



# **VALAISIN- JA VALONLÄHDE- TOKANNAN LUOMINEN SEKÄ TOIMISTOVAILAISTUKSEN ENER- GIATEHOKKUUS**

Jaakko Helle

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2012  
Sähkötekniikka  
Sähköisen talotekniikan  
suuntautumisvaihtoehto

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähköisen talotekniikan suuntautumisvaihtoehto

HELLE, JAAKKO JOHANNES:

Valaisin- ja valonlähdetietokannan luominen sekä toimistovalaisuksen energiatehokkuus

Opinnäytetyö 54 sivua, josta liitteitä 8 sivua  
Toukokuu 2012

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Turun ja Kaarinan seurakuntayhtymälle. Sen tarkoituksena oli tuottaa henkilökunnan käyttöön kattava tietokanta yhtymän kiinteistöissä käytetyistä valaisimista ja valonlähteistä. Tietokannan tarkoituksena oli myös kartoittaa yhtymän kiinteistöjen valaistuksien nykytilaa energiataloudellisesta näkökulmasta ja helpottaa tulevaisuudessa uusiin valaistustekniikoihin siirtymisen suunnittelua.

Työn teoriaosuudessa käsiteltiin aluksi valon perusominaisuuksia ja valosuureita, joiden kautta siirryttiin valaistuksen energiatehokkuuteen. Teoriaosuudessa käsiteltiin lisäksi valaistuksen ohjausta, siihen liittyviä komponentteja ja niiden vaikutusta toimisto- ja palvelurakennuksien sähköenergian kulutukseen ottaen huomioon standardin SFS-EN-12464-1-2011 ohjeet ja vaatimukset.

Valaisin- ja valonlähdetietokantaan ja teoriaosuuteen pohjautuen tutkittiin myös seurakuntayhtymän toimitalon valaistuksen energiatehokkuutta ja pohdittiin parannuksia siihen. Tutkimus suoritettiin vertaamalla kahden eri toimistohuoneen valaistusjärjestelmän sähköenergiankulutusta keskenään käyttämällä Suomen Rakentamismääräyskokoelma D5-2007:n antamaa laskentamallia. Laskennan apuna käytettiin lisäksi DIALux-valaistuslaskentaohjelmaa. Tulosten perusteella tehtiin toimenpide-ehdotuksia, joita voidaan soveltaa parantamaan valaistuksen energiatehokkuutta toimitalon eri tiloissa.

Kahden toimistohuoneen välisestä vertailulaskennasta käy ilmi, että nykyaikaisella tekniikalla toteutetun huoneen valaistus kuluttaa noin 35 % vähemmän energiaa verrattuna vanhalla valaistusjärjestelmällä toteutettuun huoneeseen. Tämän myötä voidaan suorittaa elinkaarilaskenta, jonka tuloksena uudelle valaistusjärjestelmälle saadaan kohtuullisen lyhyt takaisinmaksuaika. Näiden laskelmien perusteella seurakuntayhtymän toimitalossa olisi suuri säästöpotentiaali valaistuksen kuluttamassa sähköenergiassa.

---

Asiasanat: energiatehokkuus, toimistovalaistus, valaistuksen ohjaus

## **ABSTRACT**

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

HELLE, JAAKKO JOHANNES

Luminaire and light source database and energy efficiency in office lighting

Bachelor's thesis 54 pages, appendices 8 pages

May 2012

---

This thesis was made for Turku and Kaarina Parish Union and the main purpose of it was to create a comprehensive database of luminaires and light sources used in Unions properties. The database is intended for the use of maintenance personnel and property management. The secondary purpose was to survey present condition of lighting in terms of energy efficiency in Unions premises. The database will also provide useful information to facilitate the planning of conversion to LED-technology in the future.

The theory section comprehends the basics of light and its quantities. It also deals with energy efficient lighting in office buildings and necessary components to achieve that efficiency considering SFS-EN-12464-1-2011 standards requirements.

The third part of thesis was to examine energy efficiency of lighting in Unions office building and it was based on facts given by the theory section and the database. The study was carried out by comparing two different office rooms and their lighting in electrical power consumptions point of view. The calculations were made using models given by National Building Code of Finland D5-2007. DIALux lighting design software was also used to support the calculations. Based on the results of the study, improvement suggestions were made which can be applied to other premises as well.

The comparison between office rooms indicates that the room with modern lighting system consumes approximately 35 % less energy than the room with outdated system. A life cycle cost analysis proves that the repayment period of the modern lighting system is fairly short. The results of these calculations point out that there is a major energy saving potential in Parish Unions office building.

---

Key words: energy efficiency, office lighting, lighting control

## SISÄLLYS

LYHENTEET JA TERMIT .....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 VALAISTUS & ENERGIATEHOKKUUS.....	8
2.1 Rakennuksien energiankulutus .....	8
2.1.1 Asuin- ja palvelurakennusten kokonaisenergiankulutus.....	9
2.1.2 Valaistus ja toimistorakennusten sähköenergiankulutus.....	10
2.2 Valo ja valaistus.....	11
2.2.1 Valon perusteet .....	11
2.2.2 Valosuureet .....	13
2.2.3 Valaistussuunnittelu ja vaatimukset.....	16
2.3 Energiatehokkaat ratkaisut valaistuksessa .....	18
2.3.1 Valonlähteet .....	18
2.3.2 Valaisimet ja liitäntälaitteet.....	22
2.3.3 Valaistuksen ohjaus.....	24
2.3.4 Valaistuksen ohjausjärjestelmät.....	26
2.3.5 Ihmisten käyttötottumukset.....	29
3 VALAISIN- JA VALONLÄHDETIETOKANTA .....	31
3.1 Työn suunnittelu .....	31
3.1.1 Tietokannan tarve seurakuntayhtymässä .....	31
3.1.2 Vaatimukset .....	32
3.1.3 Kohteet .....	32
3.2 Työn vaiheet .....	33
3.2.1 Suunnittelu ja esivalmistelu .....	33
3.2.2 Toiminta kohteessa .....	33
3.2.3 Tietojen käsittely ja koostaminen.....	34
3.2.4 Lopullisen tietokannan luonti.....	34
3.3 Työn valmistuminen .....	34
3.3.1 Työn onnistumisen arviointi .....	35
3.3.2 Tietokannan käyttö ja hyödyntäminen SRK-yhtymässä.....	35
4 SRK-YHTYMÄN TOIMITALON VALAISTUS .....	36
4.1 Tutkimus ja tavoitteet .....	36
4.1.1 Kohteen esittely.....	36
4.1.2 Valaistusjärjestelmän nykytilanne .....	37
4.2 Laskenta.....	37
4.2.1 Uuden ja vanhan valaistusjärjestelmän vertailu.....	38
4.2.2 Elinkaarilaskenta.....	41
4.3 Parannusehdotukset ja päätelmät .....	42
5 POHDINTA.....	44
LÄHTEET.....	45
LIITTEET .....	47
Liite 1. Valaistuksen sähkönkulutuksen laskentamalli.....	47
Liite 2. SFS-EN-12464-1-2011 vaatimukset toimiston valaistukselle .....	49
Liite 3. DALI-järjestelmän periaatekuva.....	50
Liite 4. Valaisin- ja valonlähdetietokannan esimerkkisivu .....	51
Liite 5. DIALux-valaistuslaskennan tulokset uudelle huoneelle.....	52
Liite 6. DIALux-valaistuslaskennan tulokset vanhalle huoneelle.....	53
Liite 7. Elinkaarilaskennan tulokset .....	54

## LYHENTEET JA TERMIT

$\Phi$	Valovirta [lm] ilmaisee valonlähteen näkyvän valontuoton.
I	Valovoima [cd] kuvaa valonlähteestä säteilevän valon intensiteettiä.
L	Luminanssi [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ] ilmaisee kohdekappaleen pinnan valotiheyden eli pintakirkkauden.
$R_a$	Yleinen värintoistoindeksi, joka määrittää valonlähteen värintoisto-ominaisuuksia. Arvo välillä 0-100 % .
K	Kelvin. SI-järjestelmän yksikkö lämpötilalle. $K = ^\circ\text{C} + 273,15$
$T_{CP}$	Lampun ekvivalenttinen värilämpötila [K].
E	Valaistusvoimakkuus [lx].
$UGR_l$	Valaisimen häikäisyindeksi (Unified Glare Rating limit).
kWh	Kilowattitunti
DALI	DALI (Digital Addressable Lighting Interface) on kaksisuuntainen valaistuksen ohjaukseen käytettävä digitaalinen väyläratkaisu.
DSI	DSI (Digital Signal Interface) on yksisuuntainen digitaalinen valaistuksenohjausjärjestelmä.
LED	Light Emitting Diode. Sähkövirran vaikutuksesta valoa säteilevä puolijohdekomponentti.
PAR	Parabolic Aluminized Reflector. Lavavalaistuksessa käytetty valaisintyyppi.
KNX	Standardoitu väyläteknikka, jota voidaan käyttää monipuolisesti talotekniikan ohjaamiseen.
LON	Local Operating Network. Kenttäväyläteknikka, jota käytetään rakennusautomaatiossa.

## 1 JOHDANTO

Valaistus ja sen energiatehokkuus ovat eräät keskeisimmistä näkökulmista sähköisen talotekniikan koulutusohjelmassa, joten oli luonnollista, että opinnäyte tehtiin tästä aiheesta. Onnekasta taas oli se, että työn teettäjällä, Turun ja Kaarinan seurakuntayhtymällä, oli tarjota juuri aiheen raameihin sopiva opinnäytetyöaihe.

Seurakuntayhtymän kanssa opinnäytetyön sisältöä suunnitellessa sen yhdeksi tavoitteeksi asetettiin valaisin- ja valonlähdetietokannan luominen huolto- ja isännöintihenkilökunnan käyttöön. Tietokannan lisäksi toiseksi tavoitteeksi muodostui seurakuntayhtymän toimitalon valaistuksen nykytilan kartoittaminen energiataloudellisesta näkökulmasta ja tutkimus parannuksilla saavutettavista säästöistä.

Opinnäytetyön teoriaosiossa käsitellään valon perusteiden ja perussuureiden ohella energiatehokkaita ratkaisuja valaistuksessa, joita sovelletaan esimerkkien avulla pääosin toimisto- ja palvelurakennuksiin. Teoriaosuuden tavoitteena oli myös luoda pohja seurakuntayhtymän toimitalossa suoritetuille valaistuksen energiatehokkuustutkimuksille.

Turun ja Kaarinan seurakuntayhtymä on laaja organisaatio, johon kuuluu toimitalon ja neljäntoista kirkon lisäksi lukuisa määrä seurakuntakeskuksia, asuntoja ja muita kiinteistöjä. Pienillä muutoksilla energiatehokkuuden hyväksi on siis erittäin suuria taloudellisia vaikutuksia, jotka korostuvat pitkällä aikavälillä. Energiataloudellisuuden tavoittelussa osassa seurakuntayhtymän kiinteistöistä on jo siirrytty tai tullaan siirtymään lähitulevaisuudessa uusiin valaistustekniikoihin kuten LEDeihin. Lisäksi hehkulampusta on luovuttu jo lähes kokonaan ja ne on korvattu eri tyyppisillä purkauslamppuilla.

Energiatehokkuudelle on nykyajan rakentamisessa asetettu jo lukuisia vaatimuksia ja aiheesta on laadittu erilaisia standardeja ohjaamaan rakentamista vähemmän energiaa kuluttavaan suuntaan. Taloudellisuuden lisäksi valaistuksen vaikutusta työhyvinvointiin tutkitaan koko ajan lisää ja näistäkin aiheista on olemassa standardeja antamassa ohjeita ja vaatimuksia käytettäväksi valaistussuunnitteluun. Myös valon vaikutuksesta ihmisen biologisiin ominaisuuksiin tehdään jatkuvasti lisää tutkimuksia. Valaistusjärjestelmän saneerauksen vaikutukset näkyvät siis osaltaan myös sairauspoissaolojen määrän vähenemisenä ja sitä myötä saavutetaan lisäsäästöjä.

Tulevaisuudessa energiatehokkuusnäkökulma tulee olemaan yhä isommassa roolissa kaikessa rakentamisessa, oli sitten kyse uudis- tai korjausrakentamisesta. Energiatehokkuuden valvontaan tullaan myös kiinnittämään yhä enemmän huomiota EU-tasolta lähtien ja se pakottaa keskittämään ajatuksia myös rakennuksen käyttökustannuksiin, eikä pelkästään rakentamisesta aiheutuviin kuluihin.

## 2 VALAISTUS & ENERGIATEHOKKUUS

### 2.1 Rakennuksien energiankulutus

Jatkuvasti kiristyvät säädökset ja direktiivit liittyen energiankulutukseen ovat asettaneet valtiot tilanteisiin, joissa muutoksia on tehtävä. Esimerkiksi EU-tasolla säädetyt 2009/125/EY (ErP, Energy Related Products) sekä 2002/91/EY (EPBD, Energy Performance of Buildings) -direktiivit ohjaavat omalta osaltaan energiaa kuluttavien laitteiden valmistusta ja rakentamista. Euroopan komissio onkin laatinut energiatehokkuuden toimintasuunnitelman, jossa tavoitteeksi on asetettu 20 prosentin säästöt vuoteen 2020 mennessä. (Suomen Valoteknillinen Seura 2008, 5)

Valaistuksen osalta energiankulutuksen säästötoimiin on syytä, sillä Euroopassa kaikkien rakennusten osalta yli 60 prosenttia valaistusjärjestelmistä on toteutettu vanhalla tekniikalla, joka suorien ohjauskytkentöjen ja vanhoilla C-luokan liitäntälaitteilla toteutettujen loisteputkivalaisimien johdosta kuluttaa huomattavan paljon sähköenergiaa. Tarkasteltaessa pelkkiä toimistorakennuksia, voidaan todeta, että jopa 75 prosenttia niiden valaistusjärjestelmistä on energiatehottomia. (Suomen Valoteknillinen Seura 2008, 6)

Uudisrakennusten osalta Suomen rakentamismääräyskokoelma antaa määräyksiä ja ohjeita myös valaistukseen. Rakentamismääräyskokoelma D2-2012 ”Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto” määrää ja ohjeistaa, että ”rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeellä voidaan ylläpitää näkötehtävän edellyttämä valaistus käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti.” Se ohjeistaa myös, että valaistusjärjestelmä tulee toteuttaa siten, että valaistusta pystytään muuttamaan tilanteiden ja luonnonvalon määrän mukaisesti. (Suomen RakMK D2-2012)

Suomen RakMK D3-2012 ”Rakennusten energiatehokkuus” ohjeistaa, että uudet rakennukset on varustettava energiankäytön mittauksella tai mittausvalmiudella jaoteltuna energiamuodoittain (esim. valaistukseen kuluva energia). Kokoelman mukaan kaikissa muissa uusissa rakennuksissa, paitsi pienasuuntaloissa ja kerrostaloissa kiinteä valaistusjärjestelmä on varustettava sähkönkulutuksen mittauksella. (Suomen RakMK D3-2012)

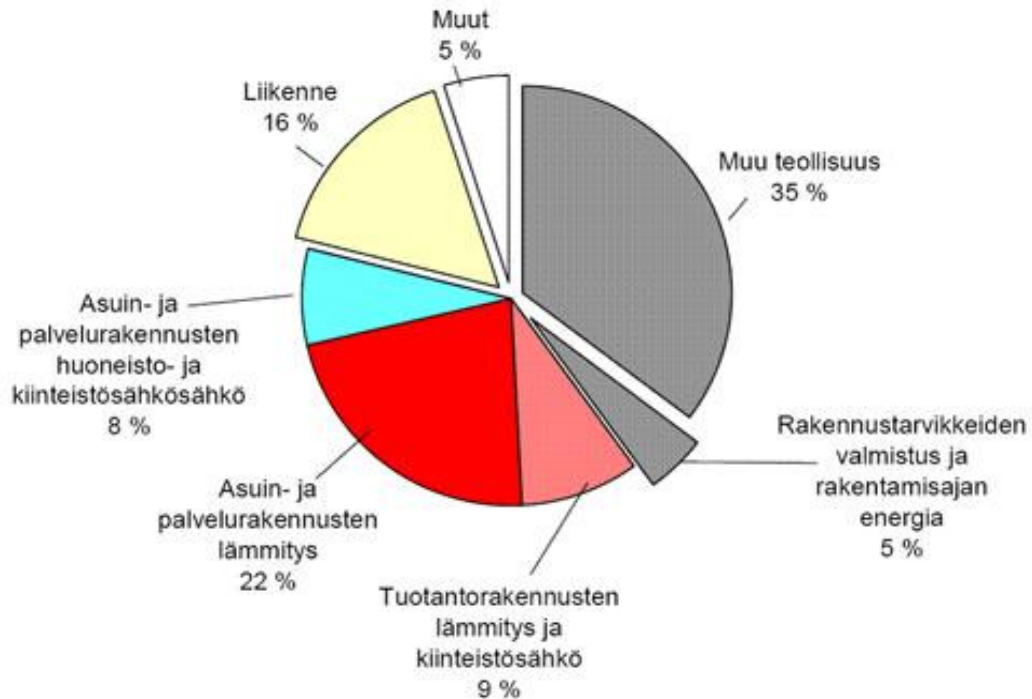


Suomen RakMK D5-2007 ”Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta” antaa ohjeita ja erilaisia laskentamalleja käytettäväksi uudisrakennusten ja saneerauskohteiden suunnittelussa. Määräyskokoelman dokumenteista saatavia tuloksia vaaditaan myös haettaessa uudisrakennukselle energiatodistusta. D5-2007 esittää valaistuksen sähkönkulutukselle laskentamallin, joka on esitetty liitteessä 1. Tämä malli ottaa huomioon myös mahdolliset valaistuksen ohjaukset, valaistushyötysuhteen ja valaistuksen alenemakertoimen. Valaistusjärjestelmän sähkönkulutuksesta saadaan sitä tarkempi arvio, mitä tilakohtaisemmin se suoritetaan. Laskenta voidaan suorittaa myös muulla tavalla, kuten laskemalla rakennukselle numeerinen valaistuksen energiatehokkuusindikaattori eli LENI-luku. (Suomen RakMK D5-2007, SFS-EN 15193-2008)

### **2.1.1 Asuin- ja palvelurakennusten kokonaisenergiankulutus**

Asuin- ja palvelurakennusten sähkö- ja lämmitysenergia kattavat merkittävän osan Suomen vuotuisesta kokonaisenergiankulutuksesta, joten pienetkin säästötoimet ovat osa huomattavaa muutosta kansallisella tasolla. Yhteenlaskettuna tämä kulutus muodostaa jopa 30 prosentin osuuden Suomen kokonaisenergiankulutuksesta. Kuvassa 1. on esitetty Suomen energiankulutuksen jakauma. (Matalaenergiarakentaminen 2009)

## Energiankulutuksen jakauma Suomessa

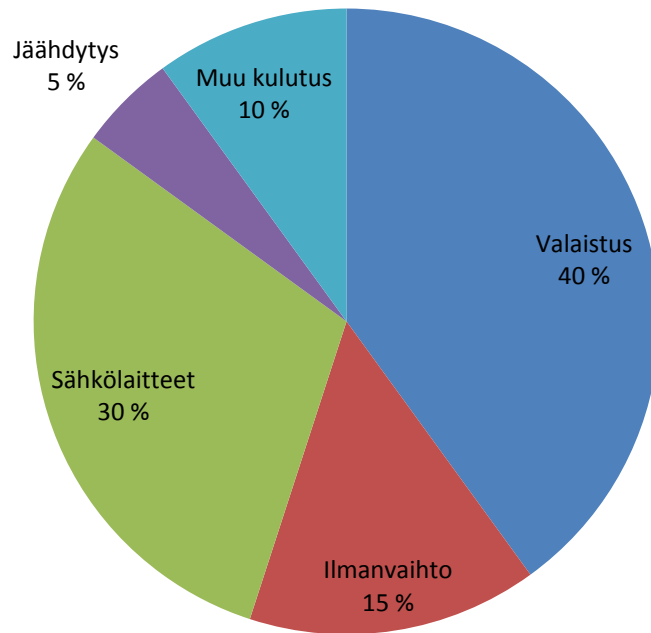


KUVIO 1. Energiankulutuksen jakauma Suomessa. (Matalaenergiarakentaminen 2009)

Toimistot luetaan palvelurakennuksiin ja niiden energiankulutus voidaan jakaa osiin, joista suurimmat ovat valaistus, lämmitys, ilmanvaihto sekä erilaiset sähkölaitteet, toimistotiloissa pääosin tietokoneet ja AV-laitteet.

### 2.1.2 Valaistus ja toimistorakennusten sähköenergiankulutus

Valaistuksen osuus rakennuksen sähkönkulutuksesta on hyvin merkittävä ja Euroopan pohjoisemmissa maissa jopa puolet toimistorakennusten sähkönkulutuksesta aiheutuu valaistuksesta. Koko maailman tasolla vastaava luku on noin 20 prosenttia. Valaistus tarjoaa myös suuren säästöpotentiaalin, sillä nykyisin esimerkiksi vain harvoissa toimistorakennuksissa on käytössä nykyaikainen ja energiatehokas valaistusjärjestelmä. Sähköenergiankäytön jakaumaa toimistorakennuksessa on esitetty kuviossa 2. (Varsila 2008, 24)



KUVIO 2. Sähköenergiankäytön jakautuminen toimistorakennuksissa.

## 2.2 Valo ja valaistus

Historiallisesti tärkein valontuottaja on ollut tietysti aurinko ja sen lisäksi tuli eri muodoissaan. Keinovalo kehitettiin aikoinaan mahdollistamaan työnteko paikoissa, joihin ei ollut saatavilla luonnonvaloa tai mahdollistamaan työskentely myös yöaikaan. Valon päätehtävä oli tuohon aikaan siis näkyvyyden varmistaminen. Tarpeet valon määrän, suunnan sekä värin hallitsemiselle ja säätämiselle syntyivät vasta myöhemmin. (Teatterimuseo 2012)

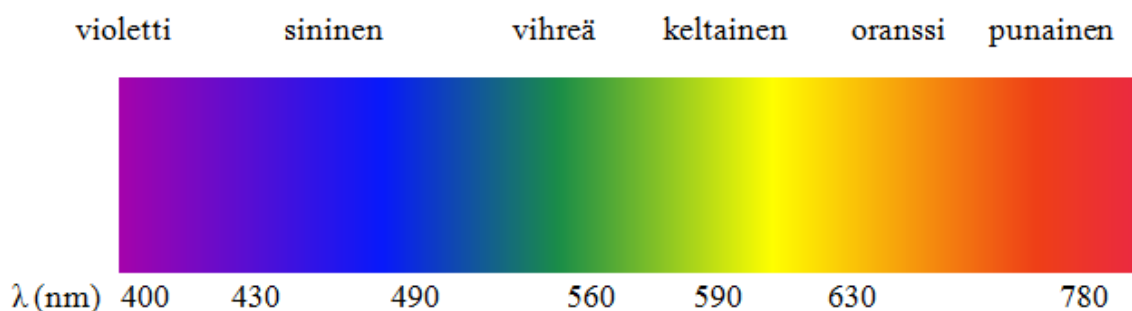
### 2.2.1 Valon perusteet

Valo käsitteenä tarkoittaa nähtävissä olevaa sähkömagneettista säteilyenergiaa. Sähkömagneettisen säteilyn spektrissä (kuvio 3.) tämä ns. näkyvä valo edustaa aallonpituuden aluetta 400-780 nm. Valaistustekniikan kannalta merkittäviä alueita spektrissä ovat myös ultraviolettisäteily sekä infrapunasäteily. Tavallisesti valo jaetaan määritelmiin näkyvä ja aistittu valo. Valoa määrittelemään on kehitetty useita valosuureita, joista tärkeimmistä lisää edempänä. (Halonen & Lehtovaara 1992, 25-30)

$\lambda$ (m)	$10^{-14}$	kosmiset säteet
		gammasäteet
	$10^{-8}$	röntgensäteet
	$4,0 \cdot 10^{-7}$	ultraviolettisäteily
	$7,8 \cdot 10^{-7}$	näkyvä valo
	$10^{-5}$	infrapunasäteily
		mikroaallot
		televisio ja FM-radio
		AM-radio
	$10^6$	sähköjaku

KUVIO 3. Sähkömagneettisen säteilyn spektri ja aallonpituudet. (Halonen & Lehtovaara 1992, 29)

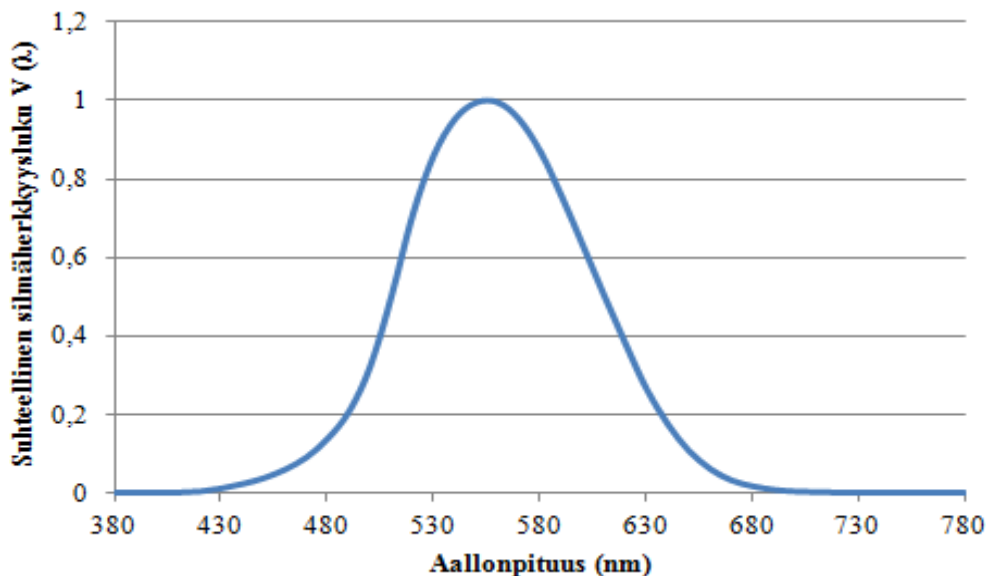
Näkyvän valon spektri on jaettu kuuteen perusväriin, jotka ovat järjestyksessä lyhyimmästä aallonpituudesta pisimpään violetti, sininen, vihreä, keltainen, oranssi ja punainen. Värien jakautuminen ja säteilyn aallonpituudet on esitetty kuviossa 4. Kaikkia spektrin värejä täysin tasaisesti toistavaa valoa kutsutaan tasaenergiasektriseksi valkoiseksi valoksi. Mikään lampputyyppe ei tuota tasaenergistä valkoista valoa, vaan niiden tuottaman valon spektri painottuu joillekin värialueille. Erot saa parhaiten selville kokeilemalla valaista samaa pintaa rinnakkain eri valonlähteillä. (Halonen & Lehtovaara 1992, 25-30)



KUVIO 4. Näkyvän valon spektrin jakautuminen väreihin.

Ihmisen näköjärjestelmän herkkyys ei ole sama kaikille valon aallonpituuksille, vaan se on painottunut keltavihreälle alueelle. Näkemisen herkkyyttä havainnollistamaan on kehitetty silmän spektriherkkyyskäyrä, joka on esitetty kuviossa 5. Kuvioista voidaan

huomata, että muilla valon aallonpituuksien alueilla tarvitaan suurempi säteilyteho, jotta valoistimus olisi yhtä vahva kuin keltavihreällä valolla.



KUVIO 5. Silmän spektriherkkyys  $V(\lambda)$  näkyvän valon aallonpituuden funktiona.

### 2.2.2 Valosuureet

Valovirta  $\phi$  on valonlähteen valontuoton ilmaiseva suure, jonka yksikkö on lumen [lm]. Valovirta eli silmän spektriherkkyydellä painotettu valonlähteen näkyvän valon säteilyteho kertoo, kuinka paljon ihmissilmään näkyvää valoa valonlähde tuottaa. Lampun valovirta riippuu usein ympäristön lämpötilasta ja joissain tapauksissa myös lampun polttoasennosta. Valovirran laskeminen on esitetty kaavassa 1. (Halonen & Lehtovaara 1992, 35-36; Fagerhult Oy 2012, 429; Harsia 2009)

$$\phi = \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} K_m \cdot V(\lambda) \cdot \phi_{e,\lambda} d\lambda \quad (1)$$

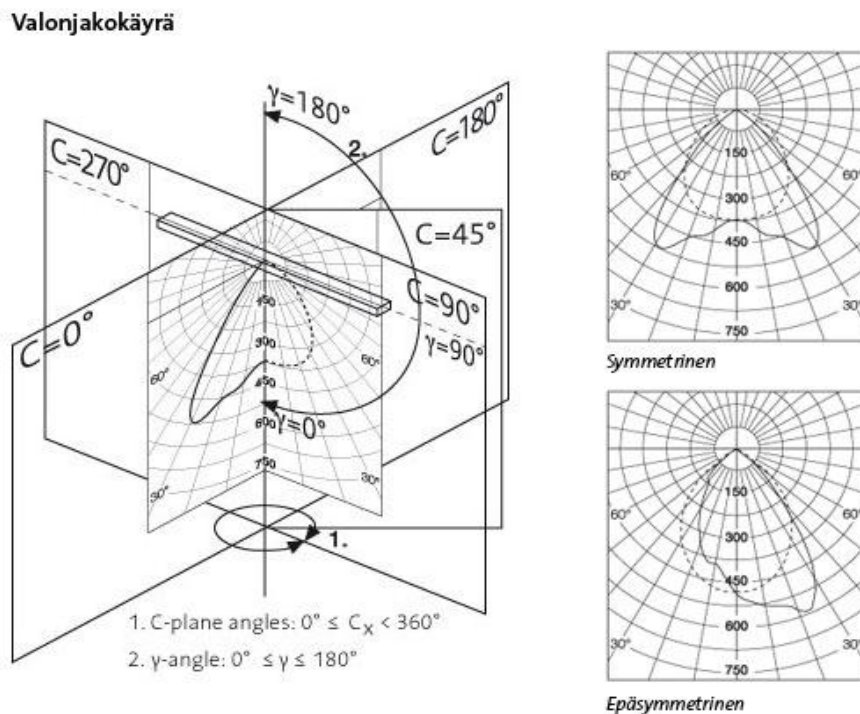
$K_m$  = valotehokkuusvakio ( $683 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$ )

$V(\lambda)$  = suhteellinen silmäherkkyysluku

$\phi_{e,\lambda}$  = säteilytehon spektriherkkyys ( $\frac{\text{W}}{\text{nm}}$ )

SI-järjestelmän perussuure, valovoima  $I$  kertoo millä intensiteetillä valonlähteestä lähtevä valo jakautuu eri suuntiin. Valaisimien yhteydessä käytetään yleensä termiä valonja-

ko, joka ilmoitetaan valonjakokäyrän avulla. Tyypillisessä valonjakokäyrässä valaisimen valovoima on ilmoitettu yhdessä tai useammassa tasossa napakoordinaatistossa. Esimerkki valonjakokäyrästä on esitetty kuviossa 6. (Fagerhult Oy 2012, 429)



KUVIO 6. Esimerkki symmetrisestä ja epäsymmetrisestä valonjakokäyrästä. (Fagerhult Oy)

Valovoiman yksikkö on kandela [cd] ja valonjakokäyrissä sen arvo ilmoitetaan muodossa cd/klm (kandeloita tuhatta lumenta kohti), joka helpottaa käyrien vertailua eri lamputyyppien kesken. Valovoima voidaan laskea kaavalla 2. (Fagerhult Oy 2012, 429; Harsia 2009)

$$I = \frac{d\phi}{d\omega} \quad (2)$$

$d\phi$  = valovirta [lm]

$d\omega$  = avaruuskuuma [sr]

Valaistusvoimakkuus  $E$  on valaistusjärjestelmän suorituskyvyn mittari, joka määrittelee kuinka paljon tietylle pinnalle saadaan tilan valaisimista valoa. Koska vasta pinnoilta

heijastuva valo on ns. näkyvää valoa, ei valaistusvoimakkuutta voi nähdä kuitenkaan suoraan. Valaistusvoimakkuus on siitä huolimatta valaistussuunnittelussa usein valon määrällisen suunnittelun perusta. Valaistusvoimakkuuden mittaamiseen käytetään yksikkönä luksia [lx], joka toisin sanoen tarkoittaa lumenia neliömetriä kohden ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ). Valaistusvoimakkuus noudattaa käänteistä neliölakia, jonka mukaan etäisyyden kasvaessa kaksinkertaiseksi, putoaa valaistusvoimakkuus neljäsosaan alkuperäisestä. Valaistusvoimakkuuden yhtälö tietylle pinnalle on esitetty kaavassa 3. (Fagerhult Oy 2012, 429; Harsia 2009)

$$E = \frac{\phi}{A} \quad (3)$$

$\phi$  = valovirta [lm]

$A$  = tarkasteltavan pinnan pinta-ala

Luminanssi  $L$  määrittää tarkasteltavan kohteen pinnan valotiheyden eli pintakirkkauden. Luminanssi on valosuureista ainoa, jonka ihmissilmä havaitsee ja mitä suurempi pinnan luminanssi on, sitä kirkkaammalta pinta näyttää. Luminanssin yksikkönä käytetään kandela per neliömetri [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ] ja se saadaan laskettua pinnan heijastumissuhteen ja valovoiman avulla (kaava 4.). (Fagerhult Oy 2012, 429-430; Harsia 2009)

$$L = \frac{dI}{dA} \quad (4)$$

$dI$  = valovoima katselusuunnasta

$dA$  = pinnan pinta-alan projektio katsesuuntaan

Luminanssieroja kutsutaan kontrasteiksi ja näkeminen perustuukin silmän aistimiin kontrasti- ja värieroihin. Näistä kahdesta luminanssiero on merkittävämpi näkemisen kannalta. 100 prosentin (1,0) kontrasti voidaan saavuttaa, kun näkökohde on täysin musta ja tausta taas täysin valkoinen. Tätä suhdetta havainnollistetaan kuviossa 7. Työskennellessä olosuhteissa, joissa näkökohde ja tausta ovat molemmat joko tummia, tai vaaleita, tarvitaan hyvää valaistusvoimakkuutta, jotta näkyvyys olisi riittävä. (Harsia 2009; Halonen & Lehtovaara 1992, 395-396)



KUVIO 7. Näkökohteen ja taustan vaikutus kontrastiin.

### 2.2.3 Valaistussuunnittelu ja vaatimukset

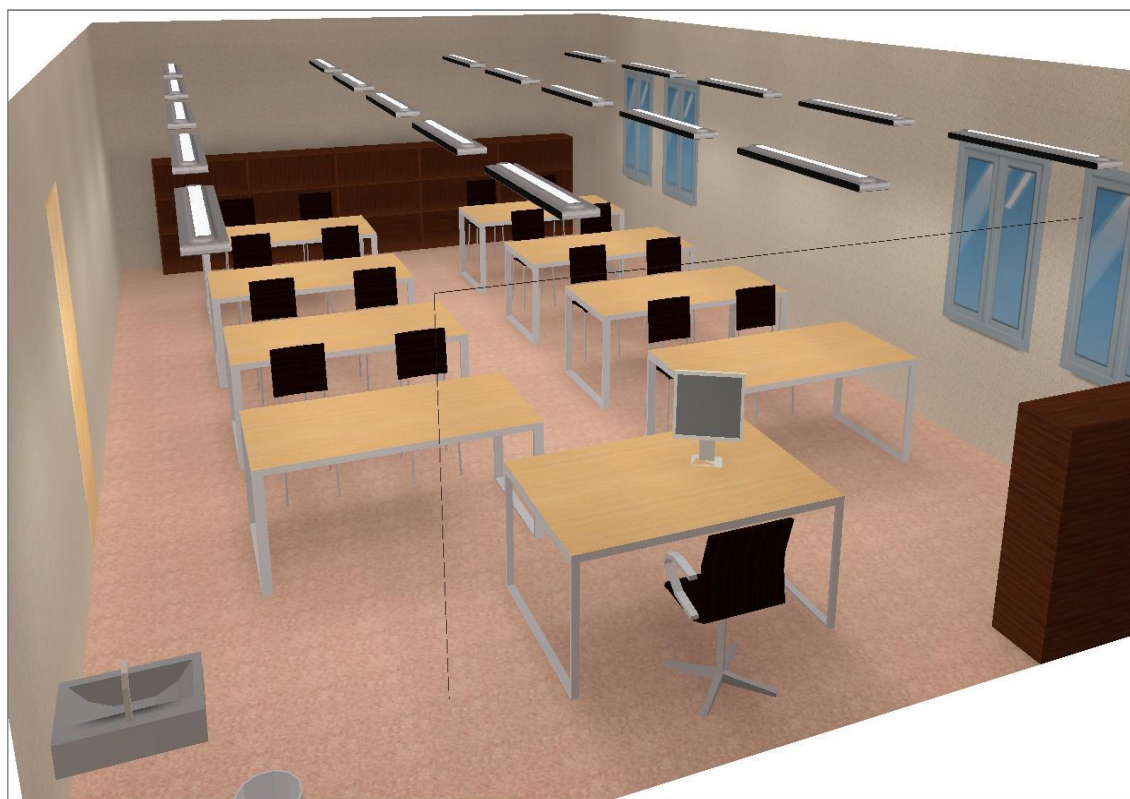
Nykyajan rakennusprojektissa valaistussuunnittelun tulisi alkaa ajoissa hankkeen alkuvaiheessa ja kulkea käsi kädessä muiden suunnitteluosa-alueiden kanssa läpi koko hankkeen. Tehokkaalla valaistussuunnittelulla pyritään lopputulokseen, jossa yhdistyvät tarpeenmukainen, energiatehokas ja ennen kaikkea vaatimukset täyttävä valaistus. Valaistuksella ja valaistussuunnittelulla on myös erittäin suuri rooli tilojen lopullisessa visuaalisessa ilmeessä ja sen muokattavuudessa.

Ohjeita ja erityisvaatimuksia erilaisten tilojen valaistukselle asettavat työturvallisuuslaki 738/2002 34 § ”Työpaikan valaistus” sekä äskettäin uudistunut yhteiseurooppalainen standardi SFS-EN 12464-1-2011 ”Sisätilojen työkohteiden valaistus”. Työturvallisuuslaki määrää sanallisesti, että työpaikan valaistuksen tulee olla työn edellyttämä ja työntekijöiden edellytysten mukainen sopiva ja riittävän tehokas. Standardi taas määrittelee saman asian tarkemmin antaen eri tiloille ohjeita ja vaatimusarvoja. Uusittu standardi jakaa kohteen kolmeen eri alueeseen, jotka ovat työskentelyalue, välitön lähialue ja tausta-alue. Näille alueille se antaa ohjearvoja esimerkiksi valaistusvoimakkuudelle  $\bar{E}_m$ ,  $UGR_L$ -häikäisyindeksille, värintoistoindeksi  $R_a$ :lle ja valaistusvoimakkuuden tasaisuudelle  $U_o$ . Uudistuksina vanhaan standardiin ovat myös seinien ja kattojen minimivalaistusvoimakkuuden vaatimukset, päivänvalon merkityksen huomioiminen, sylinterivalaistusvoimakkuuden vaatimukset, sylinteri- ja vaakataso valaistusvoimakkuuden suhteen eli muodonannon vaatimukset ja tarkennukset valaistusvoimakkuuden tasaisuuteen. Standardin antamat vaatimusarvot toimistotilalle, jossa tehdään näyttöpäätetyötä ovat:  $\bar{E}_m=500lx$ ,  $UGR_L=19$ ,  $R_a=80$  ja  $U_o=0,4-0,7$ . Esimerkki standardin vaatimustaulukosta 5.26 on esitetty liitteessä 2. Ohjeet työskentelyalueen, välittömän lähiympäristön ja kaukoympäristön määrittämiseen löytyvät myös standardista. Lisäksi standardi määrit-



telee näyttöpäätetyölle lisävaatimuksia, kuten valaisimien luminanssirajoja sekä heijastumien muodostumisen ehkäisyä. (SFS-EN 12464-1-2011)

DIALux-valaistuslaskentaohjelma on erittäin hyvä työkalu nykyaikaisessa valaistus suunnittelussa. Sen avulla voidaan virtuaalisesti mallintaa suunniteltava tila pintoineen ja kalusteineen sellaisena, kuin se tulee rakennettuna olemaan. Sen jälkeen tilaan valitaan ja sijoitetaan valmistajien tarjoamista tietokannoista suunnitellut valaisimet, jotka on ohjelmoitu vastaamaan arvoiltaan ja ominaisuuksiltaan oikeita valaisimia. Tämän jälkeen DIALux laskee tilaan sekä määritetyille työalueille arvoja mm. valaistusvoimakkuudelle, häikäisylle, valaistuksen tasaisuudelle, luminanssille ja valaistuksen kulluttamalle teholle. Näitä arvoja vertaillaan standardin asettamiin vaatimusarvoihin ja tehdään muutoksia tarvittaessa. Kuvassa 1 on esitetty DIALuxilla visualisoitu luokkahuoneen valaistus käyttäen Fagerhultin Avion valaisimia.



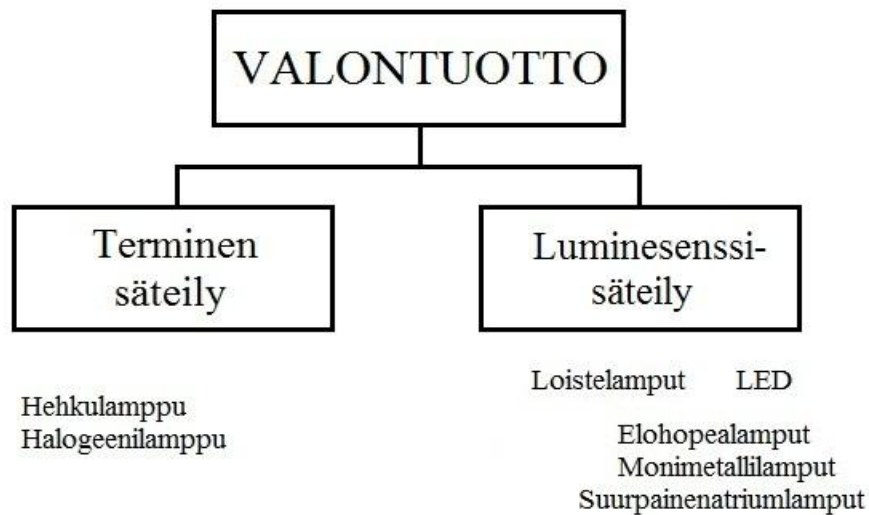
KUVA 1. DIALux-ohjelmalla suunniteltu ja visualisoitu luokkahuonetilan valaistus.

## 2.3 Energiatehokkaat ratkaisut valaistuksessa

Valaistusjärjestelmää voidaan parantaa esimerkiksi käyttämällä uusinta valonlähde- ja valaisintekniikkaa, tehostamalla valaistuksen ohjausta läsnäolotunnistimilla ja vakiovalo-ohjauksilla sekä hyödyntämällä tehokasta valaistussuunnittelua. Näillä toimenpiteillä pystytään pienentämään toimistorakennuksen sähkönkulutuksen valaistuksen osuutta jopa 50-70 prosenttia verrattuna vanhaan, suorilla ohjauskytkennöillä ja konventionaalisilla liitäntälaitteilla toteutettuun järjestelmään. Valaistusjärjestelmän uusiminen saattaa vaikuttaa myös pienentävästi rakennuksen jäähdytyskustannuksiin, koska uuden järjestelmän hyötysuhde on hyvä. Korkean hyötysuhteen myötä valaistukseen syötetty sähköteho ei muutu hukkalämmöksi lämmittämään rakennusta. Tämä ilmiö täyty kuitenkin myös huomioida mahdollisessa lämmitystehon tarpeen nousussa. Joka tapauksessa valaistusjärjestelmän uusiminen on viisasta ja investointi maksaa itsensä takaisin aina suhteellisen nopeasti. (Varsila 2008, 26-27)

### 2.3.1 Valonlähteet

Eri lampputyyppeiden energia- ja valotehokkuudessa on merkittäviä eroja. Myös muut ominaisuudet, kuten värintoisto, himmennettävyys ja syttymisnopeus tulee ottaa huomioon valittaessa käyttötarkoitukseen ja tilaan sopivia valonlähteitä. Lamput jaotellaan yleisesti valontuotto-ominaisuuksien mukaan termisiin säteilijöihin ja luminanssisäteilijöihin. Tätä jaottelua on esitetty kuviossa 8. Seuraavissa kappaleissa on käsitelty tavallisimpien valonlähteiden ominaisuuksia, vahvuuksia ja heikkouksia. (Harsia 2009)



KUVIO 8. Lampputyypien jaottelu valontuoton mukaan. (Harsia 2009, muokattu)

Hehkulamppu on valonlähteistä käytetyin ja tunnetuin, mutta nykyään se on poistumassa käytöstä osana EU:n energiatehokkuusohjelmaa. Uusia hehkulamppuja ei saa enää toimittaa Euroopan markkinoille, mutta niitä saattaa vielä löytyä kauppojen hyllyiltä. Hehkulampun valontuotto perustuu hehkulangan kuumentamiseen sähkövirran avulla. Hehkulanka kuumenee noin 2600-2700 K lämpötilaan ja alkaa säteillä näkyvää valoa. Hehkulamppu ei ole kovin energiatehokas vaihtoehto, sillä suurin osa sen kuluttamasta energiasta muuttuu lämpösäteilyksi. Hehkulampun hyviä puolia ovat kuitenkin hyvä värintoisto, edullisuus ja helppo himmennettävyys eikä se vaadi valaisimelta erillistä liitäntälaitetta. Hehkulampun ominaisuuksia on vertailtu muiden valonlähteiden kanssa taulukossa 1. (Harsia 2009)

Halogeenilamput ovat toimintaperiaatteeltaan kuin hehkulamput, mutta niiden kuvun sisässä on ns. halogeenikierto, joka estää hehkulangan kulumista. Tästä johtuen halogeenilampun hehkulanka voidaan kuumentaa korkeampaan lämpötilaan kuin hehkulamppu, joten sen valon väriominaisuudet ovat paremmat. Halogeenilampun polttoikä on 2000-4000 tuntia, joka on parempi verrattuna hehkulampun 1000 tuntiin. Halogeenilamppuja on verkko- ja pienoisjännitteisiä, joista jälkimmäiset ovat tyypillisesti spotti- ja detaljivalaistuskäytössä. Molemmat halogeenityypit ovat himmennettäviä. Halogeenilamppujen huonoiksi puoliksi luetaan suuri energiankulutus verrattuna valontuottoon, suuri lämmöntuotto ja melko lyhyt elinikä. Halogeenilamppu ei ole hehkulampun tavoin kovin energiatehokas vaihtoehto ja tulevaisuudessa LED-lamput tulevat

korvaamaan niitä spotti- ja ”valonheitin” –tyyppisissä ratkaisuisa. Halogeenilampun ominaisuuksia on vertailtu muiden valonlähteiden kanssa taulukossa 1. (Harsia 2009)

Loisteputki on ylivoimaisesti käytetyin lampputyypin palvelurakennuksissa ja sen toiminta perustuu putken sisällä elohopeakaasussa tapahtuvaan sähköpurkaukseen elektrodien välillä. Tästä syntyvä UV-säteily muuttuu putken sisäpinnan loisteainekerroksessa näkyväksi valoksi. Loisteputket tarvitsevat aina toimiakseen sytyttimen ja virranrajoittimen eli kuristimen. Uusissa valaisimissa käytetyt elektroniset liitäntälaitteet sisältävät kyseiset komponentit ja ovat huomattavasti energiataloudellisempia kuin vanhat konventionaaliset liitäntälaitteet. Loisteputkia on tällä hetkellä käytössä lähinnä kahta erilaista tyyppiä, jotka ovat T8 ja T5. T8 on vanhempi 26 mm paksu loisteputki, jota käytetään paljon vanhoissa konventionaalisilla liitäntälaitteilla toteutetuissa valaisimissa. Uudemmat, tehokkaammat ja kompaktimmat T5-loisteputket ovat 16 mm paksuja valonlähteitä, jotka toimivat vain uudemmissa, elektronisilla liitäntälaitteilla varustetuissa valaisimissa. Uudet, elektronisia liitäntälaitteita käyttävät T5-loisteputket yhdistettynä uusien valaisimien hyvään optiikkaan ovat selkeästi energiatehokkain valaisinratkaisu toimistotiloihin. T8-loisteputkilla toimivia valaisimia toteutetaan myös elektronisilla liitäntälaitteilla, jolloin erot T5-valaisimeen pienenevät. Tässä tapauksessa T5-putken etu on kuitenkin sen pienempi fyysinen koko, joka mahdollistaa tehokkaamman optiikan suunnittelun.

Pienikokoisiin valaisimiin on olemassa pienoiskoisloistelamppuja, jotka ovat loisteputkia pienoiskoossa. Yleensä pienoiskoisloistelamput vaativat valaisimelta vastaavat liitäntäkomponentit kuin pitkät loisteputketkin ja ne ovat hyvin yleisiä moderneissa downlight-valaisimissa. Loisteputket ja pienoiskoisloistelamput sietävät erittäin hyvin himmentämistä, mikäli niitä ohjaava liitäntälaitte on varustettu himmennysominaisuudella. T5-loisteputken ja pienoiskoisloistelampun ominaisuuksia on vertailtu muiden valonlähteiden kanssa taulukossa 1. (Harsia 2009)

Muut purkauslamput, kuten elohopea-, monimetalli- ja suurpainenatriumlamput ovat suosittuja ulko- ja katuvalaistuksessa sekä tiloissa, joissa tarvitaan todella paljon valoa (esim. teollisuushallit, myymälät yms.). Ne tuottavat paljon valoa hyvällä valotehokkuudella ja ovat samalla pitkäikäisiä. Purkauslamput tarvitsevat toimiakseen virranrajoittimen sekä joissain tapauksissa myös sytyttimen. Niitä ei myöskään suositella himmennettäväksi, mutta himmennettäviä malleja on olemassa. Purkauslamput ovat usein

suuritehoisia, mutta niillä on samalla korkea hyötysuhde pois lukien vanhat elohopeapurkauslamput, joista ollaan siirtymässä pois. Uudemmat monimetalli- ja suuripainenatriumlamput ovat energiatehokkaita ja tulevaisuudessa ne korvaavat vanhat elohopeapurkauslamput esimerkiksi katuvalaistuksessa. Purkauslamppujen ominaisuuksia on vertailtu muiden valonlähteiden kanssa taulukossa 1. (Harsia 2009)

Energiansäästölamppuiksi kutsutaan vanhojen valaisinten E27- ja E14-kantoihin sopivia pienitehoisia ja pitkäikäisiä lamppeja, jotka on tarkoitettu korvaamaan poistuvia hehkulamppuja. Energiansäästölamput ovat loistelamppuja pienoiskoossa, joissa on sisäänrakennettuna tarvittavat liitäntälaitteet. Näillä lampeilla saadaan tuotettua hehkulampan valontuottoa vastaava määrä valoa noin 80 prosenttia pienemmällä teholla. Energiansäästölampan ominaisuuksia on vertailtu muiden valonlähteiden kanssa taulukossa 1. Korvatta hehkulamppuja energiansäästölampeilla, tulee valmistajan sivuilta tarkistaa lampulle asetetut mahdolliset rajoitukset käyttöpaikan, -tavan ja himmennettävyyden suhteen. (Harsia 2009)

LED on nimensä mukaisesti valoa tuottava diodi ja sen toiminta perustuu elektroluminesenssiin, jossa aineessa syntyy säteilyä, tässä tapauksessa näkyvää valoa, sähkövirran vaikutuksesta. Tästä ilmiöstä johtuu myös LEDin valon kapea spektri sekä huonot värintoisto-ominaisuudet. Näitä ominaisuuksia voidaan parantaa sisällyttämällä yhteen yksikköön useita eri loisteaineilla käsiteltyjä LED-komponentteja. LEDin vahvuudet ovat sen pitkässä polttoikässä ja pienessä energiankulutuksessa. Tulevaisuudessa LED tulee yleistymään paljon rakennusten valaisemisessa ja tällä hetkellä sitä käytetään jo paljon mm. hätävalaistuksessa sekä erilaisissa pienissä ja suurissa kohdevaloratkaisuissa. LED on erittäin energiatehokas, mutta vielä toistaiseksi kallis ratkaisu. LEDin ominaisuuksia on vertailtu muiden valonlähteiden kanssa taulukossa 1. Esimerkkinä Turun ja Kaarinan SRK-yhtymä on koekäyttämässä 10 W LED-lamppuja korvaamassa vanhoja 75 W halogeenilamppuja erilaisissa kohdevalaisimissa. Tässä esimerkissä yhden LED-lampan hinta on lähes kymmenkertainen verrattuna halogeenilamppuun, mutta toisaalta luvattu palamis aika on viisinkertainen (15000 h vs. 3000 h). (Harsia 2009)

TAULUKKO 1. Eri valonlähteiden ominaisuuksien vertailua. (Harsia 2009; Philips 2012)

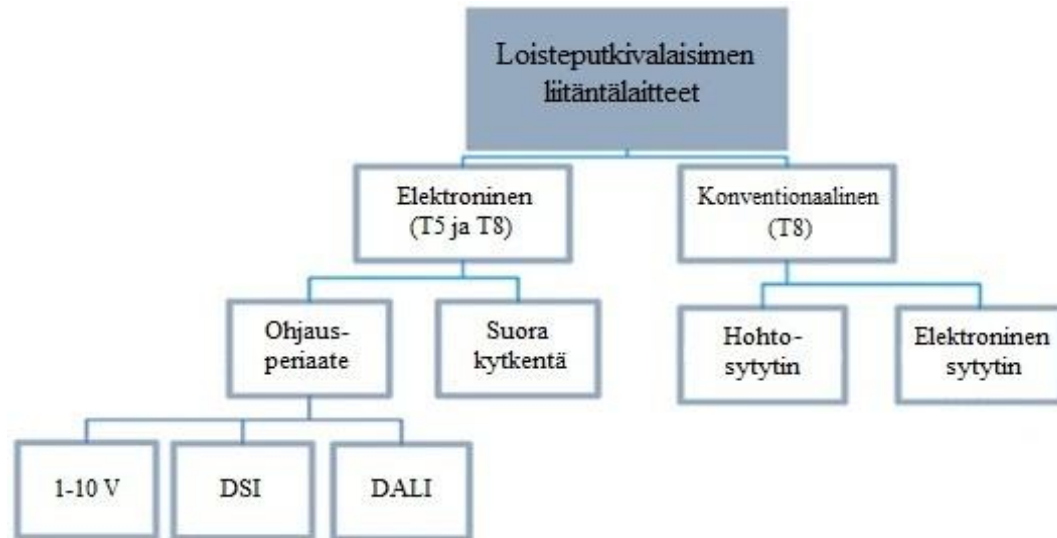
Valonlähde	Valotehokkuus (lm/W)	Valovirta (lm)	Elinikä (h)	Värintoisto- indeksi (R <sub>a</sub> )	Ekvivalenttinen värilämpötila (K)
Hehkulamppu	6-15	50-1500	1000	100	2700
Halogeenilamppu	12-25	60- <100000	300-2000	10-100	2700-3200
Loisteputki (T5)	100	1000-9000	10000-20000	80-90	2700-17000
Pienloistelamppu	50-70	600-2000	7000-13000	80-90	2700-6500
Energiansäästölamppu	40-65	600-2300	15000-20000	70-80	2700-6500
LED-lamppu	40-90	400-800	15000-45000	80	2200-3000
Natrium- ja monimetalli- lamput	60-200	500- <1000000	10000-20000	20-95	1800-9300

### 2.3.2 Valaisimet ja liitäntälaitteet

Hyvän energiataloudellisuuden tavoittelussa valaisinten rakenteeseen kannattaa kiinnittää huomiota muiden asioiden ohella. Valaisimen optiikan tarkoituksena on ohjata valonlähteestä säteilevä valo mahdollisimman tehokkaasti haluttuun suuntaan ja estää samalla valon säteily sopimattomiin paikkoihin. Valon säteilyä voidaan optisesti ohjata heijastuksen, taittumisen, polarisoinnin, interferenssin eli valon vahvistumisen tai heikentymisen, taipumisen, hajaantumisen, leviämisen tai näiden yhdistelmien avulla. Valaisimen häikäisy suojaus ja optiikan hyötysuhde vaikuttavat voimakkaasti valaisimen kokonaishyötysuhteeseen. Esimerkkinä Fagerhult käyttää uusissa valaisimissaan heijastinmateriaalina metalloitua alumiinia, jonka heijastussuhde on yli 92 prosenttia. Käytettäessä valonlähteenä T5-loisteputkea sekä laadukasta optiikkaa toteutettuna hyvällä heijastinmateriaalilla, voidaan saavuttaa noin 35 prosentin parannus valotehokkuudessa verrattuna vanhaan T8-loisteputkella varustettuun konventionaalisella liitäntälaitteella toteutettuun valaisimeen. (Fagerhult Oy 2012, 453-454; Rea & IESNA, 27-29)

Eri tilojen käyttötarkoituksista johtuen valaisimet likaantuvat ajan myötä enemmän tai vähemmän, mikä vaikuttaa niiden valaistusominaisuuksiin heikentävästi. Valonlähteet myös kuluvat käytössä ja niiden valovirta pienenee. Standardin SFS-EN 12464-1-2011 vaatimusten tulee kuitenkin toteutua, vaikka lamput ja valaisimet olisivat likaantuneita ja kuluneita. Tästä johtuen valaistussuunnittelussa käytetään valaistusvoimakkuudelle alenemakerrointa eli toisin sanoen valaistus ylimitoitetaan. Huolehtimalla säännöllisesti valaisinten ja lamppujen huollosta, voidaan suunnittelussa käyttää pienempää alenemakerrointa, joka tarkoittaa energiatehokkaampaa valaistusta. (Varsila 2008, 26)

Loistelamppuja käyttävien valaisimien vaatimat liitännälaitetyypit jaetaan pääasiassa kahteen eri kategoriaan; uudempiin elektronisiin liitännälaitteisiin ja vanhoihin kuristintekniikkaa käyttäviin konventionaalisiin liitännälaitteisiin. Näistä vanhempaa ratkaisua on enää käytössä vanhoissa valaistusjärjestelmissä ja käytännössä kaikki uudet valaistusjärjestelmät toteutetaan elektronisilla liitännälaitteilla. Kuviossa 9. on havainnollistettu elektronisen liitännälaitteen ja kuristimen eroja sekä mahdollisten valaistuksenohjausjärjestelmien sopivuutta.



KUVIO 9. Loistelamppuvalaisimen mahdolliset liitännälaitteet. (Harsia 2009, muokattu)

Elektroninen liitännälaitte on hyvin energiatehokas monessakin suhteessa verrattuna vanhaan kuristintekniikkaan. Pienempien tehohäviöiden myötä elektroninen liitännälaitte pienentää valaisimen energiankulutusta noin 15-20 prosenttia parantamalla sen hyötysuhdetta sekä samalla lamppujen polttoikä pitenee noin 15 prosenttia. Elektronisella liitännälaitteella varustettujen valaisimien valo ei myöskään värise, jolla on pääosin positiivisia biologisia vaikutuksia henkilöstön vireystilaan ja työtehoon. Liitännälaitteen muita etuja ovat nopea ja välkkymätön valojen syttyminen, pienempi hukkalämmön tuotto sekä monipuoliset valaistuksenohjausmahdollisuudet. Elektroniset liitännälaitteet vähentävät myös osaltaan valaisimien sähköverkkoon aiheuttamia harmonisia yliaaltoja, joten verkosta tulee vakaampi. (Fagerhult Oy 2012, 456-457, Philips 2004, 8-9)

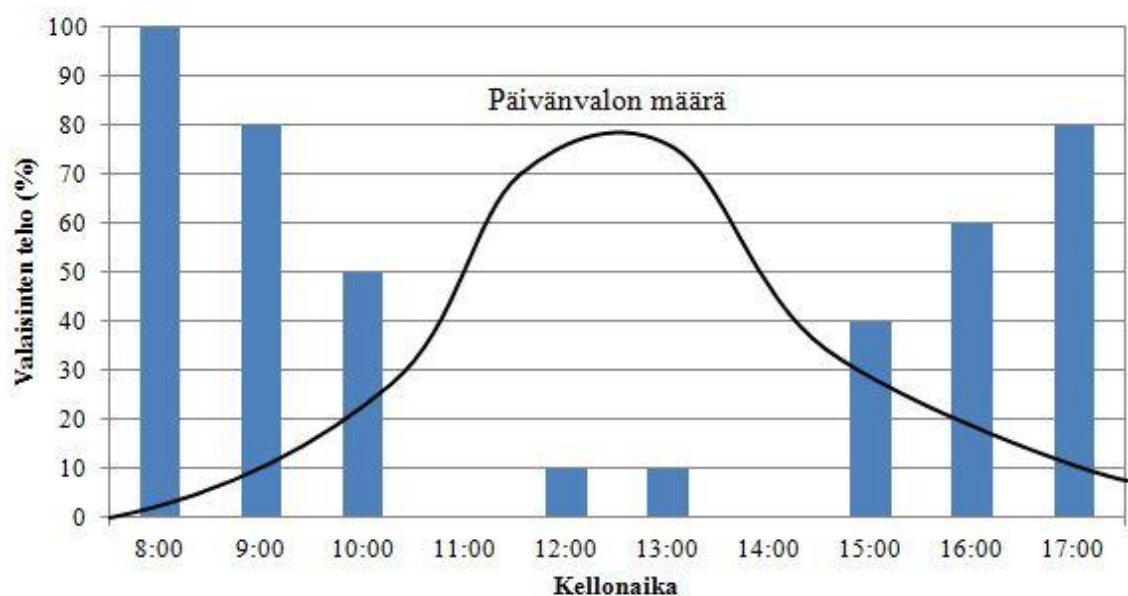
### 2.3.3 Valaistuksen ohjaus

Valaistuksen ohjaus on tullut tärkeäksi osaksi nykyistä valaistusjärjestelmää parantaen sen käytettävyyttä ja energiatehokkuutta. Nykyaikaisissa toimisto- ja liikerakennuksissa on usein tiloja, joilla on monia eri käyttötarkoituksia ja useimmat niistä vaativat erilaisia asioita tilan valaistukselta. Yhden valaistusjärjestelmän on siis mukauduttava monien eri käyttäjien mieltymysten ja tarpeiden mukaiseksi. Tilan valaistuksen ohjaustarpeet voidaan jakaa pääasiassa kolmeen ryhmään, jotka ovat toiminnalliset, esteettiset ja energiaa säästävät ohjaustarpeet. Toiminnallisuus tarkoittaa valaistusjärjestelmän muokautuvuutta erilaisten käyttäjien tai käyttötilanteiden tarpeiden mukaisiksi. Esteettiset valonohjaustarpeet taas juontavat juurensa erilaisista esityksistä, kuten teattereista ja konserteista, joissa valaistuksella vaikutetaan katsojien elämyksiin visuaalisesti. Valaistuksella voidaan myös korostaa tietyn tilan tai siellä olevien asioiden esteettistä ilmettä ja näin vaikuttaa esimerkiksi asiakkaiden kulutustottumuksiin. Viimeisenä ovat energiaa säästävät ohjaustarpeet, jotka ovat nousemassa yhä suurempaan rooliin nykyajan rakennuksissa. Ohjausjärjestelmällä voidaan varmistaa tilaan valaistuksen tarpeenmukainen ohjaus ja sopiva valaistusvoimakkuus käyttäen hyväksi luonnonvaloa ja läsnäolotietoja. Tällä varmistetaan, ettei tiloja valaista turhaan tai turhan voimakkaasti. (Varsila 2010, 1-6)

Eräs toimintaperiaatteeltaan yksinkertainen, mutta samalla tehokas valaistuksen ohjauskeino on ohjaus läsnäolon perusteella. Tässä ohjauksessa tilaa tarkkaillaan erilaisten ilmaisimien avulla, jotka rekisteröivät tilassa tapahtuvaa toimintaa liikkeen, äänen tai lämmön perusteella. Jos ilmaisin ei havaitse tietyllä säädettävällä ajanjaksolla mitään toimintaa tilassa, se sammuttaa valaisimet tai laskee valaistuksen halutulle tasolle. Sensorien herkkyyttä voidaan tavallisesti säätää tilan käyttötarkoituksen mukaan. Sisävalaistuksessa tarvitaan herkempiä asetusarvoja, jotta esimerkiksi tietokoneella työtä tekevän ihmisen liikkeet huomioidaan, kun taas ulkovalaistuksessa riittää pienempikin herkkyys. Sensoria, jossa on yhdistetty useita toimintoja, kuten esimerkiksi vakiovalo ja läsnäolo-ohjaus kutsutaan multisensoriksi. Useat valmistajat myyvät myös ns. PIR-valaisimia, joissa on sisäänrakennettu läsnäolo-ohjaussensori ja ne voidaan asentaa sellaisenaan vanhojen valaisimien tilalle. Ne ovat erittäin hyviä ratkaisuja esimerkiksi yleisiin WC-tiloihin tai varastoihin, joissa ei välttämättä asioida usein. (Varsila 2010, 5-8)



Vakiovalo-ohjauksella tarkoitetaan ohjaustapaa, jossa tilan valaistusvoimakkuutta säädetään päivänvalon määrän mukaan. Päivänvalon määrää tarkkailee tilaan tai valaisimeen asennettava valoanturi, jonka herkkyyttä voi usein säätää. Vakiovalo-ohjaus on energiataloudellinen ohjauskeino, sillä esimerkiksi kirkkaana kesäisenä päivänä tilan ikkunoista tulevan päivänvalon valaistusvoimakkuus voi olla niin suuri, että anturi säättää valaistuksen kokonaan pois päältä. Vakiovalo-ohjaus vaatii valaisimilta ohjattavia elektronisia liitäntälaitteita, jotta niiden valaistusvoimakkuutta voidaan säätää. Sääto tapahtuu 1-10 V jännitesignaalin tai digitaalisella ohjaussignaalin, mikäli käytössä on DALI tai jokin muu valaistuksenohjausjärjestelmä. Kuviossa 10 on esitetty kuvitteellinen tilanne, jossa toimistohuoneen valaistusta ohjataan vakiovalonsäädöllä ja läsnäolotunnistuksella. Vakiovalo-ohjaus ohjaa valaistuksen tason päivänvalon määrän suhteen sopivaksi ja läsnäolo-ohjaus sammuttaa valaistuksen lounas- ja kahvituntien ajaksi. (Varsila 2010, 8; TAMK 2011)



KUVIO 10. Valaisinten ohjaus läsnäolon ja päivänvalon mukaan.

Hämäräkytkin on vakiovalo-ohjauksen tapaan päivänvalon määrään perustuva ohjaustapa, mutta siinä valaistusta säädetään vain joko päälle tai pois sen mukaan, miten anturi on säädetty. Hämäräkytkin on hyvä ratkaisu tiloihin, joissa valaistuksen tasoa ei tarvitse säätää tarkasti, kuten esimerkiksi ulkovalaistus.

Aikaohjauksella tarkoitetaan valaistuksen sähkönsyötön ohjausta tiettyjen kellonaikojen mukaan ja se toteutetaan ryhmäkeskuksella valaisinryhmien yhteyteen sijoitettavan ai-

kaohjausyksikön avulla. Yksikköön voidaan ohjelmoida erilaisia aikaohjelmia ja se ohjaa valaistuslähtöjä asetusten mukaisesti. Esimerkkinä toimistorakennukseen voidaan kytkeä aikaohjaus, joka kytkee valaistukselle arkipäivisin sähköt klo 7 ja sammuttaa ne klo 17.

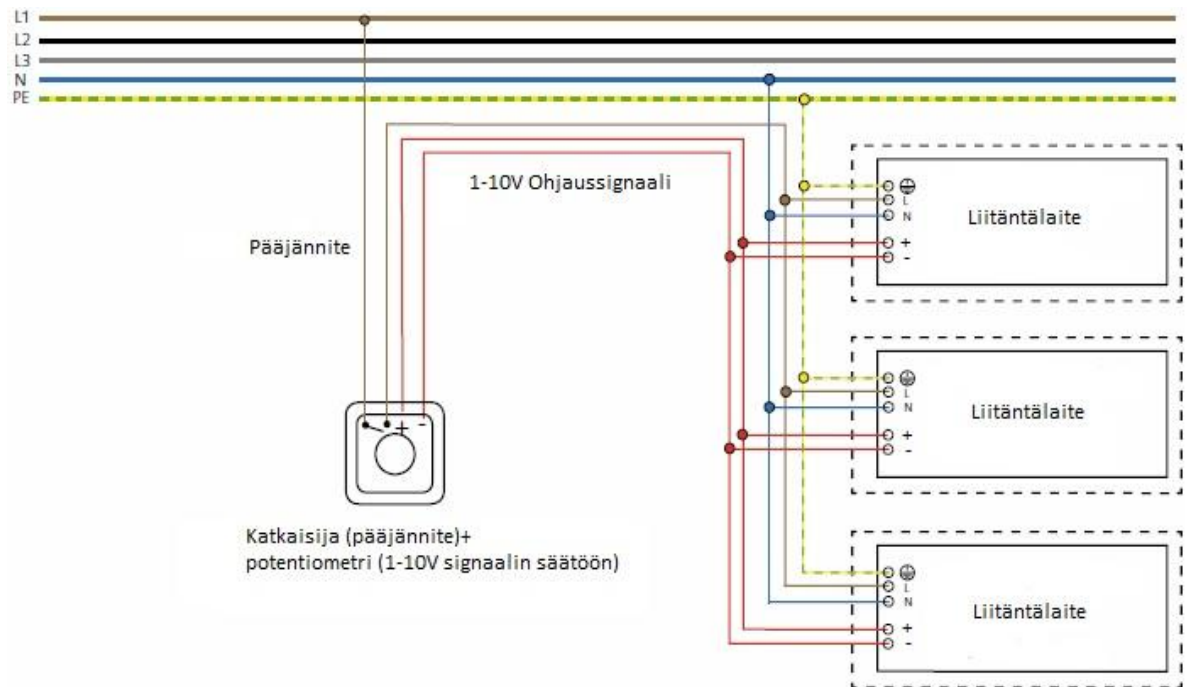
Väriämpötilan ja valon värin ohjaus ovat alun perin lähtöisin viihdemaailmasta, jossa teattereiden- ja konserttilavojen valaistusta on haluttu muuttaa tilanteen mukaan ja siten tehostaa esityksen vaikuttavuutta. Nykyään lämpötila- ja väriohjausta käytetään yhä enemmän mm. myymälöissä ja liiketiloissa, joissa pyritään korostamaan tuotteita ja stimuloida siten asiakkaita tekemään ostopäätöksiä. Toimisto-oloissa valaistuksen väriämpötilan ohjauksella pystytään vaikuttamaan biologisesti työntekijöiden tehokkuuteen. Aamulla viileää, sinistä valoa lisäämällä elimistön vireystila ja sitä myötä työtehokkuus paranee. Taukojen ajaksi ja työpäivän päätteeksi valaistusta ohjataan lämminsävyiseksi, jotta työntekijä rauhoittuu ja rentoutuu. Teknisesti liike- ja toimistotiloissa nämä ohjaukset toteutetaan asentamalla samaan valaisimeen väri- ja väriämpötilaominaisuuksiltaan erilaisia valonlähteitä, joita ohjataan erikseen esimerkiksi DALIn avulla. Teattereissa ja konserttisaleissa on käytössä LEDeillä toteutettuja PAR-valaisimia (Parabolic Aluminized Reflector), joissa samaan valaisimeen on asennettu useita ominaisuuksiltaan erilaisia LEDejä. Joissain tilanteissa väriohjaukset taas toteutetaan asentamalla valonlähteen eteen erilaisia suotimia, jotka muokkaavat sen ominaisuuksia. Väriohjaus on tulossa myös normaaleihin asuinkiinteistöihin, jossa sillä voidaan saavuttaa lisämukavuutta asumiseen. (Varsila 2010, 3-9; Simpson 2003, 370-372)

### 2.3.4 Valaistuksen ohjausjärjestelmät

Tänä päivänä kolme käytetyintä valaistuksen ohjausjärjestelmää ovat 1-10 V –ohjaus sekä DALI- ja DSI-järjestelmät. Ne kaikki tarjoavat erilaisia mahdollisuuksia valaistuksen ohjaukseen ja asettavat myös osaltaan teknisiä vaatimuksia valaistusjärjestelmälle.

1-10 V –ohjauksella tarkoitetaan analogista ja standardoitua (SFS EN60929-2011) ohjausperiaatetta, jossa yksittäistä valaisinta tai tiettyä valaisinryhmää voidaan himmentää kytkemällä niiden liitäntälaitteisiin tasajänniteohjaussignaali, jonka tasoa säädellään potentiometrin avulla. Valaisimet tarvitsevat siis erillisen verkkojännitteen ja ohjaussignaalin. Analogisen ohjauksen periaate on esitetty kuviossa 11. 1-10 V –ohjauksen hyviä

puolia ovat yksinkertaisuus ja yleisyys. Huonoja taas järjestelmän hankala muunneltavuus, polaaraisuus sekä virtapiirin pituuden vaikutus lamppujen kirkkauteen, koska ohjausjännitteessä tapahtuu jännitehäviöitä pidemmällä matkoilla. Tarkempaa vertailua eri ohjausperiaatteiden kesken on esitetty taulukossa 2. (Varsila 2010, 10-14; Fagerhult Oy 2012, 472-473)



KUVIO 11. 1-10V –ohjauksen periaatekuva. (Fagerhult Oy 2012, 485, muokattu)

DSI on Tridonicin kehittämä yksisuuntainen digitaalinen valaistuksenohjausjärjestelmä, joka on toimintaperiaatteeltaan 1-10 V –ohjauksen kaltainen, mutta ohjausignaali annetaan digitaalisina ohjaukskomentoina. Järjestelmään liitettävä erillinen keskusyksikkö muuntaa sensoreilta tulevat viestit 12 V digitaalisignaaleiksi, jotka lähetetään liitäntälaitteille. DSI on osoitteeton järjestelmä, joten kaikkien järjestelmään kuuluvien laitteiden tulee olla erikseen johdotettuina fyysisesti DSI-keskusyksikölle. DSI ei vaadi muuta ohjelmointia kuin valaistustilanteiden ja vakiovalotasojen säätämisen järjestelmän muistiin. DSI:n hyviä puolia ovat polariteetti- ja häiriövapaus sekä ohjausvirtapiirin pituuden vaikuttamattomuus säätöön. DSI:n heikkous on, ettei se ole avoin järjestelmä, joten se on hyvin voimakkaasti sidonnainen Tridoniciin. Taulukossa 2. on vertailtu DSI-ohjausta muihin ohjausperiaatteisiin. (Fagerhult Oy 2012, 478-480)

DALI on vuonna 1999 esitelty avoin, osoitteellinen ja digitaalinen valaistuksenohjausjärjestelmä, joka on alunperin suunniteltu vastaamaan liike- ja toimistorakennusten ohjaustarpeita. DALI-järjestelmässä valaisinten liitännälaitteita ohjataan digitaalisten 16 V ohjauskomentojen avulla ja sen ohjausväylä on kaksisuuntainen, joka tarkoittaa, että myös valaisimilta saadaan tietoja (esimerkiksi tila- ja vikatietoja sekä energiankulutuslukemia). DALIn pääperiaatteena on, että jokaista siihen liitettyä valaisinta voidaan ohjata itsenäisesti ja halutessa valaisimia voidaan ryhmitellä tarpeiden mukaan. DALIN kaapelointi on myös mahdollisimman yksinkertainen ja selkeä. Järjestelmän asennuksen jälkeen DALI täytyy ohjelmoida ohjaustarpeiden mukaisesti esimerkiksi Helvarin Designer tai Toolbox –ohjelmien avulla. DALIn ehkä suurin vahvuus on sen avoimuus, mistä johtuen kuka tahansa voi valmistaa ja markkinoida DALI-yhteensopivia laitteita. Taulukossa 2. on vertailtu DALIa muihin ohjausperiaatteisiin. (Simpson 2003, 292-294)

DALI-järjestelmän teknisiä ominaisuuksia ovat:

- Avoin, standardoitu järjestelmä.
- Yhdessä DALI-verkossa voi olla 64 osoitteellista laitetta, 16 osoitteellista ryhmää ja 16 ohjelmoitua valaistustilannetta.
- DALI-verkkoja voidaan yhdistää reitittimien avulla jopa yli 10000 laitteen kokonaisuuksiksi.
- Yksinkertainen johdotus, joka on polariteetti- ja häiriövapaa.
- Digitaalisuus tarjoaa lähes rajattomat muutosmahdollisuudet jälkeinpäin ohjelmoimalla.
- DALI voi toimia itsenäisenä järjestelmänä tai se voidaan liittää muihin rakennusautomaatiojärjestelmiin, kuten KNX:ään tai LONiin.
- Kaksisuuntaisen väylän ansiosta laitteiden tilaa voidaan monitoroida tehokkaasti.
- Mahdollista liittää järjestelmä internetiin Ethernetin kautta.
- Järjestelmään voidaan ohjata hätävalaistustaso vikatilanteessa.

(DALI-AG 2001, 10-12)

DALI vaatii valaisimilta yhteensopivia elektronisia liitännälaitteita, jotka liitetään ohjausväylään. Ohjausväylä rakennetaan normaalin sähkönsyötön rinnalle siten, että kaikkiin väylään liitettäviin laitteisiin (mukaan lukien liitännälaitteet, kytkimet, anturit, tunnistimet, säätimet yms.) tuodaan kaksijohtiminen väylä. DALI on polariteettivapaa jär-

jestelmä, joten johtimien napaisuuksien kääntyminen ei haittaa järjestelmän toimintaa. Ohjausväylään täytyy kytkeä myös DALI-tehonsyöttöyksikkö, joka syöttää väylää. Tehonsyöttöyksikkö syöttää väylään maksimissaan 250 mA ohjausvirtaa, eikä niitä saa olla kuin yksi yhtä DALI-verkkoa kohden. Väylän kaapeloinnin maksimipituus kahden laitteen välillä voi olla maksimissaan 300 metriä. DALI-järjestelmän periaatekuva on esitetty liitteessä 3. (Simpson 2003, 292-294, TAMK 2011)

TAULUKKO 2. Ohjausperiaatteiden ominaisuuksia. (Varsila 2010, 11, muokattu; DALI-AG 2001, 10-12)

	Ohjausperiaate		
	1-10V	DSI	DALI
<b>Standardoitu</b>	SFS-EN 60929-2011	Ei	IEC 62386-2009
<b>Osoitteellinen</b>	Ei	Ei	Kyllä (64 laitetta, 16 ryhmää)
<b>Tilanneohjaus</b>	Ei	Ei	Kyllä (16 eri tilannetta)
<b>Polariteetti</b>	Kyllä	Vapaa	Vapaa
<b>Johtimet</b>	L N PE +2	L N PE +2	L N PE +2
<b>Sytytys/sammutus</b>	Kytkimillä	Komennoilla	Komennoilla
<b>Ohjelmoinnin tarve</b>	Ei	Ei	Kyllä
<b>Monikanavaisuus</b>	Keskusyksiköllä	Keskusyksiköllä	Kyllä
<b>Muutokset</b>	Fyysisesti	Fyysisesti	Vapaasti ohjelmoitavissa
<b>Ohjausvirtapiirin pituus</b>	Vaikuttaa säätöön	Vaikuttaa säätöön	Ei vaikutusta
<b>"Älykkyyks"</b>	Ei	Ei	Kyllä (mm. vika- ja kulutustiedot valaisimilta)
<b>Hätävalaistus</b>	Ei	Ei	Ohjelmoitavissa

### 2.3.5 Ihmisten käyttötottumukset

Ihmisten käyttötottumuksilla on suuri vaikutus lähes kaikkeen energiankulutukseen autolla ajamisesta valaistukseen. Varsinkin työpaikoilla sähkölaitteita ja -järjestelmiä käytettäessä työntekijöille ei useinkaan ole päällimmäisenä mielessä energian säästäminen, koska he eivät vastaa järjestelmien käytöstä aiheutuvista kustannuksista. Kotiolosuhteissa taas voidaan olla hyvinkin tarkkoja eri laitteiden kulutuksista ja sitä myötä saavuttaa säästöjä.

Valaistusjärjestelmien osalta ihmisten käyttötottumusten vaikutukset korostuvat erityisesti silloin, kun käytössä on vanhempi järjestelmä, jossa valaistusta ohjataan ainoastaan kytkimien ja manuaalisten himmentimien avulla. Esimerkiksi vanhalla järjestelmällä toteutetun toimistohuoneen valaistuksen ohjaus tapahtuu erittäin usein siten, että työntekijä kytkee sen aamulla tullessaan ja sammuttaa lähtiessään kotiin. Tällöin valaistuksen taso huoneessa on 100 prosenttia koko päivän, eikä läsnäoloa ja päivänvaloa huo-

mioida millään tavalla. Tällöin henkilöstöä tulisi ohjeistaa kytkemään valaistus pois silloin, kun huoneesta lähdetään pois pidemmäksi aikaa ja kun päivänvalo on niin voimakas, ettei lisävalaistusta tarvita. Henkilöstön käyttötottumusten ohjaamista Turun ja Kaarinan Seurakuntayhtymän toimitalossa on havainnollistettu kuvassa 2.



KUVA 2. Henkilöstön käyttötottumusten ohjausta.

Modernissa valaistuksenohjausjärjestelmässä ihmisen käyttötottumusten vaikutus ei ole enää niin merkittävä, koska vakiovalonsäätö-, läsnäolotunnistus- ja muut valaistuksenohjauskomponentit tekevät suurimman osan kyseisistä toimenpiteistä ihmisten puolesta. Tällöin huollon ja kunnossapidon merkitys korostuu, koska huonosti huollettuna ja väärin säädettyinä järjestelmän tarjoama hyöty energiataloudellisuudessa putoaa merkittävästi halutusta arvosta.

### 3 VALAISIN- JA VALONLÄHDETIETOKANTA

Tämän opinnäytetyön ensimmäisenä päätavoitteena oli luoda kattava tietokanta yhtymän kiinteistöissä käytetyistä valaisimista ja valonlähteistä. Valaisin- ja valonlähdetietokanta laadittiin työkaluksi henkilökunnan, kuten teknisten isännöitsijöiden ja vahtimestareiden avuksi.

#### 3.1 Työn suunnittelu

Opinnäytetyöaihetta suunnitellessa ja valittaessa oli alusta alkaen selvää, että tekisin työn valaistuksen ja energiatehokkuuden parissa, koska aihepiiri kiinnosti selkeästi eniten tähän asti opiskelluista aihekokonaisuuksista. Opinnäytetyön tekeminen juuri Turun ja Kaarinan Seurakuntayhtymälle taas ei alun perin ollut suunnitelmissa, vaan se valikoitui lähinnä onnekkaan sattuman perusteella.

Opinnäytetyön aiheen ja toteuttamissuunnitelman tarkentamiseksi pidimme SRK-yhtymän teknisen isännöitsijän Antti Helteen kanssa aluksi suunnittelupalaverin, jossa selvitimme tärkeimmät asiat liittyen työn tietokantaosuuden toteutukseen kuten työn tarkoituksen ja tarpeen, suoritus- ja tutkimusmenetelmät sekä aikataulutuksen. Rajasimme myös tietokantaan sisällytetyt kohteet, jotta projekti ei paisuisi liian laajaksi.

##### 3.1.1 Tietokannan tarve seurakuntayhtymässä

Opinnäytetyön tietokantaosuudesta keskusteltiin ensimmäisen kerran tarkemmin suunnittelupalaverissa syksyllä 2011, jossa Antti Helle ilmaisi heillä olevan tarvetta ajan tasalla olevaan kattavaan valaisin- ja valonlähdetietokantaan. Aiheen suunnittelun, rajauksen ja aikataulutuksen jälkeen se esiteltiin yhtymän kiinteistöjohtaja Seppo Kosolalle ja hän antoi opinnäytetyöaiheelle hyväksyntänsä.

Tällä hetkellä yhtymällä ei ole olemassa oikeastaan minkäänlaisia dokumentteja yhtymän kirkoissa ja seurakuntakeskuksissa käytetyistä valonlähde tyypeistä, joten tietojen saattaminen ajan tasalle ja yksiin kansiin on hyödyllinen apuväline esimerkiksi huolto-

henkilökunnan ja teknisten isännöitsijöiden käyttöön. Tietokannan avulla voidaan myös suorittaa valonlähdetyyppien yhdentämistä sekä suunnitella edessä olevaa LED-tekniikkaan siirtymistä.

### 3.1.2 Vaatimukset

Vaatimuksina valaisin- ja valonlähdetietokannalle oli, että kohteiden kaikissa kiinteissä sisävalaisimissa käytetyt valonlähdetyypit ja muut oleelliset tiedot taulukoitaisiin. Tietokanta ei siis kata ulkovalaistusta eikä siirrettäviä sisävalaisimia. Myös luettavuuden ja ulkoasun suhteen oli tiettyjä vaatimuksia; tietokannan tulisi olla niin ehyt ja selkeä, että jokainen osaa sitä tulkita ja käyttää.

### 3.1.3 Kohteet

Lampputietokannan laajuus selkiytyi tutkimustyön edetessä ja lopulliseen laajuuteen sisällytettiin seuraavat SRK-yhtymän rakennukset:

- Seurakuntayhtymän toimitalo
- Tuomiokirkko
- Henrikin kirkko
- Kaarinan kirkko
- Kaksikerran kirkko
- Kuusiston kirkko
- Martinkirkko
- Mikaelinkirkko
- Paattisten kirkko
- Piikkiön kirkko
- Pyhän Katariinan kirkko
- Varissuon kirkko

Kohteet olivat hyvin eri tyyppisiä vaihdellen pienistä ja syrjässä olevista puukirkoista aina massiiviseen Tuomiokirkkoon ja SRK-yhtymän suureen toimitaloon.



## **3.2 Työn vaiheet**

Tiedonkeräys ja tutkimustyöt suoritettiin syksyn 2011 ja alkuvuoden 2012 aikana. Tietojen keräyksen jälkeen niiden käsittely ja koostaminen suoritettiin kevään 2012 aikana opinnäytetyön raportoinnin ohella.

### **3.2.1 Suunnittelu ja esivalmistelu**

Ennen kohteessa käyntiä, siitä laadittiin pohjapiirustusten, sähköpistekuvien ja valaisinluetteloiden perusteella esitäytetty excel-taulukko, jossa eriteltiin ja numeroitiin kohteen eri tilat kerroksittain. Tämä osoittautui toimivaksi ratkaisuksi ja taulukkoa oli helppo täyttää tiloja läpikäydessä.

Pohjapiirustuksiin etukäteen tutustumisen lisäksi erittäin hyväksi esivalmistelumene-  
telmäksi todettiin seurakuntayhtymän verkkosivuilla olevat ns. ”virtuaalikirkkokierrokset”, joissa kirkon sisältä on otettu 3d-panoraamakuvia eri tiloista. Näiden interaktiivisten kuvien perusteella kirkkoon ja sen tiloihin oli mahdollista tutustua ennen vierailua ja näin tila ei ollut enää täysin vieras tietoja kerätessä.

### **3.2.2 Toiminta kohteessa**

Kohteeseen saapumisen jälkeen tietojen keruu suoritettiin etenemällä järjestelmällisesti huone tai tila kerrallaan ja samalla täyttäen esitäytettyä taulukkoa. Yleensä huoneiden valaistus koostui kattovalaistuksesta sekä lisänä epäsuorista seinä- tai detaljivalaistuksista. Usein yhdessä rakennuksessa oli käytössä paljon samaa valaisintyyppiä, joten yhden valaisimen valonlähteen tarkastamalla sai loputkin samanlaiset kerralla kirjattua.

Eniten ongelmia tuottivat suuret kirkkosalit, joissa valaisimet ovat saavuttamattomissa ilman apuvälineitä. Kuitenkin lähes joka kohteessa mukana oli rakennuksen vastaava vahtimestari, joka osasi kertoa käytetyistä valonlähteistä. Myös varalamppuvarastoja tutkimalla saimme tiedot hankalissa paikoissa olevista valonlähteistä.

### 3.2.3 Tietojen käsittely ja koostaminen

Kohteiden eri tiloista taulukoitiin seuraavat tiedot: tila, valaisimen sijoitus, valaisin, valaisinten kappalemäärä, käytössä oleva valonlähde, niiden lukumäärä, teho P [W], värintoistoindeksi Ra [%], väriämpötila [K] sekä mahdolliset lisätiedot valaisimesta, kuten valonlähteen kanta, sijoituksen tarkennukset ja erityisvaatimukset.

Käsin täytetyistä taulukoista tiedot kirjattiin tietokoneelle excel-ohjelman avulla, johon päädyttiin sen yleisyyden johdosta. Tietokantaan liitetyt tarvittavat rakennusten pohjapiirustukset on pääosin skannattu arkistoiduista paperiversioista PDF-muotoon. Toimitalon osalta pohjapiirustukset saatiin LPR Arkkitehdit Oy:ltä DWG-muodossa, jotka muutettiin tarvittavien merkintöjen jälkeen PDF-muotoon.

### 3.2.4 Lopullisen tietokannan luonti

Tietokannan lopulliseksi laajuudeksi tuli 62 taulukkosivua ja se jaettiin kahteen eri excel-tiedostoon, joista toinen sisälsi kirkot ja seurakuntakeskukset (45 sivua) ja toinen toimitalon (17 sivua). Tiedostojen sisällä eri rakennusten taulukkosivut on jaettu selkeyden vuoksi omille välilehdilleen. Taulukoiden koko on sovitettu siten, että yksi taulukkosivu mahtuu tulostettuna kokonaisuudessaan vaakatasossa olevalle A4-paperille. Lampputietokannan esimerkkisivu Henrikin kirkon kellarikerroksesta on esitetty liitteessä 4.

Excel-taulukoiden lisäksi lampputietokantaan kuuluu PDF-muotoiset pohjakuvat jokaisesta tietokantaan kuuluvasta rakennuksesta. Näihin pohjakuviin on numeroitu tilat siten, kuin ne on numeroitu taulukoihin. Rakennuksen taulukon ja pohjakuvan avulla voidaan helposti paikallistaa tarvittavan tilan valaisin- ja valonlähdetiedot.

## 3.3 Työn valmistuminen

Valaisin- ja valonlähdetietokannan tietojenkeruuosuus saatiin suoritettua helmikuun 2012 loppuun mennessä, jonka jälkeen aloitettiin lopullisen version kokoaminen ja vii-

meistely. Valmiin ja viimeistellyn muotonsa tietokanta sai huhtikuussa 2012, jolloin se myös luovutettiin seurakuntayhtymän käyttöön.

### **3.3.1 Työn onnistumisen arviointi**

Valaisin- ja valonlähdetietokanta saatiin luotua alkuperäisen suunnitelman mukaisessa laajuudessa ja alkuperäisen aikataulusuunnitelman puitteissa. Myös tietokannan tarkkuuteen ja kattavuuteen voidaan olla tyytyväisiä, sillä ainoastaan muutamia valonlähdetietoja jäi selvittämättä pääosin erittäin hankalan luoksepäästävyuden takia.

Luettavuuden ja selkeyden osalta tietokantaa voidaan myös pitää onnistuneena, sillä laajuudestaan huolimatta se on kuitenkin riittävän ehyt ja helppolukuinen. Valonlähteiden osalta tietokanta kuitenkin vaatii käyttäjältään tiettyä teknistä osaamista ja yleistä tietoa kirkkovalaistuksen vaatimuksista. Näitä tietoja voidaan kuitenkin olettaa olevan henkilöillä, jotka tietokantaa käyttävät.

### **3.3.2 Tietokannan käyttö ja hyödyntäminen SRK-yhtymässä**

Valaisin- ja valonlähdetietokantaa ei ole vielä otettu käyttöön tämän opinnäytetyön valmistumiseen mennessä, joten palautetta käyttäjiltä ei saatu sisällytettyä raportointiin. Kuitenkin kentällä tutkimusta ja kartoitusta tehdessä monet kohteiden huolto- ja vahtimestarihenkilökuntaan kuuluvat kommentoivat tietokannan tulevan tarpeeseen ja pyysivät toimittamaan siitä kopion välittömästi sen valmistuttua. Näin ollen voidaan olettaa, että tietokantaa tullaan hyödyntämään SRK-yhtymässä ja sen muokattavuuden ansiosta tietokantaa on helppo päivittää ja pitää ajan tasalla.

## 4 SRK-YHTYMÄN TOIMITALON VALAISTUS

### 4.1 Tutkimus ja tavoitteet

Valaisin- ja valonlähdetietokannan ohella opinnäytetyön toisena päätavoitteena oli tutkia työn teoriaosuuteen pohjautuen seurakuntayhtymän toimitalon valaistuksen nykytilaa energiatehokkuusnäkökulmasta ja laatia valaistusjärjestelmälle parannusehdotuksia. Osana tutkimusta suoritettiin myös vertailulaskenta kahden eri tavalla valaistun toimituoneen kuluttamasta sähköenergiasta.

#### 4.1.1 Kohteen esittely

Turun ja Kaarinan seurakuntayhtymän toimitalo on Turussa Eerikinkatu 3:ssa sijaitseva massiivinen toimistotalo, jossa toimivat yhtymän hallinto- ja talousosasto, keskusrekisteri, kasvatustieteiden keskus, tiedotustoimisto, hautaustoimisto, seurakuntatoimisto, perheasiain neuvottelukeskus ja ulkopuolisen vuokralaisena tilitoimisto Akipo Oy. Toimitalon kerrosala on 10910 m<sup>2</sup> ja huoneistopinta-ala 10481 m<sup>2</sup>. Kuvassa 3. on esitetty esimerkkinä toimitalon 3. kerroksen kiinteistöhallinnon osaston pohjakuva.



TURUN JA KAARINAN SEURAKUNTAYHTYMÄ  
3. KERROS PINTA-ALOJA 1:200 30.08.2000  
ARKKITEHTITOIMISTO LAIHO-PULKKINEN-RAUNIO OY

HUONEALAT YHT. 982.5m<sup>2</sup>

KUVA 3. Toimitalon kiinteistöhallinnon osaston pohjakuva.

Toimitalo koostuu kuudesta pääkerroksesta, jotka sisältävät pääosin toimisto- ja avokonttoritiloja. Lisäksi rakennukseen kuuluu kellarikerroksen autotalli ja varastotilat sekä

ullakkokerros varasto- ja konehuonetiloineen. Toimitalo on rakennettu vuonna 1956 ja sähkösaneerattu 80-luvulla. Lisäksi viidennen kerroksen kasvatusasiainkeskuksen tilojen ja porraskäytävien valaistusjärjestelmät on uusittu 2000-luvun loppupuolella.

Samassa rakennuksessa toimii myös Varsinais-Suomen verotoimisto. Verotoimistolla ja toimitalolla on yhteinen sähköenergian mittauskeskus ja tästä syystä energiankulutustietoja ei ollut saatavilla laskennan tueksi.

#### **4.1.2 Valaistusjärjestelmän nykytilanne**

Toimitalon valaistusjärjestelmän tämän hetkinen tila on energiatehokkuuden näkökulmasta tarkasteltuna pääosin melko heikko, sillä käytössä olevat valaisimet ovat lähes jokaisessa tilassa 80-luvun sähkösaneerauksen yhteydessä asennettuja. Ne ovat nykytekniikkaan verrattuna vanhentuneita ja esimerkkinä lähes jokaisessa toimistohuoneessa lukuunottamatta viidettä kerrosta on käytössä ominaisuuksiltaan heikot, konventionaalisella liitäntälaitteella varustetut loisteputkivalaisimet (huono optiikka, tehokerroin  $\cos \varphi = 0,5$ ). 5. kerroksen toimistotiloissa on käytössä uusitut ja nykyaikaiset T5-loisteputkilla ja elektronisella liitäntälaitteella varustetut valaisimet, mutta niidenkään osalta ei ole käytetty juurikaan hyväksi valaistuksen ohjausta. Myös porraskäytävien downlight-valaisimet on uusittu ja ne käyttävät valonlähteenä pienoisloistelamppuja.

Pääosa toimitalon valaistuksen ohjauksesta tapahtuu suorilla huonekohtaisilla kytkinohjauksilla eikä automaattista ohjausta ole käytössä oikeastaan kuin autotallissa, jonka valaistusta ohjataan kellokytkimellä. Valonlähteiden osalta hehkulamppuja on pyritty korvaamaan vastaavilla energiansäästölamppuilla erityisesti käyttöiän pidentämiseksi.

#### **4.2 Laskenta**

Valaistusjärjestelmien vertailu toteutettiin tutkimalla ja laskemalla kahden samankokoisen toimistohuoneen valaistuksen energiankulutusta. Toinen huone on toteutettu vanhalta valaisintekniikalla ja toinen 2000-luvun lopulla saneeratulla valaistusjärjestelmällä. Laskenta perustuu teoreettisiin arvoihin ja tulokset eivät siten ole täysin tarkkoja, sillä todellista huonekohtaista kulutustietoa valaistuksesta ei ollut kohteessa saatavilla. Va-

laistuksen vuosittaisen energiankulutuksen laskenta on tehty Suomen rakentamismääräyskokoelma D5-2007 mallin mukaisesti (liite 1.). Valaistuksen kokonaisteho neliometriä kohden taas laskettiin DIALuxilla, koska sen avulla saatiin huomattavasti tarkemmat tilakohtaiset arvot valaistuksen kuluttamalle teholle, kuin käyttämällä RakMK D5-2007:n antamaa laskentamallia.

#### 4.2.1 Uuden ja vanhan valaistusjärjestelmän vertailu

Uutta valaistusjärjestelmää kuvaamaan valittiin yhtymän toimitalon viidennen kerroksen eräs toimistohuone. 14 neliömetrin toimistohuoneen valaistus on toteutettu kahdella kattoon asennetulla Fagerhult Indigo Clivus –valaisimella, joissa on valonlähteenä kummassakin kaksi 54 W T5-loisteputkea. Valaisimet on varustettu elektronisilla liitäntälaitteilla ja ne antavat sekä suoraa että epäsuoraa valoa tilaan. Kuva toimistohuoneesta ja valaisimista on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Toimistohuone, jossa on käytössä uusi valaistusjärjestelmä.

Laskenta aloitettiin määrittämällä huoneen valaistuksen kokonaisteho neliometriä kohden. Huone mallinnettiin DIALuxilla ja sen suorittamasta valaistuslaskennasta (liite 5.) saatiin verkkoon kytketylle kuormalle arvo:

$$P_{\text{valaistus}} = 16,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Seuraavaksi laskettiin valaistuksen sähkönkulutus vuodessa RakMK:n laskentamallin mukaisesti. Kaava ja muuttujat on esitetty kaavassa 6.

$$W_{\text{valaistus}} = \sum P_{\text{valaistus}} \cdot A_{\text{huone}} \cdot \Delta t \cdot \frac{f}{1000} \quad (6)$$

$W_{\text{valaistus}}$  = valaistuksen sähkönkulutus vuodessa,  $\frac{\text{kWh}}{\text{a}}$

$P_{\text{valaistus}}$  = valaistuksen kokonaisteho neliometriä kohden

$A_{\text{huone}}$  = huoneen pinta-ala,  $\text{m}^2$

$\Delta t$  = valaistuksen käyttöaika (toimisto, 2500 tuntia vuodessa)

$f$  = valaistuksen ohjaustavasta riippuvia ohjauskertoimia (huonekohtainen kytkin 0,9 ja erillinen huonekohtainen kytkin ikkunaseinälle 0,9)

Kaavasta 6 laskemalla saadaan toimistohuoneen valaistuksen sähkönkulutukseksi:

$$W_{\text{valaistus}} = 16,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 14 \text{m}^2 \cdot 2500 \text{h} \cdot \frac{0,9 \cdot 0,9}{1000} = 510 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

DIALux-valaistuslaskennan tuloksista (liite 5.) voidaan huomata, että uuden toimistohuoneen valaistus on ylimitoitettu keskimääräisen valaistusvoimakkuuden ollessa noin 600 lx. Standardi SFS-EN 12464-1 2011 asettaa toimiston (liite 2.) valaistusvoimakkuusvaatimuksiksi työalueille 500 lx ja välittömälle lähiympäristölle 300 lx. Valaisimien 54 watin T5-loisteputkien tilalle voitaisiin asentaa 35 watin loisteputket tai vaihtoehtoisesti ottaa valaisimista toinen loisteputki kokonaan pois, mikäli valaisimessa on liitäntälaitteet kummallekin valonlähteelle erikseen. Näin voitaisiin saavuttaa jopa 50 prosentin sähköenergian säästö valaisinta kohden täyttäen kuitenkin standardin vaatimukset.

Vertailussa vanhaa valaistusjärjestelmää kuvaamaan valittiin yhtymän toimitalon kolmannen kerroksen eräs toimistohuone. Tämänkin toimistohuoneen pinta-ala on n. 14

neliometriä ja valaistus on toteutettu neljällä kattoon asennetulla loisteputkivalaisimella, jotka on varustettu konventionaalisilla liitäntälaitteilla. Valonlähteenä valaisimissa on kaksi 36 W T8-loisteputkea. Valaisimet antavat pelkästään suoraa, alaspäin suuntautuvaa valoa. Kuva toimistohuoneesta ja valaisimista on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Toimistohuone, jossa on käytössä vanha valaistusjärjestelmä.

Laskenta aloitettiin määrittämällä huoneen valaistuksen kokonaisteho neliometriä kohden. Huone mallinnettiin DIALuxilla ja sen suorittamasta valaistuslaskennasta (liite 6.) saatiin verkkoon kytketylle kuormalle arvo:

$$P_{\text{valaistus}} = 24,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Seuraavaksi laskettiin valaistuksen sähkönkulutus vuodessa RakMK:n laskentamallin mukaisesti. Kaava ja muuttujat on esitetty kaavassa 6.



$$W_{\text{valaistus}} = \sum P_{\text{valaistus}} \cdot A_{\text{huone}} \cdot \Delta t \cdot \frac{f}{1000} \quad (6)$$

$W_{\text{valaistus}}$  = valaistuksen sähkönkulutus vuodessa,  $\frac{\text{kWh}}{\text{a}}$

$P_{\text{valaistus}}$  = valaistuksen kokonaisteho neliometriä kohden

$A_{\text{huone}}$  = huoneen pinta-ala,  $\text{m}^2$

$\Delta t$  = valaistuksen käyttöaika (toimisto, 2500 tuntia vuodessa)

$f$  = valaistuksen ohjaustavasta riippuvia ohjaukertoimia (huonekohtainen kytkin 0,9)

Kaavasta 6 laskemalla saadaan toimistohuoneen valaistuksen sähkönkulutukseksi:

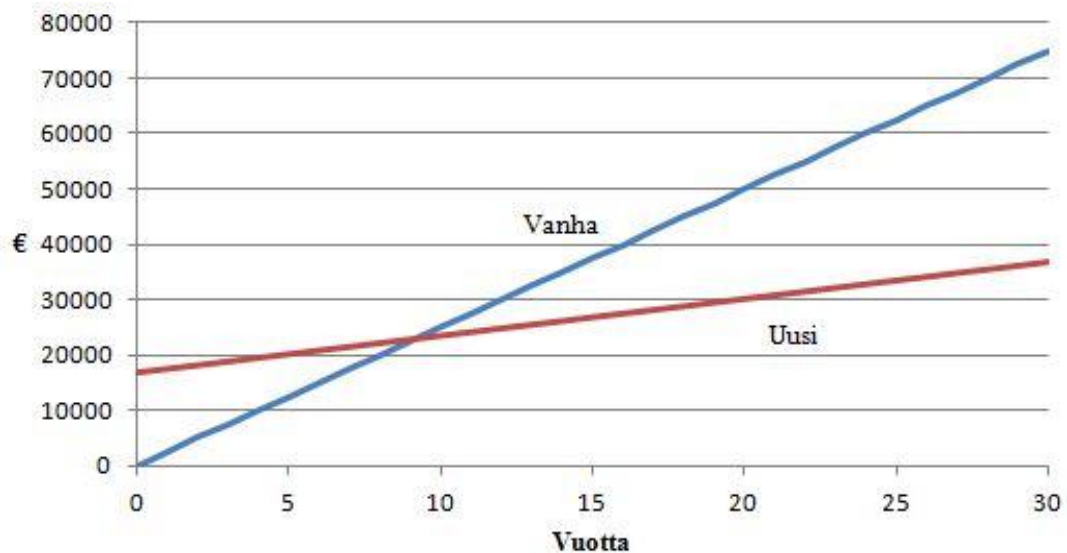
$$W_{\text{valaistus}} = 24,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 14\text{m}^2 \cdot 2500\text{h} \cdot \frac{0,9 \cdot 0,9}{1000} = 685 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

DIALux-laskennan tuloksista (liite 6.) nähdään, että vanhan toimistohuoneen valaistusjärjestelmä on keskimääräiseltä valaistusvoimakkuudeltaan heikompi kuin uusi, vaikka valaisimien yhteenlaskettu tehonkulutus on lähes 50 prosenttia suurempi. Nykyaikaiset valaisimet pystyvät paremman tekniikkansa ansiosta tuottamaan paremmat valaistukselliset ominaisuudet huomattavasti pienemmällä tehonkulutuksella. Standardin SFS-EN 12464-1 2011 vaatimukset täyttyvät kuitenkin myös vanhalla valaistusjärjestelmällä.

#### 4.2.2 Elinkaarilaskenta

Elinkaarilaskennan tarkoituksena on hahmottaa investoinnin, tässä tapauksessa valaistusjärjestelmän uusimisen, takaisinmaksuaikaa. Tässä tutkimuksessa elinkaarilaskenta kahden edellä mainitun toimistohuoneen valaistusratkaisujen osalta tehtiin Fagerhultin Life Cycle Cost Calculator –ohjelmalla, jonka tulokset on esitetty liitteessä 7. Laskennan kuvitteellinen laajuus oli seuraavanlainen: sähkö saneerauksen yhteydessä 20 vastaavaan toimistohuoneen valaistusjärjestelmät muutettaisiin em. uuden järjestelmän kaltaisiksi ja lisäksi niihin asennettaisiin DALI-järjestelmä vakiovalo- ja läsnäolotunnistimin varustettuna. DALI-ohjauksen asentamatta jättäminen saneerauksen yhteydessä ei olisi järkevää, sillä tarpeenmukainen valaistuksen ohjaus pienentää huomattavasti energiankulutusta eikä nostaisi asennuskustannuksia merkittävästi.

LCC-ohjelmassa esitiedoiksi määritettiin laskentakoroksi 3 %, inflaatioksi 1 %, sähköenergian vuotuiseksi hinnannousuksi 5 % ja valaistusjärjestelmän pitoajaksi 30 vuotta. Näiden ja muiden asetusarvojen perusteella valaistusjärjestelmän takaisinmaksuajaksi muodostui noin 10,4 vuotta. Uuden ja vanhan valaistusjärjestelmän elinkaarikustannuksia ja takaisinmaksuaikaa on havainnollistettu kuviossa 11.



KUVIO 11. Valaistusjärjestelmien elinkaarikustannukset.

Elinkaarilaskennan tuloksista nähdään myös, että 30 vuoden pitoajan jälkeen uusi saneerattu valaistusjärjestelmä olisi tuottanut noin 38000 € säästöä vanhaan järjestelmään verrattuna. Mikäli ylitehoiset valaisimet vaihdettaisiin vielä pienempitehoisiin, takaisinmaksuaika lyhenisi entisestään ja säästöä syntyisi vielä enemmän.

### 4.3 Parannusehdotukset ja päätelmät

Laskelmien perusteella voidaan todeta, että energiataloudelliset erot uuden ja vanhan järjestelmän välillä ovat suuret. Saneeratun toimistohuoneen valaistusjärjestelmä kuluttaa noin 35 prosenttia vähemmän sähköenergiaa vuodessa verrattuna vanhaan järjestelmään ja lisäksi uusi järjestelmä täyttää standardin SFS-EN 12464-1-2011 valaistusvaatimukset paremmin. Uuden valaistusjärjestelmän valaisimien tuottama valo on myös biologisten ominaisuuksien kannalta parempaa elektronisten liitäntälaitteiden ansiosta. (Philips 2004, 8-9)

Kustannusnäkökulmasta tarkastellen voidaan todeta sähköenergiansäästön olevan yhden toimistohuoneen osalta  $13 \frac{\text{snt}}{\text{kwh}}$  -energianhinnalla noin 23 euroa vuodessa. Toimitalossa on pelkkiä toimisto- ja neuvotteluhuoneita useita kymmeniä ja niiden lisäksi paljon käytäviä- ja varastotilaa. Näiden tilojen säästöpotentiaali on siis suuri toteutettuna vastaavanlaisilla muutoksilla. Kattava valaistusjärjestelmien uusiminen maksaisi hankinta- ja saneeraus-kustannukset takaisin kohtuullisen ajan kuluessa, sillä sähköenergian hinta ei tule ainakaan laskemaan tulevaisuudessa. Elinkaarilaskenta osoittaa, että uusittu valaistusjärjestelmä maksaa hankintakustannukset takaisin melko nopeasti. Mikäli sähköenergian hinnan nousu kiihtyy vielä entisestään tulevaisuudessa, voidaan päästä jopa alle 10 vuoden takaisinmaksuaikaan.

Nykyaikaisissa valaisimissa on myös huomattavasti parempi tehokerroin, joka on elektronisessa liitäntälaitteessa luokkaa 0,95. Käytössä olevien vanhojen loisteputkivalaisimien tehokerroin on 0,5. Uudempien valaisimien ansioista kiinteistön loistehon tarve vähenisi huomattavasti ja sitä myötä syntyisi säästöjä, sillä sähköyhtiö laskuttaa myös loistehosta suurissa kiinteistöissä. Säästöjen suuruus riippuu kiinteistön loistehon kompensoinnista siten, että jos omaa kompensointiparistoa ei ole, joudutaan kaikki loisteho ottamaan sähköyhtiön verkosta. Toimitalon kiinteistökohtaisesta kompensoinnista ei ollut saatavilla tietoja, joten oletetaan, että loistehosta aiheutuu kuluja tällä hetkellä.

Toimitalon valaistuksen suurin säästöpotentiaali on valaisimissa. Kaikki toimistohuoneiden, käytävien, varastojen, arkistotilojen, aulojen yms. vanhat konventionaaliset T8-loisteputkivalaisimet tulisi vaihtaa uusiin, elektronisilla liitäntälaitteilla toimiviin hyvällä optiikalla varustettuihin T5-loisteputkivalaisimiin. Valaisinten mitoittamiseen tulisi myös kiinnittää huomiota, ettei tiloja valaistaisi turhan voimakkaasti ja sitä myötä kulutettaisi turhan paljon sähköenergiaa.

Toisen suuren säästöpotentiaalın tarjoaisi valaistuksen ohjaus, jota on harmittavan vähän käytössä toimitalossa. Valaisinremontin yhteydessä toimistohuoneet tulisi varustaa multisensoreilla, jotka ohjaisivat tilan valaistusta läsnäolon ja päivänvalon mukaan. Käytävillä läsnäolo-ohjaus voisi tiputtaa valaistuksen tason esimerkiksi yhteen kolmasosaan tietyn ajan jälkeen, mikäli liikettä ei havaita. Myös WC:t, sosiaalitalat ja siivouskomerot pitäisi varustaa liiketunnistinohjatuilla valaisimilla, sillä näihin tiloihin valot jäävät todella usein päälle tarpeettomasti. Näillä toimenpiteillä sähköenergian kulutusta voitaisiin pienentää vielä entisestään useita kymmeniä prosentteja.

## 5 POHDINTA

Tämä opinnäytetyö oli aihepiiriltään erittäin mielenkiintoinen ja se antoi hyvät edellytykset tutustua valaistukseen ja energiatehokkuuskysymyksiin. Työn teettäjä Turun ja Kaarinan seurakuntayhtymä organisaationa tarjosi myös ainutlaatuisen tilaisuuden päästä tutustumaan toimistoympäristön ohella kirkkovalaistukseen valaisin- ja valonlähdetietokannan tietojenkeruun ohella. Kirkoissa vieraillessa esiin nousivat usein energiatehokkuuskysymykset, sillä kirkkojen ylläpitokustannukset ovat usein suuret. Energiataloudellisuuden parantaminen on näissä kohteissa poikkeuksellisen hankalaa, koska kirkot ovat usein museoviraston suojelukohteita ja rakenteelliset muutokset esimerkiksi valaisimiin joudutaan hyväksyttämään museovirastossa pitkällisten prosessien muodossa. Myöskään valaistuksen visuaalinen ilme ei saa muuttua muutosten myötä.

Seurakuntayhtymän toimitalon valaistuksen energiankulutuslaskelmien ja parantamisehdotusten perusteella voidaan herättää ajatuksia asioista päättävien keskuudessa, jotta seuraavan sähkösaneerauksen yhteydessä kiinnitettäisiin yhä enemmän huomiota valaistusjärjestelmän tilaan ja sen parantamiseen. Tutkimusta voitaisiin jatkaa myös eteenpäin ja ulottaa laskelmat muihinkin tiloihin. Näiden perusteella olisi mahdollista hahmottaa tarkemmin valaistusjärjestelmän saneerauksen takaisinmaksuaikaa ja energian kulutusta. Lisätutkimuksiin olisi hyvä sisällyttää myös laskelmat loistehon tarpeen laskusta ja sen tuomasta kustannussäästöstä.

Tämän opinnäytetyön alussa asetetut tavoitteet voidaan hyvillä mielin katsoa saavutetuiksi. Valaisin- ja valonlähdetietokanta saatiin luotua suunnitellussa laajuudessa ja energiatehokkuustutkimuksessa koottiin hyödyllisiä tietoja ja tuloksia, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi suunnitellessa tulevaisuuden sähkösaneerausta kohteessa.

Koko opinnäytetyön takana oleva teema ja avainsana on energiatehokkuus, jonka tehostamiseen käytetään yhä enemmän ja enemmän resursseja. Tämä työ on siis hyvin ajan-kohtainen ja toivottavasti myös osaltaan edesauttaa tämän tärkeän asian toteutumista.

## LÄHTEET

- DALI-AG. 2001. DALI Manual -käsikirja Luettu 16.2.2012. [www.dali-ag.org/c/manual\\_gb.pdf](http://www.dali-ag.org/c/manual_gb.pdf)
- Fagerhult Oy. 2012. Indoor Lighting Solutions – valaistussuunnittelijan käsikirja 2012-2013.
- Halonen, L. & Lehtovaara, J. 1992. Valaistustekniikka. Helsinki: Otatieto Oy.
- Harsia, P. 2009. Ensto Pro –koulutusmateriaali, valaistus. Luettu 22.1.2012. <https://www.amk.fi/opintojaksot/0705016/enstopro.html>
- Matalaenergiarakentaminen. 2009. Mitä MERA oikeasti on? Luettu 10.1.2012 <http://www.merainfo.fi/?id=2&aid=9>
- Philips. 2004. Lighting for work: a review of visual and biological effects. Luettu 24.2.2012. [http://www.lighting.philips.com/microsite/dynamic\\_lighting/download/visualandbiologicaleffectsof\\_lighting\\_uk.pdf](http://www.lighting.philips.com/microsite/dynamic_lighting/download/visualandbiologicaleffectsof_lighting_uk.pdf)
- Philips. 2012. Tuoteluettelo, lamput, ammattivalaistus. Luettu 2.2.2012. <http://www.ecat.lighting.philips.fi/1/lamput-ammattivalaistus/40080/cat/#>
- Rea, M. & IESNA. 2000. Lighting Handbook. Illuminating Engineering Society of North America.
- SFS-EN 15193. 2008. Rakennusten energiatehokkuus. Valaistuksen energiatehokkuus. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN 12464-1. 2011. Valo ja Valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Simpson, R. 2003. Lighting Control – Technology and Applications. Oxford: Focal Press.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. 2007. Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ympäristöministeriö.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Ympäristöministeriö.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Ympäristöministeriö.
- Suomen Valoteknillinen Seura. 2008. Energiatehokas valaistus. Luettu 16.1.2012 [www.valosto.com/tiedostot/Energiatehokas\\_valaistus.pdf](http://www.valosto.com/tiedostot/Energiatehokas_valaistus.pdf)
- Tamk DALI-kurssimateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu 2011.

Varsila, M. 2008. Valaistus osana rakennusten energiatehokkuutta. Valo-lehti 1-2/2008, 24-28.

Varsila, M. 2010. Valaistuksen Ohjaus. KT-Interior Oy. Luettu 4.2.2012.  
<http://www.ktinterior.fi/luettelot/ValaistuksenOhjaus/>

Teatterimuseo. 2012. Valon historiaa. Luettu 28.3.2012.  
<http://www.teatterimuseo.fi/skene/historiaa/valo.php>

## LIITTEET

### Liite 1. Valaistuksen sähkönkulutuksen laskentamalli

(Suomen rakentamismääräyskokoelma D5-2007)

#### 7.2 Valaistuksen sähkönkulutus

##### 7.2.1

Mikäli valaistusjärjestelmä tunnetaan tarkemmin, voidaan valaistuksen sähkönkulutus laskea tilakohtaisesti valaistustarpeen ja valaisinratkaisun perusteella taulukon 7.1 arvojen sijasta.

##### 7.2.2

Valaistuksen sähkönkulutus  $W_{\text{valaistus}}$  voidaan laskea kaavalla (7.2).

$$W_{\text{valaistus}} = \sum P_{\text{valaistus}} A_{\text{huone}} \Delta t f / 1000 \quad (7.2)$$

jossa

$W_{\text{valaistus}}$	valaistuksen sähkönkulutus, kWh	
$P_{\text{valaistus}}$	valaistavan tilan valaistuksen kokonaissähköteho huonepinta-alaa kohti, W/hum <sup>2</sup>	
$A_{\text{huone}}$	valaistavan tilan huonepinta-ala, hum <sup>2</sup>	
$\Delta t$	valaistuksen käyttöaika (esimerkiksi taulukosta 7.2), h	
$f$	valaistuksen ohjaustavasta riippuvia ohjauskertoimia:	
	- läsnäolotunnistin ja päivänvalosäädin	0,70
	- päivänvalosäädin	0,80
	- läsnäolotunnistin	0,75
	- huonekohtainen kytkin	0,90
	- huonekohtainen kytkin, erillinen ikkunaseinälle	0,90
	- keskitetty päälle / pois	1,00

Valaistuksen kokonaissähkötehona käytetään arvoa 15 W/hum<sup>2</sup> tai teho lasketaan kaavalla (7.3).

<i>Taulukko 7.2.</i>	<i>Rakennuksen valaistuksen tyypillisiä käyttöaikoja <math>\Delta t</math> rakennustyypeittäin.</i>
Rakennustyyppi	Tuntia vuodessa
Asuinkerrostalo	550
Rivitalo	550
Pientalo	550
Toimistorakennus	2 500
Opetusrakennus	1 900
Liikerakennus	4 000
Hotelli	5 000
Ravintola	3 500
Liikuntarakennus	5 000
Sairaala	5 000
Muut rakennukset	2 500

## 7.2.3

Valaistuksen kokonaisteho pinta-alayksikköä kohti  $P_{\text{valaistus}}$  lasketaan kaavalla (7.3).

$$P_{\text{valaistus}} = \frac{1}{\beta \eta \eta_{\phi}} E \quad (7.3)$$

jossa

$P_{\text{valaistus}}$	valaistavan tilan valaistuksen kokonaissähköteho huonepinta-alaa kohti, W/hum <sup>2</sup>
$\beta$	valaistuksen alenemakerroin: - puhdas ympäristö 0,70 - keskinkertainen ympäristö 0,60 - likainen ympäristö 0,50
$\eta$	valaistushyötysuhde: - suora valaistus 0,40 - yhdistetty suora-epäsuora valaistus 0,35 - epäsuora valaistus 0,30
$\eta_{\phi}$	lamppujen valotehokkuus (taulukko 7.3), lm/W
E	tilan i valaistusvoimakkuus, lx.

Valaistusvoimakkuus on tilan valaistusvoimakkuuden suunnitteluarvo tai standardin SFS-EN 12464-1 mukainen ohjearvo valaistusvoimakkuudelle.

*Arvoja eri lampputyyppeiden valotehokkuuksille ja vaihteluväleille.*  
**Taulukko 7.3** Taulukon tehoarvojen laskennassa on käytetty valovirran alenemakertoimena  $\beta = 0,70$  ja valaistushyötysuhteena  $\eta = 0,40$ .

Lampputyyppi	Valotehokkuus, $\eta_{\phi}$ lm / W		Teho, $P_{\text{valaistus}}$ W/hum <sup>2</sup>			
	Tyypillinen arvo	Vaihtelu- väli	Valaistusvoimakkuus			
			100 lx	300 lx	500 lx	1000 lx
Hehkulamppu	10	8-12	36	107	179	357
Halogeenilamppu	12	10-24	30	89	149	298
Pienloistelamppu	50	50-85	7,1	21	36	71
Loistelamppu	80	50-100	4,5	13	22	45



## Liite 2. SFS-EN-12464-1-2011 vaatimukset toimiston valaistukselle

(SFS-EN 12464-1-2011 Sisätilojen työkohteiden valaistus)

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS  
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFSSFS-EN 12464-1  
54

Taulukko 5.26 Toimistot

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

Taulukko 5.27 Liiketilat

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$	$U_o$	$R_a$	Erityisvaatimukset
			–	–	–	
5.27.1	Myyntialue	300	22	0,40	80	
5.27.2	Kassa-alue	500	19	0,60	80	
5.27.3	Pakkauspöytä	500	19	0,60	80	

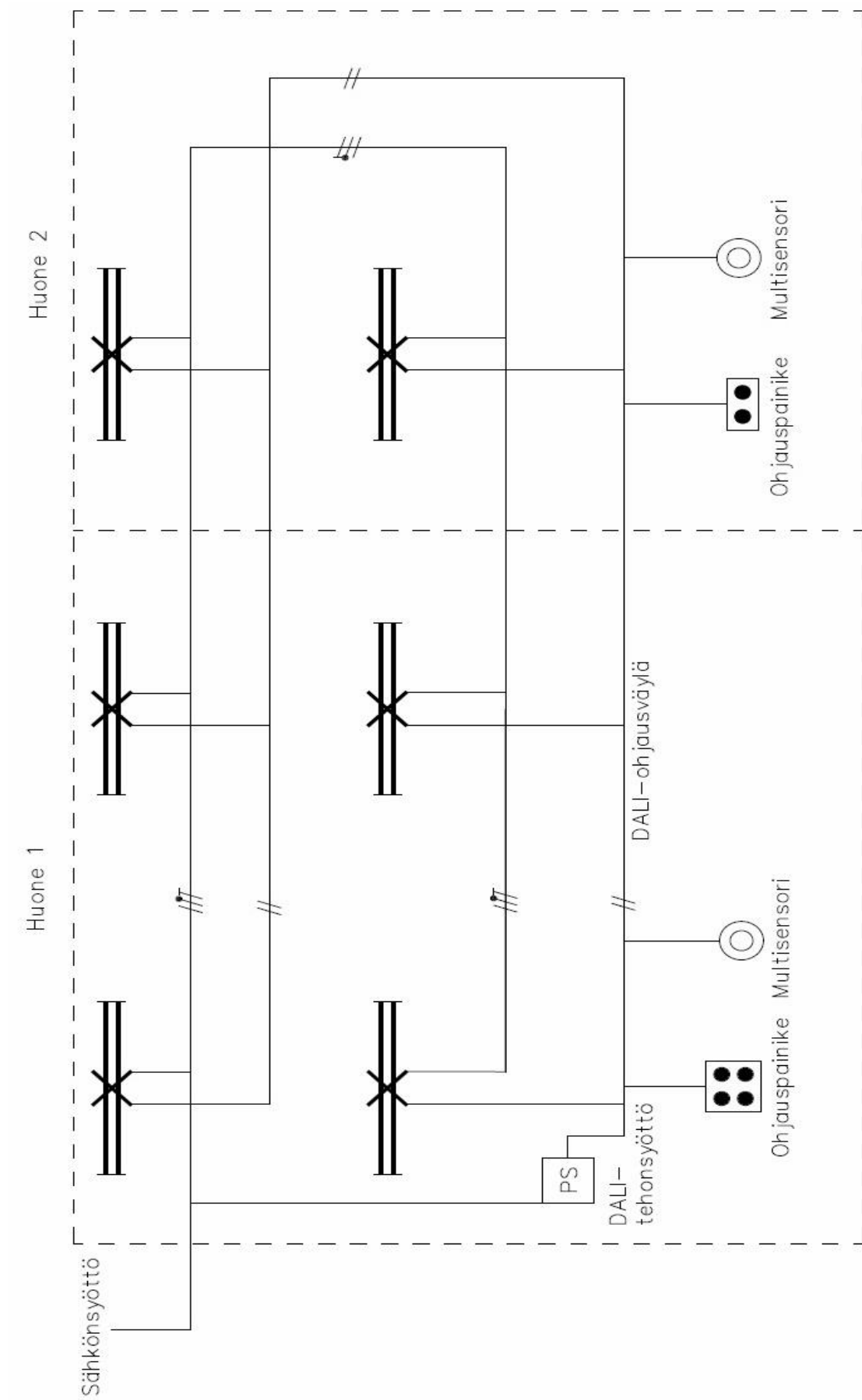
Taulukko 5.28 Julkiset kokoontumistilat – Yleiset alueet

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$	$U_o$	$R_a$	Erityisvaatimukset
			–	–	–	
5.28.1	Eteiset	100	22	0,40	80	UGR vain soveltuviissa tapauksissa
5.28.2	Vaatesäilit	200	25	0,40	80	
5.28.3	Odotusaulat	200	22	0,40	80	
5.28.4	Lipputoimistot	300	22	0,60	80	

Taulukko 5.29 Julkiset kokoontumistilat – Ravintolat ja hotellit

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$	$U_o$	$R_a$	Erityisvaatimukset
			–	–	–	
5.29.1	Vastaanottotiski, kassa	300	22	0,60	80	
5.29.2	Keittiö	500	22	0,60	80	Keittiön ja ravintolan välillä tulisi olla sopeutusvyöhyke.
5.29.3	Ravintola, ruokasali, monitoimitila	–	–	–	80	Valaistus tulisi suunnitella niin, että se luo sopivan ilmapiirin.
5.29.4	Itsepalveluravintola	200	22	0,40	80	
5.29.5	Tarjoilupöytä	300	22	0,60	80	
5.29.6	Kokoushuoneet	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
5.29.7	Käytävät	100	25	0,40	80	Yöaikana pienemmät valaistusvoimakkuudet ovat hyväksyttäviä.

Liite 3. DALI-järjestelmän periaatekuva

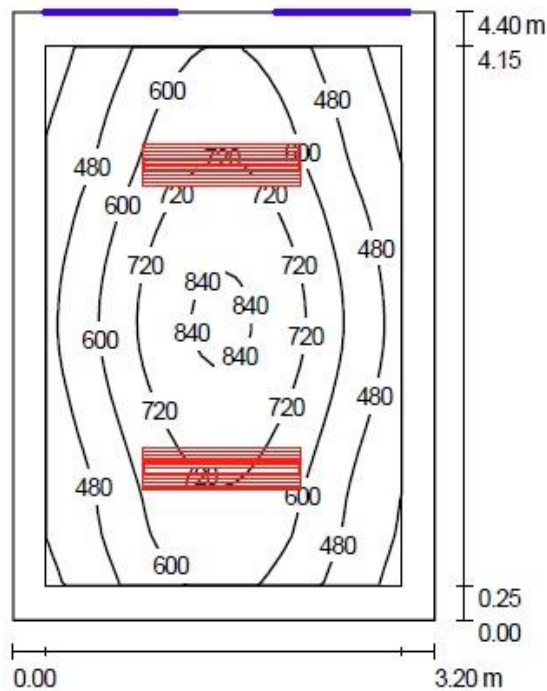


## Liite 4. Valaisin- ja valonlähdetietokannan esimerkkisivu

Valaisin ja lampputietokanta 1. versio		Jaakko Helle									
Henrikin Kirkko											
K-kerros											
2. sivu											
Tila	Sijointus	Valaisin	kpl	Lamppu	kpl	Teho (W)	Värintoisto Ra	Lämpötila (K)	Lisätietoja		
029 WC/N	katto	Lumiance Insaver	6	pienloistelamppu	1	26	8	3000	GX24q-3-kanta, Insaver, liik.tun.		
	peili	Bega 4404	3	loisteputki	1	14	8	3000	T5		
030 VARASTO	katto	Glamox i20 OP	3	loisteputki	1	28	8	3000	T5, i20048034, liik. Tunnistin		
032a SK	katto	Glamox i20 OP	1	loisteputki	1	28	8	3000	T5, i20048034, liik. Tunnistin		
033 ETEINEN	katto	Louis Puolsen	11	pienloistelamppu	1	32	8	3000	GX24q-3-kanta, Munkegaard, D=265		
035 RIPPIKOULU	katto 1	FGHLT Notor G2	18	loisteputki	1	28	8	3000	T5, Notor G2 Lamell. 26933		
	katto 2	FGHLT Pleiad	12	pienloistelamppu	1	32	8	3000	GX24q-3 kanta, Comfort 76618-81		
	kk. katto	FGHLT Pleiad	3	pienloistelamppu	1	26	8	3000	GX24q-3 kanta, Comfort 76614		
	kk. Taso	Osram Slimilite EL	4	loisteputki	1	13	8	2700	T5, 4107873		
036 KÄYTÄVÄ	katto	FGHLT Notor G2	11	loisteputki	1	28	8	3000	T5, Notor G2 Opal, 26938		
037a TK	katto	FGHLT Notor G2	2	loisteputki	1	28	8	3000	T5, Notor G2 Opal, 26938		
038 PESU	katto	Lumiance Insaver	6	pienloistelamppu	1	26	8	3000	GX24q-3-kanta, Insaver, liik.tun.		
039 NUORISOTYÖ	katto 1	FGHLT Notor G2	12	loisteputki	1	28	8	3000	T5, Notor G2 Lamell. 26933		
	katto 2	FGHLT Pleiad	6	pienloistelamppu	1	32	8	3000	GX24q-3 kanta, Comfort 76618-81		
040 NUORISOTILA	katto 1	FGHLT Notor G2	20	loisteputki	1	28	8	3000	T5, Notor G2 Lamell. 26933		
	katto 2	FGHLT Pleiad	12	pienloistelamppu	1	32	8	3000	GX24q-3 kanta, Comfort 76618-81		
	katto 3	FGHLT Pleiad	3	pienloistelamppu	1	26	8	3000	GX24q-3 kanta, Comfort 76614		
041 HARR.KEITTIÖ	katto	FGHLT Pleiad	3	pienloistelamppu	1	26	8	3000	GX24q-3 kanta, Comfort 76614		
	työtaso	Osram Slimilite EL	5	loisteputki	1	13	8	2700	T5, 4107873		
042 WC/INVA	katto	Lumiance Insaver	1	pienloistelamppu	1	26	8	3000	GX24q-3-kanta, Insaver, liik.tun.		
	peili	Bega 4404	1	loisteputki	1	14	8	3000	T5		
043a VAR 3P	katto	Glamox i20 OP	3	loisteputki	1	28	8	3000	T5, i20048034, liik. Tunnistin		
043b VAR	katto	Glamox i20 OP	1	loisteputki	1	35	8	3000	T5, i20048035, liik. Tunnistin		
043c VAR 4P	katto	Glamox i20 OP	2	loisteputki	1	35	8	3000	T5, i20048035, liik. Tunnistin		
044 KÄYTÄVÄ	katto	FGHLT Notor G2	4	loisteputki	1	28	8	3000	T5, Notor G2 Opal, 26938		
<b>Yhteensä</b>						<b>7101</b>					

## Liite 5. DIALux-valaistuslaskennan tulokset uudelle huoneelle

## Tila 1 / Yksisivuinen tulos



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m, Huoltokerroin: 0.70 Arvot (yksikkö) Lux

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	598	304	865	0.509
Lattia	20	414	268	569	0.649
Katto	70	113	64	265	0.561
Seinät (4)	50	207	82	469	/

Käyttötaso:		UGR			
Korkeus:	0.850 m	Vasen seinä	17	Poikittain	17
Rasteri:	32 x 32 Pisteet	Alempi seinä	17	Poikittain	17
Reuna-alue:	0.250 m	(CIE, SHR = 0.25.)			

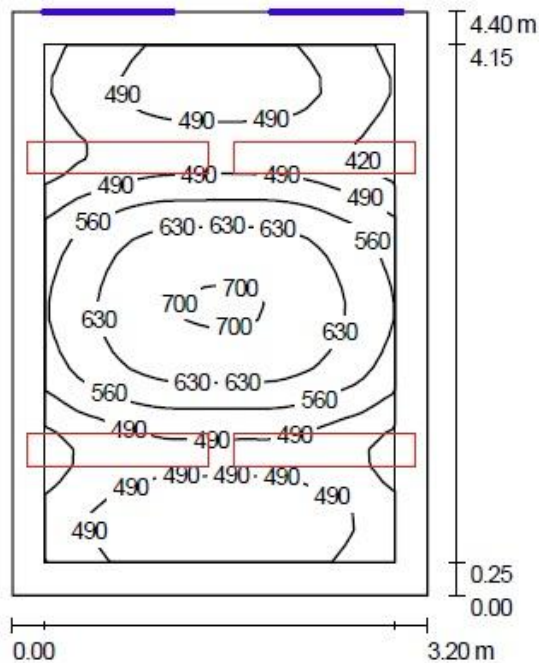
## Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	2	FAGERHULT 24488 Indigo Clivus 2xT16 54 W (1.000)	6825	8900	114.0
Yhteensä:			13651	Yhteensä: 17800	228.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $16.19 \text{ W/m}^2 = 2.71 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $14.08 \text{ m}^2$ )

## Liite 6. DIALux-valaistuslaskennan tulokset vanhalle huoneelle

## Tila 1 / Yksisivuinen tulos



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m, Huoltokerroin: 0.60 Arvot (yksikkö) Lux

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	537	376	710	0.700
Lattia	20	383	276	536	0.719
Katto	70	104	79	120	0.762
Seinät (4)	50	249	81	645	/

**Käyttötaso:**

Korkeus:	0.850 m
Rasteri:	32 x 32 Pisteet
Reuna-alue:	0.250 m

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	4	Mazda TCW602 2xTL-D36W EXT PC (1.000)	4221	6700	85.0
			Yhteensä: 16884	Yhteensä: 26800	340.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $24.15 \text{ W/m}^2 = 4.50 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $14.08 \text{ m}^2$ )

## Liite 7. Elinkaarilaskennan tulokset

## Valaistusratkaisujen kustannusvertailu

	<b>Vanha huone</b>	<b>Uusi huone</b>
<b>Yleiset tiedot</b>		
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailuratkaisu takaisinma...)	Nykyinen valaistusratk...	
Valaisintyyppien lukumäärä	1	1
Valaisintyyppi	80 - Vanhat T8-valaisi...	40 - Indigo Clivus
Lampputyyppi	FD (T26) 2x36W	FDH (T16) 2x54W
Valaisimien lukumäärä	80	40
Valonlähteiden kokonaismäärä	160	80
<b>Investointikustannukset</b>		
Valaisinkustannukset yhteensä (ilman lamppuja)	0 EUR	16 000 EUR
Valonlähdekustannukset yhteensä	320 EUR	264 EUR
Asennuskustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR
Materiaali- ja työkustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR
<b>Investointi</b>	<b>320 EUR</b>	<b>16 264 EUR</b>
<b>Energiakustannukset</b>		
Valaistusratkaisun kokonaisteho	7,2 kW	4,6 kW
Keskimääräinen käyttökerroin	70,0 %	30,0 %
Teho yhteensä	5,0 kW	1,4 kW
Keskimääräinen toiminta-aika	2 500 h/vuotta	2 500 h/vuotta
Energiankulutus yhteensä/vuosi (ilman tyhjäkäyntitehoa)	12,6 MWh/vuotta	3,42 MWh/vuotta
tyhjäkäyntiteho yhteensä	40,0 W	0,0 W
Keskimääräinen tyhjäkäyntitehoaika	6 260 h/vuotta	- h/vuotta
Tyhjäkäyntienergian kulutus	250,4 kWh/vuotta	0 Wh/vuotta
Energiankulutus vuodessa	12,9 MWh	3,4 MWh
Sähkön hinta	0,13 EUR/kWh	
Energiakustannukset vuodessa	1 671 EUR	445 EUR
<b>Energiakustannusten nykyarvo</b>	<b>67 156 EUR</b>	<b>17 873 EUR</b>
<b>Valonlähdekustannukset</b>		
Valonlähteen nimi	FD (T26) 2x36W	FDH (T16) 2x54W
Valonlähteiden kokonaismäärä	160	80
Valonlähteiden vaihtokustannukset yhteensä	800 EUR	504 EUR
<b>Valonlähdekustannusten nykyarvo</b>	<b>3 498 EUR</b>	<b>1 131 EUR</b>
<b>Huoltokustannukset</b>		
Huoltokustannukset yhteensä	800 EUR	400 EUR
<b>Huoltokustannusten nykyarvo</b>	<b>3 498 EUR</b>	<b>897 EUR</b>
<b>Valaistusratkaisun nykyarvo</b>	<b>74 471 EUR</b>	<b>36 165 EUR</b>
<b>Kriittinen piste (nykyarvomenetelmä)</b>	- vuotta	10,4 vuotta
<b>Tuotto</b>	0 EUR	38 307 EUR
<b>LENI</b>	<b>~917,9 kWh/m<sup>2</sup>, vuotta</b>	<b>~244,3 kWh/m<sup>2</sup>, vuotta</b>