



# **LED-TEKNIikka PIRKANMAAN OSUUSKAUPAN KOHTEISSA**

Mika Karhe

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2012  
Sähkötekniikka  
Talotekniikka  
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikka  
Talotekniikka

KARHE, MIKA: LED-tekniikka Pirkanmaan Osuuskaupan kohteissa

Opinnäytetyö 52 sivua, josta liitteitä 7 sivua  
Toukokuu 2012

---

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli selvittää LED-tekniikan käyttöä yleisesti sekä Pirkanmaan Osuuskaupan kohteissa. Työn tekemisen taustalla oli Pirkanmaan Osuuskaupan kiinnostus LED-tekniikan hyödyntämisestä eri tarkoituksissa. Työn tarkoituksena on tarjota yleistä tietoa valaistustekniikan termeistä ja niistä vaatimuksista, joita valaistukselta odotetaan erilaisissa ympäristöissä. Työssä on tuotu esille eri valonlähteiden ominaisuuksia ja niitä vertaillaan keskenään. Laskelmien avulla on pyritty selvittämään LED-tekniikan tuomia mahdollisia kustannusetuja.

Työn tekemisen perusteella voidaan sanoa, että LED-tekniikka on tullut jäädäkseen. Muut valonlähteet, kuten loistelamput, ovat kuitenkin vielä vahvasti mukana kilpailussa. Ne tarjoavat vielä useasti edullisemmän ratkaisun, vaikka LEDit kuluttavatkin suhteessa vähemmän sähköenergiaa.

Työssä tehdyn tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että LEDit ovat vielä kallis ratkaisu. Tekniikan kehittymisen myötä ja uusien kiinteistöjen hyvällä suunnittelulla LEDit ovat kuitenkin hyvä ja taloudellisesti kannattava ratkaisu tulevaisuudessa.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Electrical Engineering  
Building Services Engineering

KARHE, MIKA: LED Technology in the Buildings of Pirkanmaan Osuuskauppa

Bachelor's thesis 52 pages, appendices 7 pages  
May 2012

---

The purpose of this thesis was to gather information about LED-technology in general use and in the buildings of Pirkanmaan Osuuskauppa. This thesis was a result of the interest from Pirkanmaan Osuuskauppa towards the uses of LED lighting in different purposes. The idea of this thesis is to offer general knowledge about the terms and requirements of lighting in different surroundings. Different light sources are compared to the others with their attributes. Calculations are made to find out the possible cost savings of LED-technology.

Based on the study LED-technology is here to stay. Like fluorescent lamp the other light sources are still good choice in many cases. They are often more cheaper in the end even though in relation LEDs consume less energy.

The findings of this study indicate that LEDs are still very costly option. Technology is developing fast nowadays. In the future with good designing LEDs will be good and economic solution in lighting.

---

Key words: led, lighting, light source

## SISÄLLYS

LYHENTEET JA TERMIT .....	5
1 JOHDANTO.....	7
2 VALO JA VALOSUUREET .....	8
2.1 Sähkömagneettinen säteily ja näkyvä valo .....	8
2.2 Väriaisti, päivänäkeminen ja hämäränäkeminen .....	9
2.3 Silmän spektriherkkyys.....	10
2.4 Valosuureet .....	11
2.4.1 Valovirta ja valotehokkuus .....	12
2.4.2 Valovoima.....	13
2.4.3 Valaistusvoimakkuus .....	13
2.4.4 Luminanssi ja kontrasti .....	14
2.4.5 Värilämpötila.....	15
2.4.6 Värintoistoindeksi .....	16
3 LED ja muut valonlähteet.....	18
3.1 Valon tuottaminen.....	18
3.2 LED valonlähteenä .....	18
3.3 Muut valonlähteet .....	23
3.3.1 Loistelamppu.....	24
3.3.2 Hehkulamppu .....	25
3.3.3 Halogeenilamppu .....	25
3.3.4 Energiansäästölamppu.....	26
3.3.5 Monimetallilamppu .....	26
3.3.6 Suurpainenatriumlamppu .....	27
3.4 Valonlähteiden vertailu .....	28
4 LED-tekniikka Osuuskaupan kohteissa.....	30
4.1 Valaistuksen laatu .....	30
4.2 Yleisvalaistus .....	32
4.2.1 LED-tekniikan käyttö yleisvalaistuksessa.....	32
4.3 Turvavalistus .....	34
4.4 Lastaus- ja varastotilat .....	35
4.5 Autohallit .....	35
4.6 Valon vaikutus lihatuotteisiin .....	36
4.6.1 Tuore liha .....	37
4.6.2 Jalostettu liha.....	38
4.6.3 Mahdollisia ratkaisukeinoja harmaantumista vastaan.....	39
4.7 LED-tekniikka ja kustannussäästöt.....	39
5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	43
LÄHTEET .....	44
LIITTEET .....	46
Liite 1. S-market Kalevan valaistusvoimakkuusmittaus 12/2011.....	46
Liite 2. S-market Kalevan valaistusvoimakkuusmittaus 3/2012.....	47
Liite 3. S-market Kalevan autohallin valaistusvoimakkuudet 3/2012. ....	48
Liite 4. S-market Kaleva tuntikulutus 17.10.2011 – 20.11.2011. ....	49
Liite 5. Valaistusvoimakkuudet T8-loisteputkivalaisimilla 75 cm korkeudella.....	50
Liite 6. Valaistusvoimakkuudet T5-loisteputkivalaisimilla 75 cm korkeudella.....	51
Liite 7. Elinkaarikustannusvertailu Fagerhult LCC ohjelmalla.....	52

**LYHENTEET JA TERMIT**

DIALux 4.9	Valaistuslaskentaohjelma valaistussuunnitteluun.
Kontrasti	Näkeminen perustuu kontrasteihin eli luminanssierojen havaitsemiseen. Suuret kontrastierot aiheuttavat häikäisyä ja pienten kontrastierojen havaitseminen on vaikeaa.
LED	Light Emitting Diode, valoa tuottava loistediodi.
Luminanssi	Suuretunnus $L$ . Yksikkö kandela neliömetrille ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). Ilmaisee kohteen pintakirkkauden ja on ainoa havaittavissa oleva valosuure.
Polttoikä	Yksikkö tuntia (h). Polttotuntimäärä, jolloin valonlähteen tuottama valovirta on tippunut 70 prosenttiin maksimista.
Valaistusvoimakkuus	Suuretunnus $E$ . Yksikkö luxi (lx). Ilmaisee tietylle pinnalle saapuvan valovirran määrän. Suure, jonka mukaan määritellään riittävä valaistuksen määrä tietyssä kohteessa.
Valovirta	Suuretunnus $\Phi$ . Yksikkö lumen (lm). Ilmaisee valonlähteen tuottaman näkyvän valon määrän.
Valovoima	Suuretunnus $I$ . Yksikkö kandela (cd). Ilmaisee valon määrän valonlähteestä tiettyyn suuntaan. SI-järjestelmän mukainen mittayksikkö.
Valotehokkuus	Kertoo valonlähteen kyvyn muuttaa käytetty sähköteho näkyväksi valoksi. Ilmoitetaan yksikkönä $\text{lm}/\text{W}$ eli lumenia per watti. Olennainen suure kun vertaillaan eri valonlähteiden energiatehokkuutta.

Väriämpötila	Yksikkö kelvin (K). Kertoo onko valonlähteen tuottama valo lämmin- vai kylmänsävyistä. Korkea väriämpötilan arvo, yli 5000 K, on kylmänsävyistä. Matala, alle 3000 K, on lämminsävyistä.
Värintoistoindeksi	Suuretunnus $R_a$ . Tietyn valonlähteen värintoistokyky, joka ilmoitetaan asteikolla 0 – 100.

## 1 JOHDANTO

LED-tekniikka on kehittynyt huimaa vauhtia erityisesti 2000-luvulla. Energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys ovat LEDin vahvuuksia, joiden ansiosta se tulee pääosin korvaamaan muut valonlähteet tulevaisuudessa. Hehkulamppujen jäädessä pois markkinoilta tarvitaan uusia vaihtoehtoja niiden tilalle ja tähän LED-tekniikka tarjoaa useasti ratkaisun.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään LED-tekniikkaan ja Pirkanmaan Osuuskaupan siirtymistä sen käyttöön kohteissaan. Työn ideana on tuoda esille LED-valaistuksen etuja ja haittoja verrattuna muihin valonlähteisiin, kuten loisteputkiin, energiansäästö-, halogeeni- ja hehkulamppuihin teorian ja laskemien avulla. Pääasiassa työssä keskitytään LED-valoputkien ja loisteputkien eroihin. Työn tarkoituksena on myös perehtyä myymälätilojen valaistuksen laatutekijöihin, kuten valaistusvoimakkuuteen standardin SFS-EN 12464-1:2011 perusteella.

Opinnäytetyöstä on hyötyä Pirkanmaan Osuuskaupalle, joka on jo osittain siirtynyt LED-tekniikan käyttöön kohteissa, sekä yleisesti suurien kiinteistöjen valaistussuunnittelussa. Työssä käsiteltyjen valaistussuureiden avulla saa selvyuden käsitteistä, joita valaisin- ja lamppukauppiat käyttävät markkinoidessaan omia tuotteitaan.

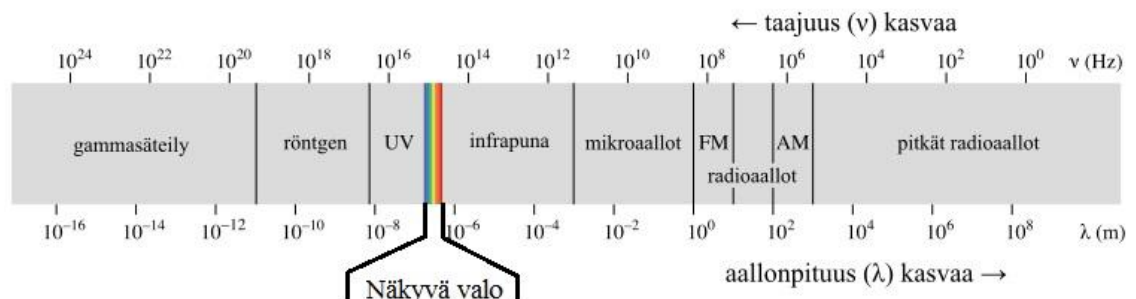
## 2 VALO JA VALOSUUREET

Ihminen ei näe pimeässä lainkaan. Hämärässä emme voi nähdä värejä, sillä valo on ehdoton edellytys niiden näkemiselle. Valon laadusta riippuen koemme ympäristön värit erilaisina. Hyvä esimerkki tästä on auringonvalo, jonka havaitsemme erivärisenä riippuen siitä, kuinka pitkän matkan auringon säteet ovat ilmakehässä kulkeneet. Aamulla ja illalla valo on useimmiten punertavaa ja keskipäivällä havaitsemme taivaan sinisen värisenä. Tässä luvussa käsitellään valon luonnetta ja valosuureita sekä muita oleellisia valaistukseen liittyviä termejä. (Halonen, L. Lehtovaara, J. 1992, 25-33.)

### 2.1 Sähkömagneettinen säteily ja näkyvä valo

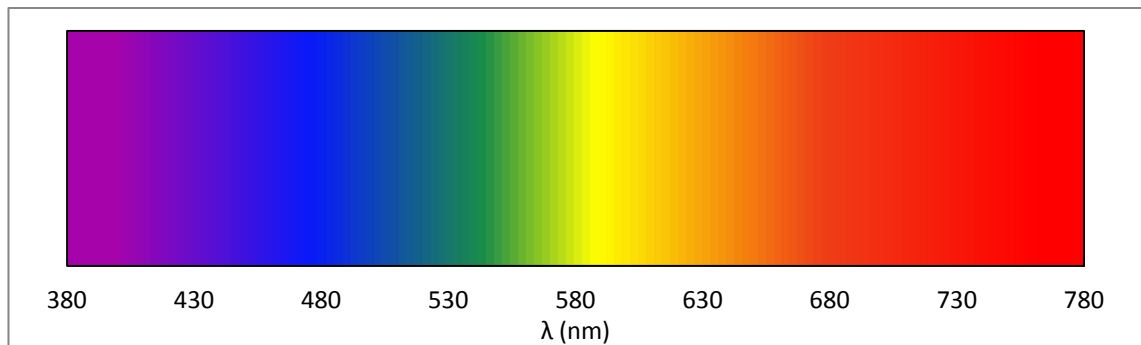
Sähkömagneettinen säteily ja sen aallonpituusalue on hyvin laaja ulottuen erittäin lyhytaaltoisesta gammasäteilystä pitkiin radioaaltoihin saakka. (Säteilyturvakeskus 2012.) Aallonpituuden kasvaessa säteilyn energia ja taajuus pienenevät. Pienen aallonpituuden röntgensäteily on suurienergistä säteilyä verrattaessa suuremman aallonpituuden omaaviin radioaaltoihin (kuvio 1). (Rihlma 1997, 8-18.)

Näkyvä valo on aaltoliikkeenä etenevää sähkömagneettista säteilyä ja osa sähkömagneettista spektriä. Näkyvää valoa lähinnä aallonpituusalueella ovat lyhytaaltoisempi ultraviolettisäteily ja pitkäaaltoisempi infrapunasäteily (kuvio 1). (Rihlma, S. 1997, 8-18.)



KUVIO 1. Sähkömagneettisen säteilyn spektri: aallonpituus  $\lambda$  (m) ja taajuus  $\nu$  (Hz) (Wikipedia, muokattu)

Näkyvä valo on edellytys näkemiselle. Valon aallonpituus ilmaistaan millimetrin miljoonasosina, nanometreinä. Yleisesti näkyvänä valona pidetään 400 – 700 nm:n aallonpituuksia. Aallonpituuksien 380 - 400 nm ja 700 - 780 nm näkyvyys riippuu sekä valaistusolosuhteista että havainnoitsijasta. Valon spektri muodostuu eri väreistä, jotka voidaan luokitella seuraavasti: violetti 400 - 450 nm, sininen 450 - 490 nm, vihreä 490 - 560 nm, keltainen 560 - 590 nm, oranssi 590 - 630 nm ja punainen 630 - 780 nm (kuvio 2). (Rihlana 1997, 10; Pastila 2009, 246.)



KUVIO 2. Näkyvän valon spektri

Taivaalla näkyvä sateenkaari on hyvä esimerkki näkyvän valon kirjosta eli spektristä (Rihlana 1997, 10). Eri värien näkeminen on aina subjektiivinen näköelämys, johon vaikuttaa sekä silmän aistinsolujen reagoiminen valon eri aallonpituuksiin että aivojen tulkinta tilanteessa (Pastila 2009, 264).

## 2.2 Väriaisti, päivänäkeminen ja hämäränäkeminen

Silmän verkkokalvolla on olemassa aistinreseptoreja jokaiselle näkyvän valon aallonpituudelle, joiden ansiosta ihmisellä on väriaisti (Pastila 2009, 264). Ihmissilmässä on kahdenlaisia valolle herkkiä, näköaistimuksen synnyttäviä soluja, jotka ovat nimeltään tappi- ja sauvasoluja. Tappisolut vastaavat värinäöstä päivänvalossa ja sauvasolut taas huolehtivat näkemisestä hämärässä ja yöllä, jolloin värien näkeminen on mahdotonta. Silmä aistii valoisuuseroja sekä sävyvaihteluja. Kun valon määrä on vähäinen, valoisuuserot korostuvat sävyhavainnoinnin kustannuksella. Samalla eri värisävyjen vaikutelmat keskinäisistä vaaleussuhteista muuttuvat. Esimerkkinä punaisen saunamökin seinustalla pystyssä oleva sininen kanootti on päivän valossa seinää tummempi. Valon määrän vähentyessä hämärässä kanootti näyttääkin seinää vaaleammalta. Tappisoluja on

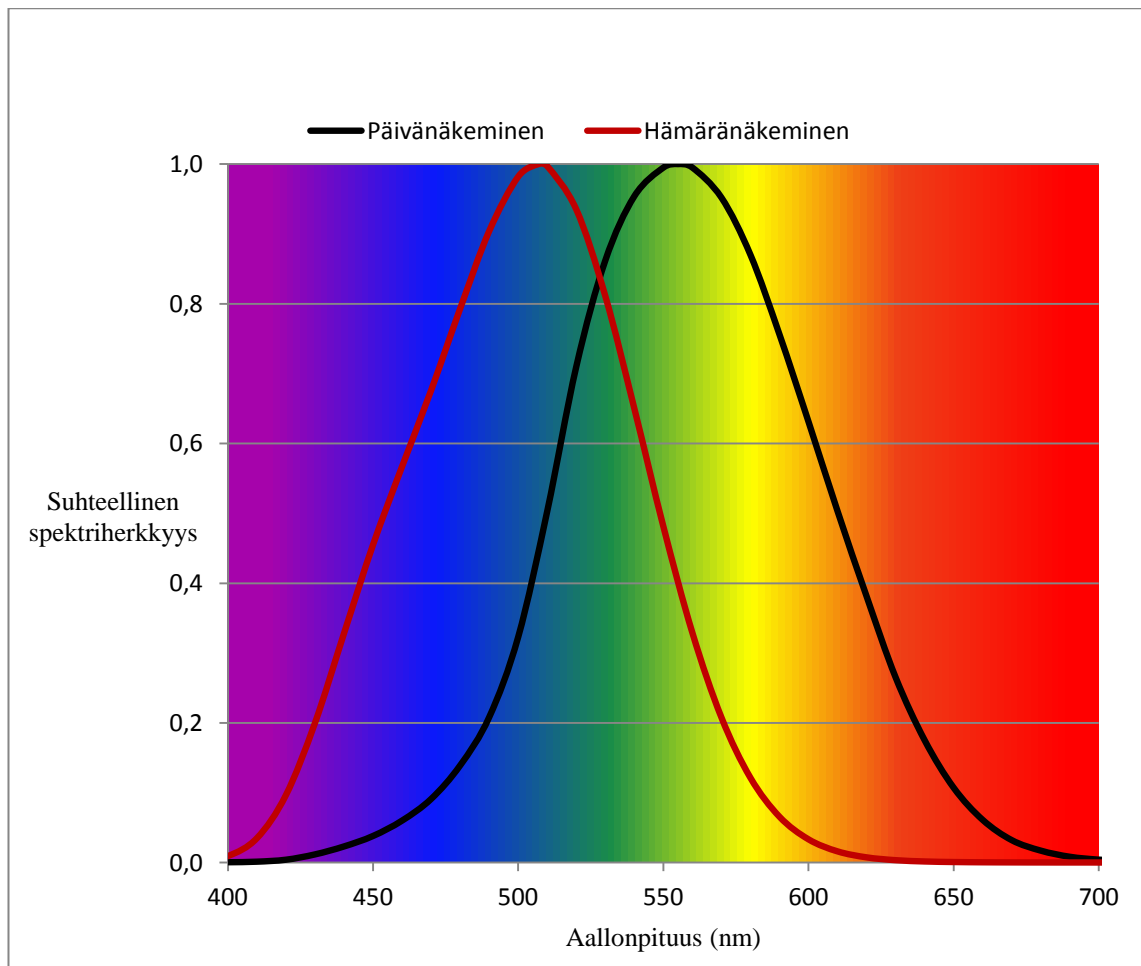
kolmea lajia, jotka ovat herkkiä eri sävyille. Nämä sävyt ovat punaoranssi, violetti ja turkoosinvihreä. Yleisesti puhutaan punaisesta, sinisestä ja vihreästä. (Rihlama 1997, 12.)

Ihmisen terve näköaisti kykenee erottamaan noin 160 eri värisävyä. Kun jokaisen sävyn voimakkuuden ja vaaleuden vaihtelut otetaan huomioon, pystyy värinerotteluun harjaantunut henkilö erottamaan jopa satoja tuhansia eri värejä toisistaan. Ihmisillä esiintyy myös eri asteista värisokeutta, joka vaikuttaa merkittävästi kykyyn nähdä värejä. Yleisillä paikoilla tulee siis kiinnittää huomiota värierojen lisäksi värisokean ja heikkonäköisten havaittavissa oleviin tummuuseroihin turvallisuuden takaamiseksi. (Rihlama 1997, 12.)

### 2.3 Silmän spektriherkkyys

Silmän spektriherkkyyskäyrän kehittivät 1920-luvun alussa K.S. Gibson ja E.P.T. Tyndall. He päättelivät, että eri säteilyjen aiheuttama luminanssin tunne voitiin erottaa värin aiheuttamasta erosta vertailutestissä. He tekivät 52. eri havaittajan avulla luminanssivertailuja. Havaittajat säätivät valonlähteidensä ottaman tehon tietyllä aallonpituudella siten, että sen luminanssi vastasi vertailuvalonlähteen luminanssia. Ero lähteiden aallonpituuksien välillä oli 10 nm. Testausta jatkettiin kunnes koko näkyvän valon spektri oli käyty läpi. Testissä selvisi, että pienin tehotiheys, joka tarvittiin tuottamaan vertailukohteen luminanssi, saatiin aikaiseksi 555 nm:n aallonpituudella. Tuloksen avulla oli mahdollista selvittää silmän spektriherkkyys millä tahansa muulla aallonpituudella. (Halonnen & Lehtovaara 1992, 52.)

Spektriherkkyyskäyriä on kaksi, joista toinen on kuvaa päivänäkemistä (photopic vision), jonka Gibson ja Tyndall esittivät. Näkeminen voimakkaassa päivävalaistuksessa tapahtuu lähes kokonaan silmän tappisolujen avulla. Toinen käyrä kehitettiin myöhemmin kuvaamaan hämäränäkemistä (scotopic vision), jolloin näkeminen tapahtuu ainoastaan sauvasolujen avulla. Näiden kahden käyrän väliin jäävä alue, jolla toimivat silmän sauva- sekä tappisolut, on sekanäkemisen aluetta (mesopic vision). Päivänäön herkkyyskuippu on 555 nm aallonpituuden kohdalla ja hämäränäön herkkyyskuippu asettuu 507 nm aallonpituuden kohdalle (kuvio 3). (Halonnen & Lehtovaara 1992, 52.)



KUVIO 3. Silmän spektriherkkyyskäyrät (Halonen & Lehtovaara 1992)

Herkkyyskäyrät ovat keskimääräisillä arvoilla tehtyjä. Pystysuora akseli kuvaajassa kuvaa silmän herkkyyttä valon eri aallonpituuksilla ja sen maksimiarvo on 1,0. Yksittäisen havaitsijan käyrät voivat poiketa niistä paljonkin. Ihminen kokee värit erilaisina riippuen vallitsevista olosuhteista. (Rihloma 1997, 8-18.)

## 2.4 Valosuureet

Tässä luvussa on esitelty valaistustekniikassa käytettyjä suureita, jotka ovat keskeisessä asemassa valaistussuunnittelussa. Suureilla voidaan kertoa paljon eri valonlähteiden ja valaistusratkaisujen ominaisuuksista, joka mahdollistaa tarkkojen suunnitelmien laatimisen käyttökohteisiin. Valosuureilla voidaan määrittää valaistustekniset laatutekijät, joiden avulla voidaan luoda ergonomisesti toimiva ja turvallinen näköympäristö.

### 2.4.1 Valovirta ja valotehokkuus

Valovirta  $\varnothing$  kuvaa valonlähteen kykyä tuottaa valoa ja sen yksikkö on lumen (lm). Valovirta on valonlähteestä lähtevää säteilytehoa ja se kertoo, kuinka paljon näkyvää valoa valonlähde tuottaa. Päivänäkemisessä silmän herkkyys on suurin keltavihreän valon, eli 555 nm kohdalla (kuvio 4) ja sen tuottamiseen tarvitaan pienin säteilyteho. Kaikilla muilla aallonpituuksilla silmän herkkyys on pienempi, jolloin tarvitaan suurempi säteilyteho tuottamaan yhtä voimakas valoistimus. (Halonen & Lehtovaara 1992, 36.)



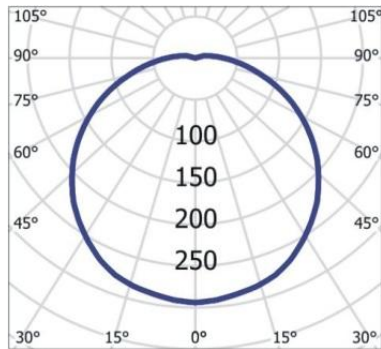
KUVIO 4. Valovirta  $\varnothing$  (Ensto Pro 2012, valovirta)

Jos valonlähteen säteilyteho olisi keskittynyt vain aallonpituudelle 555 nm, jokaisen watin avulla saataisiin tuotettua 683 lm valovirta. Käytännössä näin ei kuitenkaan ole, koska säteilyteho jakautuu yleensä laajalle aallonpituusalueelle ja etenkin hehkusäteilijöillä, kuten hehkulampulla, suuri osa siitä on infrapunasäteilyä. Näin ollen valonlähteiden tuottama valovirta on paljon pienempi kuin teoreettinen maksimi 683 lm/W. (Halonen & Lehtovaara 1992, 35.)

Valotehokkuudesta puhuttaessa tarkoitetaan valonlähteen tuottaman valovirran ja kulutetun sähkötehon suhdetta lm/W. Valonlähteiden vertailuissa on yleensä käyttökelpoisempaa tarkastella koko valaisimen/järjestelmän valotehokkuutta, jossa on otettu huomioon sekä lampun kuluttama sähköteho että liitäntälaitteen teho. (Ensto Pro 2012, valotehokkuus.)

### 2.4.2 Valovoima

Valovoima  $I$  kuvaa valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuutta eli intensiteettiä ja sen yksikkö on kandela (cd). Valonlähteen valovoima voi olla hyvinkin suuri tiettyyn suuntaan kokonaisvalovirran ollessa pieni esimerkiksi valokuidun päässä. Valovoimaa esitetään usein valonjakokäyrällä, josta näkyy valonlähteen tai valaisimen valovoima eri suuntiin (kuvio 5). (Ensto Pro 2012, valovoima.)



KUVIO 5. Erään valaisimen valonjakokäyrä koordinaatistossa (Sähkönumerot.fi, muokattu)

Valaisimien yksi tarkoitus on ohjata valonlähteen tuottama valovirta tiettyyn suuntaan heijastimien avulla. Valonjakokäyrällä kuvataan kuinka valon lähde säteilee valon ympäristöönsä. (Ensto Pro 2012, valovoima.)

### 2.4.3 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus  $E$  kuvaa tietylle pinnalle saapuneen valovirran tiheyttä ja sen yksikkö on luxi (lx). Valaistusvoimakkuus voidaan laskea pinnalle saapuvan valovirran ja pinnan alan suhteena ( $\Phi/A$ ). Se on siis tietylle pinnalle, joko valonlähteestä suoraan tai heijastumalla saapunut valovirta, jaettuna pinta-alayksikköä kohti ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ) (kuvio 6). (Ensto Pro 2012, valaistusvoimakkuus.)

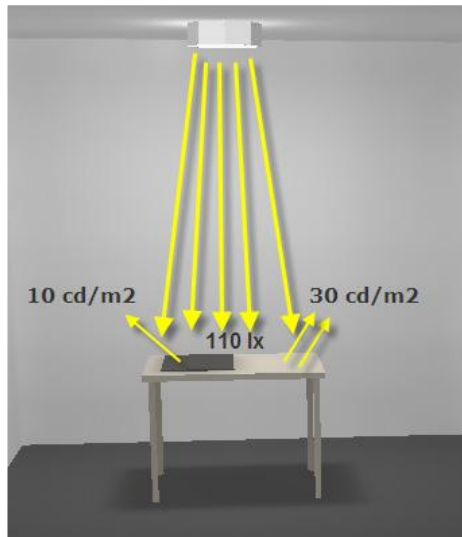


KUVIO 6. Valaistusvoimakkuus tietyllä pinnalla (Fagerhult 2012-2013)

Valaistusvoimakkuus on suure, jonka avulla määritellään valaistuksen määrällisiä tavoitteita. Sisävalaistusstandardi SFS-EN 12464-1:2011 määrittelee valaistusvoimakkuudelle arvoja, joita tulee noudattaa esimerkiksi toimistotiloissa, jotta riittävä valaistus saavutetaan. Tyypillisesti valaistusvoimakkuus vaihtelee ulkona päivällä 5000 – 100 000 luksin ja sisätiloissa 100 – 1000 luksin välillä. (Ensto Pro 2012, valaistusvoimakkuus.)

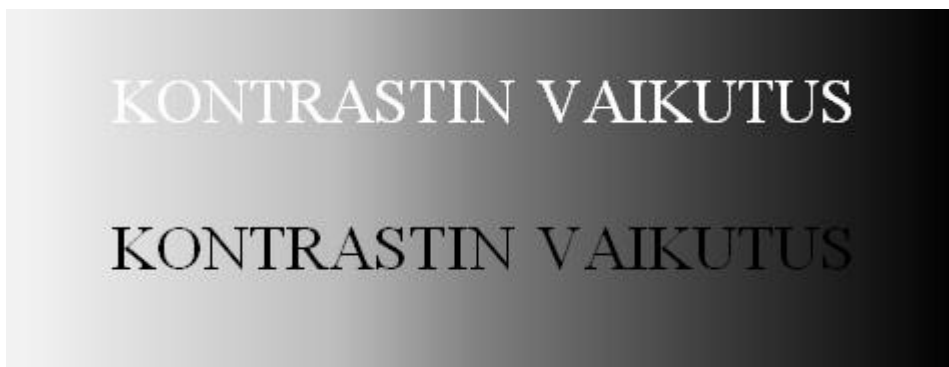
#### 2.4.4 Luminanssi ja kontrasti

Luminanssi  $L$  ilmaisee tietyn pinnan kirkkauden eli valotiheyden ja se on ainoa nähtävissä oleva valosuure. Se syntyy pinnan valaistusvoimakkuuden ja heijastumissuhteen yhteisvaikutuksena ja sen yksikkö on kandela per neliömetri ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). Heijastumissuhde tarkoittaa, kuinka suuri osa prosentteina pinnalle kohdistuvasta valovirrasta heijastuu takaisin, kun osa säteilystä absorboituu eli imeytyy pintaan ja muuttuu lämmöksi. Hyvin heijastava pinta näyttää kirkkaammalta kuin pinta, joka heijastaa valoa vain vähän (kuvio 7). Pinnan heijastumissuhteeseen vaikuttavat pinnan väri ja materiaali. (Ensto Pro 2012, luminanssi.)



KUVIO 7. Luminanssi kirkkaasta ja tummasta pinnasta (Ensto Pro 2012, luminanssi.)

Mitä suurempi pinnan, esimerkiksi lampun, valaisimen tai työtason, luminanssi on, sitä kirkkaammalta pinta näyttää. Luminanssi on tärkeä tekijä näkyvyyden kannalta, koska näkeminen perustuu luminanssierojen havaitsemiseen. Suuret luminanssierot aiheuttavat häikäisyä, ja täten heikentävät näkemistä. Esimerkiksi hämärässä ympäristössä silmät eivät pysty erottamaan pieniä, toisiaan lähellä olevia kohteita, joilla on pieni luminanssiero eli kontrasti (kuvio 8). (Ensto Pro, luminanssi.)



KUVIO 8. Kontrastin vaikutus värien näkemiseen

#### 2.4.5 Värilämpötila

Värilämpötila ilmaisee valonlähteen värisävyn ja se ilmaistaan kelvin-asteikossa. Värisävyt jaetaan lämpimään 0 – 3300 K, neutraaliin 3300 – 5300 K ja kylmään yli 5300 K. Värisävyjä voidaan käyttää eri mieltymysten mukaan, mutta usein lämpimät värisävyt koetaan kodinomaisina ja rentouttavina. Kylmät värisävyt koetaan virkistävinä.

Värisävyissä on myös maakohtaisia eroja, sillä lämpimissä maissa kylmät sävyt koetaan alitajunteisesti tiloja viilentävänä. Kylmissä olosuhteissa, kuten Suomessa, lämpimät sävyt ovat yleisempiä. (ST-kortti 58.08.) Taulukossa 1 on esitetty eri värivaikutelmat värilämpötilan mukaan.

TAULUKKO 1. Värivaikutelma värilämpötilojen mukaan.

Värivaikutelma	Värilämpötila
Lämmin	< 3300 K
Neutraali	3300 - 5300 K
Kylmä	> 5300 K

Hehkulamput ovat värilämpötilaltaan noin 2700 K, halogeenilamput 2900K ja päivänvalo noin 6500 K (ST-kortti 58.08). Värilämpötila ilmoitetaan esimerkiksi loistelampuissa seuraavasti: TL58W/830, jossa luku 30 tarkoittaa 3000 kelviniä.

#### 2.4.6 Värintoistoindeksi

Värintoistoindeksi  $R_a$  (colour rendering index) kertoo valonlähteen pintavärien toistokyvystä. Jos valonlähde ei säteile esimerkiksi punaisen valon aallonpituuksia, emme myöskään näe punaisia pintoja punaisina. (Rihlama 1997, 10). Valonlähteet eivät toista kaikkia värejä luonnollisina. Värintoistoindeksin tulisi sisävalaistuksessa olla yli 80 ja hyvää värintoistoa vaadittaessa yli 90. Sisävalaistusstandardi SFS-EN 12464-1 määrittelee värintoistoindeksin vähimmäisvaatimukset eri työtehtävissä tarkemmin. Lampunvalmistajat ilmoittavat omien valonlähteidensä värintoisto-ominaisuudet myyntipakkauksien yhteydessä. (ST-kortti 58.07.)



KUVIO 9. Hyvän ja huonon värintoistoindeksin erot (Schubert 2012, muokattu)

Hyvän värintoistoindeksin valonlähde näyttää valaistavat kappaleet luonnollisen värinä. Kuviossa 9 vasemmalla olevan maalauksen värit näkyvät kirkkaina, koska sitä valaisevalla valonlähteellä on korkea värintoistoindeksi. Oikealla puolella olevan maalauksen värit taas ovat hyvin tummat, eikä niiden rajaus ole selkeä. Taulukossa 2 on esitelty värintoistoluokat ja niitä vastaavat  $R_a$ -indeksit. Värintoistoindeksi ilmoitetaan esimerkiksi loistelampuissa seuraavasti: TL58W/830, jossa luku 8 tarkoittaa  $R_a$ -indeksin olevan yli 80, eli hyvin hyvää värintoisto-ominaisuutta.

TAULUKKO 2. Värintoistoluokat ja niiden  $R_a$ -indeksit (Halonen & Lehtovaara 1992, 154.)

Värintoistoluokka	$R_a$ -indeksi	Värintoisto-ominaisuudet
1A	$R_a \geq 90$	erittäin hyvät
1B	$80 \leq R_a < 90$	hyvin hyvät
2	$60 \leq R_a < 80$	hyvät
3	$40 \leq R_a < 60$	tydyttävät
4	$20 \leq R_a < 40$	välttävät

Valon värin ja värintoiston määrittely on hyvin vaikeaa. Väri määritellään yleensä väriagrammin koordinaatteina ja värintoiston hyvyys värintoistoindeksillä. Näissä on kuitenkin havaittu virheitä ja niitä pyritään korjaamaan. Vuodelta 1931 olevat värinsovituskäyrät ovat valon värikoordinaattien määrittelyn pohjana. Yksi funktioista vastaa luminanssia ja tunnetaan silmän suhteellisen spektriherkkyyssä. Käyrä kuvaa silmän tappisolujen herkkyyttä erivärisille valoille. Aikoinaan kyseisen käyrän määrittelyssä tehtiin kuitenkin virheitä spektrin sinisellä osalla, joka korostuu nykyään erityisesti LED-valaistuksessa, kun valkoinen LED on tehty nimenomaan sinisestä LEDistä fosforin avulla muuntamalla. Haasteena uuden väriarviointimenetelmän löytämiselle on erilaisten menetelmien paljous. (Suomen Valoteknillinen Seura ry, Valo-lehti 2/2011.)

### **3 LED ja muut valonlähteet**

Esimerkiksi hehkulamput ovat jäämässä pois markkinoilta huonon valotehokkuutensa vuoksi. Vaatimustaso valonlähteitä kohtaan on energiatehokkuusvaatimusten kiristyessä kasvanut huimaa vauhtia energiatehokkuuden ollessa tärkeä osa markkinoita. Elämme parhaillaan aikaa, jolloin tekniikka kehittyy todella nopeaa vauhtia. Myös valaisimet ja valonlähteet kehittyvät samassa tahdissa. LED on osaltaan mullistanut maailmaa ja sen uskotaan korvaavan muut valonlähteet lähitulevaisuudessa suurelta osin.

#### **3.1 Valon tuottaminen**

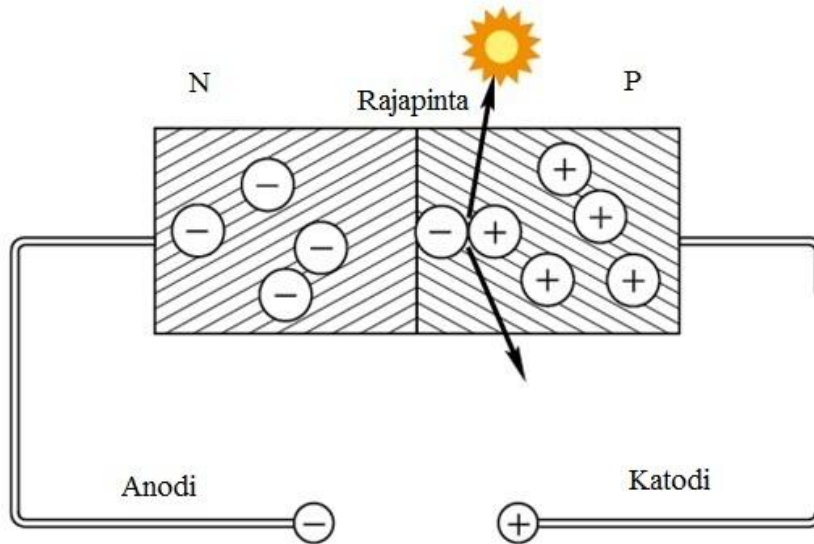
Luonnossa valontuotto tapahtuu usealla eri tavalla, kuten auringon säteilyinä, salamoin-tina, revontulina ja erilaisten eläinten ja kasvien biologisesti tuottamana säteilyinä. Kei-notekoisen valon tuottaminen voi esimerkiksi perustua ultravioletialueella tapahtuvaan säteilyyn, joka muutetaan loisteaineiden avulla näkyväksi valoksi. Valonlähde, joka säteilee näkyvän valon alueella, tuottaa lähes poikkeuksetta myös infrapuna- ja ultra-violettisäteilyä. (Halonen & Lehtovaara 1992, 157.)

Keinovalon tuottotavat voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään, termiseen säteilyyn ja luminesenssisäteilyyn. Terminen säteily muodostuu aineen osasten kuten atomien läm-pöliikkeestä. Lämpöliike saa aikaan värähtelyä kaikilla aallonpituuksilla, jolloin säteilyn spektri on jatkuva. Luminesenssisäteily sitä vastoin on vain tietyillä aallonpituuksilla tai spektrin osilla tapahtuvaa säteilyä. Esimerkkinä termiseen säteilyyn perustuvista valon-lähteistä ovat hehkulamput ja halogeenilamput, jotka säteilevät suuren osan kuluttamas-taan energiasta lämmöksi. Luminesenssisäteilyä tuottavia valonlähteitä ovat esimerkiksi LEDit, loistelamput ja monimetallilamput. (Halonen & Lehtovaara 1992, 158.)

#### **3.2 LED valonlähteenä**

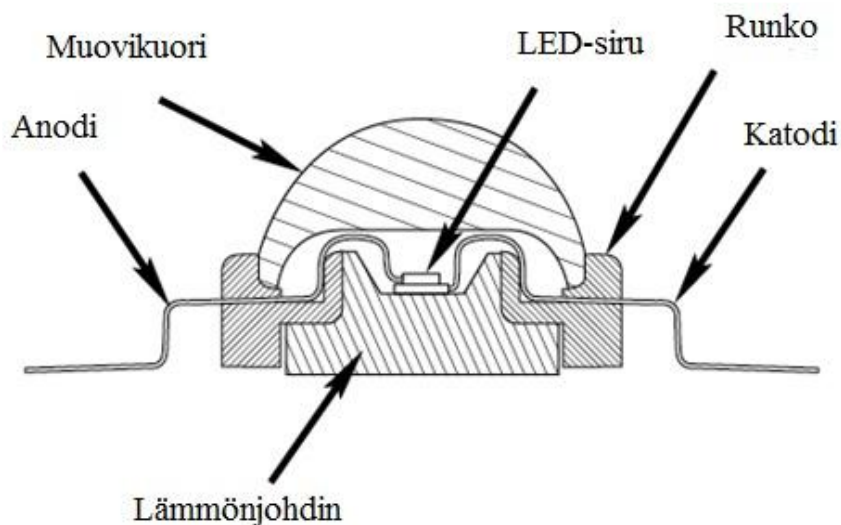
LED on puolijohde ja diodi, joka säteilee valoa kun sen läpi johdetaan sähkövirtaa. Tätä ilmiötä kutsutaan elektroluminesenssiksi (Ensto Pro 2012, valonlähteet). Kun kaksi eri-tyyppistä puolijohdetta on yhdistetty, saadaan aikaiseksi PN-liitos, joka muodostuu P-

tyyppisestä ja N-tyyppisestä puolijohdesta sekä niiden väliin jäävästä rajapinnasta. Tämä PN-liitos on tasapainossa, kunnes siihen johdetaan virtaa anodilta katodille. Virran kulkiessa rajapinnan yli, se saa aikaan fotonin emission, eli säteilyn lähettämisen (kuvio 10)(Easy Led Oy).



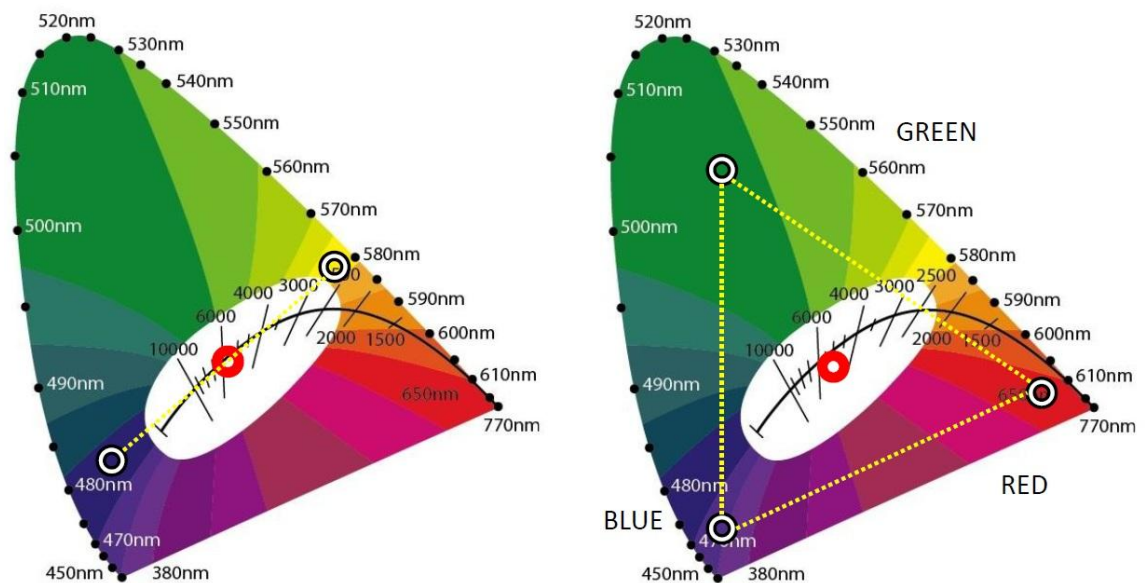
KUVIO 10. Säteilyn synty LED-sirussa (Hidealite 2012, muokattu)

Elektroluminesenssin synnyttämä valo on monokromaattista, eli sillä on vain yksi aallonpituus. Eri valmistusmateriaaleilla voidaan vaikuttaa LEDin lähettämän valon aallonpituuteen. Yksittäisen LEDin lähettämän valon väriin ja värintoistoon voidaan vaikuttaa lisäämällä LED-komponentin pintaan erilaisia loisteaineita ja pinnoitteita (kuvio 11). (Ensto Pro 2012, valonlähteet.)



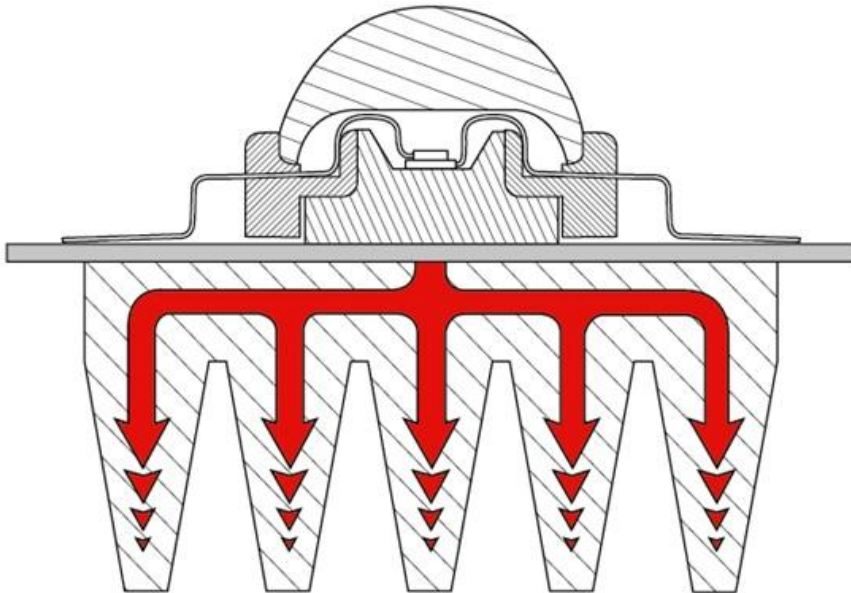
KUVIO 11. LEDin rakenne (Hidealite 2012, muokattu)

LED on säteilemänsä aallonpituuden värinen. Väri voi olla mikä tahansa valmistusmateriaaleista riippuen. Sen tuottamassa valossa ei ole IR- tai UV-säteilyä. Yleisesti käytössä oleva valkoista valoa tuottava LED voidaan valmistaa eri tavoilla. Yleisin tapa on lisätä sinistä valoa tuottavan LEDin pintaan keltaista fosforia, joka vaikuttaa valon väriin ja värintoistoon. Fosforin lisäys saa sinisen valon kanssa aikaan valkoisen valon. Toinen yleinen tapa on käyttää RGB-tekniikkaa eli sisällyttää yhteen LED-yksikköön punaista, vihreää ja sinistä valoa tuottavat LEDit (kuvio 12). (Ensto Pro 2012.) Fosforin avulla valkoiseksi muunnettu valo antaa paremman ja tasaisemman värintoiston ja se on myös käytetympi edullisen hintansa vuoksi (Hidealite 2012).



KUVIO 12. Valkoisen valon tuotto keltaisen fosforin avulla sekä RGB-tekniikalla (Hidealite 2012, muokattu)

Pintaliitosledejä voidaan kiinnittää suoraan piirilevyyn ja ne ovat yleensä suuritehosempia kuin perinteiset LEDit. Vaikka LEDit eivät säteile lämpöä, niiden kokonaistehosta vain noin 25 % muuttuu valoksi ja loput 75 % pääosin lämmöksi. Lämpö johdetaan pois lämmönjohtimen kautta (kuvio 13). Pintaliitosledit ovat suunniteltu paremman jäähtyksen aikaansaamiseksi, joka mahdollistaa yleensä pidemmän käyttöiän. (Ensto Pro 2012, valonlähteet.)



KUVIO 13. LEDin lämmönjohtuminen (Hidealite 2012, muokattu.)

Valaisimesta riippuen, yksittäisiä LEDejä niissä saattaa olla yhdestä jopa satoihin kapaleisiin asti. Loisteputkien rinnalle kehitetyt LED-valoputket esimerkiksi sisältävät kymmeniä tai satoja yksittäisiä LED-komponentteja (kuvio 14).

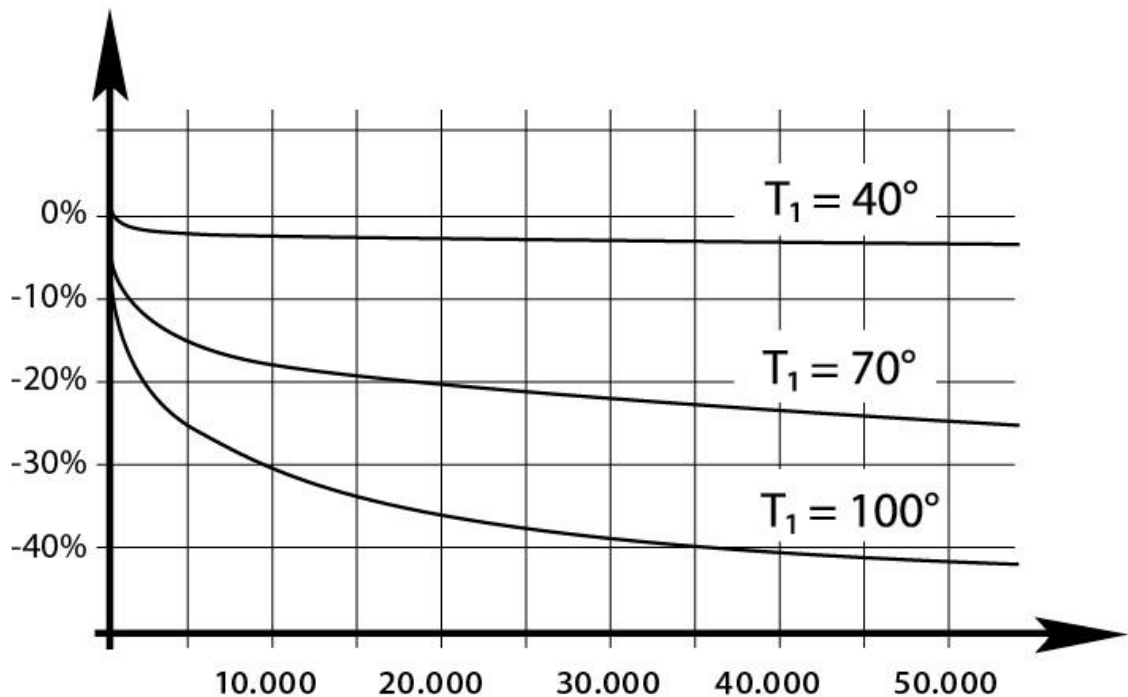


KUVIO 14. LED-valoputki (Valtavalo Oy, 2012)

LED-valoputkien valotehokkuus on tällä hetkellä T5 loistelamppujen tasolla eli noin 100 lm/W (Indoor Lighting Solutions 2012). Hehkulampuilla valotehokkuus on vain 10 - 15 lm/W. Kehitystä tapahtuu jatkuvasti ja uusissa laboratoriotutkimuksissa yksittäisten LEDien valotehokkuus on saatu jo yli 200 lm/W asti (LEDs Magazine 2011). Pitkä polttoikä yli 20 000 tuntia, hyvä mekaaninen kestävyys ja pienikokoisuus ovat LEDin

vahvuuksia. LED myös syttyy heti täyteen valaistustehoonsa, eivätkä sytytyskerrat vaikuta sen polttoikään. (Ensto Pro 2012, valonlähteet.) Iskut ja värinä eivät myöskään vaikuta sen toimintaan. LED ei tuota lämpösäteilyä, kuten loistelamput, mutta siitä johtuva lämpö on poistettava asianmukaisesta sen rakenteesta. LED-valoputkilla on mahdollista korvata kylmälaitteissa käytetyt loisteputket, koska ne toimivat paremmin kylmissä olosuhteissa (Indoor Lighting Solutions 2012).

LEDin huonopuoli on sen lämmönherkkyys. Se ei luovuta lämpöä säteilemällä, mutta vaatii tehokkaan jäähdytyksen. Jäähdytyksen ollessa heikko tai sen kokonaan puuttuessa niiden käyttöikä ja valovirran tuotto laskee huomattavasti. Kuviossa 15 on esitetty LED-komponentin valovirran lasku polttotuntien määrän kasvaessa eri lämpötiloilla (Hidealite 2012). LED-lamppujen ja valoputkien massa voi olla huomattavasti suurempi, kuin hehkulamppujen tai loisteputkien, jäähdytykseen tarvittavan materiaalin vuoksi. Tästä johtuen lisääntyvä massa tulee huomioida valaisimia kannattelevissa rakenteissa. Lämpötilan nousu vaikuttaa negatiivisesti LEDin valovirran tuottoon ja sen polttoikään. Yleisvalaistuksessa LED on melko kallis vaihtoehto ja valmistajien väliset laatuero vaihtelevat huomattavasti. (Ensto Pro 2012, valonlähteet.)



KUVIO 15. LEDien valovirran lasku polttotuntien mukaan eri lämpötiloissa (Hidealite 2012, muokattu)

LED-lamppujen turvallisuudessa on myös havaittu puutteita. Tämän vuoksi niitä koskevaa standardia odotetaan kovasti. Ensimmäinen askel niiden turvallisuuden parantamiseen on turvallisuusstandardi EN 62560, joka koskee yleisiin valaistustarkoituksiin tarkoitettuja, sisäisen liitäntälaitteen sisältäviä, LED-lamppuja. Suomen sähkö- ja elektroniikka-alan kansallisen standardointijärjestön SESKOn valaisinkomitea SK 34 on tehnyt päätöksen koota LEDejä koskevat standardit kahdeksi SFS-käsikirjaksi, koska suunnittelussa ja rakentamisessa tarvitaan tietoa näistä vaatimuksista. Kirjat sisältävät viimeimmän tiedon LED-tuotteilta vaadittavista ominaisuuksista. Kirjojen pitäisi ilmestyä vuoden 2012 alkupuoliskolla. (Suomen Valoteknillinen Seura ry, Valo 2/2011.)

### 3.3 Muut valonlähteet

Valon lähteitä on monia erilaisia, eivätkä ne säteile aina vain näkyvää valoa, vaan myös muita säteilylajeja. Tästä johtuen niiden mahdolliset haittavaikutukset tulee ottaa huomioon ja niiltä tulee suojautua. Esimerkiksi infrapunäsäteilyn tuottama lämpö voi olla sekä hyvä että huono asia riippuen käyttökohteesta. Ultraviolettisäteilyä käytetään muun muassa valohoitoon, jolloin erityisesti silmät tulee suojata vahingoittumiselta. (Rihlama 1997, 11.)

Ultraviolettisäteily voi vahingoittaa silmiä ja ihoa, ja siksi niiden haittavaikutuksia pyritään estämään mahdollisimman tehokkaasti. UV-säteilyn haittavaikutukset silmiin ja ihoon riippuvat sen aallonpituudesta. Tyypillisesti iho palaa liiallisen säteilyn vuoksi tai silmien sarveiskalvo tulehtuu. UV-altistumiselle on asetettu rajoituksia, joilla pyritään vähentämään eri valaisimien ja laitteiden tuottaman säteilyn määrää. Työssä UV-säteilylle altistuminen on lisä auringon valosta saatavan UV-säteilyn määrään ja tästä syystä se on pidettävä mahdollisimman pienenä terveyshaittojen minimoimiseksi. (Pastila 2009, 256 – 258.)

Loistelamppujen tehokas valaisukyky perustuu ultraviolettisäteilyn muuttamiseen näkyväksi valoksi kaasupurkauksen ja loisteaineiden avulla (Rihlama 1997, 11). Hehkulampan säteily on painottunut keltaiseen ja punaiseen valoon ja suuri osa kulutetusta sähkötehosta muuttuu lämmöksi ja lampan valotehokkuus huononee. Elohopealampan säteily sisältää vain sinistä, vihreää ja kellanvihreää valoa. Nämä edellä mainitut ja monet muut

seikat vaikuttavat valonlähteen valintaan eri käyttökohteissa. (Halonen & Lehtovaara 1992, 157.)

Eri valonlähteiden valintaa helpottavat spektrijakaumakäyrät, jotka kertovat valon luonteesta ja siitä, mitä värisävyä kukin valonlähde tuottaa ja miten energiasäteily jakautuu eri aallonpituuksille (Rihlama 1997, 19).

### 3.3.1 Loistelamppu

Loistelamppuja on olemassa hyvin laaja valikoima. Valon tuotto tapahtuu, kun jalokasulla täytetyssä purkausputkessa syntyy UV-säteilyä, joka muutetaan loisteaineiden avulla näkyväksi valoksi. Loistelampun valotehokkuus riippuu hyvin paljon ympäristön lämpötilasta, käytetyistä loisteaineista ja lampun tehosta. Loistelampulle ihanteellinen käyttölämpötila on 25 – 35 celsiusastetta. (Ensto Pro 2012.) Valkoista valoa tuottavien loistelamppujen valotehokkuus on 50 – 90 lm/W luokkaa. (Halonen & Lehtovaara 1992, 204.)

Loistelamppuja käytetään hyvin paljon yleisvalaistukseen suurissa kiinteistöissä niiden halvan hankintahinnan ja suhteellisen hyvien ominaisuuksien vuoksi. Niitä on saatavissa suurella värilämpötila-alueella. Käyttökohteita ovat muun muassa toimistot, myymälät, koulut, teollisuuslaitokset ja muut yleisvalaistuskohdeet. Niiden polttoikä taloudellisesti kannattavina normaali käytössä on 10 000 – 20 000 tuntia, riippuen käytetystä lampusta ja liitäntälaitteesta, jonka jälkeen lampun tuottama valovirran määrä on laskeutunut huomattavasti (Valonetti 2012). Loistelamppujen polttoikä laskee sytytyskertojen määrän kasvaessa. Suurissa kiinteistöissä, joissa loistelamppuja poltetaan pitkiä aikoja kerrallaan, sytytyskertojen määrä jää vähäiseksi. (Halonen & Lehtovaara 1992, 204.)

Valmistajista riippuen loistelamppujen ominaisuudet vaihtelevat paljon ja siksi niitä on vaikea jaotella esimerkiksi valotehokkuuden, värisävyyn tai värintoisto-ominaisuuksien perusteella. Lamppujen valotehokkuus on yleensä yhteydessä värintoisto-ominaisuuksiin. Valotehokkaiden lamppujen värintoistoindeksi jää välille 50 – 70, kun valotehokkuudeltaan heikommat lamput saavuttavat  $R_a$  -indeksin 85 – 98. (Halonen & Lehtovaara 1992, 204.) Uusien loistelamppujen valotehokkuus on parantunut kehitty-

neiden lamppumateriaalien avulla. Valotehokkuus loistelampuilla huononee merkittävästi vasta, kun niiden värintoistoindeksi  $R_a$  on yli 90.

### 3.3.2 Hehkulamppu

Hehkulamppu on terminen säteilijä ja sen valontuotto perustuu hehkulankaan, joka korkeassa lämpötilassa alkaa tuottaa valoa. Suurin osa lampun kuluttamasta tehosta haihtuu lämpösäteilynä ilmaan. Hehkulamppujen polttoikä yleisesti on 1000 tunnin paikkeilla. Niiden valo koetaan kodikkaana ja lampun värintoistoindeksi on 100. (Halonen & Lehtovaara 1992, 183-191.)

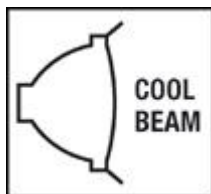
Hehkulamput poistuvat EU-direktiivin kiellon myötä markkinoilta. Tämä direktiivi tähtää energiankäytön hillitsemiseen ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Vuoden 2012 syksyyn mennessä markkinoilta poistuvat kaikki hehkulamput. (Lampputieto.) Korvaavia vaihtoehtoja ovat energiansäästölamput, halogeenilamput ja koko ajan kehittyvät LED-lamput.

### 3.3.3 Halogeenilamppu

Halogeenilamppu tuottaa valonsa termisellä säteilyllä eli lämpösäteilyllä. Halogeenilampun hehkulanka voidaan kuumentaa suurempaan lämpötilaan kuin hehkulamppu ns. halogeenikierron avulla. Halogeenilampun värilämpötila on noin 3000 kelviniä ja värintoistoindeksi 100. Halogeenilamput ovat myös valontuotollisesti parempia kuin hehkulamput, noin 15-25 lm/W (Valonetti 2012). Polttoikä lampuilla on tyypillisesti 2000 - 4000 tuntia. (Ensto Pro 2012, valonlähteet.)

Kohdevalaistukseen halogeenilamput soveltuvat mainiosti pienen kokonsa puolesta ja hyvien valontuotto-ominaisuuksiensa ansiosta. Halogeenilampun korkean lämpötilan vuoksi niitä ei voida sijoittaa kosketusetäisyydelle palovammojen välttämiseksi. Kohteet jotka saattavat vahingoittua liiallisen lämpösäteilyn takia, voidaan valaista kylmäsädehalogeenilampuilla, joiden lasi ei päästä lämpösäteilyä lävitseen ja niihin liitettyjen heijastimien erityispiirteenä on kyky päästää muodostuva lämpö lampun taakse.

(Halonen & Lehtovaara 1992, 194.) Kylmäsädelamppuja käytettäessä tulee varmistua siitä, että valaisimesta löytyy merkintä soveltuvuudesta (kuvio 16).



KUVIO 16. Merkintä kylmäsädelampulle soveltuvasta valaisimesta (Osram 2012)

### 3.3.4 Energiansäästölamppu

Energiansäästölamput, joiksi kutsutaan pienoisloistelamppuja, ovat käytännössä tulleet korvaamaan hehkulamppuja. Niillä saadaan sama valontuotto noin 5 – 7 kertaa pienemmällä energiankulutuksella. Yhden valonlähteen teho on pienemmästä energiankulutuksesta johtuen alhaisempi, mistä johtuen myös niiden lämpövaikutus ympäristöön ja valaisinrakenteeseen on pienempi. (Ensto Pro 2012, valonlähteet.)

Energiansäästölamppuja on saatavissa suurella värieläpötila-alueella. Valotehokkuus on huomattavasti parempi kuin hehkulamput, noin 35 – 65 lm/W ja värintoistoindeksi on 80 – 92 luokkaa. Polttoikä vaihtelee suuresti muutamasta tuhannesta tunnista aina 15 000 tuntiin saakka. (Oy Airam Electric Ab.) Energiansäästölamput vaativat useita minutteja saavuttaakseen täyden valaisutehonsa. Syttymisnopeus vaihtelee valmistajien välillä. Esimerkiksi Airamin 11 W energiansäästölampulla on päästy hieman yli minuutin syttymisaikaan, jolloin lamppu tuottaa lähes täyden valovirtansa. (Valokas 2012.) Hidas syttymisnopeus on vaikuttanut negatiivisesti hehkulamputa energiansäästölamppuihin siirtymistä. Tekniikan kehittyessä energiansäästölamputkin kehittyvät ja hehkulamput markkinoilta poistuminen takaa niiden lisääntyvän käytön tulevaisuudessa. (Oy Airam Electric Ab.)

### 3.3.5 Monimetallilamppu

Monimetallilamput voidaan jakaa kahteen eri luokkaan purkausputkensa mukaisesti, jossa valontuotto tapahtuu. Ne ovat suuritehoisemmat kvartsilasista valmistetut moni-

metallilamput ja pienitehoisemmat keraamiset monimetallilamput. Näiden lamppujen värintoisto-ominaisuudet ovat hyvää luokkaa, välillä  $R_a = 65 - 90$ . Monimetallilamppujen käyttöalue on laaja, ja niitä käytetäänkin paljon esimerkiksi myymälävalaistuksessa, halleissa, ulkovalaistuksessa ja kohteissa joissa tarvitaan korostavaa valaistusta. Niiden valotehokkuus on tyypillisesti  $75 - 90 \text{ lm/W}$ , joka vaihtelee riippuen käytetyistä metalliyhdisteistä, lampun rakenteesta ja lampun sähkötehosta. (Halonen & Lehtovaara 1992, 257.)

Monimetallilamput ovat hitaita syttymään ja niiden väri vaihtelee huomattavasti syttymisen aikana riippuen lampussa käytetyistä metalliyhdisteistä. Sähkökatkon jälkeen saattaa jäähtymisen seurauksena kulua useita minuutteja kunnes lamppu syttyy uudelleen. Monimetallilampuilla on melko pitkä elinikä, mutta korkea hankintahinta. (Ensto Pro 2012.) Ympäristön lämpötilan vaikutus on monimetallilampun toimintaan hyvin vähäinen sen suuren toimintalämpötilan takia, eikä niiden syttymisessä ole havaittu ongelmia Suomen elinolosuhteissa (Halonen & Lehtovaara 1992, 257).

### **3.3.6 Suurpainenatriumlamppu**

Suurpainenatriumlamput ovat tehokkaita valon tuottajia ja niillä on pitkä käyttöikä. Niiden valon väri on kuitenkin rajoittunut kellertävälle aallonpituusalueelle, joka rajoittaa niiden käyttöä tie- ja katuvalaistukseen sekä varastotiloihin. Värintoistoindeksi suurpainenatriumlampulla on vain noin 20. Valotehokkuus on kuitenkin tehosta riippuen  $60 - 120 \text{ lm/W}$ . Niiden värintoistoa voidaan parantaa, mutta se puolestaan laskee valotehokkuutta  $10 - 15 \%$ . (Halonen & Lehtovaara 1992, 235.)

Suurpainenatriumlampun käyttöikä riippuu lampun tehosta ja valovirran määrä alenee kun suojakupi menettää valonläpäisykykyään esimerkiksi likaantuessaan. Polttoikä suurpainenatriumlampuilla on  $20\,000 - 30\,000$  tuntia, mutta lamppujen sytytystiheys vaikuttaa siihen negatiivisesti, ja polttoikä voi laskea huomattavasti. (Halonen & Lehtovaara 1992, 235; Oy Airam Electric Ab 2012.)

### 3.4 Valonlähteiden vertailu

Valonlähteitä on olemassa paljon erilaisia ja niiden hinnat sekä käyttökohteet vaihtelevat suuresti. Taulukossa 3 on vertailu eri valonlähteiden ominaisuuksia suuntaa antavilla arvoilla. Nykypäivänä ei valonlähteitä vertailla enää pelkästään kulutetun sähkötehon perusteella, vaan lampun tuottaman valovirran ja tehon suhteella, valotehokkuudella.

Hehkulamppujen aika alkaa käytännössä olla ohi Euroopassa. Niiden tilalle asiakkaalle tarjotaan korvaavia valonlähteitä energiatehokkuuden ja käyttöiän avulla. Halogeenilamppu muistuttaa korvaavista lampputyypeistä eniten hehkulamppua valotuotto-periaatteensa mukaan. Ero näiden kahden lampputyypin välillä on halogeenilampun hieman pidempi elinikä ja parempi valotehokkuus. Halogeenilamput saattavat silti poistua myynnistä tulevaisuudessa, koska niiden energiatehokkuus on kuitenkin huomattavasti huonompi kuin LEDeillä ja loistelampuilla. LEDeillä ja loistelampuilla valotehokkuus muuttuu niiden elinkaaren loppupuolella selvästi enemmän kuin hehkulamppuilla. (Aalto-yliopisto, Valaistusyksikkö 2011.) Koska LEDien ja loistelamppujen valovirran tuotto heikkenee käyttöiän myötä, on hankittava alusta alkaen tehokkaampi lamppu hehkulamppun tilalle, jotta haluttu valoteho säilyisi polttoiän loppuun saakka. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 53-54.)

Halvalla hinnalla ei aina saa parasta mahdollista ratkaisua. Valovirran pienentymisen havaitsee aistinvaraisesti päivittäisissä askareissa, eivätkä valon laatu ja värisävy ole välttämättä miellyttäviä.

TAULUKKO 3. Valonlähteiden vertailuarvoja (Oy Airam Electric Ab, Indoor Lighting Solutions 2012)

Lampputyyppi	Väriämpötila	Värintoistoindeksi	Valotehokkuus	Hyötypolttoikä
	K (kelvin)	R <sub>a</sub>	lm/W	h
LED	2700 - 6000	80 - 95	80 - 110	> 20 000
Loistelamppu T5	2700 - 6500	80 - 95	90 - 110	20 000
Loistelamppu T8	2700 - 6500	80 - 95	70 - 90	15 000
Halogeeni	3000 - 4000	100	15 - 25	2000 - 4000
Energiansäästö	2700 - 6500	80 - 92	35 - 65	6000
Monimetalli	3000 - 6000	65 - 90	50 - 100	8000 - 10 000
Suurpainenatrium	2100 - 2500	20 - 80	60 - 120	20 000 - 25 000
Hehku	2700	100	10 - 15	1000

Taulukossa 3 ilmoitetut arvot ovat suuntaa antavia. Arvot vaihtelevat valonlähteiden käyttöolosuhteiden, laadun ja käytetyn valaisimen mukaan. LEDien kohdalla polttoikä on hyvin pitkä, hyvissä olosuhteissa jopa 50 000 tuntia, mutta hyvän jäähdytyksen puuttuessa valovirran tuotto ja käyttöikä pienenevät huomattavasti.

## 4 LED-tekniikka Osuuskaupan kohteissa

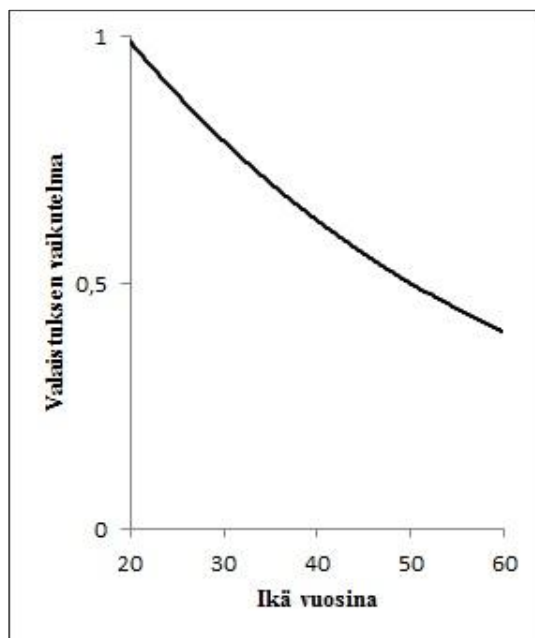
Pirkanmaan Osuuskauppa on alkanut siirtyä LED-valaistukseen, jonka avulla tavoitellaan huomattavia säästöjä energiankulutuksessa. LED-valoputkia on asennettu eri puolille Pirkanmaata ja kylmäkalusteiden valaistusta on alettu toteuttaa LED-tekniikalla. Tampereen Kalevassa sijaitseva S-market on ensimmäinen LED-valaistu S-market Suomessa. Valaistusuudistuksen yhteydessä marraskuussa 2011 yleis- ja parkkihallivalaistuksessa käytetyt loisteputki-valaisimet vaihdettiin LED-valoputki-yhteensopiviksi. Myös vanhat kylmäkalusteet uusittiin ja niihin asennettiin LED-valaistus. Valaistuksen osalta uudistus vähensi kiinteistön sähköenergiankulutusta yli 70 %. (S-kanava 2011.)

### 4.1 Valaistuksen laatu

Valaistussuunnittelun perusteena on hyvä valaistus. Oleellista on, että vaaditun valaistusvoimakkuuden lisäksi myös laadulliset ja määrälliset tarpeet tyydytetään. Valaistusvaatimukset määritellään kolmen perustarpeen täyttymisellä. Näkömukavuuden perusteella työntekijä kokee valaistuksen vaikuttavan positiivisesti hyvinvointiinsa, joka johtaa epäsuorasti parempaan tuottavuuteen ja työn laatuun. Näkötehokkuuden avulla työntekijä pystyy suoriutumaan tehtävistään myös vaativissa olosuhteissa ja pitempien jaksojen ajan. Hyvä valaistus myös lisää turvallisuutta. Suomen standardoimisliiton vahvistama eurooppalainen standardi SFS-EN 12464-1:2011 ”Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus” antaa tarkempia ohjeita, mikä on riittävä ja tarkoituksenmukainen valaistus erilaisilla työpaikoilla. Siihen on koottu eurooppalaisia yleisohjeita ja tilakohtaisia erityisvaatimuksia taulukoiden muodossa. (SFS-EN 12464-1:2011.)

Ihmisen ikä vaikuttaa siihen, kuinka vahvasti valaistusvoimakkuus vaikuttaa näkemiseen. 60-vuotiaan ihmisen silmä reagoi noin 1/3 osaan valaistusvoimakkuudesta 20-vuotiaan ihmisen silmään verrattaessa (kuvio 17). (The IESNA Lighting Handbook 2000, 468.) Iän myötä silmän verkkokalvon valonläpäisykyky pienenee valon kaikilla aallonpituuksilla (Halonen & Lehtovaara 1992, 109). Tämän takia valaistuksen tulee olla suunniteltu valaistusvoimakkuudeltaan voimakkaammaksi kuin standardi määrittelee, jotta näkemisen edellytykset olisivat tasapuoliset kaiken ikäisille.

Kalevan S-marketin valaistusvoimakkuuden taso vanhoilla loisteputkilla oli 1100 - 1000 luksia. Uudistuksen yhteydessä valaistusvoimakkuuden määrä tippui 900 - 1000 luksin tasolle. Valaistusvoimakkuus laski arvion mukaan noin 5 - 10 %. (Raportti Greenled-valaistuksesta 2011.) Ihmissilmä ei kuitenkaan pysty havaitsemaan pieniä valaistusvoimakkuuden muutoksia, joten 100 luksin muutoksella ei ole merkittävää vaikutusta asiakkaiden päivittäiseen kaupankäyntiin. Valaistusvoimakkuuden tulisi olla SFS-EN 12464-1:2011 standardin mukaan liiketilojen myyntialueella vähintään 300 luksia ja kassa-alueella 500 luksia. Värinistöindeksin  $R_a$  arvoksi standardi määrittelee liiketiloissa 80. Sisävalaistusstandardin mukaan valaistusvoimakkuuden tasaisuuden tulee pysyä määriteltyjen rajojen sisällä.



KUVIO 17. Ikävuosien vaikutus valaistusvaikutelmaan (The IESNA Lighting Handbook 2000, 468.)

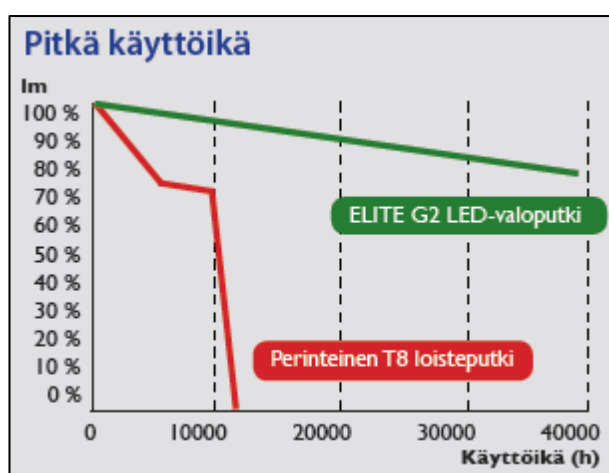
Päivänvalon saatavuus vanhemmissa myymälätiloissa ei usein ole riittävää tai edes mahdollista. Uusissa kohteita suunniteltaessa vakiovalon eli luonnonvalon käyttöä tulisi lisätä, sillä se säästää energiaa ja vaikuttaa positiivisesti tiloissa pitkään työskentelevien ihmisten viihtyvyyteen ja siksi suoraan asiakkaisiin. (Indoor Lighting Solutions 2012.)

## 4.2 Yleisvalaistus

Yleisvalaistus ja sen laatu on todella merkittävä osa viihtyisää myymäläympäristöä. Valo ja sen riittävä määrä vaikuttavat positiivisesti asiakkaisiin. Valo on myös tärkeä tekijä tuotteen näkyvyyden kannalta asiakkaan silmissä. Se antaa tuotteille syvyyttä, muodon ja määrittää minkälaisena näemme tuotteen pinnan. Yleisvalaistus vähentää varjojen muodostumista ja tekee tuotteista vetoavampia yhdistettynä kohdevalaistuksen kanssa. Suuret myymälät sisältävät tuotteita laidasta laitaan ja kaikille niille luodaan tietty ilme yleisvalaistuksen avulla. (The IESNA Lighting Handbook 2000, 614.) Markettien yleisvalaistukselle ominaista on, että valaisimet palavat täydellä teholla koko aukiolon ajan. LED-valaistuksella voidaan saada merkittäviä säästöjä aikaan, kun korvataan vanhat loisteputket uudella tekniikalla.

### 4.2.1 LED-tekniikan käyttö yleisvalaistuksessa

LED-valoputkien asentaminen loisteputkien tilalle tuo selvää säästöä energian kulutukseen valaistusvoimakkuuden hieman laskiessa. Korkeissa liiketiloissa lamppujen vaihtaminen vie aikaa ja rahaa. LED-valoputkille luvataan pitkää polttoikää, joka puolestaan vähentäisi lamppujen vaihtotarvetta huomattavasti. Kuvio 18 kuvaa Valtavalon ELITE G2 LED-valoputken käyttöä eli polttoiän suhdetta perinteiseen T8-loisteputkeen.



KUVIO 18. LED-valoputken ja perinteisen T8-loisteputken käyttöikäkuvaaja (Valtavallo Oy)

Ero perinteisen loisteputken ja LED-valoputken käyttöiän välillä on selvä, mutta kuitenkin aina tilanne ei ole näin selkeä. Liian korkea ympäristön lämpötila vaikuttaa alentavasti valoputkien tuottamaan valovirtaan, jolloin valaistuvoimakkuustaso laskee. Myös polttoikä romahtaa ja tämä puolestaan vähentää kustannuseroja LED-valoputken kannalta negatiivisesti niiden hankintahinnan ollessa noin viisinkertainen verrattuna loisteputkeen. LED-valoputket eivät sisällä elohopeaa, eivätkä ole ongelmajätettä. Valtavalo Oy lupaa omien valoputkiensa olevan 95 % kierrätettäviä, joka on tärkeä tekijä nykyisillä markkinoilla.

Kalevan S-marketissa yleisvalaistus toteutettiin loisteputkivalaisimilla ennen LED-valaistukseen siirtymistä. Valaistusuudistuksessa kaikki valaisimet muutettiin Greenled-valoputkille sopiviksi, jotta ne voitiin asentaa kohtisuoraan alaspäin. Muutoksen vuoksi valaisimiin ei voida vaihtaa normaaleja loisteputkia, koska ne eivät ole yhteensopivia. Myös valaistuksen ohjausta muutettiin energiaa säästäväksi. Ennen uudistusta kaupan valaistus paloi täydellä teholla aamusta iltaan. Uudistuksen myötä palavien valaisimien määrää aamuisin on laskettu, koska valaistusvoimakkuuden ei tarvitse olla samalla tasolla, kuin kaupan aukioloaikoina. Aamuisin kaupassa palaa L-kirjaimen muotoinen jono valaisimia, joita voidaan ohjata omana ryhmänään. Vasta kaupan auetessa asiakkaille, muut valaisimet kytketään päälle valaistusvoimakkuuden kasvattamiseksi koko myymälässä toivotulle tasolle. Työntekijöiden mukaan uudistuksen jälkeen valaistus oli aluksi epämukava, mutta pienen totuttelun jälkeen uusi värisävyltään kylmempi valo koetaan mukavaksi ja miellyttäväksi.

Liitteessä 1 on esitetty Kalevan S-marketissa vuoden 2011 joulukuussa suoritettujen valaistusvoimakkuustasomittauksen tulokset, jotka suoritettiin noin 70 sentin korkeudessa lattiatasoon nähden. Mittalaitteena tässä mittauksessa käytettiin Velleman DVM401 Environment Meter -mittaria. Mittaukset suoritettiin valaistusuudistuksen jälkeen. Liitteessä 2 on vastaavasti esitetty vuoden 2012 maaliskuussa tehdyn uuden valaistusvoimakkuusmittauksen tulokset 75 senttimetrin korkeudelta, jonka avulla tarkasteltiin mahdollisia muutoksia ja eroja edelliseen mittaukseen. Mittaukset suoritettiin Hagner ScreenMaster-valaistusvoimakkuusmittarilla.

Mittausten väliset erot ovat 100 - 300 luksia. Mittaukset on suoritettu lähes samalta korkeudelta 70 senttimetrin molemmin puolin, joten korkeuseroa ei juurikaan mitausten välillä ole. Myymälään tuleva päivänvalo vaikuttaa kuitenkin osittain mittausarvoihin.

Standardin 12464-1:2011 mukaan liiketiloissa tulisi olla vähintään 300 luksia myyntialueella ja 500 luksia kassa-alueella, eikä erityisvaatimuksia ole määritelty. Vähimmäisarvot täyttyivät jo ensimmäisen mittauksen perusteella lukuun ottamatta kassa-alueen 500 luksin tavoitetta (liite 1). Myöhemmän mittauksen tulokset ovat reilusti yli standardiarvojen (liite 2). Kassa-alueella mitattu arvo yli 700 luksia on reilusti yli standardin määrittelemästä 500 luksista. Liitteessä 4 on kuvattu sähköenergian kulutus myymälän valaistusuudistuksen jälkeen. Valaistuksen tehonkulutus laski uudistuksen jälkeen noin 50 kW.

### 4.3 Turvavalistus

Turvavalistus on pakollinen työpaikoilla ja julkisissa kiinteistöissä. Turvavalistukseen kuuluu merkkivalaisimet, jotka sisältävät vihreän poistumisopasteen ja turvavalaisimet, jotka syttyvät hätätilanteessa antaen yleisvaloa poistumisreiteille ja avoimille alueille. Tyypillisesti merkkivalaisimet palavat jatkuvasti ja turvavalaisimet syttyvät vain sähkökatkoksen aikana. (Teknoware Oy.)

Turvavalaisimien on tuotettava poistumisreiteille yhden luksin ja avoimille alueille 0,5 luksin valaistusvoimakkuustasot. LED-tekniikka on tullut vahvasti mukaan myös turvavalistukseen, joka ei ole ihme niiden pitkän käyttöiän ja vähäisen huollon tarpeen vuoksi. Rakennettaessa uusia kohteita, turvavalistuksen toteuttaminen LED-tekniikkaa hyväksi käyttäen on hyvä ratkaisu. Vanhojen kohteiden turvavalaisuudesta ei kuitenkaan kannata vaihtaa uusiin LED-turvavalaisimiin, ainakaan taloudellisista syistä.

LED-tekniikka on turvavalaisimiin hyvä ratkaisu niitä syöttävien akkujen kannalta, koska ne kuluttavat vähemmän tehoa, kuin esimerkiksi loistelampuilla toteutetut turvavalaisimet. Pienemmän tehon kulutuksen ansiosta akut pystyvät tilanteen vaatiessa pitämään turvavalaisuudesta pidempään yllä. LEDien pieni koko mahdollistaa myös turvavalaisimien koon pienentämisen.

Suurissa kiinteistöissä poistumistieopasteita on runsaasti ja ne palavat jatkuvasti. Merkittävä etu LEDeillä varustetuilla opasteilla on niiden pitkä elinikä, joka vähentää valonlähteen vaihtovälejä. LED-tekniikalla toimivat poistumistieopasteet kuluttavat vähemmän sähköenergiaa, kuin vanhemmat loistelampuilla toteutetut opasteet. Säästö ei kui-

tenkaan ole niin suuri, että vanhojen kiinteistöjen toimivia opasteita kannattaisi vaihtaa LED-tekniikalla toimiviin malleihin. Uusiin rakenteilla oleviin kohteisiin niiden asentaminen on järkevää. (Teknoware Oy.) LED-tekniikalla toteutettu turvavalaisuus vaatii kunnossapito-ohjelman, jossa on otettu huomioon LEDien valovirran tuoton lasku polttoain loppupuolella.

LEDien lämmönkestävyys on haaste myös turvavalaisuudessa. Niiden elinikä on lyhyt jos lämmön vaikutuksia ei oteta huomioon. Valotekniset seikat ja niiden hyödyntäminen vaativat toimivaa optiikkaa valaisinten valmistajilta. (Teknoware Oy.)

#### **4.4 Lastaus- ja varastotilat**

Pirkanmaan Osuuskaupalla lastaus- ja varastotiloja löytyy joka kohteesta. Työnteon turvallisuuden hyvällä valaistuksella on suuri merkitys. Usein päivänvaloa on saatavilla riittävästi, mutta silti valaistukseen tulee kiinnittää huomiota. LED-tekniikka soveltuu myös näihin tiloihin mainiosti. Sitä voidaan säätää päivän valon mukaan tarvittaessa. Ympäristön lämpötila on myös suotuisa LED-komponenteille, koska ympäristön lämpötila ei nouse ulkotiloissa liian korkeaksi.

Valaistusvoimakkuuden vaatimustasot standardin SFS-EN 12464-1 mukaan lastaustiloissa ovat 150 luksia. Varastoissa valaistusvoimakkuuden tulee olla 100 luksia, mutta työn ollessa jatkuvaa vaatimus on 200 luksia. Värintoistoindeksin arvo  $R_a$  tulee olla vähintään 60 sekä lastaus- että varastotiloissa. (SFS-EN 12464-1 2011.)

Liitteessä 2 on esitetty mittausrvoja Kalevan S-marketin LED-valoputkilla valaistujen varastotilojen valaistusvoimakkuuksista muutamista kohdista. Jatkuvaan työhön vaadittu 200 luksin raja täyttyy mittausten osalta jokaisessa mittauspisteessä.

#### **4.5 Autohallit**

Autohallien valaistuksessa LED-tekniikka tulee olemaan tulevaisuudessa hyvä käyttökohde. Viileät autohallit ovat LEDeille sopiva ympäristö ja takaavat niiden toiminnan

käyttölämpötilan osalta. Autohalleissa valaistusvaatimuksetkaan eivät ole kovin korkealla tasolla.

Valaistusvoimakkuuksien tulisi sisävalaistusstandardin mukaan olla sisään- ja ulosajorampeilla päivällä 300 ja yöllä 75 luksia, ajoradoilla ja pysäköintialueilla 75 luksia ja lipunmyyntialueella 300 luksia. Värintoistoindeksin  $R_a$  arvo tulisi autohalleissa olla vähintään 40, mutta lipunmyyntialueella parempi 80. Erityisvaatimuksena valaistusvoimakkuuksien tulee olla lattiatasolla mitattuja ja turvavärien tulee olla tunnistettavissa joka tilanteessa turvallisuuden takaamiseksi. (SFS-EN 12464-1 2011.)

Liitteessä 3 on esitetty Kalevan S-marketin autohallin mitatut valaistusvoimakkuudet. Mittauksen suoritettiin Hagner ScreenMaster valaistusvoimakkuusmittarilla. Standardin vaatimat valaistusvoimakkuudet täyttyvät ajoradoilla ja pysäköintialueilla selvästi. Autohallissa ei ole lipunmyyntialuetta. Parkkihallissa olevissa 2-putkisissa valaisimissa käytetään vain yhtä LED-valoputkea per valaisin, eli valaistusvoimakkuutta on mahdollista lisätä nykyisestä tarpeen tullen. Autohallissa käytetyt turvavärit olivat valaistusvoimakkuuksista huolimatta hyvin erotettavissa.

#### **4.6 Valon vaikutus lihatuotteisiin**

Kaikilla materiaaleilla, myös lihalla, on oma ainutlaatuinen tapansa reagoida valoon ja lämpöön. Verrattuna muihin materiaaleihin, kuten tekstiileihin, lihan muutosreaktiot tapahtuvat huomattavasti nopeammin, jo muutamassa tunnissa useiden viikkojen sijasta. Lihan valaistukseen käytettävän valonlähteen on kyettävä tuottamaan väritasapainoista valoa, eli silmän spektriherkkyysalueen värejä, jotta lihan luonnollinen väri näkyisi. (The IESNA Lighting Handbook 2000, 624-625.)

Lihan väri on tärkeä osa asiakkaan ostamispäätöstä, koska sen koetaan kertovan lihan tuoreudesta. Lihan värityksen vaikutus ostopäätökseen on selvä. Käytännössä väriään muuttanut ja rakenteellisesti mureampi liha on kuitenkin parempi ratkaisu ruoanlaittoon, kuin täysin raaka punainen liha (Lars Kuivalainen 2012). Lihan väriin voidaan vaikuttaa, kun tiedetään siihen vaikuttavat tekijät. Valonlähde, jolla lihaa valaistaan, säteilee eri määriä eri näkyvän valon aallonpituuksilla lihan pinnalle. Valonsäteiden osuessa lihan pintaan, osa niistä imeytyy ja osa heijastuu takaisin. Takaisin heijastu-

neesta valosta puuttuu nyt lihaan imeytyneet näkyvän valon aallonpituudet ja ihmissilmä havaitsee lihan värin ilman puuttuvia aallonpituuksia. (Anthonie, L. 2009, 8-10.)

Lihan väri koostuu pigmenteistä, myoglobiini proteiinista, myoglobiinin kemiallisesta tilasta ja lihan pinnan valoa sirottavista ominaisuuksista. Myoglobiini on rautapitoinen proteiini ja se on avainasemassa lihan värityksessä. Reagoidessaan hapen kanssa, tämä proteiini saa aikaan muutoksia lihan pigmentissä. Myös lihan pH-arvon vaihtelu vaikuttaa lihan väriin. Lihan pinnalta takaisin heijastuvan valon säteet suuntautuvat laajemmalle alueelle pH-arvon muuttuessa. (Anthonie, L. 2009, 8-10.)

Lihatuotteiden myymisen huolenaihe on, että esillä olevat tuotteet menettävät punaista väriään ja alkavat harmaantua (engl. loss of chroma). Käytetyistä lisäaineista riippuen, osa lihatuotteista saattaa harmaantua nopeammin ja osa hitaammin kuin toiset. Lihan rakenteen pilkkominen yhä pienempiin ja pienempiin osiin kiihdyttää värimuutoksien tapahtumista. Myös muut ympäristölliset tekijät, kuten ilmansaasteet, saattavat aiheuttaa tuotteiden ulkonäöllisen huononemisen. (The IESNA Lighting Handbook 2000, 624-625.)

Pakkaamaton liha kuivuu nopeasti kylmäsäilytyksessä sekä aiheuttaa lihan tummumista ja kutistumista. Kun liha on pakattu, kuivuminen ja reagointi hapen kanssa vähenee, mutta harmaantumista tapahtuu tästä huolimatta. Yleensä harmaantuminen rajoittuu myyntipakkauksen päällimmäisiin kerroksiin, eikä vaikuta tuotteen hajuun tai makuun. Valon vaikutuksista eri lihatyyppeihin kerrotaan seuraavissa alaluvuissa. (The IESNA Lighting Handbook 2000, 624-625.)

#### **4.6.1 Tuore liha**

Koska tuoreella lihalla on yleisesti lyhyempi käyttöikä kuin jalostetulla lihalla, voisi päätellä, että valolla on pienempi vaikutus siihen. Silti valaistuksen säteilylämpö tulee ottaa huomioon. Tällä hetkellä ei ole selkeää tieteellistä näyttöä valaistuksen vaikutuksista jalostamattoman lihan käyttöikänsä. (The IESNA Lighting Handbook 2000, 624-625.)

Usein lihan harmaantumista pidetään lihan leikkauksen ja korkean pintalämpötilan seurauksena. Esimerkkinä +7 celsiusasteen pintalämpötila voi mahdollistaa harmaantumi-

sen jo muutamassa tunnissa. Kun lihan pintalämpötila pysyy alle -1 celsiusasteessa, harmaantumiseen voi kulua kahdesta kolmeenkin päivään. Palvelutiskeissä lihan jäädytystä ei suositeta, koska se hankaloittaa lihan käsittelyä, joka puolestaan edistää harmaantumista. (The IESNA Lighting Handbook 2000, 624-625.)

Punainen liha, esim. naudanliha, saa leikkauksen jälkeen tuoreen, punaisen värin reagoitessaan hapen kanssa. Hapen poistaminen lihan pinnalta saa lihan muuttumaan sini-punertavaksi. Tämän vuoksi jalostamaton liha on yleensä kääritty happea läpäisevään materiaaliin poiketen jalostetuista lihoista. Ajan myötä liha alkaa kärsiä harmaantumisesta, seurauksena yhdestä tai useammasta seuraavasta seikasta:

- Hapesta lihan pinnalla
- Lihan kuivuudesta
- Yli +5 asteen lämpötilasta
- Bakteerien tai muiden mikrobien kasvamisesta lihan pinnalla
- Hitaasta jäätymisestä (The IESNA Lighting Handbook 2000, 624-625.)

Suosituksia valaistukselle jalostamattoman lihan säilytyksessä:

- hillitty valaistusvoimakkuus, 500 luksin paikkeilla
- valonlähteillä tulisi olla korkea värinvaloisuusindeksi sekä niiden tulisi tuottaa aallonpituudeltaan punasävyistä valoa, joka saa lihan näyttämään punaisemmalta yhdessä ympäröivän valaistuksen kanssa.
- jos kohdevalaistuksena käytetään halogeenilamppuja, niiden lämpösäteilyn vaikutus tulee huomioida. (The IESNA Lighting Handbook 2000, 624-625.)

#### **4.6.2 Jalostettu liha**

Kinkun, valmiiksi maustettujen, marinoitujen, kypsennettyjen ja muiden jalostettujen lihojen haalistumisen aiheuttaa reagointi hapen kanssa valon vaikutuksesta. Haalistumisen nopeus vaihtelee ja se saattaa olla hyvinkin nopeaa tiettyjen jalosteiden kohdalla. Reaktio on suhteessa valolle altistumisen suuruuteen ja keston. Tyypillisesti valolle altistumista mitataan valoaltistuksen määrällä yksikkönä valaistusvoimakkuus per tunti(luksia tunnissa). Tyypillisiä myymälävalonlähteitä käytettäessä näkyvää haalistumista

voi ilmetä yhdessä tunnissa 2000 luksin valaistusvoimakkuudelle altistumisen seurauksena. Jotkut jalostetut lihat saattavat haalistua jopa kahdessa tunnissa 1000 luksin vaikutuksesta. (The IESNA Lighting Handbook 2000, 624-625.)

#### **4.6.3 Mahdollisia ratkaisukeinoja harmaantumista vastaan**

Lihan harmaantumiseen ei ole yksiselitteistä syytä ja se voi johtua useasta eri seikasta. Erityisesti 2 – 3 myyntipäivän tuotteita on pidetty valon vaikutusten ulkopuolella, koska tuotteiden vaihtuvuus kaupan hyllyillä on melko nopeaa. Vielä toistaiseksi ei ole tietoa siitä, voivatko eri väriset valonsäteet kiihdyttää tai hidastaa lihan harmaantumista. UV-säteilyn vaikutuksista ei myöskään ole tieteellistä näyttöä lihan harmaantumisen suhteen. (The IESNA Lighting Handbook 2000, 624-625.)

Pakkaamalla tuotteet vakuumi- tai suojakaasupakkauksiin, voidaan mahdollisesti vähentää harmaantumista, koska ilma ei pääse kosketuksiin lihan kanssa. Suojakaasuna Pirkanmaan Osuuskauppa käyttää hiilidioksidia. Käytännön kokemus on kuitenkin osoittanut, että vakuumpakkaukset eivät poista harmaantumista vaan osaltaan hidastavat sitä (Lars Kuivalainen 2012). Lihojen pakkaamisessa tulee myös kiinnittää huomiota siihen, että mahdollisimman pieni osa lihasta altistuu valolle esimerkiksi pinoamalla siivutetut tuotteet. Myyntitiskeissä valaistusvoimakkuuksien ei tulisi ylittää 1000 luksin rajaa, koska suuren valaistusvoimakkuuden vaikutukset näkyvät nopeammin lihan värityksessä. (The IESNA Lighting Handbook 2000, 624-625.)

#### **4.7 LED-tekniikka ja kustannussäästöt**

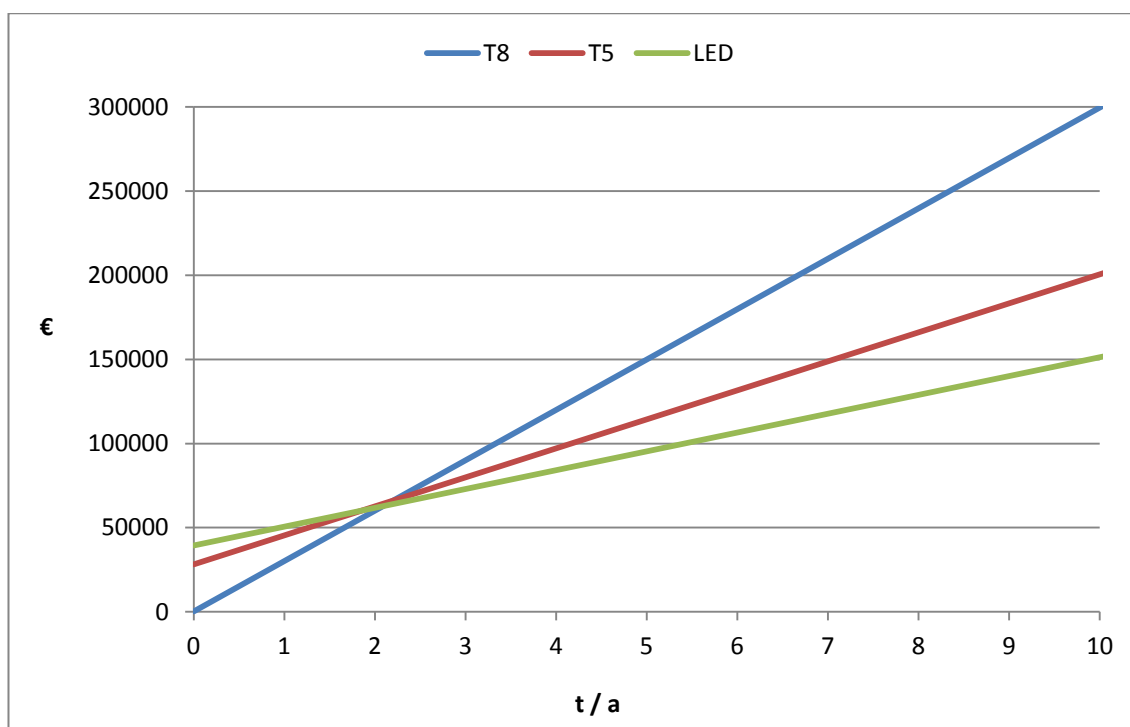
LED-tekniikan tuottamista kustannussäästöistä voidaan olla montaa mieltä. Riippuen käyttöolosuhteista, valaisimista, käyttökohteista, mielipiteistä, valon laadusta ja muista seikoista tilanne vaihtelee suuresti. Toisten mielestä LEDien tuottama valo ei ole miellyttävää ja toiset taas hyväksyvät sen ongelmitta. Kustannussäästöjä voidaan laskea myös monella eri tavalla, mutta yleisesti kulutettu sähköteho ja lamppujen hankintahinta ovat ne keskeisimmät vertailukohteet.

Liitteessä 4 on esitetty S-market Kalevan tuntikulutuksen lasku valaistusuudistuksen jälkeen. Valaistuksen kuluttama teho on laskenut 70 kilowattitunnista noin 20 kilowattituntiin. Uudistus säästää siis noin 70 % sähköenergian kulutuksessa valaistuksen osalta.

Eri valaistusratkaisujen kustannuseroja voidaan vertailla elinkaarikustannusvertailun avulla. Osana opinnäytetyötä tehtiin kustannusvertailu T8-loisteputkivalaisimien, LED-valoputkien ja T5-loisteputkivalaisimien välillä pinta-alaltaan 1765 m<sup>2</sup> ja korkeudeltaan 5m myymälätilaan. Magneettisella eli konventionaalisella kuristimella varustettuja T8-loisteputkivalaisimia verrattiin LED-valoputkiin siten, että valoputket asennettiin suoraan T8-valaisimiin loisteputkien tilalle. Polttotuntimääränä vertailussa käytettiin 5000 tuntia per vuosi. Asennuskustannuksia ei ole huomioitu laskuissa.

Vertailu tehtiin DIALux 4.9 ja Fagerhult Life Cycle Cost Calculator -ohjelmilla. Fagerhultin elinkaarianalyysiohjelmalla laskettiin kolmen eri valaistusratkaisun kustannuksia 20 vuoden aikajaksolla. Energianhintana vertailussa käytettiin 0,09 €/kWh. Vertailussa otettiin huomioon 3 % laskentakorko, 1 % inflaatio ja energian hinnan kasvu 10 % inflaation vaikutuksesta. Vertailun tarkemmat tulokset on esitetty liitteessä 7.

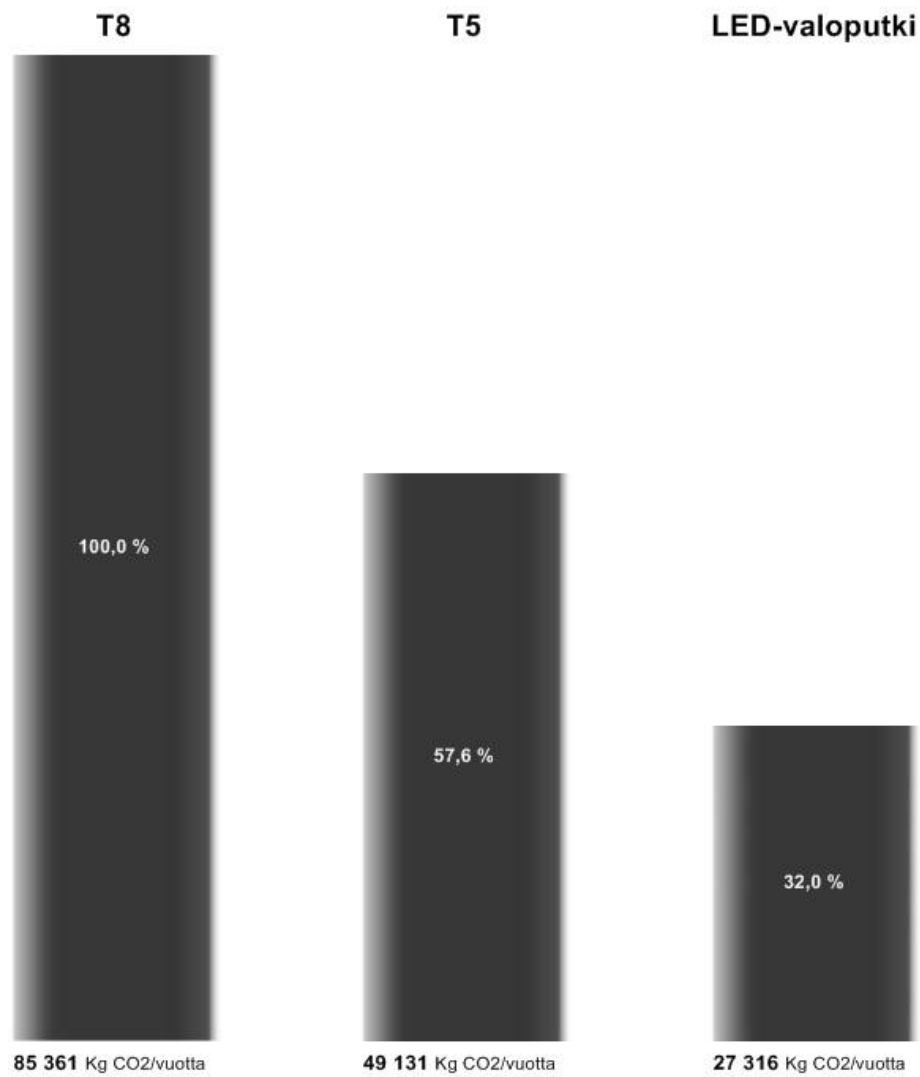
DIALux ohjelmalla 2x58 W T8-loisteputkivalaisimilla toteutettuun tilaan mallinnettiin 2x49 W T5-loisteputkivalaisimet, jotka tuottivat lähes saman valaistusvoimakkuustason pienemmällä valaisinmäärällä. T8-valaisimia oli 221 kappaletta ja samantasoiset valaistusvoimakkuudet saatiin 180 kappaleella T5-valaisimia. Yhden T5-valaisimen veroton vertailuhinta on 156 euroa (Ecom 2012). T8-loisteputkien veroton hinta laskelmassa oli 9,5 euroa paketilta(25) ja T5-loisteputkien hinta 6,95 euroa paketilta(20) (Lem-Kem Oy). LED-valoputkien kustannuksia loisteputkiin vertailtiin vaihtamalla ne suoraan T8-valaisimeen loisteputken tilalle. Niiden veroton vertailuhinta oli 89 euroa kappaleelta sisältäen valaisimeen sytyttimen tilalle vaihdettavan sulakkeen ja tehonkulutus on 24 W per valoputki. Valaistusvoimakkuuskäyrät DIALux -simuloinnista T8-valaisimilla on esitetty liitteessä 5 ja T5-valaisimilla liitteessä 6.



KUVIO 19. Elinkaarikustannusvertailu T8- ja T5-loisteputkivalaisimien sekä LED-valoputkien välillä

Vertailusta voidaan havaita, että T8-valaisimella toteutettu ratkaisu on aluksi halvin ratkaisu, koska sen hankintaan kuluu vain uusien loisteputkien hankintaan kuluva raha. T5-valaisimien ja loisteputkien hankinta maksaa aluksi vähemmän kuin LED-valoputkien hankinta. LED-valoputkien hankinta on kallista, mutta noin 12 000 polttotunnin jälkeen ne ovat säästäneet sähköenergian kulutuksessa itsensä takaisin, joka vastaa myymälätiloissa noin 2,5 vuotta kun polttotuntimäärä vuodessa on arvioitu 5000 tunniksi. LED-valoputkille luvattu polttoikä 50 000 tuntia on useasti yläkanttiin arvioitu, ja siksi 25 000 tuntia on realistisempi arvio.

Laskelman mukaan T5-valaisimiin vaihtaminen ei olisi taloudellisesti yhtä kannattavaa kuin LED-valoputkiin vaihtaminen. T5-valaisimien hyvänä puolena voidaan kuitenkin pitää niiden hyvää säädettävyyttä. LED-valoputkien vaihtaminen T8-loisteputkien tilalle, on järkevää polttotuntimäärän ollessa suuri. Polttotuntien jäädessä vähäisiksi, sähköenergiankulutuksessa ei synny riittävää säästöä, jolloin LED-valoputkien vaihto ei ole kannattavaa. LED-valoputkien etua lisää se, että loisteputkien vaihtovälit ovat tiheämpiä, joka puolestaan nostaa hieman niiden kustannuksia. Kuvioista 20 voidaan nähdä vertailussa olevien valaistusratkaisujen hiilidioksidipäästöjen erot.



KUVIO 20. Hiilidioksidipäästöjen vertailu.

T8-loisteputkiin verrattuna voidaan todeta, että hiilidioksidipäästöt jäävät jo T5-valaisimilla toteutetussa ratkaisussa lähes puolet pienemmiksi. LED-valoputkien vaihtaminen vähentää päästöt kolmasosaan pienemmän sähköenergian kulutuksen johdosta.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia LED-tekniikan käyttöä yleisesti ja erityisesti Pirkanmaan Osuuskaupan kohteissa. Työn valmistuessa selvisi, että tietoa LEDeistä ja niiden hyödyntämisestä verrattaessa muihin valonlähteisiin on saatavilla, mutta se on ristiriitaista.

Valaistuksen osuus energiankulutuksesta on liike- ja myymälätiloissa hyvin suuri. Säästölaskelmat osoittavat, että valaistuksen polttotuntimäärien ollessa suuret, LED-valoputkien hankinta on perusteltavissa energian sääton kannalta. LED-tekniikka säästää energiaa, mutta se ei välttämättä ole halpa ratkaisu, jos kaikkien valaisimien kohdalla joudutaan tekemään rakenteellisia muutoksia tai jopa ostamaan kokonaan uudet valaisimet. LEDien valo on erilaista, kuin loisteputkivalaisimien tuottama valo. Muutos saattaa aluksi tuntua huonolta ratkaisulta ja aiheuttaa huonovointisuutta. Tottumiseen kuluu ihmisestä riippuen aikaa, mutta työn aikana LED-valaistuksesta saatu palaute oli siitä huolimatta positiivista.

Työssä tehtyjen valaistusvoimakkuusmittausten perusteella voidaan sanoa, että LED-valoputkilla voidaan korvata loisteputkilla toteutettu valaistus, valaistusvoimakkuuden pysyessä lähes samalla tasolla. Omasta mielestäni työssä kiinnostavinta oli tutkia LED-valaistuksen etuja verrattuna muihin valonlähteisiin, koska ristiriitaista tietoa on olemassa paljon.

Uusien kohteiden valaistus tulisi suunnitella LED-tekniikan avulla energian säästämiseksi. LED-tekniikka on kuitenkin vielä kallista korkean hankintahinnan vuoksi. Vanhojen kohteiden valaistusta ei kannata uusia vain rahallisten säästöjen saavuttamisen vuoksi, koska lopputulos ei välttämättä ole miellyttävä. LED-tekniikan kehittyessä näemme ja opimme vielä paljon sen tuomista muutoksista. Se on jo saanut paljon positiivista palautetta ja lähitulevaisuus näyttää siltä, että LED-tekniikka valtaa aina vain enemmän ja enemmän tilaa valaistusmarkkinoilla.

## LÄHTEET

Anthonie, L. 2009. The Effect of Electrical Inputs During Beef Processing on Resultant Meat Quality. Stellenbosch University. Diplomi-työ.

Aalto-yliopisto 2011. Sähkötekniikan korkeakoulu, Valaistusyksikkö.  
<http://www.lightinglab.fi/ekovalo/News/lamppuopas.pdf>. Luettu 3.4.2012.

Easy Led Oy. LED-teknologia. Luettu 27.2.2012.  
[http://www.led1.fi/led\\_teknologia](http://www.led1.fi/led_teknologia) viitattu 27.2.

E. Fred Schubert. Light Emitting Diodes and Solid-State Lighting. Luettu 25.1.2012.  
<http://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/LED-slide-show.pdf>.

Ecom 2012. Taloushallinnon ohjelmisto.

Ensto Pro 2012. Talotekniikan koulutusmateriaali. Luettu 22.2.2012.  
<http://www.ensto.com/fi/enstopro>.

Halonen, L. Lehtovaara, J. 1992. Valaistustekniikka. Espoo.

Indoor Lighting Solutions. Luettelo 2012-2013. Fagerhult Oy.

Kuivalainen Lars, Myyntipäällikkö, Päivittäistavaraosasto, Prisma Kangasala 6.3.2012.

Lampputieto. Hehkulamppujen poistuminen. Luettu 29.2.2012.  
<http://www.lampputieto.fi/hehkulamppujen-poistuminen/>.

LEDs Magazine. LED R&D results: Osram demos 200 lm/W. Luettu 29.3.2012.  
<http://www.ledsmagazine.com/news/8/10/15>.

Lem-Kem Oy. Tukkuhinnasto 2/2012.

Osram 2012. Cool-Beam technology. Luettu 29.2.2012.  
[http://www.osram.com.au/osram\\_au/Professional\\_Products/General\\_Lighting/Halogen\\_lamps765494/Technologies/Cool-Beam\\_technology/index.html](http://www.osram.com.au/osram_au/Professional_Products/General_Lighting/Halogen_lamps765494/Technologies/Cool-Beam_technology/index.html).

Oy Airam Electric Ab. Energiansäästölamput. Luettu 28.2.2012.  
<http://www.airam.fi/energiansaastolamput.html>.

Pastila, R. 2009. Ionisoimaton säteily. Ultravioletti- ja lasersäteily. Helsinki: Säteilyturvakeskus.

Raportti Greenled-valaistuksesta. 2.11.2011. Pirkanmaan Osuuskauppa. S-market Kaleva.

Rihlana, S. 1997. Värioppi. Helsinki: Rakennustieto Oy.

SFS-EN 12464-1:2011. Sisävalaistusstandardi. 2011. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

S-kanava. S-market Kalevassa Tampereella siirrytty Greenled-valaistukseen. Luettu 14.3.2012.

[http://www.s-kanava.fi/web/pirkanmaa/tiedote?announcement=177210\\_10870](http://www.s-kanava.fi/web/pirkanmaa/tiedote?announcement=177210_10870).

Suomen Valoteknillinen Seura ry. 2/2011. Valo-lehti.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 3/2012. Sähköala, Koti. 53-54.

Säteilyturvakeskus 2012. Mitä on säteily. Luettu 14.1.2012

[http://www.stuk.fi/sateilytietoa/mitaonsateily/fi\\_FI/mitaonsateily/](http://www.stuk.fi/sateilytietoa/mitaonsateily/fi_FI/mitaonsateily/)

Sähkötieto ry. 2003. ST-kortti 58.04. Valaistus. Yleisohjeet.

Sähkötieto ry. 2005. ST-kortti 58.07. Valaistuksen laatu, arviointi ja mittaus.

Sähkötieto ry. 2009. ST-kortti 58.08. Valonlähteiden ominaisuudet.

Teknoware Oy. Turvavalaistus. Luettu 15.3.2012.

<http://www.teknoware.fi/fi>.

The IESNA Lighting Handbook, Ninth Edition. 2000. Illuminating Engineering Society of North America.

Valokas. 2012. Valojen syttymisnopeus ja valomäärä ajan suhteen. Luettu 29.3.2012.

[http://www.valokas.fi/www/index.php?option=com\\_content&view=category&id=63&Itemid=102](http://www.valokas.fi/www/index.php?option=com_content&view=category&id=63&Itemid=102).

Valonetti 2012. Loisteputket. Luettu 23.4.2012.

[http://www.valonetti.fi/product\\_catalog.php?c=4](http://www.valonetti.fi/product_catalog.php?c=4).

Valtavalo Oy. LED-valoputki. Luettu 27.2.2012.

<http://www.valtavalo.com/>.

Wikipedia. Sähkömagneettisen säteilyn spektri. Kuva. Viitattu 1.2.2012.

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/07/EM\\_spectrum\\_fi.svg/787px-EM\\_spectrum\\_fi.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/07/EM_spectrum_fi.svg/787px-EM_spectrum_fi.svg.png).

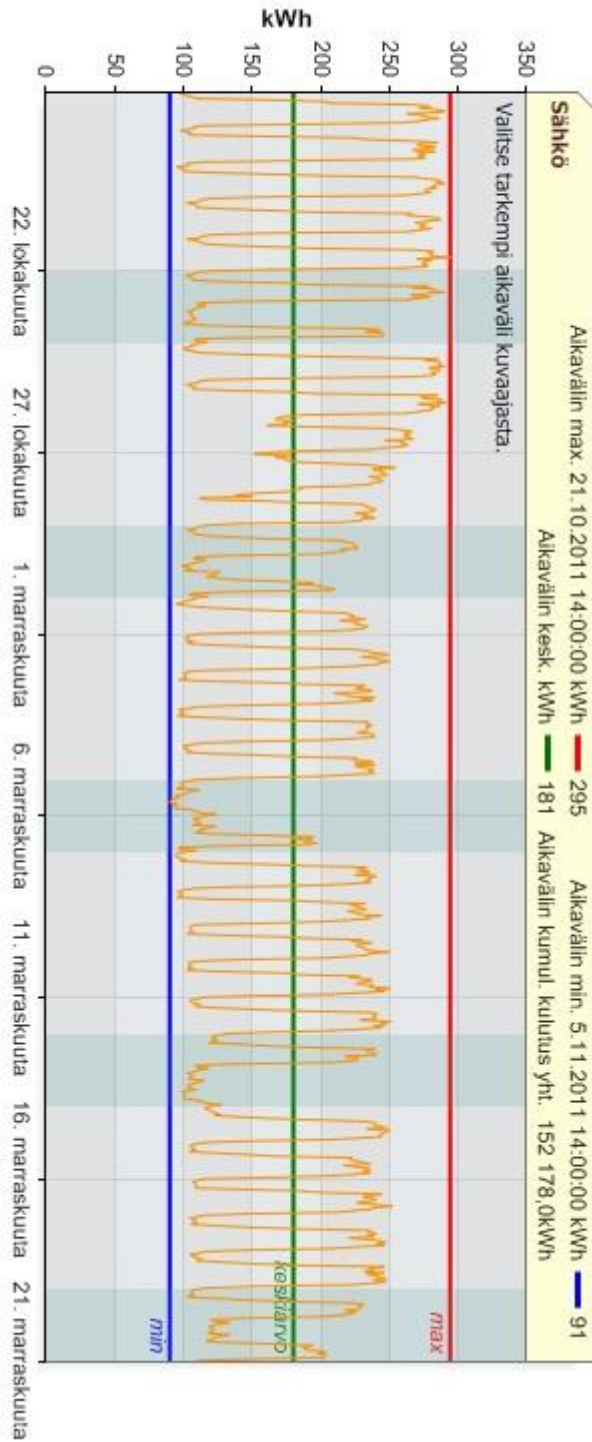




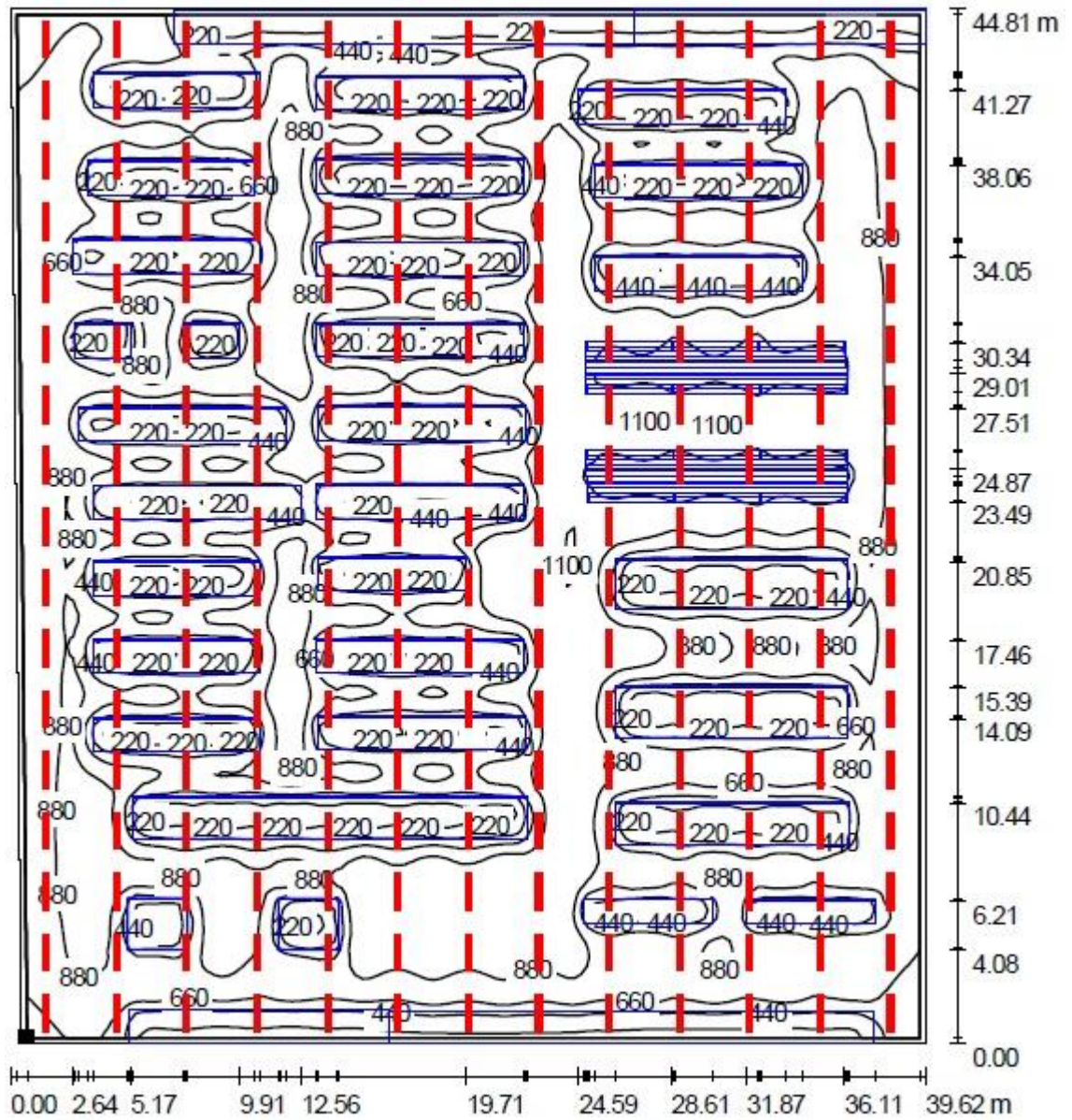


## Liite 4. S-market Kaleva tuntikulutus 17.10.2011 – 20.11.2011.

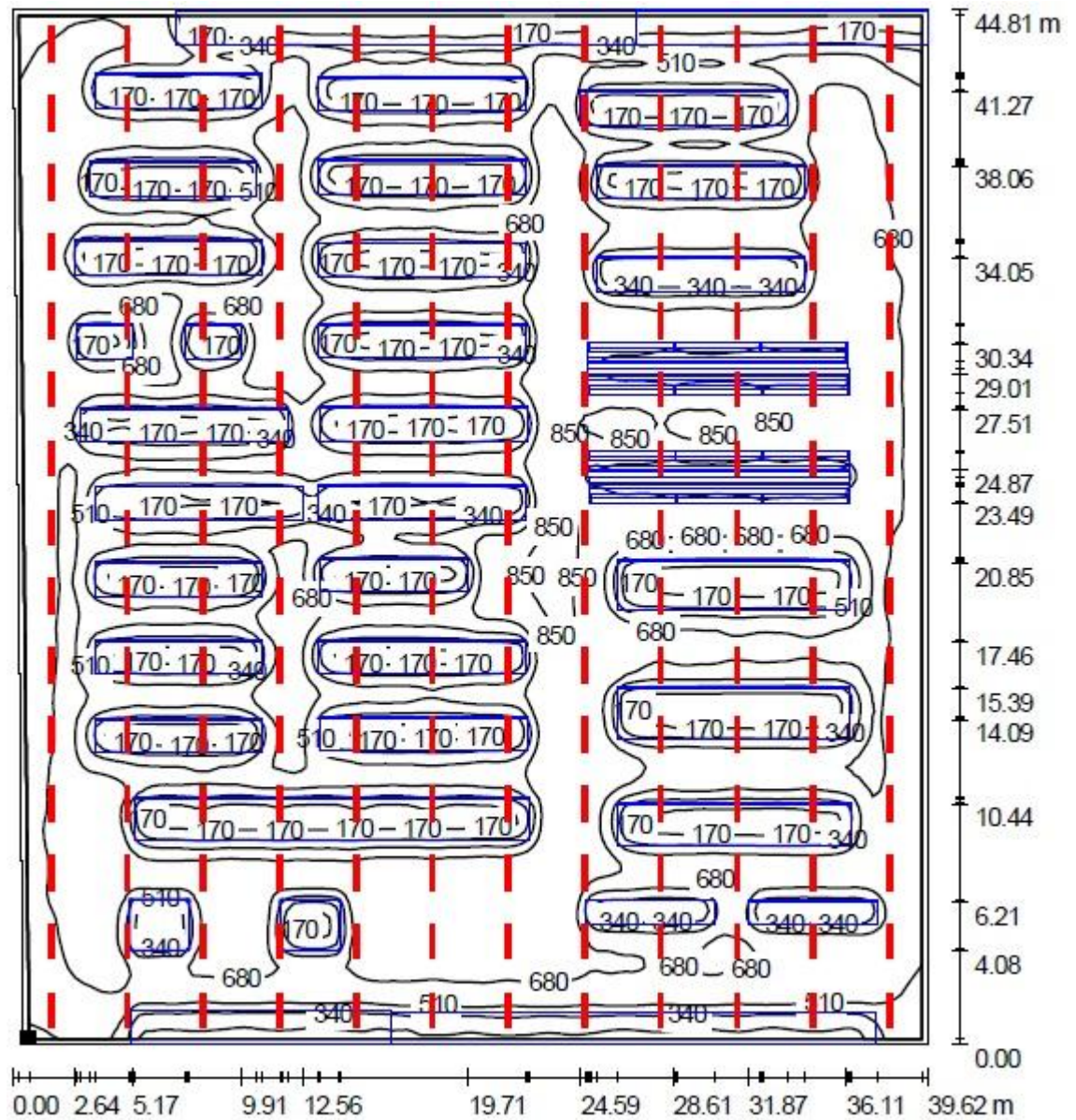
S-MARKET KALEVA (VUOKRALAISENA)  
 Sammonkatu 60  
 33540 Tampere  
 KOHTEEN TUNTIKULUTUS: 17.10.2011 - 20.11.2011



Liite 5. Valaistusvoimakkuudet T8-loisteputkivalaisimilla 75 cm korkeudella.



Liite 6. Valaistusvoimakkuudet T5-loisteputkivalaisimilla 75 cm korkeudella.



## Liite 7. Elinkaarikustannusvertailu Fagerhult LCC ohjelmalla.

## Valaistusratkaisujen kustannusvertailu

Yleiset tiedot	T8	T5	LED-valoputki
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailuratkai...	Nykyinen valais...		
Valaisintyyppien lukumäärä	1	1	1
Valaisintyyppi	221 - Indulux M...	180 - Inducon M...	221 - LED-valop...
Lampputyyppi	FDH (T26) 2x58W	FDH (T16) 2x49W	LED-valoputki 2...
Valaisimien lukumäärä	221	180	221
Valonlähteiden kokonaismäärä	442	360	442
<b>Investointikustannukset</b>			
Valaisinkustannukset yhteensä (ilman la...	0 EUR	28 080 EUR	0 EUR
Valonlähdekustannukset yhteensä	167,96 EUR	126 EUR	39 338 EUR
Asennuskustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR	0 EUR
Materiaali- ja työkustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR	0 EUR
<b>Investointi</b>	<b>168 EUR</b>	<b>28 206 EUR</b>	<b>39 338 EUR</b>
<b>Energiakustannukset</b>			
Valaistusratkaisun kokonaisteho	33,2 kW	19,1 kW	10,6 kW
Keskimääräinen käyttökerroin	100,0 %	100,0 %	100,0 %
Teho yhteensä	33,2 kW	19,1 kW	10,6 kW
Keskimääräinen toiminta-aika	5 000 h/vuotta	5 000 h/vuotta	5 000 h/vuotta
Energiankulutus vuodessa	165,8 MWh	95,4 MWh	53,0 MWh
Sähkön hinta	0,09 EUR/kWh		
Energiakustannukset vuodessa	14 918 EUR	8 586 EUR	4 774 EUR
<b>Energiakustannusten nykyarvo</b>	<b>598 106 EUR</b>	<b>344 249 EUR</b>	<b>191 394 EUR</b>
<b>Valonlähdekustannukset</b>			
Valonlähteen nimi	FDH (T26) 2x58W	FDH (T16) 2x49W	LED-valoputki 2...
Valonlähteiden kokonaismäärä	442	360	442
Valonlähteiden vaihtokustannukset yhte...	167,96 EUR	126 EUR	39 338 EUR
<b>Valonlähdekustannusten nykyarvo</b>	<b>1 094 EUR</b>	<b>507 EUR</b>	<b>32 334 EUR</b>
<b>Huoltokustannukset</b>			
Huoltokustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR	0 EUR
<b>Huoltokustannusten nykyarvo</b>	<b>0 EUR</b>	<b>0 EUR</b>	<b>0 EUR</b>
<b>Valaistusratkaisun nykya...</b>	<b>599 368 EUR</b>	<b>372 962 EUR</b>	<b>263 066 EUR</b>
<b>Kriittinen piste (nykyarvo...</b>	<b>- vuotta</b>	<b>4,0 vuotta</b>	<b>3,5 vuotta</b>
<b>Tuotto</b>	<b>0 EUR</b>	<b>226 406 EUR</b>	<b>336 302 EUR</b>