

Olli Suomalainen

LED-valaistus ja sen valintaan vaikuttavat tekijät

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

30.10.2017

Tekijä(t) Otsikko	Olli Suomalainen LED-valaistus ja sen valintaan vaikuttavat tekijät
Sivumäärä Aika	58 sivua + 2 liitettä 30.10.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Projektipäällikkö, Jukka Huttunen (Granlund Oy) Lehtori, Osmo Massinen
<p>Insinööri työ on tehty Granlund Oy:lle toimeksiantona. Työn tarkoituksena oli tutkia LED-valaistusta ja sen valintaan liittyviä tekijöitä sekä selvittää, mihin eri yksityiskohtiin sähkösuunnittelijan on syytä kiinnittää huomiota valitessaan ja vertaillaessaan LED-ratkaisuja.</p> <p>Ledejä on käytetty erilaisissa käyttökohteissa jo monien vuosikymmenien ajan ja niiden teknologia kehittyi edelleen kovaa vauhtia. Ledejä voidaan hyödyntää monipuolisesti eri valaistusratkaisuissa ja ne ovat yleistyneet lukuisissa eri valaistusköhteissa. LED-valaisimien pitkä elinikä sekä matala energiankulutus tekevät niistä yhä käytetympiä valaisimia eri käyttökohteissa. Ledeillä on monia hyödyllisiä eri ominaisuuksia perinteisiin valonlähteisiin verrattuna, mutta ne tuovat myös omat haasteensa.</p> <p>Työ tehtiin pääosin tarkastellen aiheen teoreettista aineistoa. Työssä käytettiin lähdemateriaaleina alan kirjallisuutta, eri valaisinvalmistajien ja -jälleenmyyjien www-julkaisuja sekä muita alaan liittyviä www-julkaisuja.</p> <p>Työssä todettiin LED-teknologialla olevan merkittävä vaikutus sähkösuunnitteluun, sillä ledien avulla voidaan jo korvata useita perinteisiä valaisimia. Investointi LED-ratkaisuun voi olla hintavampi kuin muissa valaistusratkaisuissa, mutta sen pitkäikäisyys takaa lyhyemmän takaisinmaksuajan kuin perinteisillä valaistusratkaisuilla. Nykypäivänä ledit ovat kehittyneet todella paljon, minkä vuoksi niiden investointihinnat ovat laskusuunnassa.</p> <p>Työssä tutkittiin mitä sähkösuunnittelijan kannalta on syytä ottaa huomioon valitessaan LED-valaisimia. Tuloksista ilmeni LED-valaisimilla olevan lukuisia huomioon otettavia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat ledien elinikään, energiatehokkuuteen sekä kustannuksiin. LED-valaisimien eri ominaisuuksiin kiinnittäessä erityistä huomioita, saadaan valittua käyttökohteeseen mahdollisimman ideaalinen valaistusratkaisu.</p>	
Avainsanat	LED, LED-teknologia, sähkösuunnittelu, LED-valaisin

Author(s) Title	Olli Suomalainen LED lighting and the factors affecting LED lightings selection
Number of Pages Date	58 pages + 2 appendices 30 October 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Jukka Huttunen, Project Manager (Granlund Oy) Osmo Massinen, Senior Lecturer
<p>This study was commissioned by Granlund Oy. The purpose was to study LED lighting and to investigate what different points electrical planner should consider when comparing different LED-solutions.</p> <p>LEDs have been present for over decades now and the LED-technology keeps evolving. There are many ways to utilize LEDs and they are even more popular in general lighting. LEDs have a long lifetime and a very low energy consumption which makes them even more used light sources compared to traditional light sources. LEDs have several beneficial features compared to traditional light sources, but LEDs bring their own challenges as well.</p> <p>The study was executed primarily by examining the theoretical survey of the subject. The material for this study came from different electrical field publications such as lighting manufacturer websites, literature and other web publications.</p> <p>It was established that LED-technology has had a remarkable influence on electrical planning because nowadays most of the traditional light sources can be replaced with LEDs. An investment in LED-solution can be more expensive than in traditional light solutions but LEDs long lifetime provides a shorter payback period than traditional light solutions. Nowadays LEDs fast development has accomplished investment costs to descend.</p> <p>In this thesis was established what different observations an electrical planner should consider when choosing LED lights. It was established that LED lights have many different features that will affect its lifetime, energy efficiency and costs. It is very important to regard LED light features to achieve the best possible lighting solution.</p>	
Keywords	LED, LED-technology, Electrical Planning, LED light

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Valaistustekniikan suureet ja muut ominaisuudet	2
2.1	Perussuureet	2
2.2	Värintoisto ja värintoistoindeksi	2
2.3	Väriämpötila	4
2.4	Valotehokkuus	6
2.5	Häikäisy	6
2.6	Häiriövalo	8
3	LED-teknologia	10
4	LED-valaisimet ja niiden käyttökohteet	13
4.1	LED-valaisimet ja -lamput	13
4.2	Käyttökohteet	20
5	LED-valaistus ja sen valintaan vaikuttavat tekijät	24
5.1	Käyttötarkoitus ja siihen vaikuttavat tekijät	24
5.2	Asennettavuus	26
5.3	Tekniset tiedot	28
5.4	Ohjaustavat	40
5.5	Huolto ja vaihdettavuus	48
5.6	Muita huomioita	50
6	Yhteenveto	52
	Lähteet	53
	Liitteet	
	Liite 1. Philips riippuasennettu valaisin / Valaisintietoarkki	
	Liite 2. Philips riippuasennettu / Luminanssitaulukot	

Lyhenteet

CCT	Correlated Colour Temperature, ekvivalenttinen värilämpötila.
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage, kansainvälinen valaistuskomissio.
CRI	Colour Rendering Index, CIE:n yleinen värintoistoindeksi R_A .
DALI	Digital Addressable Lighting Interface, osoitteellinen valaistuksenohjausjärjestelmä.
DLOR	Downward Light Output Ratio, valaisimen vaakatason yläpuolelle tulevan valon hyötysuhde.
Ethernet	Pakettipohjainen lähiverkkoratkaisu.
EnOcean	Energiaa varastoiva tekniikka.
GaAsP	Galliumarseenifosfaatti, yksi punaisen ledin puolijohdemateriaaleista.
HCL	Human Centric Lighting, ihmislähtöinen valaistus.
GaAsP	Galliumarseenifosfaatti, yksi punaisen ledin puolijohdemateriaaleista.
Gateway	Yhdyskäytävä, tietoverkossa olevan verkon solmu.
IES	Illumination Engineering Society, Pohjois-Amerikan valaistusyhdistys.
InGaN	Indiumgalliumnitridi, yksi vihreän ledin puolijohdemateriaaleista.
LED	Light Emitting Diode, valodiodi.
LOR	Light Output Ratio, valaisimen hyötysuhde.
SDCM	Standard Deviation of Colour Rendering, MacAdamin ellipsi.

SELV	Safety Extra Low Voltage, pienoisjännite.
mesh	Reitittävä langaton verkkojärjestelmä.
TM-30	IES:n hyväksymä värinvalon arvioinnin menetelmä.
UGR	Unified Glare Rating, valaistuksen häikäisyä kuvaava arvo.
ULOR	Upper Light Output Ratio, valaisimen vaakatason alapuolelle tulevan valon hyötysuhde.
ZigBee	Kansainvälinen lyhyen kantaman radioliikenteen standardi.

1 Johdanto

Viime vuosina LED-teknologia on ottanut suuria askelia kehityksessään ja sen kehitys jatkuu edelleen. Nykypäivänä LED-ratkaisut ovat yleistyneet merkittävästi etenkin valaistussektorilla. LED-valaisimilla ja -valonlähteillä korvataan jo suurin osa perinteisistä vaihtoehtoista. Nykypäivän markkinoille pursuaa uusia ja innovatiivisia LED-tuotteita, joille luvataan yhä parempia valoteknisiä arvoja. LED-valaisimilla on lukuisia teknisiä arvoja ja ominaisuuksia, jotka sähkösuunnittelijan on syytä ottaa huomioon, jotta saadaan toteutettua käyttäjän tarpeiden mukainen optimaalinen valaistus.

Insinööriyön tavoitteena on tutkia LED-valaistusta ja sen valintaan vaikuttavia tekijöitä. Insinööriyötyö on tehty toimeksiantona Granlund Oy:lle ja sen keskeisenä tavoitteena on tutkia nykypäivän markkinoilla olevia LED-valaisimia ja niiden valintaan vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi työssä käydään läpi valaistustekniikan sekä LED-teknologian perusteita. Insinööriyö on tehty pääasiassa valaistusalan teoreettista aineistoa hyödyntäen.

Granlund Oy on vuonna 1960 perustettu talotekniikkasuunnittelun, kiinteistö-, energia- ja ympäristöasioiden konsultoinnin sekä ohjelmistojen asiantuntijakonserni, jossa työskentelee noin 800 työntekijää. Granlund Oy:llä on lukuisia eri toimipisteitä ympäri Suomea, joista pääkonttori sijaitsee Helsingissä.

2 Valaistustekniikan suureet ja muut ominaisuudet

Valaisimia ja valonlähteitä voidaan vertailla eri suureiden ja ominaisuuksien avulla. Tässä luvussa käsitellään valaistustekniikan perussuureita sekä muita ominaisuuksia.

2.1 Perussuureet

Valovirta (φ) on suure, joka ilmoittaa valonlähteen tuottaman kokonaisvalomäärän. Valovirta saadaan, kun säteilytehoa painotetaan silmän tappisolujen suhteellisella silmänherkkyydellä. Valovirran yksikkö on lumen (lm). [1, s. 2.]

Valaistusvoimakkuus (E) on suure, joka ilmoittaa pinnalle tulevan valovirran tiheyden. Se kuvaa valonlähteen voimakkuutta valaistavalla pinnalla. [1, s. 2; 2.] Valaistussuosituksissa ja standardeissa valaistuksen tärkeimpänä ja käytetyimpänä arviointikriteerinä pidetään valaistusvoimakkuutta. Valaistussuunnittelussa halutaan saavuttaa tarvittava valaistusvoimakkuuden tavoitetaso tietyssä kohteessa. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luks (lx). [3, s. 2.]

Valovoiman yksikkö on kandela (cd) ja se kuvaa valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevää valon voimakkuutta. Se on valaistustekniikan perussuure, josta muut valaistustekniikan yksiköt on johdettu. Yksi kandela vastaa suurin piirtein yhden kynttilän valovoimaa. [1, s. 2; 4.]

Luminanssi määritellään pinnasta havaitsijan suuntaan lähtevän valovoiman ja pinta-alan suhteena. Luminanssi kuvaa pinnalta tai pisteestä tiettyyn suuntaan kohdistuvan valon kirkkautta. Sen yksikkö on kandela per neliömetri (cd/m^2). [1, s. 2.] Mitä suurempi pinnan, esimerkiksi valaisimen luminanssi on, sitä kirkkaammalta pinta näyttää katsojalle. [3, s. 2.] Liitteessä 1 on esitetty Dialux -valaistussuunnitteluohjelman avulla Philipsin valmistaman riippuasennettavan valaisimen luminanssitaulukot.

2.2 Värintoisto ja värintoistoindeksi

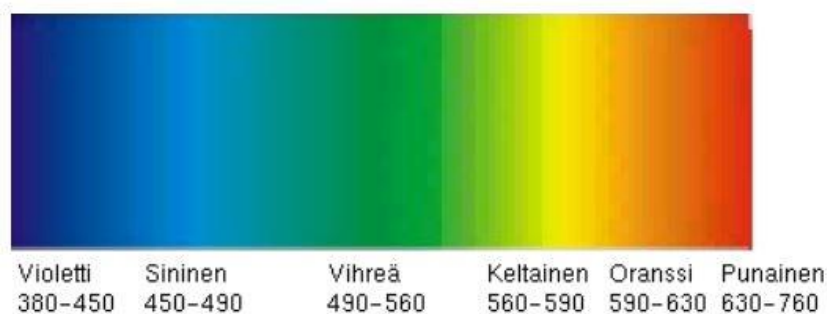
Eri väripisteitä vastaavat valonvärit voidaan jokainen luoda monella eri tavalla erilaisia säteilykoostumuksia yhdistelemällä. Tämän vuoksi valon väristä eli värikoordinaateista

ja väriämpötilasta ei voida tunnistaa, minkälaisilta ympäristön eri pintojen värit näyttävät tällä valolla. Kuitenkin on voitu kehittää erilaisia laskentamenetelmiä, joiden avulla tiettyillä värintoistoindeksillä voidaan saada verrattain täsmällistä tietoa erilaisilla spektri-koostumuksilla aikaansaadusta värintoistoindeksistä. [5, s. 47–48; 6; 7.]

Värintoistoa kuvataan värintoistoindeksillä ja yleisin värintoistoindeksi on R_A -indeksi (CRI = Colour Rendering Index). R_A -indeksi saa arvoja välillä 0 - 100 ja se on määritelty niin, että kahdeksan testiväriin väripistettä verrataan vertailuvalossa olevaan väripisteeseen. [1, s. 3.] R_A -indeksi kertoo, miltä eri kohteiden tai esineiden värit tulevat valossa näyttämään. [7.]

Spektri eli kirjo, tarkoittaa yleisesti sähkömagneettisen säteilyn jakautumista eri lajeihin. Spektri voidaan havaita valon kulkiessa esimerkiksi prisman läpi, jolloin prismassa valon eri aallonpituudet taittuvat eri tavoin ja näkyvät eri värisinä. Jatkuvaksi spektriksi kutsutaan sellaista spektriä, joka sisältää jokaista aallonpituutta sateenkaaren tavoin punaisesta oranssin, keltaisen, vihreän ja sinisen kautta violettiin. Jos taas spektrissä on vain tiettyjä aallonpituuksia, sitä kutsutaan viivaspektriksi. Ihmiselle näkyvä valo on sähkömagneettista säteilyä. Sähkömagneettinen säteily kulkee aaltoliikkeenä ja sen lyhytaaltainen pää on violetti ja pitkäaaltonen punainen. Aallonpituuden yksikkönä käytetään tyypillisesti nanometrejä (nm). Ihmisen havaitseman näkyvän valon aallonpituus on noin 380 – 780 nanometriä (ks. taulukko 1). [8.]

Taulukko 1. Värien aallonpituudet (nanometreinä) [8.]



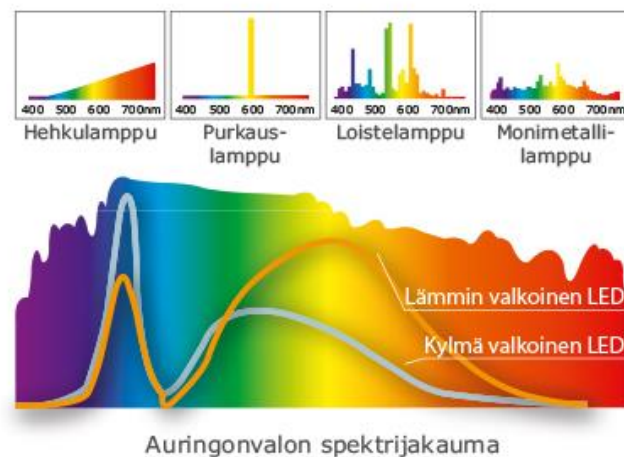
Kun sähkömagneettisen säteilyn aallonpituus lyhenee alle 380:n nanometrin, niin ihmisilmä lakkaa havaitsemasta tätä. Ihmisen havaitseman violetin värin jälkeen, säteilyä ei enää pysty havaitsemaan. Violetin värin jälkeen tulevaa säteilyä kutsutaan ultraviolettisäteilyksi. Ultraviolettisäteilyn aallonpituus on noin 100 – 380 nanometriä. Tästä vielä

lyhyempää sähkömagneettisen säteilyn aallonpituutta kutsutaan röntgensäteilyksi. Röntgensäteilyn aallonpituus on noin 0,01 – 10 nanometriä. Lyhytaaltoisinta sähkömagneettista säteilyä kutsutaan gammasäteilyksi. Gammasäteilyn aallon pituus on alle 0,01 nanometriä. [9.]

Ihmissilmä lakkaa havaitsemasta sähkömagneettisen säteilyn myös, kun sen aallonpituus pitenee yli 780:n nanometrin. Sähkömagneettista säteilyä, jonka aallonpituus saa arvoksi noin 1000 – 1 000 000 nanometriä, kutsutaan infrapunasäteilyksi. Tästäkin vielä pidempiä sähkömagneettisia säteilyjä kutsutaan mikroaalloiksi ja radioaalloiksi. [9.]

Eri valonlähteet luovat erilaisia valon aallonpituuksia. Taulukosta 2 näkyy auringonvalon spektrijakauma sekä tyypillisten valonlähteiden eri spektrijakaumat.

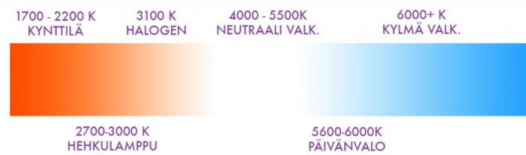
Taulukko 2. Valonlähteiden eri spektrijakaumia [10.]



2.3 Värilämpötila

Valon värisävy määritellään värilämpötilan avulla. Värilämpötila ilmoitetaan kelvineinä (K) ja se kuvaa hehkusäteilijän valon väriä tietyssä lämpötilassa. Hehkusäteilijä lähettää alhaisella kelvin-arvolla lämmintä, punertavaa valoa ja korkeammalla arvolla kylmää, sinertävää valoa. Ekvivalenttinen värilämpötila (CCT = Correlated Colour Temperature) määritellään sellaisille valonlähteille, joiden väripisteet eivät osu hehkusäteilijän väripisteiden uralle. Tämänlaisia valonlähteitä ovat esimerkiksi purkauslamput ja ledit. [1, s. 3.]

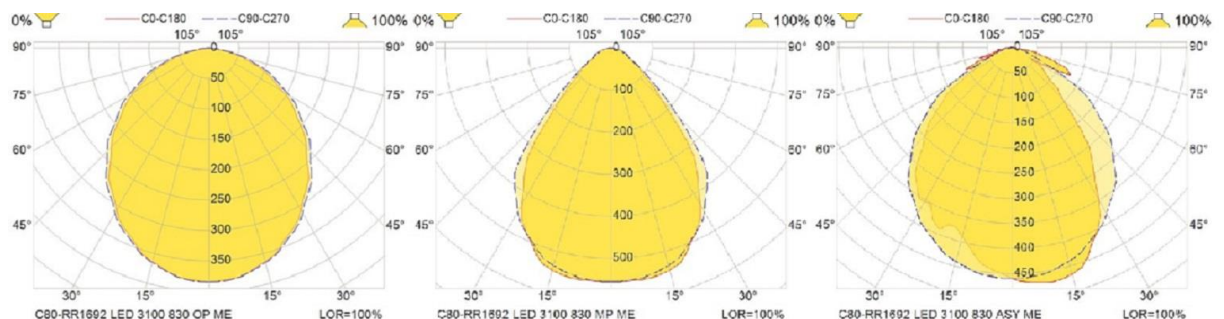
Eri valonlähteillä värilämpötilat vaihtelevat laajasti (ks. kuva 1). Perinteisen hehkulampun värilämpötila on noin 2700 kelviniä ja halogeenilampun noin 3000 kelviniä. Loiste- sekä LED-lampuilla on huomattavasti laajempi valikoima eri värilämpötiloja verrattuna perinteisiin valonlähteisiin. Loiste- ja LED-lamppujen värilämpötilat ovat noin 2700–6500 kelviniä.



Kuva 1. Valon lämpötilan vaikutelma [11.]

Valaisimen valonjako mitataan useissa tasoissa valaisimen ympäri [12, s. 462.]. Valonjakokäyrä (ks. kuva 2) on napakoordinaatistoon piirretty kuvaaja, joka ilmaisee, kuinka valaisimen valovoima jakautuu eri suuntiin. [13.] Valonjakokäyrät on skaalattu tyypillisesti valonlähteen 1000 luumenin valovirtaa kohti, jonka vuoksi eri tehoisilla valaisimilla voi olla samansuuruisia arvoja valonjakokäyrässä ja niitä voidaan vertailla suoraan toisiinsa. [12, s. 462.] Liitteessä 2 on esitetty Dialux -valaistussuunnitteluohjelman avulla Philipsin valmistaman riippuasennetun valaisimen valonjakokäyrä.

Valaisimilla on erilaisia valonjakokäyriä, ja niitä voidaan muokata esimerkiksi optiikan avulla. Esimerkiksi Glamoxin valmistama C80-RR valolista on saatavilla kolmella eri optiikalla. Saatavat optiikat ovat opaalihäikäisysuoja (OP), mikroprismahäikäisysuoja (MP) ja epäsymmetrinen heijastin (ASY). Kuvassa 2 näkyvät edellä mainituilla optiikoilla toteutetun C80-RR valaisimen valonjakokäyrät.



Kuva 2. Glamoxin C80-RR valaisimen valonjakokäyrät eri optiikoilla (OP, MP, ASY) [14.]

2.4 Valotehokkuus

Valonlähteiden energiatehokkuutta voidaan kuvata valotehokkuudella, jonka yksikkö on luumenia wattia kohden (lm/W). [15, s. 8.] Valotehokkuus ilmaisee, kuinka paljon yksi watti (W) sähköä tuottaa valoa (lm). [16.] Perinteisten hehkulamppujen valotehokkuus on tyypillisesti 9–13 lm/W ja halogeenipolttimoilla 10–20 lm/W. Energiasäästö- sekä loistelampujen tyypillinen valotehokkuus on noin 60–100 lm/W. LED-lampuilla valotehokkuus on nykypäivänä noin 60–160 lm/W.

2.5 Häikäisy

Häikäisyä syntyy, kun näköaisti ei pysty sopeutumaan näkökentän tai ympäristön luminanssitasoihin. Häikäisy voi olla suoraa häikäisyä, jolloin valo tulee silmään suoraan valonlähteestä, tai epäsuoraa heijastushäikäisyä, jolloin valo tulee silmään heijastuksena jostakin pinnasta. [1, s. 2.] Häikäisy vaikeuttaa yksityiskohtien näkemistä ja aiheuttaa epämukavuutta näkemisessä. Estohäikäisy ja kiusahäikäisy ovat häikäisyn eri muotoja. [3, s. 2.] Häikäisyyn vaikuttaa myös luminanssi, joka onkin valaistustekniikassa ainoa nähtävä suure. Mitä suurempi esimerkiksi lampun, valaisimen ja kohteen luminanssi on, sitä kirkkaammalta se näkyy katselijalle. Suuret luminanssit ja luminanssierot aiheuttavat häikäisyä. Myös häikäisyyn vaikuttaa valaisimien lukumäärä, pinta-ala ja etäisyys kohteesta.

Estohäikäisy on häikäisyä, joka heikentää näkökykyä. Häikäisykohde muodostaa silmän verkkokalvolla olevan kuvan päälle harsoluminanssin, joka pienentää kuvan kontrasteja. Harsoluminanssi kohottaa haitallisesti myös sopeutumistasoa. Häikäisynlähde totuttaa silmää korkeampaan luminanssitasoon kuin näkökohteen keskimääräinen luminanssi vaatisi, minkä seurauksena näkökohteessa tarvitaan suurempi luminanssiero yksityiskohtien havaitsemiseksi. [5, s. 72.]

Mitä suurempi valovoima häikäisynlähteellä on ja mitä keskemällä näkökenttää se sijaitsee, sitä enemmän se aiheuttaa häikäisyä. Estohäikäisy alkaa, kun harsoluminanssi on 1-2 % näkökohteen luminanssista. [5, s. 72.]

Kiusahäikäisy on häikäisyä, joka ei heikennä näkökykyä, mutta aiheuttaa epämukavuutta näkökykyyn. Kiusahäikäisyllä tarkoitetaan epämukavuuden tunnetta, joka aiheutuu näkökentän suurista luminansseista tai luminanssieroista. [5, s. 73.]

Valonlähteiden aiheuttaessa häikäisyä, kiusahäikäisyn koko riippuu seuraavista seikoista:

- valonlähteen luminanssista
- ympäristön keskimääräisestä luminanssista
- valonlähteen alasta
- valonlähteen sijainnista näkökentässä
- valonlähteen ympäristön luminanssijakaumasta
- valonlähteen korkeudesta
- valonlähteen muodosta. [5, s. 73.]

Kun valonlähteen luminanssi kasvaa, se lisää voimakkaasti kiusahäikäisyä. Ympäristön luminanssin kasvaessa vastaavasti häikäisyvaikutelma pienenee. Ympäristön luminanssilla on kuitenkin pienempi merkitys häikäisyyn kuin valonlähteen luminanssilla. Kun ympäristön luminanssi saavuttaa arvon noin $10\,000\text{ cd/m}^2$, koko näkökenttä vaikuttaa häikäisevältä. Tämänlainen tilanne saattaa esiintyä esimerkiksi voimakkaassa auringonpaisteessa silloin, kun ympäristö on erittäin vaalea. [5, s. 73.]

Häikäisyvaikutelmaa voidaan vähentää pienentämällä valonlähteen näkyvää pintaa tai suurentamalla valonlähteen ja katselusuunnan välistä kulmaa. Kiusahäikäisy heikentyy myös, jos valonlähteen lähiympäristö on valaistu siten, että katseen siirtyessä pois päin valonlähteestä luminanssi pienenee tasaisesti ilman jyrkkää kontrastia. [5, s. 73.]

Valaistuksen häikäisevyyttä kuvataan UGR-arvolla (Unified Glare Rating). UGR-arvo kertoo, kuinka paljon valaistus aiheuttaa kiusahäikäisyä. Sisätilojen valaistuksissa valaisimien aiheuttama kiusahäikäisy tulee määrittää CIE:n (Commission Internationale de l'Eclairage) UGR-menetelmällä. UGR-arvo saadaan yhtälöstä 1:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (1)$$

L_B on taustan luminanssi, laskettuna yhtälöstä $E_{ind} \cdot \pi^{-1}$, missä E_{ind} on asennuksen aiheuttama pystytason epäsuora valaistusvoimakkuus havainnoitsijan silmän pinnalla, yksikkönä $cd \cdot m^{-2}$

L on jokaisen valaisimen valoa lähettävien osien luminanssi havaitsijaa kohti, yksikkönä $cd \cdot m^{-2}$

ω on se avaruuskulma, jossa tarkasteltavan valaisimen valoa lähettävät osat näkyvät havainnoitsijan silmään

p on jokaisen yksittäisen valaisimen Guthin sijaintikerroin, joka on verrannollinen valaisimen sijainnin poikkeamaan katsesuunnasta. [17, s. 24.]

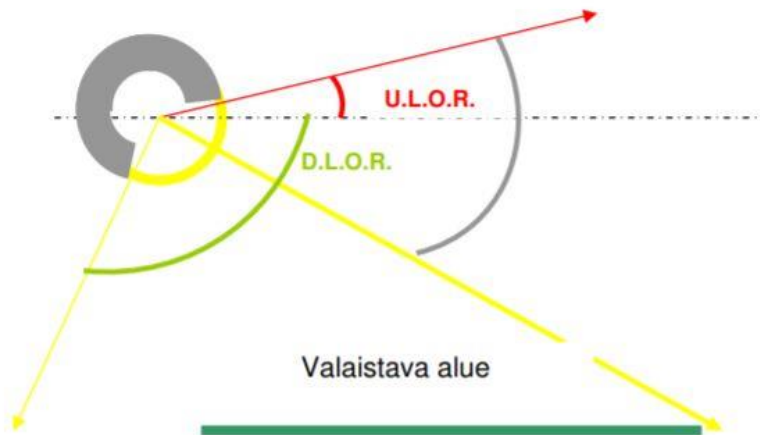
Valaistussuunnitelma-asiakirjoissa on esitettävä kaikki UGR-menetelmässä käytetyt lähtötiedot tai oletusarvot. CIE:n 117 1995 -standardissa on määritelty eri tilojen ja alueiden vaatimat UGR-arvot. [17, s. 24.]

2.6 Häiriövalo

Häiriövalo on valaistavan alueen ulkopuolelle menevää valoa, joka aiheuttaa epämukavuutta tai heikentää oleellisen informaation tai kohteen näkymistä. Häiriövalo aiheuttaa haittavaikutuksia ihmisten terveyteen sekä ekosysteemin toimintaan. [3, s. 3.] Häiriövaloa syntyy etenkin ulkovalaistuksen eri valaistuskohdeissa. Valaisimien vaakatason yläpuolelle suuntautuvaa valoa kutsutaan häiriövaloksi. Myös valaisimien vaakatason alapuolelle suuntautuvaa valoa, joka vaikeuttaa näkemistä kutsutaan häiriövaloksi.

Perinteisten valaisimien hyötysuhteen (LOR Light Output Ratio) avulla voidaan laskea valaisimesta ulos saatava valovirta. LED-valaisimille ei LOR-arvoa ilmoiteta, sillä niille ilmoitetaan valotehokkuusarvo luumen per watti. Moderneilla valonheittimillä LOR-arvo on 0,65-0,80 ja tyypillisimmillä tievalaisimilla 0,75-0,85. Valaisimille määritellään myös tarkemmin hyötysuhteet (ks. kuva 3) DLOR (Downward Light Output Ratio) ja ULOR

(Upper Light Output Ratio). DLOR kuvaa valaisimien vaakatason alapuolelle tulevan valon hyötysuhdetta ja ULOR vaakatason yläpuolelle tulevan valon hyötysuhdetta. Kuitenkin näitä hyötysuhteita ei voida hyödyntää työalueiden valaistuksessa, sillä nämä hyötysuhteet kuvaavat häiriövaloa. [18, s. 18-19.]



Kuva 3. Valaisimesta suuntautuvat häiriövalot [18 s. 18.]

3 LED-teknologia

LED-teknologia on kehittynyt viime vuosina huimaa vauhtia eteenpäin, erityisesti yleisvalaistussektorilla. Ledien menestys ei tuskin yllätä ketään, koska niillä on lukuisia hyödyllisiä ominaisuuksia perinteisiin valonlähteisiin verrattuna. Ledit ovat pieniä, kompakteja, hyvin pitkäikäisiä ja niitä voidaan hyödyntää erittäin monipuolisesti. [19.]

Toimintaperiaate

LED eli valodiodi (Light Emitting Diode) on valoa synnyttävä puolijohdekomponentti. Valodiodi koostuu useista puolijohdtevista materiaalikerroksista. Kun valodiodin läpi johdetaan tasavirtaa, se synnyttää valoa. Valo otetaan ulos suoraan tai heijastamisen avulla. [19.]

LED säteilee tietynväristä valoa, toisin kuin jatkuvaa spektriä säteilevät heijastinhehku-lamput. Valon väri riippuu käytettävästä puolijohdemateriaalista. Pääasiassa on käytössä kaksi materiaalijärjestelmää. Niiden avulla valmistetaan kaikenvärisiä ledejä sinisestä punaiseen ja luminesenssikonversion avulla myös valkoiseen. Ledin säteilemällä valolla on tietty aallonpituus ja siten tietty väri. LED-puolijohteet syntyvät eri alkuaineyhdistelmistä, kuten fosfideista tai arsenideista. On olemassa erilaisia materiaaliyhdistelmiä, joista jokainen vapauttaa puolijohdemateriaalin energiaväliä vastaavasti eri määriä energiaa. Kun varauksen kuljettajat yhdistyvät, fotoneja säteilee ominaisenergiatasoja vastaavasti. Tämä määrää kunkin valon säteilemän värin. Jokainen led-valoväri sijoittuu todella kapealle aallonpituusalueelle, joka edustaa tiettyä valon väriä. Valkoinen valospektri on ainoa spektri, jota ei pystytä tuottamaan suoraan. Tämä johtuu siitä, että valkoinen valo on kaikkien värien yhdistelmä. [19.]

Ledejä voidaan valmistaa kaiken värisiä sinisestä punaiseen ja myös valkoinen väri on mahdollista valmistaa. [19.] Valkoinen väri saadaan valmistettua kahdella eri tavalla. Sinisen valodiodin sirun kotelo päällystetään keltaisella fosforilla, jolloin saadaan aikaan valkoista valoa. Toinen valmistustapa tehdä valkoista valoa on sekoittaa valoa punaisesta, vihreästä ja sinisestä valodiodista (RGB=Red, Green, Blue). Näistä kahdesta tavasta fosforilla päällystäminen on suosituin menetelmä valaistusteollisuudessa, koska se on erittäin tehokas ja joustava tuotantotapa. [20, s. 3.] On myös olemassa RGBW-ledi (Red Green Blue White), joka sisältää punaisen, vihreän, sinisen sekä valkoisen värisävyä.

Historia

Ledin kehityksen alkuaskeleet menevät aina 1900-luvun alkupuolelle. Vuonna 1907 englantilainen Henry Joseph Round huomasi, että epäorgaaniset materiaalit pystyvät säteilemään valoa sähkövirran ansiosta. Tämä keksintö kuitenkin unohtui, koska hän työskenteli pääasiassa uuden merenkulkuun tarkoitetun radiosuuntimajärjestelmän parissa. Samoihin aikoihin venäläinen fyysikko Oleg Vladimirovich Losev huomasi myös tämän valoemissiota koskevan ilmiön ja tutki sitä tarkemmin vuosina 1927–1942. [19.]

Vuonna 1951 transistorin kehitys vei puolijohdefysiikkaa eteenpäin ja valoemissio pystyttiin nyt selittämään. Vuonna 1962 amerikkalainen Nick Holonyak Jr. kehitti ensimmäisen punaisen luminesensidiodin (tyyppi GaAsP). Tämä oli ensimmäinen teollisesti valmistettu näkyvän valon aallonpituusalueella toimiva valodiodi. Tämän jälkeen 1970-luvulla uusien puolijohdemateriaalien avulla pystyttiin valmistamaan uudenvärisiä ledejä: vihreitä, oransseja ja keltaisia. [19.]

Japanilainen Shuji Nakamura kehitti vuonna 1993 ensimmäisen kirkkaansinisen ledin sekä spektrin vihreällä alueella toimivan tehokkaan ledin (InGaN-diodi). Myöhemmin Nakamura kehitteli kirkkaansinisen ledin pohjalta valkoisen ledin. [19.]

Nykytilanne ja tulevaisuus

Ledejä on käytetty erilaisissa käyttökohteissa jo yli 30 vuoden ajan, ja niiden tekniikka kehittyi edelleen huimaa vauhtia. Nykyään LED-tekniikka mahdollistaa tehokkaita, kompakteja ja ympäristöystävällisiä ratkaisuja, joita ei vuosia sitten voitu edes ajatella. Ledejä voidaan hyödyntää monipuolisesti ja tehokkaasti eri valaistusratkaisuissa. Ne tarjoavat muihin valaistusratkaisuihin verrattuna lukuisia etuja. [19.]

LED-tekniikka on tulevaisuutta. Koko maailman sähköstä jopa viidesosa käytetään valaistukseen, jonka osuus hiilidioksidipäästöistä on 1,9 miljardia tonnia vuodessa. Se vastaa CO₂ päästöissä 70 prosenttia maailman henkilöautojen päästöjä. Merkittävät säästöt ovat mahdollisia vaihtamalla energiatehokkaisiin ratkaisuihin, kuten LED-ratkaisuihin. Jos kaikki maailman valaisimet vaihdettaisiin LED-valaisimiksi, olisi keskimääräinen energiansäästö noin 40 prosenttia valaistuksen kulutuksesta. Tämä vastaisi noin 128 miljardin euron säästöjä. [21.]

LED-valaisimet mullistavat valaistusratkaisut energiatehokkuudellaan ja luotettavuudellaan. Nykyisillä LED-valaisimilla saavutetaan jo noin 50–70 prosentin energiasäästöt, ja jopa 80 prosentin säästöt ohjaustekniikkaa käytettäessä. LED-valaistusmarkkinoiden osuus kasvaa vuosi vuodelta merkittävästi ja on arvioitu, että LED-valaistus saavuttaa 60 prosentin markkinaosuuden kansainvälisesti vuoteen 2020 mennessä. [21.]

4 LED-valaisimet ja niiden käyttökohteet

LED-valaisimien hyvä valotehokkuus ja pitkä elinikä tekevät niistä vieläkin yleisempiä valaisimia. Ledit ovat valonlähteinä moderneja, ja niiden hyödyt tulevat ilmi energiatehokkuudessa ja pitkässä elinkaaressa. Ne pystyvät jo korvaamaan lähes minkä tahansa perinteisen valonlähteen.

4.1 LED-valaisimet ja -lamput

LED-lamput

LED-lamput sopivat jo useimpiin perinteisten valaisimien kantatyyppeihin. Ne ovat erittäin pitkäikäisiä ja energiatehokkaita. LED-lamppuja valmistetaan jo melkein jokaisella kannalla (ks. kuva 4), minkä vuoksi perinteiset halogeeni- ja hehkulamput ovat korvattavissa ledilampuilla. [22.]



Kuva 4. LED-lamput tyypillisimmillä kannoilla [22.]

LED-paneelit

LED-paneelit ovat moderneja yleisvalaisimia, joiden tyylikäs muotoilu ja helppo asennettavuus tekevät niistä erittäin suosittuja valaisimia. Niiden käyttökohteita ovat esimerkiksi toimistot ja muut liiketilahuoneet sekä käytävät (ks. kuva 5). LED-paneelien helpon asennettavuuden takia ne sopivat myös todella ahtaisiin tiloihin, esimerkiksi ovien läheisyyteen. [23.]

LED-paneelit koostuvat ohuesta alumiinikehyksestä ja ne ovat päällistettyjä akryylilevyllä sekä diffuusiorikalvolla. LED-paneeleja voidaan himmentää portaattomasti ja niitä voidaan asentaa pinta-kehyksellä, ripustuskiinnikkeillä tai suoraan kattoon upottamalla. [23.] LED-paneelien avulla voidaan luoda isojakin valaistustilanteita eri häikäisysuojia hyödyntäen. Tämänlaisia häikäisysuojia ovat esimerkiksi opaali ja mikroprisma.



Kuva 5. LED-paneelit seinälle asennettuna [24.]

LED-valolistat

LED-valolistat ovat pienikokoisia ja hyvän valotehokkuuden omaavia putkivalaisimia. Listat voidaan asentaa kohteeseen kiinnikkeillä, tarralla tai magneetilla. LED-valolista voidaan myös asentaa alumiiniprofiiliin, jonka avulla valolistoista voidaan tehdä ns. jonoja, eli lineaarisia valoja (ks. kuva 6). LED-valolistoja voidaan käyttää esimerkiksi toimitoissa, liiketiloissa tai kodin valaistuksessa. [25.]

LED-valolistoilla on mahdollista luoda monia eri tyylikkäitä valaistusratkaisuja. Esimerkiksi keittiön tasojen valaistus LED-valolistoilla on yksi käytetyimmistä LED-valolistojen kohteista. Valolistat voidaan asentaa keittiön alakaappien alapuolelle, jolloin LED-valolista ei itsessään näy, mutta sen tuottama valomäärä näkyy.



Kuva 6. Glamoxin C80-RR valolistoilla toteutetut valaisinjonot [14.]

LED-alasvalot

LED-alasvalot ovat tehokkaita ja tyylikkäitä valaisimia, joilla voidaan toteuttaa niin yleis- kuin kohdevalaistuksia. LED-alasvalo upotetaan kattopaneeliin, jolloin sen kyljessä olevat kiinnitysrousset pitävät sen paikoillaan (ks. kuva 7).



Kuva 7. iGuzzinin valmistama Laser Blade XS LED-alasvalo 2 W / 170 lm [26.]

LED-alasvalojen etu on niiden pieni virrankulutus ja pitkä elinikä. Lisäksi niiden litteä rakenne ja upotettavuus tekevät niistä helposti asennettavia. LED-alasvalot kuumenevat huomattavasti vähemmän kuin perinteiset halogeenispotit, mikä mahdollistaa niiden matalanupotussyvyyden. [27.] Nykypäivänä LED-alasvaloja on myös saatavilla todella

pienissä kokoluokissa (ks. kuva 8), mikä mahdollistaa niiden asennuksen ahteisempiinkin kohteisiin.



Kuva 8. iGuzzinin valmistaman Laser Blade XS LED-allasvalon pieni kokoluokka [26.]

LED-nauhat

LED-nauhat (ks. kuva 9) ovat helposti asennettavia ja sopivat käytettäväksi useisiin eri kohteisiin, joissa halutaan luoda epäsuoraa valoa. Ne sopivat myös suoraan valaistukseen, esimerkiksi työpisteiden tai keittiön tasojen valaistukseen. [28.] LED-nauhojen lukemattomat käyttökohteet sekä helppo asennettavuus tekevät niistä erittäin suosittuja valonlähteitä.



Kuva 9. LED-nauhan useat eri värisävyt [29.]

LED-nauhoja on saatavilla useilla eri värisävyillä sekä myös RGB- tai RGBW-nauhana, jolloin käyttäjä voi itse säätää haluamansa värisävy. RGB- ja RGBW-nauhojen valon värin säätämiseen tarvitaan RGB- tai RGBW-ohjain. [29.] LED-nauhoja voidaan tyypillisesti katkoa 2,5–10cm:n välein, jolloin LED-nauhoista saadaan helposti käyttökohteeseensa sopivia pätkiä. LED-nauhat voidaan asentaa kohteeseensa liimaamalla, ruuvamalla, tarroilla tai alumiiniprofiilien avulla. Alumiiniprofiiliin avulla LED-nauha ja sen valopisteet ovat mahdollista piilottaa, jolloin näkijä ei havaitse LED-nauhaa tai sen valopisteitä mutta havaitsee sen tuottaman valon. Samalla alumiiniprofiili myös jäähdyttää ledejä sekä tasaa sen lämmöntuottoa.

LED-putket

LED-putket ovat yleistyneet hurjaa vauhtia, ja niitä käytetään pääasiassa T8-loisteputkien korvaajina G13-kantaisissa loisteputkivalaisimissa.

LED-putkia on markkinoilla lähinnä kahta tyyppiä: retrofit LED-putkia sekä LED-putki-muutossarjoja. Retrofit LED-putki (ks. kuva 10) voidaan asentaa loisteputkivalaisimeen korvaamalla olemassa oleva sytytin LED-sytyttimellä ja loisteputki LED-putkella. LED-putkien ja sytyttimien tulee täyttää niille asetetut turvallisuutta ja yhteensopivuutta koskevat vaatimukset. Retrofit asennustapaan soveltuvat valaisimet sisältävät tyypillisesti myös magneettisen virranrajoittimen eli kuristimen. Nykypäivänä käytetään myös paljon elektronisia liitäntälaitteita, jotka korvaavat kuristimen sekä sytyttimen. Uutta LED-putkea vaihtaessa tulee ottaa huomioon LED-putken yhteensopivuus valaisimeen sekä valmistajan- ja putkimallikohtaiset rajoitukset. [30.]



Kuva 10. LED-valoputki G4 [31.]

LED-putki muutossarjoissa asennus edellyttää alkuperäiselle loisteputkivalaisimelle ja sen komponentille muutostöitä, joissa vaaditaan valtuutettua sähköurakoitsijaa. Muutossarja sisältää yksityiskohtaiset asennus- ja testausohjeet sekä tarvittavat komponentit, esimerkiksi liitäntälaitteet, ohjauselektronikan, LED-putken, kiinniketarvikkeet ja johdotuksen. Muutossarja-asennuksen jälkeen valaisimen alkuperäinen valmistaja ei enää ole vastuussa valaisimen turvallisuudesta tai muista siihen liittyvistä ominaisuuksista. Muutossarja-asennuksessa pitää myös asentaa valaisimeen uudet arvokilvet, jotka määrittelevät eri muutokset mitä valaisimeen on tehty ja mitä siihen voidaan tehdä sekä kertovat asennusyrityksen tiedot. [30.]

LED-putkien suosio johtuu niiden erittäin pitkästä käyttöiästä ja korkeasta valontuotosta. Lisäksi ne ovat ympäristöystävällisiä ja ne eivät sisällä elohopeaa tai muita raskasmetalleja. LED-putkien sähkönkulutus on huomattavasti pienempi kuin perinteisten loisteputkien, joten vaihtaminen LED-putkiin maksaa itsensä takaisin nopeasti. [32.]

LED-valonheittimet

LED-valonheittimet (ks. kuva 11) ovat erittäin tehokkaita ja pitkäikäisiä valaisimia, jotka sopivat erinomaisesti esimerkiksi julkisivujen ja niiden yksityiskohtien, kuten pilareiden tai piha-alueiden valaistukseen. LED-valonheittimet kuluttavat energiaa huomattavasti vähemmän kuin perinteiset halogeeniheittimet eivätkä ne kuumene juuri ollenkaan.



Kuva 11. Meyer Lightingin valmistama Superlight Nano 1 valonheitin 3 W / 121 lm [33.]

LED-valonheitin sisältää integroidun LED-moduulin, joka syttyy välittömästi ja on erittäin kestävä. Esimerkiksi rakennustyömaaolosuhteissa perinteiset polttimot saattavat helposti rikkoutua tärinän takia. [34.] LED-valonheitin on energiatehokas ratkaisu ja säästää runsaasti sähköä. Esimerkiksi 50 watin LED-valonheitin vastaa noin 500 watin perinteistä valonheitintä. [35.]

LED-pylväsvalaisimet

Pylväsvalaisimilla voidaan valaista tehokkaasti ja näyttävästi esimerkiksi kodin pihoja tai jalkakäytäviä. Niillä voidaan luoda myös erilaisia tunnelmia sekä valaista haluttuja alueita. Nykyään LED-vaihtoehdot ovat yleistyneet myös pylväsvalaisimissa niiden energiansäästön sekä pitkän eliniän takia.

Philips Lightingin valmistama StreetSaver -pylväsvalaisin (ks. kuva 12) hyödyntää LED-teknologiaa ja se säästää jopa 70 % enemmän energiaa kuin vastaavat elohopeapohjaiset pylväsvalaisimet. StreetSaver -pylväsvalaisimen muotoilu minimoi pylväästä lähtevää häiriövaloa. [36.]



Kuva 12. Philips Lightingin StreetSaver -pylväsvalaisin [36.]

4.2 Käyttökohteet

Sisävalaistus

Ledit kehittyvät jatkuvasti, ja niiden avulla saadaan toteutettua yhä innovatiivisempia valaistusratkaisuja, joita ei voitu edes muutamia vuosia sitten kuvitella. LED-valaisimia valmistetaan nykyään jo lähes jokaisella kannalla, ja siksi ne sopivatkin korvaamaan melkein minkä tahansa perinteisen valaisimen.

LED-valaistuksen valinta sisäkäyttökohteen valaistusratkaisuksi on nykypäivänä erittäin yleistä. LED-valaisimien hyvä energiatehokkuus ja pitkä elinikä tekevät niistä todella haluttuja valaisimia. Sisävalaistuksessa LED-valoilla on lukemattomia käyttökohteita, joissa niitä voi hyödyntää. Yleisvalaistuksessa LED-ratkaisuja käytetään yhä useammin, sillä ne pystyvät korvaamaan perinteiset valonlähteet tehokkailla ja ympäristöystävällisillä ratkaisuilla. LED-valaisimia voidaan hyödyntää ja käyttää monipuolisesti esimerkiksi toimistojen, julkisten rakennuksien tai kotien yleisvalaistukseen.

Julkisissa rakennuksissa ja muissa suurissa tiloissa tärkeimpiä valoja ovat turva- ja poistumistievalot, jotka ohjaavat ihmiset ulos hädän tai muun tapaturman seurauksena. Moni turva- ja poistumisopastevalo valmistava yritys valmistaakin nykyään LED-teknologiaa hyödyntäviä valaisimia. LED-teknologian etu turvavalaisukseen tarkoitettuna valonlähteen luotettava toimivuus sekä pienempi akkukapasiteetti ja sitä kautta pienemmät akkukustannukset [37]. Muun muassa Teknoware valmistaa lukuisia turva- ja poistumisopastevalaisimia (ks. kuva 13).

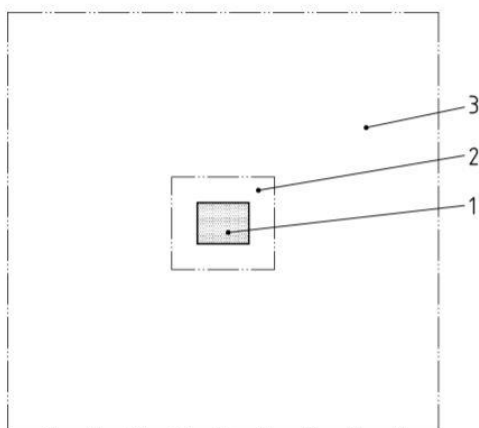


Kuva 13. Teknowaren valmistama ESCAP-opastevalaisin [38.]

LED-ratkaisuja voidaan hyödyntää myös kohdevalaistuksessa. LED-kohdevalaisimet ovat kustannustehokkaita ja niissä on monipuoliset optiikkavaihtoehdot, jotka mahdollistavat käyttökohteeseen tarvittavan valaistuksen toteuttamisen. Käyttökohteina voi olla esimerkiksi myymälät, joissa halutaan tuoda tuote kohdevalaistuksen avulla esille.

LED-valaisimet yleistyvät myös työpisteiden ja työtilojen valaistuksessa. Ne ovat valotehokkaita ja niistä saadaan tarvittaessa tuotettua todella kirkasta valoa, joka vastaa päivän valon kirkkautta. LED-valaisimet ovat silmäystävällisiä ja värinättömiä, mikä auttaa lukijaa näkemään ja keskittymään paremmin kuin esimerkiksi perinteistä loisteputkivalaisinta käytettäessä. Lisäksi nykyään LED-valaisimia on laaja valikoima eri koko- ja muotovaihtoehtoja, mikä mahdollistaa niiden asennuksen haastavampaankin kohteeseen.

Työpisteiden ja työtilojen valaistus toteutetaan yleensä hyödyntämällä epäsuoraa sekä suoraa valoa. Epäsuoran valon hyöty tulee ilmi työtilan ollessa korkea ja seinä- tai kattopintojen värin ollessa vaaleat. Toimistojen yleisvalaistuksen suositeltava valaistusvoimakkuus on 300 luksia ja työpisteiden 500 luksia. [39.] SFS-EN 12464-1 standardissa on määritelty työalueelle ja sen välittömälle ympäristölle omat valaistusvoimakkuusvaatimuksensa. Kuvassa 14 on SFS-EN 12464-1 standardin määrittelemät työalueiden ja sen ympäristön mitat. Kuvassa 14 oleva alue 1 kuvaa työaluetta, alue 2 kuvaa työalueen välitöntä lähiympäristöä ja alue 3 kuvaa tausta-aluetta. Työalueen välitön lähiympäristö on vähintään 0,5 metriä leveä vyöhyke näkökentässä työalueen ympärillä. Tausta-alue on vähintään 3 metriä leveä välitöntä lähiympäristöä ympäröivä vyöhyke tilan asettamissa rajoissa. [17, s. 20.]



Kuva 14. Työalueen, välittömän lähiympäristön sekä tausta-alueen määrittäminen [17, s. 20.]

Valaistusvoimakkuuden eri vaihtelut saattavat aiheuttaa käyttäjälle silmien väsymistä ja epämukavuuden tunnetta. Tämän vuoksi välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuden tulee olla suhteessa työalueen valaistusvoimakkuuteen, jolloin pyritään saamaan aikaan tasapainoinen luminanssijakauma näkökentässä. Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus voi olla alhaisempi kuin työalueen valaistusvoimakkuus, mutta se ei saa alittaa taulukossa 3 asetettuja arvoja. [17, s. 20.]

Taulukko 3. Työalueen ja välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuksien suhde [17, s. 20.]

Työalueen valaistusvoimakkuus E_{task} lx	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus lx
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	E_{task}
100	E_{task}
≤ 50	E_{task}

Tausta-alueen valaistusvoimakkuuden tulee olla 1/3 osaa välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuudesta. Tämän avulla saadaan näkökentän luminanssijakaumaa parannettua. Välittömän lähiympäristön sekä tausta-alueen koko ja sijainti tulisi määrittää ja dokumentoida. Valaistusvoimakkuuden tasaisuus U_0 -arvo määrittää tilan valaistusvoimakkuuden minimin suhteena tilan keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen. Keinova-lolla tai kattoikkunoilla valaistaessa valaistusvoimakkuuden tasaisuuden tulee olla $U_0 \geq 0,4$ välittömässä lähiympäristössä ja $U_0 \geq 0,1$ tausta-alueella. [17, s. 22.]

Ulkovalaistus

Ulkovalaistuksessa on tärkeää luoda valaistus, joka mahdollistaa kohteiden selkeän näkemisen. Lisäksi ulkovalaistuksilla luodaan turvallisuutta niin henkilö- kuin tieliikennekäytöissä. Ulkovalaistuksen käyttökohteita ovat esimerkiksi rakennusten julkisivut, ajotiet ja kulkuväylät, paikoitusalueet sekä asuinrakennuksien pihat (ks. kuva 15). LED-teknologia kehittyy jatkuvasti, ja LED-valaisimet soveltuvatkin monenlaisiin eri käyttötarkoituksiin niiden kestävyden takia. [40.]



Kuva 15. LED-valaistuksella toteutettu katuvalaistus [41.]

Uusien LED-valaisimien avulla voidaan säästää energiakuluissa huomattavasti perinteisiä valaisimia enemmän. Esimerkiksi paikoitushalleissa voidaan saada parempilaatuinen valaistus (ks. kuva 16), joka kuluttaa vähemmän energiaa vaihtamalla purkauslamppuvalaisimet LED-valaisimiksi. LED-valaisimien pitkä elinkaari ja ohjaustoimivuus tekevät niistä kovan kilpailijan perinteisille monimetalli- ja purkauslamppuille. [40.] Lisäksi LED-valaisimet syttyvät välittömästi, kun taas monimetalli- tai purkauslamppuilla syttyminen voi kestää 2–3 minuuttia.



Kuva 16. Helsingin Merihaan parkkihallin vanhoja loisteputkivalaisimia korvataan LED-valaisimilla [42].

5 LED-valaistus ja sen valintaan vaikuttavat tekijät

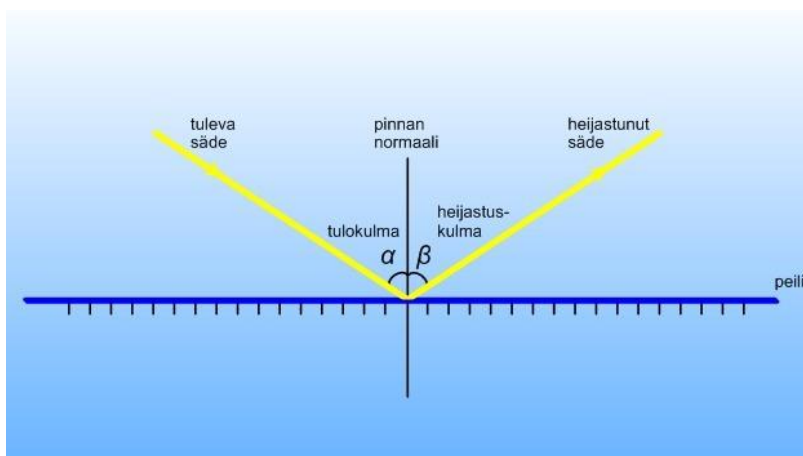
Tässä luvussa tutkitaan LED-valaistusta ja sen valintaan vaikuttavia tekijöitä. Myös tutkitaan LED-valaisimien eri ominaisuuksia sekä niiden toimintaa.

Sähkösuunnittelussa on tärkeää valita oikeanlaiset valaisimet, jotta saadaan haluttuun käyttökohteeseen riittävä ja tarkoituksenmukainen valaistus. LED-valaisinvalmistajia ja jälleenmyyjiä on markkinoilla lukemattomia määriä, minkä vuoksi oikeiden valaisimien valinta voi olla hankalaa. Hinta- ja laatuero vaihtelevat eri valmistajilla, jonka vuoksi sähkösuunnittelijan on valaisimia valittaessa otettava huomioon monia eri kriteereitä.

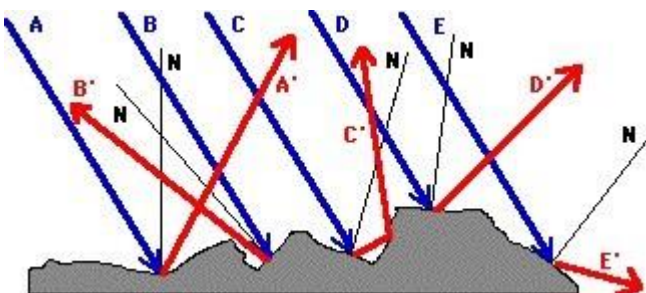
5.1 Käyttötarkoitus ja siihen vaikuttavat tekijät

Sähkösuunnittelijan valitessa LED-valaisimia on tärkeää tietää, mihin käyttötarkoitukseen ja kohteeseen valaisimet tulevat. Käyttökohteissa on useimmiten valaistuksen laatuun vaikuttavia tekijöitä, kuten tilan koko, kalustukset, pintamateriaalit tai käyttöolosuhteet.

Pintamateriaalit vaikuttavat merkittävästi valaistuksen laatuun. Pintamateriaaleja on lukuisia eri vaihtoehtoja, joten niiden heijastustavat ja heijastuskertoimet vaihtelevat. Valon heijastumista epätasaiselta pinnalta kutsutaan hajaheijastumiseksi (ks. kuva 18). Tämänlaisia pintoja ovat esimerkiksi tavalliset seinämaalit. Toiset pinnat voivat olla taas hyvin suuntaheijastavia, kuten metalli, lasi tai peilipinnat. Tämänlaisissa tasaisissa pinoissa valo noudattaa heijastuslakia (ks. kuva 17), eli valon tulokulma on yhtä suuri kuin heijastuskulma. Myös kohteiden kiinteät ja siirrettävät kalustukset sekä muut kattoihin tulevat asennukset vaikuttavat merkittävästi kohteen valaistuksen laatuun ja toimivuuteen. [3, s. 4.]



Kuva 17. Valontulokulma on yhtä suuri kuin heijastuskulma, heijastuslaki [43.]



Kuva 18. Valon hajaheijastuminen epätasaiselta pinnalta [43.]

Yksi merkittävästä valaistuksen laatuun vaikuttavista tekijöistä on päivänvalo. Se luo monia eri käyttömahdollisuuksia eri valaistusratkaisuihin. Päivänvalossa nähdään erinomaisesti ja se toistaa värit hyvin. Standardin SFS-EN 12464-1 mukaan päivänvalon avulla voidaan toteuttaa työpisteen valaistus kokonaan tai osittaisesti. Päivänvalon hyödyntäminen valaistusratkaisuna on energia- ja ihmisystävällinen ratkaisu, joka kuitenkin tuo omat haasteensa rajallisen käyttöaikansa sekä kirkkautensa vuoksi.

Sähkösuunnittelijan kannalta on tärkeää huomioida käyttäjien ja käyttökohteiden tarpeet. Valaistuksen ensisijainen tehtävä on luoda riittävästi hyvänlaatuista valoa tilaan tai kohteeseen. Riittävän valaistuksen ansiosta tilassa tai kohteessa voidaan työskennellä täsmällisesti ja turvallisesti. Valaistuksella voidaan luoda myös tunnelmaa tilaan tai valaista haluttu käyttökohde riittävästi hyvin. Sähkösuunnittelijan valitessa LED-valaisimia, on ensimmäiseksi tiedettävä käytettävä kohde, johon valaisimia ollaan suunnittelemassa.

Tämän jälkeen suunnittelija voi alkaa tekemään valaistuslaskelmia sekä vertailemaan eri valaisimia, jotka sopisivat suunniteltavaan kohteeseensa.

5.2 Asennettavuus

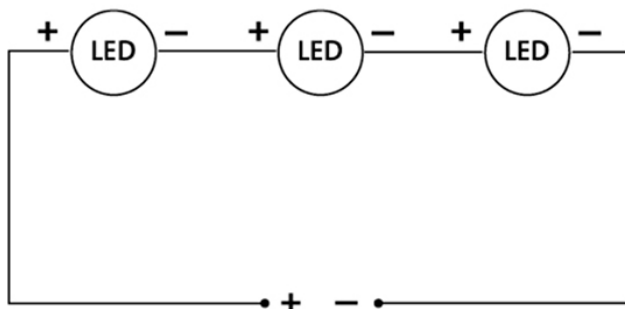
LED-valaisimia valittaessa on kiinnitettävä huomiota niiden asennettavuuteen ja asennustapaan. LED-valaisimia on monia, ja niitä voidaan asentaa haluttuun käyttökohteeseen monella eri tavalla. Suunnittelijan on kiinnitettävä huomiota valaisimen yhteensopivuuteen suunniteltuun kohteeseensa ja että se on helposti ja turvallisesti asennettavissa. Esimerkiksi jos kohteeseen valitaan uppoasennettava LED-alasvalo, niin on syytä huomioida valaisimen vaatima tila asennuskohteeseen. Osassa LED-valaisimissa on integroitu liitäntälaitte ja osa valaisimista tarvitsevat erillisen liitäntälaitteen, joten liitäntälaitteen vaatima käyttötila on myös huomioitava. Myös uppoasennettavien valaisimien jäähtymykselle on huomioitava riittävä käyttötila.

Ledien ja LED-moduulien käyttöön tarvitaan liitäntälaitteita (ks. kuvat 21 ja 22), jotka muuttavat verkosta saadun 230 voltin (V) jännitteen LED-komponenteille sopivaksi jännitteeksi. Joissakin LED-valaisimissa voi olla sisäänrakennettu liitäntälaitte, jolloin ne voidaan suoraan kytkeä verkkojännitteeseen. Liitäntälaitteilla on monia ohjaustapoja, kuten DALI, DMX, HF, vaihehimmennys tai 1-10V himmennys. Sähkösuunnittelijan tulee huomioida LED-valaisimien mahdolliset liitäntälaitteet ja niiden vaatiman asennustilan sekä liitäntälaitteen soveltuvuuden LED-sovelluksille. Useimmat liitäntälaitteet sisältävät SELV-suojajännitepiirin (Safety Extra Low Voltage), jolloin valaisinta tai LED-moduuleja ei tarvitse suojata kosketukselta. [44.] Sähkösuunnittelijan on huomioitava liitäntälaitteen yhteensopivuus LED-valaisimen kanssa, sillä väärin asennettu tai valittu liitäntälaitte voi mahdollisesti rikkoa LED-valaisimen.

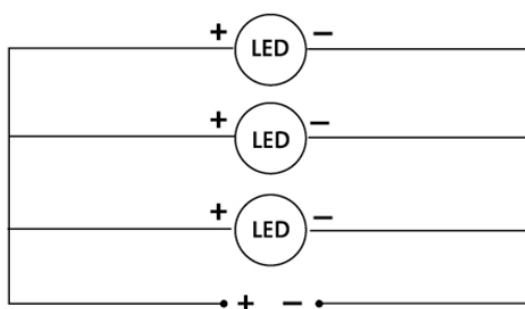
Ledien toimintaa kuvataan Fagerhultin verkkosivujen LED-osiossa seuraavasti:

Ledit toimivat pääasiassa kahdella tavalla – vakiovirralla tai vakiojännitteellä (ks. kuvat 19 ja 20). Vakiovirtakäytössä loistediodeille syötetään vakiovirtaa, jonka suuruus on tavallisesti 350, 500, 700 tai 1050 milliampeeria (mA). Ledit kytetään liitäntälaitteeseen (vakiovirtalähteeseen) sarjana, ja piirin jännite riippuu sarjaan kytkettyjen ledien määrästä. Kussakin ledissä on kynnsjännite, ja sarjakytkennässä ledien kynnsjännitteet lasketaan yhteen. Vakiojännitettä käytetään yleensä paljon ledejä sisältävissä LED-tuotteissa, kuten LED-listoissa tai valoviivan tuottavissa

LED-tuotteissa. Vakiojännitteen suuruus on yleensä 8, 10, 12, 24 tai 48 voltia (VDC). Useita LED-tuotteita voidaan kytkeä rinnan samaan liitäntälaitteeseen (vakiojännitelähteeseen), mikäli se kestää liitetyn kuormituksen. Kyseisessä menetelmässä on huomioitava johdinten aiheuttama jännitehäviö, joka on samaa suuruusluokkaa kuin perinteisissä pienjännitejärjestelmissä. [44.]



Kuva 19. Ledien kytkentä vakiovirtalähteeseen sarjakytkennällä [44.]

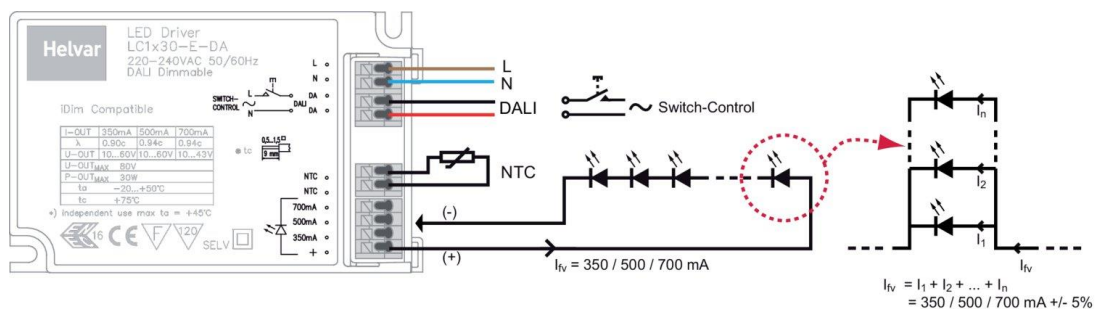


Kuva 20. Ledien kytkentä vakiojännitelähteeseen rinnankytkennällä [44.]

LED-valaisimien kaapelointiin ja liitäntätapaan on myös kiinnitettävä erityishuomiota. Valaisinvalmistajat ilmoittavat tuotteidensa asennusohjeet ja muut asennukseen liittyvät tarpeelliset tiedot, joiden avulla saadaan selville, voidaanko esimerkiksi valaisinta ketjuttaa, sisältääkö valaisin kytkentäkotelon ja virtalähteen sekä niiden tarvitseman asennustilan. Sähkösuunnittelijan täytyy myös kiinnittää huomiota valaisimen sijaintiin ja siihen, että sen kaapeloinnille löytyy sopiva reitti.



Kuva 21. Helvarin valmistama 30 watin DALI-säädettävä LED-liitäntälaitte [45.]



Kuva 22. Helvarin valmistaman 30 watin LED-liitäntälaitteen kytkentäohje [45.]

5.3 Tekniset tiedot

LED-valaisimia verrattaessa ja valittaessa, on tärkeää huomioida valaisinvalmistajien tai jälleenmyyjien ilmoittamat valaisimen asennusohjeet sekä tekniset tiedot. Valaisimien tuote- ja tekniset tiedot sisältävät lukuisia eri sähkö- tai valoteknillisiä ominaisuuksia sekä muita valaisimeen liittyviä tarpeellisia tietoja. Näiden tietojen perusteella sähkösuunnittelija voi vertailla eri valmistajien tai toimittajien valaisimia, ja päätyä suunnittelemaansa käyttökohteen parhaimpaan mahdolliseen ratkaisuun.

Valaisimen wattimäärä (W) kuvaa energiankulutusta, eikä se ilmoita, kuinka paljon valoa valaisin tuottaa. Valovirran yksikkö on lumen (lm), ja se ilmoittaa, kuinka paljon valaisin tuottaa valoa. Luumenarvon avulla sähkösuunnittelija voi verrata eri valaisimien tuottamia valonmääriä ja arvioida, kuinka paljon valoa tarvitsee suunnittelemaansa käyttökohteeseen (ks. taulukko 4). Valotehokkuus taas ilmaisee valaisimesta saadun valomäärän suhteessa käytettyyn tehoon. Valotehokkuuden yksikkö on lumen per watti (lm/W) ja se ilmoittaa kuinka energiatehokas valaisin on. Valotehokkuusarvossa on otettu huomioon itse valaisimen, valonlähteen sekä liitäntälaitteen teho. Kuitenkin huomioitavaa tässä on, että valaisinvalmistajien tai jälleenmyyjien ilmoittama valotehokkuusarvo saattaa kuvata vain valaisimen valonlähteen valotehokkuutta, eikä koko valaisimen. Valaisinvalmistajat voivat myös ilmoittaa valaisimen valotehokkuuden koko valaisimen hyötysuhdearvona. Mitä korkeampi on valaisimen valotehokkuus, sitä energiatehokkaampi se on [46]. Jos valaisinvalmistajilla tai jälleenmyyjillä on puutteellisia tietoja joistakin valaisimista, niin valaistuslaskennassa sähkösuunnittelija saa nämä puuttuvat arvot selvitettyä.

Taulukko 4. Eri valonlähteiden energiankulutusvertailu [46.]

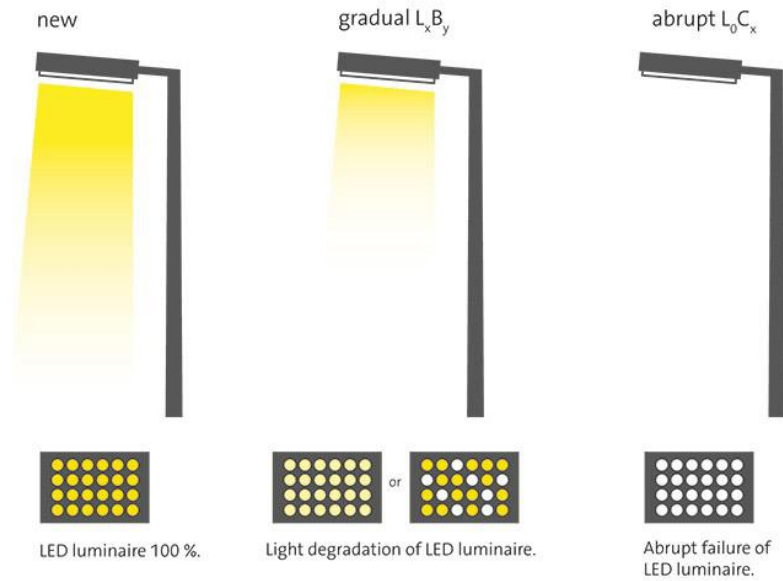
Valon määrä (lumen)	Hehkulamppu	Energiansäästölamppu	LED-lamppu
230 lm	25 W	5-9 W	4 W
430 lm	40 W	9-12 W	5-6 W
710 lm	60 W	13-15 W	
960 lm	75 W	16-21 W	8-9 W
1380 lm	100 W	23-25 W	

Valaisimien tuotetiedoissa ilmoitetaan myös niiden rakenteellisia ominaisuuksia. Tärkeää on tietää esimerkiksi valaisimen rakenteelliset mitat, jolloin tiedetään, sopiiko valaisin haluttuun asennuskohteeseen. Myös suojausluokan tieto on tärkeää tietoa valittaessa valaisinta, jolloin tiedetään, voiko valaisinta asentaa esimerkiksi kosteisiin tai muihin suojausta vaativiin olosuhteisiin. Joillakin erikoisvaatimuksia vaativilla LED-valaisimilla voi olla niin sanottu kaksoisluokitus. Tällöin valaisimelle on annettu esimerkiksi suojausluokaksi IP55 alhaalta ja IP20 ylhäältä. Tämä tarkoittaa, että valaisin on IP55 luokan mukaan suojattu alasuunnasta ja IP20 luokan mukaan suojattu yläsuunnasta.

Esimerkiksi ulkokatoksiin ei voida asentaa valaisinta, jonka suojausluokka on ylhäältä IP20. Tuotetiedoissa myös ilmoitetaan valaisimen väri, valmistusmateriaali, paino sekä asennustapa. Näillä tiedoilla sähkösuunnittelijan on helppo päätellä, soveltuuko valaisin suunnittelemaansa asennuskohteeseen.

Ledien yksi suurimmista eduista on niiden pitkä elinikä. Sähkösuunnittelijan on otettava huomioon monia eri asioita liittyen LED-valaisimien elinikään. LED-valaisimen elinikään vaikuttavia tekijöitä on esimerkiksi valaisimen malli ja tyyppi, valaisimen rakenne, liitäntälaitteet, jäähtyminen sekä käyttöolosuhteet. Jotkut valaisinvalmistajat tai jälleenmyyjät saattavat ilmoittaa LED-valaisimen käyttöiän vain tuntimääränä (h), jolloin sähkösuunnittelija ei saa tarkkaa arviota LED-valaisimen eliniästä. Kuitenkin useiden uusien LED-valaisimien elinikä ilmoitetaan uusiempien kansainvälisten standardien mukaan kahdella arvolla, joista toinen on LED-moduulin elinikä ja toinen on LED-liitäntälaitteen elinikä. LED-valaisimen elinikää arvioitaessa tai määrittäessä on nämä molemmat arvot syytä ottaa huomioon [47]. LED-moduulin elinikä ilmoitetaan merkinnällä L70, L80 tai L90 (ks. kuva 23). L-arvo kuvaa prosentuaalista valovirran määrää, verrattuna uuden valaisimen valovirran määrään ilmoitetun ajanjakson jälkeen. L-arvon lisäksi ilmoitetaan myös B- tai C-arvo. B-arvo on vikaantumiskerroin, joka kuvaa ilmoitetun L-arvon vaihtelua. B-arvo ei ilmoita LED-moduulien täydellisestä vikaantumisesta. Täydellisen vikaantumisen eli lampun sammumisen ilmoittaa C-arvo. C-arvoa ei useimmissa sisätiloihin asennettavissa valaisimissa ilmoiteta, sillä sen arvo on todella alhainen. L-, B- ja C-arvon lisäksi on myös F-arvo. F-arvo kuvaa vikaantumistekijöiden yhdistelmää, ja se koostuu osittaisesta B- ja C-arvon yhdistelmästä. [48.]

Esimerkiksi merkinnästä L₈₀ B₂₀ C₁₀ 50 000 h saadaan selville, että 50 000 tunnin kuluttua LED-moduulien alkuperäisestä valovirrasta on jäljellä 80 prosenttia. B-arvo kertoo taas, että 50 000 tunnin kuluttua korkeintaan 20 prosentissa LED-moduuleja valovirran määrä on enintään 80 prosenttia ja lopuissa 80 prosentissa LED-moduuleja valovirran määrä on yli 80 prosenttia. C-arvosta saadaan selville, että 50 000 tunnin jälkeen 10 prosenttia LED-moduuleista on täysin sammunut. Optimaalinen elinikä ilmoitettaisiin merkinnällä L₁₀₀ B₀ C₀, mikä ei ole käytännössä mahdollista.



Kuva 23. B- ja C-arvon havainnollistaminen. C-arvossa huomioidaan vain kaikki täysin sammuneet yksiköt [48.]

LED-moduulien liitännälaitteiden elinikä riippuu niiden käytetyistä elektronisista komponenteista, rakenteesta sekä käyttölämpötilasta. Liitännälaitteille ilmoitetaan mittauspisteen lämpötila-arvo t_c -arvo, jonka lämpötila ei saa koskaan ylittää valmistajan ilmoittamaa lämpötila-arvoa. Liitännälaitteiden eliniät ilmoitetaan useimmiten esimerkiksi merkinnällä 50 000 tuntia (h) / 10 prosenttia (%) (ks. taulukko 5) [48]. Tämä kertoo sen, että 50 000 tunnin kuluttua enintään 10 prosenttia liitännälaitteista on vioittunut.

Taulukko 5. Fagerhultin LED-valaisimen valoteknisiä tietoja [49.]

Valotekniset tiedot	
Valovirta, lm	2357
lm/W	107
Valovirran alenema L90 B50, h	50 000
Liitännälaitteen elinikä, h/maks. Vikaantuminen	100 000/10 %

L-arvo on merkitsevä, ja se on suoraan verrannollinen valaistuksen huoltokertoimeen MF (Maintenance Factor) valaistuslaskelmissa. Sähkösuunnittelijan tehtävä on määrittää huoltokerroin valaistuslaskelmiin. Huoltokertoimeen vaikuttaa monta eri valaistukseen liittyvää tekijää. Valaistuksen huoltokerroin MF määritellään kansainvälisen valaistuskomission CIE:n standardissa 97/2005 ja koostuu seuraavista parametreista kaavan 2 mukaisesti.

$$MF = LLMF * LSF * LMF * RSMF \quad (2)$$

- LLMF on valonlähteen valovirran pysyvyyskerroin eli valovirran alenema (Lamp Lumen Maintenance Factor). Käytännössä sama kuin L-arvo.
- LSF on valonlähteen eloonjäämiskerroin (Lamp Survival Factor). LSF-arvo voidaan jättää huomiotta huoltokertoimen määrittämisessä, jos rikkoontuneet valaisimet vaihdetaan välittömästi.
- LMF on valaisimen valovirran alenema (Luminaire Maintenance Factor). LMF-arvo on riippuvainen valaisintyypistä, käyttöympäristön puhtaudesta sekä valaisimen puhdistusvälistä. Puhtaissa sisävalaistuksen tiloissa käytetään arvoja 0,93–0,98.
- RSMF on huonepintojen likaantumiskerroin (Room Surface Maintenance Factor). RSMF-arvot ovat riippuvaisia käyttöympäristön puhtaudesta, huoneen pintojen heijastuskertoimista, valaistustavasta sekä huoneen pintojen puhdistusvälistä. Puhtaissa sisävalaistuksen tiloissa käytetään arvoja 0,95–0,97. [47.]

Esimerkkinä on toimistotila, johon on toteutettu valaistus LED-valaisimilla. LED-valaisimen eliniäksi on ilmoitettu $L_{90} = 50\,000$ tuntia (h) $T_A = 25\,^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa. Toimistotila on puhtas, ja tilan pintojen heijastuskertoimet ovat 70, 50 ja 20. Valaisimet puhdistetaan kaksi kertaa vuodessa. Nykyisellä huoltomenetelmällä lamput vaihdetaan heti, kun ne sammuvat, joten LSF saa arvoksi 1. Näin ollen kaavan 2 mukaan saadaan valaistuksen huoltokertoimeksi: $MF = LLMF * LSF * LMF * RSMF = 0,7 * 1 * 0,96 * 0,96 = 0,65$. [47.]

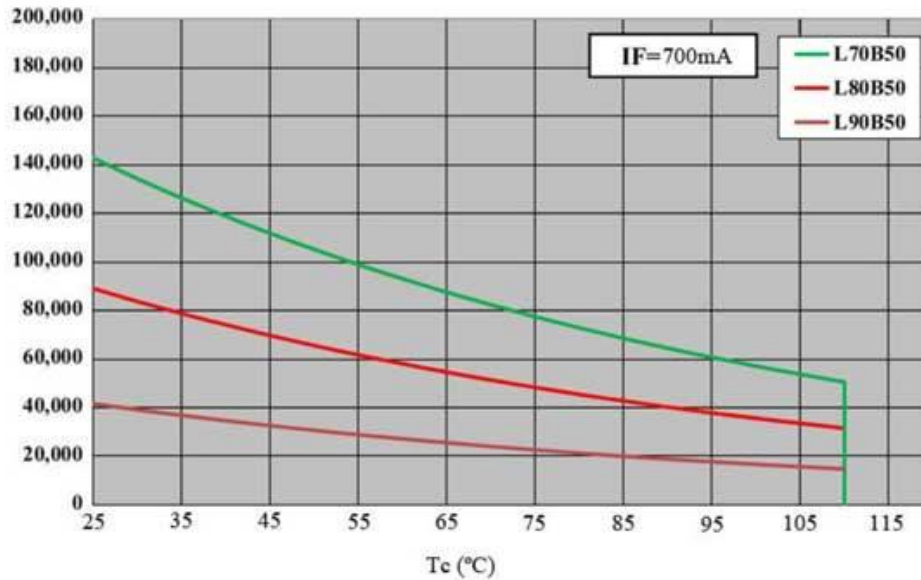
Yksi suurimmista LED-valaisimien elinikään vaikuttavista tekijöistä on sen käyttöolosuhteet. Ympäristön lämpötilan noustessa myös ledien sisäinen lämpötila nousee. Ledin sisäisen lämpötilan ollessa korkea, sen sininen siru ja fosforikerros rappeutuvat mikä aiheuttaa valon heikkenemistä [20, s. 6]. Lämpötilan noustessa $10\,^{\circ}\text{C}$ LED-valaisimen elinikä vähenee jopa puolella (ks. taulukko 6). Kuitenkin kaikkiin LED-valaisimiin tämä ei päde, vaikka niidenkin elinikä lyhenee lämpötilan noustessa.

Korkeat lämpötilat tuovat haasteita LED-valaisimille esimerkiksi konesaleissa tai tiloissa, joissa valaisin on asennettu ripustettuna lämmityspaneelin alapuolelle. Lämmityspaneelit voidaan tyypillisesti asentaa seinään tai kattorakenteeseen. Lämmityspaneelilla voidaan tuottaa lämpöä eri alueisiin tai huoneisiin. Varsinkin kattorakenteissa sijaitsevat lämmityspaneelit voivat tuottaa haasteita LED-valaisimille. Lämmityspaneelin avulla voidaan tuottaa tasainen lämpötila huoneeseen, kuitenkin paneelin pinnan lämpötila on merkittävästi korkeampi kuin huoneen lämpötila. Tällöin lämmityspaneelien läheisyyteen sijoitettuihin LED-valaisimiin voi kohdistua todella korkea lämpötila, mikä vaikuttaa niiden elinikään. Haasteita tuovat lämmityspaneelien ja LED-valaisimien keskinäiset sijoittelut, kun tilaan halutaan tuottaa lämpöä sekä mahdollisimman pitkäikäinen valaistus. Suunnittelijan on tärkeä huomioida valaisimien ja lämmityspaneelien sijainnit, jolloin saadaan aikaan mahdollisimman optimaalinen ratkaisu.

Konesalit ovat tiloja, jotka sisältävät esimerkiksi yrityksen tai rakennuksen IT-järjestelmiä. Tämänlaisia järjestelmiä voi olla esimerkiksi palvelintietokoneet ja tietoliikennejärjestelmät sekä niiden ohjausjärjestelmät. Konesalit sisältävät tyypillisesti monia eri IT-järjestelmiä, jotka voivat kuluttaa useita megawatteja sähköä. Nykypäivänä konesaleja pyritään jäähdyttämään tehokkaasti. Konesalin jäähdytys kuluttaa tyypillisesti 30 – 50 prosenttia sen käyttämästä sähköstä. Konesalien korkeat lämpötilat tuovat haasteita LED-valaisimille, sillä ne vaikuttavat ledien elinikään. Nykypäivänä konesaleja jäähdytetään runsaasti, jolloin niiden energiankulutus kasvaa ja tilat viilenevät. Viileämmät tilat sopivat paremmin LED-valaisimille, jolloin lämpötila ei vaikuta niiden elinikään alentavasti. Kuitenkin nykypäivänä konesaleihin halutaan rakentaa mahdollisimman energiatehokkaat järjestelmät. Esimerkiksi jäähdytystä vähennettäessä tilan lämpötila nousee ja sen aiheuttamaa hukkalämpöä pyritäänkin hyödyntämään. Energiatehokkaat ratkaisut saattavat nostaa konesalien lämpötilaa, mikä vaikuttaa merkittävästi LED-valaisimien elinikään. [50.]

Myös ledin läpi kulkeva virta vaikuttaa sen elinikään. Sähkövirran noustessa myös ledin sisäinen lämpötila nousee, mikä aiheuttaa sen eliniän heikkenemistä. Tämän vuoksi ledien lämmönhallinta on erittäin suuressa osassa sen elinikään vaikuttavissa tekijöissä. LED-valaisimien jäähdytys tapahtuu jäähdytyslementin avulla, jonka koko ja malli vaikuttavat ledin elinikään. [20, s. 6.]

Taulukko 6. LED-moduulin elinikäennuste [51.]

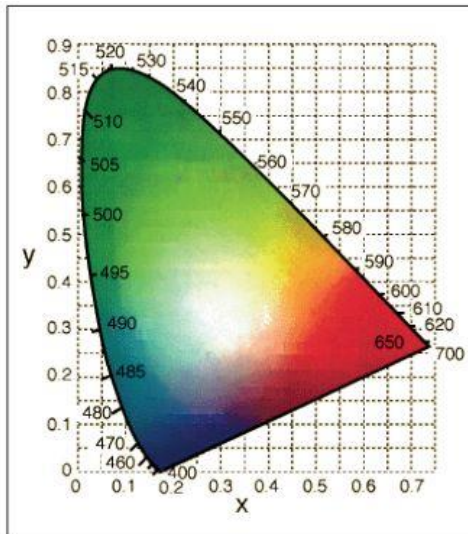


Perinteisten valaisimien tavoin myös LED-valaisimien väriominaisuuksia ilmoitetaan valaisimien teknisissä tiedoissa. Sähkösuunnittelijan on tärkeä kiinnittää huomiota valaisimen tuottaman valon värin laatuun ja ominaisuuksiin, jolloin voidaan toteuttaa suunniteltuun kohteeseen riittävä ja tehokas valaistusratkaisu. Tyypillisimmät merkinnät, jotka ilmoitetaan tuotetiedoissa ovat värilämpötila, yleinen värintoistoindeksi R_A (CRI) ja MacAdam-ellipsit (SDCM).

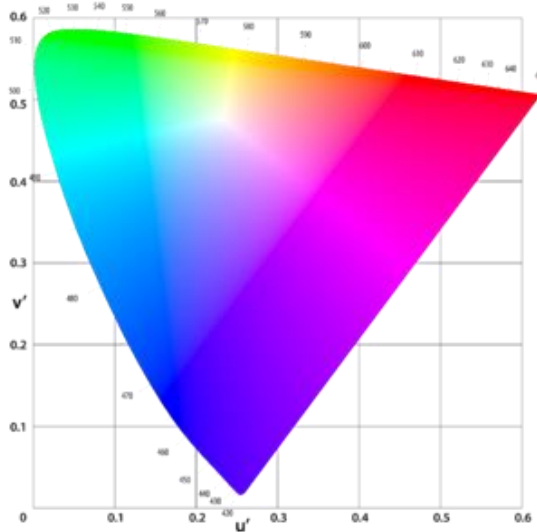
Värilämpötila ilmoitetaan kelvineinä (K) ja ne kuvaavat valon värisävyä. Lampuilla värilämpötilat ovat tyypillisesti välillä 2500–6500 kelviniä. Perinteisen hehkulampun värilämpötila on noin 2700 kelviniä, kun taas LED-lampuilla värilämpötilat ovat 2700–6500 kelviniä. Mitä suurempi Kelvin-arvo on, sitä sinisempää eli kylmempää valo on. Asuinkiinteistöissä käytetään useimmin matalamman lämpötilan lamppeja, kun taas korkeamman lämpötilan lamppeja käytetään esimerkiksi julkisissa tiloissa tai kohteissa, joissa halutaan luoda päivänvaloa vastaava tunnelma. [52.]

Valon eri värit voidaan kuvata värikoordinaattien avulla yhtenä pisteenä väriavaruudessa. Yleisimmät väriavaruudet ovat xy-väriavaruus (ks. kuva 24) vuodelta 1931 sekä

uv-väriavaruus (ks. kuva 25) vuodelta 1976. Nämä väriavaruudet on valmistanut kansainvälinen valaistuskomissio CIE. [1, s. 2.]



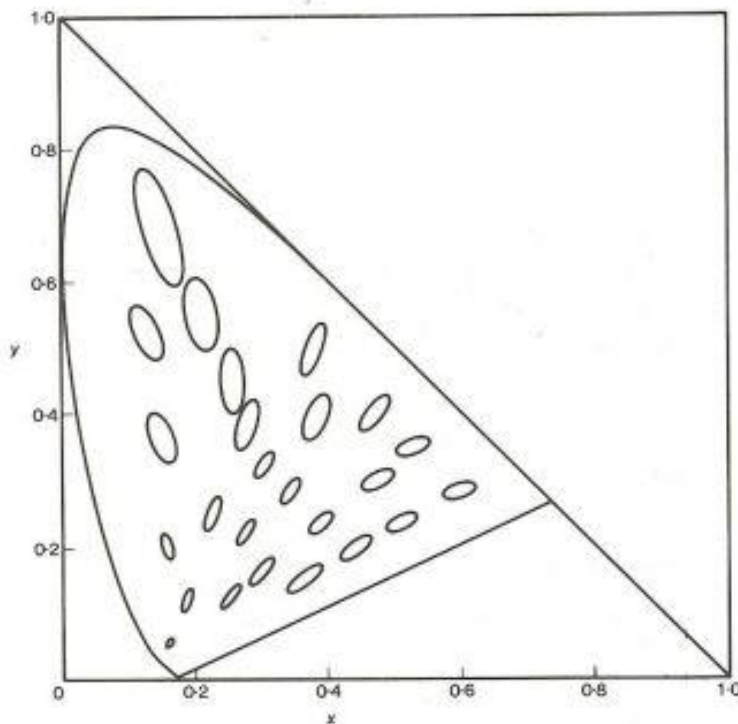
Kuva 24. Vuoden 1931 xy-väriavaruus [1, s. 3.]



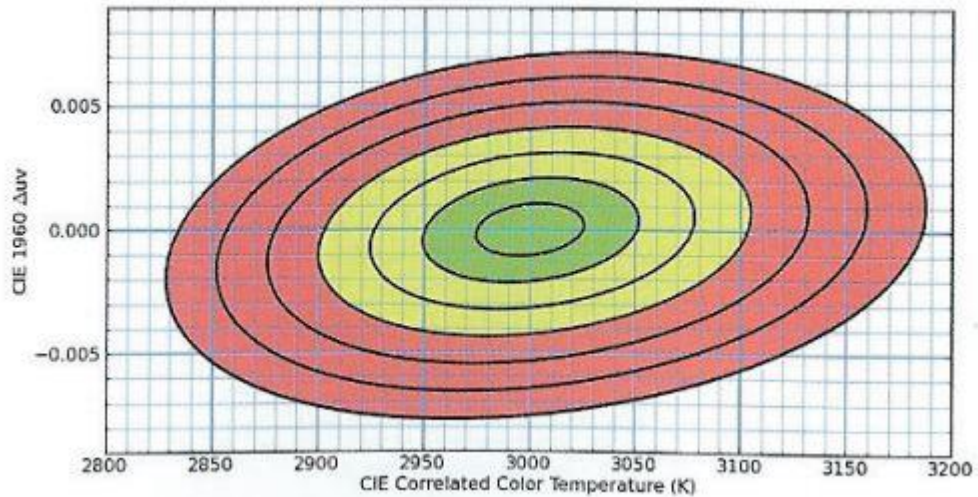
Kuva 25. Vuoden 1976 uv-väriavaruus [53.]

Eri valonlähteiden värierovaisuuksia voidaan tarkastella värikoordinaattien erojen avulla. Koska väriavaruudet eivät ole tasajakoisia, samanlaisten värierojen muutokset näkyvät erilaisina eri kohdissa ja eri suunnissa väriavaruutta. Samansuuruisista värierovaisuuksista eri suuntiin piirretty raja-arvokäyrä näkyy väriavaruudessa ellipsin muotoisena kuviona. Ellipsit perustuvat David MacAdamin tekemään työhön vuonna

1942. Tästä ellipsit ovat saaneet nimityksen MacAdamin ellipsit (ks. kuvat 26 ja 27) tai SDCM-ellipsit (Standard Deviation of Colour Matching) [1, s. 2]. MacAdam halusi selvittää väriavaruuteen piirtämiensä ellipsien avulla, kuinka herkästi ihminen havaitsee eron kahden eri värin välillä liikuttaessa värikoordinaatistossa x- ja y-suunnassa. Ellipsillä on eri kokoja, ja ne vastaavat keskihajontaa, eli ne kuvaavat sitä todennäköisyyttä, millä osa ihmisistä havaitsee värieron [54]. Esimerkiksi valaisimelle ilmoitettu arvo MacAdam SDCM = 3 kertoo ellipsin suuruuden, eli kuinka suurta poikkeamaa nimellisestä värilämpötilasta voidaan odottaa. Mitä suurempi MacAdam SDCM -arvo, sitä enemmän hajontaa esiintyy ja sitä todennäköisemmin ihminen havaitsee värieron. Värieroavaisuuksia ei havaita MacAdamin SDCM -arvoilla 1–3, mutta arvon 3 jälkeen värieroavaisuudet havaitaan helposti ja ne saattavat aiheuttaa häiriötä. Suurimmat häiriöt ja ongelmat tulevat esiin, kun valaistava pinta on valkoinen tai kun ledejä on sijoitettu nauhana lähelle valkoista pintaa. Hyväksyttäviä MacAdam SDCM -arvoja sisävalaistuksessa ovat tyypillisesti 1–3 ja ulkovalaistuksessa arvoksi soveltuu MacAdam SDCM -arvo 5. [55.]



Kuva 26. MacAdamin ellipsit kymmenkertaisesti suurennettuna CIE:n xy-väriavaruudessa [56.]



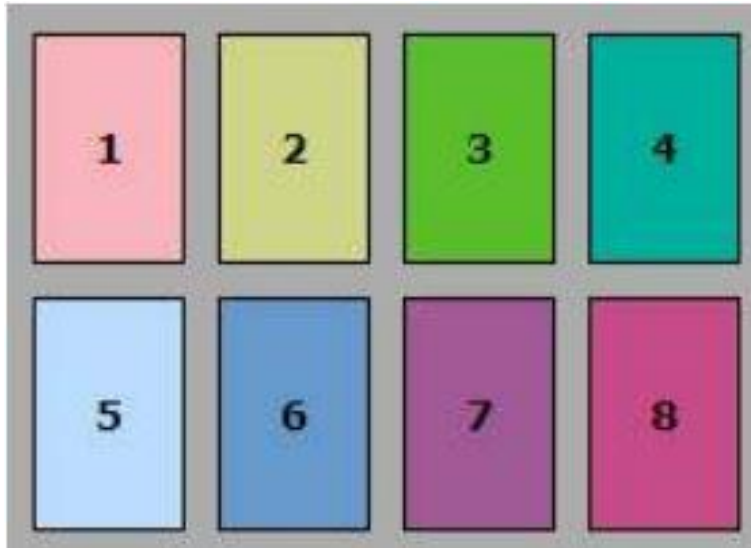
Kuva 27. 3000 kelvinin kohdalla esitetty SDCM-ellipsit [1, s. 3.]

Värintoistoindeksi R_A (CRI) on yleinen CIE:n värintoistoindeksi ja se kuvaa kuinka hyvin valonlähde toistaa värejä. R_A -indeksi saa arvoja välillä 0–100 ja on tyypillisesti 60–95 (ks. kuva 30). Sisätilojen työkohteiden valaistuksen R_A -vaatimukset määritellään standardissa SFS-EN 12464-1. Esimerkiksi toimistojen työskentelytilojen valaistuksen R_A -arvo (ks. taulukko 7) tulee olla vähintään 80. [1, s. 3.]

Taulukko 7. SFS-EN 12464-1 mukaiset valaistusvaatimukset toimistotiloissa [17.]

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	

R_A -indeksissä on kahdeksan standardisoitua testiväriä (ks. kuva 28), joiden pistettä verrataan vertailuvalossa saatavaan väripisteeseen, ja se kuvaa vain sitä, kuinka lähellä tutkittavan valon värintoisto on vertailuvalonlähdettä. [1, s. 3.]



Kuva 28. CRI-värintoistoindeksin standardisoidut testivärit R1-R8 [56.]

R_A -indeksin suppean värivalikoiman vuoksi on kehitetty muitakin testivärejä (R9–R15). Nämä testivärit (ks. kuva 29) ovat kuitenkin standardisoimattomia eikä niitä käytetä värintoistoindeksin R_A laskennassa. Testivärejä R9–R15 käytetään muun muassa elintarvikkeiden, vaatteiden, taideteosten ja maalausten, sisustusmateriaalien sekä sairaalateollisuuden valaisuun liittyvissä sovelluksissa. [57.]

Color Samples for R9-R15



Kuva 29. Standardisoimattomat lisävärit R9-R15 [58].

Koodi	CRI-vaihteluväli	Värintoisto-ominaisuudet
6	57 – 66	huono
7	67 – 76	kohtalainen
8	77 – 86	hyvä
9	87 – 100	erinomainen

Kuva 30. Värintoiston arvoasteikko [59].

Pohjois-Amerikassa on otettu käyttöön uusi värintoiston arvioinnin menetelmä TM-30. TM-30 -menetelmän on hyväksynyt IES (Illuminating Engineering Society). Siinä on testivärejä jopa 99 kappaletta (ks. kuva 31), ja käytössä on kaksi eri arvoa: Fidelity index, eli väri puhtaus, jossa mitataan, miten eri värit toistuvat verrattuna vertailuvalonlähteisiin, sekä Gamut index, jossa mitataan kuinka, laajasti eri värit toistuvat. Kansainvälinen valaistuskomissio CIE ei ole hyväksynyt uutta TM-30 -indeksiä, mutta aikoo kehittää uuden arviointimenetelmän tämän indeksin pohjalta. Vanhan R_A -indeksin (CRI) on arvioitu säilyvän vielä 2–3 vuotta. [56.]

CES 1	CES 2	CES 3	CES 4	CES 5	CES 6	CES 7	CES 8
Type C	Type C	Type A	Type A	Type D	Type C	Type E	Type D
CES 9	CES 10	CES 11	CES 12	CES 13	CES 14	CES 15	CES 16
Type F	Type G	Type C	Type A	Type F	Type E	Type B	Type C
CES 17	CES 18	CES 19	CES 20	CES 21	CES 22	CES 23	CES 24
Type C	Type B	Type E	Type F	Type D	Type D	Type G	Type B
CES 25	CES 26	CES 27	CES 28	CES 29	CES 30	CES 31	CES 32
Type A	Type C	Type A	Type G	Type E	Type A	Type D	Type C
CES 33	CES 34	CES 35	CES 36	CES 37	CES 38	CES 39	CES 40
Type D	Type G	Type G	Type A	Type A	Type A	Type F	Type F
CES 41	CES 42	CES 43	CES 44	CES 45	CES 46	CES 47	CES 48
Type C	Type F	Type C	Type F	Type G	Type E	Type C	Type D
CES 49	CES 50	CES 51	CES 52	CES 53	CES 54	CES 55	CES 56
Type D	Type F	Type F	Type F	Type E	Type F	Type G	Type G
CES 57	CES 58	CES 59	CES 60	CES 61	CES 62	CES 63	CES 64
Type C	Type D	Type E	Type G	Type F	Type C	Type F	Type E
CES 65	CES 66	CES 67	CES 68	CES 69	CES 70	CES 71	CES 72
Type F	Type E	Type E	Type F	Type F	Type F	Type F	Type F
CES 73	CES 74	CES 75	CES 76	CES 77	CES 78	CES 79	CES 80
Type F	Type C	Type F	Type F	Type A	Type F	Type C	Type G
CES 81	CES 82	CES 83	CES 84	CES 85	CES 86	CES 87	CES 88
Type A	Type C	Type C	Type F	Type A	Type C	Type F	Type F
CES 89	CES 90	CES 91	CES 92	CES 93	CES 94	CES 95	CES 96
Type A	Type E	Type A	Type A	Type D	Type C	Type A	Type A
CES 97	CES 98	CES 99					
Type F	Type A	Type E					

Kuva 31. TM-30 -menetelmän testivärit [60.]

Valaisimien tekniset tiedot ovat merkittävässä roolissa valaisimia verrattaessa ja valittaessa. Niiden avulla saadaan tutkittua ja vertailtua eri valaisimia ja niiden eri ominaisuuksia. Vertailemalla eri ominaisuuksia sähkösuunnittelija saa arvioitua, mikä valaisin olisi yhteensopiva sekä juuri oikea valinta suunnittelemaansa käyttökohteeseen. Sähkösuunnittelijan on oltava myös erityisen tarkkana tutkiessaan eri valmistajien ja jälleenmyyjien ilmoittamia tietoja, sillä jotkut tiedot saattavat olla virheellisiä tai puutteellisia.

5.4 Ohjaustavat

Nopean kehityksen vuoksi valaistuksen ohjaukset ja ohjausjärjestelmät ovat yleistyneet runsaasti viime vuosina, ja niitä käytetäänkin yhä monipuolisimmissa kohteissa. Valaistuksen ohjauksella tehdään eri tilanteisiin soveltuvia valaistusratkaisuja. Valaistuksen ohjauksella voidaan luoda eri käyttökohteisiin soveltuvaa valoa, parantaa näkemisolosuhteita tai luoda eri tunnelmia. Valaistusta voidaan ohjata automaatti- tai manuaaliohjauksilla, esimerkiksi eri ohjausjärjestelmillä, liiketunnistimilla, mobiililaitteilla, himmentimillä tai muilla fyysisillä kytkimillä. Ohjaukset hyödyttävät käytännön toiminnollisuutta sekä säästävät energiaa. Valaistuksen ohjausjärjestelmiä ja -tapoja on monenlaisia, minkä vuoksi sähkösuunnittelijan on tärkeää pohtia, mikä valaistuksen ohjaustapa olisi paras ratkaisu suunniteltavaansa käyttökohteeseen. Tässä luvussa käsitellään nykypäivän yleisempiä sekä tulevaisuuden ohjausjärjestelmiä.

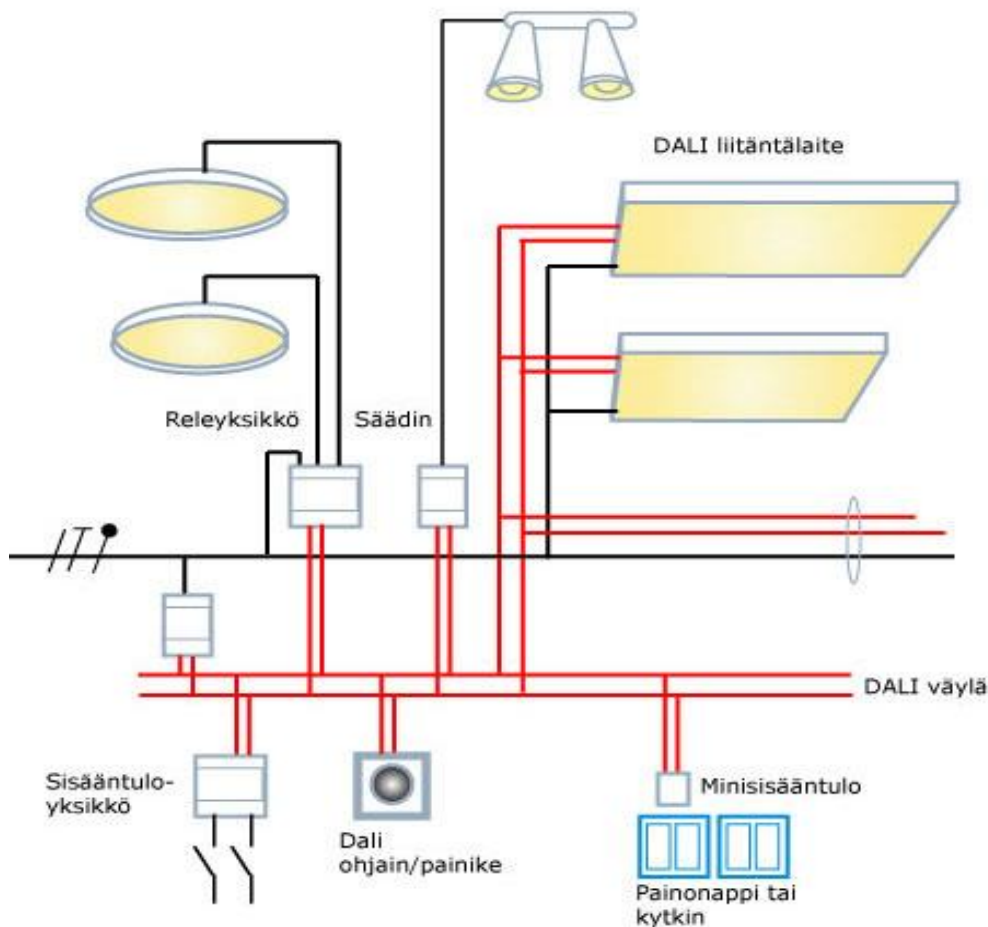
LED-valaistuksen ohjausmahdollisuudet ovat merkittävästi monipuolisemmat kuin aiemmin käytössä olleilla perinteisillä valaistusratkaisuilla. LED-valaisinta valittaessa on syytä huomioida sen soveltuvuus eri ohjausjärjestelmiin ja -tapoihin, jotka valaisinvalmistajat ja jälleenmyyjät ilmoittavat valaisimien tarkemmissa tiedoissa.

Yksi nykypäivän käytetyimmistä ohjausjärjestelmistä on DALI (Digital Addressable Lighting Interface). DALI on standardisoitu (IEC 60929 ja IEC 62386) osoitteellinen valaistuksenohjausjärjestelmä, joka soveltuu lukuisiin eri valaistussovelluksiin. DALI-järjestelmä on kehitetty suurten liitäntälaitte- ja valaisinvalmistajien yhteistyönä. DALI-järjestelmä perustuu väyläteknikkaan, ja se toimii kaksinapaisella kaapeloinnilla, jonka avulla digitaalinen tieto kulkee käytettäville yksiköille eli laitteille. DALI-järjestelmässä jokaisella laitteella on oma yksilöllinen osoite, ja näitä osoitteita voi yhdessä DALI-järjestelmässä olla 64 kappaletta. Kuitenkin esimerkiksi Helvarin 920 DALI-reitittimen avulla voidaan yhdistää DALI-järjestelmiä suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Yhdellä DALI-reitittimellä

voidaan yhdistää kaksi 64 laitetta sisältävää DALI-järjestelmää yhdeksi kokonaisuudeksi, jolloin järjestelmän laitemäärä on 128 kappaletta. Vieläkin suurempia DALI-kokonaisuuksia on mahdollista tehdä linkittämällä reitittimiä ja niiden DALI-järjestelmiä toisiinsa Ethernet-kaapelin avulla, jolloin laitemäärä voi olla jopa 12 800 kappaletta. Ilman DALI-reititintä järjestelmä voi sisältää 16 valaistusryhmää, joista jokaiselle voidaan ohjelmoida eri valaistustilanteet. Yksinkertaisimmillaan DALI-järjestelmän rakenne (ks. kuva 32) koostuu teholähteestä, ohjainlaitteesta, valaisimen DALI-liitäntälaitteesta sekä kaksinapaisesta väyläkaapelista. Ohjainlaitteina voidaan käyttää DALI-ohjaimia tai tavallisia kytkimiä, jotka ovat yhteensopivia DALI-järjestelmiin. [61; 62; 63, s. 3.]

DALI-järjestelmän laitteita ja osia ovat:

- teholähteet ja -yksiköt
- DALI-liitäntälaitteet
- 2-napainen väyläkaapeli
- DALI-ohjaimet
- DALI-reitittimet
- sensorit ja sovittimet
- säädettävät liitäntälaitteet ja LED-driverit. [62.]

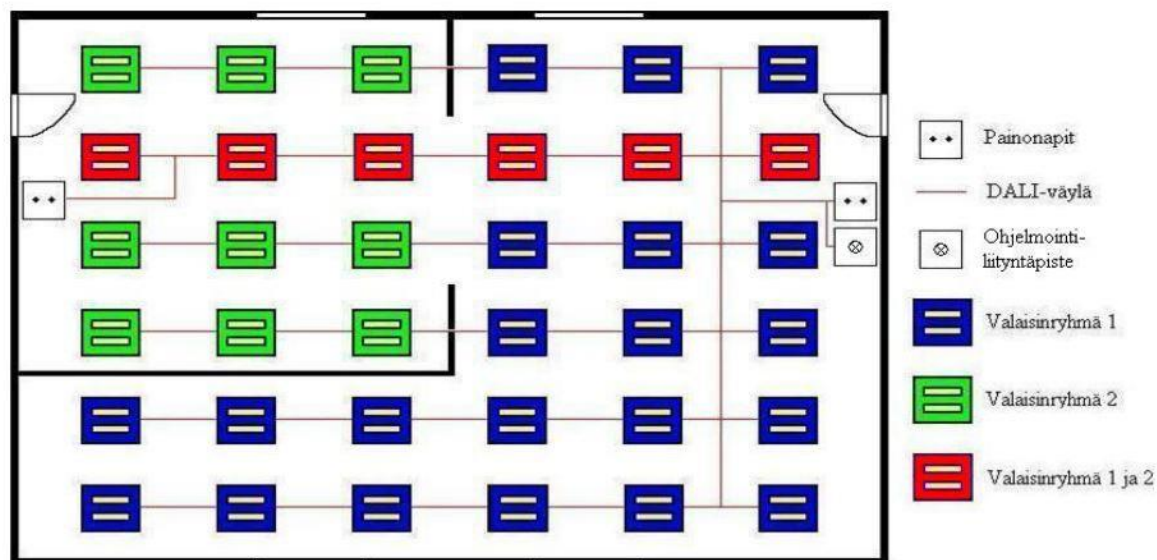


Kuva 32. DALI-järjestelmän tyypillinen rakenne [62.]

Kun DALI-järjestelmä on saatu fyysisesti asennettua käyttökohteeseen, tulee se ohjelmoida. Ohjelmointi tapahtuu seinäpaneelien, kaukosäätimen tai tietokoneen avulla. Ohjelmoinnin avulla saadaan luotua tarvittavat valaistustilanteet eri valaistusryhmiin. DALI-järjestelmä tarjoaa lukuisia etuja verrattuna muihin valaistuksen ohjausjärjestelmiin. Ledien kasvun myötä energiansäästöjen vaatimukset sekä valaistuksen ohjausjärjestelmien yleisyys ovat korostaneet DALI-järjestelmien merkittävyyttä. Nykyään DALI:lla on lähes 160 kansainvälistä jäsentä, ja monet eri valmistajat tuottavat lukuisia DALI-järjestelmiin yhteensopivia laitteita. DALI-laitteet pystyvät informoimaan esimerkiksi lampun tilan tai energiankulutuksen päätelaitteelle, josta käyttäjä pystyy havaitsemaan nämä tiedot.

DALI-järjestelmässä ei välttämättä tarvita releitä, koska valaistuksen himmennys ja ohjaus tapahtuvat väyläkaapelin avulla. Markkinoilla on myös DALI-releyksiköitä, joilla

voidaan ohjata eri valaisimia tai verhoja. Järjestelmän avulla voidaan luoda lukuisia eri valaistustilanteita käyttökohteen tarpeiden mukaan (ks. kuva 33). Valaisimien yksilölliset ohjaukset sekä säätötavat mahdollistavat optimoituja energiansäästöratkaisuja sekä tuovat muuntojoustavuutta. Lukuiset LED-valaisimetkin ovat DALI-järjestelmän kanssa yhteensopivia, mikä tekee niistä suosittuja. Ledien sekä DALI-ohjausjärjestelmän yhdistäminen mahdollistaa tehokkaisiin ja ympäristöystävällisiin valaistusratkaisuihin.

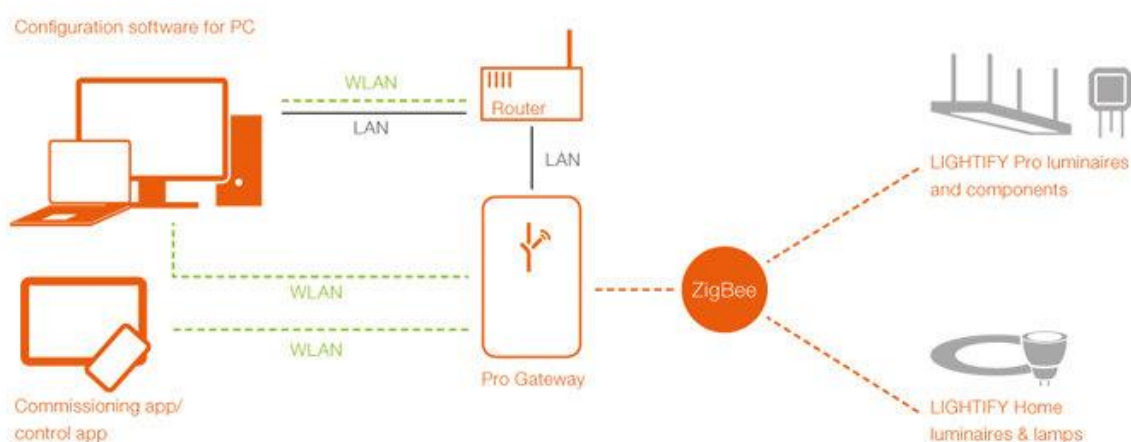


Kuva 33. DALI-järjestelmällä toteutettu valaistusratkaisu [63, s. 44.]

Älykkäät valaistuksen ohjaukset yleistyvät niiden monipuolisten ohjaustoimintojen sekä energiatehokkuuden takia. Yksi älykkäistä ja yleistyvimmistä valaistuksen ohjaukseratkaisuista ovat langattomat ohjausjärjestelmät. Langattomat ohjausjärjestelmät mahdollistavat kaapelivapaita järjestelmiä, joilla voidaan ohjata valaistusta esimerkiksi mobiililaitteiden tai langattomien ohjauspainikkeiden avulla. Langattomat ratkaisut luovat lukemattomia valaistuksen säätö- ja ohjausmahdollisuuksia, joiden avulla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä asennuskustannuksissa. Langattomia ohjausjärjestelmiä valmistavat esimerkiksi Osram, Philips, Helvar, Hous, Casambi ja Ornic Response.

Osramin kehittämä Lightify Pro on maailman ensimmäinen ammattikäyttöön soveltuva langaton valaistuksenohjausjärjestelmä, jonka ohjaus tapahtuu mobiilisovelluksella (ks.

kuva 34). Ohjaussovellus on saatavilla esimerkiksi älypuhelimiin tai -tabletteihin, ja sillä voidaan ohjata Lightify Pro -valaisimia, sensoreita tai kytkimiä. Lightify Pro -järjestelmä perustuu ZigBee -standardiin, joka on kansainvälinen lyhyen kantaman radioliikenteen standardi. ZigBee-verkossa olevien laitteiden signaali vahvistuu mesh-verkon avulla, jolloin laitteet pystyvät sekä vastaanottamaan että toistamaan signaalia. ZigBee-tekniikan avulla virrankulutus saadaan pieneksi, mikä mahdollistaa pitkäaikaisen sekä luettavan käytön. Lightify Pro -valaisimet viestivät langattoman ZigBee-signaalin avulla yhteensopivien sensorien ja painonappien kanssa. Lightify Pro Gateway -ohjausyksikön avulla WiFi-signaalit muutetaan ZigBee-signaaleiksi, jolloin saadaan mobiililaitteisiin yhteys. [64.]



Kuva 34. Osram Lightify Pro:n toimintaperiaate [64.]

Lightify Pro -järjestelmä soveltuu erinomaisesti pieni- ja keskikokoisiin valaistusprojekteihin. Lightify Pro -järjestelmällä voidaan luoda monia eri valaistusryhmiä tai -tilanteita. Vanhoista kytkimistä ja painikkeista ei tarvitse luopua, sillä ne voidaan helposti liittää langattomaan Lightify Pro -järjestelmään. [64.]

Suomalaisen Hous Oy:n valmistama Hous on langaton valaistuksen ohjausjärjestelmä. Hous-järjestelmä (ks. kuva 35) hyödyntää langatonta ja paristovapaata EnOcean -tekniikkaa. EnOcean -tekniikka perustuu energian varastointiin. Sen langattomat kytkimet ja sensorit varastoivat energiaa lämpötilasta sekä fyysisestä liikkeestä. Näiden avulla energia saadaan muutettua langattomiksi signaaleiksi. Hous-järjestelmän ohjaus tapahtuu mobiiliapplikaatiolla, mikä on saatavilla älypuhelimiin tai -tabletteihin. [65.]



Kuva 35. Houm-järjestelmän toimintaperiaate [65.]

Houm-järjestelmä toimii hyvin moottorisoitujen verhojen ja kaihtimien kanssa, joita ohjaamalla voidaan säädellä päivänvalon määrää. Houm-järjestelmä on yhteensopiva useiden modernien ledien ja halogeenilamppujen kanssa. Järjestelmä käyttää langattomia ja patterivapaita kytkimiä, jotka voidaan sijoittaa melkein mihin tahansa. Houm-järjestelmää ohjataan mobiiliapplikaation tai ääniohjauksen avulla. Ääniohjaus tapahtuu Amazonin valmistamalla Amazon Echo -ääniohjausjärjestelmällä, joka on integroitu Houm-järjestelmään. Houm-järjestelmällä voidaan luoda monia eri valaistustilanteita, ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi kodin, toimistojen tai julkisten tilojen valaistukseen. [65.]

Helvarin valmistama älykäs valaistuksenohjausjärjestelmä on ActiveAhead. ActiveAhead on langaton valaistuksenohjausjärjestelmä, jonka itse- ja uudelleenoppivan algoritminsä vuoksi se pystyy automaattisesti säätämään valaistusta. Sitä voidaan myös ohjata ja säätää bluetooth-yhteyden omaavilla mobiililaitteilla. Mobiililaitteeseen tarvitaan ActiveAhead-mobiilisovellus, jonka avulla voidaan säätää valaistuksen parametreja tai luoda eri valaistusryhmiä. Myös henkilökohtaista valaistusta voidaan säätää Hi Light -sovelluksen avulla, joka hyödyntää QR-koodeja. ActiveAhead-valaisimeen on integroitu yhteensopiva ActiveAhead LED-liitäntälaitte, -ohjausyksikkö sekä monitoimisensori (ks. kuva 36). ActiveAhead-valaisin pystyy oppimaan käyttäjän liikkeitä ja sitä kautta se

säätää valaistusta tarpeen mukaisesti. Se käynnistää oppimisprosessin välittömästi, kun siihen kytketään virta, ja se pystyy oppimaan käyttäjän liikkeitä tunnissa tai päivässä, riippuen kuinka paljon käyttäjä liikkuu tilassa. ActiveAhead-valaisin pystyy myös ennakkoivasti säätämään valaistusta tarpeiden mukaan. ActiveAhead-komponentit ovat helpposti asennettavia valaisimeen eikä asennukseen tarvita ylimääräisiä ohjausjohtoja tai vaativaa ohjelmointia. [66.]



Kuva 36. Helvar ActiveAhead LED-liitännälaite, -ohjausyksikkö ja monitoimisensori [59.]

Oikeanlaisella valaistuksella voidaan vaikuttaa ihmisten virkeyteen ja mielialaan. Työpaikoilla ja kouluissa käyttäjät tarvitsevat valoa erityisesti työskentelemiseen sekä keskittymiseen. Tehokas valaistus parantaa työskentelyn jaksamista sekä luo työskentelytilasta viihtyisän.

Pyrittäessä mahdollisimman luonnolliseen ja tehokkaaseen valaistusratkaisuun voidaan puhua ihmislähtöisestä valaistuksesta (HCL Human Centric Lighting). Ihmislähtöiselle valaistukselle ei ole täysin tarkkaa määritelmää, mutta sen perusideana on luoda käyttäjälle sen tarpeiden mukainen valaistus. Sen avulla säädetään valaistuksen intensiteettiä, jolloin voidaan luoda eri valaistusolosuhteita. Ihmiskeskeisen valaistuksen avulla voidaan parantaa tilan viihtyvyyttä sekä mielialaa. Valaistusta voidaan säädellä käyttäjän

vuorokausirytmien mukaan, jolloin saavutetaan mahdollisimman luontaiset valaistusolosuhteet eri ajankohtina. Esimerkiksi aamuihin ja iltoihin voidaan säädellä lämpimämpi tai pehmeämpi valaistus, jolloin väsyneen käyttäjän on helpompi mukautua valaistusolosuhteisiin. Päiväsaikaan taas keskittymiskykyä ja vireyttä tarvitaan, joten valaistukseksi sopisi kylmempi ja voimakkaampi valo. [67.] Valaistusta voidaan säädellä milloin tahansa päivän aikana käyttäjien tarpeiden mukaan. Valaistuksen ohjaus voi olla myös automaattista, esimerkiksi valonohjausjärjestelmän kautta. Varsinkin avokonttoreissa on vältettävä valaisimien henkilökohtaisia säätöjä, sillä valaistuserot voivat olla suuria. Parempi vaihtoehto tähän on valaistuksen ohjaus automaattisesti, jolloin saadaan tilaan mahdollisimman tasaista valoa. Valaistusratkaisuja valittaessa on syytä kiinnittää huomiota valonlähteen spektriin, valaistuksen kirkkauteen sekä oikeaan ajankohtaan. [68.] Ihmislähtöisessä valaistuksessa voidaan hyödyntää LED-teknologiaa. Ledejä on markkinoilla lukuisia eri sävyisiä sekä niillä on monia eri ohjausmahdollisuuksia. Ledejä säätämällä voidaan saavuttaa käyttäjän tarpeiden mukainen valaistus sekä värilämpötila.

Helvarin valmistama Select the Weather -ratkaisu on ihmisläheinen valaistusratkaisu, jonka avulla voidaan luoda ulko-olosuhteita vastaava valaistustilanne. Select the Weather -ratkaisu sisältää:

- Helvar Select the Weather -paneelin (ks. kuvat 37 ja 38)
- Helvar Dynamic LED-liitäntälaitteet
- Helvar iDim Solo DALI-virtalähteen
- Helvar 311 PIR-liiketunnistimen [69].



Kuva 37. Helvar Select the Weather –paneeli [69.]

				
Vaikutus	Rauhoittaa	Piristää	Auttaa keskittymään	Ylläpitää virkeyttä
Milloin käytetään	Stressaavissa tilanteissa	Aikaisin aamulla	Ajattelutyön ja esitelmien aikana	Päivittäisessä työssä
Väriämpötila	Lämmin	Viileä	Välimuoto	Vaihtelee luonnollisesti
Valotaso	80%	100%	50%	90%

Kuva 38. Helvar Select the Weather –paneelin väritilanteet [67.]

Select the Weather -ratkaisun asennus tapahtuu kytkemällä säätöpaneeli, DALI-virransyöttö ja iC Dynamic -liitäntälaitteet yhteensopivaan valaisimeen, jonka jälkeen järjestelmä on valmis käytettäväksi. Säätöpaneelista käyttäjä voi asettaa haluamansa valaistuksen kirkkauden tai väriämpötilan. [69.]

5.5 Huolto ja vaihdettavuus

Valaistusta suunniteltaessa on erittäin tärkeää kiinnittää huomiota valaisimien elinikään ja niiden mahdollisiin vikaantumisiin. Standardin SFS-EN 12464-1 mukaan valaistusta suunniteltaessa on sähkösuunnittelijan toteutettava valaistukselle perusteellinen huolto-suunnitelma, jossa määritellään lamppujen vaihtovälit, valaisimien, tilan ja ikkunoiden puhdistusvälit sekä puhdistusmenetelmä. Ledien pitkän eliniän myötä huollon kustannukset ovat laskeneet, mutta ne tuovat myös omat haasteensa. Sähkösuunnittelijan vertaillessa eri LED-valaisimia, on syytä kiinnittää huomiota niiden kokoonpanoon. Joillakin valaisinvalmistajilla saattaa olla LED-valonlähde integroituna valaisimeen ja toisilla erillinen vaihdettava LED-valonlähde. Osa vaihdettavista LED-valonlähteistä vaativat valtuutetun henkilön vaihtamaan sen, mikä sähkösuunnittelijan tulee huomioida.

Huoltosuunnitelmaa tehtäessä on erittäin tärkeää huomioida kohteen valaistusta heikentäviä tekijöitä sekä määrittää huoltotoimenpiteet, joita ovat

- valaisimien likaantumiset sekä puhdistusjaksot

- eri osien vikaantumiset sekä vaihtovälit
- puhdistusmenetelmät
- varaosat ja niiden vaihtomenetelmät. [70.]

Ledien elinikään vaikuttaa monta eri tekijää, kuten lämpötila, likaantuminen, himmennys tai muut käyttöolosuhteet. Ledien valovirran alenema ilmoitetaan L- ja B-arvoilla, jotka tulee ottaa myös huomioon huoltosuunnitelmissa. Sähkösuunnittelijan kannalta on tärkeää valita oikeantyyppinen valaisin käyttöympäristöönsä, jotta voidaan saada kohteeseen mahdollisimman optimaalinen valaisin. Täsmällisesti tehdyn huoltosuunnitelman avulla käyttäjä saa oikeaoppiset huolto-ohjeet valaisimilleen ja sitä kautta voi säästää kustannuksissa merkittävästi. Kuitenkin huoltovälien optimaalista ajankohtaa on hankalaa arvioida, sillä eri kohteissa tai valaisimissa nämä ajankohdat vaihtelevat ja tutkimustietoa ei ole vielä nykypäivänä riittävästi [71].

LED-valaisimien takuuajat vaihtelevat merkittävästi eri valmistajilla ja jälleenmyyjillä. Valmistajat ja jälleenmyyjät ilmoittavat takuuaikinsa tuotteelleen, johon saattaa liittyä paljon eri ehtoja. Valaisimien käyttöolosuhteet, käyttöaika tai muut sen toimintaan vaikuttavat tekijät vaikuttavat takuuehtoihin. Sähkösuunnittelijan valitessa valaisimia on syytä kiinnittää erityistä huomiota niiden takuu aikaan sekä takuuehtoihin. Valaisimien virheelliset asennukset, väärät käyttöolosuhteet tai muut väärinkäytöt saattavat johtaa takuuajan umpeutumiseen.

Sähkösuunnittelijan on hyvä tiedustella valaisinvalmistajilta tai jälleenmyyjiltä mahdollisia varaosia haluamiinsa valaisimiin. Kuitenkin LED-tekniikan jatkuvan kehityksen sekä LED-valaisimien uudistuksen vuoksi mahdollisten varaosien saaminen pitkällä aikavälillä voi olla hankalaa. Yksi haasteista esiintyy vastaavien LED-valaisimien tai varaosien saatavuudessa. Esimerkiksi joihinkin elinkaaren loppupäässä oleviin LED-valaisimiin ei välttämättä löydy vastaavia varaosia, sillä LED-tekniikka kehittyy hurjaa vauhtia ja vanhat valaisimet tai varaosat saattavat poistua markkinoilta uusien tuotteiden myötä.

5.6 Muita huomioita

Erilaisissa rakennushankkeissa sekä projekteissa käytetyistä valaisimista määritellään valaisinluettelo. Valaisinluettelossa luetellaan kaikki kohteessa käytettävät valaisimet. Valaisinluettelon laatii kohteen sähkösuunnittelija, joka ehdottaa suunniteltavia valaisimia tilaajalle. Näin tilaaja ja sähkösuunnittelija voivat yhdessä tutkia ja vertailla suunniteltujen valaisimien yhteensopivuutta käyttökohteeseen. Tilaaja voi myös itse ehdottaa valaisimia tilaajalle. Useimmilla sähkösuunnittelijoilla on lukuisia kokemuksia eri projektien valaistusratkaisuista, joten sähkösuunnittelija voi ehdottaa esimerkiksi aiemmassa projektissaan luotettavaksi todettua valaisinratkaisua. Kun sähkösuunnittelija on hyväksynyt valaisinluettelon, on se hyväksyttävä myös tilaajalla, jolloin tilaaja hyväksyy kohteeseen suunniteltavat valaisimet. Valaisinluettelo on myös syytä hyväksyttävä arkkitehdilla, sillä tyypillisesti arkkitehdilla voi olla erilaisia laadullisia ja toiminnallisia tavoitteita, jotka valaisimilta halutaan saavuttaa. Tämänlaisia valaisimien tavoitteita voi olla esimerkiksi niiden värit tai ulkomuodot. Myös sisustussuunnittelijalla voi olla eri valaisimiin kohdistuvia huomioita. Rakennushankkeeseen hankitaan ja asennetaan valaisinluettelossa esitetyt valaisimet, jotka ovat numeroitu tasopiirustuksiin valaisinkohtaisesti. Urakoitsijalla on myös mahdollisuus vaihtaa kohteeseen suunnitellut valaisimet vastaaviin valaisimiin. Tällöin urakoitsijan on hyväksyttävä uudet valaisimet tilaajalla sekä laadittava kustannusarvio muutoksista ja osoitettava uusien valaisimien vastaavuus luotettavilla valaistuslaskelmilla.

Valaisinluettelossa esitetään kaikki kohteessa käytettävät valaisimet ja niiden tarkemmat tuotetiedot. Tyypillisimpiä tuotetietoja ovat valaisimen positio, käyttötila, malli/tyyppi, valmistaja, valonlähteen tyyppi, kotelointiluokka, lukumäärä, asennustapa, teho, häikäisysoja, ohjaustapa, valonlähteen kanta sekä muut huomioon otettavat tiedot. Valaisinluetteloita on monia erilaisia ja niiden sisältämät tiedot saattavat vaihdella eri yritysillä.

Puutteelliset valaisinluettelot saattavat aiheuttaa useita haasteita tulevaisuudessa, esimerkiksi LED-valaisimien tietojen ohella. Useimmissa valaisinluetteloissa ei esitetä valaisimien valovirtaa, joka on LED-valaisimen merkittävä valotekninen tieto. Valaisimien teho ilmoitetaan watteina, joka kertoo kuinka paljon energiaa valaisin kuluttaa. Esimerkiksi lineaaristen valaisimien teho on syytä esittää kokonaistehona, eikä metritehona. LED-teknologian kehittyessä LED-valaisimien tehot pienenevät entisestään ja wattimäärän avulla ei voida kuitenkaan määritellä kuinka paljon valaisin tuottaa valoa, vaan sen

kertoo valovirta. Valovirran luumen -arvoa käytetään nykypäivänä useimmiten LED-valaisimien kohdalla, jolloin saadaan arvioitua tarvittava valonmäärä. Suunnitteluprosessit alkavat aikaisessa vaiheessa rakennushanketta, joten aikaa voi kulua esimerkiksi jopa kaksi vuotta ennen kuin valaisimet menevät hankintaan. Tällöin valaisimien luumen -arvon merkitys korostuu, sillä sen avulla voidaan vertailla vanhoja valaisimia uusiin tai vastaaviin malleihin. Uusimmilla LED-valaisimilla on nykypäivänä merkittävästi alhaisempi energiankulutus kuin perinteisillä valaisimilla. Esimerkiksi 60 watin hehkulampun valovirran määrä voidaan saavuttaa jo 9–11 watin LED-lampulla. Tulevaisuutta ajatellen LED-valaisimien eri valoteknisiä arvoja olisi hyvä esittää valaisinluettelossa, jolloin vanhojen valaisimien vaihto uusiin vastaaviin tuotteisiin onnistuisi kätevämmiin ja vanhojen valaisimien valoteknisistä arvoista saataisiin vertailuarvot uusille valaisimille. Ledien yleistyessä yhä enemmän valaistusratkaisuissa nähtäväksi jää, muuttuvatko valaisinluetteloiden tekniset tiedot tulevaisuudessa.

6 Yhteenveto

Insinööriyössä tutkittiin LED-valaistusta ja sen valintaan vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi tavoitteena oli tutkia mitä sähkösuunnittelijan on syytä ottaa huomioon valitessaan LED-valaisimia. Tuloksista ilmeni LED-valaisimilla olevan lukuisia huomioon otettavia ominaisuuksia ja arvoja, jotka vaikuttavat esimerkiksi ledien elinikään, energiatehokkuuteen ja valaistuksen lopputulokseen. LED-valaisimien eri ominaisuuksiin kiinnitettäessä erityistä huomiota, saadaan valittua käyttökohteeseen mahdollisimman optimaaliset valaisimet ja niiden avulla saadaan luotua käyttäjän tarpeiden vaatima valaistus.

LED-ratkaisut yleistyvät huimaa vauhtia etenkin valaistussektorilla, ja niiden jatkuva kehitys luo yhä enemmän käyttömahdollisuuksia. Kuitenkin niiden valintaan ja käyttötarkoitukseen liittyy useita haasteita, kuten yhteensopivuudet eri järjestelmien kanssa, häikäisy ja niiden ehkäisy sekä myös kustannukset. Näissä haasteissa sähkösuunnittelijan merkitys korostuu, sillä täsmällisellä taustatyöllä ja suunnittelulla saadaan valittua mahdollisimman optimaalinen ratkaisu. Myös yhteistyö eri tekijöiden ja toimijoiden kanssa on tärkeää, jotta päästään lopputuloksen tavoitteista yhteisymmärrykseen.

Insinööriyön tekeminen oli erittäin mielenkiintoista, sillä työn aihe oli todella kiinnostava ja hieman tuntematon minulle. Työni aihealue on erittäin laaja, jonka vuoksi yksi haastavimmista tekijöistä oli määrittää työn aihealueen rajaukset. Vaikka LED-teknologia on ollut läsnä jo vuosia, niin uusimpia tutkimuksia ja julkaisuja oli hankala tavoittaa. Tämä insinööriyöprosessi toi minulle uusia näkökulmia sekä paljon uutta tietoa, joita voin tulevaisuudessa hyödyntää. Uskon, että tästä insinööriyöstä on hyötyä varsinkin aloitteleville sähkösuunnittelijoille, joilla suunnittelukokemusta ei ole vielä paljoa kertynyt. Uskon myös tämän työn antavan kokeneimmillekin suunnittelijoille uutta tietoa tai hyvän kertauksen aiemmin opituista asioista.

Insinööriyön osalta pääsin mielestäni tavoitteeseen, vaikka työn aihealue oli erittäin laaja. Mielenkiinnolla odotan minkälaisia LED-ratkaisuja tulevaisuus tuo tullessaan.

Lähteet

- [1] ST 57.40, Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät. 2017. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo.
- [2] Valaistusvoimakkuus - luks. Verkkodokumentti. Motiva. <<https://www.lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/luksi-valaistusvoimakkuus/>>. Luettu 17.8.2017
- [3] ST 58.04, Ohjeita valaistuksen suunnitteluun ja toteutukseen. 2017. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo.
- [4] Valovoima - kandela. Verkkodokumentti. Motiva. <<https://www.lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/kandela-valovoima/>>. Luettu 17.8.2017
- [5] Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry & Suomen Valoteknillinen Seura ry. 1996. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. Jyväskylä. Gummerus.
- [6] Hongisto, P. Uusittu valonlähteiden värintoistoindeksi. Sähkö 48 (1975) 7-8, s. 279-282.
- [7] Värintoisto kyky – RA-indeksi. Verkkodokumentti. Motiva. <<https://www.lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/varintoistokyky/>>. Luettu 21.8.2017
- [8] Valo ja spektri. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos. <<https://www.geo.fmi.fi/oppi-materiaali/envisat/valonsade/spektri.html>>. Luettu 15.10.2017
- [9] Harju, M. Verkkodokumentti. Valo ja värit. <<https://aaltomuoto.wordpress.com/valo/nayttamovalaisun-perusteet/valo-ja-varit/>>. Luettu 15.10.2017
- [10] Spektri. Verkkodokumentti. Glamox. <<https://www.glamox.com/fi/spektri>>. Luettu 15.10.2017
- [11] Tietopaketti Led-valoista. Verkkodokumentti. Kotiled.com. <<https://www.kotiled.com/led-tietoa-tietopaketti-led-lampuista/>>. Luettu 22.8.2017
- [12] Valaistussuunnittelijan käsikirja. Verkkodokumentti. Fagerhult. <https://np.netpublisher.com/np/n30265811/tekniskinfo_FI_09.pdf>. Luettu 15.10.2017
- [13] Valovoima. 2008. Verkkodokumentti. Ensto Oy Finland. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398112158.html>>. Luettu 15.10.2017

- [14] C80-RR. Verkkodokumentti. Glamox. <<http://glamox.com/fi/products/c80-rr>>. Luettu 21.8.2017
- [15] Tetri, E., Raunio, J., Halonen, L. 2011. Lamppuopas. Espoo. Aalto-yliopisto. Verkkodokumentti. <<https://www.lightinglab.fi/ekovalo/news/lamppuopas.pdf>>. Luettu 21.8.2017
- [16] Valaisininfo. Verkkodokumentti. Taloon Yhtiöt Oy. <<https://www.taloon.com/valaisininfo/10210/dg>>. Luettu 21.8.2017
- [17] SFS-EN 12464-1. 2011. 1 Valo ja valaistus: Työkohteiden valaistus. Helsinki. SESKO ry.
- [18] Valaistushankintojen energiatehokkuus. 2008. Verkkodokumentti. Suomen Valoteknillinen Seura ry. <http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf>. Luettu 15.10.2017
- [19] Led-perusteet – teknologisesta taustasta historiaan. Verkkodokumentti. LED-VANCE GmbH. <<https://www.ledvance.fi/tuotteet/tuotetiedot/led-perustiedot/index.jsp>>. Luettu 21.8.2017
- [20] Kymmenen asiaa, jotka sinun tulee tietää ledeistä. 2013. Verkkodokumentti. Glamox. <https://glamox.com/upload/2013/09/26/fi_singlepages-2.pdf>. Luettu 22.8.2017
- [21] Vähänen, V. Verkkodokumentti. Suomalainen toimija energiatehokkaissa ja ympäristöystävällisissä valaistusratkaisuissa. <<ssty.fi/download/Luennot/Green-led%2520%25202013%2520luentomateriaali%2520Pori.pdf>>. Luettu 22.8.2017
- [22] Ledilamput. Verkkodokumentti. Motiva. <<https://www.lampputieto.fi/lampun-valinta/alasivu/led-lamput/>>. Luettu 22.8.2017
- [23] LED-paneelit ja -tarvikkeet. Verkkodokumentti. Edutuor Oy. <<https://www.led-valot.fi/led-paneelit-ja-tarvikkeet>>. Luettu 12.9.2017
- [24] LED-paneeli Ultrasim, Verkkodokumentti. Nordic eCommerce Group Oy. <<https://www.nettivalo.fi/LED-paneeli-Ultrasim-60x60cm-72W>>. Luettu 12.9.2017
- [25] LED-valolistat. Verkkodokumentti. Leditalo Oy <<http://leditalo.fi/nayta-tuote.php?tuoteid=55>>. Luettu 12.9.2017
- [26] Laser Blade XS High Contrast. Verkkodokumentti. iGuzzini. <<http://iguzzini.com/laser-blade-xs-high-contrast/>>. Luettu 20.10.2017
- [27] LED-allasvalot. Verkkodokumentti. Suomen Valotorni Oy. <<https://www.valotorni.fi/category/274/led-allasvalot>>. Luettu 12.9.2017

- [28] LED-nauhat. Verkkodokumentti. Lumitec Oy <<https://www.valaisin.fi/valaisimet/tuotteet/sisavalaisimet/led-nauhat/8112/>>. Luettu 12.9.2017
- [29] LED-nauhat. Verkkodokumentti. Sideways Eight Finland Oy. <<https://www.kotiled.com/tuotteet/LED-nauhat/LED-nauha-5050-dc12v-5m-paketti/>>. Luettu 12.9.2017
- [30] LED-valoputket loisteputkien korvaajina. 2014. Verkkodokumentti. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. <www.tukes.fi/Tiedostot/sahko_ja_hissit/ohjeet/LED_valoputket_loisteputkien_korvaajina.pdf>. Luettu 15.9.2017
- [31] Valtavalo LED-putki G4. Verkkodokumentti. Oy Teollisuushankinta TH Ab. <<https://teollisuushankinta.fi/tuote/1000/valtavalo-led-valoputki-g4>>. Luettu 15.9.2017
- [32] LED-putket. Verkkodokumentti. Leditalo Oy. <<https://leditalo.fi/naytatuote.php?tuoteid=338>>. Luettu 15.9.2017
- [33] Superlight Nano. Verkkodokumentti. Willy Meyer + Sohn GmbH + Co. KG. <http://www.meyer-lighting.com/nc/en/variants.html?katalog_id=85&fassung=36&e3id=302&gruppierung=18&watt=42&strahl=12>. Luettu 20.10.2017
- [34] LED-valonheittimet. Verkkodokumentti. Lumitec Oy. <<https://www.valaisin.fi/valaisimet/tuotteet/ulkovalaisimet/led-valonheittimet/812801/>>. Luettu 18.9.2017
- [35] LED-Valonheittimet. Verkkodokumentti. SuperLED Oy. <<https://www.superled.fi/category/12/led-valonheittimet#>>. Luettu 18.9.2017
- [36] StreetSaver. Verkkodokumentti. Philips Oy Ammattivalaistus. <<http://www.lighting.philips.fi/prof/ulkovalaisimet/tie-katu-ja-kaupunkivalaisimet/tie-katu-ja-kaupunkivalaisimet/streetsaver#p-image-1>>. Luettu 20.10.2017
- [37] Integroitu turvavalo. Verkkodokumentti. Glamox. <<http://glamox.com/fi/integroitu-turvavalo>>. Luettu 20.9.2017
- [38] OPAS 90 LED-OPASTEVALAISIN TWS9092WM. Verkkodokumentti. Teknoware. <<https://www.teknoware.com/fi/turvavalaistus/opas-90-led-opastevalaisin-tws9092wm>>. Luettu 20.10.2017
- [39] Valaistussuunnitteluopas 2014. Verkkodokumentti. Innojok Oy. <www.innolux.fi/sites/default/files/Valaistussuunnitteluopas_RGB.pdf>. Luettu 20.9.2017
- [40] Ulkotilat ja LED-valaistus. Verkkodokumentti. Glamox. <glamox.com/fi/ulkotilat-ja-led-valaistus1>. Luettu 20.9.2017
- [41] Referenssit, Katu- ja aluevalaistus. Verkkodokumentti. Easy LED Oy. <www.easyled.fi/fi/reference/koivulantie-pori>. Luettu 20.9.2017

[42] Tähkämö, L. ja Arvinen, M. 2015. Verkkodokumentti. Sähköinfo Oy. Valaistuksen ekotehokkuus – mitä se on? <http://www.sahkoala.fi/kiinteistoala/sahko_ja_rakentamisen/s_ja_r_2015/fi_FI/valaistuksen_ekotehokkuus/>. Luettu 20.9.2017

[43] Heijastuminen. Verkkodokumentti. Koulutuksen tutkimuslaitos / Peda.net. <<https://peda.net/ylöjärvi/peruskoulut/viljakkalan-koulu/aineet/fysiikka/vja/valo-ja-vari/heijastuminen>>. Luettu 21.9.2017

[44] Liitäntälaitteet. Verkkodokumentti. Fagerhult Oy. <<https://www.fagerhult.com/fi/Valaistustietoutta/LED/Liitantalaitteet/>>. Luettu 21.9.2017

[45] LED-liitäntälaitteet, LC1x30-E-DA. Verkkodokumentti. Helvar Oy Ab. <<https://www.helvar.com/fi/tuotteet/LC1x30-E-DA/>>. Luettu 21.9.2017

[46] Valitse oikea valonlähde. Verkkodokumentti. Innojok Oy. <www.innolux.fi/fi/artikkeli/valitse-oikea-valonlähde>. Luettu 22.9.2017

[47] LEDien elinikä. Verkkodokumentti. Glamox. <glamox.com/fi/ledien-elinika1>. Luettu 22.9.2017

[48] LED-valaisimien ikä. Verkkodokumentti. Fagerhult Oy. <<https://www.fagerhult.com/fi/Valaistustietoutta/LED/Led-valaisimien-elinika/>>. Luettu 22.9.2017

[49] Multilume Hydro LED. Verkkodokumentti. Fagerhult Oy. <<https://www.fagerhult.com/fi/Tuotteet/multilume-hydro-led/23341-402/>>. Luettu 22.9.2017

[50] Energiatehokas konesali. 2011. Verkkodokumentti. Motiva. <https://www.motiva.fi/files/4828/Energiatehokas_konesali.pdf>. Luettu 20.10.2017

[51] Nurmi, T. 2016. Verkkodokumentti. Valaisimien eliniän vaikutus investoinnin kannattavuuteen. Arrant-Light Oy. <www.light.fi/blog/valaisimen-elinian-vaikutus-investoinnin-kannattavuuteen/>. Luettu 25.9.2017

[52] Väriämpötila – Kelvin arvo. Verkkodokumentti. Motiva. <lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/kelvin-varilampotila/> Luettu 25.9.2017

[53] CIELUV. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/CIELUV>>. Luettu 25.9.2017

[54] Ledit ja valonlaatu. Verkkodokumentti. Glamox. <glamox.com/fi/ledit-ja-valonlaatu1> Luettu 25.9.2017

[55] Valaistuksen kokonaisvaikutelma ja valon väri. Verkkodokumentti. Fagerhult Oy. <<https://www.fagerhult.com/fi/Valaistustietoutta/LED/Valaistuksen-kokonaisvaikutelma-ja-valon-vari/>>. Luettu 25.9.2017

[56] Kallasjoki, T. 2017. Valoakatemian luentomateriaali. Valon väriominaisuudet.

- [57] Onko värintoistoindeksi CRI tärkeä lukema ja mitä se kertoo. Verkkodokumentti. Valokas Limic Oy. <<https://www.valokas.fi/fi/cri>>. Luettu 25.9.2017
- [58] High CRI. Verkkodokumentti. Allix. <https://www.allixs.com/technology/color_rendering.php>. Luettu 25.9.2017
- [59] Näin vertaillet ledivalaisimia. 2013. Verkkodokumentti. Teknologiateollisuus ry. <teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/jasenet_ryhmat_valaisinvalmistajat_led-vertailu-20130912.pdf>. Luettu 27.9.2017
- [60] Bai, T. 2015. Verkkodokumentti. TM-30-15 – New Method for Evaluating Light Source Color Rendition. <<https://www.linkedin.com/pulse/tm-30-15-new-method-evaluating-light-source-color-rendition-ted-bai>>. Luettu 27.9.2017
- [61] DALI. Verkkodokumentti. Fagerhult Oy. <<https://www.fagerhult.com/fi/valonohjaus/e-sense/e-Sense-Customised/dali/>>. Luettu 26.9.2017
- [62] DALI. 2009. Verkkodokumentti. Ensto Oy Finland. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228466781352/1231503046191/1231503057256.html>>. Luettu 26.9.2017
- [63] Kallioharju, K. 2012. Verkkodokumentti. DALI-koulutus, teoriaosio. Tampereen ammattikorkeakoulu. <www.oamk.fi/~kurki/Valaistustekniikka/DALI_teoria_joulu2014.pdf>. Luettu 26.9.2017
- [64] LIGHTFI PRO – älykäs, langaton valaistuksenohjausjärjestelmä ammattikäyttöön. Verkkodokumentti. Osram GmbH. <www.osram.fi/osram_fi/tyoekalut--palvelut/tyoekalut/lightfi--aelykaes-valaistuksenohjaus/lightfi-pro---aelykaes%22c-langaton-valaistuksenohjausjaerjestelmae-ammattikaeyttooen/index.jsp>. Luettu 26.9.2017
- [65] Houm. Verkkodokumentti. Houmio Oy. <<https://www.houm.fi>>. Luettu 27.9.2017
- [66] ActiveAhead. Verkkodokumentti. Helvar Oy Ab. <<https://www.helvar.com/fi/ratkaisut/idim/activeahead/>>. Luettu 27.9.2017
- [67] Ihmiskeskeinen valaistus. Verkkodokumentti. Helvar Oy Ab. <<https://www.helvar.com/fi/valaistus-nyt/ihmiskeskeinen-valaistus/>>. Luettu 27.9.2017
- [68] Ihmislähtöinen valaistus (HCL). Verkkodokumentti. Glamox. <glamox.com/fi/human-centric-lighting> Luettu 27.9.2017
- [69] Select the Weather. Verkkodokumentti. Helvar Oy Ab. <<https://www.helvar.com/fi/ratkaisut/idim/select-the-weather/>>. Luettu 27.9.2017
- [70] Huoltosuunnitelma ja huoltotoimenpiteet. Verkkodokumentti. Motiva. <<https://valaistustieto.fi/huolto/huoltosuunnitelma-ja-huoltotoimenpiteet/>>. Luettu 28.9.2017

[71] Huoltoväli tulisi määritellä jo suunnitteluvaiheessa. Verkkodokumentti. Motiva. <<https://valaistustieto.fi/huolto/huoltovali-tulisi-maaritella-jo-suunnitteluvaiheessa/>>. Luettu 28.9.2017

Philips riippuasennettu valaisin / Valaisintietoarkki

Projekti 1

DIALux

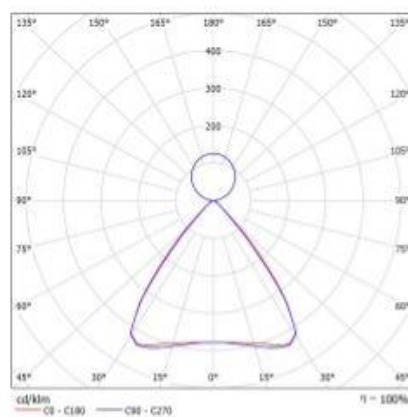
30.10.2017

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

PHILIPS SP532P L1410 1 xLED47S/840 OC / Valaisintietoarkki

Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.

Valaistu alue 1:



Valaisinten luokittelu CIE: 65
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 88 98
100 65 100

TrueLine, suspended - True line of light: elegant, energy-efficient and compliant with office lighting norms. Architects need a lighting solution that matches the interior architecture of the property they are working on. They want a light line with an elegant design and very high light levels. Specifiers need luminaires that enable them to save energy while at the same time providing the right level of light. In compliance with office lighting norms, TrueLine, suspended is able to meet both sets of requirements. TrueLine is also available in recessed and surface-mounted versions.

Valaistu alue 1:

Häikäisyarvot UGR:N mukaan												
U-katso	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
U-Seinä	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135
U-Lattia	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Tilan koko												
X	Valokälinä poikittain						Valokälinä pituutta					
Y	Lampun keskiväli						Lampun keskiväli					
2m	20	24,6	29,3	34,0	38,7	43,4	48,1	52,8	57,5	62,2	66,9	71,6
3m	20	34,4	40,9	47,4	53,9	60,4	66,9	73,4	79,9	86,4	92,9	99,4
4m	20	48,2	57,8	67,4	77,0	86,6	96,2	105,8	115,4	125,0	134,6	144,2
5m	20	62,0	73,6	85,2	96,8	108,4	120,0	131,6	143,2	154,8	166,4	178,0
6m	20	75,8	89,5	103,2	116,9	130,6	144,3	158,0	171,7	185,4	199,1	212,8
7m	20	89,6	106,3	123,0	139,7	156,4	173,1	189,8	206,5	223,2	239,9	256,6
8m	20	103,4	123,1	142,8	162,5	182,2	201,9	221,6	241,3	261,0	280,7	299,4
9m	20	117,2	139,7	162,2	184,7	207,2	229,7	252,2	274,7	297,2	319,7	342,2
10m	20	131,0	155,5	180,0	204,5	229,0	253,5	278,0	302,5	327,0	351,5	376,0
11m	20	144,8	171,3	197,8	224,3	250,8	277,3	303,8	330,3	356,8	383,3	409,8
12m	20	158,6	187,1	215,6	244,1	272,6	301,1	329,6	358,1	386,6	415,1	443,6
13m	20	172,4	202,9	233,4	263,9	294,4	324,9	355,4	385,9	416,4	446,9	477,4
14m	20	186,2	218,7	249,2	280,7	311,2	341,7	372,2	402,7	433,2	463,7	494,2
15m	20	200,0	232,5	265,0	297,5	330,0	362,5	395,0	427,5	460,0	492,5	525,0
16m	20	213,8	248,3	282,8	317,3	351,8	386,3	420,8	455,3	489,8	524,3	558,8
17m	20	227,6	264,1	299,6	335,1	370,6	406,1	441,6	477,1	512,6	548,1	583,6
18m	20	241,4	279,9	317,4	354,9	392,4	429,9	467,4	504,9	542,4	579,9	617,4
19m	20	255,2	295,7	335,2	374,7	414,2	453,7	493,2	532,7	572,2	611,7	651,2
20m	20	269,0	311,5	354,0	396,5	439,0	481,5	524,0	566,5	609,0	651,5	694,0
Valon häikäisyarvot voidaan säätää seuraavasti:												
U = 1,04	+3,8 / -7,8						+5,8 / -8,8					
U = 1,54	+6,3 / -8,2						+8,3 / -8,8					
U = 2,04	+8,3 / -8,3						+8,8 / -7,8					
Valokälinä	R00						R00					
Käyttökorkeus	-3,1						-3,3					
Huom! Häikäisyarvot on laskettu 1700lm tehovalaisimella.												

Philips riippuasennettu valaisin / Luminanssitaulukot

Projekti 1

DIALux

30.10.2017

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

PHILIPS SP532P L1410 1 xLED47S/840 OC / Luminanssitaulukot

Valaisin: PHILIPS SP532P L1410 1 xLED47S/840 OC
Lamput: 1 x LED47S/840/-

Gamma	C 0°	C 10°	C 20°	C 30°	C 40°	C 50°	C 60°	C 70°	C 80°	C 90°
0.0°	24552	24552	24552	24552	24552	24552	24552	24552	24552	24552
5.0°	24768	24771	24773	24771	24789	24807	24805	24815	24820	24820
10.0°	25379	25396	25409	25435	25481	25524	25560	25607	25626	25630
15.0°	26433	26454	26484	26544	26650	26729	26835	26919	26965	26982
20.0°	28119	28153	28195	28250	28374	28513	28658	28775	28845	28851
25.0°	30455	30481	30561	30584	30613	30620	30717	30796	30859	30873
30.0°	31846	31910	32052	32078	32033	31876	31850	31928	31988	32003
35.0°	27900	27960	28094	28100	27973	27781	27654	27555	27577	27563
40.0°	17157	17047	16733	16275	15970	15673	15402	15062	14884	14808
45.0°	7796	7700	7383	7001	6739	6505	6289	6059	5954	5917
50.0°	3436	3396	3285	3174	3083	3002	2961	2941	2982	3012
55.0°	1965	1948	1909	1875	1858	1858	1886	1954	2078	2158
60.0°	1338	1338	1312	1299	1312	1325	1390	1507	1663	1780
65.0°	1053	1053	1038	1038	1045	1068	1145	1261	1422	1537
70.0°	874	874	874	874	874	912	969	1064	1216	1292
75.0°	753	753	741	741	753	778	828	916	1029	1079
80.0°	599	599	599	599	636	636	673	748	823	861
85.0°	447	447	447	447	447	447	522	522	559	596

Arvot (yksikkö) Candela/m².