

Anssi Anttila

# Led-ohjeistus sähköurakointiyritykselle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

14.5.2013

Tekijä Otsikko	Anssi Anttila Led-ohjeistus sähköurakointiyritykselle
Sivumäärä Aika	63 sivua + 10 liitettä 14.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Osmo Massinen toimitusjohtaja Ulf Törnblom
<p>Tässä insinöörityössä tutkittiin ledien käyttöä valaistuksessa. Työssä käsiteltiin valaistustekniikan perusteita ja näkemisen perusteita, perinteisiä valonlähteitä, EU-direktiivien vaikutuksia valaistukseen ja valaistuksen elinkaarikustannuslaskennan perusteita. Työssä selvitettiin ledien käytön kannattavuutta taloudellisesta näkökulmasta yrityksen tyypillisempien urakointi- ja suunnittelukohteiden valaistuksessa.</p> <p>Yrityksen tyypillisissä urakointikohteissa on käytetty valaistukseen loistevalaisimia, downlight-valaisimia, moduulivalaisimia, syväsäteilijöitä ja ulkovalaistuksessa pylvävalaisimia. Työssä tutkittiin onko näissä valaisinkategorioissa nykyisin elinkaarikustannuksiltaan varteenotettavia ledeillä toteutettuja vaihtoehtoja.</p> <p>Työn tuloksista selvisi, että led-valoputkien nykyisistä versioista ei ole T8-loisteputkien korvaajaksi. Downlight-valaisimissa on nykyisin investointi- ja elinkaarikustannuksiltaan edullisempia ledivaihtoehtoja perinteisiin ratkaisuihin nähden. Moduulivalaisimissa ledivaihtoehdot ovat investointikustannuksiltaan vielä selkeästi kalliimpia, mutta alhaisempien käyttökustannusten ansiosta ledeillä toteutetuissa moduulivalaisimissa on jo elinkaarikustannuksiltaan kannattavia vaihtoehtoja perinteisiin ratkaisuihin nähden. Syväsäteilijöissä ledivalaisimien investointikustannukset ovat vielä korkeampia perinteisiin ratkaisuihin nähden, mutta elinkaarikustannusten perusteella ledisyväsäteilijät ovat nykyisin edullisempi vaihtoehto. Ulkovalaistuksessa käytettävissä pylvävalaisimissa ledivaihtoehdot ovat investointikustannuksiltaan vielä kalliimpia. Käyttökustannuksia nostavat ulkovalaistuskäytössä ledimoduulien uusintatarve ulkovalaistuksen vuotuisten pitkien käyttöaikojen johdosta. Korkeiden investointi- ja käyttökustannusten johdosta pylvävalaisimissa ledivaihtoehtojen kokonaiselinkaarikustannukset ovat korkeampia perinteisiin suurpainenatriumlampuvalaisimiin nähden.</p>	
Avainsanat	led-valaistus, energiansäästö, elinkaarikustannus, valaistus suunnittelu, valonlähde, valotehokkuus

Author Title	Anssi Anttila LED Use Instructions for Electrical Contractor
Number of Pages Date	63 pages + 10 appendices 14 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Osmo Massinen, Senior Lecturer Ulf Törnblom, General manager
<p>The aim of this thesis was to study the use of LED in lighting. The work deals with the basics of lighting technique and sight, traditional light sources, the impact of EU directives on lighting and the basics for calculating the life cycle cost of lighting. This thesis describes the profitability of the use of LED in the lighting of the most common contractual and planning objects in companies, from an economical point of view.</p> <p>In typical contractual assignments for companies, fluorescent lamps, downlight lamps, module lamps, and high bay lamps are used, as well as pillar lamps for outdoor lighting. The thesis explores the existence of credible LED alternatives today in these lamp categories, as regards life cycle cost.</p> <p>The results of this thesis reveal that there does not exist today a version of the LED tube to replace the T8 tube. As regards downlight lamps, today LED alternatives can be found that are more favourable when it comes to investment and life cycle costs compared to traditional solutions. As for module lamps, LED alternatives are still clearly more expensive when investment costs are considered, but thanks to lower operating costs there are already favourable alternatives for LED module lamps compared to traditional solutions, when life cycle costs are considered. The investment costs for high bay LED lamps are still higher compared to traditional solutions, but based on life cycle costs high bay LED lamps are today a noticeably more economical alternative. In pillar lamps used for outdoor lighting, the investment costs for LED alternatives are even higher. Operating costs for LED modules used for outdoor lighting are increased by the need to replace them due to extensive all year round usage. Due to the high investment and operating costs, the life cycle costs for LED pillar lamps are higher than for high-pressure sodium lamps.</p>	
Keywords	LED lighting, energy savings, life cycle cost, lighting design, light source, light efficiency

## Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Valo ja näkeminen	2
2.1	Silmälle näkyvä ja näkymätön valo	2
2.2	Valaistustekniikan suureet ja yksiköt	4
2.3	Näköaistin toiminta	5
3	Perinteisten valonlähteiden perusteet	8
3.1	Valonlähteiden valinta ja ominaisuuksien vertailu	8
3.2	Valonlähteiden kehitys ja mahdollisuudet	10
3.3	ErP-direktiivin vaikutukset valaistukseen	12
3.4	Perinteiset valonlähteet	15
3.4.1	Hehkulamput	15
3.4.2	Halogeenilamput	16
3.4.3	Loistelamput	16
3.4.4	Elohopealamput	17
3.4.5	Monimetallilamput	18
3.4.6	Suurpainenatriumlamput	19
4	Ledit valaistuksessa	20
4.1	Ledien toiminta ja rakenne	20
4.2	Ledien ominaisuuksia	21
4.3	Ledien haasteita	23
4.4	Ledien ohjaus ja säätö	24
4.5	Oledin toiminta ja rakenne	25
5	Valaistuksen elinkaarikustannuslaskenta	25
5.1	Valaistuksen elinkaarikustannuslaskennan perusteet	27
5.1.1	Valaistuksen investointikustannukset	28
5.1.2	Valaistuksen käyttökustannukset	29
5.1.3	Valaistuksen kokonaiskustannukset	31

5.1.4	Valaistuksen tuotannolliset vaikutukset	32
6	Ledien soveltuvuus valaistukseen	33
6.1	Led-valoputket T8-loistelamppujen korvaajana	33
6.1.1	Led-valoputkien valaistusominaisuuksien arviointi	35
6.1.2	Led-valoputkien ja T8-loistelamppujen elinkaarikustannuslaskelmat	41
6.2	Teollisuus- ja varastointitilojen valaistus ledeillä	42
6.2.1	Ledit syväsäteilijöiden valonlähteenä	42
6.2.2	Syväsäteilijöiden elinkaarikustannuslaskelmat	44
6.3	Liike- ja palvelurakennuksien valaiseminen ledeillä	47
6.3.1	Ledit moduulivalaisimien valonlähteenä	48
6.3.2	Moduulivalaisimien elinkaarikustannuslaskelmat	50
6.3.3	Ledit downlight-valaisimien valonlähteenä	52
6.3.4	Käytävän downlight-valaisimien elinkaarikustannuslaskelmat	53
6.4	Ulkoalueiden valaistus ledeillä	55
6.4.1	Ledit pylväsvalaisimien valonlähteenä	56
6.4.2	Pylväsvalaisimien elinkaarikustannuslaskelmat	57
7	Yhteenveto	59
	Lähteet	62
	Liitteet	
	Liite 1. Led-valoputkien ja T8-loistelamppujen mittauspöytäkirjat	
	Liite 2. Led-valoputkien ja T8-loistelamppujen elinkaarikustannuslaskelmat	
	Liite 3. Syväsäteilijöiden Dialux-laskelmien yhteenvedot	
	Liite 4. Syväsäteilijöiden elinkaarikustannuslaskelmat	
	Liite 5. Moduulivalaisimien Dialux-laskelmien yhteenvedot	
	Liite 6. Moduulivalaisimien elinkaarikustannuslaskelmat	
	Liite 7. Downlight-valaisimien Dialux-laskelmien yhteenvedot	
	Liite 8. Downlight-valaisimien elinkaarikustannuslaskelmat	
	Liite 9. Pylväsvalaisimien Dialux-laskelmien yhteenvedot	
	Liite 10. Pylväsvalaisimien elinkaarikustannuslaskelmat	

## Lyhenteet

E	valaistusvoimakkuus
$E_m$	keskimääräinen valaistusvoimakkuus
H	valonlähteen valotehokkuus
led	light-emitting diode
K	kelvin, SI-järjestelmän yksikkö lämpötilalle
lm	luumen, valovirran yksikkö
lx	luksi, valaistusvoimakkuuden yksikkö
nm	nanometri, $1 \cdot 10^{-9}$ m
oled	organic light-emitting diode
$U_o$	valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus vertailutasolla
$V(\lambda)$	silmän suhteellinen spektriherkkyysfunktio (fotooppinen)
$V'(\lambda)$	silmän suhteellinen spektriherkkyysfunktio (skotooppinen)

## 1 Johdanto

Valaistusalalla tapahtuu nykyisin tuotteiden kehityksessä ja tuotteille asetetuissa vaatimuksissa paljon muutoksia. Valaistukseen käytettävät ledit ovat jatkuvasti yleistymässä nopeasti kehittyvien valotehokkuuksien sekä muiden ominaisuuksien ansiosta. EU:n asettamat tavoitteet energiankulutuksen vähentämiseksi aiheuttavat toimenpiteitä myös valaistustuotteisiin. Asetetuilla toimeenpanosäädöksillä määrätään valaistustuotteille energiatehokkuus- ja toimintavaatimuksia.

Tämä insinööri työ tehtiin Jeti-Sähkö Ky:lle, joka on sähköurakointi- ja suunnittelutoimintaa harjoittava sähköurakointiyritys. Yrityksen tyypillisiä suunnittelu- ja urakointikohteita ovat teollisuus, liikerakennukset ja kunnalliset kohteet muun muassa koulut ja terveydenhuoltolaitokset. Ledien käytön yleistyessä valaistuksessa aiheuttavat ne ongelmia ja epätietoisuutta niiden erilaisuutensa takia. Tämän insinööri työn tarkoitus on selvittää yritykselle mihin asioihin ledien käytössä on kiinnitettävä huomiota.

Erilaisia valaistustekniikoita suunniteltaessa ja käytettäessä on hallittava valaistustekniikan perusteet ja ymmärrettävä näkemiseen vaikuttavat asiat. Perinteisten valonlähteiden ominaisuudet on tiedettävä, jotta pystytään määrätietoisesti suunnittelemaan ja vertailemaan eri valaistusratkaisuja. EU-direktiivien vaikutukset valaistustuotteisiin ja -suunnitteluun on myös tunnettava. Työssä selvitetään edellä mainitut asiat sekä keskitytään ledien soveltamisessa huomioitaviin asioihin, kun ledejä käytetään yrityksen tyypillisempien työ- ja suunnittelukohteiden valaistusratkaisuissa.

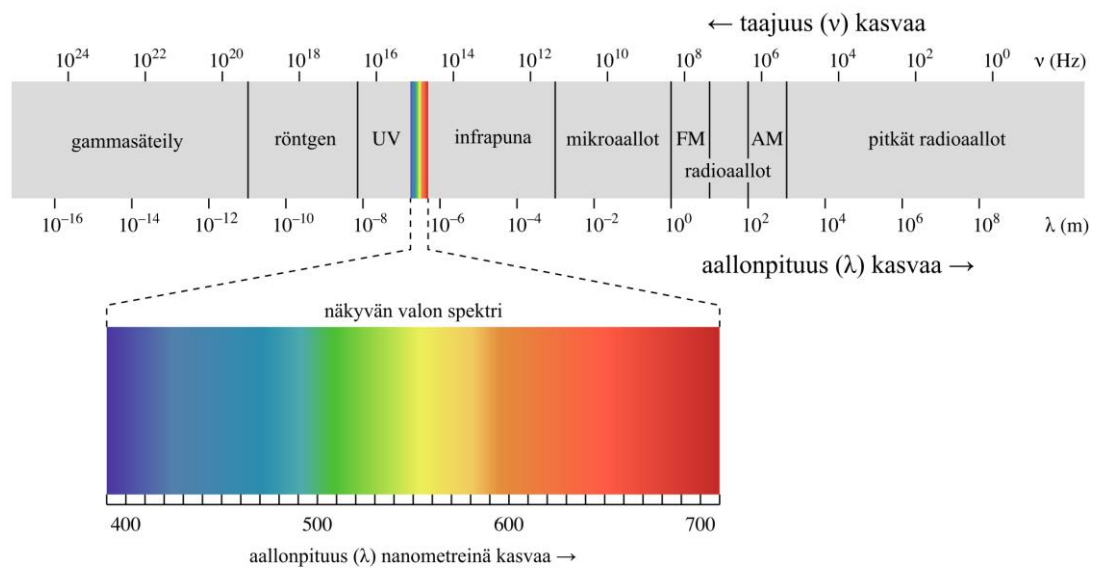
Ledeillä toteutetussa valaistuksessa on erilainen kustannusrakenne perinteisiin valaistusratkaisuihin nähden, siksi on osattava tehdä vertailua tuotteiden koko elinkaaren perusteella. Ledien toimintaperiaatteesta johtuen niiden ominaisuudet poikkeavat perinteisten valonlähteiden ominaisuuksista monella tavalla, joten työn tavoitteena on myös selvittää asiat, joihin on kiinnitettävä huomiota käytettäessä ledejä valaistukseen.

Ohjeistuksessa tutkitaan esimerkkikohteiden valaistuksen laadullisia vaatimuksia sekä kohteiden perinteisillä tavoilla toteutetun valaistuksen korvaamista ledeillä. Esimerkkiloina käytetään yrityksen tyypillisempiä kohteita, joista selvitetään elinkaarilaskelmien avulla, millä markkinoilta löytyvillä valonlähteillä valaistus on nykyisin kustannusnäkökulmasta katsoen järkevintä toteuttaa.

## 2 Valo ja näkeminen

### 2.1 Silmälle näkyvä ja näkymätön valo

Valoksi kutsutaan havaittavaa näkyvää valoa, joka on tietyn aallonpituista sähkömagneettista säteilyä. Havaittu valo esiintyy ultraviolettisäteilyn ja infrapunasäteilyn välisellä 400–780 nm aallonpituusalueella jakautuen kuuteen perusväriin. Näiden kuuden värin sijoittuminen koko sähkömagneettisen säteilyn spektrin alueella on havaittavissa kuvasta 1. [1.]

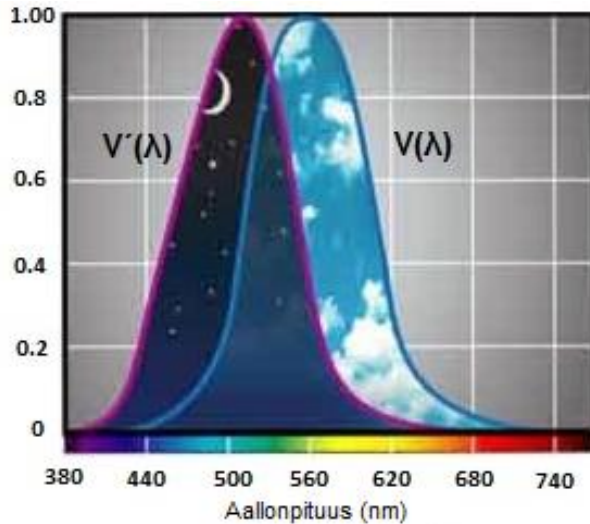


Kuva 1. Sähkömagneettisen säteilyn spektri [2]

Silmän kyky havaita eri aallonpituista valoa vaihtelee. Silmän havaitsemien eri aallonpituuksien herkkyys on kuvattu vuonna 1924 käyttöönotetussa silmän spektriherkkyyskäyrässä eli  $V(\lambda)$ -käyrässä, johon perustuvat kaikki valaistustekniikan perussuureet. Käyrä kuvaa silmän herkkyyttä päivänäkemisessä eli tilanteissa, joissa on paljon valoa. Tällöin silmä on herkin keltavihreälle valolle, jonka aallonpituus on 555 nm. Tästä johtuen valotehokasta valonlähdettä suunniteltaessa kannattaisi valonlähteen spektri painottaa juuri tälle keltavihreälle alueelle, kuten esimerkiksi suur- ja pienpainenatriumlampuissa on tehty. Ongelmana on kuitenkin värien toistuminen kyseisillä lampuilla, koska hyvä värintoisto vaatii kaikkien aallonpituuksien esiintymistä lampun spektrissä. Tätä ominaisuutta on kuitenkin vaikea saavuttaa erittäin valotehokkaissa lampuissa. Olisi myös toivottavaa, että lamppu toistaisi vain näkyvän valon aallonpituuksia, koska



lampun säteilyspektrin sisältäessä infrapunasäteilyä osa sähkötehosta muuttuu lämmöksi ja lampun valontuottokyky heikkenee ja pääasiallinen tarkoitus muuttuu. [1, s. 36, 52; 3, s. 3.]



Kuva 2. Silmän spektriherkkyyskäyrät  $V(\lambda)$  ja  $V'(\lambda)$  [4 lähdettä mukaillen]

Näkeminen toteutuu silmässä olevan kahden erilaisen solutyypin, tappi- ja sauvasolun avulla. Kuvassa 2 ovat silmän spektriherkkyyskäyrät tappinäkemisessä  $V(\lambda)$  (fotooppinen) ja sauvanäkemisessä  $V'(\lambda)$  (skotooppinen). Silmä käyttää tappisoluja päivänäkemiseen ja sauvasoluja pimeänäkemiseen. Sauvanäkeminen tapahtuu siis erittäin vähäisessä valaistuksessa, jolloin silmän herkkyys on siirtynyt 50 nm lyhyempiin aallonpituuksiin, ja silmän havaitsemat huiput ovat siirtyneet kohti sinisempiä sävyjä. [1, s. 52.]

Kaikki valaistuksen mitoittaminen perustuu nykyisin  $V(\lambda)$ -käyrään tilanteessa, jossa valaistusta on runsaasti ja silmä käyttää näkemiseen lähes yksinomaan tappisoluja. On kuitenkin huomattu, että fotooppisen ja skotooppisen näkemisen välillä on alue, jossa silmä käyttää näkemiseen tappi- ja sauvasoluja yhtäaikaisesti. Tätä väliin jäävää aluetta kutsutaan mesooppisen näkemisen alueeksi, jolla silmä toimii useimmiten ulko- ja tiealueiden valaistuksen käyttötilanteissa. [5.]

## 2.2 Valaistustekniikan suureet ja yksiköt

Valaistustekniikan ymmärtäminen ja soveltaminen vaatii sen keskeisten suureiden hallitsemista ja niiden välisten vaikutusten käsittämistä. Taulukossa 1 esitetään tärkeimmät valaistustekniikan suureet symboleineen ja yksiköineen:

Taulukko 1. Valaistustekniikan suureet ja yksiköt

suure	symboli	yksikkö
valovirta	$\Phi$	luumen [lm]
valovoima	I	kandela [cd]
valaistusvoimakkuus	E	luksi [lx]
luminanssi	L	kandela/neliömetri [cd/m <sup>2</sup> ]
valotehokkuus	H	luumen/watti [lm/W]

### Valovirta

Valovirta on silmän spektriherkkyyden perusteella havaitsema valonlähteen lähettämä valon näkyvän alueen säteilyteho. Valonlähdevalmistajat ilmoittavat tuotteidensa valovirta-arvot, joita käytetään apuna valaistusvoimakkuuksien laskemisessa. Valovirran yksikkö on luumen (lm), ja sen tunnuksena käytetään symbolia  $\Phi$ .

### Valovoima

Valovoima ilmoittaa lampun lähettämän valovirran määrän määrättyyn suuntaan. Valovoima ilmoitetaan yleensä valaisimen valonjakokäyrästön avulla. Valovoiman yksikkö on kandela (cd), ja sen tunnuksena käytetään symbolia I.

### Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus ilmoittaa tietylle pinnalle saapuvan valovirran määrän, josta se heijastuu, johon se absorboituu tai jonka se läpäisee. Pinnan saavuttaneen valovirran määrän tiheyttä kutsutaan valaistusvoimakkuudeksi, sen yksikkö on luumen/neliömetri (lm/m<sup>2</sup>) eli luksi. Valaistusvoimakkuuden tunnuksena käytetään symbolia E.

## Luminanssi

Luminanssi määrittää tietyn pinnan valovoiman tiheyden eli pintakirkkauden tarkasteluun. Se on valaistustekniikassa ainoa silmän suoranaisesti havaitsema suure. Se on havaittavissa tietyn pinnan kirkkauden vaihteluna, mitä kirkkaampi pinta, sitä suurempi luminanssi. Yksikkönä käytetään kandela neliömetrille ( $\text{cd/m}^2$ ) ja tunnuksena symbolia L. [1, s. 34–37.]

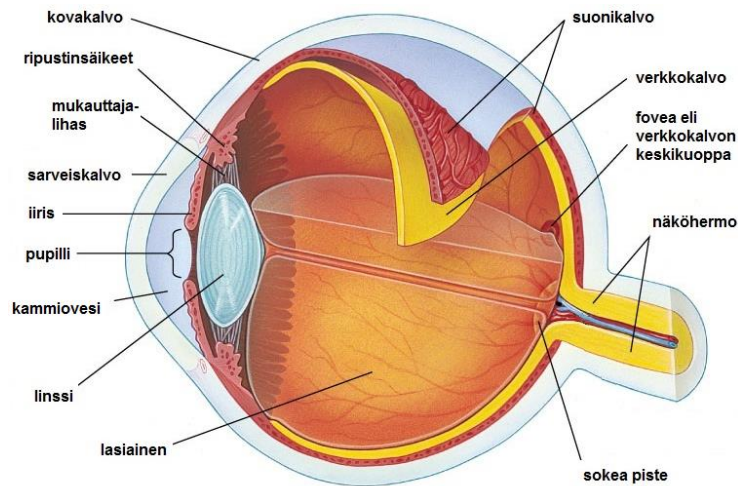
## Valotehokkuus

Valotehokkuus kertoo valonlähteen tuottaman valovirran suhteen kulutettuun sähkötehoon eli voidaan sanoa, että se kuvaa valonlähteen hyötysuhdetta. Arvossa ei ole huomioitu valaisimen ohjauselektronikan kuluttamaa häviötehoa ilman erillistä mainintaa, jolloin puhutaan järjestelmän valotehokkuudesta. Valotehokkuuden yksikkö on luumen/watti ( $\text{lm/W}$ ) ja sen tunnuksena käytetään symbolia H. [3, s.15.]

## 2.3 Näköaistin toiminta

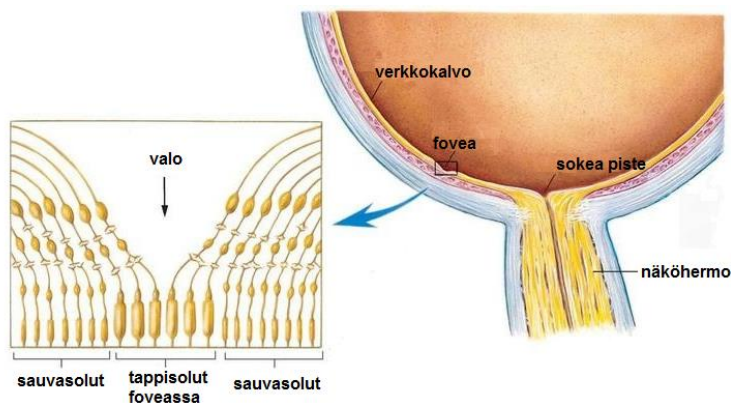
Yksi ihmisen monista aisteista on näköaisti, jonka kautta saadaan peräti 70–80 % kaikesta tiedosta, mitä aistien avulla havaitaan yhteensä. Tämän informaatiomäärän saavuttamiseksi tarvitaan valoa sen havaitsemiseen. Valo on joko keinotekoisia tai luonnonvaloa. Valaistusta suunniteltaessa on ymmärrettävä silmän toiminta, jotta pystytään vaikuttamaan näkemiseen vaikuttaviin asioihin. Suunnittelua ei helpota, että lähes jokaisella silmällä on yksilölliset ominaisuutensa, jotka vielä muuttuvat eliniän aikana huomattavasti. [1, s. 85.]

Näkemisen voidaan sanoa perustuvan luminanssieroihin ja siitä kehittyvään luminanssikontrastiin. Luminanssierot riippuvat kohteen tai esineen heijastuskyvystä sekä kohteeseen saapuvan valon määrästä. Kontrasti vaihtelee esineillä ja kohteilla, mutta valon määrällä voidaan parantaa kontrastierojen havaitsemista. Näkökentässä olevasta kohteesta silmään heijastunut valo kulkee kuvasta 3 (ks. seur. s.) havaittavien sarveiskalvon, kammioveden, silmälinssin ja lasiaisen kautta verkkokalvolle, jolle kuva muodostuu ylösalaisin. [3, s. 8.]



Kuva 3. Silmän vaakasuora halkileikkaus [6 lähdettä mukaillen]

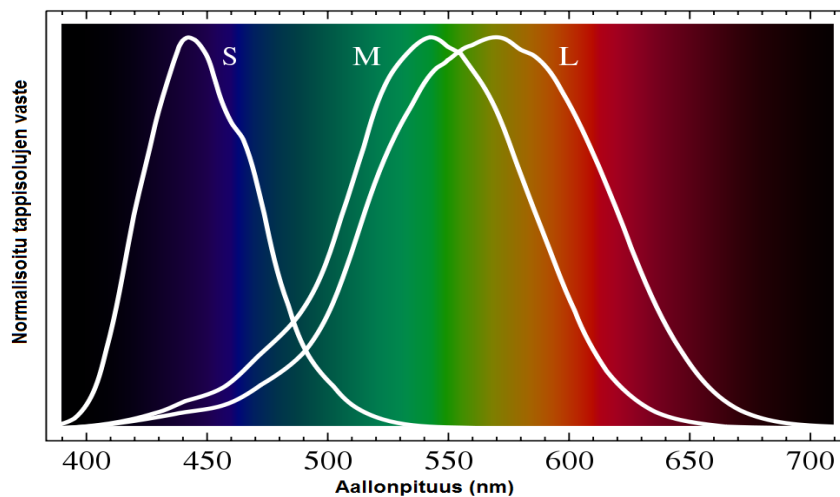
Silmä toimii valaistustilanteesta riippuen joko tappi- tai sauvasoluilla ja mesooppisessa näkemisessä näiden molempien solujen yhteisvaikutuksella. Sauva- ja tappisolut ovat verkkokalvolla olevia näköreseptoreita, joiden avulla kyetään näkemään. Kuvasta 4 on havaittavissa, että tappisolut ovat keskittyneet verkkokalvon keskiosaan. Niitä on siellä noin 5–6 miljoonaa. Tätä verkkokalvon keskikohtaa kutsutaan foveaksi, joka on silmän herkin kohta. Tällä herkimmällä kohdalla on lähes pelkästään tappisoluja, joita on kolmea tyyppiä eri värien tunnistamiseen. Keskikohdasta kauemmaksi edettäessä sauvasolujen määrä kasvaa ja tappisolujen määrä vähenee. Verkkokalvolla sauvasoluja on noin 120 miljoonaa, koska niitä on vain yhdentyypisiä, ne eivät kykene erottamaan värejä. Tämän takia, kun näkö toimii hämärässä puhtaasti sauvasoluilla, värejä ei kyetä erottamaan. [1, s. 88–89.]



Kuva 4. Tappi- ja sauvasolujen jakaantuminen verkkokalvolle [6 lähdettä mukaillen]

Verkkokalvon näköreseptorien aistimusten muuttuessa hermoärsykkeiksi ne siirtyvät näköhermoja pitkin aivojen näkökeskukseen, jossa varsinainen kuva kohteesta muodostuu. Kuvan muodostumisen nopeuteen vaikuttaa näkökohteen aikaisempi tieto, asenteet ja muistikuvat sekä kokemus esineistä, ympäristöstä ja tapahtumista. Näiden asioiden hahmottamista voidaan nopeuttaa ja parantaa hyvällä valaistuksella. [7, s. 57.]

Tappisoluja on kolme eri tyyppiä, jotka mahdollistavat värien näkemisen. Näiden solujen yhteishavainnoista muodostuu silmän spektriherkkyyskäyrä eli  $V(\lambda)$ -käyrä. Näillä kolmella värillä aistivalla solulla on tiettyjen värien aallonpituushuiput, jotka ne pystyvät havaitsemaan. Kuvassa 5 kuvataan kolmen erityyppisten tappisolujen aallonpituuksien spektriherkkydet:



Kuva 5. Erityyppisten tappisolujen spektriherkkydet [6 lähdettä mukailten]

Sinisellä eli S-alueella solut ovat herkimmillään valolle, jonka aallonpituushuippu on 445 nm. Nämä solut eivät pysty havaitsemaan 520 nm suurempia aallonpituuksia, toisin kuin kaksi muuta solutyyppiä, jotka kykenevät havaitsemaan kaikkia valonaallonpituuksia silmän spektriherkkyden alueelta. M-alueen solujen herkkyys huippu sijoittuu 535 nm:n kohdalle, joten sitä kutsutaan vihreäksi alueeksi. Kolmas solutyyppi on puna-herkälle alueelle keskittynyt tappisolutyyppi, jonka aallonpituushuippu on 575 nm:n kohdalla. [1, s. 96.]

Näön yksi merkittävimmistä ominaisuuksista on sen sopeutumiskyky erilaisiin valaistustilanteisiin. Ympäröivät asiat voidaan hahmottaa kuunvalossa alle yhden luksin valaistusvoimakkuudessa sekä auringonvalon 100 000 luksin valaistusvoimakkuudessa.

Silmä toteuttaa sopeutumisen eri valaistustilanteiden välillä säätelemällä pupillin halkaisijaa 2–8 mm:n välillä sekä säätämällä verkkokalvon herkkyyttä. Sopeutuminen ei kuitenkaan tapahdu hetkessä. Pimeästä valoisaan siirryttäessä sopeutuminen tapahtuu suhteellisen nopeasti, mutta pimeään mentäessä täydellinen sopeutuminen vaatii jo 30–40 minuutin sopeutumisajan.

Silmän on myös kyettävä tarkentamaan katseltaviin kohteisiin, jotka sijaitsevat eri etäisyyksillä. Tätä ominaisuutta kutsutaan mukautumiseksi eli adaptaatioksi. Silmä mukautuu muuttamalla silmän taittovoimaa, jolloin silmän sädelihakset taivuttavat linssiä. Normaalisessa tilanteessa siirtyminen kaukokatselun ja lähikatselun välillä vie silmältä noin 0,7 sekuntia, mutta usein myös katseltava kohde muuttuu, jolloin aika on hieman pidempi. [1, s. 101–104.]

Muutoksia silmän ominaisuuksissa tapahtuu koko sen eliniän, valitettavasti huonompaan suuntaan, silmän ikääntyessä. Ikääntyessä valon tarve kasvaa, koska silmän linssi kellastuu, ja pupillin koko pienenee. Huomattavin näkemistä heikentävä asia on kuitenkin valonsäteiden siroutuminen valon kulkiessa silmän optisen järjestelmän läpi. Tämä aiheuttaa sen, että kuva muodostuu verkkokalvolle epätarkasti, ja ihminen häikäistyy helpommin, mikä usein on huomattavissa autolla ajettaessa, jolloin vastaantulijan valot häikäisevät enemmän ihmisen vanhetessa. Silmän ikääntyessä myös valon absorptio kasvaa valon kulkiessa verkkokalvolle, mikä on suurinta valon lyhyillä aallonpituuksilla. Tämä aiheuttaa merkittävää violettien ja sinisten värien erotuskyvyn laskua. [1, s. 109; 7, s.109.]

### **3 Perinteisten valonlähteiden perusteet**

#### **3.1 Valonlähteiden valinta ja ominaisuuksien vertailu**

Valonlähteiden ominaisuuksia vertailtaessa on pohdittava, mille ominaisuuksille kulloissakin sovelluksessa on annettava painoarvoa. Vertailtavien ominaisuuksien määrä voi yllättää runsaudellaan, jotenärkevimmän valonlähteen valinta on usein usean osaluheen kompromissi. Taulukossa 2 (ks. seur. s.) esitetään valonlähteiden ominaisuuksia, joita on syytä vertailla etsittäessä oikeaa valonlähdettä. Nykyisin ei ole yhtä parasta valonlähdettä, joka soveltuisi kaikkiin valaistustilanteisiin. Hyviä vaihtoehtoja on paljon,

mutta kulloiseenkin valaistustarpeeseen järkevimmän ratkaisun löytäminen voi olla haasteellista.

Taulukko 2. Valonlähteiden vertailtavia ominaisuuksia

Valotehokkuus	Lampun käyttöikä	Valon laatu
Valovirta	Valovirran alenema käytön aikana	Väriämpötila
Ohjaus- ja liitäntälaitteen häviöt	Kuolleisuus	Värintoistokyky
Valaisimen optiset häviöt		
Ympäristön ja olosuhteiden vaikutus	Valaisin	Osto- ja käyttökustannukset
Jännitteen vaihtelut	Lampun koko ja paino	Lampun hinta
Ympäristön lämpötila	Luminanssi	Lampun käyttöikä
Kytkenäisyys	Tarvittavat apulaitteet (liitäntälaitte, sytytinlaitteet, jne.)	Valotehokkuus
Polttoasento	Valaisimen hyötysuhde	Lampun vaihtokustannukset
Kytkenäisyys- ja käyttöaika	Valaisimen optiikka	Sähkön hinta
Tärinä		Valaistuksen käyttöaika

Valotehokkuus kertoo valonlähteen kyvyn muuttaa sähkötehoa valovirraksi, joten se on yksi helpoimmista tavoista vertailla valonlähteitä. Asennettaessa valonlähde valaisimeen syntyy valaisimen ohjauselektronikassa häviöitä, jotka on otettava huomioon valaisimen valotehokkuutta ilmoitettaessa. Kun nämä häviöt on otettu huomioon, kutsutaan sitä järjestelmän valotehokkuudeksi.

Valonlähteen tuottamasta valovirrasta osa jää valaisimen sisälle heijastimiin tai muihin rakenteisiin. Järjestelmän valotehokkuusarvossa pitäisikin ottaa huomioon myös valaisimen rakenteisiin jäävät häviöt. Tällöin kaikki järjestelmässä syntyvät häviöt tulisi otetuksi huomioon. Tuotettu valovirta tulisikin laskea koko valaisimen osalta, jolloin sitä kutsuttaisiin hyötyvalovirraksi, kun valaisimen optiikan hyötysuhde on otettu huomioon.

Ledivalaisimien kohdalla valmistajat ilmoittavat usein valotehokkuuslukeman, jossa on otettu huomioon kaikki valaisimessa aiheutuvat häviöt. Vertailtaessa ledivalaisimia perinteisen valonlähteiden valaisimiin olisi tästä syystä myös niissä otettava huomioon kaikki valaisimessa aiheutuvat valovirran häviöt. [3, s.15.]

Lamppujen syttymisominaisuuksiin on myös syytä kiinnittää huomiota, koska riippuen lampun toimintatavasta voi syttyminen kestää useita minuutteja eikä uudelleensyntyminen kuumana ole kaikilla lampputyypeillä mahdollista. [3, s. 17.]

Valonlähteiden elinikä on usein tärkeä ominaisuus, joka halutaan mahdollisimman tarkasti tietää. Erällä valonlähteillä elinikäennusteiden ylittäessä jopa 50 000 tuntia ei ennusteita pystytä tekemään koko eliniän kattavin polttokokein, koska tieto olisi valmis-

tuessaan jo vanhentunutta. Ledien elinikien selvittäminen nopeammin on toteutettu siten, että valonlähdettä poltetaan 6 000 tai 10 000 tuntia, minkä jälkeen jäljellä oleva elinikä selvitetään matemaattisten mallien avulla. On kuitenkin muistettava, että olipa lampun elinikäennuste selvitetty testaamalla tai matemaattisesti, yksittäisen lampun elinikää ei pystytä kertomaan, ennen kuin lamppu on sammunut. On myös hyvä ymmärtää valmistajien erilaisia tapoja ilmoittaa valonlähteiden eliniät, joista yleisempiä ovat seuraavat:

#### Keskimääräinen elinikä (B50)

Keskimääräisellä eliniällä tarkoitetaan aikaa, kun puolet suuresta määrästä lamppuja on sammunut. Tämä on yleisin käytössä oleva tapa ilmoittaa lampun elinikä.

#### Hyötypolttoikä (ryhmävaihtoväli)

Hyötypolttoikä tarkoittaa aikaa, jolloin asennuksen kaikki lamput vaihdetaan samaan aikaan. Tällaista tapaa käytetään lähinnä suurissa asennuksissa, joissa vaihtokustannusten minimoimiseksi kaikki lamput vaihdetaan kerralla.

#### Ledien elinikä (L70)

Ledit eivät varsinaisesti kuole samalla tavalla kuin perinteiset lamput, vaan niiden valovirta laskee. Ledeillä elinikä ilmoitetaan tästä johtuen yleisemmin L70-arvona, jolloin ledin valovirta on alentunut 30 % alkuperäisestää.

#### Lampun eliniänkerroin

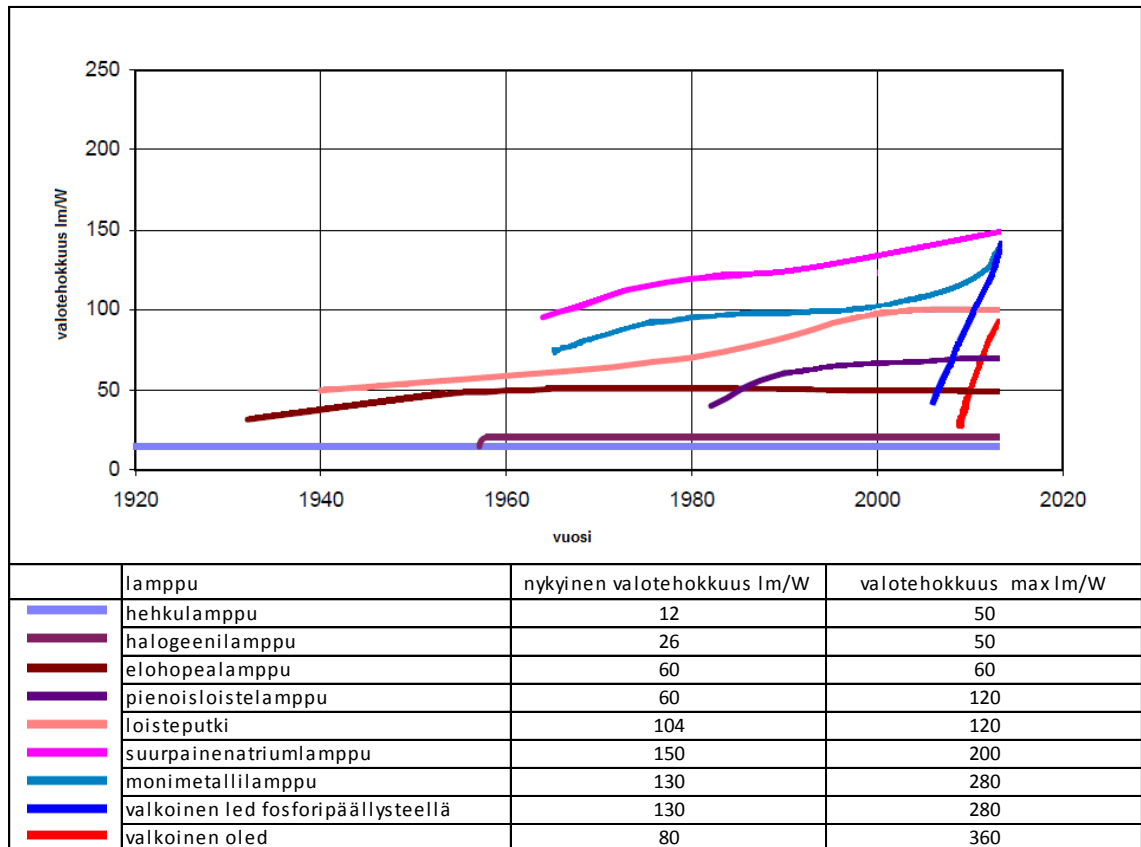
Lampun eliniänkertoimella ilmoitetaan jollekin tuntimäärälle prosenttimäärä, mikä kertoo kuinka suuri osuus lamppuista on vielä toimivia ilmoitetussa ajassa. Lamppuille tapahtuu niin sanottuja ennenaikaisia äkkikuolemia, jotka ilmaistaan eliniänkertoimella.

### 3.2 Valonlähteiden kehitys ja mahdollisuudet

Perinteisten valonlähteiden valotehokkuuksien kehittyminen vuosien saatossa on ollut hyvin tasaista. Kuvasta 6 (ks. seur. s.) nähdään valonlähteiden nykyinen valotehokkuus



ja valonlähteen mahdollinen valotehokkuuden teoreettinen maksimiarvo. Ledien kehityksestä huomataan niiden valtavan nopea kehitys vuosikymmenessä, eikä kehityksen hidastumista ole ainakaan vielä havaittavissa. On kuitenkin muistettava, että kuva kertoo vain valonlähteiden valotehokkuudesta, ottamatta kantaa valon laadullisiin tekijöihin. Näin ollen valotehokkain valonlähde ei välttämättä ole parhain.



Kuva 6. Valonlähteiden valotehokkuuden kehitys sekä teoreettinen kehitysmahdollisuus [9 lähdettä mukaillen]

Hehku- ja halogeenilampuilla olisi teoriassa saavutettavissa hiukan parempia valotehokkuuksia, mutta niiden nykyinen valontuotto on eliniän ja valontuoton kompromissi, myöskään huonon energiatehokkuuden takia hehkulampun kehittäminen ei ole järkevää.

Kaksikantaisilla loistelampuilla eli loisteputkilla mahdollinen kehitys on jo saavutettu, joten niiden kohdalla valotehokkuuden osalta ei ole enää odotettavissa suurta kehitystä. Yksikantaloistelampuissa kehityspotentiaalia on vielä teoreettisesti samaan kuin kaksikantaisilla, mutta näiden lamppujen pieni koko asettaa omat haasteensa kehitykselle.

Monimetallipurkauslamppuissa on siirrytty kvartsilasisista purkausputkista keraamisiin, jolloin on saavutettu parempia valotehokkuuksia. Monimetallilamppuja kehitetään jatkuvasti, joten valotehokkuudet ja muut ominaisuudet kehittyvät edelleen.

Ledien nykyistä tilannetta on vaikea määrittää tarkasti, koska uusia ennätyksiä laboratorio-olosuhteissa raportoidaan jatkuvasti. On myös pohdittava mitkä arvot ovat vertailukelpoisia, koska laboratoriossa saavutetusta arvosta on vielä pitkä matka valmiiseen kaupalliseen tuotteeseen. Kaiken kaikkiaan selvää kuitenkin on, että nykyisellä ledien kehitysvauhdilla ledistä tulee lähivuosina valotehokkaimpia kaupallisia valonlähteitä.

### 3.3 ErP-direktiivin vaikutukset valaistukseen

ErP-direktiivi (Energy related Products directive), alun perin EuP-direktiivi (Eco Design-direktiivi) on puitedirektiivi energiaa käyttävien tuotteiden ekologisen suunnittelun vaatimuksista. Direktiivissä annetaan tuoteryhmäkohtaisia täytäntöönpanosäädöksiä, joilla määritellään tuotesuunnittelua koskevia ympäristövaatimuksia. Vaatimusten tultua voimaan ne koskevat kaikkia EU:n jäsenmaita ilman kansallisia lainsäädäntöjä. [8.]

Euroopassa kulutetaan lähes 40 % koko maailman energiankulutuksesta, mutta tuotetaan vain 23 %. Eurooppa on tämän takia erittäin riippuvainen energian tuonnista, koska yli puolet energiasta on tuontienergiaa ja tuontienergian määrä on jatkuvasti kasvussa aiheuttaen kriittisen haasteen EU:n energiaturvalle. Panostaminen energiatehokkuuteen on yksi tehokkaimmista keinoista vähentää tuontienergian tarvetta ja kasvihuonepäästöjä. EU on sitoutunut energiapolitiikassaan parantamaan energiatehokkuutta 20 % vuoteen 2020 mennessä. [9; 10; 11, s. 22.]

Valaistuksen osuus maailman koko sähkönkulutuksesta on noin 19 %, Suomessa osuus on noin 10 % ja osuus toimistorakennuksissa on 30–40 % kokonaisenergiankulutuksesta. Tämän takia EU pitää valaistuksen energiatehokkuuden parantamista yhtenä merkittävänä osa-alueena pyrkiessään saavuttamaan tavoiteltua energiankulutuksen vähentämistä. Jotta energiankulutuksessa päästäisiin toivottuihin tuloksiin EU on asettanut valaistukselle useita toimeenpanosäädöksiä, jotka koskevat valaistuksen eri tuoteryhmiä. Säädökset tulevat asteittain voimaan. [12.]

Asetuksia laadittaessa lähtökohtana on ollut, että asetusten seurauksena poistuvalla tuotteella on aina korvaava tuote markkinoilla. EU on asettanut seuraaville osa-alueille täytäntöönpanosäädöksiä, joissa eri direktiivien asetuksilla määrätään vaatimuksia tuoteryhmille:

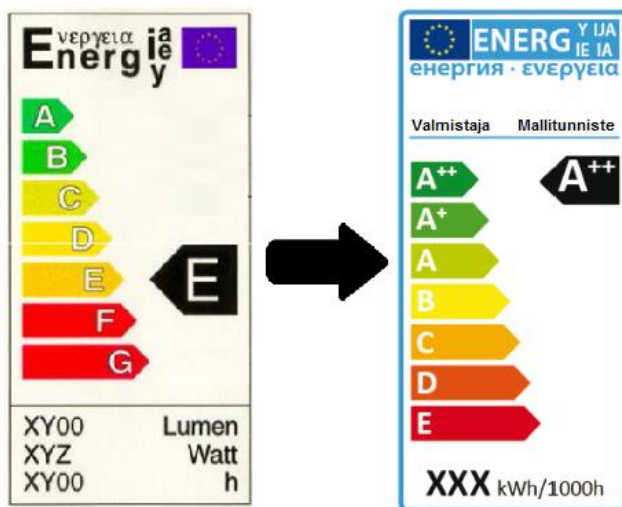
- ympärisäteilevät kotitalouslamput (direktiivi 2005/32/EY asetus 244/2009)
- palvelusektorin valaistustuotteet (direktiivi 2009/125/EY asetus 245/2009)
- kotitalouksien valaistuslaitteet II (direktiivi 2009/125/EY asetus 1194/2012)
- lamppujen energiamerkintä (direktiivi 2010/30/EU asetus 874/2012).

Ympärisäteileviä kotitalouslampuja koskevan direktiivin 2005/32/EY asetus 244/2009 astui voimaan 24.3.2009. Asetus vaikuttaa asteittain kotitalouksissa käytettäviin ympärisäteileviin lampuihin. Näkyvimpiä vaikutuksia ovat hehkulamppujen poistuminen markkinoilta vuosien 2009–2012 aikana. Asetuksessa määrätään myös muita toimintavaatimuksia kotitalouksissa käytettäville ympärisäteileville valonlähteille. [13.]

Palvelusektorin valaistustuotteita koskevan direktiivin 2009/125/EY asetus 245/2009 tuli voimaan 24.3.2009. Asetus vaikuttaa asteittain tiukentuvilla vaatimuksilla suurpaineisiin purkauslampuihin, loistelampuihin sekä näille tarkoitettuihin valaisimiin. Näkyvimpiä vaikutuksia ovat elohopealamppujen ja niin sanottujen korvaavien suurpainenatriumlamppujen poistuminen kokonaan markkinoilta 2015. [14.]

Kotitalouksien valaistustuotteita koskevan direktiivin 2009/125/EY asetus 1194/2012 astui voimaan 12.12.2012. Asetuksessa määrätään kohdelampuille energiatehokkuusvaatimuksia ja toiminnallisia vaatimuksia, ympärisäteileville ja suunnatuille ledilampuille toimintavaatimuksia ja lamppujen liitäntälaitteille energiatehokkuusvaatimuksia. Asetus tulee poistamaan markkinoilta eri vaiheiden myötä vuosina 2013–2016 suunnatut verkkojännitteiset halogeenilamput ja pienoisloistelamput. Lisäksi asetus vaikuttaa tiukentuvilla toimintavaatimuksilla suureen osaan nykyisin markkinoilla oleviin suunnattuihin led- ja monimetallilampuihin poistaen ne markkinoilta. On muistettava kuitenkin, että eri vaiheiden voimaan tullessa ledeistä ja monimetallilampuista on tullut valotehokkaampia malleja markkinoille, joten asetus poistaa vain tuotekategorioiden eri teho-luokkien heikoimmat tuotteet markkinoilta. [15.]

Lamppujen energiamerkintää koskeva direktiivin 2010/30/EU asetus 874/2012 astui voimaan 2.7.2012. Asetuksessa täydennetään vaatimuksia lamppujen ja valaisimien energiamerkinnän osalta. Muutoksella poistetaan energiamerkinnästä kuvassa 7 nähtävällä tavalla luokat F ja G ja niiden tilalle tulevat uudet luokat A+ ja A++. Asetuksessa vaaditaan energiamerkintä myös valaisimelle ja merkintä valaisimeen asennettavan lampun energiatehokkuusluokasta. Asetus määrää, että 1.9.2013 jälkeen markkinoille tuotavissa lamppuissa ja valaisimissa on oltava uusien vaatimusten mukaiset energiamerkinnät. [16.]



Kuva 7. Lamppujen uudistunut energiamerkintä oikealla ja vanha merkintä vasemmalla [16 lähde mukailen]

Työ- ja elinkeinoministeriön vuonna 2013 valmistuneen sähkönkäyttöä koskevan tutkimuksen mukaan Suomessa valaistuksen osuus vuonna 2006 kotitalouksien sähkönkäytöstä oli 14 %. Vuonna 2011 valaistuksen osuus oli laskenut 8 %:iin, joten valaistuksen kuluttaman sähköenergian osuus on siis lähes puolittunut. Tästä on pääteltävissä direktiivien selkeä vaikutus toivottuun suuntaan, ja yhä tiukentuvien vaatimusten myötä on odotettavissa valaistuksen sähkönkäytön osuuden laskevan myös tulevaisuudessa. [17.]

Direktiivit ovat vaikeaselkoisia, ja niistä on lähes mahdoton käsittää mihin tuotteisiin asetukset lopulta vaikuttavat. Niinpä asiaan perehtymättömälle eri asetusten vaikutus näkyy lähinnä tuotteiden häviämällä kaupan hyllyltä. Asetuksilla vaikutetaan paljon myös niin sanotusti huomaamattomasti tuotteiden tiukentuvilla toimintavaatimuksilla,

jotka karsivat heikompileatuksia tuotteita eri tuoteryhmistä. Taulukossa 3 esitetään kaikki näkyvimmit toimeenpanosäädökset:

Taulukko 3. EU-direktiivien asetusten näkyvimmit täytäntöönpanotoimenpiteet

Päivämäärä	Toimenpide
1.9.2009	Himmeiden hehkulamppujen markkinoille saattaminen kiellettiin
1.9.2009	Kirkkaiden lamppujen > 950 lm (n. 80 W GLS) markkinoille saattaminen kiellettiin
1.9.2010	Kirkkaiden lamppujen > 725 lm (n. 65 W GLS) markkinoille saattaminen kiellettiin
13.4.2010	Teollisuussävyisten loistelamppujen markkinoille saattaminen kiellettiin
1.9.2011	Kirkkaiden lamppujen > 450 lm (n. 45 W GLS) markkinoille saattaminen kiellettiin
13.4.2012	T12-typin loistelamppujen markkinoille saattaminen kiellettiin
1.9.2012	Markkinoilla jäljellä olevien hehkulamppujen markkinoille saattaminen kiellettiin
1.9.2013	Markkinoille tuotavissa lamput ja valaisimissa on oltava uusien vaatimuksien mukaiset energiamerkinnät
1.9.2014	Suunnattujen pienisloistelamppujen, pienisjännitteisten halogeenilamppujen, verkkojännitteisten halogeenilamppujen ja ledilamppujen tehottomimpien mallien markkinoille saattaminen kielletään
13.4.2015	Elohopealamppujen ja korvaavien suurpainelamppujen markkinoille saattaminen kielletään
1.9.2016	Suunnattujen verkkojännitteisten halogeenilamppujen ja pienisloistelamppujen markkinoille saattaminen kielletään
1.9.2016	C-luokan ekohehkulamppujen markkinoille saattaminen kielletään
1.9.2016	Suunnattujen pienisloistelamppujen, pienisjännitteisten halogeenilamppujen, ledilamppujen ja monimetallilamppujen tehottomimpien mallien markkinoille saattaminen kielletään
1.9.2017	Markkinoille tuotavissa loistevalaisimissa on oltava elektroniset liitäntälaitteet

### 3.4 Perinteiset valonlähteet

Perinteisillä valonlähteillä tarkoitetaan valonlähteitä, joita nykyisin käytetään yleisesti valaistuksessa. Vertailtaessa eri valonlähteitä keskenään on ymmärrettävä eri valonlähteiden ominaisuudet ja heikkoudet. Valonlähteiden vertailu vaatii perustiedot valonlähteistä, joista yleisemmin käytössä olevia tarkastellaan seuraavaksi.

#### 3.4.1 Hehkulamput

Hehkulampun toiminta perustuu lampun sisällä olevan hehkulangan kuumentamiseen sähkövirralla. Langan kuumentuessa tiettyyn pisteeseen alkaa se tuottaa valoa, antaen lähes kaiken valovirtansa viiveettä. Hehkulampun säätö voidaan toteuttaa helposti esimerkiksi muuntamalla lampulle syötettävää jännitettä himmentimellä 0–100 prosentin välillä. Himmennettäessä lampun tuottaman valon värilämpötila muuttuu normaalista

noin 2 600 K:stä vieläkin lämpimämmäksi. Hehkulampun elinikä nimellisjännitteellä on noin 1 000–1 500 tuntia, mutta jo 5 %:n nousu puolittaa eliniän, ja vastaavalla alijännitteellä elinikä kaksinkertaistuu. On kuitenkin huomioitava, että alijännitteellä valovirta laskee nopeammin kuin teho, jolloin lampun valotehokkuus heikkenee entisestään. Lyhyen eliniän lisäksi hehkulampun ongelmana on sen erittäin heikko valotehokkuus, joka on noin 9–15 lm/W. Tämä johtuu siitä, että vain noin 7–10 % hehkulampun käytämästä energiasta muuttuu näkyväksi valoksi. Tämä on todettavissa hehkulampun säteilyspektristä, joka ulottuu ultraviolettista säteilystä tasaisesti kasvaen infra-punasäteilyyn sen painottuessa keltaisiin ja punaisiin sävyihin. Hehkulampun energiatehottomuuden takia niiden markkinoille saattaminen kiellettiin asteittain ErP-direktiivillä vuosina 2009–2012. [1, s.183; 13, s.10; 18, s. 16.]

### 3.4.2 Halogeenilamput

Halogeenilamput ovat hehkulamppujen paranneltuja versioita, joten niiden ominaisuudet ovat kaikin puolin hiukan hehkulamppujen ominaisuuksia parempia. Lamppuissa käytettävän halogeenikaasun ansiosta lamppua voidaan polttaa kuumempänä, jolloin valon värilämpötila myös muuttuu hiukan kylmemmäksi noin 3 000 K:iin. Halogeenikeratoprosessin ansiosta lampun valotehokkuus paranee myös jonkin verran noin 15–23 luumeniin sekä elinikä nousee noin 3 000 tuntiin. Kirkkailla niin sanotuilla ekohehkulamppuilla voidaan korvata kaikki vuoden 2012 jälkeen kielletyt hehkulamput, jolloin hehkulampun ominaisuudet säilyvät, mutta energian kulutus on noin 25 % alhaisempi hehkulamppuun verrattuna. Näiden C-energialuokan lamppujen markkinoille saattaminen kuitenkin kielletään 1.9.2016, mutta siihen asti niillä voi myös muotonsa puolesta korvata erimuotoiset hehkulamput. [3, s. 18; s. 10.]

Halogeenilamppuja valmistetaan käytettäväksi verkkojännitteellä 230 V ja pienoisjännitteellä 12 V. Pienoisjännitteellä käytettäväksi valmistettuja halogeenilamppuja käytetään usein kohdevalaisimissa. Pienoisjännitteellä päästään verkkojännitteisiä halogeenilamppuja huomattavasti parempiin valotehokkuuksiin.

### 3.4.3 Loistelamput

Loistelampuissa elohopeahöyryssä tapahtuva purkaus tuottaa ultraviolettisäteilyä ja näkyvää valoa, joka muutetaan loisteaineilla halutunlaiseksi näkyväksi valoksi.

Loistelampun tuottaman valon aallonpituus ja värilaji riippuvat käytettävistä loisteaineen yhdistelmistä, joita muokkaamalla voidaan valmistaa hyvinkin erilaisia lamppeja. [1, s. 205.]

Loistelamput voidaan jakaa rakenteensa puolesta yksi- ja kaksikantaloistelamppuihin. Yksikantaloistelamppuiksi kutsutaan markkinoilla olevia pisto- ja kierrekantaisia lamppeja, jotka jäävät valotehokkuudessa ja eliniässään jälkeen kaksikantaloistelumppuille, mutta pienen kokonsa ansiosta löytyy niille kuitenkin runsaasti eri käyttökohteita. Yksikantaloistelamppuja, joissa on integroitu liitäntälaitte, kutsutaan niin sanotuiksi energiänsäästölamppuiksi, jotka ovat varsin tuttuja kotitalouskäytössä hehkulamppujen korvaajina. [1, s. 204.]

Kaksikantaloistelampuista tutuimpia versioita ovat T12-, T8- ja T5-loisteputkilamput, joista jo harvinaisemmaksi käyneen T12-loisteputken markkinoille saattaminen kiellettiin vuonna 2012. T8- ja T5-loisteputket ovat molemmat nykyisin erittäin laajassa käytössä etenkin palvelusektorilla, joista uudempi T5-versio on uudisrakentamisessa ja saneerauksissa korvannut lähes kokonaan T8-mallin. Näiden lamppujen suosio perustuu pitkään polttoikänsä, valotehokkuuteen ja edullisuuteen. T8-lamppuja käytettäessä, loistelamppukäytön vaatimana virranrajoittimena voidaan käyttää joko magneettista kuristinta tai nykyaikaisempaa elektronista liitäntälaitetta. Elektronisia liitäntälaitteita käytettäessä saavutetaan useita hyötyjä kuristinkäyttöön nähden muun muassa energiatehokkuudessa ja säätömahdollisuudessa, jonka takia kuristimella varustettujen valaisimien markkinoille saattaminen kielletään vuonna 2017. Valotehokkaimpien T5-lamppujen valotehokkuus on noin 104 lm/W, joka on jo erittäin lähellä teoreettista noin 120 lm/W:n maksimiarvoa. [3, s. 19; 14.]

#### 3.4.4 Elohopealamput

Elohopealamput toiminta muistuttaa vahvasti loistelampun toimintaa, jossa elohopeahöyryssä tapahtuva purkaus muutetaan näkyväksi valoksi ellipsoidin muotoisen kuvun loisteaineiden avulla. Erona kuitenkin on, että elohopealamputissa suurempi osa lampun purkaussäteilystä on jo valmiiksi näkyvän valon alueella, toisin kuin loistelamputissa. Elohopealamputille ominaista on, että se syttyy hitaasti ja eikä syty uudelleen kuumana. Tuotetun valon väriämpötila on normaalilla lampulla 3 800–4 000 K värintoiston ( $R_a$ ) ollessa 40, mutta hiukan lämpimämmän sävyisiä ja paremmalla värintoistolla olevia lamppeja on myös markkinoilla. Lampun valotehokkuus on kohtalaiset

40–60 lm/W, mutta lampun valovirta laskee voimakkaasti käyttöiän myötä, joten järkevänä elinikänä voidaan pitää noin 12 000–16 000 tuntia. Tämän jälkeenkin elohopealamppu saattaa sähköisesti toimia vielä erittäin pitkään, mutta valovirta on tippunut murto-osaan alkuperäisestä. [1, s.233, 232, 235.]

Elohopealamppun sytytys eroaa muista suurpaineisista purkauslamppuista siten, että lamppu sytytetään lampussa olevan apuelektrodin avulla. Muissa suurpaineella toimivissa lamppuissa sytytys on toteutettu valaisimessa olevalla erillisellä sytyttimellä, jota ei elohopealamppuvalaisimesta löydy. Tämän takia elohopealamppua ei pystytä korvaamaan muilla suurpaineisilla valonlähteillä. [3, s. 20.]

Elohopealamput ovat nykyisin vielä yleisesti käytössä ulkoalueiden valaistuksessa, mutta niiden valotehokkuus on kuitenkin heikoin markkinoilla olevista suurpaineisista purkauslamppuista. Heikon valotehokkuutensa takia elohopealamppujen markkinoille saattaminen kielletään 13.4.2015. Tämä toimeenpanosäädös on johtanut mittaviin ulkovalaistuksen uudistustöihin, jotka jatkuvat todennäköisesti vielä asetuksen toimeenpanon jälkeenkin. [14, s. 28.]

Markkinoilla on myös niin sanottuja korvaavia suurpainenatriumlamppuja. Lamppuihin on rakennettu sisäinen sytytin, jonka avulla lampun on voinut asentaa elohopealamppulle tarkoitettuun valaisimeen elohopealamppun tilalle. Elohopealamput kieltävä säädös koskee myös näitä korvaavia suurpainenatriumlamppuja, mikäli niiden valotehokkuus ei nykyisestä parane vaaditulle tasolle. [3, s. 20.]

#### 3.4.5 Monimetallilamput

Monimetallilamppu on suurpaineipurkauslamppu. Lampun purkausputkessa on useita eri metallien halogeeniyhdisteitä, joiden määrillä pystytään vaikuttamaan lampun spektrin eri valon aallonpituuksien suuruuksiin riippuen mihin ominaisuuksiin halutaan panostaa. Tästä johtuen purkausputkesta saatava valo on valmiiksi toivotunlaista, jolloin lamppua voidaan käyttää kirkaslasisena ilman kuvun loisteainekerrosta. Monimetallilamppuja on saatavilla laaja valikoima eri kuvultaan, kannaltaan sekä teholtaan. Elinikä vaihtelee 2 500–15 000 tuntiin, mikä riippuu lampun tehosta sekä teholuokan kehityshistoriasta. Nykyisin monimetallilamppujen valotehokkuus vaihtelee 80–120 lm/W, mutta valotehokkuudet kehittyvät jatkuvasti. [1, s. 55; 3, s. 20.]



Monimetallilampun huonoihin puoliin lukeutuu suurpaineisille purkauslampuille ominainen hidas syttyminen sekä uudelleensyttymättömyys kuumana. Valaisimessa on oltava myös erillinen elektroninen sytytyslaitteisto, joka antaa lampulle korkean sytytyspulssin. Aikaisemmissa kvartsilasisissa purkausputkissa ongelmana olivat yksittäisten eri lampujen värierot jo uutena ja niiden vaihtelu eliniän aikana, mutta keraamisissa purkausputkissa ongelmat alkavat olla vähäisempiä. Lampun syttyessä on myös huomattavissa hyvinkin erilaisia valon väri vaihteluita, jotka johtuvat purkausputkessa valoa tuottavien eri metalliyhdisteiden höyrystymislämpötilojen vaihtuvuuksista. [18, s. 54–55.]

Monimetallilamppuja käytetään muun muassa myymälöiden kohdevalaisimissa, teollisuustilojen ja ulkoalueiden valaistuksessa. Lampun tuottaman valkoisen valon ja hyvän värintoiston ansiosta sen tuottama valo koetaan miellyttäväksi. Monimetallilamput tulevat todennäköisesti olemaan tulevaisuuden valonlähde ulkovalaistuksessa.

#### 3.4.6 Suurpainenatriumlamput

Suurpainenatriumlampun valontuotto on toteutettu johtamalla lampun sisällä olevan purkausputken lävitse niin suuri virtatiheys, että natriumhöyryn paineen noustessa alkaa höyry tuottaa valoa. Suurpainelampuille ominaiseen tapaan myös suurpainenatriumlampun täyteen valovirtaan syttyminen kestää useita minuutteja eikä se myöskään syty uudelleen kuumana. Valotehokkuus vaihtelee 85–150 lm/W välillä, eliniän ollessa noin 16 000 tuntia. Tehoilla 50–70 W valotehokkuus ja elinikä ovat heikompia, mutta parantuvat jatkuvasti mentäessä suurempiin 400–1 000 W:n tehoihin, jolloin päästään valotehokkuudessa nykyisiin maksimiarvoihin. Lampun tuottaman valon spektristä nähdään, että valon aallonpituuksien huiput ovat keskittyneet lähelle silmäherkkyyssäikäyrän maksimia. Koska valo on painottunut keltaiselle ja punaiselle alueelle, aiheuttaa se lampulle sen tunnusomaisen kellertävän noin 2 100 K:n värilämpötilan sekä huonon värintoiston ( $R_a$ ), joka jää arvoon 20–30.

Markkinoilla on myös niin sanottuja väri korjattuja versioita, joissa päästään värintoistossa ( $R_a$ ) arvoon 65, mutta samalla joudutaan tinkimään valotehokkuudesta ja eliniästään. Markkinoilla on kahta erilaista kupuvaihtoehtoa. Kirkkaita putkenmuotoisia, jotka on tarkoitettu tarkempiin optisiin järjestelmiin esimerkiksi valonheittämiin sekä toisena vaihtoehtona ellipsoidinmuotoinen kupu, jonka sisäpuoli on päällystetty valoa hajottavalla jauheella, jolloin saadaan vähennettyä lampun pintaluminanssia ja häikäisyä sekä lampua voidaan käyttää elohopealampuille suunnitelluissa valaisinrungoissa.

ErP-direktiivi on vaikuttanut myös suurpainenatriumlamppuihin poistamalla markkinoilta keväällä 2012 niin sanotut tavalliset versiot, minkä jälkeen vain korkeamman valotehokkuuden polttimot eri teholuokista jäivät markkinoille. [1, s. 239.]

Suurpainelamppuja on yleisesti käytössä katuvalaistuksessa, puistovalaistuksessa, ulkoalueiden ja teollisuustilojen valaistuksessa. Nykyisin niillä korvataan kiellettyjä elohopeavalaisimia. Suurpainenatriumlampun ongelmana on kuitenkin sen tuottama kellertävä epämiellyttäväksi koettu valo, joten tulevaisuudessa suurpainenatriumlampuilla valaistaan niin sanottuja toisarvoisia alueita sekä tilanteita, joissa halutaan saada paljon valoa edullisesti.

## 4 Ledit valaistuksessa

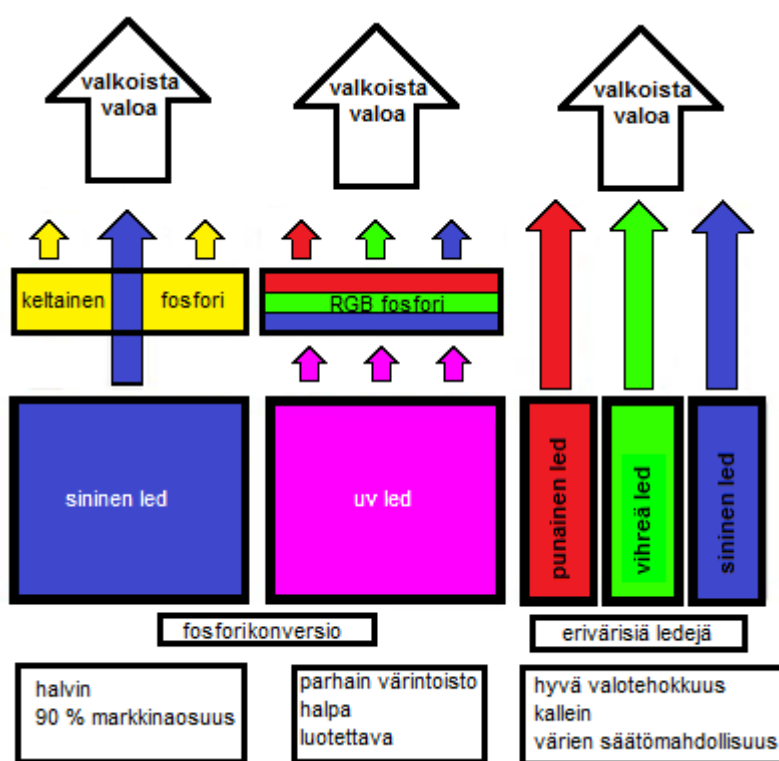
### 4.1 Ledien toiminta ja rakenne

Led (light-emitting diode) viittaa nimensä mukaisesti valoa emmitoivaan diodiin. Ledit ovat puolijohdteita, joissa kaksi seostettua puolijohdetta kytketään myötäjännitteeseen. Ledi lähettää valoa, kun sen läpi kulkee myötäsuuntaista tasavirtaa. Ledien vaatiman tasavirran aikaansaamiseksi ne tarvitsevat virtalähteen, jolla vaihtovirta muutetaan yleensä heikkovirtaledeillä 20 mA:n ja teholedeillä 350 mA:n tai 750 mA:n tasavirraksi. Valaistuksessa käytetyt ledit ovat yleensä teholedejä, jotka ovat niin sanottuja pintaliitosledejä. [3, s. 22; 20.]

Valaistuksessa käytetyin valo on valkoista, mutta yksittäisen ledisirun lähettämän valon spektri on erittäin kapea noin 30–50 nm. Kapean spektrin takia valo on aina jonkinväristä. Ledin tuottaman valon väri riippuu käytettävästä aineesta, jolla puolijohdteet on saostettu. Valkoinen valo on usean eri aallonpituudella olevan spektrin yhdistelmä tai leveä koko näkyvän valonalueen läpi ulottuva spektri. Valkoista valoa lähettävä ledi on mahdollista valmistaa näitä molempia spektritekniikoita käyttäen. [19.]

Muokkaamattoman ledin valo on aina jonkinväristä. Muilla valonlähteillä värillisen valon tuottaminen on toteutettu erilaisilla suodattimilla. Suodattimien käyttö laskee energiatehokkuutta, koska osa valovirrasta absorboituu niihin. Ledeillä tästä on hyötyä, kun tarvitaan värillistä valoa. Ledeillä värillistä valoa saadaan tuotettua ilman suodattimia energiatehokkaasti.

Yleisin tapa tehdä ledillä valkoista valoa on muuttaa osa sinisen ledin spektristä fosforiaineilla kohti korkeampia, esimerkiksi keltaisen valon aallonpituuksia. Tällä valmistustavalla on valmistettu useimmat yleisvalaistuksessa käytettävät ledit. Valkoista valoa voidaan tehdä myös yhdistämällä erivärisiä ledejä. Kahdella erivärisellä ledillä on mahdollista saada valkoista valoa, mutta usein käytetään kolmea eriväristä lediä hyvän värinoton aikaansaamiseksi. Usean erivärisen ledin käytön etuna on, että säätelämällä ledien voimakkuuksia voidaan tuottaa äärettömän montaa eriväristä valoa. Tällainen ratkaisu on kuitenkin kalliimpi, joten sitä käytetään lähinnä julkisivu- ja näyttämövalaistuksessa. Yleisimmät valkoisen valon valmistustavat ledeillä havainnollistetaan kuvassa 8. [9, s. 115.]



Kuva 8. Valkoisen valon valmistustavat ledeillä [9 lähdettä mukailten]

#### 4.2 Ledien ominaisuuksia

Ledien jatkuvasti kehittyvä valotehokkuus on yksi ledien parhaimmista puolista. Tehokkaimmat markkinoilla nykyisin olevat ledit ylittävät noin 140 lm/W:n valotehokkuuteen, mutta uusia tuotteita tulee markkinoille ja valotehokkuusennätyksiä rikotaan laboratorioissa jatkuvasti. Yleisimmällä valkoisen valon valmistustavalla eli fosforikonversion

avulla pystytään teoreettisesti saavuttamaan noin 250–280 lm/W:n valotehokkuus. Kolmen erilaisen ledin yhdistelmällä on teoriassa mahdollista päästä yli 400 lm/W:n valotehokkuuteen, mutta tällöin värinointindeksi ( $R_a$ ) jää alle 50. Hyvän värinointin ( $R_a=85$ ) sisältävällä kolmen ledin yhdistelmällä on mahdollista päästä noin 360 lm/W:n valotehokkuuteen. Ledeistä on helpompi tehdä valotehokkaampia kylmäsävyisinä, koska energiatehokkuus laskee valmistettaessa ledeistä lämminsävyistä valoa tuottavia ja hyvin värejä toistavia. Ledien ominaisuuksia on esitetty taulukossa 4. [9, s. 116.]

Ledien pitkällä eliniällä on myös huonot puolensa. Ledi ei varsinaisesti kuole perinteisten valonlähteiden tapaan vaan siinä tapahtuu iän myötä valovirranalenemistä. Yleisesti valmistajat ilmoittavat ledien eliniät niin sanottuna L70-arvona, jolloin valovirta on laskenut 30 % alkuperäisestä arvosta ja ledi katsotaan loppuunkäytetyksi. Ongelmaksi kuitenkin tulee, että ledi saattaa toimia tämän jälkeen vielä todella pitkään valovirran jäädessä murto-osaan. Niinpä kohteissa, joissa valaisinhuolto toteutetaan lampun sammuttua -tyylillä, valovirta saattaa ledien kohdalla olla vuosia todella vähäinen.

Taulukko 4. Ledien ominaisuuksia

Valotehokkuus	Valon kohdistus linsseillä
Elinikä	Hyvä valontuotto alhaisissa lämpötiloissa
Lyhyt syttymisaika	Valon värien vaihto-ominaisuudet
Säätö- ja ohjausmahdollisuudet	Ei sisällä elohopeaa
Kytkenneiden määrällä ei vaikutusta elinikään	Ei optista lämpösäteilyä
Vankka rakenne	Kehittyvät jatkuvasti
Pieni koko	Mahdollistaa uudenlaiset valaisinratkaisut
Värillistä valoa tehokkaasti ja ilman suodattamia	Uusia mahdollisuuksia valaistuksen toteutukseen

Ledeillä on useita ominaisuuksia, joissa ne ovat perinteisiin valonlähteisiin nähden parempia. Ledit toimivat kylmässä erinomaisesti, koska valontuotto paranee käyttölämpötilan laskiessa. Päälle- ja poiskytkennät eivät lyhennä ledien elinikää. Ledien lämpenemisaika on lähes olematon, joten ne antavat kaiken valovirtansa lähes viiveettä. Linssien avulla ledeillä pystytään tekemään erittäin tarkkoja valonjakoja, jolloin valo pystytään ohjaamaan tarkasti haluttuun kohteeseen. Ledit soveltuvat erinomaisesti tilanteisiin, joissa ei tarvita jatkuvasti täyttä valaistusvoimakkuutta. Tällöin hyödynnetään ledien säätöominaisuuksia, mikä vähentää myös energiankulutusta. Valaistus suunnittelussa ledien ominaisuuksien hyödyntäminen vaatii asiantuntemusta ja on muistettava, että ledejä ei kannata käyttää sovelluksissa, joihin se ei sovellu.

### 4.3 Ledien haasteita

Haasteita ledien ostajalle aiheuttaa valmistajien ilmoittamien ominaisuuksien paikkansapitäminen, koska testauksista ei ole olemassa kattavaa standardointia. Myyjät saattavat myös kaunistella tuotetietoja ja ominaisuuksia. Ostajan on itse tiedettävä mille ominaisuuksille on annettava painoarvoa kulloisessakin käyttötarkoituksessa sekä osattava tehdä vertailut eri ominaisuuksien perusteella. Uusia ledivalmistajia ja -myyjiä ilmestyy kasvaville markkinoille jatkuvasti, jolloin katteettomia lupauksia saattaa myynnin edistämiseksi ilmaantua. Esimerkiksi energiansäästömahdollisuuksien paikkansapitävyyttä ei pysty arvioimaan kuin ostaja itse. Tarkasteltaessa taulukosta 5 ledien haasteita on positiivista, että kaikki haasteet on tuotekehityksellä ratkottavissa:

Taulukko 5. Ledien haasteita

Korkea hinta	Ledivalaisimen huono korjattavuus
Jäähdytys	Yhteensopimattomuus olemassaolevien säätölaitteiden kanssa
Jäähdytyslementtien vaatima koko	Mahdollinen häikäisy, kun suuri valovirta tulee pienestä ledistä
Värintoisto voi olla matala	Lampusta tulee helposti kohdelamppu
Värien vaihtelu eliniän aikana sekä jo uutena	Standardien puute

Jäähdytys ledilampuissa on järjestettävä ledisirun lämpönielun kautta, koska ledien lähettämä valo ei sisällä lämpösäteilyä. Ledin tuottamasta energiasta parhaimmillaan vain 35 % muuttuu näkyväksi valoksi, jolloin loput energiasta muuttuu lämmöksi ledisirun eri osissa. Lämpö on siirrettävä ledistä pois, koska ledin liitoslämpötilalla on suora vaikutus ledin elinikään, valovirtaan ja virtalähteen kestävyys. Ledeissä käytettävien jäähdytyslementtien ongelmana saattaa olla niiden vaatima koko ledilampuissa. Jäähdytys on toteutettava itse lampussa, jolloin lämpötila saattaa kohota helposti yli sallitun, mikä alentaa elinikää merkittävästi. Jäähdytyslementit ja ohjauselektronikka saattavat suurentaa myös lampun kokoa, jolloin lampun asennus valaisimeen saattaa aiheuttaa ongelmia, esimerkiksi korvattaessa hehkulamppua ledilampulla. Ledivalaisimissa tilaa on enemmän, joten lämmönhallintaan pystytään vaikuttamaan jo suunnitteluvaiheessa, ja valaisimen runkoa pystytään käyttämään osana jäähdytystä. Paremmiin suunnitellun jäähdytyksen ansiosta ledivalaisimissa eliniät ovat huomattavasti pidempiä. [18.]

Ledien valotehokkuuksia vertailtaessa on syytä tietää tai selvittää, mistä valotehokkuudesta on kyse. Myyjän tai valmistajan ilmoittama valotehokkuus voi tarkoittaa ledikomponentin, ledimoduulin tai ledivalaisimen valotehokkuutta. Ledistä saatava valovirta

mitataan tyypillisesti 20 ms virtapulssilla, jolloin ledisirun liitoslämpötila on sama kuin ympäristön lämpötila eli 25 °C. Valaisimeen sijoitettu ledisiru palaa usein kuitenkin jatkuvasti korkeammassa lämpötilassa, mikä hyvin suunnitellussa valaisimessa vähentää valontuottoa 5–20 %. Myös ledin vaatiman virtalähteen häviöt alentavat valotehokkuutta 10–30 %. Lisäksi optiset häviöt pienentävät valotehokkuutta vielä 15–40 %. Näin ollen ledikomponentin ja ledivalaisimen valotehokkuuksia ei pidä sotkea keskenään. [3.]

Erittäin valotehokkailla tai huonosti suunnitelluilla ledeillä voi ongelmana olla huono värintoisto. Valotehokas ledi on helpompi tehdä kylmäsävyisenä, joten haluttaessa värilämpötilaltaan lämpimämpiä ledejä valotehokkuus laskee. Ledien väri muuttuu yleensä myös jonkin verran sinisemmäksi polttoajan aikana.

Visuaalisilla kokeilla on myös todistettu, että nykyinen värintoistoindeksi ( $R_a$ ) ei kuvaa oikein valkoisten ledien värintoistokykyä. Virheitä syntyy, koska ledien spektrissä on kapeita aallonpituushuippuja, joita ei nykyisellä värintoistoindeksin laskentamenetelmällä huomioida tarpeeksi tarkasti. Virheet ilmenevät hyvän värintoiston ledeillä, joiden tuottamassa valkoisessa valossa yksittäiset värit saattavat korostua tai vääristyä huomattavasti. Värintoistoindeksin uudistamiseksi on nimetty komitea, jonka tehtävä on laatia uudet perusteet värintoistolle. [3.]

Ledien ongelmiksi koettua riittämätöntä valontuottoa ja häikäisyä ei koeta enää ongelmaksi. Suurimmat kysymykset ledien kohdalla ovat nykyisin valovirran alenema, tekninen kestävyys ja epätietoisuus siitä. Ledien ollessa vielä kalliimpia investointikustannuksiltaan ostajan on päätettävä, luottaako tuotteista annettuihin lupauksiin ja kompensoiko pitkä elinikä ja energiatehokkuus korkean hankintahinnan.

#### 4.4 Ledien ohjaus ja säätö

Ledit mahdollistavat tuotetun valon spektrin ja valon määrän viiveettömän säädön. Tällaiset säätöominaisuudet eivät ole mahdollisia perinteisillä valonlähteillä. Energiansäästöä tavoiteltaessa säädettävyyden on tärkeä ominaisuus. Ledit vaativat toimiakseen vakiovirran, joka teholedeillä on yleensä 350 tai 750 mA. Vakiovirtalähteellä syötetään normaalisti useita sarjassa olevia ledejä. Ledivalaisimien säätöominaisuudet riippuvat

valaisimessa käytetyn virtalähteen ominaisuuksista ja sen käyttämästä ohjaussignaalisista.

Ledien tuottaman valovirran määrää voidaan säädellä muuttamalla vakiovirran amplitudia, esimerkiksi säädettävän vastuksen avulla. Tämän analogisen säätötavan ongelmia ovat jännitteen vaihtelut, tehohäviöt vastuksessa ja värimuutokset tuotetussa valossa. Näiden ongelmien takia analoginen himmennys ei sovi vaativiin sovelluksiin.

Toinen yleisemmin käytössä oleva ledien valovirran säätötapa on digitaalinen pulssileveysmodulaatio (pulse width modulation). Pulssileveysmodulaatiossa katkotaan ledille syötettävää virtaa erittäin suurella taajuudella. Analogiseen himmennykseen nähden etuja ovat värien vääristymisen vähentyminen, laajempi säätöalue ja pienemmät tehohäviöt. [9, s. 120.]

#### 4.5 Oledin toiminta ja rakenne

Lyhennys oled tulee sanoista organic light-emitting diode. Oledissä orgaanisia materiaaleja on kerrostettu anodin ja katodin välille. Orgaaniset aineet tuottavat valoa, kun olediin johdetaan sähköä. Oledien valmistustekniikan etuja normaaleihin teholedeihin verrattuna on, että valoa pystytään tuottamaan laajoille joustaville pinnoille ja valmistustekniikan kehittyttyä valmistuksen yksinkertaisuus sekä edullisuus. Oledillä on mahdollista valmistaa valoa läpipäästäviä pintoja, mikä mahdollistaa täysin uusia valaistusratkaisuja.

Oledillä saavutettava energiatehokkuus on teoriassa yhtä suuri kuin perinteisillä ledeillä. Molemmilla tekniikoilla kohdattavat ongelmat ovat samanlaisia. Nykyisin markkinoilla ei juuri ole valaistukseen tarkoitettuja oled-valaisimia, mutta tekniikan kehittyessä ja valmistuskustannusten laskiessa nähdään varmasti oledillä toteutettuja täysin uudenlaisia valaistusratkaisuja. [9, s. 118.]

## 5 Valaistuksen elinkaarikustannuslaskenta

Valaistussuunnittelu on totuttu suorittamaan niin, että valaistukselle asetetut vaatimukset täyttyvät, ja tarvittaessa kustannuslaskelmalla on haettu taloudellisimmat ratkaisut.

Työkohteen vaatimukset valaistusvoimakkuudelle, häikäisyuojaukselle, värintoistolle, kontrastintoistolle ja varjonmuodostukselle aiheuttavat sen, että vaadittujen valaistusominaisuuksien täyttäviä valaistusvaihtoehtoja ei ole paljon tarjolla. Valaistavan tilan asettamat ehdot valonlähteelle ja valaisimelle sekä asennustapa rajaavat myös käytävissä olevia vaihtoehtoja. Lisäksi arkkitehtuuriset ja esteettiset seikat asettavat omat vaatimuksensa. Lopulta jäljelle jäävien vaihtoehtojen kustannuksia on vertailtu päätöksen teon tukena. [7, s. 297.]

Ledeillä toteutetun valaistuksen kustannusrakenne perinteisiin valonlähteisiin nähden on kuitenkin hyvin erilainen. Ledien vaatima alkuinvestointi on suurempi kuin perinteisillä valonlähteillä, mutta ledien parempi energiatehokkuus perinteisiin valonlähteisiin nähden tuo käyttökustannuksissa säästöjä tuotteen elinkaaren aikana. Ledien ja perinteisten valonlähteiden erilaisen kustannusrakenteen takia on syytä tarkastella tuotteiden koko elinkaaren aikana syntyviä kustannuksia vertailtaessa eri valaistusratkaisuja. Elinkaarilaskelmilla halutaan yleensä selvittää, onko investointivaiheessa järkevää panostaa hieman kalliimpaan ratkaisuun, joka maksaa itsensä takaisin käytön aikana. Elinkaarikustannuslaskennan yleistymistä saattaa kuitenkin haitata se, että rakentamisen aikana syntyvät investointikustannukset katetaan eri budjetista ja käytön aikaiset kustannukset eri budjetista.

Elinkaarilaskelmia voidaan tehdä kahdesta syystä. Halutaan tietää toteutuksesta aiheutuvat kulut mahdollisimman tarkkaan tuotteen elinkaaren aikana, jotta osataan varautua niihin mahdollisimman hyvin. Tai sitten halutaan tietää eri vaihtoehtoista aiheutuvat kustannukset elinkaaren aikana, ja tulosten perusteella valitaan suunnitteluvaiheessa taloudellisesti kannattavin ratkaisu tuotteen elinkaaren ajalta.

Kun ensimmäisen vaihtoehdon mukaisesti halutaan tietää mahdollisimman tarkkaan elinkaarikustannukset, on tärkeää, että kaikki laskelmissa käytettävät muuttujat ovat mahdollisimman lähellä toteutuvia. Haasteellista laskelmien teosta tekee tulevaisuudessa tapahtuvat asiat, jotka laskentahetkellä perustuvat arviointiin.

Toisessa vaihtoehdossa, kun elinkaarikustannuksia vertaillaan eri vaihtoehtojen välillä, ei ole niin tärkeää käyttää resursseja mahdollisimman tarkkojen laskentatietojen selvittämiseksi, koska tavoitteena on löytää valitulla elinkaarijaksolla järkevin ratkaisu. Edullisin ratkaisu löytyy kuitenkin joka tapauksessa riippumatta esimerkiksi laskentakoron tarkkuudesta. On kuitenkin huomioitava, että esimerkiksi koron virhearviointi saattaa



muuttaa laskennan voittajan todellisesta. Tässä insinööriyössä selvitettiin elinkaarikustannuksiltaan edullisimmat vaihtoehdot, joten laskentatietojen tarkkuuteen ei käytetty kovinkaan paljon resursseja.

Elinkaarikustannusten laskennan teoria on hyvin yksinkertainen, koska periaatteessa kyse on vain koron laskemisesta korolle. Ongelmalliseksi asia muuttuu, kun teoria vie-dään käytäntöön. On osattava ennustaa esimerkiksi tekniikan kestävyyttä ja korkojen ja sähkön hinnan kehitystä.

Elinkaarilaskelmien tekeminen käsin on työlästä ja virhealtista. Onneksi valaistuksen elinkaarilaskelmia varten on valaisinvalmistajilla tarjolla ilmaisia ohjelmia, joiden avulla laskenta pystytään helposti suorittamaan. Tässä työssä käytettiin apuna Ruotsin ener-gianviranomaisten laatimaa valaistuksen elinkaarikustannusten laskentamallia.

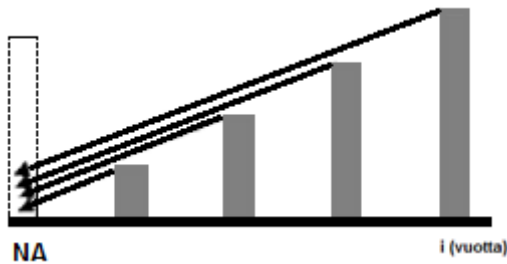
Ohjelmien avulla suoritettava laskenta on helppoa, mutta on myös tarpeellista ymmär-tää elinkaarilaskennan periaatteet ja tuloksiin vaikuttavat asiat. On myös tiedettävä mistä on mahdollista löytää laskentaan käytettäviä muuttujia. Seuraavaksi valaistuksen kustannuslaskennassa käydään läpi elinkaarilaskennan perusteet ja mistä laskennois-sa käytettäviä muuttujia on mahdollista löytää.

Hyvällä valaistuksella on saavutettavissa sekä tuotannollista että viihtyvyyttä paranta-vaa hyötyä. Esimerkiksi standardissa vaadittua paremmin toteutetun valaistuksen kaut-ta saatujen hyötyjen todistaminen on useimmissa tapauksissa kuitenkin vaikeaa, koska toteutettujen muutosten vaikutusten mittaaminen on usein vaikeaa, ellei mahdotonta. Tutkimuksissa on kuitenkin todistettu, että vaadittua paremmalla valaistuksella on saa-vutettavissa hyötyä. Kustannuslaskennassa paremmalla valaistuksella saavutettavien hyötyjen mittaaminen rahassa on kuitenkin tapauskohtaista ja vaikeaa. Saavutettavat hyödyt voivat olla kuitenkin merkittäviä, joten ne on tunnettava.

## 5.1 Valaistuksen elinkaarikustannuslaskennan perusteet

Elinkaarilaskelmissa on tarpeellista saada tietää valaistusratkaisun elinkaaren aikana syntyvien kustannusten nykyarvo, koska eri ajankohtina syntyvät kulut ja tuotot eivät ole sellaisenaan keskenään vertailukelpoisia. Reaaliarvoltaan samansuuruinen tuotto tai kustannus nykyhetkellä ei ole yhtä suuri kuin vuosien päästä. Vuosien päästä tapah-

tuva tuotto tai kustannus saadaan vertailukelpoiseksi diskonttaamalla se nykyarvoon. Kuvassa 9 on havainnollistettu nykyarvomenetelmän periaatetta. [20, s. 3.]



Kuva 9. Nykyarvomenetelmän periaate [20]

Kaavasta 1 nähdään nykyarvomenetelmän laskentamenetelmä. Laskeminen käsin on kuitenkin työlästä, joten apuna on järkevää käyttää taulukkolaskentaohjelmia tai eri valmistajien tarjoamia laskentaohjelmia. [20, s. 4.]

$$K_{NA} = \sum[K_i * dis_i] = \sum[K_i * 1/(1 + r/100)^i] \quad (1)$$

$K_{NA}$	Kustannuksen nykyarvo
$K_i$	Kustannus vuonna $i$
$dis_i$	diskonttaustekijä vuonna $i$
$r$	Korko (%)
$i$	Aikajänne nykyhetkestä kustannuksen toteutumavuoteen (vuotta)

### 5.1.1 Valaistuksen investointikustannukset

Investointikustannukset koostuvat valaistuksenhankinnasta aiheutuvista kuluista, joihin kuuluvat valaisimien ja valonlähteiden hankintakustannukset. Lisäksi investointikustannuksia syntyy valaisimien ja valonlähteiden asennuskustannuksista. Investointikustannusten muodostumista valaistuksen eri osa-alueilla on havainnollistettu taulukossa 6.

Taulukko 6. Investointikustannusten muodostumista havainnollistava taulukko

Asennus	Valaisimet	Lamput
Suunnittelukustannukset	Lukumäärä	Lukumäärä/valaisin
Materiaali- ja työkustannukset/valaisin	Yksikköhinta	Yksikköhinta

Valaisimien ja lamppujen yksikköhinnat saadaan valaisintukkuliikkeiltä tarjousten perusteella, jos valaistuksen hankinta on siinä vaiheessa, että eri vaihtoehtojen tarjouksia on jo pyydetty. Tarjouksien perusteella tietyille valaisinmäärälle saatu hinta on kustannusvertailussa tarkin mahdollinen hinta, koska hinnoissa mahdolliset määrälennukset on otettu huomioon. Suunnittelutyön ollessa vaihtoehtojen kartoittamisvaiheessa ei useinkaan ole järkevää kysyä kaikille alkuvaiheessa oleville ratkaisuille tukkuliikkeen tarjoamaa määrään perustuvaa hintaa. Tällöin hintana voidaan käyttää valmistajan tai tukkuliikkeen suositushintaa. Tarjouksen perusteella saadun hinnan ja suositushinnan ero saattaa olla huomattava. Tuotteiden suositushinnan ja lopullisen jälleenmyyntihinnan suhteellinen ero voi vaihdella eri tuotteiden välillä, joten suositushintoja käytettäessä kustannuslaskennan tarkkuus vähenee.

Tarvittava valaisimien määrä selvitetään suunnitteluvaiheessa siten, että vaaditut valaistusteknilliset vaatimukset täyttyvät. Suunnittelussa käytetään usein apuna saatavilla olevia valaistuksen laskentaohjelmia. Tässä insinööriyössä käytettiin apuna esimerkkitulojen valaisinmäärien selvittämiseen Dialux-valaistuksenlaskentaohjelmaa, joka on ladattavissa maksutta DIAL:n verkkosivuilta.

Valaistuksen asennuksista aiheutuvien kustannuksien arviointi voi perustua kokemukseräiseen tietoon tai hintoina voidaan käyttää sähköistysalan työehtosopimuksista saatavia urakkalaskentahintoja. Pienehköjen asennuksien kustannukset on helppo laskea käsin, mutta laskennan avuksi on myös tarjolla siihen tarkoitettuja laskentaohjelmia, joissa käytetyt hinnat perustuvat työehtosopimusten urakkahintoihin. Mahdollisimman tarkan elinkaarikustannuslaskelman aikaansaamiseksi asennuskustannuksissa on otettava huomioon valaistuksen toteuttamisesta aiheutuvat liitännäiskustannukset, joita voivat olla mahdolliset valaisimien vaatimat erikoisrakenteet, alakatot ja maalaus- ja paikkaustyöt.

### 5.1.2 Valaistuksen käyttökustannukset

Valaistuksen käyttökustannukset syntyvät valaistuksen käytöstä aiheutuvista energia-kustannuksista, valonlähteen vaihtokustannuksista ja valaisimen huoltokustannuksista. Käyttökustannukset perustuvat arviointiin, koska ne tapahtuvat tulevaisuudessa. Arvioinnin paikkansapitävyyttä voidaan parantaa kokemukseräisellä tiedolla sekä esimerkiksi standardeista saatavilla ohjeellisilla arvoilla. Taulukossa 7 (ks. seur. s.) nähdään, mistä eri osa-alueista valaistuksen käyttökustannukset muodostuvat.

Taulukko 7. Valaistuksen käyttökustannusten syntyä havainnollistava taulukko

Energiakustannukset	Valonlähdekustannukset - mukaan lukien vaihto	Huoltokustannukset
Valaisimen teho mukaan lukien liitäntälaittehäviöt	Valonlähteen elinikä	Huoltokustannus valaisinta kohden
Käyttöaika - Energiankulutus / vuosi	Vaihtoväli	Käyttöaika ennen huoltoa
Sähköenergian hinta - Energiakustannus / vuosi	Vaihtokustannus / kpl	Vikojen korjaus
		Valaisimien puhdistus

Energiakustannukset riippuvat sähköenergian hinnasta, valaistuksen verkosta ottamasta sähkötehosta ja valaistuksen vuosittaisesta käyttöajasta. Viitteitä sähköenergian hinnan kehityksestä saa esimerkiksi Energiamarkkinavirastolta, joka julkaisee tietoja erilaisten tyyppikäyttäjien kuluttaman sähköenergian hinnan kehityksestä pitkällä aikavälillä. Valaistuksen kuluttaman sähkötehon saa selville valaisimen valmistajalta. Esimerkiksi magneettisen kuristimen sisältävistä loistevalaisimista on olemassa taulukoita, joista saa selville myös kuristimen ottaman sähkötehon. Tärkeintä on kuitenkin muistaa ottaa huomioon koko valaisimen kuluttama sähköteho liitäntälaitteineen, koska valonlähteen tehomerkinä ei kerro koko valaisimen kuluttamaa sähkötehoa. Vuosittainen käyttöaika voidaan tietää kokemukseräisesti tai sitä voidaan mitata käyttötuntilaskureilla. Laskennassa käyttöaikoina voidaan käyttää standardissa SFS-EN 15193 annettuja ohjeita valaistuksen käyttöajoille, joita esitetään taulukossa 8. [21.]

Taulukko 8. Ohjeellisia valaistuksen käyttöaikoja (tuntia/vuosi) [21.]

Toimisto	2 500	Ravintola	2 500
Oppilaitos	2 000	Urheilutila	4 000
Sairaala	5 000	Myymäla	5 000
Hotelli	5 000	Tuotantolaitos	4 000

Valonlähdekustannukset riippuvat valonlähteen eliniästä ja hinnasta sekä vaihtotyöstä aiheutuvista kustannuksista. Valonlähteen elinikä vaikuttaa siihen kuinka usein lamppu on vaihdettava. Lisäksi vaihtoväliin ja vaihtokustannuksiin vaikuttaa se, että vaihdetaanko lamput yksittäin lampun sammussa vai ryhmävaihtona kaikki kerralla. Valonlähteen keskimääräisen eliniän ja tiedon valmistajan suosittelimesta ryhmävaihtovälisestä saa valmistajalta. Vaihtokustannukset saadaan yleensä kiinteistönhuoltoyhtiöltä.

Huolto- ja korjauskustannukset muodostuvat valaisimien puhdistuksesta ja vioista aiheutuvista korjauskuluista. Erittäin likaisissa olosuhteissa saattaa syntyä kustannuksia myös huonepintojen puhdistuksesta ja maalauksesta. Puhdistuskustannukset ovat useimmiten kohdekohtaisia, koska puhdistustarpeen määrä riippuu tilojen käyttötarkoi-

tuksesta ja -tavoista. Korjauskustannukset aiheutuvat valaisimien ennenaikaisen rikkoutumisen seurauksena aiheutuvista kuluista. Vanhemmilla valaisimilla korjauskustannuksia on mahdollista arvioida kokemuksen perusteella. Uusissa elektroniikkaa sisältävissä valaisimissa vikoja on vaikea ennustaa, koska elektroniikka on vika-altista ja erittäin herkkää suositellun käyttölämpötilan ylityksille, jolloin elinikä laskee merkittävästi.

### 5.1.3 Valaistuksen kokonaiskustannukset

Valaistuksen elinkaarikustannusten laskenta-aikana käytetään aikajaksoa jona halutaan tietää ratkaisusta syntyvät kustannukset tai aikana käytetään mahdollista rakennukselle suunniteltua taloudellista pitoaikaa. Taloudellisella pitoajalla tarkoitetaan rakennuksen rakentamisen tai saneerauksen välistä aikaa seuraavaan peruskorjaukseen. Yleensä tällainen väli on asuinrakennuksilla 30–40 vuotta ja toimisto- ja liikerrakennuksilla noin 20 vuotta.

Yleisesti valaistuksen tekniseen käyttöikänsä vaikuttaa nykyisin käytettävien elektroniikkakomponenttien määrän lisääntyminen valaisimissa ja niiden laadun vaihtelevuudet. Aikaisemmin hyvin suunnitellussa valaistusratkaisussa, tilojen käyttötarkoituksen pysyessä samana, valaistuksen käyttöajaksi voitiin hyvinkin ajatella 30–40 vuotta. Nykyisin valaistustekniikan uudistuessa nopeaan tahtiin ja nykyisestä tavasta tehdä elektroniikkalaitteista lyhytikäisiä, voidaan nykyisen valaistuksen käyttöikänsä pitää 20–25 vuotta. Tämän työn elinkaarilaskelmissa laskenta-aikana käytettiin 20 vuotta, joka todennäköisesti on myös lähellä nykyisten valaisimien käyttöikänsä.

Laskennassa käytettävän koron suuruuteen vaikuttaa muun muassa yleinen inflaatio ja rakentamisen rahoitustapa. Olisi tietenkin toivottavaa, että käytettävä laskentakorko olisi lähellä toteutuvaa. Vertailtaessa eri vaihtoehtojen kustannuksia voidaan myös käyttää suuntaa antavia korkoja yleisemmissä rakennuskohteissa.

Virheellinen koron arviointi vaikuttaa elinkaarilaskelman lopputulokseen, koska vuosien päästä tapahtuva kustannus on sitä pienempi nykyarvossa, mitä suurempi laskennoissa käytettävä korko on. Esimerkiksi, jos 1 000 euron valaisinhuolto toteutetaan 10 vuoden päästä ja laskenta korkona käytetään 3 %, on silloin nykyarvoon diskontattu arvo 740 euroa. Laskentakoron ollessa 6 % on diskontattu nykyarvo 560 euroa. Mikäli 1 000 euron valaisinhuolto toteutetaan laskentahetkestä viiden vuoden kuluttua ja

laskentakorkona käytetään 3 %, on diskontattu nykyarvo 860 euroa. Tästä nähdään, että aikaisemmin tapahtuva kuluerä on suurempi nykyarvossa kuin myöhemmin esimerkiksi 10 vuoden päästä tapahtuva.

Kokonaiskustannusten nykyarvo valitulla tarkastelujaksolla saadaan, kun investointikustannuksista ja käyttökustannuksista tarkastelujaksolla aiheutuneet kulut diskontataan nykyarvoon. Lopuksi lasketaan yhteen diskontatut investointikustannukset ja käyttökustannukset, jolloin saadaan tarkastelujakson elinkaarikustannukset arviointihetkellä. [20, s. 6-9.]

#### 5.1.4 Valaistuksen tuotannolliset vaikutukset

Valaistussuunnittelu on totuttu hoitamaan niin, että vaaditut vaatimukset täyttyvät. Useissa tutkimuksissa on kuitenkin todistettu, miten valaistuksen toteuttaminen standardeissa määriteltyä paremmin vaikuttaa esimerkiksi tuottavuuteen. Tässä työssä käytetyssä elinkaarikustannuslaskentamenetelmässä ei oteta kantaa valaistuksen laadun parantamisella saavutettaviin hyötyihin, koska niiden huomioon ottaminen on vaikeaa ja tapauskohtaista.

Valaistuksen laadun ja määrän vaikutusta tuottavuuteen voidaan testata luotettavasti tehdasympäristössä esimerkiksi kokoonpanolinjalla. Helvarin toteuttamissa tutkimuksissa on havaittu tuottavuudessa yli 5 % nousua työpistekohtaisella valaistusvoimakkuuden parantamisella sekä kokoonpanossa aiheutuneiden virheiden määrän laskua 5–8 %. Lisäksi energiankulutuksessa saavutettiin laskua vähentämällä yleisvalaistuksen tasoa, mutta nostamalla työpistekohtaista valaistustasoa. On siis mahdollista vähentää energiankulutusta sekä parantaa tuottavuutta valaistuksen laadun parantamisella ja hyvällä suunnittelulla. [22.]

Dynaamisen valaistuksen vaikutuksia on myös tutkittu, valaistuksen värilämpötilan ja valaistusvoimakkuuden vaikutuksella on huomattu olevan huomattavia vaikutuksia työskentelyyn. Hampurin teknillisen korkeakoulun kouluympäristössä tehdyssä tutkimuksessa opettajilla oli mahdollisuus vaikuttaa valaistustasoon sekä valon värilämpötilaan ennalta määriteltyjen erilaisten valaistustilanteiden mukaan. Tulosten mukaan keskittymiskyky parani 45 %, lukunopeus 35 % ja levottomuus laski 77 %, kun opettaja pystyi vaikuttamaan valaistukseen opetustilanteen mukaan. [23.]

Valaistuksesta aiheutuviissa kustannuksissa on vaikeaa arvioida valon laadulla saavutettavia hyötyjä työtehoon, terveyteen, työturvallisuuteen ja viihtyvyyteen. Tutkitusti valaistuksen laadulla on kuitenkin huomattavia vaikutuksia edellä mainittuihin asioihin, joten ne on otettava huomioon valaistusta suunniteltaessa ja kustannuksia vertailtaessa.

## **6 Ledien soveltuvuus valaistukseen**

Ledit yleistyvät valaistuksessa jatkuvasti, mutta ledien soveltuvuus kaikkiin valaistustilanteisiin ei ole kuitenkaan itsestään selvää. Ledien soveltuvuus valaistuksen eri osaluokkiin on vaihtelevaa riippuen käytettävän tekniikan kehityksestä ja vaatimuksista. Tässä insinööriyössä tutkittiin ledien soveltuvuutta yrityksen tyyppisimmässä suunnittelu- ja urakointikohteissa. Tutkittiin led-valoputkien kehitystä ja kannattavuutta loisteputkien korvaajana, teollisuus- ja varastointitilojen ledivalaistuksen kannattavuutta, liike- ja palvelurakennuksien ledivalaistuksen kannattavuutta ja ulkovalaistuskohteissa puisto- ja pysäköintialueiden ledivalaistuksen kannattavuutta.

### **6.1 Led-valoputket T8-loistelamppujen korvaajana**

Markkinoilla on nykyisin useita vanhojen T8-loistelamppujen korvaajaksi tarkoitettuja led-valoputkia. Led-valoputki voidaan asentaa vanhan magneettisella kuristimella olevan T8-loistelampun tilalle. Lisäksi toimiakseen led-valoputki vaatii sille tarkoitetun sytyttimen, joka vaihdetaan vanhan loistelampun sytyttimen tilalle. Led-valoputkien soveltuvuutta loistelamppujen korvaajaksi on tutkittu useassa insinööriyössä, joissa on huomattu, että led-valoputkien aikaisemmat versiot eivät ole olleet tarpeeksi kehittyneitä korvaamaan T8-loistelamppuja. Kehittyneempiä led-valoputkia ilmestyy kuitenkin tasaiseen tahtiin markkinoille ja nykyisin markkinoilla onkin niin sanottuja kolmannen sukupolven led-valoputkia.

Lupaukset led-valoputkilla saavutettavista 50–90 %:n energiansäästöistä herättävät kiinnostuksen led-valoputkiin. Etenkin liike- ja palvelurakennuksissa kuten toimistoissa, kouluissa ja sairaaloissa erittäin laajassa käytössä olevien T8-loistelamppujen korvaaminen led-valoputkilla on ollut ajankohtainen puheenaihe. Valaistavan tilan vaatimukset valaistuksen laadulle aiheuttavat kuitenkin sen, että loisteputken korvaajan on

täytettävä vähintään korvattavan tuotteen valaistuksen laadulliset ominaisuudet. Esimerkiksi keskimääräisen valaistusvoimakkuuden vähentyminen valaistavassa tilassa led-valoputken asennuksen myötä voisi tulla kysymykseen vain, jos alkuperäinen valaistus on toteutettu huomattavasti ylimitoitettuna, mutta näissäkin tilanteissa vaaditaan aina kohdekohtaista selvitystyötä.

Led-valoputkilla luvatut energiansäästö lupaukset ovat pitäneet paikkansa, koska usein esimerkiksi 58 W:n loisteputki on korvattu 22 W:n led-valoputkella, jolloin loisteputken energiankulutukseen on vielä lisättävä kuristinhäviöt, jotka nostavat 58 W:n magneettisella kuristimella olevan loistevalaisimen energiankulutuksen noin 70 W:iin. Led-valoputkien ongelmana on kuitenkin niiden valotehokkuus, joka on loistelamppujen kanssa likimain sama. Tämä aiheuttaa sen, että tuotetun valon määrä on laskenut energiankulutuksen kanssa samassa suhteessa. Korvattaessa vanha loisteputki led-valoputkella, pysyy valaisimien määrä samana, joten led-valoputken asennuksen myötä laskevaa keskimääräistä valaistusvoimakkuutta ei pystytä kompensoimaan asentamalla led-valoputkia tilaan enemmän, ilman suurempia muutostöitä.

On muistettava, että niin kauan kuin led-valoputkien valotehokkuus on loisteputkien kanssa samaa luokkaa, energiansäästö tapahtuu valon määrän kustannuksella. Mikäli energiansäästö on tärkein tavoite, samaan lopputulokseen päästään myös ottamalla esimerkiksi luokahuoneen valaistuksesta puolet loisteputkista pois, jolloin sähköä kuluu puolet vähemmän ja tuotetun valon määrä laskee puoleen. Led-valoputkien kohdalla tästä ominaisuudesta on saanut maksaa vielä suurehkon alkuinvestoinnin, siksi voi ihmetellä led-valoputkien niinkin suurta suosiota, jonka ne ovat saavuttaneet.

Led-valoputkien aikaisempien versioiden soveltuvuutta loistelamppujen korvaajana on tutkittu insinööritöissä, mutta nykyisin markkinoilla olevien uusien niin sanottujen kolmannen sukupolven led-valoputkien soveltuvuutta ei ole tutkittu. Led-valoputkien ominaisuudet ovat parantuneet jonkin verran edellisistä malleista, mutta tuotetietojen perusteella kehityksessä ei ole vielä edetty niin paljon, että voitaisiin puhua loisteputken korvaajasta. Tässä insinööritöissä tutkittiin seuraavaksi led-valoputkien nykyistä tilanetta T8-loistelampun korvaajana.

Tutkittavaksi loistelampun korvaajaksi valittiin Valtavalon G3 led-valoputki, joka on yksi markkinoiden suosituimmista led-valoputkista. Kyseinen tuote vaikuttaisi tuotetietojen perusteella olevan nykyisistä markkinoilla olevista led-valoputkista kehittynein, joten



tässä työssä tehtyjen mittausten perusteella saatuja tuloksia ei todennäköisesti pystytä muilla nykyisillä led-valoputkilla parantamaan.

#### 6.1.1 Led-valoputkien valaistusominaisuuksien arviointi

Vertailtaessa led-valoputkia loisteputkiin, tärkeimpiä vertailukohtia ovat pinnoille tuotettu valon määrä eli valaistusvoimakkuus. Sisätyöpaikkojen valaistusstandardissa SFS-EN 12464-1 ilmoitetaan valaistusvoimakkuusvaatimuksia työtasolle, katto- ja seinäpinnoille sekä sylinterivalaistusvoimakkuudelle. Lisäksi valon laatuun vaikuttavat häikäisy, luminanssijakauma, kiiltokuvastuminen, kontrastintoisto, värintoisto, varjonmuodostus ja muodonanto. Valaistuksen laatuun vaikuttavia tekijöitä on siis monia, joten korvattaessa loisteputkia led-valoputkilla ei muutostöiden takia valaistuksen laatutasoa saa huonontaa vaan laadun on pysyttävä ennallaan tai parannuttava.

Puhuttaessa led-valoputkesta loisteputken korvaajana on sen tuotettava ainakin yhtä paljon valoa, joten tilan keskimääräiselle valaistusvoimakkuudelle tapahtunut muutos on helpoin ja merkittävin tapa verrata led-valoputkia ja loisteputkia. Ominaisuuksien vertailu voidaan toteuttaa laskennallisten tulosten perusteella tai mittaustulosten perusteella. Esimerkiksi luokahuoneen valaiseminen testaustarkoituksessa on kuitenkin kallista ja aikaa vievää. Lisäksi, jos lopputulos on huono, tila on vielä palautettava takaisin alkuperäiseksi. Testaustarkoituksessa voidaan myös tutkia yhden valaisimen tuottamaa valoa mahdollisimman vähän heijastuspintoja sisältävässä tilassa. Tähän tarkoitukseen Metropolialla on Albertinkadulla sähköosastolla musta huone, jossa yhden valaisimen tuottamia valaistusteknillisiä ominaisuuksia voidaan vertailla vertailtaisiin valonlähteisiin. Saadut tulokset ovat suhteessa samoja kuin, jos mittaukset olisi toteutettu esimerkiksi koko luokahuoneen laajuudella.

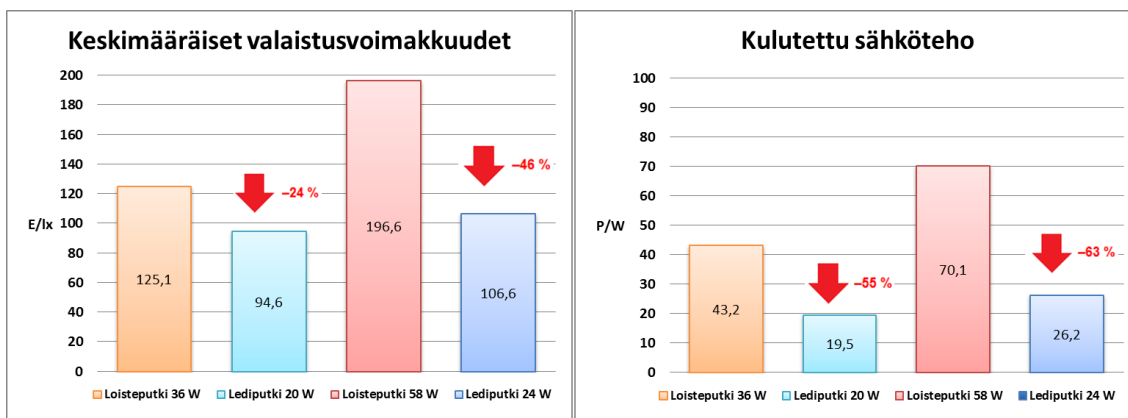
Metropolian Albertinkadun kiinteistön mustassa huoneessa seinät on päällystetty mustalla kartongilla sekä katto ja lattia on maalattu mustaksi hajavalosta aiheutuvien virheiden välttämiseksi. Huoneen kattoon asennettuun valaisimeen asennettiin mitattava valonlähde. Valaisin saa syöttönsä jännitestabiilaattorin avulla, jotta jännite pysyy vakaana ja oikeana mittausten ajan.

Työssä tutkittujen valonlähteiden tilaan tuottama keskimääräinen valaistusvoimakkuus mitattiin luksimittarilla standardin SFS-EN12464-1 mukaisesti, jolloin Metropolian mustan, 3,6 m \* 3,6 m -kokoisen huoneen keskimääräisen valaistusvoimakkuuden selvittämiseksi tarvittiin yhteensä 36 mittauspistettä. Mittauspisteiden valaistusvoimakkuus mitattiin käyttötasolta eli 0,76 m:n korkeudelta.

Valonlähteiden valonjako mitattiin luksimittarilla lattialle ja seinälle merkityn 20 mittauspisteen avulla, koska valaisimen valonjako on symmetrinen, mitattiin arvot vain 0–180 asteen gammakulmissa. Myös vertailtavien valonlähteiden verkosta ottama sähköteho mitattiin.

Kun halutaan vertailla eri valonlähteitä keskenään, voidaan vertailua suorittaa lukuisilla valaistuksen laatuun liittyvillä tekijöillä sekä kustannuksilla. Mitä tarkemmin ja yksityiskohtaisemmin vertailu halutaan toteuttaa, niin sitä työlämpi vertailusta tulee. On kuitenkin järkevää pitää vertailu yksinkertaisena niin kauan kunnes tuloksista nähdään eroa tärkeimpien vertailtavien ominaisuuksien kohdalla valonlähteiden välillä. Tärkeimmät ja helpoimmat tavat vertailla valonlähteitä on esimerkiksi työtasolle tuotettu valaistusvoimakkuus, valonjako, energiankulutus ja valaistusratkaisusta syntyvät kustannukset. Tässä insinööriyössä keskityttiin led-valoputkien ja loisteputkien välisessä vertailussa edellä mainittuihin asioihin, koska esimerkiksi keskimääräisen valaistusvoimakkuuden putoamisen jälkeen ei tilannetta voi korjata muilla valaistuksen laadullisilla tekijöillä. Jos vertailtavien valaisimien tilaan tuottamat keskimääräiset valaistusvoimakkuudet olisivat lähellä toisiaan, niin silloin olisi järkevää tutkia tarkemmin muita valaistuksen laadullisia asioita.

Kuvasta 10 (ks. seur. s.) nähdään keskimääräisen valaistusvoimakkuuden ja kulutetun sähkötehon muutokset huoneessa, kun loisteputki korvataan led-valoputkella. Korvattaessa 36 W:n loisteputki 20 W:n led-valoputkella keskimääräinen valaistusvoimakkuus laskee tilassa noin 24 %. Kuvasta nähdään myös sähköenergian kulutuksen laskeneen led-valoputkella 55 %. Keskimääräisen valaistusvoimakkuuden vähentyminen on merkittävää, joten 36 W:n loisteputken korvaajaksi 20 W:n led-valoputkesta ei ole.



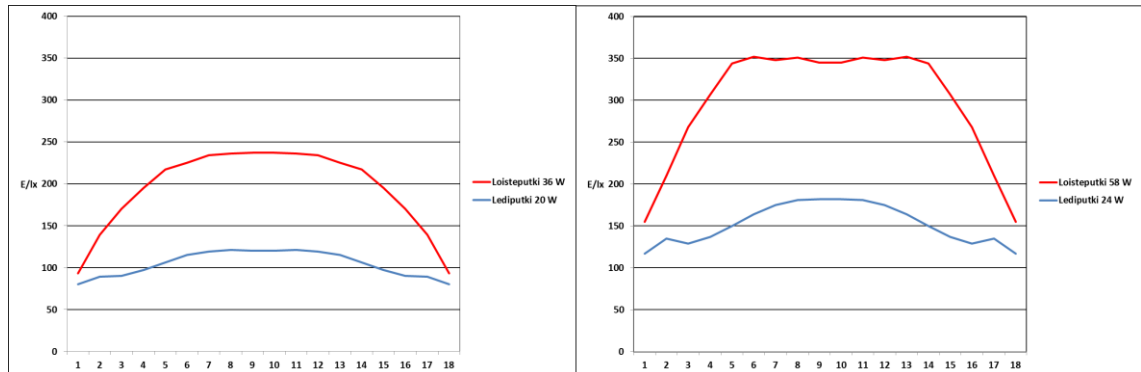
Kuva 10. Loisteputken ja sen tilalle asennetun led-valoputken tuottama keskimääräinen valaistusvoimakkuus ja kulutettu sähköteho 1-lampillisella toimistovalaisimella

Tarkasteltaessa kuvasta 58 W:n loisteputken korvaamista 24 W:n led-valoputkella huomataan keskimääräisen valaistusvoimakkuuden laskevan tilassa noin 46 % ja energiankulutuksen laskevan noin 63 %. Energiankulutuksen lasku on toki huomattava, mutta keskimääräisen valaistusvoimakkuuden putoaminen lähes puolella ei ole hyväksyttävää.

Sisätyöpaikkojen standardissa SFS-EN 12464-1 ilmoitetaan esimerkiksi oppilaitoksen luokkahuoneen keskimääräiseksi valaistusvoimakkuusvaatimukseksi 300 lx ja iltakäyttöön ja aikuisopiskelijoille tarkoitetuille luokkahuoneille 500 lx. Tämä tarkoittaa, että jos led-valoputkilla korvataan esimerkiksi 58 W:n loisteputket luokkahuoneessa, olisi alkuperäinen keskimääräinen valaistusvoimakkuus oltava vähintään 438 lx ja iltakäytössä ja aikuisopiskelijoilla 876 lx, jotta luokkahuoneen valaistus pysyisi suositusten mukaisena, kun loisteputket korvataan led-valoputkilla. Käytännössä tällainen ylimitoitus on harvinaista, ja mikäli valaistus on ylimitoitettu, on sille ollut yleensä tarpeensa.

Korvattaessa loisteputki led-valoputkella muuttuu valaisimen valonlähteen tuottama valonjako. Led-valoputki on käytännössä kohdelamppu, koska sen säteilemän valon säteilykulma on 120 astetta, kun taas loisteputki säteilee tasaisesta 360 astetta. Led-valoputken tuottaman valon 120 asteen avauskulman takia, asennettaessa se loistevalaisimeen, eivät sen heijastimet enää valotu. Tällöin valaisimeen alun perin suunniteltu optinen ratkaisu ei enää toteudu. Tämä saattaa aiheuttaa ongelmia, koska häikäisy saattaa lisääntyä, kun valo ei jakaannu valaisimen koko valoaukon alalle. Lisäksi jos valaisin on ripustettu, epäsuoraa valoa antava valaisin, katoaa sen ylävalokomponentti led-valoputkella.

Kuvasta 11 nähdään 1-lamppuisen 36 W:n ja 58 W:n loisteputken ja sen tilalle asennettavan 20 W:n ja 24 W:n led-valoputken tuottama valaistusjakauma 9 mittauspisteen avulla Metropolian mustassa huoneessa. Tuloksista nähdään, että valaistusvoimakkuus laskee led-valoputkella huomattavasti kaikissa mittauspisteissä.



Kuva 11. Valaistusjakauma 1-lamppuisella toimistovalaisimella

Taulukossa 9 (ks. seur. s.) esitetään led-valoputkilla kohdattavia ongelmia ja ominaisuuksia, jotka on hyvä tiedostaa harkittaessa led-valoputkien käyttöä jossakin sovelluksessa. Loisteputken korvaajaksi esimerkiksi toimistoissa ja luokkahuoneissa ei nykyisistä led-valoputkista ole, mutta led-valoputkilla on myös ominaisuuksia, joissa ne ovat parempia kuin loisteputket. Led-valoputket antavat kylmissä olosuhteissa täyden valovirtansa viiveettä ja toimivat itse asiassa vielä paremmin mitä kylmemmissä olosuhteissa sitä käytetään.

Led-valoputkien pitkästä 50 000 tunnin eliniästä on hyötyä silloin kun valaisinhuolto on vaikeasti toteutettavissa. On kuitenkin muistettava, että loisteputkista on myös tarvittaessa saatavilla huomattavasti pidemmän eliniän malleja. Magneettisilla kuristimilla T8-loisteputkien keskimääräiset eliniät pitkäikäisimmissä malleissa ylittävät yli 50 000 tuntia.

Led-valoputken valon suunnattavuus on etu, kun se asennetaan valaisimeen, jossa valaisimen heijastimia ei ole tai ne ovat niin huonossa kunnossa, että niistä olisi enemmän haittaa kuin hyötyä. Tällaiset tapaukset ovat kuitenkin harvinaisempia ja ongelmaksi näissäkin tapauksissa saattaa muodostua led-valoputkien korkea hinta.

Taulukko 9. Led-valoputkien haasteita ja hyviä ominaisuuksia

Led-valoputkella kohdattavia haasteita	Led-valoputken hyviä ominaisuuksia
Korkea hinta	Erinomainen toimivuus kylmässä
Valaisimen valonjako muuttuu	Ei ongelmajätettä
Valaisimen alkuperäiset heijastimet eivät valotu	Pitkä elinikä
Valaisin on suunniteltu ympärisäteilevälle valonlähteelle	Valo suunnattavissa
Käytännössä kohdelamppu	Ei käytä/kuluta loistevalaisimen kuristinta
Ripustetun epäsuoraa valoa antavan loistevalaisimen ylävalokomponentti katoaa	

Valotehokkuus 58 W:n loisteputkella on 90 lm/W ja 24 W:n led-valoputkella 110 lm/W eli led-valoputkella valotehokkuus on jonkin verran parempi. Led-valoputkien ongelma on kuitenkin siitä saatava valovirta, koska 58 W:n loisteputkesta saatava valovirta on noin 5200 luumenia ja sen tilalle asennettavasta 24 W:n led-valoputkesta saatava valovirta on 2600 luumenia. Led-valoputkilla saavutettava energiansäästö suurimmilta osin tapahtuu siis valonlähteestä saatavan valovirran kustannuksella.

Kuluttajan on vaikea tietää onko hankittu tuote valaistusominaisuuksiltaan vastaava tai parempi kuin alkuperäinen tuote, koska ledien markkinoinnissa on sorruttu ylilyönteihin. Ongelmien välttämiseksi EU määrää asetuksessa 2009/125/EY, että led-valoputkia ja muita ledilamppuja koskevia väitteitä, joiden mukaan ledilamppu korvaa tietyn tehoisen ilman sisäistä virranrajoitinta valmistetun lampun, voidaan esittää ainoastaan, jos

- valovoima ei missään suunnassa putken akselin ympärillä poikkea keskimääräisestä valovoimasta putken ympärillä enempää kuin 25 prosenttia, ja
- ledilampun valovirta ei ole alhaisempi kuin väitetyn wattiluvun loistelampun valovirta. Loistelampun valovirta saadaan kertomalla väitetty wattiluku loistelamppua vastaavalla vähimmäistehokkuuden mitoitusarvolla, joka on annettu komission asetuksessa (EY) N:o 245/2009 (1), ja
- ledilampun wattiluku ei ole suurempi kuin sen loistelampun wattiluku, joka sillä väitetään korvattavan.

Lisäksi valmistajan on varoitettava tarkoituksenmukaiseksi katsomallaan tavalla sekä internet-sivuillaan, että kaikkia ledilamppuja, joilla korvataan ilman sisäistä virranrajoitinta valmistettuja loistelamppuja, järjestelmän energiatehokkuus ja valonjako riippuvat tapauskohtaisesta järjestelmän suunnittelusta. [15.]

Led-valoputkien käytössä on huomioitava myös valovirran aleneman kerroin, joka tässä työssä tutkituille led-valoputkille on ilmoitettu 50 000 tunnin kohdalla 0,7:ksi. Joten

50 000 tunnin käyttöajan jälkeen kyseinen putki antaa 70 % alkuperäisestä valovirrastaan. Tämä tarkoittaa, että led-valoputkien tuottama valovirta esimerkiksi luokkahuoneen valaistuksessa voi käyttöjakson viimeisellä 10 vuodella olla 20–30 % alkuperäisestä. Magneettisella kuristimella toimivan valaisimen loisteputkilla keskimääräisellä eliniällä eli 12 000 tunnilla valovirran aleneman kerroin on noin 0,9. Loisteputken käyttöaikana valovirran alenema on siis huomattavasti vähäisempää, joten harkittaessa led-valoputkien käyttöä, on eliniän aikana tapahtuva valovirran alenema otettava huomioon suunnitteluvaiheessa.

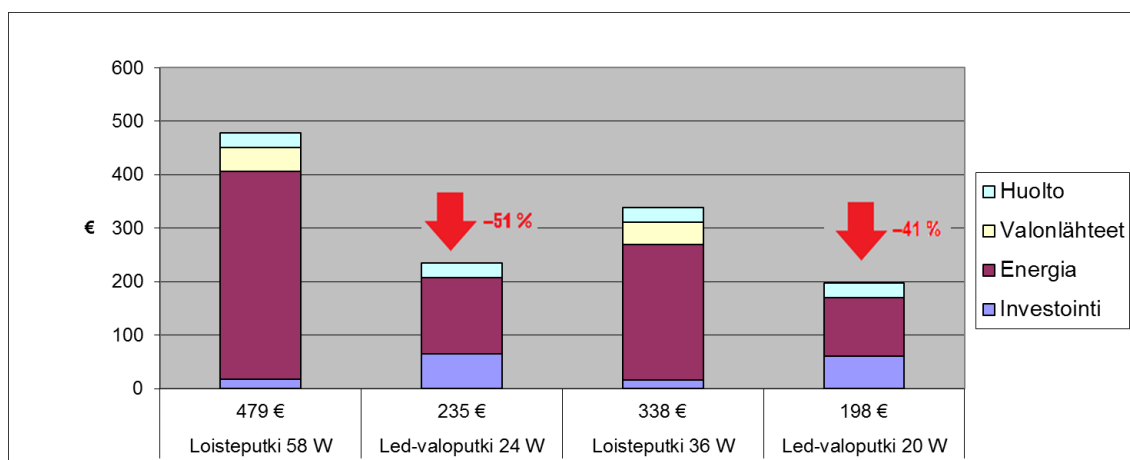
Ledien pitkän eliniän myötä käyttöjakson aikana tapahtuva valovirran alenema on huomioitu myös EU:n asetuksessa 2009/125/EY. Asetuksessa ilmoitetaan valovirran korjauskertoimet eri lamppuille. Ledilampuilla valovirran alenemakertoimella 0,7 saadaan valovirran korjauskertoimeksi 1,15. Kerrointa on siis käytettävä mitoitettaessa ledilampuilla toteutettua valaistusta, jotta ledien pitkän eliniän aikana tapahtuva valovirran alenema tulee otetuksi huomioon. [15.]

Valaisimessa, jossa on magneettinen kuristin, led-valoputki toimii led-valoputken mukana toimitettavan sytyttimen avulla. Led-valoputkia on mahdollista käyttää myös elektronisella liitälaitteella toimivissa loisteputkivalaisimissa, jos valaisinta modifioidaan. Käytännössä modifiointi vaatii elektronisen liitälaitteen ohituksen valaisimen sisäisessä kytkennässä. Työn voi toteuttaa vain sähköalan ammattihenkilö ja valaisimelle on suoritettava vaatimusten mukainen tarkastus ja lisäksi valaisin on CE-merkittävä uudelleen. Valaisimen modifioinnin seurauksena syntyy käytännössä uusi laite ja alkuperäisen valmistajan takuu ja vastuu valaisimesta päättyy.

Valaisimen muutostyöt aiheuttavat huomattavia lisäkustannuksia led-valoputkien vaihtotyöhön, jos elektronisella liitälaitteella toimiva valaisin modifioidaan led-valoputkelle soveltuvaksi. On otettava myös huomioon, että elektronisella liitälaitteella toimivilla loisteputkilla on paremmat ominaisuudet muun muassa eliniän sekä syttymisominaisuuksien osalta kuin magneettisella kuristimilla toimivilla loisteputkilla. Tämä laskee led-valoputkilla saavutettavaa hyötyä muun muassa eliniän ja muiden ominaisuuksien osalta.

### 6.1.2 Led-valoputkien ja T8-loistelamppujen elinkaarikustannuslaskelmat

Kuvasta 12 nähdään 20 vuoden aikana syntyvät elinkaarikustannukset yhdellä loisteputkella ja niiden tilalle asennettavalla led-valoputkella tyypillisessä luokkahuoneessa, jota käytetään päivä- ja iltakäytössä. Kun 58 W:n loisteputki korvataan 24 W:n led-valoputkella, kokonaiselinkaarikustannukset nykyarvossa ovat led-valoputkella 51 % alhaisemmat, ja vastaavasti kun 36 W:n loisteputki korvataan 20 W:n led-valoputkella, kokonaiselinkaarikustannukset ovat led-valoputkella 41 % alhaisemmat. Elinkaarilaskelmissa käytetyt arvot ja tarkemmat tulokset esitetään liitteessä 1.



Kuva 12. Yhden loisteputken ja led-valoputken elinkaarikustannukset 20 vuodessa

Elinkaarikustannuksien kannalta led-valoputket ovat selkeästi taloudellisempi vaihtoehto, mutta ongelma kuitenkin on, että led-valoputkilla valaistuksen laadulliset tekijät kuten keskimääräinen valaistusvoimakkuus laskee 24–46 %. Tämä ei ole hyväksyttävää ellei alkuperäinen valaistus ole toteutettu huomattavasti ylimitoitettuna, mutta tällainen on erittäin harvinaista ja valaistustason laskeminen alkuperäisestä vaatii aina kohdekohtaista selvitystyötä.

Nykyisistä led-valoputkista ei ole magneettisella kuristimella toimivan valaisimen T8-loisteputken korvaajaksi. Elektronisilla liitännälaitteilla toimivissa loistevalaisimissa led-valoputkella saavutettavat hyödyt jäävät vieläkin alhaisemmiksi, minkä lisäksi on huomioitava vielä huomattavasti korkeammat asennuskustannukset.

## 6.2 Teollisuus- ja varastointitilojen valaistus ledeillä

Teollisuudessa ja varastoinnissa on yleistä, että käytettävät tilat ovat korkeita ja suuria pinta-alaltaan. Tällaisten tilojen valaistus on usein toteutettu suurpaineisilla syväsäteilijöillä. Uusissa kohteissa käytetään nykyisin perinteisistä vaihtoehdoista syväsäteilijää ja valonlähteenä monimetallilamppua. Markkinoilla on myös varteenotettavia ledivalaisimia monimetallisyväsäteilijän korvaajaksi. Ledivaihtoehdoille on kuitenkin tyypillistä, että niiden vaatima alkuinvestointi on korkeampi perinteisiin ratkaisuihin nähden. Seuraavaksi työssä tutkittiin onko markkinoilla elinkaarikustannuksiltaan monimetallisyväsäteilijöiden haastajaksi varteenotettavia ledivaihtoehtoja ja selvitettiin millaiset takaisinmaksuajat ledivalaisimilla toteutetuilla ratkaisuilla on.

### 6.2.1 Ledit syväsäteilijöiden valonlähteenä

Syväsäteilijöiden elinkaarikustannusten selvittämiseksi käytettiin laskennoissa tyypillistä esimerkkitalaa, 2500 m<sup>2</sup>:n teollisuushallia. Valaistus suunniteltiin asennettavaksi neljään hallin pituussuunnassa 9 m:n korkeudessa kulkevaan valaisinkiskoon. Valaistustekniset laskelmat tehtiin Dialux-valaistuslaskentaohjelmalla, jolla eri vaihtoehtojen tarvittava valaisinmäärä selvitettiin ja paras optinen ratkaisu löydettiin. Liitteessä 3 esitetään eri vaihtoehtojen valaistuslaskelmien yhteenvedot ja tarkemmat tulokset.

Perinteisellä 250 W:n ellipsinmuotoisella monimetallilampulla valotehokkuus on nykyisin noin 80 lm/W. Syväsäteilijöissä käytettävien ledien valotehokkuudet vaihtelevat 100 lm/W:n molemmin puolin, joten ledien valotehokkuudet ovat parempia perinteisiin monimetallilamppuihin nähden.

Sisätyöpaikkojen standardissa SFS-EN 12464-1 annetaan useita valaistusvoimakkuusvaatimuksia teollisuuden eri työkohteille. Esimerkiksi teollisuuden työkohteessa, jossa hitsataan, annetaan standardissa keskimääräiseksi valaistusvoimakkuussuositukseksi ( $E_m$ ) 300 lx. Työn tarkkuuden ja vaatimusten noustessa myös suositeltu keskimääräinen valaistusvoimakkuus nousee. Yleisesti voidaan sanoa, että teollisuudessa suositeltavat valaistusvoimakkuudet vaihtelevat 200–1 000 lx:n välillä, riippuen työn vaatimuksista ja tarkkuudesta. Tämän työn laskelmissa käytettiin esimerkkitalan vaadittuna keskimääräisenä valaistusvoimakkuutena 400 lx ja valaistuksen yleistasaisuutena 0,6 ja värintoistona ( $R_a$ ) 80.



Vertailussa käytetyt hinnat ovat saman tukkuliikkeen suositushintoja tai ne on suhteutettu sellaisiksi. Mukana vertailussa on kaksi valmistajaa, jotka hoitavat tuotteidensa markkinoinnin itse, joten heidän hintansa on suhteutettu tukkuliikkeen suositushinnoiksi. Suositushinnoista vähennettiin 20 %, jotta hinta on lähempänä toteutuvaa, jos valaistus oikeasti toteutetaan ja tuotteiden hinnoista saadaan mahdollisia määräalennuksia.

Vertailtaviksi valaistusvaihtoehtoiksi valittiin kaksi perinteisellä monimetallisyvästeilijällä toteutettua vaihtoehtoa ja viisi markkinoilta nykyisin löytyvää ledivaihtoehtoa. Perinteisiksi vaihtoehtoiksi valittiin kyseisessä käyttötarkoituksessa kaksi käytetyintä, Glamoxin i50 R1 250 W ja Philipsin PerformaLux HPK380 250 W monimetallisyvästeilijä. Taulukossa 10 esitetään vertailtavien syvästeilijöiden tärkeimmät tekniset ja laskennalliset tiedot sekä valaistavaan halliin tarvittava valaisimien määrä.

Taulukko 10. Vertailtavat syvästeilijät

Valmistaja	Philips	Glamox	Easy led	Easy led	Valopaa	Glamox	Philips
Valaisintyyppi	PerformaLux HPK380	i50 R1	Pro 500	Pro 500	VP1401 M8	i80 Led	GentleSpace Led120
Väriämpötila / K	5 200	5 200	4 000	6 000	4 100	4 000	4 000
Värintoistoindeksi	90	90	85	85	-	85	76
Sähkönumero / tuotenumero	44 505 00	44 406 03	600001	600001	45 016 80	43 400 41	43 502 47
Sähköteho / W	274	275	125	125	144	139	132
Valonlähteen valovirta / lm	19 000	19 000	14 300	17 500	12 800	9 721	12 000
Valaisimen hyöttyvalovirta / lm	16 272	12 227	14 285	17 481	12 743	9 716	12 000
Järjestelmän valotehokkuus lm / W (mukaan lukien optiset häviöt)	59	44	114	140	88	70	91
Valonlähteen elinikä	12000 (B50)	12 000 (B50)	80 000 (L80)	81 000 (L80)	50 000 (L90)	50 000 (L70)	75 000 (L70)
Keskimääräinen valaistusvoimakkuus Em / lx	404	401	405	421	402	400	411
Valaistuksen tasaisuus E <sub>min</sub> / E <sub>m</sub>	0,60	0,60	0,67	0,66	0,58	0,62	0,65
Valonlähteen hinta / €	45	45	-	-	-	-	-
Tarvittava määrä / kpl	88	92	80	68	88	116	96
Valaisimen hinta / €	378	369	710	710	625	1 280	1 392

Taulukon kahdessa ensimmäisessä vaihtoehdossa valonlähteenä syvästeilijässä on käytetty perinteistä monimetallilamppua. Seuraavat viisi vaihtoehtoa ovat eri valmistajien ledeillä toteutettuja syvästeilijöitä. Kaikki vaihtoehdot tuottavat tilaan lasketulla valaistuksen tasaisuudella vaaditut 400 lx, huoltokertoimella 0,8. Valaistuksen yleistasaisuudeksi vaadittu 0,6 täyttyy kaikilla muilla vaihtoehdoilla paitsi Valopaan valaisimella, mutta tässäkin tapauksessa jäädään vain 0,02 vaaditusta, joka on niin vähän, ettei sitä tarvitse huomioida.

Kuten ledien teoriaosuudessa luvussa 4 kerrottiin, ledistä on helpompi tehdä valotehokkaampi kylmäsävyisempänä. Tämä on havaittavissa käytännössä Easy led:n ledivalaisimista, joilla halli kyetään valaisemaan 12 valaisinta pienemmällä määrällä, kun valaistuksen väriämpötilana käytetään 6 000 K:n kylmäsävyistä neutraalin 4 000 K:n sijasta.

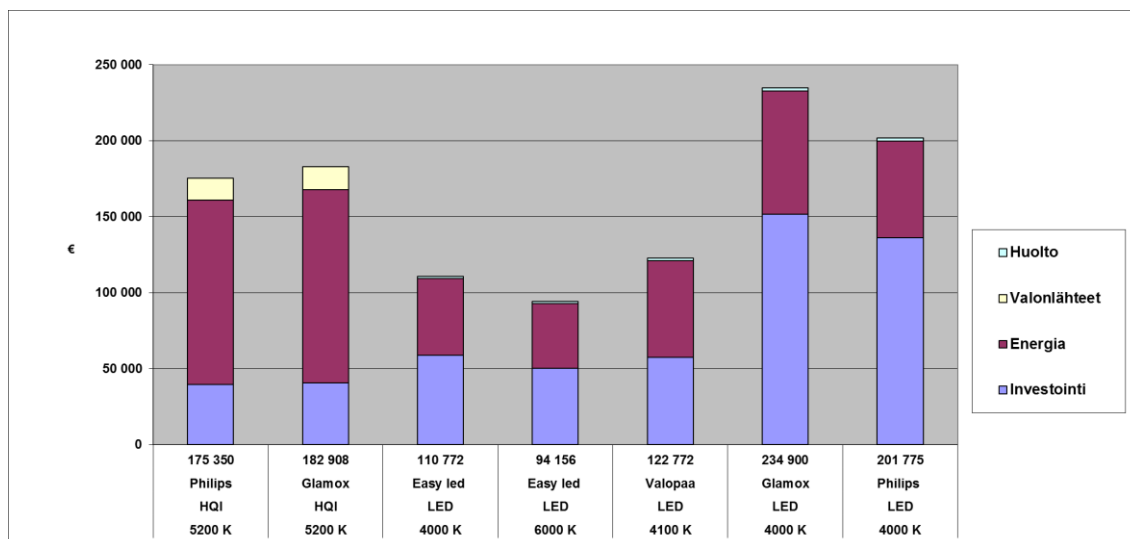
Sisätyöpaikkojen standardissa ei anneta suosituksia käytettävälle valaistuksen väriämpötilalle. Yleisesti mielletään, että kun valaistusta on paljon, valaistus koetaan miellyttävämmäksi kylmäsävyisenä ja vähäisempi valaistus on miellyttävämpää lämminsävyisenä. Kylmäsävyisemmän valaistuksen käytölle ei ole estettä, mutta havainnollistamaan kylmäsävyisten ja lämminsävyisten ledien eroja valotehokkuudessa ja kustannuksissa otettiin vertailuun molemmat vaihtoehdot.

Standardissa ilmoitetaan teollisuustiloihin värintoistolle vaatimukseksi ( $R_a$ ) 80, joka estää teollisuuden valaistuksessa aikaisemmin käytettyjen suurpainenatriumlamppujen käytön, joiden perusversioiden värintoisto ( $R_a$ ) on noin 25. Sisätyöpaikkojen standardissa vaadittujen värintoistovaatimusten johdosta se aiheuttaa teollisuuden valaistuksessa siirtymisen paremman värintoiston omaavien monimetallilamppujen, loistevalaisimien tai ledien käyttöön.

Philipsin ja Glamoxin ledivalaisimien eliniät on ilmoitettu yleisemmin käytetyllä L70-arvolla, jolloin Glamoxin i80-valaisimesta on 50 000 tunnin ja Philipsin GentleSpace-valaisimesta 75 000 tunnin jälkeen valovirta laskenut 30 % alkuperäisestä ja ledimoduuli katsotaan loppuunkäytetyksi. Valopaa ilmoittaa ledimoduulin valovirran alenemaksi 50 000 tunnin kohdalla 10 % ja Easy led 80 000 tunnin kohdalla 20 %. Eri-laiset valovirran aleneman ilmoitustavat tekevät valaisimien ledimoduulien elinikien vertailusta haasteellista. Monimetallilamppuna käytettiin laskelmissa Osramin 250 W:n HQI-E lamppua, jolle ilmoitetaan keskimääräiseksi eliniäksi (B50) 12 000 tuntia, mutta laskelmissa käyttöaikana käytettiin kuitenkin 10 000 tuntia.

### 6.2.2 Syväsiteilijöiden elinkaarikustannuslaskelmat

Teollisuushallin valaistusratkaisusta 20 vuoden aikana syntyvät elinkaarikustannukset nykyarvossa esitetään kuvassa 13 (ks. seur. s.). Vasemmalla kuvassa on kaksi perinteistä ratkaisua ja sen jälkeen viisi ledeillä toteutettua ratkaisua. Laskennan tarkemmat tulokset ja laskennoissa käytetyt arvot esitetään liitteessä 4.



Kuva 13. Teollisuushallin elinkaarikustannukset 20 vuodessa

Kuvasta nähtiin, että 20 vuoden elinkaarikustannuksissa kolme lediratkaisua ovat elinkaarikustannuksiltaan nykyarvossa edullisempia perinteisiin vaihtoehtoihin nähden. Glamoxin ja Philipsin ledivaihtoehtojen huomattavasti korkeammat investointikustannukset nostavat niiden kokonaiselinkaarikustannukset niin korkeaksi, etteivät ne ole kilpailukyisiä kustannuksien puolesta perinteiseen ratkaisuun nähden.

Taulukossa 11 (ks. seur. s.) esitetään tarkemmin eri ratkaisuihin syntyvien kustannusten muodostumista 20 vuoden tarkastelujaksolla. Kaikki ledivaihtoehdot ovat investointikustannuksiltaan 23–273 % kalliimpia. Ledivalaisimien kappalehinta on kalliimpi kuin perinteisellä ratkaisulla, mutta ledivalaisimilla saavutetaan tavoiteltu valaistustaso pienemmällä valaisinmäärällä, jolloin investointikustannukset eivät nouse huomattavasti. Käyttökustannuksissa ledivaihtoehdot ovat 20 vuoden tarkastelujaksolla 42–69 % edullisempia perinteiseen ratkaisuun nähden. Alhaisempien käyttökustannusten ansiosta kolme ledeillä toteutettua vaihtoehtoa on myös kokonaiselinkaarikustannuksiltaan 33–49 % edullisempia perinteiseen monimetallisyväsäteilijällä toteutettuun ratkaisuun nähden.

Taulukko 11. Vertailtavien syväsiteilijöiden kustannusrakenne ja takaisinmaksuaika

Valmistaja	Philips	Glamox	Easy led	Easy led	Valopaa	Glamox	Philips
Valaisintyyppi	Performalux	i50 R1	Pro 500 4000K	Pro 500 6000K	VP 1401 M8(2)	i80 Led	GentleSpace
Investointikustannukset yhteensä / €	39 688	40 618	59 000	50 150	57 420	151 670	136 272
Ero prosentteina perinteiseen edullisimpaan valaisimeen nähden		2 %	45 %	23 %	41 %	273 %	235 %
Käyttökustannusten nykyarvo / €	135 662	142 290	51 772	44 006	65 352	83 230	65 503
Ero prosentteina perinteiseen edullisimpaan valaisimeen nähden		5 %	-64 %	-69 %	-54 %	-42 %	-54 %
Kokonaiskustannukset yhteensä nykyarvossa / €	175 350	182 908	110 772	94 156	122 772	234 900	201 775
Ero prosentteina perinteiseen edullisimpaan valaisimeen nähden		4 %	-39 %	-49 %	-33 %	28 %	10 %
Takaisinmaksuaika perinteiseen edullisimpaan ratkaisuun nähden / vuotta			4,7	2,3	5,1	43,5	27,9

Takaisinmaksuaika kertoo, miten nopeasti investointikustannuksiltaan kalliimpi tuote maksaa itsensä takaisin edullisempien käyttökustannusten ansiosta. Takaisinmaksuajan laskennassa voidaan ratkaisua verrata tilan nykyiseen valaistukseen tai vertailtavaan uuteen vaihtoehtoon. Tässä laskelmassa takaisinmaksuajan referenssiratkaisuna käytettiin vertailun edullisinta perinteistä ratkaisua. Edullisempien lediratkaisujen 2–5 vuoden takaisinmaksuajat ovat jo erittäin kohtuullisia. Esimerkiksi Easy Ledin edullisemmassa vaihtoehdossa tuote on maksanut itsensä takaisin kahden vuoden käytön jälkeen, jonka jälkeen se tuottaa säästöjä esimerkkitalana käytetyssä hallissa noin 4500 € vuodessa alhaisempien käyttökustannustensa ansiosta.

Teollisuudessa käyttöympäristön lämpötilat voivat usein olla normaalista poikkeavia. Alhaisissa käyttölämpötiloissa esimerkiksi kylmävarastoissa ledeillä saavutettavat hyödyt parempien valotehokkuuksien ansiosta korostuvat. Ledien aiheuttama huomattavasti pienempi lämpökuorma suurpaineisiin syväsiteilijöihin nähden voi tuottaa huomattavia säästöjä alentuvien jäähdytyskustannusten ansiosta.

Laskennoissa valaisinhuolto on huomioitu siten, että se on helposti toteutettavissa. Usein teollisuudessa näin ei tietenkään ole. Monimetallilampuista on saatavilla pitkäikäisempiä malleja, joiden toiminta perustuu kahteen purkausputkeen, joista toinen aloittaa toimintansa, kun toisen elinikä päättyy. Näillä pitkäikäisemmillä monimetallilampuilla saadaan elinikä kaksinkertaistettua, mutta jäädään ledivalaisimien eliniästä vielä huomattavasti. Joten tilanteissa, kun valaisinhuolto on vaikeasti toteutettavissa, ledivalaisimien pitkän eliniän ansiosta niillä on mahdollista saada kustannussäästöjä vähäisempien huoltotarpeidensa ansiosta.

Ledivalaisimien säätöominaisuudet ovat huomattavasti paremmat kuin monimetallilampuilla. Monimetallilamppujen säätäminen käytännössä aiheuttaa niin paljon ongelmia,

ettei se ole useinkaan järkevää. Ledivalaisimilla säädettävyyteen vaikuttaa myös se, että kytkentöjen määrällä ei ole vaikutusta elinikään. Suurpaineisilla syvästeilijöillä ongelmana on niiden uudelleensyöttymättömyys kuumana, joka estää niiden käytön esimerkiksi liikkeentunnistuksen perusteella tai kun valoa tarvitaan hetkellisesti viiveettä.

Tuloksista nähtiin, että ledeillä toteutetuissa syvästeilijöissä investointikustannukset ovat vielä korkeampia perinteisiin ratkaisuihin nähden. Alhaisempien käyttökustannusten johdosta ledivalaisimien takaisinmaksuajat ovat jo erittäin kohtuullisia. Perinteisellä monimetallisyvästeilijällä koko järjestelmän valotehokkuus jää alle 60 lm/W, kun kehittyneimmillä ledeillä päästään 140 lm/W:n valotehokkuuteen, jos ledeinä käytetään kylmäsvyistä valoa tuottavia ledejä. Tämä aiheuttaa sen, että ledivalaisimilla käyttökustannukset ovat huomattavasti alhaisemmat. Lisäksi ledivalaisimilla saadaan valaistus toteutettua pienemmällä valaisinmäärällä, jolloin investointikustannukset jäävät myös kohtuullisiksi.

### 6.3 Liike- ja palvelurakennuksien valaiseminen ledeillä

Liike- ja palvelurakennuksissa valaistus toteutetaan usein esimerkiksi käytävillä, toimistoissa ja yleisissä tiloissa moduuli- ja downlight-valaisimilla. Downlight-valaisimissa käytetään valonlähteenä lähes yksinomaan pienoisloistelamppuja. Moduulivalaisimissa valonlähteenä käytetään yleisesti T5-loisteputkia ja aikaisemmin T8-loisteputkia. Nykyisin markkinoilla on useita downlight- ja moduulivalaisimia, joiden valonlähteenä käytetään ledejä. Työssä tutkittiin seuraavaksi esimerkkitulojen avulla ovatko ledit mainituissa tuotekategorioissa elinkaarikustannuksiltaan kannattavia vaihtoehtoja perinteisiin ratkaisuihin nähden.

Valaistusteknilliset laskelmat tehtiin Dialux-valaistuslaskentaohjelmalla, jolla eri vaihtoehtojen tarvittavat valaisinmäärät selvitettiin sekä eri vaihtoehtojen paras optinen ratkaisu löydettiin. Liitteessä 5 ja 7 esitetään eri vaihtoehtojen valaistuslaskelmien yhteenvedot ja tarkemmat tulokset. Laskelmista on huomioitava, että tulokset ovat esimerkkituloille saatuja tuloksia, joten esimerkiksi valaisimen asennusgeometrian muuttuessa saattaa jonkin vaihtoehdon tulokset olla parempia kuin mihin tämän työn laskelmissa on päädytty. Esimerkkitulat ovat tyypillisiä julkisista rakennuksista löytyviä tiloja,

joten tuloksista saadaan luotettava kokonaiskuva markkinoilta nykyisin löytyvien tuotteiden kustannuksista.

Vertailussa käytetyt hinnat ovat saman tukkuliikkeen antamia suositushintoja, joten hintoja voidaan pitää tasa-arvoisina kaikilla vaihtoehdoilla. Laskelmissa käytetyt hinnat ovat arvolisäverottomia hintoja, joista on vähennetty 20 %, jotta hinnat ovat lähempänä toteutuvia hintoja, kun valaistus toteutetaan oikeasti.

### 6.3.1 Ledit moduulivalaisimien valonlähteenä

Laskettuun alakattoon asennettavissa moduulivalaisimissa, jotka ovat usein mitoiltaan 60\*60 cm, käytetään valonlähteinä tyypillisesti 14 W:n T5-loisteputkia. Näiden T5-loisteputkien valotehokkuus on nykyisin noin 104 lm/W. Nykyisin markkinoilla olevissa ledeillä toteutetuissa moduulivalaisimissa ledimoduulien valotehokkuudet ovat 100 lm/W:n molemmin puolin, joten moduulivalaisimissa käytettävien loisteputkien ja ledimoduulien valotehokkuudet vaikuttaisivat nykyisin olevan samaa luokkaa.

Esimerkkitalana laskelmissa käytettiin tyypillistä toimistotilaa, joita on usein julkisissa rakennuksissa. Esimerkkitalana käytetyn huoneen mitat olivat: leveys ja pituus 7 m ja korkeus 2,6 m. Tällaiselle toimisto/avokonttorille ilmoitetaan sisätyöpaikkojen standardissa suositelluksi keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi ( $E_m$ ) 500 lx ja valaistuksen yleistasaisuudeksi ( $U_o$ ) 0,6.

Vertailtaviksi valaisinvaihtoehtoiksi valittiin kaksi perinteisellä T5-loisteputkella toteutettua moduulivalaisinta, jotka ovat kyseisessä käyttötarkoituksessa käytetyimpiä valaisimia. Vertailtaviksi ledivaihtoehtoiksi valittiin 9 markkinoilta nykyisin löytyvää ledimoduulivalaisinta. Taulukossa 12 (ks. seur. s.) esitetään vertailtavien valaisimien tärkeimmät tekniset ja laskennalliset tiedot sekä eri ratkaisuilla tilaan syntyvät valaistustekniset arvot.

Esimerkkitalan valaistukseen tarvitaan yhdeksän moduulivalaisinta, jotta tilan valaistusvoimakkuus ja tasaisuus täyttävät suositeltavat arvot. Valaisinjakko on tällöin 3\*3 valaisinta, joten vaikka valaistusvoimakkuus ylittyy joillakin vaihtoehdoilla vaaditusta 500 lx:sta, ei tässä tapauksessa valaisinmäärän vähentäminen tule kysymykseen.

Taulukko 12. Vertailtavat moduulivalaisimet

Valmistaja	Philips T5	Glamox T5	Glamox LED	Glamox LED	Fagerhult LED	Philips LED
Valaisintyyppi	tBs260 t5	C20-R600	Modul Square	Modul Micro	Multilume Flat	Smartform
Sähkönumero / tuotenumero	42 555 88	42 481 90	MOR218063	MOR217896	42 303 28	42 548 93
Sähköteho / W	63	61	43	43	44	47
Valonlähteen valovirta / lm	4 800	4 800	4 389	4 225	4 278	3 700
Valaisimen hyötövalovirta / lm	3 408	4 187	4 388	4 223	4 277	3 700
Järjestelmän valotehokkuus lm / W (mukaan lukien optiset häviöt)	54,1	68,6	102,0	98,2	97,2	78,7
Valonlähteen elinikä	20 000	20 000	50 000	50 000	50 000	50 000
Keskimääräinen valaistusvoimakkuus Em / lx	520	641	609	628	628	566
Valaistuksen tasaisuus E <sub>min</sub> / E <sub>m</sub>	0,64	0,61	0,68	0,61	0,62	0,60
Valonlähteen hinta / €	6,9	6,9	-	-	-	-
Valaisimen hinta / €	111	173	572	628	660	767
Valmistaja	Thorn LED	Philips LED	Airam LED	Thorn LED	Philips LED	
Valaisintyyppi	Specdine	Coreline	Plateia square	Quatro LED	CoreView panel	
Sähkönumero	42 917 15	42 596 71	42 071 83	42 914 90	42 597 07	
Sähköteho / W	47	42	56	42	52	
Valonlähteen valovirta / lm	3 700	3 700	4 648	3 200	3 300	
Valaisimen hyötövalovirta / lm	3 700	3 700	4 648	3 200	3 300	
Järjestelmän valotehokkuus lm / W (mukaan lukien optiset häviöt)	78,7	88,1	83,0	76,2	63,5	
Valonlähteen elinikä	50 000	30 000	50 000	50 000	30 000	
Keskimääräinen valaistusvoimakkuus Em / lx	521	544	640	466	466	
Valaistuksen tasaisuus E <sub>min</sub> / E <sub>m</sub>	0,64	0,62	0,67	0,61	0,68	
Valonlähteen hinta / €	-	-	-	-	-	
Valaisimen hinta / €	412	292	448	491	408	

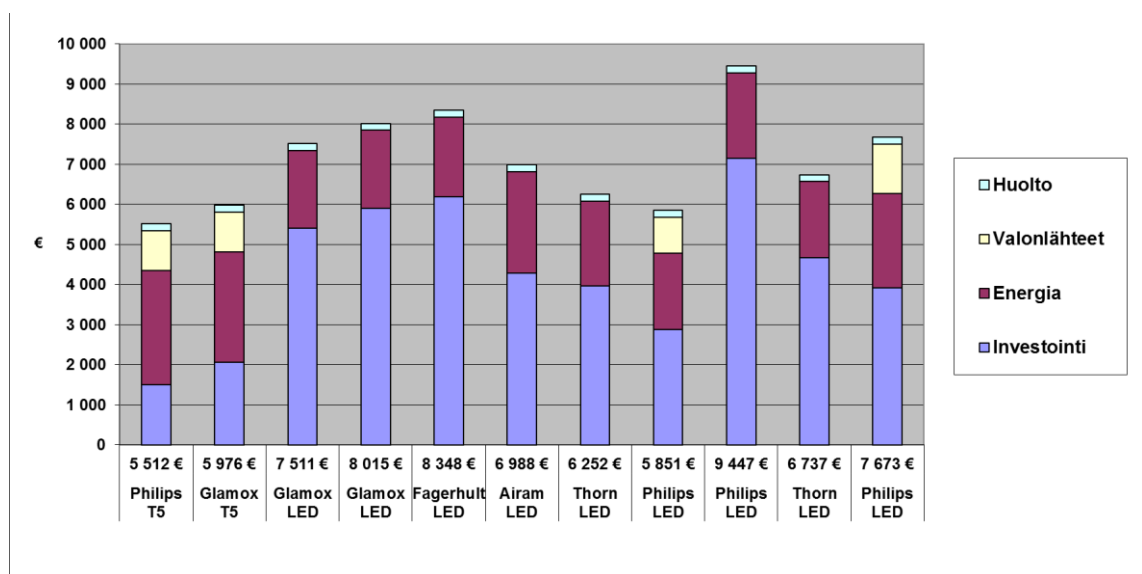
Taulukon kaksi ensimmäistä vaihtoehtoa ovat perinteisillä T5-loisteputkilla toteutettuja moduulivalaisimia ja seuraavat yhdeksän vaihtoehtoa ovat eri valmistajien ledeillä toteutettuja moduulivalaisimia. Lähes kaikki vaihtoehdot tuottavat tilaan vaaditut 500 lx valaistuksen huoltokertoimella 0,8. Kaksi viimeistä vaihtoehtoa eivät tuota vaadittua valaistusvoimakkuutta valitulla valaisinmäärällä, mutta valaistusvoimakkuuden jäädessä niinkin vähän vaaditusta oli niiden vertailuun mukaan ottaminen perusteltua. Investointikustannuksiltaan ledivaihtoehdot ovat kalliimpia, mutta muutamia edullisempiakin vaihtoehtoja löytyy.

Kaikkien ledivaihtoehtojen eliniät on ilmoitettu L70-arvolla, jolloin ilmoitetun 50 000 tunnin jälkeen valovirta on laskenut 30 % alkuperäisestä ja ledimoduuli katsotaan loppuunkäytetyksi. Loisteputkena perinteisissä vaihtoehdoissa käytetään Osramin 14 W:n T5-loisteputkea, jolle ilmoitetaan keskimääräiseksi eliniäksi (B50) 24 000 tuntia ja hyötöpoltoajaksi 19 000, mutta käytettäköön laskelmissa L70-arvoon verrannollista 20 000 tuntia. Kahdella ledivaihtoehdolla L70-arvolla eliniäksi on ilmoitettu 30 000 tuntia. Tämä tarkoittaa, että laskelmassa kyseisten valaisimien ledien käyttöikä tulee täyteen 15 vuoden jälkeen, jolloin ledimoduuli tai koko valaisin on uusittava, jotta tilassa vaadittu keskimääräinen valaistusvoimakkuus pysyisi vaaditulla tasolla. Asia oli huomioitava jotenkin laskelmissa, joten laskennallisena arvona oletettiin, että ledimoduuli tai koko

uuden valaisimen hankintahinta on uusittaessa 50 % alhaisempi kuin investointihetkellä.

### 6.3.2 Moduulivalaisimien elinkaarikustannuslaskelmat

Toimiston valaistusratkaisusta 20 vuoden aikana syntyvät elinkaarikustannukset nykyarvossa esitetään kuvassa 14. Vasemmalla kuvassa on kaksi perinteistä ratkaisua ja niiden oikealla puolella 9 ledivaihtoehtoa. Laskennan tarkemmat tulokset ja laskennoissa käytetyt arvot esitetään liitteessä 6.



Kuva 14. Toimiston moduulivalaisimien elinkaarikustannukset 20 vuoden aikana

Toimiston elinkaarikustannuksista nähtiin, että investointikustannuksiltaan edullisin perinteinen ratkaisu, Philipsin T5-moduulivalaisin on edullisin vaihtoehto myös elinkaarikustannuksiltaan. Vertailtaessa toista perinteistä ratkaisua ledivaihtoehtoihin huomataan, että yksi ledeillä toteutettu vaihtoehto on jo edullisempi. Philipsin edullisimmassa ledivaihtoehdossa on lisäksi otettu huomioon sen valonlähteen 30 000 tunnin elinikä, joka nostaa kyseisen mallin käyttökustannuksia. Mikäli käyttöikä olisi 50 000, olisi kyseinen malli perinteisiin malleihin verrattuna jo 10 % prosenttia edullisempi. Elinkaarikustannusten perusteella kolme ledivaihtoehtoa ovat elinkaarikustannusten kannalta niin lähellä perinteisiä ratkaisuja, että laskennoissa käytettävät muuttujat voivat todellisten arvojen perusteella muuttaa ledivaihtoehdot edullisimmiksi ratkaisuiksi.



Taulukossa 13 esitetään eri moduulivalaisinvaihtoehtojen elinkaarikustannuksien muodostumista 20 vuoden tarkastelujaksolla. Kaikki ledivaihtoehdot ovat investointikustannuksiltaan 92–378 % kalliimpia, mutta käyttökustannukset ovat 7–48 % edullisempia kuin perinteinen ratkaisu. Kokonaiselinkaarikustannuksissa ledivaihtoehdot ovat perinteisiin vaihtoehtoihin nähden 6–71 % kalliimpia.

Taulukko 13. Vertailtavien moduulivalaisinvaihtoehtojen kustannusrakenne

Valmistaja	Philips T5	Glamox T5	Glamox LED	Glamox LED	Fagerhult LED	Airam LED
Valaisintyyppi	tBs260 t5	C20-R600	Modul Square	Modul Micro	Multilume Flat	Plaitea square
Investointikustannukset yhteensä / €	1 496	2 050	5 396	5 900	6 188	4 284
Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden		37 %	261 %	294 %	314 %	186 %
Käyttökustannusten nykyarvo / €	4 016	3 926	2 116	2 116	2 161	2 704
Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden		-2 %	-47 %	-47 %	-46 %	-33 %
<b>Kokonaiskustannukset yhteensä nykyarvossa / €</b>	<b>5 512</b>	<b>5 976</b>	<b>7 511</b>	<b>8 015</b>	<b>8 348</b>	<b>6 988</b>
Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden		8 %	36 %	45 %	51 %	27 %
Valmistaja	Thom LED	Philips LED	Philips LED	Thom LED	Philips LED	
Valaisintyyppi	Specline LED	Coreline	Smartform	Quatro LED	CoreView panel	
Investointikustannukset yhteensä / €	3 956	2 876	7 151	4 667	3 920	
Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden	164 %	92 %	378 %	212 %	162 %	
Käyttökustannusten nykyarvo / €	2 296	2 975	2 296	2 070	3 754	
Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden	-43 %	-26 %	-43 %	-48 %	-7 %	
<b>Kokonaiskustannukset yhteensä nykyarvossa / €</b>	<b>6 252</b>	<b>5 851</b>	<b>9 447</b>	<b>6 737</b>	<b>7 673</b>	
Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden	13 %	6 %	71 %	22 %	39 %	

Tuloksissa ei huomioitu vaaditun yli 500 lx:n ylittävää osuutta, koska esimerkkitalan kaltaisessa pienessä toimistossa ei valaisinmäärän vähentäminen ole mahdollista. Esimerkiksi käytävän valaistusta moduulivalaisimilla toteutettaessa olisi valaisinmäärä tarkemmin sovitettavissa tavoiteltuun valaistusvoimakkuuteen, tällöin valotehokkaamilla valaisimilla saadaan tarvittava valaistus toteutettua pienemmällä valaisinmäärällä. Esimerkkitalassa tarvittavan valaistusvoimakkuuden ylittävä osuus on mahdollista kompensoida vakiovalo-ohjauksella, jolloin esimerkkitalan tapauksessa pidettäisiin yllä vaadittu 500 lx:n valaistusvoimakkuus ja sen ylittävän osuuden laskemisen vaikutus näkyisi alhaisempana sähkön kulutuksena.

Tuloksista nähtiin, että markkinoilla ei nykyisin ole selkeästi elinkaarikustannuksiltaan edullisempia ledeillä toteutettuja moduulivalaisimia, mutta varteenotettavia vaihtoehtoja on jo useita. Ongelma led-moduulivalaisimien kohdalla on vielä niiden korkeampi alkuinvestointi, mutta käytönaikaiset kustannukset ovat huomattavasti alhaisempia, joten ledeillä toteutetut moduulivalaisimet ovat jo kilpailukykyisiä kokonaiselinkaarikustannuksiltaan ja lähivuosina kokonaisuudessaan varmasti edullisin ratkaisu.

### 6.3.3 Ledit downlight-valaisimien valonlähteenä

Downlight-valaisimissa on perinteisesti käytetty pienoisloistelamppuja, joiden nykyinen valotehokkuus on noin 60 lm/W luokkaa. Useimmiten valaisimessa on käytetty joko 18 W:n tai 26 W:n pienoisloistelamppua. Downlight-valaisimissa käytettävillä ledeillä päästään kuitenkin jo yli 80 lm/W:n valotehokkuuteen, joten tuotetietojen perusteella downlight-valaisimissa voisi hyvinkin olla tuotteen elinkaaren aikana syntyvien kustannuksien kannalta jo varteenotettavia ledeillä toteutettuja vaihtoehtoja.

Esimerkkitulana elinkaarikustannusten selvittämiseksi laskennoissa käytettiin tyypillistä 25 m pitkää ja 3 m leveää käytävää, jollaisia on usein julkisissa rakennuksissa. Tällaiselle käytävälle on ilmoitettu sisätyöpaikkojen standardissa SFS-EN 12464-1 suositeltavaksi keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi ( $E_m$ ) 100 lx ja valaistuksen yleistasaisuudeksi ( $U_o$ ) 0,4.

Mainitunlainen tila on usein valaistu 18 W:n pienoisloistelampullisella downlight-valaisimella, jolla myös valaistuksen laadulliset vaatimukset käytävällä täyttyvät. Vertailussa käytettiin perinteisenä valaisimena yhtä käytetyintä, Glamoxin D20-R175 18 W:n downlight-valaisinta. Vertailtaviksi ledivaihtoehtoiksi valittiin viisi markkinoilta nykyisin löytyvää led downlight-valaisinta.

Led downlight-valaisimista saatavat valovirrat ovat suurempia kuin perinteisestä pienoisloistelampullisesta downlight-valaisimesta, joten ledivaihtoehtojen kohdalla päästään valaistusominaisuuksissa samaan lopputulokseen 1–3 valaisinta pienemmällä määrällä. Kaikki vaihtoehdot tuottavat käytävälle vaaditut 100 lx ja valaistuksen yleistasaisuus pysyy yli vaaditun 0,4 arvon. Taulukossa 14 (ks. seur. s.) esitetään vertailtavien valaisimien tärkeimmät tekniset ja laskennalliset tiedot sekä valaistavaan käytävään tarvittava valaisimien määrä.

Taulukko 14. Vertailtavat downlight-valaisimet

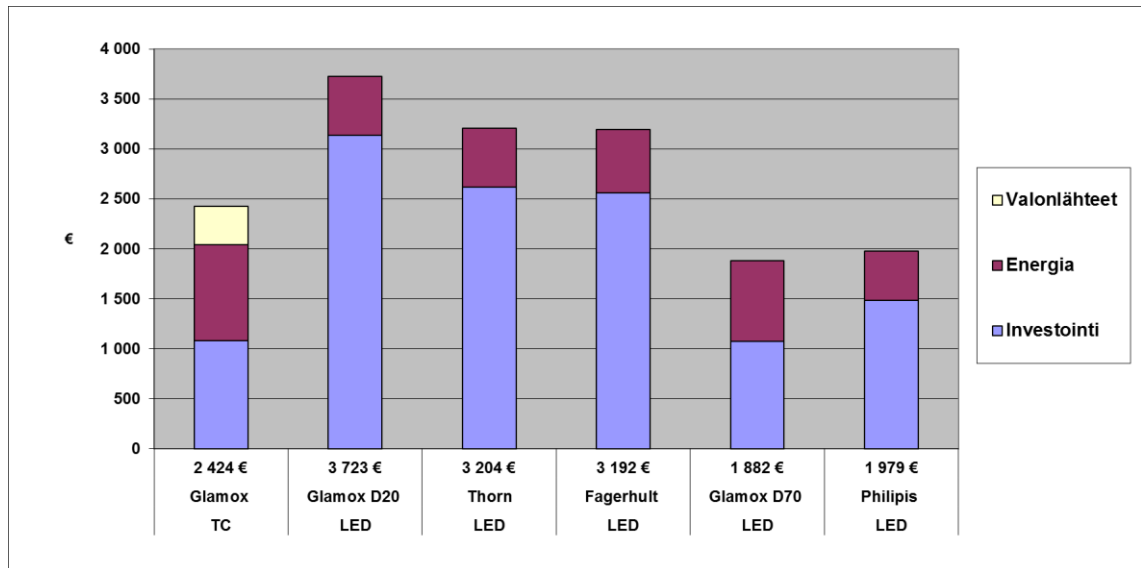
Valmistaja	Glamox	Glamox	Alppilux	Fagerhult	Glamox	Philips
Valaisintyyppi	D20-R175 18W	D20-R210 LED	Chalice 190H	Pleiad Comfort G3	D70-155	GreenSpace
Valonlähde	TC 18 W	LED	LED	LED	LED	LED
Sähkönnumero	41 401 64	42 408 55	42 914 99	42 315 48	42 490 74	42 597 19
Sähköteho / W	19,0	13,0	13,0	14,0	20,0	14,0
Valonlähteen valovirta / lm	1 200	1 100	1 100	900	1 087	1 100
Valaisimen hyötyvalovirta / lm	861	1 018	994	899	1 064	1 100
Järjestelmän valotehokkuus lm / W (mukaan lukien optiset häviöt)	45	78	76	64	53	79
Valonlähteen elinikä L70	16 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
Keskimääräinen valaistusvoimakkuus Em / lx	106	108	108	108	112	100
Valaistuksen tasaisuus E <sub>min</sub> / E <sub>m</sub>	0,53	0,58	0,59	0,54	0,47	0,44
Valonlähteen hinta / €	5,8	-	-	-	-	-
Tarvittava määrä / kpl	10	9	9	9	8	7
Valaisimen hinta / €	75	321	263	257	107	185

Taulukon ensimmäisenä on downlight-valaisin, jossa on käytetty perinteistä 18 W:n pienoisloistelamppua. Seuraavat viisi ovat eri valmistajien led downlight-valaisimilla toteutettuja käytävän valaistusratkaisuja. Ledivaihtoehdoille tyypilliseen tapaan valaisimen hinta on yhtä poikkeusta lukuun ottamatta huomattavasti kalliimpi kuin perinteinen pienoisloistelampullinen downlight-valaisin. Edullisimmasta ledivaihtoehdosta, Glamoxin D70-valaisimesta on huomioitava myös sen kuluttama sähköteho, joka on itse asiassa 1 W:n korkeampi kuin perinteisellä pienoisloistelampulla. Kyseisellä valaisimella saadaan vaadittu valaistus käytävälle toteutettua kuitenkin kaksi valaisinta vähemmällä määrällä, joten valaistusratkaisun verkosta ottama kokonaissähköteho jää perinteiseen ratkaisuun nähden pienemmäksi.

Kaikkien ledivaihtoehtojen eliniät on ilmoitettu L70-arvolla, jolloin ilmoitetun 50 000 tunnin jälkeen valovirta on laskenut 30 % alkuperäisestä ja ledimoduuli katsotaan loppuunkäytetyksi. Pienoisloistelamppuna laskelmissa on käytetty Osramin 18 W:n pienoisloistelamppua, jolle ilmoitetaan keskimääräiseksi eliniäksi (B50) 20 000 tuntia, mutta verrannollisena tuntimääränä L70-arvoon nähden voidaan pitää noin 16 000 tuntia.

#### 6.3.4 Käytävän downlight-valaisimien elinkaarikustannuslaskelmat

Käytävän valaistusratkaisusta 20 vuoden aikana koituvat elinkaarikustannukset nykyarvossa esitetään kuvassa 15 (ks. seur. s.). Vasemmalla kuvassa perinteinen vaihtoehto ja sen oikealla puolella 5 ledivaihtoehtoa. Laskennan tarkemmat tulokset ja laskennoissa käytetyt arvot esitetään liitteessä 8.



Kuva 15. Käytävän downlight-valaisimien elinkaarikustannukset 20 vuodessa

Elinkaarikustannuksia tarkasteltaessa huomattiin, että kaksi eri valmistajan ledeillä toteutettua downlight-valaisinta ovat nykyarvossa edullisempia perinteisiin valaisimiin nähden. Glamoxin D70-ledivalaisimen edullisen hankintahinnan ansiosta se on 22 % edullisempi kuin perinteinen ratkaisu kokonaiselinkaarikustannuksiltaan 20 vuoden aikana. Kyseisen eron perusteella ei voida puhua vielä yleisesti, että valaisimella päästäisiin aina edullisempiin elinkaarikustannuksiin, mutta investointikustannusten ollessa samaa luokkaa perinteiseen ratkaisuun nähden ei ledien tyypillisesti vaatima korkea alkuinvestointi ole peruste olla käyttämättä kyseistä ledvaihtoehtoa. Taulukossa 15 esitetään tarkemmin eri vaihtoehtojen kustannusrakennetta ja niiden välistä eroa perinteisiin ratkaisuihin nähden.

Taulukko 15. Vertailtavien downlight-valaisinvaihtoehtojen kustannusrakenne

Valmistaja	Glamox	Glamox	Alppilux	Fagerhult	Glamox	Philips
Valaisintyyppi	D20-R175	D20-R210	Chalice	Pleiad Comfort G3	D70-155	GreenSpace
Valonlähde	TC 18 W	LED	LED	LED	LED	LED
Investointikustannukset yhteensä / €	1 085	3 135	2 616	2 559	1 078	1 486
Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden		189 %	141 %	136 %	-1 %	37 %
Käyttökustannusten nykyarvo / €	1 340	588	588	633	804	492
Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden		-56 %	-56 %	-53 %	-40 %	-63 %
<b>Kokonaiskustannukset yhteensä nykyarvossa / €</b>	<b>2 424</b>	<b>3 723</b>	<b>3 204</b>	<b>3 192</b>	<b>1 882</b>	<b>1 979</b>
Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden		54 %	32 %	32 %	-22 %	-18 %

Philipsin GreenSpace led downlight-valaisimen elinkaarikustannukset ovat 18 % alhaisemmat perinteiseen vaihtoehtoon nähden, mikä on saavutettu pääasiassa alhaisem-

man energiankulutuksen ansiosta. Investointikustannukset ovat 37 % korkeammat perinteiseen vaihtoehtoon nähden, mikä saattaa vaikuttaa kyseisen mallin hankintapäätökseen.

Vertailun kolmen muun ledivaihtoehdon ongelma on niiden huomattavasti korkeammat investointikustannukset, mikä laskee niiden suosiota, kun hankinta tehdään investointikustannusten perusteella. On kuitenkin huomattava, että käyttökustannuksissa saavutetaan 40–63 %:n säästöjä. Lisäksi on muistettava, että vertailua tehtiin vain kustannusnäkökulmasta, joten eri tuotteissa mahdollisesti painotettuja erikoisominaisuuksia ja esteettisiä näkökulmia ei vertailussa ole otettu huomioon.

Tuloksista nähtiin, että markkinoilta löytyy nykyisin downlight-valaisimissa investointikustannuksiltaan sekä kokonaiskustannuksiltaan ledivaihtoehtoja, jotka ovat perinteisillä valonlähteillä toteutettuja valaisimia edullisempia ratkaisuja. Perinteisillä ratkaisuilla valaisimen koko järjestelmän valotehokkuus jää alle 50 lm/W, kun taas ledeillä päästään nykyisin 70–80 lm/W arvoon. Tämä aiheuttaa sen, että kustannusnäkökulmasta katsoen ledit tulevat olemaan downlight-valaisimissa ensimmäisenä kilpailukykyisempiä vaihtoehtoja muihin valaisinkategorioihin verrattuna.

#### 6.4 Ulkoalueiden valaistus ledeillä

Ulkoalueiden kuten puistojen ja pysäköintialueiden valaistus on usein toteutettu pylväsvalaisimilla. Valonlähteenä pylväsvalaisimissa on käytetty aikaisemmin elohopealamppuja, mutta nykyisin käytetään suurpainenatrium- ja monimetallilamppuja. Suurpainenatriumlamppujen tuottama kellertävä valo sekä huono värintoisto saatetaan kokea epämiellyttäväksi, jolloin siitä eron haluttaessa on siirryttävä käyttämään paremman värintoiston ja kylmemmän värilämpötilan valoa tuottavia monimetallilamppuja tai ledejä. Nykyisin kuitenkin asennetaan vielä laajalti myös suurpainenatriumlampullisia ulkovalaisimia niiden edullisuutensa ja hyvän valotehokkuutensa ansiosta. Markkinoilta löytyy useita ulkoalueiden valaistukseen tarkoitettuja ledivalaisimia, joiden investointikustannukset ovat vielä korkeampia, mutta muiden valaistusominaisuuksien ansiosta kiinnostavia. Seuraavaksi työssä tutkittiin onko jo olemassa ledivaihtoehtoja korvaamaan pylväsvalaisimissa käytetyt suurpainenatriumlamput.

#### 6.4.1 Ledit pylväsvalaisimien valonlähteenä

Valaisinpylväisiin asennettavissa pylväsvalaisimissa käytetään usein 50–100 W:n suurpainenatriumlamppuja, joiden valotehokkuus on nykyisin 80–100 lm/W riippuen käytettävästä teholuokasta. Pylväsvalaisimissa käytettävien ledimoduulien valotehokkuudet vaihtelevat 40–90 lm/W, joten niiden valotehokkuudet ovat perinteisen ratkaisujen kanssa samaa luokkaa.

Pylväsvalaisimien elinkaarikustannusten selvittämiseksi laskennoissa käytettiin esimerkkitalana pysäköintialuetta, joita on usein esimerkiksi julkisten rakennusten piholla. Esimerkkitalana käytetyn pysäköintialueen mitat olivat: pituus 50 m, leveys 10 m ja valaisimien asennuskorkeus 4 m. Tällaiselle pysäköintialueelle, jossa on paljon liikennettä kuten esimerkiksi koulujen pihalla, ulkotyöpaikkojen standardissa SFS-EN 12464-2 annetaan suositelluksi keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi ( $E_m$ ) 20 lx, valaistuksen yleistasaisuudeksi ( $U_o$ ) 0,25 ja värintoistoindeksiksi ( $R_a$ ) 20.

Vertailtaviksi valaisinvaihtoehtoiksi valittiin yksi perinteisellä suurpainenatriumlampulla toimiva pylväsvalaisin ja viisi markkinoilta löytyvää ledivaihtoehtoa. Pysäköintialueelle vaaditun valaistustason aikaansaamiseksi tarvittiin vaihtoehdosta riippuen 6–10 valaisinta. Valaistusvaihtoehtojen tärkeimmät tekniset ja laskennalliset tiedot sekä esimerkkitalana käytetylle pysäköintialueelle ratkaisusta syntyvät valaistusteknilliset arvot esitetään taulukossa 16.

Taulukko 16. Vertailtavat pylväsvalaisimet

Valmistaja	Alp lux	Philips	Thorn	Thorn	Glamox	Fagerhult
Valaisintyyppi	Camillo	StreetSaver	Avenue F	Plurio	O46	Stela Round
Valonlähde	NAV 70 W	LED	LED	LED	LED	LED
Sähkönnumero / tuotenumero	45 601 28	45 041 94	45 606 34	45 604 99	S733212	552639
Sähkäteho / W	79	55	42	42	63	44
Valonlähteen valovirta / lm	6 300	2 382	2 840	2 470	3 227	4 400
Valaisimen hyötyvalovirta / lm	4 136	2 381	2 840	2 472	3 227	4 005
Järjestelmän valotehokkuus lm / W (mukaan lukien optiset häviöt)	52	43	68	59	51	91
Valonlähteen elinikä L70	20 000	50 000	70 000	70 000	50 000	100 000
Keskimääräinen valaistusvoimakkuus $E_m$ / lx	26	25	21	20	23	23
Valaistuksen tasaisuus $E_{min} / E_m$	0,34	0,17	0,52	0,39	0,29	0,32
Valonlähteen hinta / €	15,0	-	-	-	-	-
Tarvittava valaisin määrä / kpl	7	8	9	8	7	6
Valaisimen hinta / €	263	541	1248	984	950	1432

Taulukon ensimmäisenä on perinteisellä suurpainenatriumlampulla toimiva pylväsvalaisin ja viisi seuraavaa vaihtoehtoa ovat eri valmistajien ledeillä toteutettuja

pylväsvalaisimia. Kaikki vaihtoehdot tuottavat pysäköintialueen keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi vaaditut 20 lx. Standardissa vaadittu valaistuksen yleistasaisuus ( $U_0$ ) 0,25 täyttyy kaikilla muilla vaihtoehdoilla paitsi Philipsin StreetSaver-ledivalaisimella. Thornin Avenue F tuottaa huomattavan tasaisen valaistuksen, mutta valaisimen hankintahinta on muita vaihtoehtoja huomattavasti kalliimpi. Standardissa ilmoitettu alhainen valaistuksen värintoistoindeksi ( $R_a$ ) vaatimus 20 antaa mahdollisuuden käyttää pysäköintialueella suurpainenatriumlamppuja, joiden perusversioiden värintoistoindeksi ( $R_a$ ) on 25. Kaikilla ledivaihtoehdoilla värintoistoindeksi ( $R_a$ ) on yli 70, joten niiden tuottama valaistus toistaa värit huomattavasti paremmin.

Ledivaihtoehtojen eliniät on ilmoitettu L70-arvolla, jolloin Glamoxin ja Philipsin ledivalaisimien valovirta on 50 000 ja Thornin valaisimilla se on 70 000 tunnin jälkeen laskeutunut 30 % alkuperäisestä. Fagerhultin Stela Round-ledivalaisimille on ilmoitettu vertailun pisin 100 000 tunnin elinikä. Perinteisen vaihtoehdon valaisimessa lamppuna käytettiin Osramin 70 W:n suurpainenatriumlamppua, jolle keskimääräiseksi eliniäksi (B50) ilmoitetaan 28 000 tuntia, mutta verrannollisena arvona L70-arvoon nähden käytettäkään laskelmissa 20 000 tuntia.

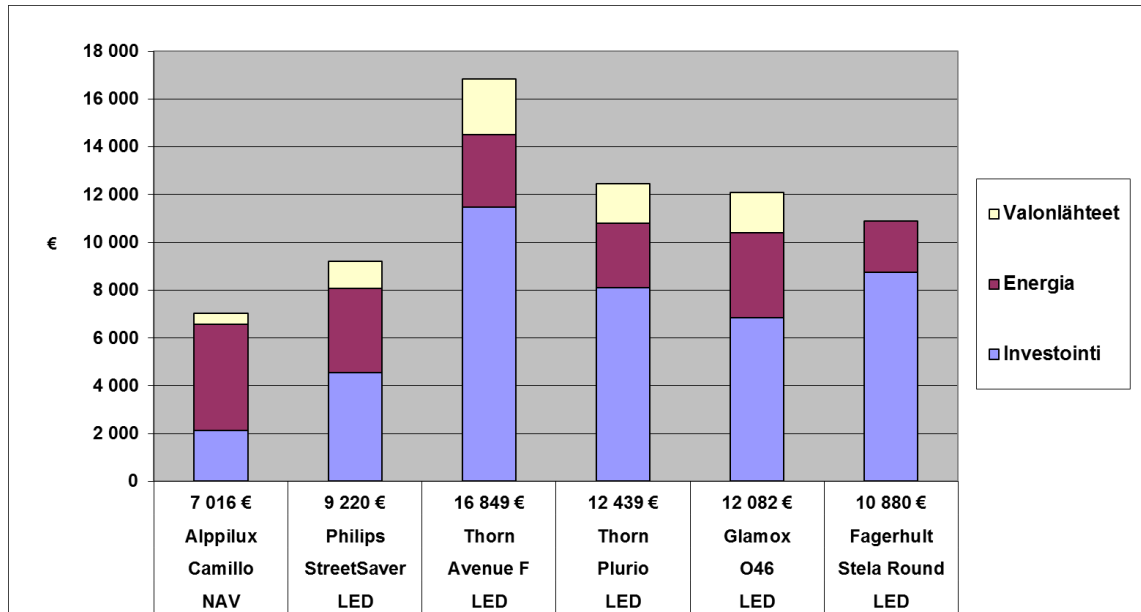
Ulkovalaistuksessa käyttöaika hämäräkytkimen ohjaamana on 4 000–4 500 tuntia vuodessa, jolloin suurpainenatriumlampulla lampun vaihtoväliksi tulee 5 vuotta. Glamoxin ja Philipsin ledivaihtoehtoilla 50 000 tunnin käyttöaika tulee täyteen 12 vuoden jälkeen ja Thornin 70 000 tuntia 18 vuoden jälkeen, joten näillä ledivaihtoehtoilla ledimoduuli tai koko valaisin on uusittava 20 vuoden tarkastelujakson aikana. Asia oli huomioitava jotenkin laskelmissa, joten laskennallisena arvona oletettiin, että ledimoduuli tai koko uuden valaisimen hankintahinta on uusittaessa 60 % alhaisempi kuin investointihetkellä.

Vertailussa käytetyt hinnat ovat saman tukkuliikkeen antamia suositushintoja, joten hintoja voidaan pitää tasa-arvoisina kaikilla vaihtoehdoilla. Laskelmissa käytetyt hinnat ovat arvolisäverottomia hintoja, joista on vähennetty 20 %, jotta hinnat ovat lähempänä toteutuvia hintoja, kun valaistus toteutetaan oikeasti.

#### 6.4.2 Pylväsvalaisimien elinkaarikustannuslaskelmat

Pysäköintialueen valaistusratkaisusta 20 vuoden aikana syntyvät elinkaarikustannukset nykyarvossa esitetään kuvassa 16 (ks. seur. s.). Vasemmalla kuvassa on perinteinen

ratkaisu ja niiden oikealla puolella viisi ledivaihtoehtoa. Elinkaarilaskelmien tarkemmat tulokset ja laskennoissa käytetyt arvot esitetään liitteessä 10.



Kuva 16. Pysäköintialueen valaistuksen elinkaarikustannukset 20 vuoden aikana

Pysäköintialueen elinkaarilaskelmista nähtiin, että perinteinen ratkaisu on edullisin ratkaisu myös investointikustannuksiltaan. Edullisimman ledivaihtoehdon elinkaarikustannukset ovat 31 % korkeammat perinteiseen ratkaisuun nähden. Kaikkien ledivaihtoehtojen korkeammat investointikustannukset nostavat niiden kokonaiskustannuksia niin paljon, etteivät ne ole kokonaiselinkaarikustannuksiltaan kilpailukykyisiä perinteiseen vaihtoehtoon nähden.

Taulukossa 17 (ks. seur. s.) esitetään tarkemmin pylväsvalaisinvaihtoehtojen ratkaisusta syntyvää kustannusrakennetta 20 vuoden tarkastelujaksolla. Ledivaihtoehdot ovat investointikustannuksiltaan 113–437 % kalliimpia perinteiseen ratkaisuun nähden. Ledimoduulien uusintatarpeen takia käyttökustannuksissa kaksi ledivaihtoehtoa ovat kalliimpia myös käyttökustannuksissa. Philipsin käyttökustannukset ovat 4 % alhaisemmat ja Thornin edullisemmän vaihtoehdon 11 % alhaisemmat perinteiseen ratkaisuun nähden. Fagerhultin ledivalaisimen 100 000 tunnin eliniän ansiosta sen käyttökustannuksissa ei tarvitse huomioida ledimoduulin vaihtotarvetta, joten sen käyttökustannukset ovat 56 % alhaisemmat perinteiseen vaihtoehtoon nähden. Kokonaiskustannuksiltaan kaikki ledivaihtoehdot ovat 31–140 % kalliimpia perinteiseen ratkaisuun nähden.



Taulukko 17. Vertailtavien pylväsvalaisinvaihtoehtojen kustannusrakenne

Valmistaja	Alppilux	Philips	Thorn	Thorn	Glamox	Fagerhult
Valaisintyyppi	Camillo	StreetSaver	Avenue F	Plurio	O46	Stela Round
Valonlähde	NAV 70 W	LED	LED	LED	LED	LED
Investointikustannukset yhteensä / €	2 139	4 548	11 480	8 092	6 843	8 757
Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden		113 %	437 %	278 %	220 %	309 %
Käyttökustannusten nykyarvo / €	4 878	4 672	5 369	4 347	5 239	2 123
Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden		-4 %	10 %	-11 %	7 %	-56 %
<b>Kokonaiskustannukset yhteensä nykyarvossa / €</b>	<b>7 016</b>	<b>9 220</b>	<b>16 849</b>	<b>12 439</b>	<b>12 082</b>	<b>10 880</b>
Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden		31 %	140 %	77 %	72 %	55 %

Laskelmissa oletettiin, että valaistusta ohjataan ainoastaan hämähäkytkimellä, jolloin vuosittainen käyttöaika nousee korkeaksi. Mikäli hämähäkytkinohjauksen lisäksi mukaan otetaan aikaohjaus, laskee vuosittainen käyttöaika riippuen tarvittavasta valaistuksen päälläoloajasta. Tällöin ledimoduuleja ei todennäköisesti tarvitse uusia tarkastelujaksolla, mutta siinäkin tapauksessa ledivaihtoehdot ovat vielä kalliimpia kokonaislinkaarikustannuksiltaan tarkastelujaksolla.

Laskelmissa ei huomioida, että ledivaihtoehdoilla saavutetaan parempilaatuinen valaistus muun muassa paremman värinvalon ja kylmemmän värilämpötilan ansiosta. Todellisessa tilanteessa energiakustannuksia voidaan vähentää, koska ledeillä ja suurpainenaatriumlampulla on mahdollista laskea valaistustasoa esimerkiksi keskiyön tunteilla, kun maksimivalaistusta ei tarvita. Valaistustason lasku on mahdollista tehonalennusreleellä, joka laskee valaistustasoa 50 %. Työssä tutkittuihin valaisimiin tämä toiminto kuului vakiona tai se oli saatavissa vähäisellä lisäinvestoinnilla.

Pylväsvalaisimissa ledivaihtoehtojen korkeat investointikustannukset ja ledimoduulien ulkovaalaistuskäytössä riittämätön elinikä nostavat niiden kokonaiskustannukset niin korkeaksi, ettei niiden käyttö ole kannattavaa kustannusnäkökulmasta katsoen. Ulkovaalaistuskäytössä ledivalaisimilta on vaadittava 100 000 tunnin käyttöaika, jotta ulkovaalaistuksen pitkät käyttöajat tulevat otetuksi huomioon.

## 7 Yhteenveto

Valaistusta suunniteltaessa käytettävien valaisimien valinta tapahtuu yleensä arkkitehdin, sähkösuunnittelijan tai tilaajan näkökulman perusteella. Eri henkilöiden näkemys käytettävästä valaisimesta riippuu siitä, mitä asioita valinnassa painotetaan. Arkkitehti antaa painoarvoa valaisimen esteettiselle näkökulmalle, sähkösuunnittelija keskittyy

teknisiin asioihin ja valaistuksen tilaaja usein kustannuksiin. Parhaimpaan tulokseen päästään, kun valinta tehdään kaikkien osapuolien yhteisnäkemyksellä, jolloin kaikki seikat tulevat otetuksi huomioon. Aina näin ei tietenkään ole. Tässä insinööriyössä tutkittiin valaistusta teknisestä ja kustannusnäkökulmasta.

Standardeissa ilmoitetut valaistustekniset vaatimukset ovat minimiarvoja, joita voidaan käyttää hyvänä lähtökohtana valaistussuunnittelulle. Yleisesti on kuitenkin havaittu, että hyvällä valaistuksella on vaikutuksia tuottavuuteen ja viihtyvyyteen. Näiden vaikutusten huomioonottaminen kustannusvertailussa on kuitenkin vaikeaa, mutta asiat on hyvä tuntea, jolloin niitä pystytään hyödyntämään tilanteen ja tarpeen mukaan.

Jos tavoitteena on suunnitella mahdollisimman energia- ja kustannustehokas valaistus, suunnittelussa on järkevintä lähteä liikkeelle valaistuksen ohjauksen järkevästä toteutuksesta, koska energiatehokkain valaistus on sammutettu valaistus. Vakiovalo- ja liikkeen tunnistusohjauksella sekä ledien nopeilla ja erinomaisilla säätöominaisuuksilla voidaan toteuttaa huomattavan alhaisella energiankulutuksella laadukas valaistus. Työn laskelmissa käytetyissä ledivaihtoehdoissa ja suuressa osassa perinteisiä vaihtoehtoja oli valmiina valaistustason säädön mahdollistava liitäntälaitte tai se oli pienellä lisäinvestoinnilla hankittavissa.

Elinkaarikustannuslaskennassa arvioidaan paljon muuttujia, joiden johdosta laskennassa on useita tulevaisuudessa tapahtuvia arvioon perustuvia asioita. Tällöin saattaa herätä kysymys laskelmien paikkansapitävyydestä, mutta on kuitenkin muistettava, että laskelmien avulla suunnittelu on aina määrätietoisempää.

Työn käytäntöön liittyvässä osiossa tutkittiin ledien kannattavuutta valaistuksen eri tuotekategorioissa elinkaarikustannusnäkökulmasta. Tavoitteena oli saada luotettava kokonaiskuva markkinoilta löytyvistä eri valaisintuoteryhmiin kuuluvien ledituotteiden kannattavuudesta. Laskelmien tuloksista on muistettava, että ne ovat esimerkkituloille saatuja tuloksia, joten jo pelkän asennusgeometrian muuttuessa tässä työssä käytetyistä vaihtoehdoista saattaa jonkin toisen vaihtoehdon ominaisuudet sopia paremmin kyseiseen tilaan.

Tuloksista nähtiin, että valaisimissa, joiden valonlähteenä on käytetty ledejä, päästään monessa tuoteryhmässä ledivalaisimilla pienempiin elinkaarikustannuksiin. Investointikustannuksissa ledeillä toteutetut valaisimet jäävät vielä useimmissa tuoteryhmissä

selkeästi kalliimmiksi, mutta esimerkiksi downlight-valaisimista löytyi jo edullisempia ledivaihtoehtoja myös investointikustannuksiltaan.

Ledivalaisimien kannattavuuteen eri valaisinkategorioissa vaikuttaa eniten se, minkälainen valotehokkuus perinteisellä ratkaisulla on. Esimerkiksi downlight-valaisimissa käytettävien pienoisloistelamppujen valotehokkuudet eivät ole erikoisen hyviä, kun niitä verrataan downlight-valaisimissa käytettäviin ledimoduuleihin. Tästä syystä downlight-valaisimissa on elinkaarikustannuksiltaan edullisempia ledeillä toteutettuja vaihtoehtoja. Moduulivalaisimissa käytettävien T5-loisteputkien valotehokkuudet ovat niissä käytettävien ledimoduulien kanssa likimain samaa luokkaa, joten selkeästi kalliimpien investointikustannusten takia niissä käytettävien ledien valotehokkuuksien on vielä kehityttävä tai investointikustannusten laskettava, jotta niiden käyttö on kannattavaa.

Ledien kehityksessä ei vielä olla siinä vaiheessa, että ledit sopisivat kaikkiin valaistustilanteisiin, mutta oikeassa paikassa ledien ominaisuuksilla voidaan aikaansaada erinomaisia valaistusratkaisuja sekä kustannussäästöjä. Erilaisten vertailujen lopputuloksena löydetään yleensä jokin valaistusratkaisu, joka palvelee vertailussa painotettuja asioita. On kuitenkin muistettava, että oli valaistus toteutettu kustannusnäkökulmasta, yrityksen kasvojen kohotusnäkökulmasta tai muusta vastaavasta syystä, hyvä valaistus on saavutettu vasta, kun sen käyttäjät ovat siihen tyytyväisiä.

## Lähteet

- 1 Halonen, Liisa, Lehtovaara, Jorma. 1992. Valaistustekniikka. Otatieto.
- 2 Sähkömagneettisen säteilyn spektrin havainnekuva. Verkkodokumentti. <<http://fi.wikipedia.org/sähkömagneettinensäteily>>.
- 3 Kallasjoki, Tapio. 2012. Valaistustekniikan perusteet. Opetusmateriaali. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 4 Venture lighting. Scotopic vision. Verkkodokumentti. <<http://www.venturelighting.com/naturalwhite>> Luettu 1.3.2012
- 5 Halonen, Liisa, Puolakka, Marjukka. 2010. CIE and mesopic photometry. Verkkodokumentti. Luettu 1.3.2013.
- 6 Silmän leikkauskuva. Benjamin Cummings. Pearson education. Verkkodokumentti. <<http://www.upt.pitt.edu/ntress/Photos.htm>>.
- 7 Ahponen, Veikko, Kasurinen, Esko, Timonen, Tapani. 1996. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry ja Suomen Valoteknillinen Seura ry. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.
- 8 ERP-direktiivi. Suomen valoteknillinen seura. 2013. Verkkodokumentti. Luettavissa <<http://www.valosto.com>> Luettu 1.3.2013.
- 9 IEA Annex 45 Guidebook. 2010. Verkkodokumentti. Luettavissa <<http://lightinglab.fi/IEAAnnex45/index.html>>. Luettu 1.3.2013.
- 10 COM, 2007. An Energy Policy for Europe: Communication from the commission to the European council and the European parliament. Commission of the European communities, Brussels, 2007.
- 11 BELKIN, P., 2007. The European Union's Energy Security Challenges. CRS Report for Congress, NCSE, Washington.
- 12 SEA (Swedish Energy Agency), 2007. Energy statistics for offices.
- 13 Asetus 244/2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2005/32/EY täytäntöönpanemisesta ympärisäteilevien kotitalouslamppujen ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta.
- 14 Asetus 245/2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2005/32/EY täytäntöönpanemisesta loistelamppujen, joissa ei ole sisäistä virranrajoitinta, suur-

painepurkauslamppujen sekä virranrajoittimien ja valaisimien, joissa voidaan käyttää tällaisia lamppuja, ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta.

- 15 Asetus 1194/2012. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanemisesta suunnattujen lamppujen, loistediodilamppujen ja niihin liittyvien laitteiden ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta.
- 16 Asetus 874/2012. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2010/30/EU täydentämisestä sähkölamppujen ja valaisimien energiamerkinnän osalta.
- 17 Työ- ja elinkeinoministeriö. Sähkönkäyttö 2011. 2013. Verkkodokumentti. Luettavissa <[www.tem.fi](http://www.tem.fi)> Luettu 1.3.2013.
- 18 Lamput ja valaisimet. 1998. Valaistustekniikka-sarja osa 2. Espoo. Sähköinfo Oy, 1998.
- 19 Paakkinen, Martti. 2012. Ledien käyttö valaistuksessa. SLO:n asiakaslehti. Verkkodokumentti. Luettavissa <<http://www.slo.fi/moss/fi/Julkaisut/esselloo/3/2011/lr/v.pdf>>. Luettu 1.4.2013.
- 20 Saari, Arto. 2004. Elinkaarikustannusten laskenta. Verkkodokumentti. Luettavissa <[virtual.vtt.fi/virtual/proj6/environ2/rem/elinkaarikustannukset.doc](http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/environ2/rem/elinkaarikustannukset.doc)>.
- 21 SFS-EN 15193 Rakennusten energiatehokkuus. Suomen standarditoimistoliitto.
- 22 Juslén, Henri. Valaistus ja tuottavuus SVS 29.1.2013. Helvar Oy. Koulutusmateriaali.
- 23 Rautkylä, Emilia. Dynaaminen valaistus SVS 29.1.2013. Philips Oy. Koulutusmateriaali.
- 24 SFS-EN 12464-1 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1. Sisätilojen työkohteiden valaistus. Suomen standardoimisliitto.

## Led-valoputkien ja T8-loistelamppujen mittauspöytäkirjat

Mittauspöytäkirja

Loisteputki: Osram Dulux T8 36W/830

Keskimääräinen valaistusvoimakkuus

Mittauspisteet mustassa huoneessa E / lx

	52	85	110	107	81	46
	89	152	200	195	140	77
	93	165	229	224	155	83
	94	168	235	231	162	88
	84	153	213	205	142	78
30	38	66	84	81	61	38
	30	90	150	210	270	330

Teho/Energia

P	43,2	W
U	226	V
I	0,207	A
PF	0,92	

Valonjakomittaukset

E / lx		
1	237	0
2	236	0,2
3	234	0,4
4	225	0,6
5	217	0,8
6	195	1
7	170	1,2
8	139	1,4
9	93	1,6
10	70	1,8
11	65	0,8
12	57	1
13	51	1,2
14	39	1,4
15	18	1,6
16	5,5	1,8
17	3,5	2
18	1,7	2,2
19	1	2,4
20	1	2,6

Lattia

Seinä

Mittauspöytäkirja  
Loisteputki: Osram Dulux T8 58W/830

Keskimääräinen valaistusvoimakkuus  
Mittauspisteet mustassa huoneessa E / lx

	79	137	172	170	127	75
	139	247	315	308	222	127
	145	254	343	333	242	130
	139	252	335	328	233	128
	136	237	322	303	216	126
30	79	135	171	170	127	76
	30	90	150	210	270	330

Teho/Energia

Valonjakomittaukset

P	70,1	W
U	227	V
I	0,329	A
PF	0,94	

E / lx		
1	345	0
2	351	0,2
3	348	0,4
4	352	0,6
5	344	0,8
6	307	1
7	268	1,2
8	210	1,4
9	155	1,6
10	122	1,8
11	107	0,8
12	92	1
13	76	1,2
14	54	1,4
15	28	1,6
16	8,5	1,8
17	4,5	2
18	2	2,2
19	1,5	2,4
20	1,5	2,6

Lattia

Seinä

Mittauspöytäkirja  
Lediputki: Valtavalo Elite G3 20 W

Keskimääräinen valaistusvoimakkuus  
Mittauspisteet mustassa huoneessa E / lx

	57	94	125	124	90	50
	58	92	116	114	89	53
	63	110	152	150	108	60
	67	108	150	147	102	55
	62	100	129	129	98	56
30	50	86	112	118	85	46
	30	90	150	210	270	330

Teho/Energia

Valonjakomittaukset

P	19,5	W
U	227	V
I	0,324	A
PF	0,27	

	E / lx		
1	120	0	Lattia
2	121	0,2	
3	119	0,4	
4	115	0,6	
5	106	0,8	
6	97	1	
7	90	1,2	
8	89	1,4	
9	95	1,6	
10	-111	1,8	
11	83	0,8	Seinä
12	84	1	
13	63	1,2	
14	67	1,4	
15	71	1,6	
16	68	1,8	
17	43	2	
18	4	2,2	
19	2,5	2,4	
20	1,5	2,6	



**Mittauspöytäkirja**  
**Lediputki: Valtavalo Elite G3 24 W**

**Keskimääräinen valaistusvoimakkuus**  
**Mittauspisteet mustassa huoneessa E / lx**

	64	105	129	129	97	58
	69	113	141	135	102	61
	77	131	174	167	120	65
	74	130	173	165	119	63
	67	110	146	142	107	61
30	59	98	125	122	91	50
	30	90	150	210	270	330

**Teho/Energia**

P	26,2	W
U <sub>rms</sub>	227	V
I <sub>rms</sub>	0,584	A
PF	0,2	

**Valonjakomittaukset**

	E / lx		
1	182	0	Lattia
2	181	0,2	
3	175	0,4	
4	164	0,6	
5	150	0,8	
6	137	1	
7	129	1,2	
8	135	1,4	
9	117	1,6	
10	96	1,8	
11	97	0,8	Seinä
12	88	1	
13	85	1,2	
14	74	1,4	
15	73	1,6	
16	54	1,8	
17	6,5	2	
18	3,5	2,2	
19	1,5	2,4	
20	1	2,6	

## Led-valoputkien ja T8-loistelamppujen elinkaarikustannuslaskelmat

<b>Edellytykset</b>					
Laskenta-aika	vuodet	20			
Vuotuinen todellinen korko (sadasosia)		0,04			
Vuotuinen energian hinnannousu inflaation lisäksi (sadasosia)		0,03			
Vuotuinen valonlähteiden hinnannousu inflaation lisäksi (sadasosia)		0,00			
Vuotuinen huoltokustannusten hinnannousu inflaation lisäksi (%)		0,00			
<b>INVESTOINTIKUSTANNUKSET</b>					
<b>Valaisimet</b>					
Valaisintyyppi		Loisteputki 58 W	Led-valoputki 24 W	Loisteputki 36 W	Led-valoputki 20 W
Valmistaja		Osram	Valtavallo	Osram	Valtavallo
Tarkempi määrittely (esim. lamputyyppi, teho, ...)		58 W 5200 lm	G3 24 W 2600 lm	36 W 3350 lm	G3 20 W 2200 lm
Lukumäärä	kpl	1	1	1	1
Yksikköhinta	eur/kpl	0	0	0	0
Valaisinkustannus	eur	0	0	0	0
<b>Lamput</b>					
Teho/lamppu mukaan lukien liitäntälaitteen häviöt	W	71	26	46	20
Lukumäärä/valaisin	kpl	1	1	1	1
Yksikköhinta	eur/kpl	8	55	7	51
Lamppukustannus	eur	8	55	7	51
<b>Asennus</b>					
Materiaali- ja työskustannukset/valaisin	eur	10	10	10	10
Valaistuksen ohjaus	eur	0	0	0	0
Muut kustannukset	eur	0	0	0	0
Asennuskustannukset	eur	10	10	10	10
<b>INVESTOINTIKUSTANNUKSET YHTEENSÄ</b>	<b>eur</b>	<b>18</b>	<b>65</b>	<b>17</b>	<b>61</b>
<b>Ero prosentteina perinteiseen loisteputkeen nähden</b>			<b>273 %</b>		<b>247 %</b>
<b>KÄYTTÖKUSTANNUKSET</b>					
<b>Energiakustannukset</b>					
Asennettu teho mukaan lukien liitäntälaittehäviöt	W	71	26	46	20
Käyttöaika	h/y	2 500	2 500	2 500	2 500
Käyttökerroin		1,0	1,0	1,0	1,0
Energiankulutus / vuosi	MWh/år	0,18	0,07	0,12	0,05
Sähköenergian hinta	eur/kWh	0,12	0,12	0,12	0,12
Energiakustannus / vuosi	eur/y	21	8	14	6
Laskentakerroin 1		18,27	18,27	18,27	18,27
<b>Energiakustannusten nykyarvo</b>	<b>eur</b>	<b>389</b>	<b>143</b>	<b>252</b>	<b>110</b>
<b>Valonlähdekustannukset - mukaan lukien vaihto</b>					
Valonlähteen elinikä	h	12 000	50 000	12 000	50 000
Vaihtoväli	vuosia	5	20	5	20
Vaihtokustannus / kpl	eur	10	10	10	10
Laskentakerroin 2		2,55	0,00	2,55	0,00
<b>Valonlähdekustannusten nykyarvo</b>	<b>eur</b>	<b>45</b>	<b>0</b>	<b>42</b>	<b>0</b>
<b>Huoltokustannukset</b>					
Huoltokustannus valaisinta kohden	eur/kpl	10	10	10	10
Käyttöaika ennen huoltoa	h	10 000	10 000	10 000	10 000
Huoltoväli	vuosia	4	4	4	4
Laskentakerroin 3		2,74	2,74	2,74	2,74
<b>Huoltokustannusten nykyarvo</b>	<b>eur</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
<b>KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ</b>		<b>461</b>	<b>170</b>	<b>322</b>	<b>137</b>
<b>Ero prosentteina perinteiseen loisteputkeen nähden</b>			<b>-63 %</b>		<b>-70 %</b>
<b>KOKONAISKUSTANNUS (NYKYARVO)</b>					
	<b>eur</b>	<b>479</b>	<b>235</b>	<b>338</b>	<b>198</b>
<b>Ero prosentteina perinteiseen loisteputkeen nähden</b>			<b>-51 %</b>		<b>-42 %</b>

## Syvästeilijöiden Dialux-laskelmien yhteenvedot

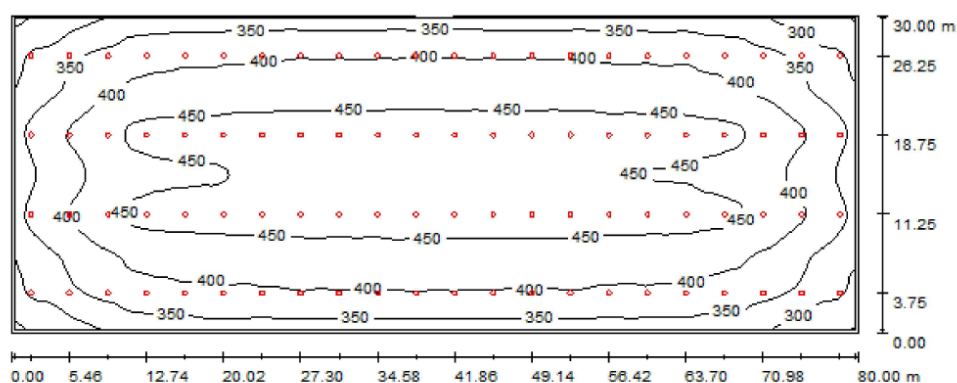
Projekti 1

DIALux

19.04.2013

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

## Philips PerformaLUX / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 9.000 m, Asennuskorkeus: 9.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:572

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	404	244	473	0.604
Lattia	20	392	243	469	0.620
Katto	70	185	102	942	0.551
Seinät (4)	50	253	177	578	/

**Käyttötaso:**  
 Korkeus: 0.850 m  
 Rasteri: 128 x 64 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.250 m

**UGR** Pitkittäin- Poikittain Valaisimen keskiviivaan  
 Vasen seinä 21 21  
 Alempi seinä 20 20  
 (CIE, SHR = 0.25.)

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 41.92%.

## Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	88	PHILIPS HPK380 P-WB +GPK380 PCR D546 +GC HPI-P/743 CONV (Tyyppi 1)* (1.000)	16272	19000	274.0

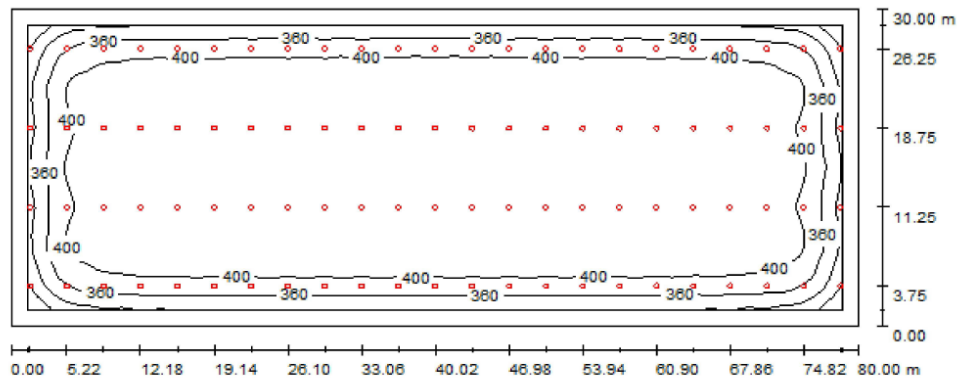
\*Muutetut tekniset tiedot

Yhteensä: 1431916

Yhteensä: 24112.0  
1672000Ominainen verkkoon kytketty kuorma: 10.05 W/m<sup>2</sup> = 2.49 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Pohjapinta-ala: 2400.00 m<sup>2</sup>)

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Glamox i50 + Osram HQI-E250 / Yhteenvedo**



Tilan korkeus: 9.000 m, Asennuskorkeus: 9.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:572

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	401	242	436	0.603
Lattia	20	378	181	436	0.478
Katto	70	70	49	78	0.704
Seinät (4)	50	122	52	377	/

**Käyttötaso:**  
 Korkeus: 0.850 m  
 Rasteri: 128 x 64 Pisteet  
 Reuna-alue: 1.500 m

**UGR**  
 Vasen seinä 20  
 Alempi seinä 20  
 (CIE, SHR = 0.25.)

Pitkittäin- Poikittain Valaisimen keskiviivaan

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 30.83%.

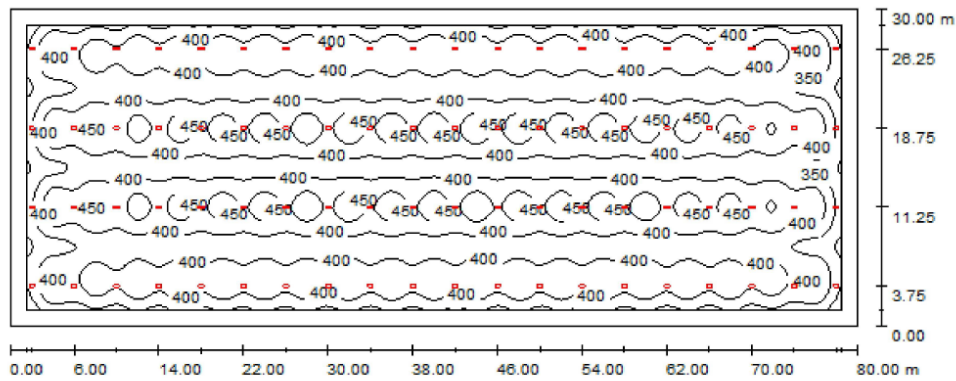
**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	92	Glamox i50 250W HIE R1 Cover Glass Mid pos (Medium Beam) (1.000)	12227	19000	275.0
			Yhteensä: 1124847	Yhteensä: 1748000	25300.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $10.54 \text{ W/m}^2 = 2.63 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $2400.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

Easy Led PRO 500 4000 K / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 9.000 m, Asennuskorkeus: 9.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:572

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	405	270	472	0.667
Lattia	20	382	179	444	0.468
Katto	70	72	54	79	0.759
Seinät (4)	50	128	61	247	/

**Käyttötaso:**  
 Korkeus: 0.850 m  
 Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
 Reuna-alue: 1.500 m

**UGR**  
 Vasen seinä 22  
 Alempi seinä 22  
 (CIE, SHR = 0.25.)

Pitkittäin- Poikittain Valaisimen keskiviivaan

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 43.68%.

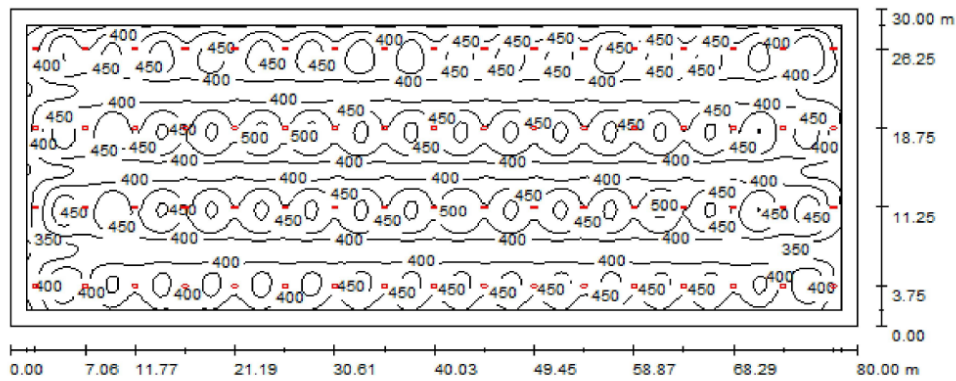
**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	80	Easy LED Oy PRO 500 Easy LED Oy / PRO 500 OSLON 120 DEG 60 4000K_320mA (1.000)	14285	14300	125.0
			Yhteensä: 1142827	Yhteensä: 1144000	10000.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $4.17 \text{ W/m}^2 = 1.03 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $2400.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

Easy Led PRO 500 6000 K / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 9.000 m, Asennuskorkeus: 9.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:572

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	421	276	519	0.655
Lattia	20	397	158	480	0.397
Katto	70	74	57	82	0.761
Seinät (4)	50	133	62	250	/

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.850 m  
Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
Reuna-alue: 1.500 m

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 33.96%.

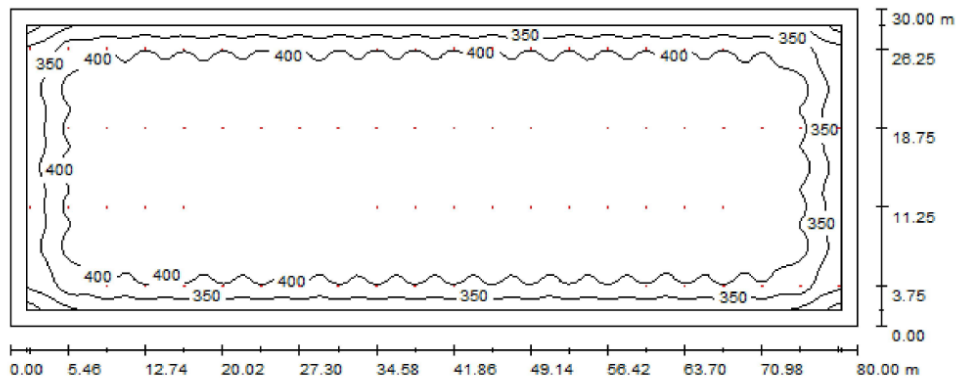
**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	68	Easy LED Oy PRO 500 OSLO 120 DEG 60 6000K_320mA PRO 500 OSLO 120 DEG 60 6000K_320mA (1.000)	17481	17500	125.0
			Yhteensä: 1188725	Yhteensä: 1190000	8500.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $3.54 \text{ W/m}^2 = 0.84 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $2400.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

Valopaa VP 1401 / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 9.000 m, Asennuskorkeus: 9.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:572

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	402	232	441	0.578
Lattia	20	379	172	434	0.454
Katto	70	70	50	78	0.721
Seinät (4)	50	118	49	401	/

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.850 m  
Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
Reuna-alue: 1.500 m

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 28.68%.

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	88	Valopaa Oy Linssi V8 M1 900lm (Tyyppi 1)* (1.000)	12743	12800	144.0

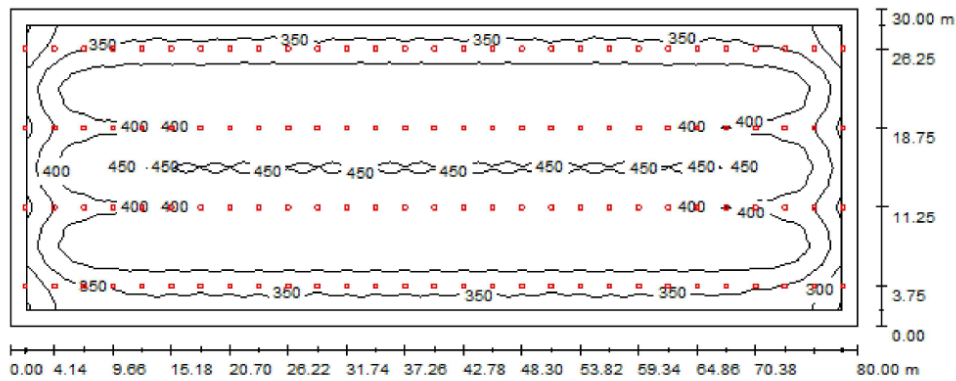
\*Muutetut tekniset tiedot

Yhteensä: 1121371  
Yhteensä: 1126400 12672.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $5.28 \text{ W/m}^2 = 1.31 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $2400.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Glamox i80 Led / Yhteenvedo**



Tilan korkeus: 9.000 m, Asennuskorkeus: 9.000 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:572

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	400	247	462	0.617
Lattia	20	378	184	463	0.488
Katto	70	71	55	79	0.774
Seinät (4)	51	125	52	424	/

**Käyttötaso:**  
 Korkeus: 0.850 m  
 Rasteri: 128 x 64 Pisteet  
 Reuna-alue: 1.500 m

**UGR**  
 Vasen seinä 20  
 Alempi seinä 20  
 (CIE, SHR = 0.25.)

Pitkittäin- Valaisimen keskiviivaan 20  
 Poikittain 20

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 39.40%.

**Luettelo valaisimista**

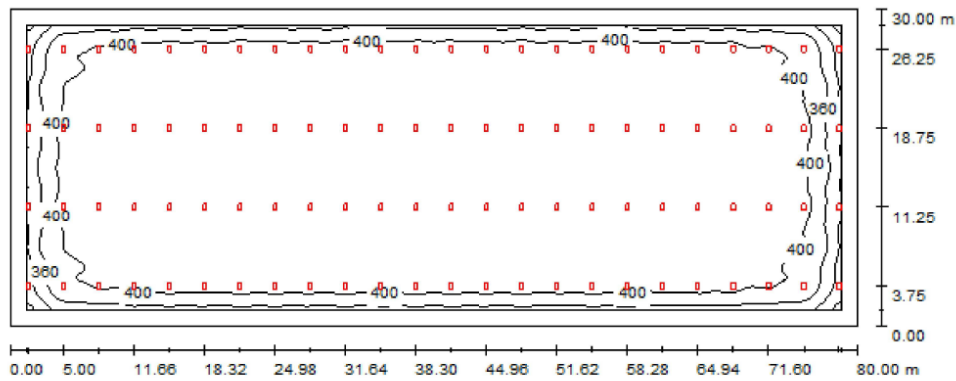
Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	116	Glamox i80 LED 12000 HF 840 MB HTG - 1x139W GLMS-300-840-700CCx4 (1.000)	9716	9721	139.0
			Yhteensä: 1127067	Yhteensä: 1127636	16124.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $6.72 \text{ W/m}^2 = 1.68 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala: 2400.00 m<sup>2</sup>)



Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Philips GentleSpace Led120S / Yhteenvedo**



Tilan korkeus: 9.000 m, Asennuskorkeus: 8.400 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:572

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	411	268	444	0.653
Lattia	20	388	184	447	0.474
Katto	70	71	51	79	0.724
Seinät (4)	50	121	56	323	/

**Käyttötaso:**  
 Korkeus: 0.850 m  
 Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
 Reuna-alue: 1.500 m

**UGR**  
 Vasen seinä 21  
 Alempi seinä 21  
 (CIE, SHR = 0.25.)

Pitkittäin- Poikittain Valaisimen keskiviivaan

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 20.64%.

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	96	PHILIPS BY460P 1xLED120S/740 MB GC (1.000)	12000	12000	132.0
			Yhteensä: 1152000	Yhteensä: 1152000	12672.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $5.28 \text{ W/m}^2 = 1.28 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala: 2400.00 m<sup>2</sup>)

## Syväsäteilijöiden elinkaarikustannuslaskelmat

Edellytykset								
Laskenta-aika	vuodet	20						
Vuotuinen todellinen korko (sadasosia)		0,04						
Vuotuinen energian hinnannousu inflaation lisäksi (sadasosia)		0,03						
Vuotuinen valonlähteiden hinnannousu inflaation lisäksi (sadasosia)		0,00						
Vuotuinen huoltokustannusten hinnannousu inflaation lisäksi (*)		0,00						
INVESTOINTIKUSTANNUKSET								
Valaisintyyppi		HPK380	i50 R1	Pro 500	Pro 500	VP 1401 M8(2)	i80 Led	GentleSpace
Valmistaja		Philips	Glamox	Easy led	Easy led	Valopaa	Glamox	Philips
Tarkempi määrittely (esim. lamputyyppi, teho, ...)		HQI-E 250 W	HQI-E 250 W	4000K	6000K	144 W	139 W	132 W
Lukumäärä	kpl	88	92	80	68	88	116	96
Yksikköhinta	eur/kpl	378	369	710	710	625	1280	1392
Valaisinkustannus	eur	33 264	33 948	56 800	48 280	55 000	148 480	133 632
Lamput								
Teho/lamppu mukaan lukien liitäntälaitteen häviöt	W	274	275	125	125	144	139	132
Lukumäärä/valaisin	kpl	1	1	1	1	1	1	1
Yksikköhinta	eur/kpl	45	45	0	0	0	0	0
Lamppukustannus	eur	3960	4140	0	0	0	0	0
Asennus								
Materiaali- ja työkuksannukset/valaisin	eur	28	28	28	28	28	28	28
Valaisuksen ohjaus	eur	0	0	0	0	0	0	0
Muut kustannukset	eur	0	0	0	0	0	0	0
Asennuskustannukset	eur	2 464	2 530	2 200	1 870	2 420	3 190	2 640
<b>INVESTOINTIKUSTANNUKSET YHTEENSÄ</b>	<b>eur</b>	<b>39 688</b>	<b>40 618</b>	<b>59 000</b>	<b>50 150</b>	<b>57 420</b>	<b>151 670</b>	<b>136 272</b>
Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden			2 %	45 %	23 %	41 %	273 %	235 %
KÄYTTÖKUSTANNUKSET								
Energiakustannukset		Philips	Glamox	Easy led	Easy led	Valopaa	Glamox	Philips
Asennettu teho mukaan lukien liitäntälaitteiden häviöt	W	24 112	25 300	10 000	8 500	12 672	16 124	12 672
Käyttöaika	h/y	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500
Käyttökerroin		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Energiankulutus / vuosi	MWh/år	60,28	63,25	25,00	21,25	31,68	40,31	31,68
Sähköenergian hinta	eur/kWh	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Energiakustannus / vuosi	eur/y	6 631	6 958	2 750	2 338	3 485	4 434	3 485
Laskentakerron 1		18,27	18,27	18,27	18,27	18,27	18,27	18,27
Energiakustannusten nykyarvo	eur	121 173	127 143	50 254	42 716	63 682	81 030	63 682
Valonlähdekustannukset - mukaan lukien vaihto								
Valonlähteen elinikä	h	10 000	10 000	80 000	80 000	80 000	80 000	80 000
Vaihtoväli	vuosia	4	4	32	32	32	32	32
Vaihtokustannus / kpl	eur	15	15	15	15	15	15	15
Laskentakerron 2		2,74	2,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valonlähdekustannusten nykyarvo	eur	14 488	15 147	0	0	0	0	0
Huoltokustannukset								
Huoltokustannus valaisinta kohden	eur/kpl	0	0	15	15	15	15	15
Käyttöaika ennen huoltoa	h	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000
Huoltoväli	vuosia	8	8	8	8	8	8	8
Laskentakerron 3		1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26
Huoltokustannusten nykyarvo	eur	0	0	1 518	1 290	1 669	2 200	1 821
<b>KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ</b>		<b>135 662</b>	<b>142 290</b>	<b>51 772</b>	<b>44 006</b>	<b>65 352</b>	<b>83 230</b>	<b>65 503</b>
Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden			5 %	-64 %	-69 %	-54 %	-42 %	-54 %
KOKONAISKUSTANNUS (NYKYARVO)								
<b>eur</b>	<b>eur</b>	<b>175 350</b>	<b>182 908</b>	<b>110 772</b>	<b>94 156</b>	<b>122 772</b>	<b>234 900</b>	<b>201 775</b>
Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden			4 %	-39 %	-49 %	-33 %	28 %	10 %
Takaisinmaksuaika perinteiseen ratkaisuun nähden				4,6	2,3	5,0	42,7	27,5

Moduulivalaisimien Dialux-laskelmien yhteenvedot

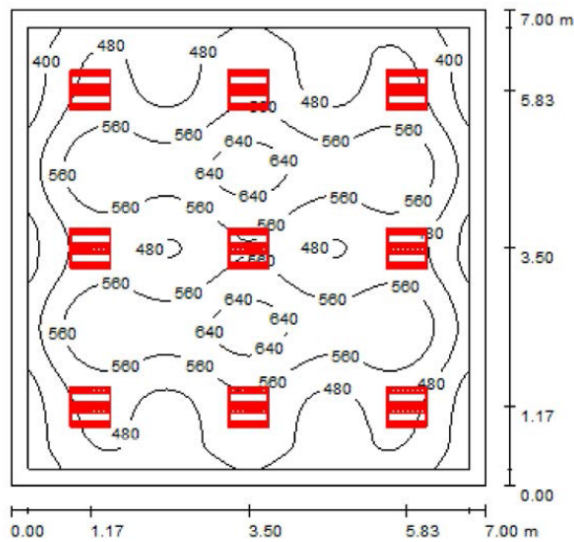
Projekti 1

**DIALux**

06.04.2013

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Philips TBS260 4x14 W / Yhteenveto**



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:90

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	520	330	683	0.635
Lattia	20	448	268	588	0.599
Katto	70	99	70	109	0.705
Seinät (4)	60	190	75	326	/

**Käyttötaso:**  
 Korkeus: 0.800 m  
 Rasteri: 64 x 64 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.250 m

**UGR**  
 Vasen seinä 14  
 Alempi seinä 14  
 (CIE, SHR = 0.25.)

Pitkittäin-  
14

Poikittain  
17

Valaisimen keskiviivaan

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 3.98%.

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	9	PHILIPS TBS260 4xTL5-14W HFS D6 (Tyyppi 1)* (1.000)	3408	4800	63.0

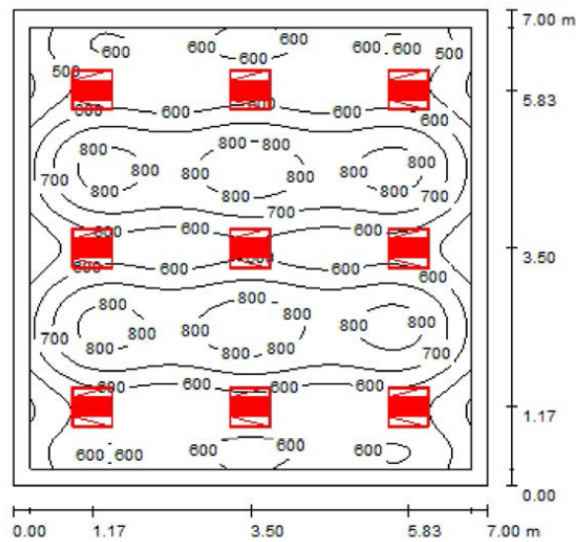
\*Muutetut tekniset tiedot

Yhteensä: 30672 Yhteensä: 43200 567.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $11.57 \text{ W/m}^2 = 2.22 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $49.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Glamox C20-R600 4x14 W / Yhteenvedo**



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.648 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:90

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	641	388	868	0.606
Lattia	20	555	317	783	0.570
Katto	70	120	83	134	0.692
Seinät (4)	60	229	92	411	/

**Käyttötaso:**  
 Korkeus: 0.800 m  
 Rasteri: 64 x 64 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.250 m

**UGR** Pitkittäin- Poikittain Valaisimen keskiviivaan  
 Vasen seinä 18 17  
 Alempi seinä 18 17  
 (CIE, SHR = 0.25.)

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 0.29%.

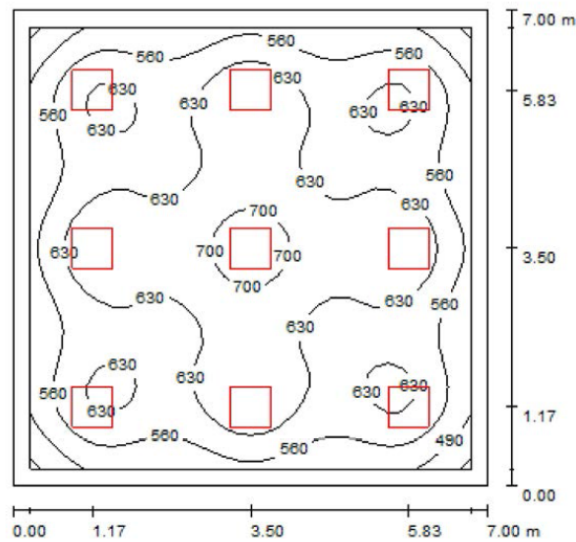
**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	9	Glamox C20-R600 414 SL - 4x14W T5 14W HE (1.000)	4187	4800	61.0
			Yhteensä: 37687	Yhteensä: 43200	549.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $11.20 \text{ W/m}^2 = 1.75 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $49.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

Glamox Modul Square / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.650 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:90

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	609	412	747	0.677
Lattia	20	512	321	623	0.627
Katto	70	146	117	177	0.803
Seinät (4)	60	323	133	460	/

**Käyttötaso:**  
 Korkeus: 0.800 m  
 Rasteri: 32 x 32 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.250 m

**UGR** Pitkittäin- Poikittain Valaisimen keskiviivaan  
 Vasen seinä 21 21  
 Alempi seinä 21 21  
 (CIE, SHR = 0.25.)

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 0.00%.

**Luettelo valaisimista**

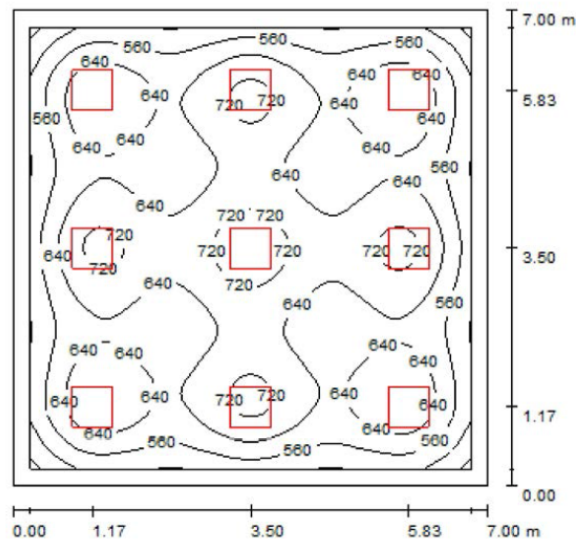
Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	9	Glamox MODUL-R600 LED 4400 840 OP - 1x43W LED MO-R 4400 840 (1.000)	4388	4389	43.0

Yhteensä: 39490 Yhteensä: 39501 387.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $7.90 \text{ W/m}^2 = 1.30 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $49.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

Glamox Modul Micro / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.650 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:90

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	628	384	769	0.611
Lattia	20	539	300	671	0.557
Katto	70	128	104	142	0.814
Seinät (4)	60	256	122	372	/

**Käyttötaso:**  
 Korkeus: 0.800 m  
 Rasteri: 64 x 64 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.250 m

**UGR** Pitkittäin- Poikittain Valaisimen keskiviivaan  
 Vasen seinä 17 17  
 Alempi seinä 17 17  
 (CIE, SHR = 0.25.)

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 0.10%.

**Luettelo valaisimista**

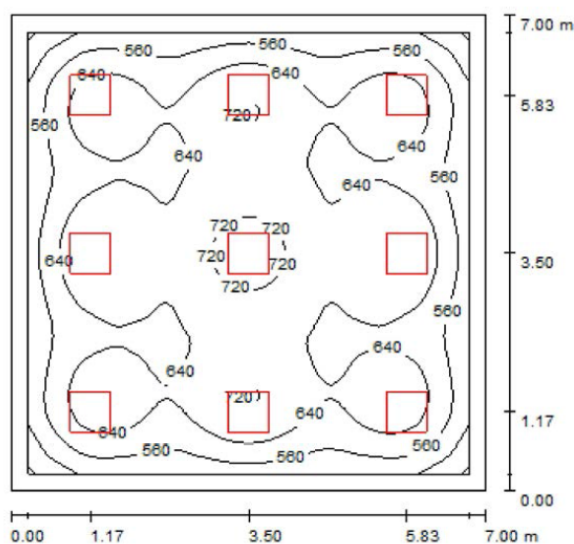
Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	9	Glamox MODUL-R600 LED 4000 840 MP - 1x43W LED MO-R 4000 840 (1.000)	4223	4225	43.0

Yhteensä: 38005 Yhteensä: 38025 387.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $7.90 \text{ W/m}^2 = 1.26 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $49.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

## Fagerhult Multilume Flat / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.649 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:90

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	628	391	757	0.623
Lattia	20	537	303	667	0.564
Katto	70	132	105	148	0.792
Seinät (4)	60	268	129	392	/

**Käyttötaso:**  
 Korkeus: 0.800 m  
 Rasteri: 64 x 64 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.250 m

**UGR** Pitkittäin- Poikittain Valaisimen keskiviivaan  
 Vasen seinä 18 18  
 Alempi seinä 18 18  
 (CIE, SHR = 0.25.)

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 0.10%.

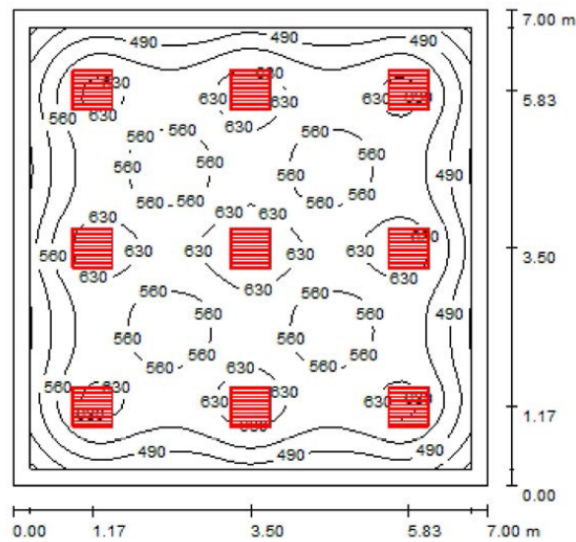
## Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	9	FAGERHULT 22395 Multilume Flat Delta (1.000)	4277	4278	44.0
			Yhteensä: 38494	Yhteensä: 38502	396.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $8.08 \text{ W/m}^2 = 1.29 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala: 49.00 m<sup>2</sup>)

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

Philips Smartform LED BBS460 / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:90

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	566	342	690	0.604
Lattia	20	487	269	596	0.553
Katto	70	108	77	117	0.711
Seinät (4)	60	206	93	326	/

**Käyttötaso:**  
 Korkeus: 0.800 m  
 Rasteri: 64 x 64 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.250 m

**UGR** Pitkittäin- Poikittain Valaisimen keskiviivaan  
 Vasen seinä 15 16  
 Alempi seinä 15 16  
 (CIE, SHR = 0.25.)

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 0.59%.

**Luettelo valaisimista**

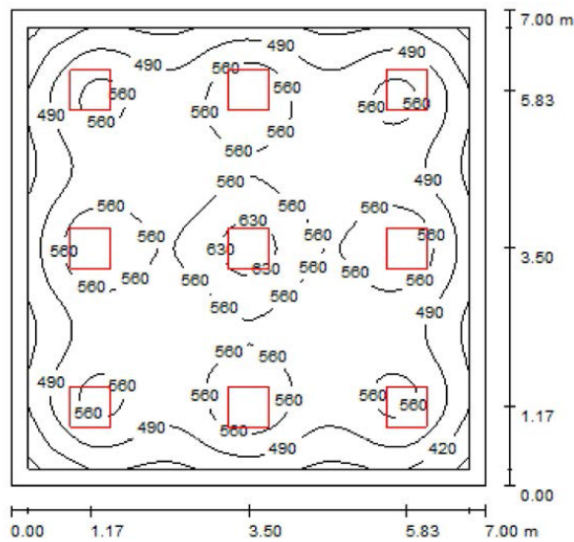
Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	9	PHILIPS BBS464 W60L60 1xLED48/840 AC-MLO (1.000)	3700	3700	47.0
			Yhteensä: 33300	Yhteensä: 33300	423.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $8.63 \text{ W/m}^2 = 1.52 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $49.00 \text{ m}^2$ )



Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Alpilux, Thorn Specline LED / Yhteenvedo**



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:90

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	521	336	658	0.644
Lattia	20	439	270	537	0.615
Katto	70	121	97	146	0.803
Seinät (4)	60	264	109	377	/

**Käyttötaso:**  
 Korkeus: 0.800 m  
 Rasteri: 64 x 64 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.250 m

**UGR** Pitkittäin- Poikittain Valaisimen keskiviivaan  
 Vasen seinä 21 21  
 Alempi seinä 21 21  
 (CIE, SHR = 0.25.)

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 1.71%.

**Luettelo valaisimista**

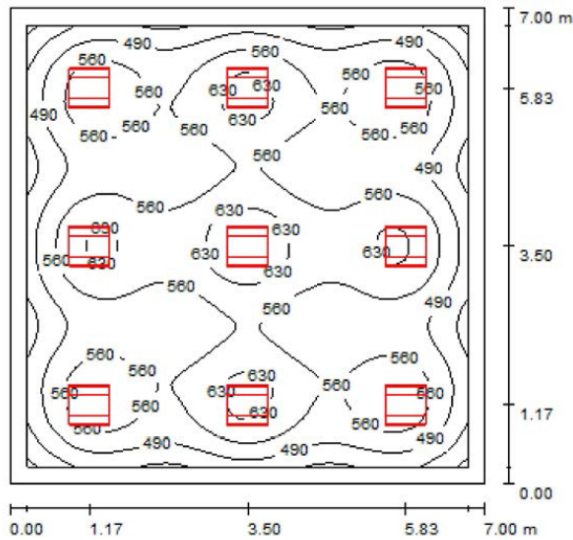
Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	9	Thorn 96241065 (STD - Standard) SPECLINELED 3700 HFI OP WL5 L840 597 (1.000)	3700	3700	47.0

Yhteensä: 33300 Yhteensä: 33300 423.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $8.63 \text{ W/m}^2 = 1.66 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $49.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

Philips Coreline Recessed / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:90

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	544	336	685	0.618
Lattia	20	462	278	567	0.602
Katto	70	114	86	130	0.750
Seinät (4)	60	235	101	374	/

**Käyttötaso:**  
Korkeus: 0.800 m  
Rasteri: 64 x 64 Pisteet  
Reuna-alue: 0.250 m

**UGR** Pitkittäin- Poikittain Valaisimen keskiviivaan  
Vasen seinä 21 22  
Alempi seinä 21 22  
(CIE, SHR = 0.25.)

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 1.37%.

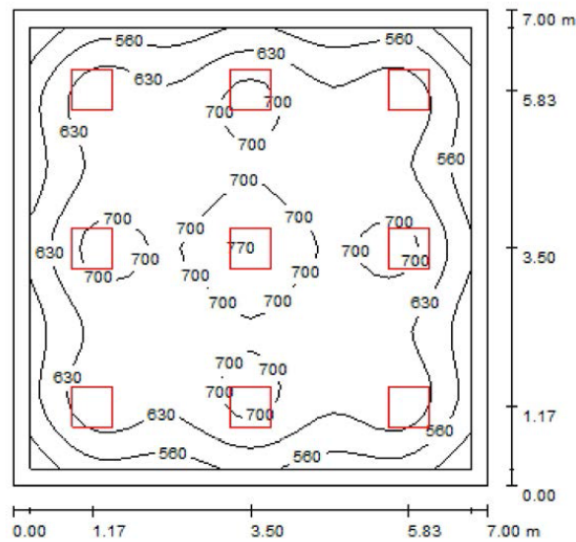
**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	9	PHILIPS RC120B 1xLED37S/840 W60L60 (1.000)	3700	3700	42.0
			Yhteensä: 33300	Yhteensä: 33300	378.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $7.71 \text{ W/m}^2 = 1.42 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala: 49.00 m<sup>2</sup>)

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

Airam Plateia square / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:90

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	640	431	781	0.673
Lattia	20	539	339	656	0.629
Katto	70	156	128	192	0.819
Seinät (4)	60	346	152	489	/

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.800 m  
Rasteri: 32 x 32 Pisteet  
Reuna-alue: 0.250 m

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 0.00%.

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	9	AIRAM plateia600x600 (Tyyppi 1)* (1.000)	4648	4648	56.0

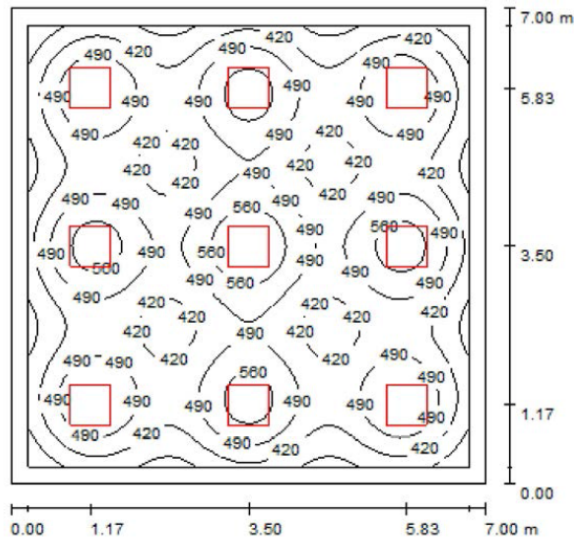
\*Muutetut tekniset tiedot

Yhteensä: 41831 Yhteensä: 41832 504.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $10.29 \text{ W/m}^2 = 1.61 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $49.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Alpilux, Thorn Quatro LED / Yhteenvedo**



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.695 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:90

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	466	282	628	0.606
Lattia	20	394	235	472	0.596
Katto	70	101	86	111	0.857
Seinät (4)	60	211	93	282	/

**Käyttötaso:**  
Korkeus: 0.800 m  
Rasteri: 64 x 64 Pisteet  
Reuna-alue: 0.250 m

**UGR**  
Pitkittäin-  
Vasen seinä 19  
Alempi seinä 19  
(CIE, SHR = 0.25.)

Poikittain  
Valaisimen keskiviivaan 19

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 14.36%.

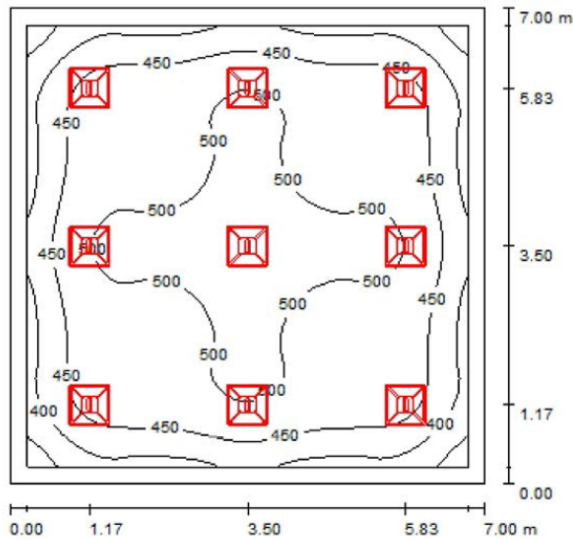
**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	9	Thorn 96241098 QUATTRO LED 3200 HFI-X WL5 OP L840 [STD] (1.000)	3200	3200	42.0
			Yhteensä: 28800	Yhteensä: 28800	378.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $7.71 \text{ W/m}^2 = 1.66 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $49.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

Philips CoreView panel / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:90

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	466	316	539	0.678
Lattia	20	395	240	480	0.608
Katto	70	107	89	133	0.831
Seinät (4)	60	231	104	325	/

**Käyttötaso:**  
 Korkeus: 0.800 m  
 Rasteri: 64 x 64 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.250 m

**UGR** Pitkittäin- Poikittain Valaisimen keskiviivaan  
 Vasen seinä 19 19  
 Alempi seinä 19 19  
 (CIE, SHR = 0.25.)

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 11.38%.

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	9	PHILIPS RC160V W60L60 1xLED34/840 (1.000)	3300	3300	52.0
			Yhteensä: 29700	Yhteensä: 29700	468.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $9.55 \text{ W/m}^2 = 2.05 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $49.00 \text{ m}^2$ )

## Moduulivalaisimien elinkaarikustannuslaskelmat

Edellytykset												
Laskenta-aika	vuodet	30										
Vuotuinen todellinen korko (sadasosia)		0,04										
Vuotuinen energian hinnannousu inflaation lisäksi (sadasosia)		0,03										
Vuotuinen valonlähteiden hinnannousu inflaation lisäksi (sadasosia)		0,00										
Vuotuinen huoltokustannusten hinnannousu inflaation lisäksi (*)		0,00										
INVESTOINTIKUSTANNUKSET												
Valaisimet												
Valaisintyyppi		18s260 15	C20-R600	Modul Square	Modul Micro	Multilume Flat	Pläitea square	Speciline LED	Coreline	Smartform	Quatro LED	CoreView panel
Valmistaja		Philips T5	Glamox T5	Glamox LED	Glamox LED	Fagerhult LED	Airam LED	Thorn LED	Philips LED	Philips LED	Thorn LED	Philips LED
Tarkempi määrittely (esim. lampputyypit, teho, ...)		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Lukumäärä	kpl	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Yksikköhinta	eur/kpl	111	173	572	628	660	448	412	292	767	491	408
Valaisinkustannus	eur	1 001	1 555	5 148	5 652	5 940	4 032	3 708	2 628	6 903	4 419	3 672
Lamput												
Teho/lamppu mukaan lukien liitäntälaitteen häviöt	W	15,75	15,25	43	43	44	56	47	42	47	42	52
Lukumäärä/valaisin	kpl	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Yksikköhinta	eur/kpl	7	7	0	0	0	0	0	146	0	0	204
Lampukustannus	eur	248	248	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asennus												
Materiaali- ja työkustannukset/valaisin	eur	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Muut kustannukset	eur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asennuskustannukset	eur	248	248	248	248	248	252	248	248	248	248	248
INVESTOINTIKUSTANNUKSET YHTEENSÄ												
Ero prosentteina perinteiseen edullisimpaan valaisimeen nähden	eur	1 496	2 050	5 396	5 900	6 188	4 284	3 956	2 876	7 151	4 667	3 920
			37 %	261 %	294 %	314 %	186 %	164 %	92 %	378 %	212 %	162 %
KÄYTTÖKUSTANNUKSET												
Energialukut												
Asennettu teho mukaan lukien liitäntälaitteiden häviöt	W	567	549	387	387	396	504	423	378	423	378	468
Käyttöaika	h/y	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500
Käyttökerto		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Energiankulutus / vuosi	MWh/år	1,42	1,37	0,97	0,97	0,99	1,26	1,06	0,95	1,06	0,95	1,17
Sähkönenergia hinta	eur/kWh	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Energialukut / vuosi	eur/y	156	151	106	106	109	139	116	104	116	104	129
Laskentakerroin 1		18,27	18,27	18,27	18,27	18,27	18,27	18,27	18,27	18,27	18,27	18,27
Energialukustannusten nykyarvo	eur	2 849	2 759	1 945	1 945	1 990	2 533	2 126	1 900	2 126	1 900	2 352
Ero prosentteina perinteiseen edullisimpaan valaisimeen nähden			-3 %	-32 %	-32 %	-30 %	-11 %	-25 %	-33 %	-25 %	-33 %	-17 %
Valonlähdekustannukset - mukaan lukien vaihto												
Valonlähteen elinikä	h	20 000	20 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	30 000	50 000	50 000	30 000
Vaihtoväli	vuosia	8	8	20	20	20	20	20	12	20	20	12
Vaihtokustannus / kpl	eur	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Laskentakerroin 2		1,26	1,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,00	0,00	0,62
Valonlähdekustannusten nykyarvo	eur	996	996	0	0	0	0	0	905	0	0	1 231
Huoltokustannukset												
Huoltokustannus valaisinta kohden	eur/kpl	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Käyttöaika ennen huoltoa	h	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000
Huoltoväli	vuosia	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Laskentakerroin 3		1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26
Huoltokustannusten nykyarvo	eur	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ												
Ero prosentteina perinteiseen edullisimpaan valaisimeen nähden	eur	4 016	3 926	2 116	2 116	2 161	2 704	2 296	2 975	2 296	2 070	3 754
			-2 %	-47 %	-47 %	-46 %	-33 %	-43 %	-26 %	-43 %	-48 %	-7 %
KOKONAISKUSTANNUKSET (NYKYARVO)												
Ero prosentteina perinteiseen edullisimpaan valaisimeen nähden	eur	5 512	5 976	7 511	8 015	8 348	6 988	6 252	5 851	9 447	6 737	7 673
			8 %	36 %	45 %	51 %	27 %	13 %	6 %	71 %	22 %	39 %

## Downlight-valaisimien Dialux-laskelmien yhteenvedot

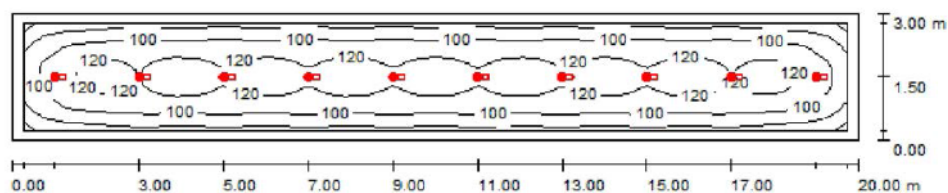
Projekti 1

DIALux

06.04.2013

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

## Glamox D20-R175 / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 3.000 m, Asennuskorkeus: 3.160 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:143

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	106	56	131	0.531
Lattia	20	84	46	101	0.550
Katto	20	14	11	17	0.748
Seinät (4)	50	31	8.08	69	/

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.800 m  
Rasteri: 128 x 32 Pisteet  
Reuna-alue: 0.250 m

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 100.00%.

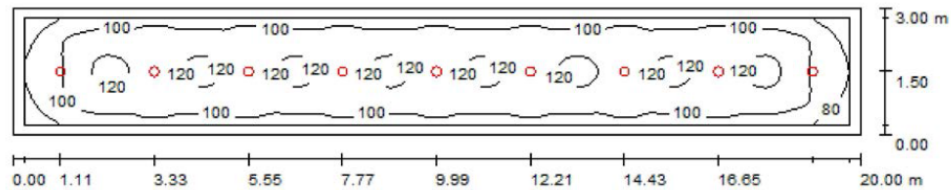
**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	10	Glamox D20-R175 118 SI - 1x18W TC-DEL 18 W (1.000)	861	1200	19.0
Yhteensä:			8613	12000	190.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $3.17 \text{ W/m}^2 = 3.00 \text{ W/m}^2 / 100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $60.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Glamox D20-R210 LED / Yhteenvedo**



Tilan korkeus: 3.000 m, Asennuskorkeus: 3.160 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:143

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	108	62	125	0.580
Lattia	20	85	51	100	0.600
Katto	20	16	12	18	0.746
Seinät (4)	50	36	9.18	100	/

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.800 m  
Rasteri: 128 x 32 Pisteet  
Reuna-alue: 0.250 m

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 100.00%.

**Luettelo valaisimista**

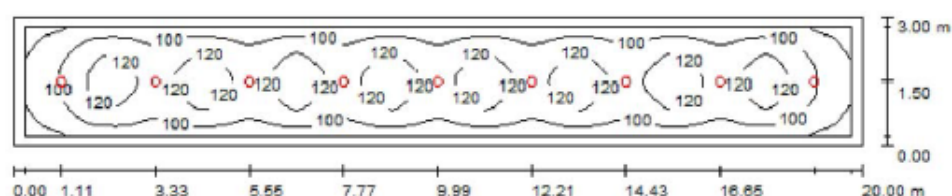
Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	9	Glamox D20-R210 LED 1100 840 SI - 1x11W LED 1100 840 (1.000)	1018	1100	13.0
			Yhteensä: 9160	Yhteensä: 9900	117.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $1.95 \text{ W/m}^2 = 1.81 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $60.00 \text{ m}^2$ )



Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

## Alppilux, Thorn Chalice LED / Yhteenveto



Tilan korkeus: 3.000 m, Asennuskorkeus: 3.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:143

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	108	63	133	0.587
Lattia	20	84	51	97	0.604
Katto	20	15	11	17	0.746
Seinät (4)	50	34	8.89	84	/

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.800 m  
Rasteri: 128 x 32 Pisteet  
Reuna-alue: 0.250 m

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 100.00%.

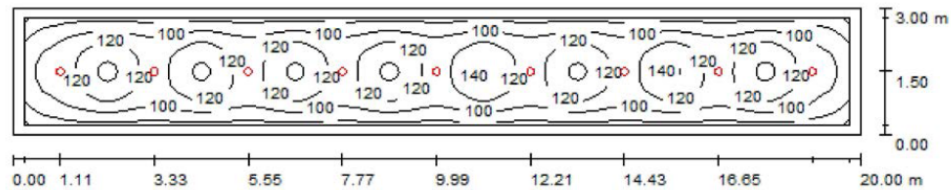
**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	9	Thorn 96239741 (STD - Standard) CHALICE 190H LED 1100 HF CL2 L840 (1.000)	994	1100	13.0
			Yhteensä: 8949	Yhteensä: 9900	117.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $1.95 \text{ W/m}^2 = 1.81 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $60.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Fagerhult Pleiad Comfort G3 / Yhteenvedo**



Tilan korkeus: 3.000 m, Asennuskorkeus: 3.139 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:143

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	108	59	143	0.541
Lattia	20	86	47	102	0.544
Katto	20	13	9.28	14	0.735
Seinät (4)	50	25	6.97	67	/

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.800 m  
Rasteri: 128 x 32 Pisteet  
Reuna-alue: 0.250 m

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 100.00%.

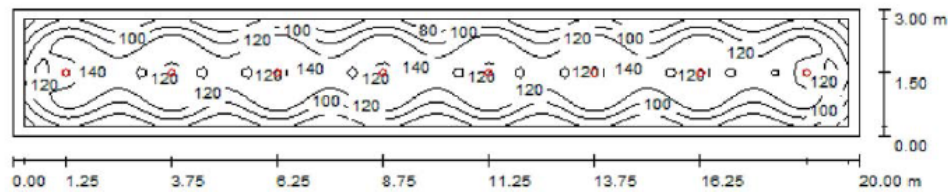
**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	9	FAGERHULT 77952 Pleiad Comfort G3 (1.000)	899	900	14.0
			Yhteensä: 8093	Yhteensä: 8100	126.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $2.10 \text{ W/m}^2 = 1.94 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $60.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Glamox D70 LED / Yhteenvedo**



Tilan korkeus: 3.000 m, Asennuskorkeus: 3.126 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:143

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	112	53	143	0.471
Lattia	20	89	46	119	0.522
Katto	20	14	10	15	0.749
Seinät (4)	50	27	7.68	53	/

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.800 m  
Rasteri: 128 x 32 Pisteet  
Reuna-alue: 0.250 m

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 100.00%.

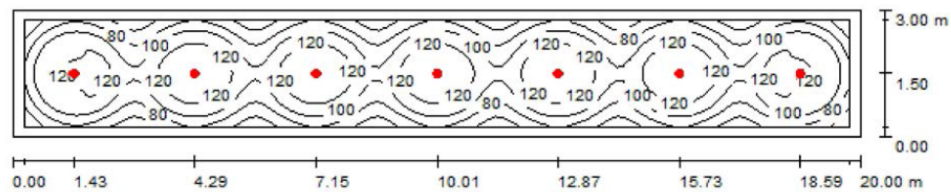
**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	8	Glamox D70-R155 LED 1100 840 SI - 1x20W LED D70 1100 840 (1.000)	1064	1087	20.0
			Yhteensä: 8509	Yhteensä: 8696	160.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $2.67 \text{ W/m}^2 = 2.39 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $60.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

Philps GreenSpace / Yhteenveto



Tilan korkeus: 3.000 m, Asennuskorkeus: 3.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:143

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	100	44	133	0.437
Lattia	20	79	41	99	0.519
Katto	20	12	9.16	15	0.733
Seinät (4)	50	26	6.83	46	/

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.800 m  
Rasteri: 128 x 32 Pisteet  
Reuna-alue: 0.250 m

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 100.00%.

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	7	PHILIPS DN450B 1xDLM1100/840 (1.000)	1100	1100	14.0
			Yhteensä: 7700	Yhteensä: 7700	98.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $1.63 \text{ W/m}^2 = 1.63 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $60.00 \text{ m}^2$ )

## Downlight-valaisimien elinkaarikustannuslaskelmat

Edellytykset		vuodet	20				
Laskenta-aika			0,04				
Vuotuinen todellinen korko (sadasosia)			0,03				
Vuotuinen energian hinnannousu inflaation lisäksi (sadasosia)			0,00				
Vuotuinen valonlähteiden hinnannousu inflaation lisäksi (sadasosia)			0,00				
Vuotuinen huoltokustannusten hinnannousu inflaation lisäksi (*)			0,00				
<b>INVESTOINTIKUSTANNUKSET</b>							
<b>Valaisimet</b>							
Valaisintyyppi		D20-R175	D20-R210 LED	Chalice LED 190H	Pleiad Comfort G3 LED	D70-155 LED	GreenSpace
Valmistaja		Glamox CL	Glamox D20 LED	Alppilux LED	Fagerhult LED	Glamox D70 LED	Philips LED
Tarkempi määrittely (esim. lamputyyppi, teho, ...)		1*18 W	1*11 W	1*13 W	1*14 W	1*20 W	1*14 W
Lukumäärä	kpl	10	9	9	9	8	7
Yksikköhinta	eur/kpl	75	321	263	257	107	185
<b>Valaisinkustannus</b>	eur	752	2 887	2 369	2 311	858	1 294
<b>Lamput</b>							
Teho/lamppu mukaan lukien liitäntälaitteen häviöt	W	19	13	13	14	20	14
Lukumäärä/valaisin	kpl	1	1	1	1	1	1
Yksikköhinta	eur/kpl	6	0	0	0	0	0
<b>Lamppukustannus</b>	eur	58	0	0	0	0	0
<b>Asennus</b>							
Materiaali- ja työkustannukset/valaisin	eur	28	28	28	28	28	28
Valaistuksen ohjaus	eur	0	0	0	0	0	0
Muut kustannukset	eur	0	0	0	0	0	0
<b>Asennuskustannukset</b>	eur	275	248	248	248	220	193
<b>INVESTOINTIKUSTANNUKSET YHTEENSÄ</b>							
<b>Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden</b>	eur	1 085	3 135	2 616	2 559	1 078	1 486
			189 %	141 %	136 %	-1 %	37 %
<b>KÄYTTÖKUSTANNUKSET</b>							
<b>Energiakustannukset</b>							
Asennettu teho mukaan lukien liitäntälaittehäviöt	W	190	117	117	126	160	98
Käyttöaika	h/y	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500
Käyttökerron		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Energiankulutus / vuosi	MWh/år	0,48	0,29	0,29	0,32	0,40	0,25
Sähkönenergian hinta	eur/kWh	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Energiakustannus / vuosi	eur/y	52	32	32	35	44	27
Laskentakerron 1		18,27	18,27	18,27	18,27	18,27	18,27
<b>Energiakustannusten nykyarvo</b>	eur	955	588	588	633	804	492
<b>Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden</b>			-38 %	-38 %	-34 %	-16 %	-48 %
<b>Valonlähdekustannukset - mukaan lukien vaihto</b>							
Valonlähteen elinikä	h	16 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
Vaihtoväli	vuosia	6	20	20	20	20	20
Vaihtokustannus / kpl	eur	15	15	15	15	15	15
Laskentakerron 2		1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Valonlähdekustannusten nykyarvo</b>	eur	385	0	0	0	0	0
<b>Huoltokustannukset</b>							
Huoltokustannus valaisinta kohden	eur/kpl	0	0	0	0	0	0
Käyttöaika ennen huoltoa	h	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000
Huoltoväli	vuosia	8	8	8	8	8	8
Laskentakerron 3		1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26
<b>Huoltokustannusten nykyarvo</b>	eur	0	0	0	0	0	0
<b>KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ</b>							
<b>Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden</b>		1 340	588	588	633	804	492
			-56 %	-56 %	-53 %	-40 %	-63 %
<b>KOKONAISKUSTANNUS (NYKYARVO)</b>							
<b>Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden</b>	eur	2 424	3 723	3 204	3 192	1 882	1 979
			54 %	32 %	32 %	-22 %	-18 %

## Pylväsvalaisimien Dialux-laskelmien yhteenvedot

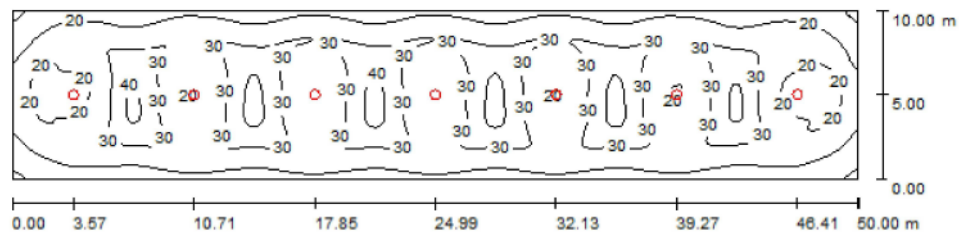
Projekti 1

DIALux

02.05.2013

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

## Alpilux Camillo 70 W NAV / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 4.000 m, Asennuskorkeus: 4.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:358

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	26	8.82	44	0.338

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.010 m  
Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
Reuna-alue: 0.000 m

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 100.00%.

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	7	1 ALPEX, Camillo AC60056V 70W HSE (Tyyppi 1)* (1.000)	4136	6300	79.0

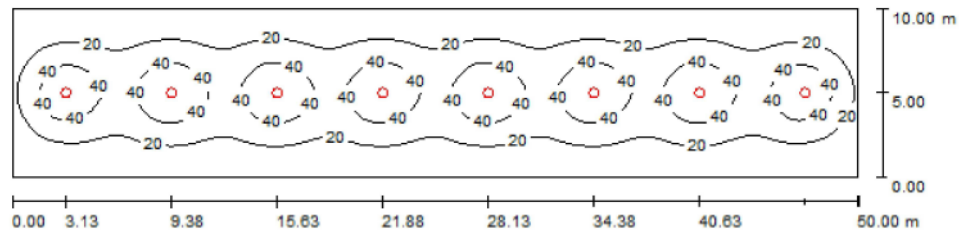
\*Muutetut tekniset tiedot

Yhteensä: 28949 Yhteensä: 44100 553.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $1.11 \text{ W/m}^2 = 4.23 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $500.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Philips StreetSaver LED-HP/740 / Yhteenveto**



Tilan korkeus: 4.000 m, Asennuskorkeus: 4.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:358

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	25	4.23	60	0.168

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.010 m  
Rasteri: 128 x 64 Pisteet  
Reuna-alue: 0.000 m

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 100.00%.

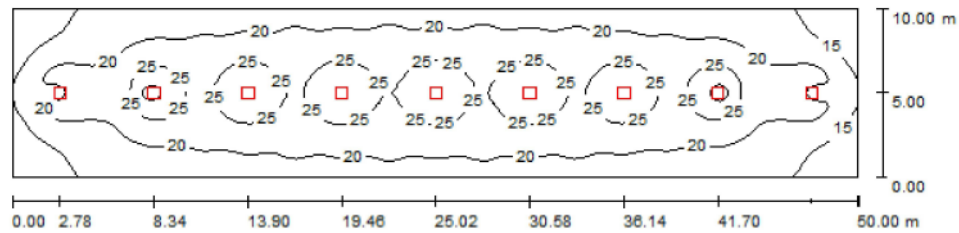
**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	8	PHILIPS BPP007 LED-HP No (1.000)	2381	2382	55.0
Yhteensä:			19050	Yhteensä: 19056	440.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $0.88 \text{ W/m}^2 = 3.49 \text{ W/m}^2 / 100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala: 500.00 m<sup>2</sup>)

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Thorn Avenue F LED / Yhteenveto**



Tilan korkeus: 4.000 m, Asennuskorkeus: 4.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:358

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	21	11	28	0.522

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.010 m  
Rasteri: 128 x 64 Pisteet  
Reuna-alue: 0.000 m

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 100.00%.

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	9	Thorn Lighting 96260059 (STD - Standard) AVENUE F2 LED 40W/BP8 CL1 (1.000)	2840	2840	42.0
			Yhteensä: 25564	Yhteensä: 25560	378.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $0.76 \text{ W/m}^2 = 3.60 \text{ W/m}^2 / 100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $500.00 \text{ m}^2$ )



Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Thorn Plurio LED / Yhteenvedo**



Tilan korkeus: 4.000 m, Asennuskorkeus: 4.000 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:358

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	20	7.96	28	0.389

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.010 m  
Rasteri: 128 x 64 Pisteet  
Reuna-alue: 0.000 m

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 100.00%.

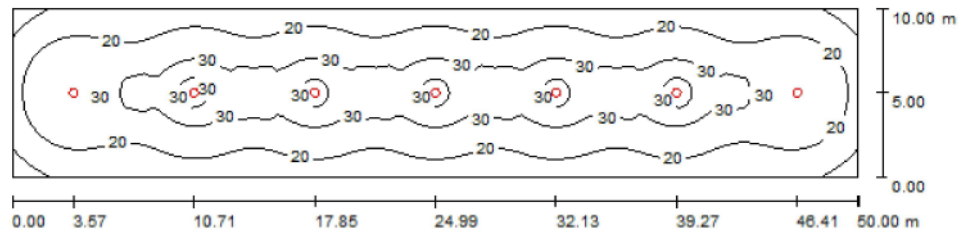
**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	8	Thorn Lighting 96260706 (STD - Standard) PLURIO R LED 40W/BP CL2 R/S N4M (1.000)	2472	2470	42.0
			Yhteensä: 19773	Yhteensä: 19760	336.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $0.67 \text{ W/m}^2 = 3.28 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $500.00 \text{ m}^2$ )

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Glamox O46 LED / Yhteenvedo**



Tilan korkeus: 4.000 m, Asennuskorkeus: 4.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:358

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	23	6.79	34	0.289

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.010 m  
Rasteri: 128 x 64 Pisteet  
Reuna-alue: 0.000 m

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 100.00%.

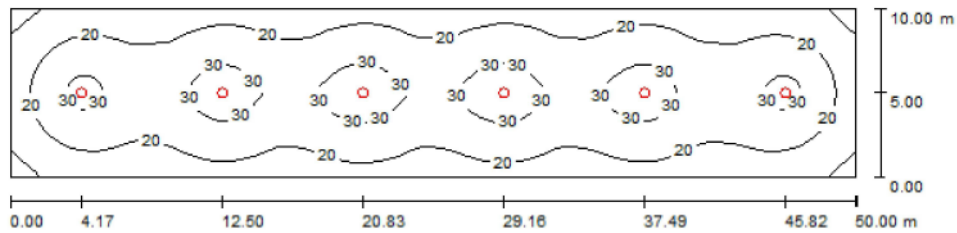
**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	7	Glamox O46 LED 3200 840 360gr CL - 1x63W LED O46 3200 (1.000)	3227	3227	63.0
Yhteensä:			22589	22589	441.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $0.88 \text{ W/m}^2 = 3.75 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala: 500.00 m<sup>2</sup>)

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Fagerhult Stela Round 36 / Yhteenvedo**



Tilan korkeus: 4.000 m, Asennuskorkeus: 4.205 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:358

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	23	7.25	40	0.315

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.010 m  
Rasteri: 128 x 64 Pisteet  
Reuna-alue: 0.000 m

Niiden pisteiden osuus, joiden valaistusvoimakkuus alle 400 lx (IEQ-7:ää varten): 100.00%.

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	6	INDAL Stela 2335 WRN* (1.000)	4005	4400	44.0
			Yhteensä: 24032	Yhteensä: 26400	264.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $0.53 \text{ W/m}^2 = 2.30 \text{ W/m}^2 / 100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $500.00 \text{ m}^2$ )

## Pylväsvalaisimien elinkaarikustannuslaskelmat

<b>Edellytykset</b>							
Laskenta-aika	vuodet	20					
Vuotuinen todellinen korko (sadasosia)		0,04					
Vuotuinen energian hinnannousu inflaation lisäksi (sadasosia)		0,03					
Vuotuinen valonlähteiden hinnannousu inflaation lisäksi (sadasosia)		0,00					
Vuotuinen huoltokustannusten hinnannousu inflaation lisäksi (*)		0,00					
<b>INVESTOINTIKUSTANNUKSET</b>							
<b>Valaisimet</b>							
Valaisintyyppi		Camillo	StreetSaver	Avenue F	Plurio	O46	Stela Round
Valmistaja		Alpivilux	Philips	Thorn	Thorn	Glamox	Fagerhult
Tarkempi määrittely (esim. lamputyyppi, teho, ...)		70 W	55 W	42 W	42 W	63 W	44 W
Lukumäärä	kpl	7	8	9	8	7	6
Yksikköhinta	eur/kpl	263	541	1248	984	950	1432
<b>Valaisinkustannus</b>	eur	1 841	4 328	11 232	7 872	6 650	8 592
<b>Lamput</b>							
Teho/lamppu mukaan lukien liitäntälaitteen häviöt	W	79	55	42	42	63	44
Lukumäärä/valaisin	kpl	1	1	1	1	1	1
Yksikköhinta	eur/kpl	15	216	499	394	380	573
<b>Lamppukustannus</b>	eur	105	0	0	0	0	0
<b>Asennus</b>							
Materiaali- ja työskustannukset/valaisin	eur	28	28	28	28	28	28
Valaistuksen ohjaus	eur	0	0	0	0	0	0
Muut kustannukset	eur	0	0	0	0	0	0
<b>Asennuskustannukset</b>	eur	193	220	248	220	193	165
<b>INVESTOINTIKUSTANNUKSET YHTEENSÄ</b>	eur	<b>2 139</b>	<b>4 548</b>	<b>11 480</b>	<b>8 092</b>	<b>6 843</b>	<b>8 757</b>
<b>Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden</b>			<b>113 %</b>	<b>437 %</b>	<b>278 %</b>	<b>220 %</b>	<b>309 %</b>
<b>KÄYTTÖKUSTANNUKSET</b>							
<b>Energiakustannukset</b>							
Asennettu teho mukaan lukien liitäntälaitteiden häviöt	W	553	440	378	336	441	264
Käyttöaika	h/y	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
Käyttökerto		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Energiankulutus / vuosi	MWh/vuosi	2,21	1,76	1,51	1,34	1,76	1,06
Sähköenergian hinta	eur/kWh	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
<b>Energiakustannus / vuosi</b>	eur/y	<b>243</b>	<b>194</b>	<b>166</b>	<b>148</b>	<b>194</b>	<b>116</b>
Laskentakerto 1		18,27	18,27	18,27	18,27	18,27	18,27
<b>Energiakustannusten nykyarvo</b>	eur	<b>4 447</b>	<b>3 538</b>	<b>3 039</b>	<b>2 702</b>	<b>3 546</b>	<b>2 123</b>
<b>Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden</b>			<b>-20 %</b>	<b>-32 %</b>	<b>-39 %</b>	<b>-20 %</b>	<b>-52 %</b>
<b>Valonlähdekustannukset - mukaan lukien vaihto</b>							
Valonlähteen elinikä	h	20 000	50 000	70 000	70 000	50 000	100 000
Vaihtoväli	vuosia	5	13	18	18	13	25
Vaihtokustannus / kpl	eur	15	15	15	15	15	15
Laskentakerto 2		2,05	0,61	0,50	0,50	0,61	0,00
<b>Valonlähdekustannusten nykyarvo</b>	eur	<b>431</b>	<b>1 134</b>	<b>2 330</b>	<b>1 646</b>	<b>1 693</b>	<b>0</b>
<b>Huoltokustannukset</b>							
Huoltokustannus valaisinta kohden	eur/kpl	0	0	0	0	0	0
Käyttöaika ennen huoltoa	h	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000
Huoltoväli	vuosia	5	5	5	5	5	5
Laskentakerto 3		2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
<b>Huoltokustannusten nykyarvo</b>	eur	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ</b>		<b>4 878</b>	<b>4 672</b>	<b>5 369</b>	<b>4 347</b>	<b>5 239</b>	<b>2 123</b>
<b>Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden</b>			<b>-4 %</b>	<b>10 %</b>	<b>-11 %</b>	<b>7 %</b>	<b>-56 %</b>
<b>KOKONAISKUSTANNUS (NYKYARVO)</b>							
<b>KOKONAISKUSTANNUS (NYKYARVO)</b>	eur	<b>7 016</b>	<b>9 220</b>	<b>16 849</b>	<b>12 439</b>	<b>12 082</b>	<b>10 880</b>
<b>Ero prosentteina perinteiseen valaisimeen nähden</b>			<b>31 %</b>	<b>140 %</b>	<b>77 %</b>	<b>72 %</b>	<b>55 %</b>