuksia oli nopeampi reagointi rikkinäisiin loisteputkiin, sekä himmentyneiden valaisinheijastimien puhdistus. Valotehoa toivottiin lisää sopimushalliin, vastaanotto/kalustus tiloihin, varastoon ja etenkin piharasioiden tuotantoalueelle. Ongelmaksi koettiin myös sivusta tulevan valon puuttuminen, tämä häiritsi etenkin sähkökaappien sisällä tehtäviä kytkentöjä. Lisäksi aukoituskoneen atk-pisteelle toivottiin työvaloja.

10 YHTEENVETO

Elinkaarikustannuslaskelmien mukaan valaistusratkaisu yksi oli 4.2 vuoden takaisinmaksuajallaan kaikista kannattavin ja investointikustannuksiltaan halvin. Laskelmat kuitenkin perustuvat valmistajien ilmoittamiin teknisiin tietoihin ja lupauksiin, joihin ei sovi varauksetta luottaa. LED-valoputken toimivuutta elektronisen liitäntälaitteen kanssa on syytä testata pilottihankkeella ennen lopullista investointipäätöstä, vaikka valmistajan mukaan tuote kyseiseen käyttöön soveltuukin.

Valaistusratkaisut kolme ja neljä ovat huomattavasti kalliimpia uuden valaisimen hinnan ja asennustyöstä aiheutuvien kustannusten vuoksi. Ratkaisussa kolme on kuitenkin huomioitava sen huollon helppous ja edullisuus, koska liitäntälaitte vaihtuu aina palaan valoputken mukana. Ominaisuuden taloudellisia vaikutuksia on kuitenkin haastavaa arvioida tarkasti.

LED-moduulivalasin on vaihtoehtoista selkeästi kirkkain ja tuotantotilojen valaistuksen valaistusvoimakkuus kohoaisi jopa liiallisuuden rajoille. Tiloihin riittäisi mahdollisesti noin 20 % pienempi valaisinmäärä. Tällöin on huomioitava, että valaisimien sijoituspaikat vaihtuvat, josta aiheutuu huomattavia kaapelointi- ja asennuskustannuksia. Kyseistä valaisinta käytettäessä optimaalisen valaistuksen saamiseksi manuaalinen ohjaus ei ole paras vaihtoehto.

Valaistusratkaisu kaksi osoittautui hyväksi vaihtoehdoksi. Investoinnin takaisinmaksuaika oli 5.6 vuotta ja arvioitu tuotto 20 vuoden tarkastelujaksolla 53 355 euroa. Liitäntälaitteiden ohitus vähentää huoltotarvetta ja vanhan valaisinrungon käyttö kustannuksia. Lisäksi suomalainen toimittaja tarjoaa valaisimeen tarpeellisen arvokilven.

Valmistajien ilmoittamia teknisiä tietoja on syytä tarkastella kriittisesti.

Monesti LED-valonlähteiden huimat käyttöiät on ilmoitettu käyttäen L70-merkintää, jolloin valovirrasta on enää 70 % jäljellä määrätyn ajan kuluttua. Valmistajat voivat ilmoittaa käyttöiän myös L90-merkintää käyttäen, jolloin eri tuotteiden vertailu on hankalaa. Valaistusratkaisuja tarkastellessa tulee huomioida, että nykyiset T8-loisteputkivalaisimet alkavat olla elinkaarensa loppupäässä, jolloin huoltokustannukset kasvavat jatkuvasti. Fagerhultin LCC ohjelma ei osaa ottaa tätä huomioon.

10.1 Päätelmät valaistuksen työergonomiasta

Toimistojen valoteho koettiin useimmiten riittäväksi. Häiritseväksi tekijäksi osoittautui kiusahäikäisy, joka johtuu vääränlaisista valaisimista tai niiden väärästä sijoituksesta työpisteisiin nähden.

Tuotantotilojen valotehoon oltiin varsin tyytymättömiä, etenkin alueilla, joissa käytetään T8-kantaista loisteputkivalaisinta. T5-kantaisten loisteputkivalaisimien valotehoon oltiin tyytyväisempiä.

Useimmiten mainittu häiriötekijä oli sivusta tulevan valon puute, varsinkin sähkökaapin sisällä tehtävissä kytkennöissä. Puutteen voisi ratkaista esimerkiksi magneettikiinnitteisellä akkukäyttöisellä työvalolla. Mikäli valaisimia lisättäisiin paljon sivuseinille, saattaisi ongelmaksi muodostua niiden aiheuttama kiusahäikäisy.

Valon värilämpötilan miellyttävyys oli hyvin subjektiivista työntekijöiden keskuudessa. Toiset kokivat samassa tilassa värilämmön liian kylmäksi, kun taas monet liian lämpimäksi.

LÄHTEET

- Halonen L & Lehtovaara J. 1992. Valaistustekniikka. Tekijät ja Otatieto Oy, Gummerus Kirjapaino, Jyväskylä 1992.
- Ahponen V. 1996. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. Sähköinfo Oy. Gummerus Kirjapaino, Jyväskylä 1996.
- Tiensuu A. 2010. Uusi valaistuskirja. Viherympäristöliitto ry. Oy Fram Ab, Helsinki 2010.
- Lampputieto www-sivut. Viitattu 9.12.2015. www.lampputieto.fi
- Satmatic Oy:n www-sivut. Viitattu 30.11.2015. www.satmatic.fi
- Ledjournal www-sivut. Understanding power LED lifetime analysis. Philips 2012. Viitattu 13.1.2016. http://www.ledjournal.com/main/wp-content/uploads/2012/05/Philips_Understanding-Power-LED-Lifetime-Analysis.pdf
- Eslightbulbs www-sivut. Viitattu 16.1.2016. <http://www.eslightbulbs.com/led-tubes>
- Tukes www-sivut. Viitattu 13.1.2016. www.tukes.fi
- Valosa www-sivut. Viitattu 24.1.2016. www.valosa.fi
- Työterveyslaitos www-sivut. Viitattu 27.1.2016. www.ttl.fi
- Työterveyskeskus www-sivut. Viitattu 5.2.2016. www.tyoturva.fi
- Tukes muistio 2014. LED-valoputket loisteputkien korvaajina. Viitattu 16.1.2016. http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko_ja_hissit/ohjeet/LED_valoputket_loisteputkien_korvaajina.pdf
- Valtavalo Oy muistio. Loisteputkivalaisimen muuttaminen Valtavalo LED-valoputkille sopivaksi. Viitattu 16.1.2016. Yrityksen sisäinen pdf dokumentti.
- ST-Kortti 58.07 2014 Valaistuksen laadun arviointi ja mittaus. Sähkötieto ry. Viitattu 9.12.2015. <http://severi.sahkoinfo.fi/item/669?search=58.07>
- ST-Kortti 58.08 2009 Valonlähteiden ominaisuudet. Sähkötieto ry. Viitattu 17.12.2015 <http://severi.sahkoinfo.fi/item/676?search=loistelamput>
- ST-Kortti 57.52 2008 LED-valaistusjärjestelmät. Sähkötieto ry. Viitattu 18.12.2015. <http://severi.sahkoinfo.fi/item/3152?search=57.52>
- Karhapää Jani 2012. Valonjakokäyrän salaisuudet, Nylund asiakaslehti. Viitattu 9.12.2015. <http://www.nylund.fi/media/valonjakokayran-salaisuudet-id-20164.pdf>
- Fagerhult 2012-2013. Valaistussuunnittelijan käsikirja. Viitattu 9.12.2015 http://np.netpublicator.com/np/n30265811/tekniskinfo_FI_09.pdf

Eino Tetri, TkT. Mitä ledi on ja mitkä ovat sen edut ja haitat? Aalto-yliopisto. Viitattu 13.1.2016. http://www.valosto.com/tiedostot/Kohti_valoa_Tetri.pdf

Ylimannila, J. 2011. Led-valonlähteen asennusvaihtoehdot. AMK-opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Viitattu 16.1.2016. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011120517151>

Katajisto, T. 2015. LED-lamppujen vaikutukset sähkönlaatuun. AMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu 21.1.2016. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015052710745>

Suomen valoteknillinen seura ry. 2008. Valaistushankintojen energiatehokkuus. Taustaraportti. Viitattu 23.1.2016. http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf

Teknologiateollisuus ry. 2011. Näin vertaillet ledivalaisimia. Opas. Viitattu 24.1.2016. http://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/jasenet_ryhmat_valaisinvalmistajat_led-vertailu-20130912.pdf

Ruoko P. 2016. Avainasiakaspäällikkö, Valtavalo Oy. Pori. Puhelinhaastattelu 25.1.2016. Haastattelijana Teemu Koskinen. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

LIITE 1

Valaistuksen työergonomiakysely Satmatic Oy

Nyt pääset vaikuttamaan työpaikkasi työergonomiaan! Kiinteistön valaistuksen kehityskohteita kartoitetaan, täyttämällä oheisen lomakkeen annat arvokasta tietoa mahdollisista puutteista. Kysely on osa Teemu Koskisen opinnäytetyötä Satakunnan ammattikorkeakoululle.

1. Valitse millä alueella työpisteesi sijaitsee.

- Piharasiat, pienkotelot, johdinkone
- Projekti/sopimus, sopimushalli
- Tarkastus
- Projektihalli
- Varasto
- Mekaniikka
- Rittal-varasto, projekti/vastaanotto
- Alakerran toimisto
- Yläkerran toimisto (vanha puoli)
- Yläkerran toimisto (uusi puoli)

2. Valitse parhaiten sopiva vaihtoehto.

	Täysin eri mieltä	Jonkin verran eri mieltä	Ei eri mieltä, eikä samaa mieltä	Jonkin verran samaa mieltä	Täysin samaa mieltä
Työpisteeni on riittävän valaistu.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Työpisteessäni on häiritseviä varjoja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Koen valaistuksen häikivän häiritsevästi työpisteessäni.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Olen tyytyväinen työpaikkani valaistukseen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. Työpisteeseeni syntyy häiritseviä heijastumia. (Ympyröi sopiva vaihtoehto)

Ei synny

Syntyy, miten? _____

4. Koen valaistuksen värilämmöltään miellyttäväksi. (Ympyröi sopiva vaihtoehto)

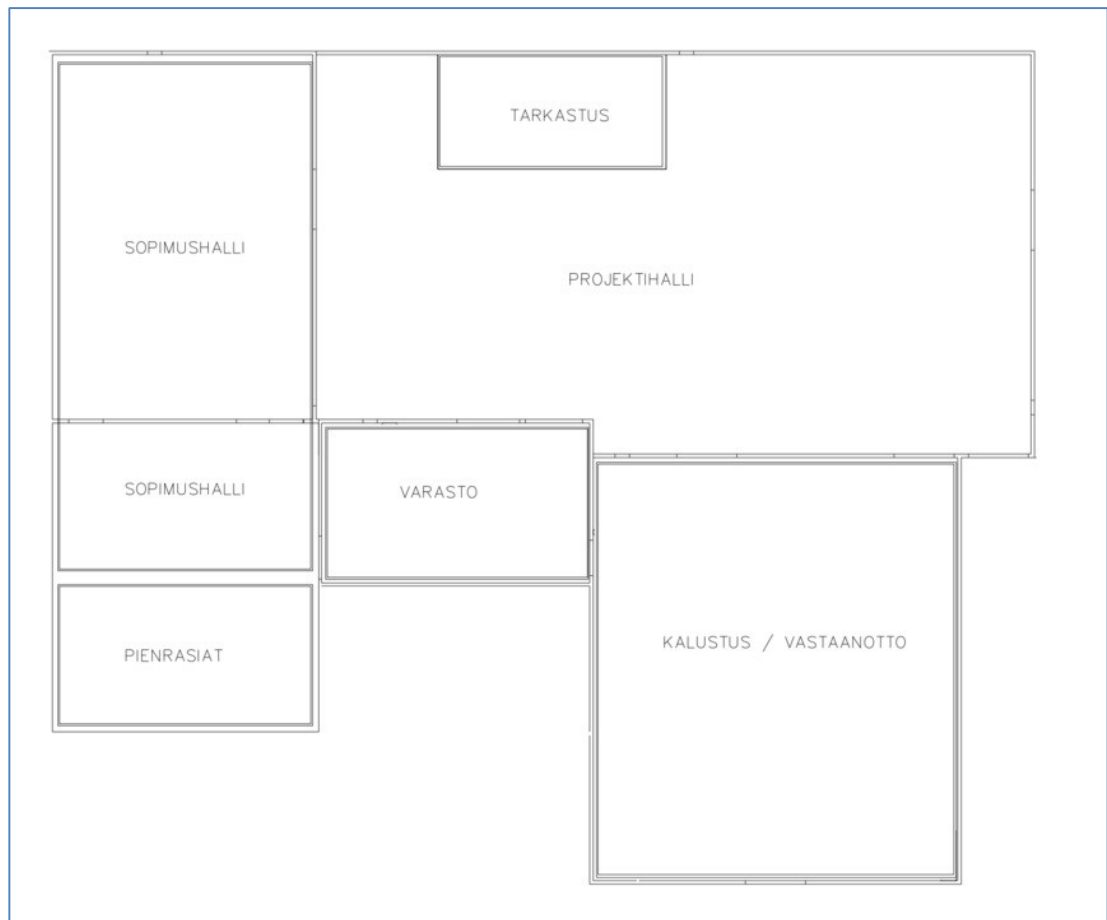
En koe, värilämmöltään liian kylmä/ lämmin

Koen

5. Miten valaistusta pitäisi kehittää?

6. Muita huomioita

Kiitos vastauksestasi!



Satmatic Oy tuotantotilojen pohjakuva

Työpisteessäni on häiritseviä varjoja

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Täysin eri mieltä	7	25,0	25,9	25,9
	Jonkin verran eri mieltä	6	21,4	22,2	48,1
	Ei eri mieltä, eikä samaa mieltä	2	7,1	7,4	55,6
	Jonkin verran samaa mieltä	8	28,6	29,6	85,2
	Täysin samaa mieltä	4	14,3	14,8	100,0
	Total	27	96,4	100,0	
Missing	System	1	3,6		
Total		28	100,0		

Koen valaistuksen häikivän häiritsevästi työpisteessäni

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Täysin eri mieltä	14	50,0	51,9	51,9
	Jonkin verran eri mieltä	3	10,7	11,1	63,0
	Ei eri mieltä, eikä samaa mieltä	6	21,4	22,2	85,2
	Jonkin verran samaa mieltä	3	10,7	11,1	96,3
	Täysin samaa mieltä	1	3,6	3,7	100,0
	Total	27	96,4	100,0	
Missing	System	1	3,6		
Total		28	100,0		

Työpisteeseeni syntyy häiritseviä heijastumia

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	syntyy	5	17,9	21,7	21,7
	ei synny	18	64,3	78,3	100,0
	Total	23	82,1	100,0	
Missing	System	5	17,9		
Total		28	100,0		

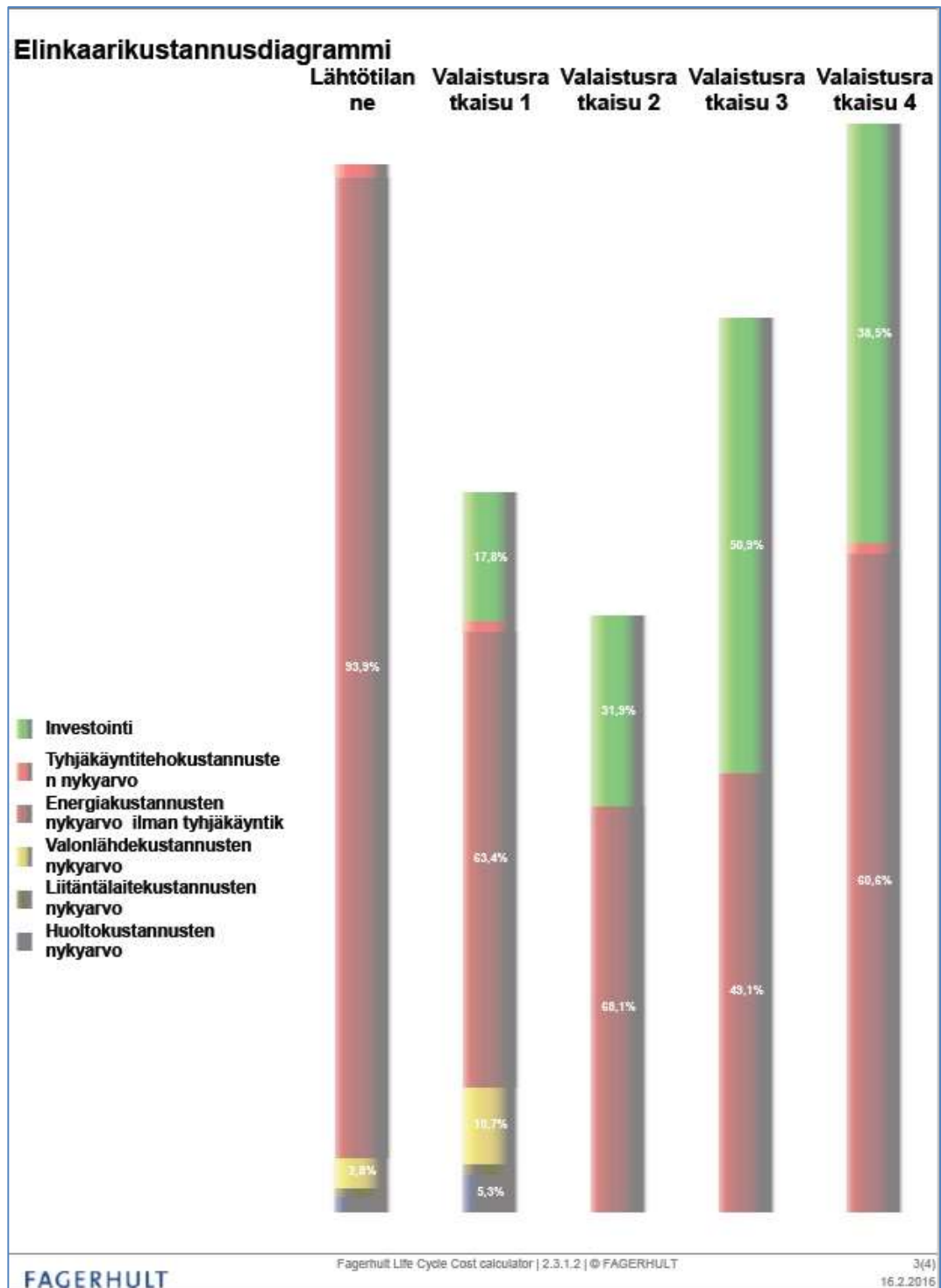
LIITE 5

Valitse millä alueella työpisteesi sijaitsee

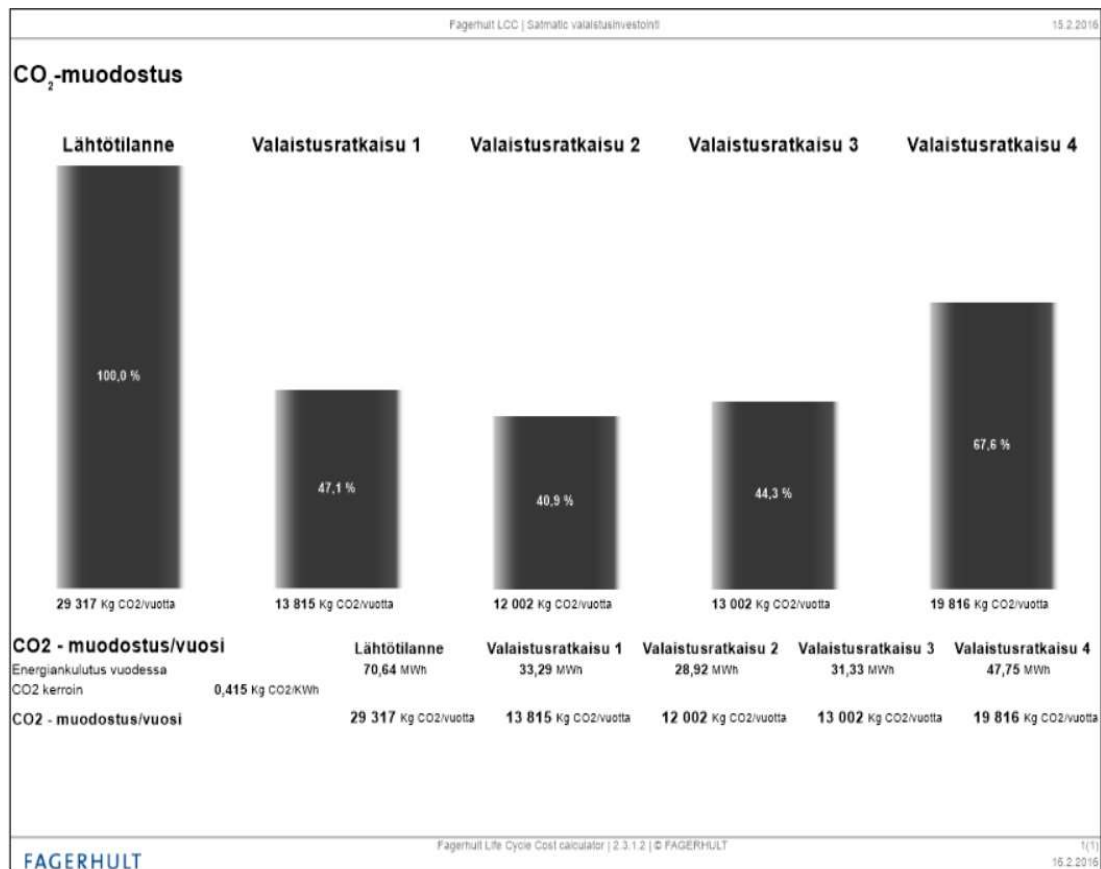
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Piharasiat, pienkotelot, johdinkone	2	7,1	7,1	7,1
	projekti/sopimus, sopimushalli	3	10,7	10,7	17,9
	tarkastus	1	3,6	3,6	21,4
	projektihalli	3	10,7	10,7	32,1
	varasto	2	7,1	7,1	39,3
	mekaniikka	2	7,1	7,1	46,4
	rittal-varasto, projekti/vastaanotto	3	10,7	10,7	57,1
	alakerran toimisto	3	10,7	10,7	67,9
	yläkerran toimisto (vanha)	4	14,3	14,3	82,1
	yläkerran toimisto (uusi)	5	17,9	17,9	100,0
	Total	28	100,0	100,0	

Koen valaistuksen värilämmöltään miellyttäväksi

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	en koe	8	28,6	36,4	36,4
	koen	14	50,0	63,6	100,0
	Total	22	78,6	100,0	
Missing	System	6	21,4		
Total		28	100,0		



Valaistusratkaisuiden elinkaarikustannusdiagrammi



Valaistusratkaisuiden hiilidioksidipäästöt verrattuna lähtötilanteeseen.