



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Jussi Kiuru

# Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL r.y.:n toimistotilojen valaistuksen muut- taminen LED-tekniikkaan

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

19.5.2020

Tekijä Otsikko	Jussi Kiuru Toimistotilojen valaistuksen muuttaminen LED-tekniikkaan
Sivumäärä Aika	30 sivua 19.5.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkötekniikan koulutusohjelma
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Insinöörityö käsittää Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL r.y.:n yhden toimistohuoneen valaistussuunnitelman. Työssä tutkittiin myös energian kulutusta koko SKAL:n hallinnoimissa tiloissa (n. 1800 neliömetriä). Samalla tutkittiin myös energian säästöä, mikäli nykyiset T8-loisteputket vaihdettaisiin uusiin LED-putkiin sekä täysin uuteen LED-valaisimeen. Samalla tässä työssä arvioitiin valaistuksen laatua, jotta se pysyisi vähintäänkin samana.</p> <p>Aluksi selvitettiin vanhojen T8-loisteputkien lukumäärä sekä laskettiin energian kulutus. Sen jälkeen valittiin kaksi nykyiseen valaisinrunkoon asennettavaa LED-putkea vaihtoehtoksi T8-loisteputkelle. Laskelmiin otettiin myös täysin uusi LED-valaisin.</p> <p>Toimistohuoneen vanhojen T8-loisteputkivalaisimilla saavutetut työtasojen valaistusvoimakkuudet mitattiin valaistusvoimakkuusmittarilla jonka jälkeen niitä verrattiin voimassa oleviin valaistusstandardeihin. Valaistusvoimakkuusmittausten jälkeen tutkittiin kuinka nopeasti valonlähde alkaisi tuottaa rahallista säästöä, mikäli kaikki valaisimet vaihdettaisiin LED-valaisimiksi tai uusiin LED-putkiin.</p> <p>Mikäli sitten haluttaisiin siirtyä LED-tekniikalla varustettuun valaistukseen, on tässä tapauksessa paras vaihtoehto vaihtaa nykyiset T8-loisteputket LED-putkiksi. Laskelmilla pystyttiin osoittamaan, että standardin vaatima 500 lx:n valaistusvoimakkuustaso jopa ylitetään mikäli valaisimet vaihdettaisiin 20W tai 27 W:n LED-putkiin.</p>	
Avainsanat	LED, LED-putki, toimiston valaistus

Author Title	Jussi Kiuru Changing office lighting to Led-technology
Number of Pages Date	30 pages 19 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Tapio Kallasjoki Senior Lecturer
<p>This thesis covers the lighting design of one officeroom of Suomen Kuljetus ja Logistiikka SKAL. This thesis project also examined energy consumption in the entire premises managed by SKAL (1800 square meters). Furthermore, energy savings were also studied: is this affected if the existing T8-fluorecenttubes were replaced with LED-tubes and brand new LED-luminaires. Also the quality of the lighting was evaluated to keep it at least the same. This work was requested by HSI property management.</p> <p>First the number of old T8-fluorecenttubes and power consumption were investigated. Then two LED-tubes mounted on the current luminaier body were selected as an alternative to the T8-fluorescentlamp. A brand new luminaire with LED-technology was also included.</p> <p>The illumination intensities achieved in the officeroom with old T8-flurescentlamps on worktops were measured with a LUX-meter and then compared to today's lighting standards. After the LUX measurements, it was investigated how quickly the light sources start save money if all the luminaires were replaced with LED-luminaires or new LED-tubes.</p> <p>If switching to lighting with LED- technology, the best option in this case is to replace the existing T8-flurecenttubes with LED-tubes. Calculations showed that the standard 500 lx illumination level required by the standard was exceeded by replacing the lamps with 20 or 27 W LED-tubes.</p>	
Keywords	LED, LED-tubes, office lighting

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Valo	3
3	Valaistussuureet	4
3.1	Valovoima	4
3.2	Valovirta	5
3.3	Valaistusvoimakkuus	5
3.4	Luminanssi	6
3.5	Värilämpötila ja värintoisto	6
4	Näkemisen anatomia ja fysiologia	8
4.1	Silmän rakenne ja toiminta	8
5	Valon lähteet	9
5.1	Loistelamppu	9
5.2	LED	14
6	Valaistuksen nykytilanne SKAL r.y.:n toimistotiloissa	17
6.1	Nykyinen valaistus	17
6.2	Valaistusvoimakkuden mittaaminen	18
6.3	Toimistohuoneen valaistusvoimakkuusmittausten tuloksia	19
7	Uudet LED-valonlähteet	20
7.1	Finlight Oy	20
7.2	Philips	21
7.3	Glamox Oy	22
8	Valaistuksen uusimisen investointi- ja käyttökustannuslaskelmat	24
8.1	Valonlähteiden investointi	24
	T8-loistepuket	24

LED Retrofit-loisteputket	24
Glamoxin valaisimet	25
8.2 Valaistuksen kulutus	26
8.3 Valaistuksen käyttökustannukset	26
8.4 Elinkaarikustannukset	27
9 Yhteenveto	27
Lähteet	29

## 1 Johdanto

Vuonna 2018 sähkön kulutus Suomessa oli 87 Twh, joka on 2 % edellisvuotta korkeampi. Huhtikuussa 2019 kuukausittainen sähkönkulutus oli 7163 GWh, mikä on 0,6 % korkeampi edellisvuoden huhtikuuhun verrattuna. Sähkönkulutuksen odotetaan nousevan vuosi vuodelta, varsinkin kun sähköautoilu tulee lisääntymään huomattavasti. [1.]

Toimistorakennuksiin asennetun valaistuksen kuluttama energia vuonna 2000 oli 890 GWh, joka vuoden 2018 kulutukseen suhteutettuna on n. 940 GWh. Keskimääräinen valaistuksen käyttöaika toimistotiloissa on n. 6,9 h/vrk. [2.]

SKAL r.y.:n toimistotilojen tämänhetkinen valaistus on toteutettu alkuperäisellä, vuoden 1988 T8-loisteputkilla. Tässä opinnäytetyössä kartoitetaan SKAL r.y.:n toimistotiloihin LED-valaistuksen tuomia mahdollisuuksia lähinnä energian kulutuksen osalta ja valaistusinvestoinnin kannattavuutta, mikäli kaikki vanhat T8-loisteputket vaihdettaisiin joko LED-putkiksi tai uusiin LED-valonlähteisiin. Opinnäytetyön ehdotus tuli Helsingin Seudun Isännöinti Oy:n isännöitsijöiltä, joilla on suuri määrä isännöintikohteita joissa käytetään vanhaa T8-loisteputkitekniikkaa yleisten- ja toimistotilojen valaistuksessa. Koska tähän työhön tulee tutustumaan myös ihmisiä, joilla ei ole valon ja valaistuksen edes perusasioita hallussa, olen lisännyt tähän työhön myös valon, valaistuksen ja näkemisen teoriaa. Työn teoriaosuudessa syvennytään valoon, valaistussuureisiin, sisävalaistuksen vaatimuksiin ja LED-valonlähteisiin. Työn investointilaskelmat toteutetaan hyödyntäen LCC-ohjelmaa, jonka avulla pystytään vertailemaan ja havainnollistamaan erilaisten valaistusvaihtoehtojen kustannuksia toisiinsa nähden. Investointilaskelmien pohjalta määritetään valaistusratkaisuiden takaisinmaksuaika ja tuotto määrättyllä aikavälillä.

LED-valaistus on kehittynyt viime vuosina suurin happauksin, ja kehitys tulee nähtävästi jatkumaan edelleen. Tulevaisuudessa yhä useammassa julkisen tai kaupallisen alan suurissa kiinteistöissä tullaan käyttämään LED-valaistusta hyödyksi kustannustehokkuuden parantuessa. Opinnäytetyön kohteena olevan toimistorakennuksen kaikki valaisimet ovat alkuperäisessä, vuoden 1988 kunnossa.



Kuva 1. Kiinteistö Oy Kuljetuskuutio Helsingin Haagassa.

Kiinteistö Oy Kuljetuskuutio (kuva 1) on vuonna 1988 valmistunut liikerakennus Haagassa osoitteessa Nuijamiestentie 7. Rakennus on 7-kerroksinen. Kuljetuskuution pääkäyttäjät ovat kuljetusalan keskusjärjestöjä mm Suomen Kuljetus ja Logistiikka SKAL r.y., Helsingin kuljetusyrittäjät HKY, elintarvikealan kuljetusyrittäjät EKY sekä alan muita pieniä yhdistyksiä. Kiinteistössä toimii myös Taksiliitto, Lähitaksitilausten vastaanotto-keskuksineen sekä autokoululiitto. Vuokralaisina toimii myös muita pienempiä yrityksiä, vuokrattavana oleva n. 100 henkilön auditorio sekä kiinteistön oma ruokala, jota isännöi catering yritys Ravintola kuutio Oy, jonka toiminnasta vastaa Tapaste Oy.

Tämän työn kohteena ovat kiinteistön tiloissa toimiva Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL r.y.:n toimistotilat. Yrityksellä on tilat koko neljännessä sekä osa kolmannen kerroksen tiloista. Yhteensä toimistotilaa on SKAL r.y.:llä n.1800 m<sup>2</sup>. Opinnäytetyö keskittyy pelkästään SKAL:n hallinomiin tiloihin pois lukien kiinteistön muut tilat.

## 2 Valo

Valo on sähkömagneettisen spektrin ihmissilmällä nähtävä osa. Näkyvä valo osoittautuu noin aallonpituuksille 350–700 nm (nanometriä) ja taajuuksille 380–750 THz (terahertsiä). Ihmissilmä näkee parhaiten keltaista tai kellanvihreää valoa aallonpituudella 555 nm. Valoa lyhytaaltoisempaa säteilyä kutsutaan ultraviolettiksi ja pitempiaaltoista infrapunasäteilyksi. Valoaaltojen kolme perusominaisuutta ovat kirkkaus (l. amplitudi), väri (l. aallonpituus) ja polarisaatio (l. värähtelykulma). Aaltohiukkasdualismin vuoksi valolla on sekä hiukkasten että aaltojen ominaisuudet ja valo etenee valokvantteina eli fotoneina. Näkyvän valon fotonin energia on n. 1,5–3,1 eV (elektrovolttia).[3.]

Eri aikoina tutkijat ovat tehneet erilaisia johtopäätöksiä valon luonteesta. Isaac Newton tutki optiikkaa 1600-luvulla ja esitti hiukkasteorian, jonka mukaan valo etenee hiukkasina. Hänen mukaansa valon hiukkasia oli useita eri laatuja, joista jokainen vastaa tiettyä väriä, ja että valkoinen valo sisältää kaikkia näitä hiukkasia. Valon hiukkasteoriaa kannatti vielä 1700-luvun lopulla myös ranskalainen kemisti Antonie Laurent Lavoisier, jonka laatimaan alkuaineiden luetteloon myös valo, samoin kuin lämpökin (kalorikki) sisältyivät oletettuina alkuaineina. Niitä ei kuitenkaan voitu punnita, minkä vuoksi ne tunnettiin nimellä imponderabilia.[3.]

Alankomaalainen fyysikko Christiaan Huygens sen sijaan väitti jo vuonna 1678 valon olevan aaltoliikettä, joka etenee aaltolina ja tarvitsee väliaineen edetäkseen. Newtonin ja Huygensin ajatukset olivat selvästi ristiriidassa, mutta yli sadan vuoden ajan kummallakin teorialla oli tukijoiden keskuudessa kannattajansa. Vasta Youngin kaksoisrakokoe vuonna 1801 osoitti vakuuttavasti valon käyttäytyvän aallon tavoin. Vähän myöhemmin Etienne Louis Malus (1775–1812) havaitsi ilmiöitä, jotka johtuivat valon polarisoituvuudesta. Augustin Jean Fresnel (1778–1827) päätteli tästä valon olevan poikittaista aaltoliikettä. Sitä vastoin esimerkiksi ääni on pitkittäistä aaltoliikettä. James Clerk Maxwell esitti 1860-luvulla, että valoallot ovat sähkömagneettista aaltoliikettä. Hän totesi että valon käyttäytymistä voidaan kuvata yhtälöillä, jotka sittemmin nimettiin hänen mukaansa. Nämä löydöt vahvistivat aaltoteorian voittokulkua. [3.]



### 3 Valaistussuureet

Valaistustekniikan tärkeimmät suureet ovat valovoima, valovirta, valaistusvoimakkuus, luminanssi ja värilämpötila.

#### 3.1 Valovoima

Valovoiman yksikkö on kandela (cd). Kandela ilmaisee, kuinka paljon valoa lähtee valonlähteestä määrättyyn suuntaan eli sen avulla käytännössä ilmaistaan valaisimien ja kohdelamppujen valonjako-ominaisuudet. Valovoima ilmoitetaan tavallisesti ns. valonjakokäyrän avulla. Siinä valaisimen (tai valonlähteen) valovoima on ilmoitettu yleensä polaarilla  $\theta$  napakoordinaatistossa yhdessä tai useammassa pysty akselin suuntaisessa tasossa.[5.]

Polkupyörän polttimon valovoima ilman heijastinta on suuruusluokkaa 1cd, heijastimella se on noin 250 cd kun taas 50 W/10° kylmäsädelampun valovoima on kohtisuoraan eteenpäin 12500 cd. Valaisimen valonjako ilmoitetaan tavallisesti normalisoituna muodossa cd/klm (kandelaa tuhatta lumenta kohti). Näin voidaan samaa valonjakokäyrää käyttää valovirraltaan erilaisille, mutta valokappaleeltaan samanmuotoisille valonlähteille (esim. eri tehosarjaa olevat loistelamput).[6.]

Asennusgeometrian, valovoiman ja valaistusvoimakkuuden välinen yhteys tunnetaan nimellä neliö- ja kosinilaki: valaistusvoimakkuus on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön ja suoraan verrannollinen valon tulokulman kosiniin. Sitä kuvaava kaava 1 on:

$$E = I \cdot \cos \theta / d^2 \quad 1$$

E on valaistusvoimakkuus, I on valaisimen valovoima tarkastelusuuntaan,  $\theta$  on valon tulokulma suhteessa pinnan normaaliin ja d on valaisimen etäisyys valaistavasta pisteestä.[6.]

### 3.2 Valovirta

Valovirtaa käytetään valonlähteiden valontuoton ilmaisemiseen. Lamppuvalmistajat ilmoittavat tuoteluetteloissaan lamppujensa valovirta-arvot ja niitä käytetään lähtötietona valaistuslaskennassa. Valovirran yksikkö on luumen (lm) ja sitä merkitään kreikkalaisella aakkosella  $\Phi$ . Yksikön edessä käytetään yleisesti etuliitettä k (kilo), joka tarkoittaa kerrointa 1000. Suuruusluokka sisävalaistuksessa käytettävillä lampputyypeillä on 400–12000 lm ja ulkovalaistuksessa 2–47 klm.[5.]

Useilla lampputyypeillä valovirta riippuu voimakkaasti ympäristön lämpötilasta. Valovirta voi riippua myös lampun polttoasennosta, kuten pienloistelampuilla. Nimellisvalovirta tarkoittaa valonlähteen valovirtaa mitattuna standardin mukaisessa 25°C:n lämpötilassa. Valonlähteiden valovirran ja tilan lattiapinta-alan avulla on mahdollista laskea tilan keskimääräinen valaistusvoimakkuus. Tämän hyötysuhdemenetelmä kaava 2 on:

$$E_k = \frac{\eta \cdot (N \cdot \Phi)}{A} \quad 2$$

$E_k$  on huoneen keskimääräinen valaistusvoimakkuus,  $\eta$  on valaistushyötysuhde,  $N$  on valaisimien lukumäärä,  $\Phi$  on yhden valaisimen valovirta (lm) ja  $A$  on huoneen pinta-ala. Kaavasta voidaan myös johtaa valaisinasennuksissa tarvittaven valaisinten määrä, kun tiedetään haluttu valaistusvoimakkuus.[5.]

### 3.3 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus ( $E$ ) kuvaa valaistusjärjestelmän suorituskykyä eli kuinka paljon valoa saadaan tilaan määrätyle pinnalle. Valaistusvoimakkuus ei ole nähtävissä oleva suure, vaan vasta valon heijastuminen pinnoilta tekee valon näkyväksi.[6.]

Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luksi (lx). Sisävalaistuksessa käytettävät valaistusvoimakkuudet vaihtelevat yleisimmin välillä 100–1000 lx. Valaistusvoimakkuus riippuu suoraan pinnalle tulevasta valovirrasta ja kääntäen valaistavan pinnan alasta. Tästä riippuvuudesta seuraa käänteinen neliölaki, jonka mukaan etäisyyden kaksinkertaistaminen

pudottaa valaistusvoimakkuuden neljäsosaan. Jos valaistavaa kohdetta käännetään tai kohteen etäisyyttä valonlähteestä muutetaan, kohteen valaistusvoimakkuus muuttuu.[6.]

### 3.4 Luminanssi

Luminanssi (L) ilmaisee kohdekappaleen pinnan valotiheyden eli pintakirkkauden. Näin ollen luminanssi on valaistustekniikan ainoa suoranaisesti nähtävissä oleva suure. Mitä suurempi pinnan (esim. lampun, valaisimen, työkohteen) luminanssi on, sitä kirkkaammalta pinta näyttää. Luminanssia käytetään näköympäristön ominaisuuksien ja näyttöpäätetyötilojen valaisimien valoaukon kirkkauden määrittämiseen.[5.]

Luminanssin yksikkö on kandela neliömetrille ( $\text{cd/m}^2$ ). Yöllä valaistun kadun pinnan luminanssi on suuruusluokkaa  $2 \text{ cd/m}^2$ , taivaankannen luminanssi  $8000 \text{ cd/m}^2$  ja 36 W:n loistelampun pinta noin  $10000 \text{ cd/m}^2$ . [5.]

Pinnan luminanssi riippuu pinnan valovoimasta ja sen projektio pinta-alasta tarkastelu-suuntaan. Hajaheijastavien (matta) pintojen luminanssi syntyy pinnalta vallitsevan valaistusvoimakkuuden ja pinnan heijastussuhteen (väriyksen) yhteisvaikutuksena. Jos hajaheijastavan pinnan valaistusvoimakkuus on E ja pinnan heijastumissuhde  $\rho$ , saadaan luminanssi L laskettua kaavalla 3.[5.]

$$L = \frac{\rho * E}{\pi}$$

3

### 3.5 Värilämpötila ja värintoisto

Värilämpötila on valonlähteen värivaikutelma. Värilämpötila ilmoitetaan kelvin asteikolla (K). Värilämpötila määritellään niin, että luku 273 lisätään siihen lukuun celsiusasteita, joka vaaditaan niin sanotun mustan kappaleen lämmittämiseksi kohteesta tulevan valon väriksi. Mustaa kappaletta käytetään standardina koska se ei heijasta valoa joka siihen osuu, vaan välittää ainoastaan säteilyä lämmitessään. Kelvinasteikko alkaa 0:sta kelvinistä, mikä vastaa -273 celsiusasteikolla. Kelvinasteikko ilmaisee siis valon väriä.

Arkikielessä valoa kuvataan yleensä lämpimäksi tai viileäksi, mutta tarkempaa arvoa tarvittaessa käytetään ohjeellisia arvoja. Lämmin < 3300 K, neutraali 3300–5300 K, kylmä > 5300 K. Päivänvalona pidetään 6500 Kelvintä.[5.]



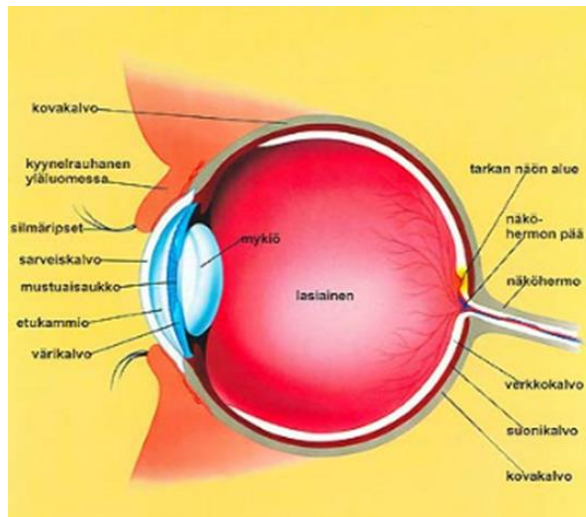
Kuva 2. Värilämpötilat [4.]

Värilämpötilan muutokset nähdään kuvassa 4. Musta kappale on musta huoneenlämmössä 300 K ja muuttuu siitä punaiseksi n. 1000 K lämpötilassa. 5000 K lämpötilassa kappale näyttää valkoiselta ja n. 10000 K lämpötilassa se on sininen.[4.]

Värintoistoindeksillä (lyhenne CRI, englanniksi colour rendering index) eli Ra-indeksillä mitataan valonlähteen kykyä toistaa värejä verrattuna vertailuvalonlähteeseen. Alle 5000 K:n värilämpötilan valonlähteiden vertailuvalonlähteenä käytetään Planckin säteilijää, jota vastaa lähes täydellisesti hehkulamppu. Yli 5000 K värilämpötilan valonlähteillä käytetään standardoitua luonnonvalon kaltaista valonlähdetä. Värintoistoindeksi ilmoitetaan lukuna asteikolla nollasta sataan, missä 0 tarkoittaa täysin monokromaattista valoa, jossa värit eivät toistu lainkaan ja värintoistoindeksi 100, että valonlähde toistaa testissä käytettävät kahdeksan pintaväriä kuten vertailuvalonlähde. Se ei kuitenkaan kerro täydellistä valontoistoa, koska testivärejä on vain kahdeksan. Värintoistoindeksi kertoo siis, kuinka hyvin valo toistaa värit ja valon värin ilmoittaa värilämpötila. [7.]

## 4 Näkemisen anatomia ja fysiologia

### 4.1 Silmän rakenne ja toiminta



Kuva 3. Silmän rakenne [8]

Silmä (kuva 3) on halkaisijaltaan n. 25 mm ja hieman epäsäännöllisen muotoinen elin, joka sijaitsee silmäkuopassa.[8.]

Silmän uloin kerros muodostuu väriltään valkoisesta kovakalvosat, joka muuttuu läpinäkyväksi sarveiskalvoksi silmän etuosassa. Juuri sarveiskalvo päästää valon läpi ja taittaa sitä.[9.]

Iiris, joka on silmän etuosassa oleva värikalvo, säätelee silmään tulevan valon määrää. Iiriksen keskellä oleva mustuaisaukon eli pupillin koko vaihtelee. Pupillia ympäröivä renkašliha supistuu valonmäärän lisääntyessä, kun taas iiriksen säteittäiset lihakset laajentavat pupillin kokoa valonmäärän vähentyessä.[9.]

Silmän mykiö eli linssi on iiriksen takana ja on lähes täysin läpinäkyvä. Se on kaksoiskupera elin, jonka takapinta on kuperampi kuin etupinta. Sen tehtävä on taittaa silmään tulevat valonsäteet ja säätää taittovoima niin, että verkkokalvolle tuleva kuva pysyy terävänä katseluetäisyydestä riippumatta.[9.]

Lasiaineste on hyytelömainen massa, joka täyttää silmän takaosan ja muodostaa suurimman osan silmän sisällöstä.[10.]

Silmän sisimmässä kerroksessa on valolle herkkä verkkokalvo, jossa on monia erilaisia solutyyppejä. Niistä näkemisen kannalta tärkeimmät ovat sauva- ja tappisolut.[10.]

Verkkokalvolla on n. 120 miljoonaa sauvasolua ja 7 miljoonaa tappisolua. Solutyypit ovat erikoistuneet valon havaitsemiseen. Solut sisältävät valoa absorboivaa näköpigmenttiä ja niiden toiminnallinen ero perustuu niiden sisältämien näköpigmenttien erilaiseen rakenteeseen. Tappisoluja, joita löytyy eniten tarkan näön alueelta eli foveasta, on kolmea eri lajia ja ne jakautuvat lyhytaaltoiselle, keskipitkälle ja pitkäaaltoiselle valon aallonpituudelle. Nämä herkkyysalueet osuvat juuri punaisen (R), vihreän (G) ja sinisen (B) värin aallonpituudelle. Tämän takia ihmissilmä havaitsee parhaiten juuri nuo kolme väriä, mistä johtuen valon pääväreiksi on valittu juuri punainen, vihreä ja sininen. [11.]

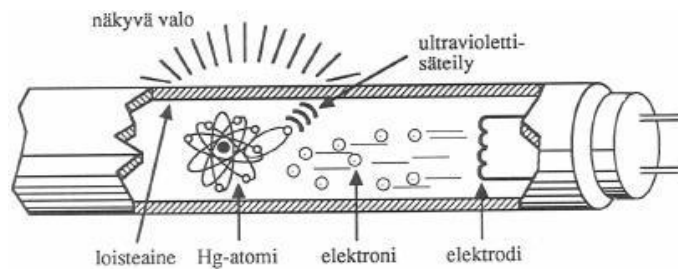
## 5 Valon lähteet

### 5.1 Loistelamppu

Loistelampun kehitti alun perin ranskalainen fyysikko Alexander E. Bequerell vuonna 1857. Kaikki sai alkunsa kun hän tutki fluoresenssi ja fosforenssi ilmiöitä. Testauksessa elektroninen purkausputki päällystettiin loisteaineella, joka saatiin emittoimaan valoa elohopeahöyryn reagoidessa putken sisällä matalassa paineessa. Loisteputket muistuttivat jo tuolloin hyvin paljon nykyistä loisteputkea.[12.]

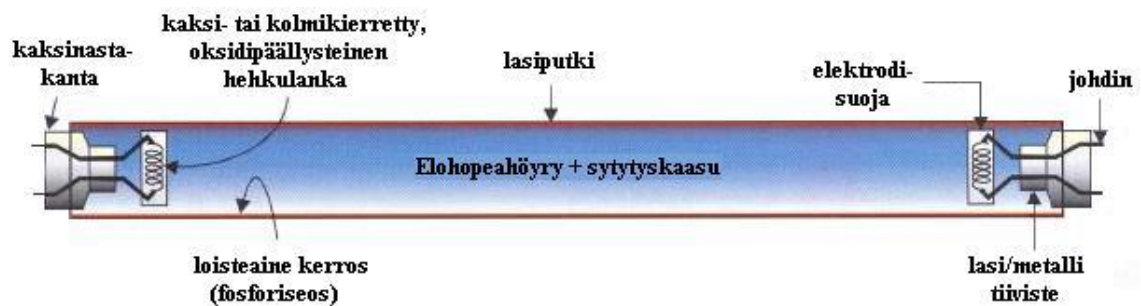
Loisteputken täytösjalokaasuna käytetään mm. argonia, kryptonaa, neonaa tai edellisten seosta. Täytekaasun paine on alhaisempi kuin esim. elohopeapurkauslamppuun nähden eli n. 200–600 Pa (pascalia). Sen tarkoituksena on helpottaa syttymistä ja johtaa tasaisesti sähkömagneettista purkausta pitkän purkausputken mitalla. Purkausreaktion käynnistäminen suoritetaan sytyttimellä, jota kontrolloidaan magneettisella tai elektronisella kuristimella. Purkausputken molemmissa päissä olevat elektronit ovat kytketty vaihtojännitteeseen ja ne vaihtavat tilojaan vuoroin anodiksi ja vuoroin katodiksi. Kun elektrodien

lämpötila nousee n. 1100 asteeseen, ne alkavat emittoida elektroneja siirrellen virtaa anodin ja katodin välillä. Kuvassa 4 on esitetty loistelampun toimintaperiaate.[13.]



Kuva 4. Loistelampun toimintaperiaate [7.]

Kun purkaus käynnistyy, laskee elohopeahöyryn paine n. 1–1,3 pascaliin, putken saavuttaessa toimintalämpötilansa. Purkauksen voimasta liikkuvat elektronit törmäävät elohopea-atomeihin ja virittävät niitä. Elohopeaionien purkaessa viritystä takaisin perustilalle se säteilee resonanssitaajuudellaan, jonka aallonpituus on 256 nm. Tätä säteilyä ei ihmissilmä pysty havaitsemaan, koska aallonpituus on ultraviolettialueella. Purkauksessa syntyy myös muita aallonpituuksia, joista silmä voi kuitenkin havaita vain noin 10 %. Varsinainen näkyvän valon tuotto tapahtuu resonanssitaajuuden avulla, kun UV-alueen resonanssisäteily virittää purkausputken seinämissä olevan fosfori loisteainekerroksen atomeja. Kuvassa 5 on esitetty loistelampun rakenne.[13.]



Kuva 5. Loistelampun rakenne [13.]

Loistelampulla voidaan muuttaa n. 20 % syötettävästä sähköenergiasta näkyvän valon aallonpituuksiksi. Tämä tarkoittaa suurta lämpöhäviön osuutta, jossa syntyy myös paljon IR-säteilyä. Teoreettinen valotehokkuus loistelampuille on välillä 25–80 lm/W, mutta T-5 loistelampulla voidaan saavuttaa yli 100 lm/W arvoja. Valotehokkuus riippuu

purkausputken pituudesta, fosforien laadusta ja jännitteen syöttötaajuudesta. Loistelamppujen laajan valikoiman vuoksi käyttöikä on välillä 6000–20000 tuntia. T-5 loistelampun LLMF (valovirran alenema) 0,9 saavutetaan n. 20 000 tunnin käyttöiässä. Purkausputken täytöskaasun paine vaikuttaa olennaisesti lampun käyttöikään. Valovirran alenemaa loistelampuille aiheuttaa täytöskaasun alhainen paine. Tilanne on ongelmallinen, sillä täytöskaasun paineen nostaminen estää lampun päiden tummumista ja parantaa valovirran pysyvyyttä, mutta laskee lampun ominaisvalovirtaa ja heikentää purkauksen syttymistä.[13.]

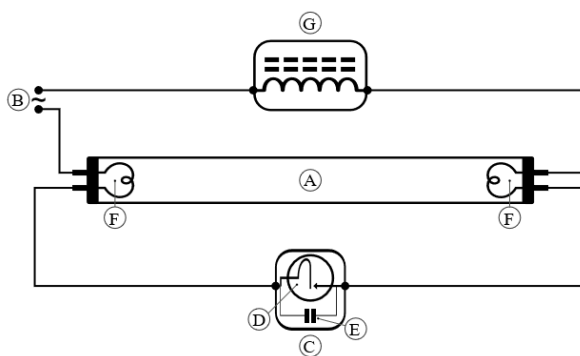
Loistelamppujen väriominaisuudet riippuvat käytetyistä loisteaineista, joten ne ovat vapaasti säädettävissä käyttötarkoituksen mukaan. Yleiseen valaistukseen käytettävien valkeiden loistelamppujen väriominaisuudet eroavat huomattavasti toisistaan riippuen siitä, onko niitä suunniteltaessa pyritty suureen valotehokkuuteen vai hyvään värintoistoon. Myös se vaikuttaa, onko tavoitteena ollut lämmin- vai kylmäsävyinen valo. Lämminsävyisten eli matalan värilämpötilan omaavien lamppujen valo sisältää suhteellisen runsasta keltaista tai punaista säteilyä, kylmäsävyisten lamppujen säteily enemmän sinistä. Loisteaineen lähettämän säteilyn lisäksi jokaisen lampun spektrissä esiintyvät elohopeaviivat, jotka johtuvat elohopea-atomien emittoimasta näkyvästä säteilystä. Tämä säteily kulkee loisteaineen läpi vain osittain absorboituen. Koska höyry on pienpaineista, viivat ovat hyvin ohuita, ja niinpä ne esitetäänkin spektrikuissa usein pylväinä. Loistelamppujen jaottelu esimerkiksi valotehokkuuden, värisävyyn tai värintoisto-ominaisuuksien perusteella on hankalaa, sillä eri valmistajien lamput poikkeavat toisistaan. Lisäksi valmistajat käyttävät mielellään omia nimityksiään tietyntyyppisille lampuille. Spektrikoostumuksen perusteella lamput voidaan jakaa jatkuvaskpektriin sekä kolmi- ja monikomponenttilamppuihin.[13.]

Lamppujen valotehokkuus on yleensä yhteydessä värintoisto-ominaisuuksiin. Kolmi-komponenttilamppujen värintoisto on aika hyvä spektrin epäjatkuvuudesta huolimatta, suurimmat puutteet esiintyvät tällöin punaisen värin alueella. Monikomponenttilamppujen valotehokkuus on lähes kolmikomponenttilamppujen luokkaa ja värintoisto-ominaisuudetkin ovat hyvät. Loistelamppujen kylmäsävyisimmät (korkea värilämpötila) lajit lähettävät päivänvaloa muistuttavaa valoa. [7.]



Loistelamppujen tyypilliset värielämpötilat vaihtelevat välillä 2 700 K – 8 800 K. Suomessa käytetään tavallisesti 3 000 K tai 4 000 K loistelamppuja. Yli 5 000 K:n valonlähteitä kutsutaan kylmä- eli päivänvalolampuiksi. Hehkulampun sävyisiä loistelamppuja kutsutaan pehmeä- tai lämminsävyisiksi valonlähteiksi. Jotta valaistus koettaisiin miellyttävänä, tulee valonlähteen värielämpötila (K) ja valaistusvoimakkuus lukseina (lx) sovittaa yhteen. Tavallisesti käytetyissä valaistuksissa, alle 300 lx, lämpimät sävyt koetaan luonteviksi. Käytettäessä suuria valaistusvoimakkuuksia, yli 1 000 lx, kylmät sävyt ovat luontevia. Elektronisilla liitälaitteilla voidaan syöttää sytyttimelle ja purkausputkelle omat jännitteet. Tämä on pidentänyt loisteputkien käyttöikää ja valon laatua merkittävästi. Myös valotehoa on saatu lisää.[14.]

Koska loistelamppu on vakiojännitteinen valonlähde, se tarvitsee virranrajoittimen eli kuristimen. Kuristimia on kahdenlaisia, vanha magneettikuristin ja uudemmissa loistevalaisimissa käytettävä elektroninen kuristin. Niiden tehtävä on rajoittaa purkauksen ottamaa virtaa ja ohjata sen toimintaa. T-8 ja T-5 malleja voidaan himmentää ainoastaan elektronisilla liitälaitteilla. Kuvassa 6 on esitetty loistelampun kytkentä sähköverkkoon, jossa A on loisteputki, B on virtalähde, C on sytytin, D bimetallinen termostaatti, E kondensaattori, F elektrodit ja G kuristin.[15.]



Kuva 6. Loistelampun kytkentä [15.]

Magneettisilla kuristimilla varustettuja vanhempia loistevalaisimia korvataan elektronisin liitälaittein. Niiden etuna on n. 15 % parempi energiatehokkuus, putken käyttöiän piteneminen ja 10 %:n hyötysuhteen nousu. Elektronisilla liitälaitteilla voidaan poistaa

myös työskentelyä heikentävää hättävälkyntää, jota ihminen ei kykene erottamaan, mutta aivot rekisteröivät sen tiedostamatta. Toimintataajuuden noustessa 40 kHz:n lamppu palaa tasaisesti välkkymättä. Lisäksi lämpö- ja tehohäviöiden osuus laskee eikä sytytintä tarvitse lampun vaihdon yhteydessä erikseen uusia, koska se on integroitu liitäntälaitteeseen. Magneettisilla kuristimilla varustetut loistelamput menettävät käyttöikänsä Päälle/Pois-kytkentöjen myötä. Sytytysvirtapiikki kuluttaa elektrodia, joka myös höyrystyy vähitellen. Lämminkäynnistyksellä varustettu liitäntälaitte esilämmittää katodit ennen sytytystä, joten hehkulankaa kuormitetaan vähemmän.[13.]

Loistelamput ovat tunnetuimpia yleisvalaisimia niiden monikäyttöisyyden vuoksi. Esimerkiksi toimistot, opetustilat, suuret hallit, myymälät ja pitkät käytävät voidaan valaista toimivasti loistevaloilla. Loistelamppujen valikoima on hyvin laaja. Niiden toimintaperiaate säilyy silti samana, vaikka täytöskaasu, sytytyskaasu ja loisteaineiden ominaisuudet vaihtelevat. Loistelamput voidaan jakaa kahteen ryhmään, yksi ja kaksikantaisiin. Kaksikantaisista loistelampuista käytetyimpinä ovat jo käytöstä poistuva T12 sekä T8, ja niitä korvaamaan suunniteltu hyötysuhteeltaan, energiankulutukseltaan ja valoteholtaan kehittyneempi malli T5. Taulukossa 1 on esitetty loistelamppujen hyviä ja huonoja puolia valonlähteenä.[13.]

Taulukko 1. Loistelampun ominaisuudet [13.]

VAHVUUDET	HEIKKOUEDET
<ul style="list-style-type: none"> <li>• hyvä ohjattavuus</li> <li>• säätyy portaattomasti (mm. T5)</li> <li>• saatavana elohopea vapaina</li> <li>• hyvä valovirran pysyvyys</li> <li>• korkea valotehokkuus</li> <li>• ei akustisia resonansseja</li> <li>• laaja värilämpötila valikoima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ympärisäteilijä, putken takaa valo joudutaan heijastamaan</li> <li>• vanhat lamput energiasyöppöjä</li> <li>• hyötysuhde</li> <li>• vanhemmat lamput sisältävät elohopeaa</li> <li>• suuri koko</li> <li>• ulkonäkö</li> </ul>

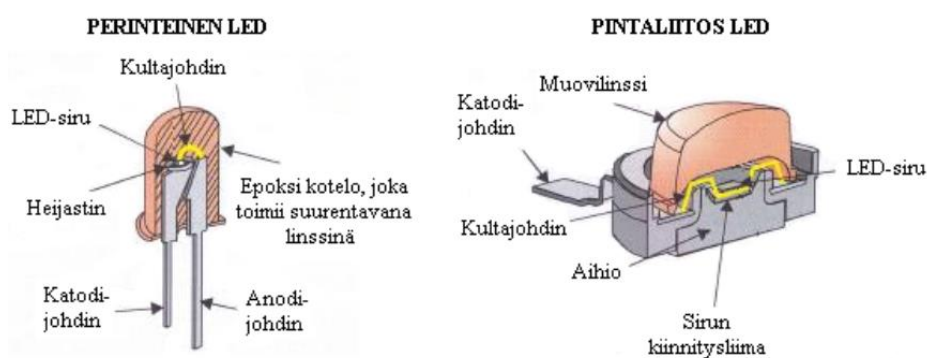
## 5.2 LED

Light Emitting Diode, eli valoa emittoiva diodi joka kansankielellä tunnetaan ledinä, on puolijohdekomponentti, jolla sähköenergia voidaan muuttaa sähkömagneettiseksi säteilyksi elektrolumi-nanssin avulla. Diodin kyvystä tuottaa näkyvää valoa tehtiin ensimmäiset havainnot jo 1900-luvun alkupuolella, mutta puolijohdekomponenttien tavoitteellinen kehitys aloitettiin vasta 1960-luvulla. Alun perin ledit kehitettiin toimimaan lähinnä merkivaloina erilaisissa merkinantojärjestelmissä. LED-komponenttien heikko valotehokkuus oli pitkään ongelma niiden käytölle yleisvalaistuksessa. Viime vuosien aikana uuden sukupolven LEDeillä on saatu tuotettua vaadittavat valo-ominaisuudet myös yleisvalonlähteinä ja LED-valaistusratkaisut ovat alkaneet korvata vanhaa lammputkiantaa. LEDit ovat kilpailukykyisiä pienen kokonsa ja pitkän käyttöiän ansiosta.[16]

LED-sirun toimintaperiaate poikkeaa täysin muista valonlähteistä. LED eli hohtodiodi on elektroniikan puolijohdekomponentti, joka toimii, kun siihen johdetaan tasajännitettä. Se päästää sähkövirran kulkemaan vain yhteen suuntaan, jota kutsutaan päästösuunnaksi. LED-ydin koostuu kahdesta puolijohdemateriaalista, joiden elektronitasapaino poikkeaa toisistaan. Toinen puolijohteista on positiivisesti varautunut P-tyypin materiaalseos, jonka atomien radoilla on elektronivajausta eli aukkoja. Toinen puolijohteista on negatiivisesti varautunut N-tyypin materiaalseos, jonka atomeissa liikkuu vapaasti ylimääräisiä elektroneja. Puolijohteita erottaa niiden välissä oleva rajapinta. Kun P-N-puolijohteeseen ei johdeta sähkövirtaa, elektronit pysyvät lepotilassa ja rajakerros on tyhjä. Riittävän suuren päästösuuntaisen tasajännitteen kytkeytyessä, sähkökenttä työntää virrankuljettajat (elektronit ja positiiviset aukot) liikkeelle. Ne siirtyvät rajapinnan yli, jolloin sähkövirta kulkee diodin läpi. Elektronit yhtyvät vastaan tuleviin atomeihin, joiden radoilla on elektronivajausta. Tätä ilmiötä kutustaan suoraksi emissiorekombinaatioksi, jossa korkeamman energiatasolla oleva elektroni putoaa johtavuusvyöstä atomin valenssivyön tyhjälle sidostilalle eli aukolle vapauttaen valokvantin. Osa näistä rekombinaatioista on epäsuoria, jolloin syntyvä energia aiheuttaa värähtelyä ja muuttuu lämmöksi.[16.]

LED tuottaa valoa silloin, kun siihen kytketty päästösuuntainen jännite ylittää kynnsjännitteen arvon. Kynnsjännite on riippuvainen valon väristä, joka toteutetaan erilaisilla puolijohde yhdistelmillä. LEDin päästösuuntaisen syöttöjännitteen on oltava suurempi tai

yhtä suuri, kuin rajapinnassa säteilevien fotonin luovuttama energia. Esimerkiksi sinisen LEDin fotonin säteilee 450–500 nm aallonpituudella, säteilyenergian ollessa noin 2,6 elektronivoltia, joka määrää kynnysjännitteen arvoksi 2,6 voltia. Syöttöjännitteen noustessa LED tuottaa yhä enemmän valoa, mutta myös lämpöä. Virranrajoitinta tarvitaan estämään syöttöjännitteen nousun yli rajan, jossa komponentti rikkoutuu. Näkyvän valon fotoneilla, säteilyenergia on 1,75–3,1 elektronivoltin välissä. Rakenteeltaan LED-valaisin koostuu kytkentäpinneistä, puolijohdesirusta ja kotelosta, johon komponentit on valettu. Rakenteita on paljon erilaisia riippuen sovelluksesta ja LED-sirulta vaadituista ominaisuuksista. Koska elektroluminanssissa syntyy lämpöä, on uusissa pintaliitos LED-valaisimissa ytimen yhteyteen liitetty jäähdytyslementti, joka estää sirua lämpenemästä valontuotolle ja komponenteille haitalliselle tasolle. Valon säteilyn suuntaan voidaan vaikuttaa valaisinrungon heijastimilla sekä rajata avautumiskulmaa erilaisilla kuvuilla. Lisäksi valon häikäisyä voidaan vähentää lisäämällä valaisimeen optinen kalvo esimerkiksi opaaliakryyli, joka toimii diffuusorina säteilylle. Valon jakaumaan sirun ympärille vaikutetaan linssimateriaaleilla, joka yleensä toteutetaan muovilla tai silikonilla. Kuvassa 7 on tarkemmin LEDin rakenteesta.[16.]



Kuva 7. LEDin rakenne [13.]

Ledit pystyvät tuottamaan pienellä energiankulutuksella paljon valoa. Niiden valotehokkuus kasvaa nopeasti uusien innovaatioiden syntyessä ja laboratorio-olosuhteissa voidaan saavuttaa jo lähes 300 lm/W valkoisella teho LED sirulla. Todellisuudessa näitä tehoja LEDille ei pystytä vielä tuotteistamaan, mutta lähitulevaisuudessa se on mahdollista, sillä valotehokkuuden vuotuinen kasvu on n. 10 %. Koska ne eivät ole ympärisäteileviä kuten muut valonlähteet, tuotettu valo saadaan hyödynnettyä tehokkaammin ilman

heijastumista, joka laskee valonlähteen hyötysuhdetta. LEDeillä tuotettu valo on suunnattu sirusta normaalisti 120 asteen avautumiskulmaan. LED-sirun tuottamaa valoa voidaan suunnata kuvuilla ja erilaisilla optiikoilla, mutta pääasiassa valoa tuotetaan valonlähteen etupuolelle, josta se on helppo saada hyödynnettyä ilman häviöitä. Teoreettinen valotehokkuus LED-sirulle on 75–500 lm/W, mutta ongelmana on saada kaikki säteily ulos valonlähteestä. Suurin osa säteilystä on sirun sisällä heijastuvaa valoa, joka on lopulta absorboitunut LED-ytimeen ennen pääsyään ulos sirusta. Tämä johtuu rekombinaatioissa syntyvien fotonien säteilystä satunnaisiin suuntiin rajapinnasta. Mikäli tulevaisuudessa keksitään keino suunnata fotonit haluttuun suuntaan rajapinnasta, nousevat valotehokkuudet merkittävästi.[13.]

LEDien värilämpötilaan voidaan vaikuttaa erilaisilla puolijohdemateriaaleilla ja niiden yhdistelmillä sekä erilaisilla loisteainepäälysteillä ja värillisillä linseillä. Valkoinen LED voidaan toteuttaa päälyustämällä sininen LED siru keltaisella fosforilla, jonka loisteaine emittoi valkoisena valona. Värien tuottamiseen käytetään RGB-LEDejä (RED, GREEN, BLUE), joiden kirkkautta muuttamalla voidaan saada aikaan kaikki näkyvän valon sävyt. RGB LEDissä samaan koteloon on pakattu kolmea pääväriä säteilevät diodit (sininen 470 nm, vihreä 535 nm ja punainen 626 nm). Niiden säteilysuhdetta Niiden säteilysuhdetta säätämällä aallonpituudet summautuvat ja tuloksena on CIE-9193 värikoordinaatistosta kolmion keskelle muodostuva väriaistimus. Esimerkiksi kaikkien säteillä yhtä kirkkaasti ovat eripuolilla värikoordinaatistoa olevat pisteet yhtä kaukana toisistaan ja syntyvä valo väriltään valkoista. Normaalisti syntyvä säteily on näkyvän valon alueella eikä UV- ja IR-säteilyä synny.[13.]

Suuri mullistus LED-teknologiassa oli sinisen LEDin keksiminen. Pinnoittamalla sininen hohtodiodi keltaisella loisteainekerroksella saatiin LED-siru säteilemään valkoista valoa. Tämä mahdollisti LEDien käytön kohdevalaistuksessa ja valotehokkuuden nousussa yhä korkeammaksi voitiin ensimmäiset LED-yleisvalaisimet tuoda markkinoille. Toisin kuin muut valonlähteet, LED-sirut syttyvät välittömästi ja niiden himmennys pidentää niiden käyttöikää. Päälle/pois-kytkennät sekä himmennys auttavat LEDiä säilyttämään valovirtansa eli hidastaa valovirran alenemaa. Tavallisen LED sirun himmennyksessä ja ohjauksessa käytetään pulssileveysmodulointia sekä virran ohjausta. Puls-sileveysmodulointi (PWM, Pulse-Width Modulation) tarkoittaa kuormalle menevän

jännitteen säätää muuttamalla sen pulssin leveyttä. Sen säätöalue on 0,05–100 %. Esimerkiksi himmennys 50 % valotehoon, toteutetaan hyvin nopeataajuisella jännite kanttiaallolla, jonka lähtösignaalin keskiarvo yhden värähtelyjakson aikana on sama, kuin modulointisignaalin arvo. Kanttiaalto on vuoroin 100 % ja vuoroin 0 %, tarkoittaen LEDin käyttötunnin ottavan todellisuudessa vain 0,5 tuntia. Pulssileveysmoduloinnilla voidaan ohjata myös RGB-LEDien väriskaalaa, jolloin väri-LEDeille syötetään oma ohjaus-signaali. Muuttamalla näiden pulssisuhdetta aikaansaadaan erivärit. LEDin valovoimakkuutta voidaan säätää myös jatkuvalla virran säädöllä (CCR, Constant Current Reduction), jossa LEDin päästösuuntaista virtaa säädetään lineaarisesti. Säätöalue on 10–100 %. [13] Taulukkoon 2 on kerätty LEDin hyviä ja huonoja ominaisuuksia.[13.]

Taulukko 2. LEDin ominaisuudet [13.]

VAHVUUDET	HEIKKOUEDET
<ul style="list-style-type: none"> <li>• pitkä käyttöikä</li> <li>• hyvä säädettävyys ja nopea säätövaste esim. syttyvät heti</li> <li>• valontuotto kylmässä</li> <li>• ei tuota UV-säteilyä</li> <li>• iskunkestävyys</li> <li>• värintuotto mahdollisuudet ilman suotimia</li> <li>• pieni koko</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• herkkä ylivirrälle ja estosuuntaiselle jännitteelle -&gt; tuhoutuu</li> <li>• voimakas lämpeneminen, joka kiihtyy lämpötilan noustessa</li> <li>• jäähdytyslementin koko</li> <li>• valonlähteen vaihtaminen eliniän lopussa</li> </ul>

## 6 Valaistuksen nykytilanne SKAL r.y.:n toimistotiloissa

### 6.1 Nykyinen valaistus

Skal r.y.:n kaikissa toimistohuoneissa on käytössä tällä hetkellä 1980-luvulla asennetut alkuperäiset valaisinrungot, IDMAN-merkkiset, joissa on loistelamput, tyyppiltään T8. Jokaisessa valaisimessa on yksi loistelamppu jotka näkyvät kuvassa 8 .



Kuva 8. Idman merkkiset valaisimet toimistohuoneissa.

Perinteisen loisteputken ottotehoon lisätään virranrajoittimen eli kuristimen kuluttama teho, joka on keskimäärin 15 W. Tästä syystä 58 W:n loisteputken (pituus 150 cm) todellinen kulutus on 73 W.[17.]

## 6.2 Valaistusvoimakkuden mittaaminen

Valaistuksen mittaamiseen käytetään luksimittaria, joka koostuu valokennosta, värikorjaussuotimesta, kosinikorjaimesta sekä virtamittarista. Valaistus mitataan työskentelypisteessä. Valaistusmittari asetetaan työtasolle ja luetaan lukema. Samalla valaistus mitataan kauempaa työpisteestä. Siten arvioidaan valaistuksen tasaisuutta. Valaistusvoimakkuuden mittauskorkeus on istumatyössä 75 cm.

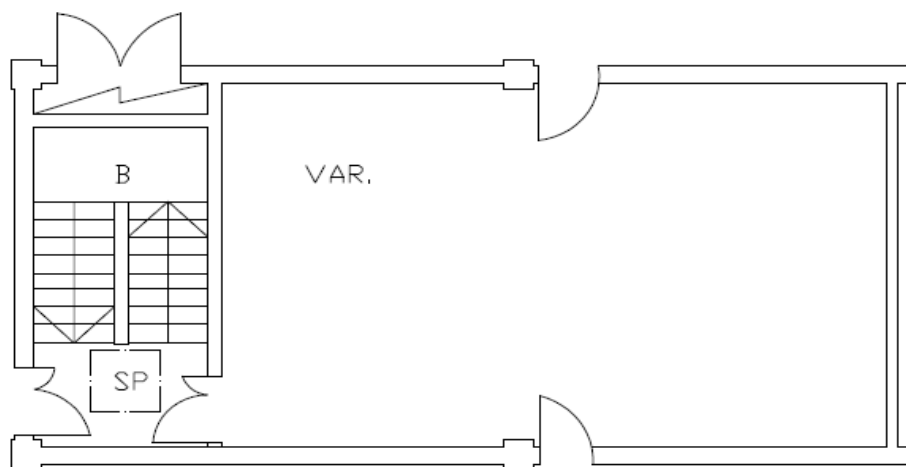
Suomen standardoimisliitto antaa standardissa SFS-EN 12464-1 10.10.2011 suosituksia hyvästä valaistuskäytännöstä. Sen valaistusvaatimukset on määritelty näkömukavuuden ja näkötehokkuuden tarpeista lähtien. Valaistusvaatimukset tulee kuitenkin täyttyä tuhlaamatta energiaa. Taulukossa kolme on valaistusvoimakkuusvaatimukset jotka Suomen standardoimisliitto on määritellyt.

Taulukko 3. Toimistotilojen valaistusvoimakkuus vaatimukset [18.]

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$ –	$U_o$ –	$R_a$ –	Erityisvaatimukset
5.26.1	Arkistointi, kopiointi, jne.	300	19	0,40	80	
5.26.2	Kirjoittaminen, konekirjoitus, lukeminen, tietojenkäsittely	500	19	0,60	80	Tietokonenäytöt, katso 4.9
5.26.3	Tekninen piirtäminen	750	16	0,70	80	
5.26.4	CAD-työasemat	500	19	0,60	80	Tietokonenäytöt, katso 4.9
5.26.5	Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä.
5.26.6	Vastaanottotiski	300	22	0,60	80	
5.26.7	Arkistot	200	25	0,40	80	

### 6.3 Toimistohuoneen valaistusvoimakkuusmittausten tuloksia

Valaistussuunnittelun kohteeksi valittiin SKAL r.y.:n tiloista yksi isompi tila (kuva 9), joka ennen toimi varastokäytössä. Joitain vuosia sitten se muutettiin kopiointi/postitustilaksi. Nyt huoneesta on tarkoitus tehdä toimistohuone. Huone sijaitsee kahden käytävän keskellä, jossa ei siis ole ikkunoita ulos. Tila on kooltaan n. 60 m<sup>2</sup>. Huoneen pituus on 10,05 m ja leveys 6 m. Korkeudeltaan huone on 2,6 m. Tilaan on symmetrisesti asennettu 6 kpl Idmanin valaisnrunkoja, joissa kussakin on 1 x 58 W:n loisteputki magneettisella kurostimella.



Kuva 9. Valaistusvoimakkuusmittauksessa käytetyn huoneen pohjakuva



Mittauspisteiksi valittiin symmetrisesti 10 pistettä huoneen eri kohdista. Mittaustulokset vaihtelivat välillä 360–475 lx. Mittauksista saaduista tuloksista laskettiin keskimääräinen valaistusvoimakkuus. Vanhojen T8-loisteputkien keskiarvoksi muodostui mittausten jälkeen n 450 lx, mikä ei täytä SFS-EN 12464-1- standardin vaatimusta toimistotilan valaistusvoimakkuudesta.

Tässä työssä käytettiin Trotec BF05 valaistusvoimakkuusmittaria, jonka virhemarginaali on  $\pm(5 \% + 10 \text{ lx}) < 10000 \text{ lx}$  ja  $\pm(10 \% + 10 \text{ lx}) > 10000 \text{ lx}$ .

## 7 Uudet LED-valonlähteet

Uusiksi valonlähteiksi valittiin Finlight Oy:n LED-retrofit loisteputket kahdella eri värilämpötilalla, Philipsin MASTER LEDtube sekä täysin uudeksi valaisimeksi Glamoxin led-valaisin .

### 7.1 Finlight Oy

Finlight Oy on vuonna 2007 perustettu valaistusalan yritys joka on keskittynyt LED-valaistukseen. Finlight tarjoaa monipuolisia tuotteita ja palveluja aina rahoitukseen asti. Finlight Oy:n palveluun kuuluu niin sisä- kuin ulkovalaistuksen suunnittelu ja toteutus loppukäyttöön asti.

Finlightilta projektiin valittiin kaksi eri värilämpötilaltaan olevaa LED-putkea (kuva 10). FL-TL8 HO 27W840 1,5 m värilämpötilaltaan 4000 K oleva valoputki. Toinen on samanlainen, mutta värilämpötilaltaan 6000 K, joka vastaa päivänvaloa.[19.]



Kuva 10. Finlightin FL-TL8 HO 27W840 [19.]

Kyseessä oleva putki on ammattikäyttöön suunniteltu, testattu ja kustannustehokas nk. retrofit putki. Putki tuo mukanaan erittäin korkean valovirran ja energiatehokkuuden, unohtamatta korkeaa värintoistokykyä. Tuote sopii käytettäväksi vanhoissa T8-valaisinrungoissa asennusohjeita noudattaen. Taulukossa 4 on tarkemmat tekniset tiedot ko. putkista.[19.]

Taulukko 4. Finlightin LED-putken tekniset tiedot [19.]

#### VALAISTUSOMINAISUUDET

<b>Kokonaisvalovirta (+/-5%):</b>	@ 4000K O 3634 lm, @ 3000K O 3469 lm, @ 6000K O 3868 lm
<b>Valovirta/watti:</b>	139 lm / W (840 O)
<b>CRI (värintoisto):</b>	>83
Valonjako 120 astetta.	
<b>Käyttöikä:</b>	>80 000 h (alle 30% valotehon alenemalla)
<b>SDCM:</b>	<4

#### PERUSTIEDOT

<b>Kanta:</b>	G13
<b>Käyttöjännite:</b>	AC90-250V 50Hz
<b>Kokonaiskulutus:</b>	27W +/- 0.5W
<b>Väriämpötilavaihtoehdot:</b>	3000K / 4000K / 6000K
<b>Takuu:</b>	jopa 8 vuotta

## 7.2 Philips

Philips on vuonna 1891 perustettu alankomaalainen yritys, jonka alkuperäisenä toimialana oli valmistaa hehkulamppuja, mutta nykyään sen päätoimialana on terveysteknologia, unohtamatta kuitenkin kulutuselektroniikkaa, kodinkoneita ja valaistusta.[20.]

Philipsiltä LED-valoputkeksi valittiin MASTER LEDtube VLE 1500 mm HO 20W 840 T8 valoputki, joka on kuvassa 11. Värilämpötilaltaan se on 4000 K, kuluttaa 20 W valovirran ollessa 3100 lm. Putkelle luvataan käyttöäksi 60000 tuntia.[20.]



Kuva 11. Philipsin LED retrofit putki [20.]

### 7.3 Glamox Oy

Glamox Oy on vuonna 1947, Norjalaisen insinööri Birger Hatlebakkin perustama yritys. Yritys suunnittelee ja kehittää valaisimia sekä sisä- että ulkokäyttöön. Glamoxin tuotemerkkeihin kuuluvat glamoxin lisäksi luxo.[21.]

Työhön valittiin retrofit putkien lisäksi myös täysin uusi LED-valaisin (kuva 12). Glamoxin C10-S1-sarjan ripustettava valaisin LED-valonlähteellä. Valaisimen ottama teho on 28 W, värilämpötila 4000 K ja valovirta 3549 lm.[21.]



Kuva 12. Glamoxin C10-S1 150x1200 LED 3300HF 840 SU [21.]

Mittaukset tehtiin Finlightin 4000 K:n ja 6000 K:n retrofit LED-putkilla. Vanhoista valaisimista poistettiin T8-loisteputket sekä sen sytyttimet. Vanhat sytyttimet korvattiin LED-sytyttimellä/oikosulkupalalla. Muuten asennus tapahtui kuin olisi loisteputki vaihdettu. Mittaustulokset uusilla LED-putkilla vaihtelivat välillä 520-810 lx. 4000 K:n putkilla keskiarvoksi saatiin 620 lx, ja 6000 K:n putkilla 810 lx. Kummankin valonlähteen valaistusvoimakkuus täyttäisi SFS-EN 12464-1 standardin vaatimuksen toimistotilan valaistusvoimakkuudesta.

Valaistus voidaan mitoittaa myös hyötysuhdemenetelmällä, jolloin voidaan vähentää tai lisätä valonlähteitä. Menetelmää käytetään keskimääräisen valaistusvoimakkuuden arviointiin. Menetelmä sopii parhaiten tiloihin, joissa on tasainen valaistus ja valonlähteet sijoitettu tasajakoisesti. Kun tunnetaan haluttu valaistusvoimakkuus (SFS EN 12464-1), menetelmällä voidaan laskea tarvittava valonlähteiden määrä. Menetelmässä käytettävä kaava 2 löytyy sivulta 5.

Kahdella eri värisävyisellä LED-putkella saatiin vaadittava LED-putkien lukumäärä seuraavasti:

1. Valovirraltaan 4000 K sijoittamalla kaavaan lumenarvon 3634 lm

$$N = \frac{500 \cdot 60,3}{3634 \cdot 0,4 \cdot 0,7} = 30$$

Eli tilaan tarvittaisiin 30 valaisinta, missä olisi yksi FL-TL8 HO 27W 840 1,5 m värilämpötilaltaan 4000 K oleva valoputki.

2. Valovirraltaan 6000:n K putki, jossa lumenarvo on 3868 lm

$$N = \frac{500 \cdot 60,3}{3868 \cdot 0,4 \cdot 0,7} = 28$$

Tilaan tarvittaisiin 28 valaisinta. Kumpikin näyttäisi investointina kannattamattomalta.

## 8 Valaistuksen uusimisen investointi- ja käyttökustannuslaskelmat

Investointi- ja käyttökustannusten laskennassa on käytetty Valaistustieto.fi-sivuilta saatua motivan VALTTI-elinkaarikustannuslaskuria. Se on tarkoitettu valaistushankinnan elinkaarikustannusten vertailuun, kun käytettävissä on esim. alustavia hintatietoja valaistavan kohteen valaistusratkaisuista.

### 8.1 Valonlähteiden investointi

Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL r.y.:n hallinnoimissa tiloissa on yhteensä 275 kpl Idmanin 1 x 58 W:n T8 loisteputkivalaisimia magneettisella virranrajoittimella eli kuristimella. 58 W:n putken kulutukseksi tulee kuristimesta johtuen n. 70 W. Finlight Oy:n LED loisteputkien kulutus on 27 W, sekä Philipsin putken kulutus 20 W. Glamoxin uuden valaisimen kulutus on 28 W

#### T8-loistepuket

Tavalliseksi T8-vertailuloisteputkeksi valittiin Philipsin TL-D 58W Super 80-loisteputki, joka lähinnä vastaa tämänhetkistä valonlähdettä. Sen keskimääräiseksi eliniäksi on tehtaan mukaan arvioitu 20000 tuntia. Lamppuexpress.com-sivuilta, 26.11.2019, hinnaksi on ilmoitettu 2,90 kpl.

Investointikustannuksiksi kertainvestointina tulisi valonlähteiden osalta:

$$275 \text{ kpl} * 3 \text{ €} = 825 \text{ €}$$

#### LED Retrofit-loisteputket

LED-putkina on Finlightin FL-TL8 HO 27 W kahdella eri värilämpötilalta, 4000 K ja 6000 K. Hintana on kummassakin putkessa 18 € kpl.

Investointikustannuksiksi kertainvestointina tulisi valonlähteiden osalta:

$$275 \text{ kpl} * 18 \text{ €} = 4950 \text{ €}$$

Toisena Retrofit putkena on Philipsin MASTER LEDtube 1500mm HO 18.2W 840 T8. Hinnaltaan 15 € kpl.

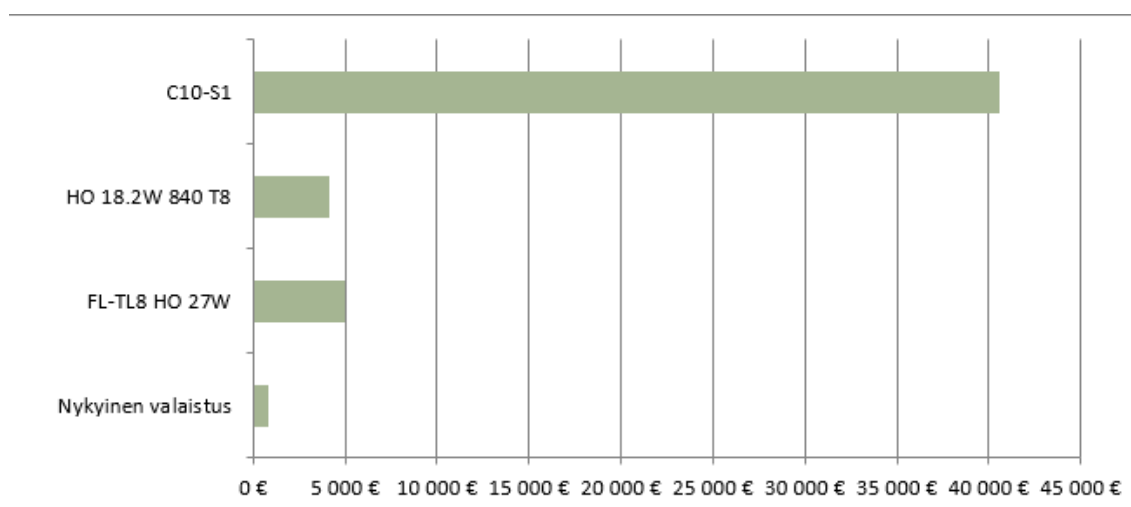
$$275 \text{ kpl} * 15 \text{ €} = 4125 \text{ €}$$

#### Glamoxin valaisimet

Glamoxin valaisinten hinta on 147,68 Investointikustannuksiksi kertainvestointina tulisi valaisinten osalta :

$$275 \text{ kpl} * 148,68 \text{ €} = \text{n. } 40.618 \text{ €}$$

Kuvassa 13 on nähtävissä investointikustannukset graafisessa muodossa



Kuva 13. Valaisinten investointikustannukset

Kun lähtökohtana oli vanhojen valonlähteiden muuttaminen täysin uuteen LED-tekniikkaan, investointikustannuksissa kalleimmaksi tuli täysin uusi valaistusjärjestelmä n. 40.000 €. Edullisimmaksi muodostui vanhojen T8 loisteputkien vaihtaminen Philipsin MASTER LEDtube putkiin.

## 8.2 Valaistuksen kulutus

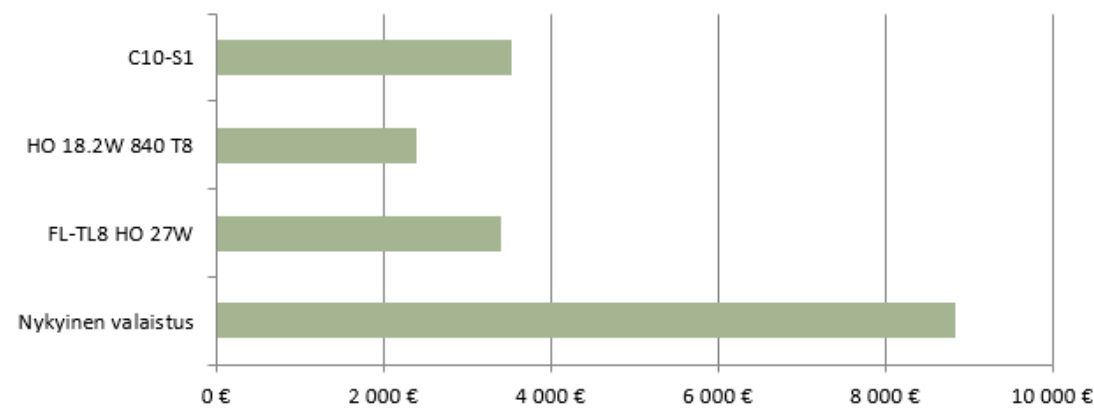
Kaikkien valonlähteiden vuosikulutus, kun kulutuksessa sovelletaan 2686 tuntia vuodessa:

Nykyiset T8-putket 55,21 MWh, Finlightin 21,29 MWh, Philipsin 5225 MWh ja Glamoxin uusien valaisimien 22,08 MWh. Finlightin kahden putken eri värilämpötilat eivät vaikuttaneen kulutukseen.

## 8.3 Valaistuksen käyttökustannukset

Käyttökustannusten laskennan lähtötiedoissa on sähköenergian hintana käytetty 0,16 € / kWh [22]. Valaistuksen käyttöaikana on 2686 h / vuosi, jonka VALTTI-ohjelma suoraan antaa.

Kuvassa 14 on esitetty käyttökustannukset graafisena

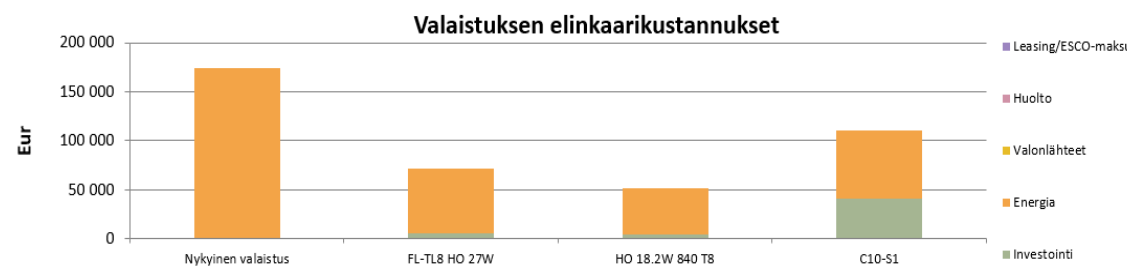


Kuva 14. Valaistuksen käyttökustannukset.

Sähkölasku toimistotilojen valaistuksen osalta vuodessa on vanhojen loisteputkien osalta 8 833 €, Finlightin LED putkien osalta 3 407 € ja Philipsin 2 398 €. Finlightin kahden putken eri värilämpötilat eivät vaikuttaneet käyttökustannuksiin. Glamoxin täysin uusien valaisimien kulutus olisi 3 533 € vuositasolla.

## 8.4 Elinkaarikustannukset

Elinkaarikustannuslaskenta, LCC (Life Cycle costing), kertoo, mitä hankittava tuote tulee organisaatiolle maksamaan, ei ainoastaan investointihetkellä, vaan myös käytön aikana ja käytöstä poistettaessa sähkömaksuina. Varsinkin energiaa käyttävien laitteiden käyttökustannukset voivat olla jopa hankintahintaa suuremmat. Elinkaarikustannuslaskenta auttaa hankkijoita löytämään kokonaistaloudellisesti edullisimmat tarjoukset. Tässä opinäytetyössä käytettiin laskenta-aikana 20 vuotta [23]. Kuvassa 15 olevassa grafiikassa on nähtävissä valaistuksen elinkaarikustannukset. Siinä on otettu huomioon valaistuksen investoinnit sekä energian kulutus. Asennus- ym. töitä ei ole laskettu mukaan.



Kuva 15. Valaistuksen elinkaarikustannukset.

Huomataan, että 20 vuoden aikana mikäli vanhaa valaistusta ei vaihdettaisi kustannus olisi lähes 174.175 €. Vaihdettaessa valonlähteet led putkiin saadaan edullisimmillaan kustannuksiksi 51.185 €. Täysin uusien valaisimien osalta kustannus olisi 20 vuodessa 109.969 €

## 9 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli laskea valaistuksen tämänhetkistä sähkönkulutusta sekä sähkönkulutusta, jos kaikki vanhat T8-loisteputket vaihdettaisiin uuteen LED-tekniikkaan. Työssä laskettiin vanhan valaistuksen sähkönkulutus ja verrattiin sitä uusien valonlähteiden kulutukseen. Pelkästään vanhojen T8 loisteputkien vaihto uusiin LED-putkiin olisi erittäin kannattavaa. Mikäli sitten olisi tulossa suurempi toimistotilojen uudistaminen, olisi tietysti hyvä ajatella täysin uusiin valaisimiin vaihtamista, koska siitäkin seuraisi selvää säästöä



ainakin sähköenergian kulutuksen osalta. Alkuinvestointina tietysti kallis, mutta jatkossa tuo joka tapauksessa rahat takaisin. Onhan nykyinenkin valaistus palvellut muuttumattomana jo yli kolmekymmentä vuotta. Huomioitavaa myös on, että jos kaikki vanhat loisteputket vaihdettaisiin uusiin esim Philipsin LED-putkiin heti, säästyisi vuositasolla n. 6500 €. Se siis maksaisi itsensä takaisin vajaassa vuodessa

Led-valoputkien käyttäminen perinteisissä valaisimissa, jotka on alun perin suunniteltu tavallisille T-loisteputkille, voi johtaa siihen, että valaisimet tuottavat verkkoon huomattavassa määrin loistehoa (tehokerroin voi olla erittäin huono). Tämä voi pahimmillaan johtaa merkittävään kokonaisvirran kasvuun ja siten aiheuttaa valaisinryhmän johtimien lämpenemistä. Valaisimissa olevien kompensointikondensaattorien poistaminen parantaa useimmiten tilannetta (tehokerrointa), mutta tällöin tulee ottaa huomioon tehtävään valaisinmuutokseen liittyvät seikat. Erityisesti suurissa valaisinryhmissä on aina syytä varmistua siitä, että led-valoputkien käyttöönotto ei aiheuta ongelmia valaisinasennusten kokonaisturvallisuuteen ja että vaikutukset mahdollisiin keskitettyihin kompensointilaitteisiin myös selvitetään. Samoin on syytä varmistua siitä, että uusi asennus ei aiheuta lisääntyntä haitallista kolmatta yliaaltovirtaa nollajohtimeen. Asennuksissa pitää myös noudattaa mahdollisia led-valoputken valmistajan antamia lisäohjeita mm. yhteen ryhmään liitettävien led-valoputkien maksimimäärän suhteen [24.]

## Lähteet

- 1 Energiateollisuus
- 2 Suomen valoteknillinen seura [www.valosto.fi](http://www.valosto.fi)
- 3 Wikipedia, valo
- 4 Rexled Oy [www.rexled.fi/page/6/valon-vari-ja-valontoistoindeksi](http://www.rexled.fi/page/6/valon-vari-ja-valontoistoindeksi)
- 5 Fagerhult Oy Valaistussuunnittelijan käsikirja
- 6 ST-kotisto ST 57.40, 2017:5
- 7 Halonen Liisa, Lehtovaara Jorma. 1992 Valaistustekniikka. Otatieto
- 8 Näkövammaisten keskusliitto <https://www.nkl.fi/fi/etusivu/nakeminen/rakenne>
- 9 Kaukoniemi Juha & Volantis Oy <http://www.volantis.fi/sivut/color-frame.html>
- 10 Wikipedia, näkeminen
- 11 HUS [https://www.biomag.hus.fi/brain\\_course/L5.html](https://www.biomag.hus.fi/brain_course/L5.html)
- 12 www sivut <https://micro.magnet.fsu.edu/optics/timeline/people/becquerel.html>
- 13 Koivula, Jarkko. 2013. LED-valaistuksen takaisinmaksuaika. Insinöörityö.  
T Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 14 www-dokumentti [www.innkjok.fi](http://www.innkjok.fi)
- 15 Wikipedia loistelamppu
- 16 Schubert, E.F. 2006. Light-Emitting Diodes, second edition. Cambridge: Cambridge

- 17 LED valaistuksen hankintaopas julkishallinnolle. Valtavallo Oy
- 18 Suomen standardoimisliitto SFS-EN 12464-1 10.10.2011
- 19 Finlight Oy:n tuoteluettelo
- 20 Philips Oy:n tuoteluettelo
- 21 Glamox Oy <https://glamox.com/fi/products/qun35ry/items/c10081549>
- 22 SKAL r.y. talouspäällikkö
- 23 Motiva. Elinkaarikustannuslaskenta
- 24 Glamox [https://glamox.com/upload/2013/09/26/fi\\_singlepages-2.pdf](https://glamox.com/upload/2013/09/26/fi_singlepages-2.pdf).