

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikka  
Tommi Nurmi

Opinnäytetyö

**Valaistuksen säädettävyyden vaikutus lamppujen, liitäntälaitteiden ja komponenttien elinikään ja elinkaarikustannuksiin**

Työn ohjaaja  
Työn tilaaja  
Tampere 5/2010

Diplomi-insinööri Eerik Mäkinen  
Projectus Team Oy, insinööri Rauno Laatikainen

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikka  
Tommi Nurmi

Tekijä  
Työn nimi

Tommi Nurmi  
Valaistuksen säädettävyyden vaikutus  
lamppujen, liitäntälaitteiden ja komponenttien  
elinikään ja elinkaarikustannuksiin  
71 sivua + 6 liitesivua  
Toukokuu 2010  
Diplomi-insinööri Eerik Mäkinen  
Projectus Team Oy,  
ohjaajana insinööri Rauno Laatikainen

Sivumäärä  
Valmistumisaika  
Työn ohjaaja  
Työn tilaaja

---

## Tiivistelmä

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia valaistuksen säädettävyyden vaikutusta lamppujen, liitäntälaitteiden ja komponenttien elinikään ja elinkaarikustannuksiin liikekiinteistöissä. Tutkittavina valaisintyyppinä olivat led-, loiste- ja monimetallivalaisimet sekä näiden valaisintyyppien liitäntälaitteet ja komponentit. Valaisintyyppinä vertailtiin teorian tietojen pohjalta sekä DIALux-ohjelmaa että Fagerhultin LCC-ohjelmaa hyväksikäyttäen.

Työn tavoitteena oli valita eliniän ja elinkaarikustannusten välisessä vertailussa parhaat valaisimet, liitäntälaitteet ja komponentit kuvitteelliseen kohteeseen sekä kerätä teorian tietoa tutkittavista valaisintyypeistä, niiden liitäntälaitteista ja komponenteista sekä valaistuksen säätämisestä.

TAMK University of Applied Sciences  
Electrical Engineering  
Electrical Power Engineering  
Tommi Nurmi

Writer	Tommi Nurmi
Thesis	The impact of lighting control to the lifespan and the life-cycle costs of lamps, connection devices and components.
Pages	71 pages + 6 appendices
Graduation time	May 2010
Thesis Supervisor	M.Sc. Eerik Mäkinen
Commissioning Company	Projectus Team Oy, Supervisor engineer Rauno Laatikainen

---

## Abstract

The meaning of my thesis was to research the impact of lighting control to the lifespan and the life-cycle costs of lamps, connection devices and components. The test types of lamps were LED lamp, fluorescent lamp and multi-metal lamp and the connection devices and the components of these types of lamps. Comparison between these types of lamps was made with using theory of knowledge, DIALux-program and LCC-program.

The aim of my thesis was to choose by comparison of the lifespan and the life-cycle cost the best lamps, connection devices and components in imaginary target. Also the aim of my thesis was to collect theory of knowledge of the test types of lamps, these connection devices and components and the lighting control.

## **Esipuhe**

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen tutkimus valaistuksen säädettävyyden vaikutuksesta lamppujen, liitäntälaitteiden ja komponenttien elinikään ja elinkaarikustannuksiin. Myös tutustuminen led-, loiste- ja monimetallivalaisintyyppihin, näiden valaisintyyppien liitäntälaitteisiin ja komponentteihin sekä valaistuksen säätämiseen oli mieleinen tutkimus. Työn aihe oli minulle aivan uusi ympäristö, joten työn tekeminen oli opettava, haastava ja antoisa kokemus.

Haluan kiittää työni ohjaajaa Eerik Mäkistä työni ohjaamisesta. Lisäksi haluan kiittää työni tilaajan edustajaa Rauno Laatikaista, joka toimi myös työni ohjaajana ja laati mielenkiintoisen opinnäytetyöaiheen. Haluan myös kiittää kaikkia muita, jotka ovat olleet apunani ja tukenani opinnäytetyöni tekemisen aikana.

Tampereella 31. toukokuuta 2010

Tommi Nurmi

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	2
Abstract .....	3
Esipuhe .....	4
Symboliluettelo .....	7
1. Johdanto .....	8
2. Valaistussuunnittelu .....	9
2.1 Valaistustekniset suureet, yhtälöt ja niiden merkitys .....	9
2.1.1 Valaistusvoimakkuus .....	9
2.1.2 Valovoima .....	10
2.1.3 Valovirta .....	11
2.1.4 Luminanssi .....	12
2.1.5 Valonjakokäyrä .....	13
2.2 Valaistusvaatimukset ja standardi EN 12464-1 .....	15
2.2.1 Yhteiseurooppalaiset valaistussuositukset .....	15
2.2.2 Standardin EN 12464-1 sisällöstä .....	15
2.3 Energiaa säästävät valaistustekniset ratkaisut .....	16
2.3.1 Valaistustapa .....	17
2.3.2 Valaisimen valinta .....	17
2.3.3 Lampun valinta .....	18
2.3.4 Elektroninen liitäntälaitte .....	18
2.3.5 Valaistuksen ryhmittely ja ohjaus .....	19
2.3.6 Energian säästäminen käytöllä, huollolla ja muuntelulla .....	19
2.3.7 Säästön mahdollisuudet .....	19
3. Valonlähteet .....	20
3.1 LED-lamppu .....	20
3.2 Loistelamppu .....	22
3.2.1 Kaksikantainen loistelamppu .....	22
3.2.2 Yksikantainen loistelamppu .....	24
3.3 Monimetallilamppu .....	25
3.4 Lamppujen keskimääräiset ominaisuudet .....	26
4. Valonlähteiden liitäntälaitteet .....	26
4.1 LED-lamppujen liitäntälaitteet .....	26
4.2 Loiste- ja monimetallilamppujen elektroniset liitäntälaitteet .....	28
4.2.1 Syitä elektronisen liitäntälaitteen hankkimiseksi .....	28
4.2.2 Ympäristövalinta .....	29
4.2.3 Toimintaperiaate ja sytytys .....	29
4.2.4 Toiminta .....	30
4.2.5 Valaisimen sisäiset johdotukset .....	30
4.2.6 Isäntä-orja .....	30
4.2.7 Elinikä .....	30
5. Valonsäätö .....	32
5.1 Valonsäädön mahdollisuudet .....	32
5.1.1 Vakiovalo-ohjaus .....	32
5.1.2 Läsnaolotunnistin .....	32
5.1.3 Monia ohjauskanavia .....	33
5.1.4 Muistiin tallennetut tilanteet .....	33
5.1.5 Ohjaus tietokoneella .....	33

5.1.6 Kauko-ohjaus.....	33
5.2 Valonsäädön ohjausperiaatteet.....	34
5.2.1 DALI .....	34
5.2.2 DSI.....	35
5.2.3 Vaiheohjaus .....	35
5.2.4 Ohjaus 1–10 V:n tasajännitesignaalilla.....	36
5.2.5 RGB-ohjaus .....	37
5.3 Valonsäädön ohjausperiaatteiden ominaisuudet .....	38
5.5 LED-lampun säätäminen .....	39
5.6 Loistelampun säätäminen.....	40
5.7 Monimetallilampun säätäminen .....	40
6. Oma projekti .....	41
6.1 DIALux .....	41
6.1.1 Yleistä .....	41
6.1.2 Säätämätön valaistusratkaisu.....	45
6.1.3 Säädettävä valaistusratkaisu .....	47
6.1.4 Tulosten arviointi.....	48
6.2 LCC - Life Cycle Cost calculator.....	56
6.2.1 Säätämätön valaistusratkaisu.....	57
6.2.2 Säädettävä valaistusratkaisu .....	60
6.2.3 Tulosten arviointi.....	65
7. Yhteenveto .....	69
Lähteet .....	71
Liitteet.....	71
1–2	Otteita standardin EN 12464-1 -taulukoista
3–6	Otteita standardista EN 15193-1: LENI-luku

## Symboliluettelo

Valovoima	Symboli $I$ . Yksikkö kandela (cd). Kuvaa valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuutta.
Valaistusvoimakkuus	Symboli $E$ . Yksikkö ( $lx = lm/m^2$ ). Ilmoittaa tietylle pinnalle osuvan valovirran määrän.
Luminanssi	Symboli $L$ . Yksikkö ( $cd/m^2$ ). Mitä suurempi pinnan luminanssi on, sitä kirkkaammalta pinta näyttää.
Valovirta	Symboli $\Phi$ . Yksikkö lumen (lm). Ilmoittaa valonlähteen tuottaman kokonaisvalomäärän.
Väriämpötila	Yksikkö kelvin (K). Kuvaa valonlähteen värivaikutelmaa. Lämmin sävy $K < 4000$ K ja kylmä sävy $K > 4000$ K.
Värintoistoindeksi	Symboli $R_a$ . Yksikkö $R_a$ -indeksi. Mittaa valonlähteen kykyä toistaa tiettyjä testivärejä suhteessa annettuun vertailuvalonlähteeseen tietyssä väriämpötilassa.
Keskimääräinen polttoikä	Yksikkö tuntia (h). Ilmoittaa valonlähteen polttotuntimäärän, jolloin puolet tutkittavasta suuresta lamppujoukosta on sammunut.
Hyötypolttoikä	Yksikkö tuntia (h). Ilmoittaa polttotuntimäärän, jolloin valaistusasennuksen kokonaisvalovirrasta on jäljellä enää 70 %, mikä on aiheutunut lamppujen loppuun palamisesta ja valovirran alenemisesta.
Valaistusvoimakkuuden tasaisuus	Symboli $E_{min}/E_m$ . Tietyltä pinnalta laskettu valaistusvoimakkuuden minimiarvon suhde keskiarvoon.
LENI-luku	Rakennuksen valaistuksen energiatehokkuus arvioidaan indeksillä, LENI-indeksi (Light Energy Numeric Indicator). Yksikkö $kWh/m^2/a$ . /1/

## 1. Johdanto

Opinnäytetyön aihe valaistuksen säätämisen vaikutus lamppujen, liitälaitteiden ja komponenttien elinikään ja elinkaarikustannuksiin liikekiinteistöissä on aiheena hyvin ajankohtainen, koska koko ajan pyritään kehittämään entistä vähemmän energiaa tarvitsevia laitteita. Erityisesti opinnäytetyöni tutkimusalueeseen kuuluvat energiansäästölamput ja energiansäästäminen ylipäänsä ovat tänä päivänä yleinen puheenaihe eri medioissa.

Opinnäytetyössäni tarkoituksena oli valita elinkaarikustannusten välisessä vertailussa parhaat valaisimet, liitälaitteet ja komponentit kuvitteelliseen kohteeseen sekä kerätä teoretietoa tutkittavana olevista valaisintyypeistä, näiden liitälaitteista ja valaistuksen säätämisestä sekä laatia oma tilakohtainen valaistusratkaisu DIALux-ohjelmalla sekä suorittaa tilan elinkaari- sekä energiakustannuslaskelmat Fagerhultin LCC-ohjelmalla.

Sisällysluettelon mukaiset luvut 2–5 ovat teoretietoa, joka on referoitu seuraavista lähdemateriaaleista: Fagerhult, Valaistus 2009–2010 ja ST-kortit: 58.08, 58.06, 58.31 ja 57.52. Oma projektini on esitetty luvussa 6, jossa on käsitelty DIALux-ohjelmaa ja LCC-ohjelmaa.

Ensimmäiseksi opinnäytetyössäni esittelen valaistuksen perusteita, valaistusteknisiä suureita sekä valonlähteiden ominaisuuksia. Seuraavaksi käsitelen tutkittavat valonlähteet ja valonlähteiden liitälaitteet. Tämä jälkeen selvittelen tutkittavien valonlähteiden säätämistavat. Lopuksi käsitelen DIALux-ohjelmalla suunnittelemani valaistusratkaisut ja laskelmat Fagerhultin LCC-ohjelmalla tämän kuvitteellisen kohteen elinkaarikustannuksista valitsemillani valaisimilla ja säätöjärjestelmillä.



## 2. Valaistussuunnittelu

Tässä luvussa on esitelty yleisimmät valaistustekniset suureet, yhtälöt ja niiden merkitys, valaistusvaatimukset ja standardi EN 12464-1 sekä energiaa säästävät valaistustekniset ratkaisut.

### 2.1 Valaistustekniset suureet, yhtälöt ja niiden merkitys

#### 2.1.1 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuuden tunnus on  $E$ , joka kertoo kuinka paljon valoa saadaan tiettyyn tilaan määrätyle pinnalle. Valaistusvoimakkuuden laskentakaava:

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

$\Phi$  = pinnalle tuleva valovirta

$A$  = tilan lattiapinta-ala (m<sup>2</sup>)

Valaistusvoimakkuutta ei pystytä näkemään, vain valon heijastuminen tietyltä pinnalta on nähtävissä. Yksikkönä on luksi (lx) = lm/m<sup>2</sup>. Sisävalaistuksessa käytettävät valaistusvoimakkuudet ovat 100–1000 lx. Ulkovalaistuksessa vastaavat arvot ovat yöaikaan 1–15 lx ja päivällä aurinko tuottaa 100 000 lx:n valaistusvoimakkuustason. Valaistusvoimakkuus on riippuvainen suoraan pinnalle tulevasta valovirrasta ja kääntäen valaistavan pinnan alasta. Tätä riippuvuutta koskee neliölaki eli etäisyyden kaksinkertaistaminen alentaa valaistusvoimakkuuden neljänteen osaan. Näin ollen valaistavaa kohdetta käännettäessä tai kohteen etäisyyttä muutettaessa, kohteen valaistusvoimakkuudessa tapahtuu muutos. Kuva 1 havainnollistaa valaistusvoimakkuutta. /1/



Kuva 1. Valaistusvoimakkuus. /1/

### 2.1.2 Valovoima

Valovoiman tunnuksena on  $I$ , joka kertoo, kuinka paljon tietystä valonlähteestä lähtee valoa tiettyyn suuntaan. Valovoiman laskentakaava:

$$I = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$\omega = \frac{A}{r^2}$$

$\Phi$  = pinnalle tuleva valovirta

$\omega$  = avaruuskulma

$A$  = valonsäteen tekemän kartion pallomaisen pohjan pinta-ala

$r^2$  = pallon säteen neliö

Valovoima esitetään valonjakokäyrän avulla. Siinä valaisimien valovoima ilmoitetaan yleisimmin napakoordinaatistossa yhdessä tai useammassa pysty akselin suuntaisessa tasossa. Yksikkönä on kandela (cd). Valaisimen valonjako ilmoitetaan yleensä kandeloina tuhatta lumenta kohti (cd/klm). Asennusgeometrian, valovoiman ja valaistusvoimakkuuden välinen riippuvuus on nimeltään neliö- ja kosinilaki, jossa valaistusvoimakkuus on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön ja suoraan verrannollinen valon tulokulman kosiniin:

$$E = \frac{I_g \cdot \cos g}{d^2}$$

$I_\gamma$  = valaisimen valovoima tarkastelusuuntaan

$\gamma$  = valon tulokulma suhteessa pinnan normaaliin

$d$  = valaisimen etäisyys valaistavasta pisteestä (m)

Kuva 2 esittää valovoimaa. /1/



Kuva 2. Valovoima. /1/

### 2.1.3 Valovirta

Valovirran tunnus on  $\Phi$  ja sillä ilmaistaan valonlähteiden valontuotto. Valovirran laskentakaava:

$$\Phi = \frac{I}{\omega}$$

$I$  = valovoima

$\omega$  = avaruuskulma

Valovirran yksikkönä on lumen (lm). Sisävalaistuksessa käytettävien lampputyypin valovirran suuruusluokka on 400–1200 lm ja ulkovalaistuksessa vastaava on 2–47 klm. Usean eri lampputyypin ympäristön lämpötila ja valaisimen asento (esim. pienoisloistelamput) vaikuttaa valovirtaan. Nimellisvalovirralla tarkoitetaan valonlähteen valovirtaa, joka on mitattu standardin mukaisessa 25 °C:en lämpötilassa. Eri valonlähteiden valovirran ja tilan lattiapinta-alan avulla voidaan laskea tilan keskimääräinen valaistusvoimakkuus. Kuvassa 3 on havainnollistettu valovirtaa. /1/



Kuva 3. Valovirta. /1/

### 2.1.4 Luminanssi

Luminanssin tunnuksena on  $L$ , joka ilmaisee kohteena olevan kappaleen pintakirkkauden. Luminanssin laskentakaava:

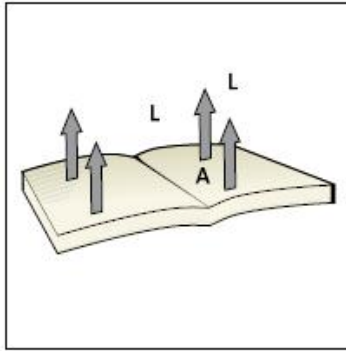
$$L = \frac{I}{A}$$

$I$  = valovoima

$A$  = tilan lattiapinta-ala ( $\text{m}^2$ )

Luminanssi on nähtävissä oleva suure. Mitä suurempi pinnan luminanssi on, sitä kirkkaampana pinta nähdään. Sitä käytetään näköympäristön eri ominaisuuksien ja näyttöpäätetyötilojen valaisimien valoaukon kirkkauden määrittämisessä. Luminanssin yksikkönä käytetään kandela neliömetrille ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). Taivaankannen luminanssi on suuruusluokaltaan  $8000 \text{ cd}/\text{m}^2$  ja vastaavasti 36 W:n loistelampun pinta on  $10\,000 \text{ cd}/\text{m}^2$ . Pintojen luminanssit riippuvat niiden valovoimasta ja projektiopinta-alasta tarkasteltavaan suuntaa. Hajaheijastavilla pinnoilla luminanssi syntyy pinnalla vallitsevan valaistusvoimakkuuden sekä pinnan heijastussuhteen yhteisvaikutuksena.

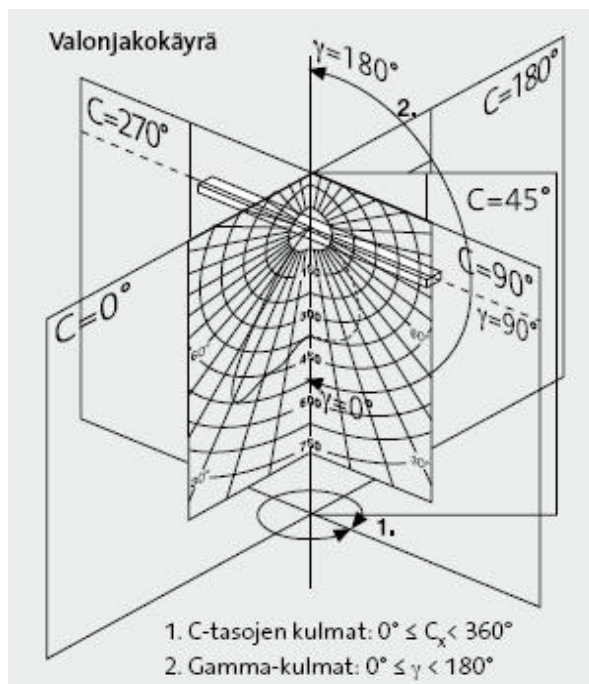
Kuva 4 havainnollistaa luminanssia. /1/



Kuva 4. Luminanssi. /1/

### 2.1.5 Valonjakokäyrä

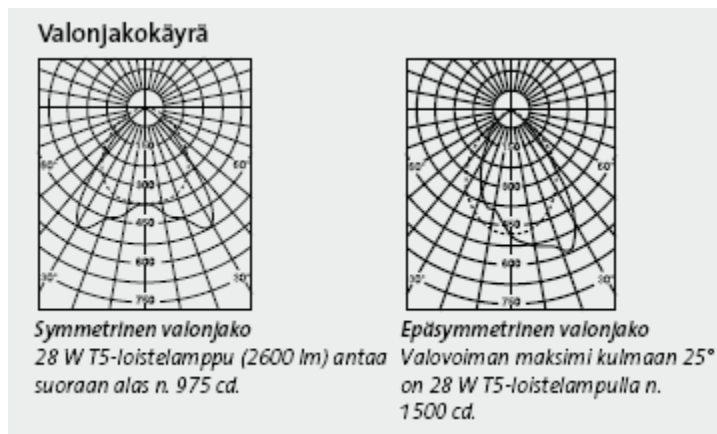
Valonjakokäyrä ilmoittaa valaisimen valovoiman eri suuntiin tarkastelukulman funktiona yhdessä tai kahdessa tasossa. Se on napakoordinaatistoon piirretty kuvaaja. Valonlähteen pituusakseliin nähden poikittainen taso on kuvattu ehjällä viivalla ja pituusakselin suuntainen katkoviivalla. Arvot on skaalattu valonlähteen 1000 lumenta kohti (cd/klm). Tästä syystä valonjakokäyrän lukuarvot voivat olla eri tehoisilla valaisimilla samansuuruiset. Kuva 5 esittää valonjakokäyrää. /1/



Kuva 5. Valonjakokäyrä. /1/

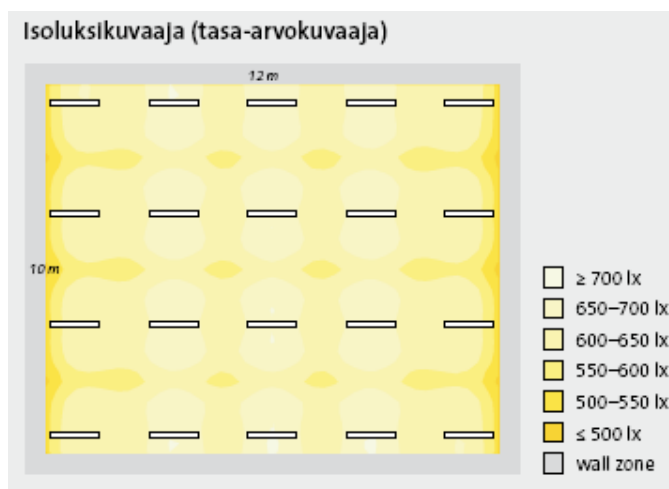
Kuvasta 5 nähdään, että valaisimen valonjako mitataan useissa eri tasoissa valaisimen ympäri. Ensimmäisenä mittaustasona on  $C = 0^\circ$ . Tämä taso on kohtisuoraan lamppujen pituussuuntaa vastaan, jos kyseessä on epäsymmetrinen valaisin, valovoiman maksimi suuntautuu tähän suuntaan.

Kuvassa 6 on esitetty, kun valo jakautuu symmetrisesti ja epäsymmetrisesti. /1/



Kuva 6. Symmetrinen ja epäsymmetrinen valonjako. /1/

Kuvassa 7 on isoluksikuvaaja, joka ilmoittaa käyrillä rajattuna alueen, jonka sisällä vaakatason valaistusvoimakkuus ylittää käyrälle merkityn valaistusvoimakkuusarvon (lx). Valaisimien ja kalusteiden sijoittelu on yleensä nähtävissä kuvasta. /1/



Kuva 7. Isoluksikuvaaja. /1/

## **2.2 Valaistusvaatimukset ja standardi EN 12464-1**

### **2.2.1 Yhteiseurooppalaiset valaistussuositukset**

Työturvallisuuslain (738/2002) mukaan työpaikalla tulee olla työn edellyttämä ja työntekijöiden edellytysten mukainen sopiva ja riittävän tehokas valaistus. Erityyppisten työtehtävien edellyttämät valaistusvaatimukset on koottu yhteiseurooppalaiseen EN 12464-1 -standardiin ”Lightning of indoor Work Places”. Koska valaistuksen riittävyyteen liittyvät vaatimukset on kirjattu lakiin, on standardi EN 12464-1 käytännössä velvoittava. Osa sen yksityiskohdista on jätetty avoimeksi ja kansallisella tasolla sovittavaksi. Tällaisia yksityiskohtia on esimerkiksi työskentelyalueen mitat ja työskentelyalueen välittömän lähiympäristön koko. Täydentäviä ohjeita tarvitaan, joten ennen niiden valmistumista on suunnittelussa tärkeää sopia sellaisista suunnittelunäkökohdista, joihin standardi ei suoraan ota kantaa. /1/

### **2.2.2 Standardin EN 12464-1 sisällöstä**

Standardissa EN 12464-1 on taulukkomuodossa työskentelyaluetta ja sen välitöntä lähiympäristöä koskevat valaistuksen vähimmäisvaatimukset. Taulukko-osassa on tehtäväkohtaiset valaistusvoimakkuuden vähimmäisarvot, sekä häikäisyindeksi- ja värintoistovaatimukset. Liitteissä 1–2 on otteita tästä taulukosta. Tämän taulukon mukaiset valaistuksen vähimmäisvaatimukset poikkeavat huomattavasti perinteisestä, tilakohtaisemmasta suunnittelutavasta. Valaistussuunnittelussa tulisi hallita edellä mainitun lisäksi myös tilan luminanssijakauma, häikäisyn estäminen, varjonmuodostus, valon värintoisto-ominaisuudet, välkyntä ja päivänvalon käyttö. Standardissa käytettävä valaistusvoimakkuusarvojen porrastus on seuraava: 20 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1000 - 1500 - 2000 - 3000 - 5000 lx. Suositeltavat valaistusvoimakkuudet noudattavat tätä vanhojen suositusten mukaista sarjaa, joka perustuu havaintoon, jonka mukaan kerroin 1,5 edustaa pienintä subjektiivisesti havaittavaa eroa valaistusvoimakkuudessa. 20 lx on valittu sarjan pienimmäksi arvoksi, koska normaaleissa valaistusolosuhteissa kasvopiirteet ovat tällöin juuri tunnistettavissa. Valaistusvoimakkuus ei saisi olla alle 200 lx:a tiloissa, joissa työskennellään koko ajan. /1/

### 2.3 Energiaa säästävät valaistustekniset ratkaisut

Standardin EN 12464-1 valaistusvaatimukset tulee täyttää mahdollisimman energiataloudellisella ratkaisulla näkömukavuudesta tinkimättä. Hyvä suunnitelma sisältää lamppujen energiatehokkuuden, valaisimen hyötysuhteen, liitäntälaitetekniikan, valaistuksen ohjauksen ja päivänvalon käytön huomioimisen. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi 2002/91/EC asettaa vaatimukset esimerkiksi: rakennusten kokonaisenergiatehokkuuden laskentamenetelmälle, energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset uusille rakennuksille ja korjausrakentamiselle sekä rakennusten energiasertifioinnille. Standardissa EN 15193 ”Energy Performance of Buildings – Energy Requirements for Lighting” on määritelty sisävalaistuksen energiankulutuksen laskentamenetelmä. /1/. Liitteissä 3–6 on esitetty otteita standardista EN 15193: LENI-luku ja sen laskentamenetelmiä.

Valaistuksella on suuret sähköenergian säästömahdollisuudet rakennuksissa. Esimerkkinä toimistorakennukset, joissa valaistus aiheuttaa yleensä noin kolmanneksen koko sähkönkulutuksen kustannuksista. Suurimmat energiankäytön määrään, tehokkuuteen ja kustannusseurannan mahdollisuuteen vaikuttavat ratkaisut kohdistuvat uudisrakentamisen tai korjausrakentamisen vaiheisiin. Lyhyimmät takaisinmaksuajat ovat saavutettavissa yleisimmin energiatehokkuuden parantamiseen tehdyillä investoinneilla. /3/

Valaistuksen energiataloudellisuuteen vaikuttavat seuraavat asiat

- valaistustapa
- lamppujen, liitäntälaitteiden ja valaisimien tehokkuus
- valaisimien puhtaanapysymisominaisuudet
- asennuksen joustavuus ja muunneltavuus
- valaistuksen tarpeenmukainen käyttö
  - o tilassa olevien lamppujen sytytys ja sammutus valaistustarpeiden mukaan
  - o päivänvalon hyödyntäminen
  - o tilan toiminnan muutoksien huomiointi. /3/



Edellä mainittujen lisäksi valaistusenergian käytön vähentämiseksi tehdyt toimenpiteet ja investoinnit saavat aikaan säästöä ilmastonin koneellisen jäähdytyksen energiankulutuksessa ja parantavat myös sisäolosuhteita. Lisäksi saadaan säästöä lamppujen hankinta-, jäte- ja huoltokustannuksissa sekä vähennetään haitallisia ympäristövaikutuksia. /3/

### **2.3.1 Valaistustapa**

Laajan yleisvalaistuksen tilalla tulisi käyttää paikallis- ja kohdevalaistusta sekä kohdistaa valaistus tärkeisiin kohteisiin. Käyttämällä epäsuoraa valaistusta suoran valaistuksen lisäksi saadaan valaistus- ja valoisuusvaikutelmaa parannettua. Epäsuoran valaistuksen käytössä tulee huomioida energiankäytön tarpeeton kasvaminen ja lampputyypin soveltuvuus tilakohteen tarpeellisiin säätöihin ja ohjauksiin. Vanhojen kohteiden tapauksissa voidaan yleensä vähentää yleisvalaistuksen määrää ja lisätä tarpeen tullen valaistusta paikallisesti tai erityisillä kohdevaloilla. /3/

Uudisrakennuksissa tai saneerauskohteissa on suotavaa käyttää valaistusjärjestelmiä, jotka ovat joustavia ja muunneltavissa valaisimien sekä ohjauksen osalta. Esimerkkinä kosketin kiskoratkaisut, pistorasia- ja pistokeliitännäiset valaisimet, valaisinkohtaiset ohjelmoitavat valaistushausratkaisut ja väyläratkaisu. Edellä mainitut ratkaisut pätevät eritoten liiketiloissa, mutta myös toimisto- yms. tiloissa, joissa tapahtuu toiminnallisia muutoksia tai joissa tehtävät ja valaistusvaatimukset muuttuvat. /3/

### **2.3.2 Valaisimen valinta**

Koska uusien valaisimien heijastinmateriaalit ovat kehittyneet paremmiksi, voidaan valaistuksen hyötysuhdetta lisätä jo tällä 10 %. Erilaisiin tiloihin on pystytty suunnittelemaan tilakohtaisia valaisimia, joissa käytetään uusia pieniä T5-lamppuja. Näin valaisinta, heijastinta ja häikäisysojaa koskevassa suunnittelussa on voitu huomioida lampun mitat ja saatu lopputulokseksi hyviä valaistusteknisiä ratkaisuja. Valaisimen ja lamppujen omaisuudet sekä ympäristöolosuhteet määräävät valaistushyötysuhteen ja sen pysyvyyden. Valaisinvalinnat tulisi tehdä tilakohtaisesti huomioiden lisäksi likaantumisolosuhteet. /3/

### 2.3.3 Lampun valinta

Lamppuvalinnan kannalta huomioitavia asioita ovat tilan ominaisuudet ja tilassa tapahtuva toiminta sekä valaistuksen tehokkuus- ja laatuvaatimukset. Lamppu- ja liitäntälaitteyksikön valotehokkuudella pystytään arvioimaan lamppujen energiatehokkuutta. Esimerkiksi uusilla T5-lamppuilla nostetaan loistelamppujen valotehokkuutta yhä enemmän. Valotehokkuus T5-loistelampulla on parhaimmassa tapauksessa noin 100 lm/W 35 °C:n lämpötilassa, mikä on kehitystä entiseen malliin, jolla vastaava maksimi saavutettiin 25 °C:n lämpötilassa. T5-lamppu soveltuukin siis hyvin käytettäväksi suljettuihin valaisin malleihin. /3/

T5-lamppua varten on myös kehitetty erilaisiin tiloihin tarkoitettuja valaisimia. Tällöin lampulla saadaan säästettyä energiaa, raaka-aineita, varastointi- ja käsittelykustannuksia. Lampun elohopeamäärä on alhainen ja valovirran säilyvyys tasainen, sillä jopa 16 000 h:n käytön jälkeenkin valovirta on 95 % alkuperäisestä. Lamppuvalinnassa kohteeseen on kuitenkin syytä huomioida tulevaisuudessa tehtävät käytönaikaiset huollot sekä pyrkiä mahdollisimman pieneen lampputyypin valikoimaan, jotta varastoitavien lamppujen määrä saadaan minimoitua. /3/

### 2.3.4 Elektroninen liitäntälaitte

Aina uusittaessa vanhaa valaistusta tai asennettaessa uutta suositellaan loistevalaisimissa käytettäväksi elektronista liitäntälaitetta. Näin toimiessa saadaan 20–25 %:n energiansäästö ja saavutetaan samalla alla olevia höytyjä

- valaisinkohtainen kompensointi
- värinätön valo
- lamppujen polttoian piteneminen
- lamppu ei jää vilkkumaan polttoian lopulla
- soveltuu käyttöihin, joissa valoja sytytetään ja sammutetaan usein
- sähköasennusten mitoitusäästöt
- lamppu syttyy välkkymättä. /3/

### **2.3.5 Valaistuksen ryhmittely ja ohjaus**

Valaistuksen energiansyöttö ja ryhmitys tulee toteuttaa ja sen ohjaus asentaa automaattisia tai kytkinratkaisuja hyväksikäyttäen niin, että valaistuksen määrä on vaihdeltavissa tilassa tehtävien toimintojen mukaan. Valaistustarve vaihtelee usein tilan mukaan. Jotta päivänvaloa voitaisiin hyödyntää tilassa, täytyisi päivänvaloalueen valaistus ryhmitellä erikseen ohjattavaksi tai valaisimet tulisi varustaa päivänvaloautomaatiikalla, vakiovalo-ohjauksella tai on/ei-ohjauksella. Valaisin, valaistuksen ohjaustavat ja ryhmittely pitää valita niin, että valaistusta pystytään käyttämään kulloisenkin tarpeen mukaan. Tähän on seuraavia vaihtoehtoja: kytkin-, painike-, porrasmuuttaja-, kello-, ajastin-, päivänvalo- ja läsnäolo-ohjaus. Valaistuksen ohjaukseen on asennettavissa monenlaisia väyläohjauksratkaisuja. Tämä ohjaustapa on kannattava valaistustarpeiden muuttuessa käytön aikana, tilojen ja toimintojen muuttuessa. Käyttö- ja ylläpitokustannuksissa saadaan aikaan säästöjä. /3/

### **2.3.6 Energian säästäminen käytöllä, huollolla ja muuntelulla**

Valaistustason mitoitus olisi optimoitava ja valaistussuunnitelmaan sisällyttää kohtuullinen valovirran alenema ja optimaalinen huolto-, puhdistus- ja lampunvaihdonjaksotus. Useimmiten valaistustason mitoitus pyritään toteuttamaan niin, että lamput vaihdetaan silloin, kun 80 % lamppujen nimellispolttoikästä on kulunut. Useimmiten lamppujen vaihto suositellaan tehtäväksi, kun lampuista johtuva valovirran alenema on 20 %. Lisäksi huoltojen ja lampunvaihtojen yhteydessä pitäisi arvioida valaistustekninen saneeraustarve ja energiatehokkuuden parantamismahdollisuudet uusilla tekniikoilla sekä ottaa huomioon mahdollisesti tapahtuneet muutokset alkuperäisestä valaistustarpeesta ja muuntaa valaistusratkaisua tarvetta vastaavaksi. Huoltotarvetta saadaan vähennettyä lisäksi niin, että valaisin valinnoissa huomioidaan kaikkien valaisinkomponenttien kestävyys eri asennuspaikan olosuhteissa. /3/

### **2.3.7 Säästön mahdollisuudet**

Toimistovalaistuksen energiatehokkuus on puolitettavissa käyttäen uusimpia valaistustekniikoita ja laatimalla hyvä valaistussuunnitelma. Toimistovalaistuksessa

voidaan päästä alle  $10 \text{ W/m}^2$ :n ja jopa  $5 \text{ W/m}^2$ :n tehotasolla voidaan saavuttaa vielä laadukas valaistus. Toimistokiinteistöjen valaistuksen osuus sähkön käytöstä on yleensä 30–50 %, joten energiansäästö on merkittävä. /3/

### 3. Valonlähteet

Tässä luvussa on käsitelty LED-, loiste- ja monimetallilamppujen yleisiä ominaisuuksia.

#### 3.1 LED-lamppu

LED (Light Emitting Diode) on puolijohdekomponentti. Kun LED:iin johdetaan sähkövirta, synnyttää LED lähes monokromaattista valoa. LED-valonlähteet perustuvat pn-liitokseen, jossa elektroni- ja aukkoparin rekombinoituminen saa aikaan fotonin emission. LED:eissä valon tuottaminen tapahtuu eri lailla kuin muissa valonlähteissä. Soveltuvat kohde- ja yleisvalaistukseen, sisä- ja ulkovalaistukseen ja monenlaisiin erikoissovelluksiin. /5/

Tuotettavan valon väri on riippuvainen valmistuksessa käytetystä materiaalista. Valmistuksen perusvärit ovat punainen, oranssi, vihreä ja sininen. Valkoinen väri saadaan luotua joko sekoittamalla punainen, vihreä ja sininen (RGB) tai useimmiten sinisellä LED:illä, jossa loisteaine puolestaan muuttaa osan säteilystä keltaisen väriseksi valoksi, joka näyttää valkoiselta. /1/

LED:ien välillä on suuria värilämpötila- ja valovirtavaihteluita, jotka syntyvät niiden tuotantoprosesseissa. Tästä seuraa valikoiman rajaus, josta käytetään nimitystä jaottelu (binning). Eri LED-valmistajat jakavat tuotantonsa useisiin ryhmiin. Mitä tarkemmin jaottelu toteutetaan, sitä tasalaatuisempia tuotteet ovat. Tästä aiheutuu kuitenkin mahdollisia hinnan nousuja ja saatavuuden heikentymisiä, joten useimmiten LED:ejä valitaan muutamasta toisiaan lähellä olevasta jakoryhmästä. /1/

Valkoisten LED:ien värilämpötilat vaihtelevat  $2700\text{--}8000 \text{ K}$ :n välillä (lämmin, neutraali ja kylmä). Värintoistoindeksi  $R_a$  vaihtelee puolestaan  $70$ :stä yli  $90$ :een.

Lämminsävyisen LED:in  $R_a$ -indeksi on korkeampi kuin korkean värilämpötilan omaavalla LED:illä. LED:ien valotehokkuutta kehitetään koko ajan paremmaksi ja se kehittyy myös nopeasti. Valkoiset LED:t vastaavat jo lähes tavallisia loistelamppuja, sillä niiden valotehokkuus saavuttaa pian tason 100 lm/W. Valonjakoa voidaan hallita tai ohjata erilaisilla heijastimilla, linsseillä tai jonkinlaisilla valoa hajauttavilla materiaaleilla. LED-lampun käyttöikä on noin 35000–50000 h, kun sitä käytetään valmistajan antamien raja-arvojen mukaisesti. Käyttöikä on ajankohta, jolloin valovirrasta on jäljellä 70 % . /1/

LED:ien valontuoton poikkeavuus muista valonlähteistä tuottaa sille seuraavia etuja ja haittoja:

#### Etuja

- LED-valonlähde on fyysiseltä kooltaan pieni. Soveltuu hyvin akkukäyttöisiin sovelluksiin
- LED:in lähettämässä spektrissä ei ole lämpösäteilyä
- hyötysuhde on korkea
- käyttöikä on pitkä
- värinän kestävyys on hyvä
- hyvä värikylläisyys tai värintoisto
- alhaisissa lämpötiloissa hyvä valontuotto
- tekninen kehitys on nopeaa
- teho on alhainen
- LED:in eliniän ylittyessä sen himmeneminen jatkuu tasaisesti eikä se siis sammuu yhtäkkiä
- säätäminen ja ohjaaminen ovat helppoa
- LED syttyy välittömästi haluttuun tasoon.

#### Haittoja

- LED-valonlähde ei kestä korkeita lämpötiloja
- tällä hetkellä vielä kallis valonlähde
- LED-valaistusjärjestelmä suunnittelu ja asentaminen vaativat erikoisosaamista
- LED-valaistusjärjestelmän laitteiden yhteensopivuus tulee tarkistaa

- LED:in valovirran aleneminen sen ikääntyessä
- tuotteissa on eräkohtaisia ja/tai yksilökohtaisia valmistuseroja laatutavoitteesta riippuen
- ohjaaminen tapahtuu yleisesti vakiovirralla
- toimii vain oikein päin kytkettynä (anodille + ja katodille -)
- yksittäisellä LED:illä ei saada aikaan suuria valovirtoja. /5/

Viime vuosina LED:eistä on alettu toteuttaa muita valonlähteitä korvaavia tuotteita, niin sanottuja korvaavia LED-lamppuja. Yleisesti ottaen sekä LED-valaistuksen että korvaavien LED-lamppujen valotehokkuus, värintoistokyky ja toimintavarmuus ovat saavuttaneet sellaisen luokan, että niiden käyttö osana yleisvalaistusta alkaa olla mahdollista. /2/

## **3.2 Loistelamppu**

### **3.2.1 Kaksikantainen loistelamppu**

Loistelampun valontuotto perustuu elektronien sähköpurkaukseen. Loisteputken sisällä on täytöskaasuna pienessä paineessa olevaa elohopeahöyryä. Kun sähkövirta kytketään lampun kummassakin päässä olevien katodien välille, muodostuu lamppuun sähköpurkaus, jolloin elohopeahöyryn atomit virittyvät. Kun elektronit palaavat takaisin alemmille energiatasoille, elektronien viritys purkautuu. Tällöin syntyy ultraviolettisäteilyä, jota putkien sisäpinnalla oleva loisteainekerros muuttaa näkyväksi valoksi. /2/

Loistelamppuja tulee aina käyttää ns. virranrajoittimen kanssa. Virranrajoittimina käytetään joko magneettisia kuristimia ja sytyttimiä tai elektronisia liitäntälaitteita. Tällä hetkellä yleisimmät käytössä olevat lamput ovat niin sanottuja T8- ja T5-lamppuja, jotka vastaavat 26 mm:n halkaisijaltaan olevia lamppuja sekä 16 mm:n halkaisijaltaan olevia lamppuja. T5-lamppuja voi käyttää ainoastaan elektronisten liitäntälaitteiden kanssa. /2/

Matala käyttölämpötila aiheuttaa ongelmia loistelampuilla. Sillä liian kylmässä lamppu syttyy huonosti ja sen valontuotto jää samalla alhaiseksi. Valontuotto paranee hitaasti, kun valaisimien sisäinen lämpötila alkaa lamppujen ja liitäntälaitteiden vaikutuksesta nousta, vaikka ympäristön lämpötila olisikin kylmä. T5-lampuissa käytettävät elektroniset liitäntälaitteet ovat myös herkkiä kylmyydelle ja kosteudelle. /2/

Elektroniset liitäntälaitteet vaurioituvat myös liian lämpimissä käyttölämpötiloissa. Esimerkiksi normaalia korkeammassa huonetiloissa, joissa on esimerkiksi kerrostuva ilmanvaihto, mutta toisaalta korkeat valaistustasot. Tämän lisäksi loistelamppujen valovirta alkaa laskea oleellisesti valaisimien sisälämpötilojen noustessa korkeammaksi kuin 40 C°. /2/

Loistelamppujen väriaineet ovat riippuvaisia käytetyistä loisteaineista. Tehokkaimmat teholoistelamput tuotetaan niin sanotulla kolmipiikkitekniikalla, joiden valon spektri on epäjatkua. Tässä tilanteessa loisteaineet painottavat valon punaisen, vihreän ja sinisen värin aallonpituuksille. Niin sanottua täysväriputkea käytettäessä saadaan jatkuvampi valon spektri, mutta itse valontuotto lampulla ei ole enää niin hyvä. Loistelampuissa on saatavissa runsaasti eri väriominaisuuksia. Loistelamppujen väritiloja on saatavilla lämpimän sävyisistä 2700 K:n lampuista yleisesti myynnissä oleviin 6500 K:n niin sanottuihin päivänvaloputkiin. /2/

Käyttöikänsä loistelamput ovat huomattavasti pidempi ikäisiä kuin hehkulangalla toimivat lamput. Loistelamppujen käyttöiät vaihtelevat 10000–70000 h:n välillä. Niin kutsutut pitkäikälamput ovat hinnaltaan huomattavasti kalliimpia kuin tavalliset lamput. Kuristinkäytössä tiheä loistelamppujen sytyttäminen ja sammuttaminen lyhentää merkittävästi normaalien lamppujen elinikää. Valmistajien ilmoittamat polttoiät ovat useimmiten laskettu kolmen tunnin polttojaksoilla, joihin sisältyy yksi 15 min sammutusjakso. Tiloissa, joissa lamppuja poltetaan yhtäjaksoisesti koko päivän ajan lamppujen hyötypolttokä kasvaa merkittävästi. T5-lamppujen elinikää parantavat elektroniset liitäntälaitteet eikä lamppujen sytytys- ja sammutusväleillä ja määrillä ole vaikutusta. /2/

Elektronisilla liitäntälaitteilla on myös omat käyttöikänsä. Käyttöikä on usein 50000 h, jonka jälkeen noin 10 % liitäntälaitteista on vikaantunut. Näin ollen asennuksissa, joissa on käytössä pitkäikäisimpiä pitkäikäisiä lamppeja ja elektronisia liitäntälaitteita tulee molempien komponenttien vaihto ajankohtaiseksi samana ajankohtana. Normaalissa toimintakäytössä komponenttien vaihto tulee otolliseksi noin 10 vuodessa, mikä tulee huomioida kohteen huoltosuunnitelmaa laadittaessa. /2/

Loistelamput sisältävät raskasmetalleja, kuten elohopeaa, vaikkakin yhä vähenevässä määrin. Loistelamput ovat siis ongelmajätettä ja elinkaarensa päätyttyä ne tulee toimittaa ongelmanjätekeräykseen. /2/

### **3.2.2 Yksikantainen loistelamppu**

Pienisloistelamppu, joka on suomeksi usein lyhennetty PL-lamppu, englanniksi CFL (compact fluorescent lamp) on U:n, H:n tai kierteiseen muotoon taivutettu yksikantainen loistelamppu. Alun perin nämä lamput kehitettiin korvaamaan hehkulamppu hehkulamppuvalaisimiin, mutta uusien pituuksien johdosta on myös valaisimiin saatu hyvin useita erilaisia käyttö- ja muotoilumahdollisuuksia. Hehkulampan voi korvata kierrekantaloistelampulla eli energiansäästölamppulla. Valaisimessa ei tarvitse tehdä mitään muutoksia lampputyyppejä vaihdettaessa, koska näissä lamppuissa on sisäänrakennettu kuristin ja sytytin. Energiansäästökseen saadaan jopa 60–70 %. Nykyään näitä lamppeja on saatavilla myös säädettävänä ja ulkokäyttöön soveltuvina malleina. /2/

Pistokantaloistelampputyyppejä on nykyään saatavilla loisteputkirakenteeltaan 2-, 4- ja 6-putkisina ja niiden kannat vaihtelevat huomattavasti. Lisäksi lamppujen pituudet vaihtelevat merkittävän paljon. Kuristin ja sytytin sekä elektroninen liitäntälaitte ovat erillisiä näissä lamppuissa ja nämä komponentit ovat sijoitettu valaisimien sisälle niille soveltuviin paikkoihin. Periaatteena on, että tietyille lampputeholle on olemassa vain yksi lampan kantamalli ja lisäksi varmistetaan virranrajoittimen soveltuvuus. /2/ Haluttaessa tuottaa suurempia valaistustehoja markkinoilla on saatavilla varsin suuritehoisia lamppeja (57 W ja 120 W). Näiden lisäksi on saatavilla myös ns. T5-



rengasloistelamppuja ja ns. 2D-lamppuja, jotka ovat neliön malliin taivutettuja lamppuja. /2/

### 3.3 Monimetallilamppu

Monimetallilamppu on rakenteeltaan ja toimintaperiaatteeltaan samankaltainen elohopealampun kanssa. Monimetallilampuissa purkausputkeen on lisätty eri metallien jodideja. Lampun palaessa jodidit höyrystyvät ja alkavat tuottaa niille ominaista valon väriä. /2/

Monimetallilamput on jaettavissa kahteen luokkaan purkausputken materiaalin mukaan: kvartsilasisiin sekä keraamisiin. Nykypäivänä isompitehoiset monimetallilamput ovat kvartsilasisia ja pienempitehoiset puolestaan keraamisia. Parempi värintoisto sekä värin pysymisominaisuudet saadaan aikaan keraamisella purkausputkella varustetulla lampulla. Väriominaisuuksiltaan nämä lamput ovat erinomaisia ja ne ovat korvanneet halogeenilamput esim. myymälävalaistuksessa. /2/

Monimetallilamppuja on saatavilla monia eri malleja: putkilokupuja, ellipsoidikupuisia, kaksikantaisia sekä erikoiskäyttöön tarkoitettuja malleja esimerkiksi projektoreihin ja autojen ajovaloiksi. Matalien tehojen keraamiset monimetallilamput ovat usein kooltaan pieniä ja pistokannalla varustettuja lamppuja. Käytettäessä monimetallilamppua tarvitaan kuristinta ja sytytinlaitetta tai elektronista liitäntälaitetta. /2/

Monimetallilampun syttyminen tapahtuu hitaasti ja se saavuttaa täyden valotehonsa vasta useiden minuuttien kuluttua. Tänä aikana lampun väri vaihtelee voimakkaasti riippuen eri jodidien höyrystymislämpötiloista. Jälleensyttyminen kestää myös useita minuutteja. Käyttöikä ja valovirranpysyvyys vaihtelevat käytettävän lamppulajin ja kantamallin mukaan. Monimetallilamppujen värinpysyvyydessä on epävarmuustekijöitä, vaikka monimetallilamput ovatkin kehittyneet huomattavasti viime vuosien aikana. /2/

### 3.4 Lamppujen keskimääräiset ominaisuudet

Taulukossa 1 on esitetty yhteenvetona led-, loiste- ja monimetallilamppujen keskimääräiset ominaisuudet.

Taulukko 1. Lamppujen keskimääräiset ominaisuudet. /2/

Lampputyyppi	Väriämpötila	Värintoistokyky	Valontuotto	Hyötypolttokä	Himmennys
	K	$R_a$	lm/W	h	
Ledlamppu	2 700–6 000	80	60	50 000	× vain tietyt mallit
Yksikantaloistelamppu, kierrekanta (energiansäästölamppu)	2 700–6 500	85	60	6 000	× vain tietyt mallit
Yksikantaloistelamppu + kuristin	2 700–6 500	85	60	5 000	
Yksikantaloistelamppu + elektroninen	2 700–6 500	85	65	7 000	×
T8 loistelamppu + kuristin	2 700–6 500	80–95	70	12 000	
T8 loistelamppu + elektroninen	2 700–6 500	80–95	90	17 000	×
T8 loistelamppu longlife	2 700–6 500	80–95	90	35 000	×
T5 loistelamppu	2 700–6 500	80–95	90	17 000	×
T5 loistelamppu longlife	2 700–6 500	80–95	90	48 000	×
Monimetalli + kuristin	3 000–6 000	70–90	90	7 500	
Monimetalli + elektroninen	3 000–6 000	70–90	100	10 000	× vain tietyt mallit
Monimetalli keraaminen + kuristin	3 000–6 000	90	90	9 000	
Monimetalli keraaminen + elektroninen	3 000–6 000	90	100	12 000	× vain tietyt mallit

## 4. Valonlähteiden liitännälaitteet

Tässä luvussa on käsitelty omina kappaleinaan LED-lampun ja loiste- ja monimetallilampun liitännälaitteita. Loiste- ja monimetallilamppujen osalta on käsitelty vain elektronisia liitännälaitteita. Tavanomaisia liitännälaitteita ei ole käsitelty näiden valonlähteiden osalta, koska opinnäytetyössä keskitytään energiatehokkaaseen ja uuteen valaistustekniikkaan.

### 4.1 LED-lamppujen liitännälaitteet

Liitännälaitteen tehtävänä on muuttaa verkkovirta yleisimmin 230 V (AC) LED:ille soveltuvaksi tasavirraksi (DC). LED-valonlähde vaatii aina liitännälaitteen ja yksinkertaisimmassa tapauksessa se on vastus, joka rajoittaa virran sopivaksi.

Liitäntälaitteena toimii yleensä hakkuri. Hakkuritekniikalla saadaan aikaan samanlaiset jännitteet ja virrat kuin perinteisellä muuntajatekniikalla, mutta niiden etuna on pieni koko, keveys ja hyvä hyötysuhde. Useimmiten LED:in jännite on 1–10 V:n välillä ja virta puolestaan 20 mA–3 A:n välillä (teholuokan 0,6 W–30 W:n LED:it).

Huomioitavaa on, että LED-valonlähteessä jännite, virta ja teho saattavat olla suurempia, mikäli LED-valonlähteessä on rinnan tai sarjaan kytkettynä useampia puolijohderajapintoja. Myös LED:ien omaava kynnysjännite tulee huomioida liitäntälaitteessa. LED:ejä on mahdollista käyttää joko suoraan tasajännitteellä virtaa rajoittavan etuvastuksen kanssa tai tasajännitepulsseja antavalla ohjaimella. /5/

Koska LED:it antavat uusia mahdollisuuksia liitäntälaitteille, saattavat perinteiset liitäntälaitteet jättää käyttämättä näitä lisäominaisuuksia esim. väri, värilämpötilat, kirkkauden matalapää eli pienempi kirkkaus kuin 5 %. Valaisinta valittaessa ST-kortin 57.45 perusteella tulee huomioida liitäntälaitteen osalta seuraavia asioita

- asennettavien LED:ien määrä ja sähköiset arvot
- yliteho (virhetilanne)
- katkokset (virhetilanne)
- LED:in paikallinen napajännite
- lämpötilan kompensointi
- käyttäjän antamat tai haluamat kirkkaus ja väriasetukset. /5/

Liitäntälaitteen ja ohjaimen tulee olla yhteensopivia. Liitäntälaitteessa itsessään saattaa olla säätimet tarvittavien parametrien säätöön tai liitäntälaitteessa voi olla ainoastaan sähkönsyöttö eli mahdollisuus ohjauksella tai suoraan liitäntälaitteesta kytkeä LED-valonlähde päälle ja pois päältä. Ohjaavat standardit ovat vielä kehitysvaiheessa ja markkinoilla onkin tästä syystä paljon valmistajan omia tuotteita ja vain niille sopivia liitäntälaitteita ja ohjaimia. /5/

Liitäntälaitteilla saadaan aikaan pehmeä valon syttyminen (soft start), joka voi olla kestoltaan esimerkiksi 1 ms:n. Ihminen ei näe näin nopeaa pehmeää käynnistymistä, jotta ihmissilmä sen erottaisi, tulisi käynnistymisen kestää 2–3 s. Lisäksi tämä 2–3 s:n käynnistyminen olisi hyvä korjata siten, että valon syttyminen olisi alussa 10–40 %

nopeampaa ja lopussa hitaampaa. Näin ihminen ymmärtäisi valon toimivan normaaliin tapaan. /5/

Käyttämällä ohjausta liitäntälaitteen kautta voidaan saada LED-valonlähteen (kolme LED:iä tai enemmän ja kaikki erikseen ohjattavissa ohjaimella) värilämpötila muuttumaan ulkopuolisen värilämpötilan mukaan kirkkauden säätymisen lisäksi. Oletuksena liitäntälaitteen värisäädölle on, että LED:it valaisimessa ovat värisäädettäviä. /5/

Liitäntälaitteen avulla voidaan monitoroida LED-valonlähteen lämpötilaa ja tarpeen mukaan kompensoida sitä ohjauksen kautta. Vakiovalonsäätö voi olla kaksiulotteinen liitäntälaitteen ja ohjauksen avulla. Ensinnäkin vakiovalonsäätö voidaan suorittaa tilan yleisvalon tason mukaan. Toinen tapa on suorittaa vakiovalonsäätö yksittäiselle LED:ille useiden LED:ien joukosta, jolloin LED:it on mahdollista saada säädettyä samalle tasolle. Liitäntälaitteella on myös mahdollista saada tietoon vioittuneet LED:it ohjaimelle ja siitä ylläpitoon. /5/

Koska LED:ien käyttöikä on lähes yhtä pitkä kuin liitäntälaitteen käyttöikä, ohjaa tämä tehtaita käyttämään liitäntälaitteita ja LED:ejä samassa kokoonpanossa. Taloudellisesta näkökulmasta olisi kuitenkin järkevämpää jalostaa liitäntälaitteet ja valonlähteet erillisissä kokoonpanoissa, jolloin liitäntälaitteen laatu- ym. valikoima saataisiin suuremmaksi. Kuluttajaystävällisesti ajateltuna olisi kuitenkin hyvä pitää valonlähde ja liitäntälaitte yhdessä. /5/

## **4.2 Loiste- ja monimetallilamppujen elektroniset liitäntälaitteet**

### **4.2.1 Syitä elektronisen liitäntälaitteen hankkimiseksi**

Tutkimusten mukaan henkilöt, joiden työpaikoilla on valaisimissa käytössä elektroniset liitäntälaitteet, voivat paremmin, tuntevat itsensä vähemmän väsyneiksi ja tekevät työtä tehokkaammin. Vaikka kaikki ihmiset eivät havaitsisi tavallisilla kuristimilla varustettujen loistelamppujen valon värinää, niin aivot rekisteröivät kuitenkin välkynnän ihmisen sitä tiedostamatta. Elektronisia liitäntälaitteita käyttämällä saadaan

energia käytettyä tehokkaammin, siis valaisinteho ja tehohäviöt ovat alhaisemmat ja näin syntyy myös vähemmän lämpöä. Tästä syystä jäähdytys- ja ilmastointilaitteet pystytään mitoittamaan pienemmiksi. Näin toimiessa saadaan säästöä sekä hankintahinnassa että käyttökustannuksissa. Lisäksi ylläpito- ja huoltokustannukset alenevat valonlähteiden polttoainekasvamisen vuoksi. Myöskään lampunvaihdon yhteydessä ei tarvitse erikseen vaihtaa hehkusytyttimiä, sillä elektroniseen liitäntälaitteeseen on sisäänrakennettu sytytintoiminto. /1/

#### **4.2.2 Ympäristövalinta**

Elektroniset liitäntälaitteet ovat ympäristölle ystävällisiä. Suurin vaikutus saadaan aikaan energiansäästöissä. Elektroniset liitäntälaitteet kasvattavat lamppujen polttoaikaa noin 15 %, mikä taas puolestaan vähentää ympäristön elohopeakuormitusta. /1/

#### **4.2.3 Toimintaperiaate ja sytytys**

Lamput, jotka ovat varustettu elektronisilla liitäntälaitteilla käyttävät toimintataajuutenaan noin 4000 Hz:ä, jolloin lamppu saadaan palamaan tasaisesti ja ilman välkyntää. Lisäksi lampun hyötysuhde lisääntyy noin 10 %. /1/

Elektroninen liitäntälaitte saa lampun syttymään hallitusti. Kohteissa, joissa valaisimia sytytetään ja sammutetaan normaalisti, saadaan lamppujen polttoaikaa parannettua jopa 50 %, koska lämminkäynnistyksellä vältetään lampun polttoaikaa alentava epätasainen emissio katodeissa. Lämminkäynnistyksellä varustettu liitäntälaitte esilämmittää katodit ennen syttymishetkeä. Tämän päiväsissä liitäntälaitteissa esilämmitysvirta katkaistaan tai sitä alennetaan merkittävästi lampun syttymishetken jälkeen. Energiakulutuksen kannalta tällä on tärkeä vaikutus ja lisäksi sille, että T5-lamppua käytetään optimaalisissa lämpötiloissa. Liitäntälaitteet, jotka ovat tarkoitettu valonsäätämiseksi sytyttävät lampun eri tavalla, riippuen valmistajasta ja tyypistä. Toiset sytyttävät lampun maksimivalotason arvolla riippumatta säätöasetuksesta ja säätää sen sitten nopeasti asetettuun arvoon. Toiset taas sytyttävät lampun ennalta asetetulla valaistustason arvolla. /1/

#### **4.2.4 Toiminta**

Elektronisen liitälaitteen toiminta on seuraava: purkauksen alkaessa ja lampun palaessa, liitälaitte säätelee kaikki tarpeelliset muuttujat, jotta valovirta olisi tasainen, riippumatta verkkojännitteen vaihteluista. Tämän lisäksi liitälaitte valvoo lampun toimintaa ja sammuttaa sen vian sattuessa. Markkinoilta on saatavissa myös liitälaitteita, jotka ilmaisevat lampun avulla esimerkiksi yli- ja alijännitteen. /1/

#### **4.2.5 Valaisimen sisäiset johdotukset**

Elektroniselta liitälaitteelta lampulle menevät johdot tulee vetää niin, ettei toimintaan synny häiriöitä. Liian pitkät johdot saattavat synnyttää sähkömagneettisia häiriöitä. Sähkömagneettisten häiriöiden vuoksi verkkosyötön johtimia ei saa niputtaa yhteen valaisimen sisäisen johdotuksen kanssa. Tästä syystä valaisimen sisälle on varattu oma kaapelireitti tai rivikaapelikiinnikkeet verkkosyötön johtimille. /1/

#### **4.2.6 Isäntä-orja**

Isäntä-orja ratkaisussa syötetään kahta yhteen liitettyä valaisinta yhdellä elektronisella liitälaitteella. Elektroninen liitälaitte on sijoitettuna ensimmäiseen valaisimeen, josta se syöttää myös toisen valaisimen lammua. Tätä ratkaisua voidaan käyttää vain tapauksissa, joissa on käytössä ilman valonsäätöä olevia liitälaitteita, mikäli sisäisen johdotuksen pituus on alle 1 m:n. Valonsäätöön tarkoitettulla liitälaitteella on merkittävä riski toimintahäiriöihin esim. synnyttää eri valotasoja valaisimien välillä. /1/

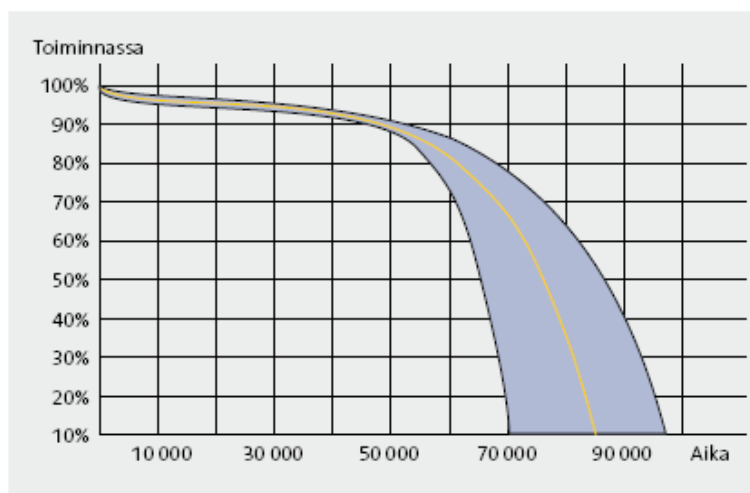
#### **4.2.7 Elinikä**

Käyttöikä on rajoitettu. Verrattuna perinteiseen kuristin ratkaisuun puolijohdekomponentteja sisältävä elektroninen liitälaitte on kuristinta alttiimpi asennusvaiheen virheille. Elinikä on riippuvainen seuraavista tekijöistä: komponenttivalinnoista, verkkohäiriöistä, sytytysten lukumääristä ja käyttöympäristön lämpötilasta valaisimen sisällä. Elektronisten komponenttien tilastollisen vikatiheyden takia melko pieni osa liitälaitteista vikaantuu ensimmäisten käyttötuntien aikana.

Tästä eteenpäin vikaantuminen on normaalijakautunut, kuten lampuillakin. Huolimaton ja vääränlainen asennus tai käyttö vaarantaa liitäntälaitteen elinikää. Liitäntälaitte saattaa tuhoutua esimerkiksi seuraavissa tilanteissa

- eristysvastusmittauksessa
- työmaan koneiden verkkoon aiheuttamasta virtapiikistä
- ylilämmön vaikutuksesta, jos valaisinta käytetään jäähdyttämättömässä tilassa
- jos valaisinta käytetään virtapiirissä, jossa nollajohdin ei ole kytketty. /1/

Elinikä on määritelty suhteutettuna ympäristön lämpötilaan. Liitäntälaitteen kotelossa on merkintä lämpötilan referenssipisteestä ( $t_c$ -piste).  $T_c$ -pisteen maksimilämpötila riippuu valmistajasta ja tyyppistä ja tätä arvoa ei tule ylittää, koska se johtaa liitäntälaitteen tuhoutumiseen.  $T_c$ -pisteen rajalämpötila ei määrää liitäntälaitteen paremmuutta, koska referenssipisteen sijainti saattaa joillain laitteilla olla kuumemmassa paikassa ja joillain toisilla taas kylmemmässä. Elinikä on määritelty suhteutettuna  $t_c$ -pisteen lämpötilaan. Joillakin liitäntälaitteilla  $t_c$ -pisteen raja-arvo on lämpötila, jossa oletuseliniä saavutetaan, mutta se voi olla myös  $t_c$ -pisteeseen merkittävä arvo matalampi. Yleensä liitäntälaittevalmistajat ilmoittavat valaisinvalmistajille lämpötilan, jossa päästään 50000 h:n elinikään vikatiheydellä 0,2 %/1000 h:a kohti. Koko eliniän mittakaavassa tämä vastaa 10 %:n vikatiheyttä. Siis mitä pienempi lämpötila  $t_c$ -pisteessä syntyy, sitä pidempi elinikä liitäntälaitteella saadaan. Kuva 8 esittää elektronisen liitäntälaitteen eliniän hajontaa. /1/



Kuva 8. Elektronisen liitäntälaitteen eliniän hajonta. /1/

Kuvasta 8 nähdään, että silloin kun liitäntälaitteen  $t_c$ -pisteessä lämpötila ei ylitä valmistajan ilmoittamaa maksimilämpötilaa, niin 50000 h:n jälkeen liitäntälaitteista on toiminnassa vähintään 90 %. /1/

## **5. Valonsäätö**

Tässä luvussa on käsitelty valonsäädön monia eri mahdollisuuksia, valonsäädön yleisimpiä ohjausperiaatteita ja LED-, loiste- ja monimetallilamppujen säätämistä.

### **5.1 Valonsäädön mahdollisuudet**

#### **5.1.1 Vakiovalo-ohjaus**

Eri valaisinvalmistajilla on vakiovaloanturilla varustettuja valaisinmalleja, esim. Fagerhultin e-Sense. Vakiovaloanturin avulla valaistusta voidaan säätää päivänvalon määrän mukaan. Tällä tavalla saadaan säästettyä energiaa, koska päivänvalon lisääntyminen säätää työtilan keinovalaistusta pienemmälle. Puolestaan illan hämärtyessä keinovalaistus säätyy suuremmaksi niin, että valaistusvoimakkuus pysyy työtilassa vakiona. /1/

#### **5.1.2 Läsäolotunnistin**

Fagerhultin e-Sense sopii esimerkkivalaisinmalliksi myös läsnäolotunnistukseen. Läsäoloilmaisain rekisteröi työtilassa tapahtuvat ihmisten liikkeet lämpösäteilyn avulla. Tässä tilanteessa työtilaa valaistetaan vain, kun työntekijät ovat paikalla. Läsäoloilmaisimelta vaaditaan suurta tarkkuutta sisävalaistuksessa, koska sen tulee rekisteröidä myös istumatyötä tekevät ihmiset. Riittävän tarkkoja läsnäoloilmaisimia on rajoitetusti saatavilla pois lukien multisensoriin kytketyt ilmaisimet. /1/



### **5.1.3 Monia ohjauskanavia**

Nykypäivän valonohjausjärjestelmillä voidaan useiden valaisinryhmien valoa säätää keskitetysti yhdestä tai useammasta pisteestä. Kun taas yksikanavaisella ohjauksella, kojerasiaan asennettavalla valonsäätimellä kaikki sen taakse kytketyt valaisimet säätävät samaan aikaan. Valonohjausjärjestelmissä ohjauskanavia on käytössä yleensä kolmesta useisiin kymmeneen asti. /1/

### **5.1.4 Muistiin tallennetut tilanteet**

Valonohjausjärjestelmien etuina ovat tilannemuistit ja kauko-ohjaus. Tilannemuistiin tallennetaan jokaisen kanavan valonsäätötilanne yhdessä muiden kanavien tilanteiden kanssa. Muistipaikkoja voi järjestelmässä olla useita. Valaistustilanteen käyttöönotto tapahtuu yhden napin painalluksella, jonka jälkeen järjestelmä säätää automaattisesti jokaisen valaistusryhmän tilannemuistiin tallennetun valonsäätötilanteen mukaan. /1/

### **5.1.5 Ohjaus tietokoneella**

Tietokoneella voidaan suoraan ohjata digitaalisia liitäntälaitteita. Valaistusta ohjataan tietokoneen näytölle avattavasta ikkunasta, joka jäljittelee ohjauspainikkeistoa. DALI-järjestelmässä valaisimien ryhmittely ja toimilaitteiden ohjaus toteutetaan useimmiten tietokoneella. Tietokoneen liittäminen ohjausväylään tapahtuu järjestelmäkohtaisella sovittimella. Valaistuksen käyttäminen ei ole riippuvainen tietokoneesta. /1/

### **5.1.6 Kauko-ohjaus**

Kauko-ohjauksella voidaan esimerkiksi valita erilaisia valaistustilanteita eri tiloihin, säätää yksittäisiä valoryhmiä toisistaan riippumatta tai sytyttää ja sammuttaa kaikki valot kauko-ohjaimen avulla. Lisäksi valaistustilanteiden ohjelmointi voidaan usein tehdä kauko-ohjaimella. Kauko-ohjaus voi tapahtua joko radioteitse tai infrapunasäteiden avulla. /1/

## 5.2 Valonsäädön ohjausperiaatteet

### 5.2.1 DALI

DALI (Digital Addressable Lighting Interface). Se on standardisoitu digitaalinen ohjausperiaate ja se on tarkoitettu elektronisille liitäntälaitteille. DALI:n taustalla vaikuttavat suuret elektronisten liitäntälaitteiden valmistajat Helvar, Osram, Philips ja Tridonic. /1/

DALI:n kytkentä muodostuu yksinkertaisesta johtoparista, jolla kaksisuuntainen digitaalinen signaali siirretään kaikkien järjestelmään kuuluvien laitteiden välillä. Elektroniset liitäntälaitteet, ohjauspaneelit, anturit ja ohjelmointilaitteet tulee liittää sarjaan samaan väylään. Valaisimeen tuodaan vaihe-, nolla- ja suojajohtimen lisäksi digitaaliväylän kaksi johdinta, jotka välittävät noin 16 V:n suuruisen digitaalisignaalin. Tämä lisäksi ohjausväylä tarvitsee erillisen teholähteen, joka antaa väylälle maksimissaan 250 mA:n suuruisen ohjausvirran. Ohjausvirtapiirillä ei ole napaisuutta. Kaapelikustannuksissa saadaan säästöä aikaan, koska monikanavainen ohjausjärjestelmä voidaan toteuttaa vain yhtä ohjausvirtapiiriä käyttäen. /1/

DALI-järjestelmässä valonsäätötiedot välitetään valaisimen liitäntälaitteelle osoitteellisen digitaalisignaalin avulla. Tämän ansiosta kaikki valaisimet saadaan säädettyä samalla tavalla riippumatta ohjaimen ja valaisimen välisestä etäisyydestä. Liitäntälaitteisiin on ohjelmoitu ihmisen silmän herkkyyttä vastaava logaritminen korjaus. Digitaalinen ohjaussignaali on riippumaton häiriöistä. Verkkojännite voidaan tuoda suoraan keskukselta valaisimelle, koska valot sytytetään ja sammutetaan digitaalisen ohjauskomennon avulla. /1/

DALI-järjestelmä tulee ohjelmoida ennen käyttöönottoa. Ohjelmoinnissa toimilaitteille määritellään, mitä säätötoimenpiteitä ne suorittavat ja mitä valaisimia säätötoimenpiteet koskevat. Ohjelmointi tehdään ohjauspainikkeilla, kaukosäätimellä tai tietokoneella. Ohjelmitavuuden ansiosta uudelleenjohdotusta ei tarvitse tehdä järjestelmää muutettaessa. /1/

### 5.2.2 DSI

DSI-ohjaukseen tarkoitettuja liitäntälaitteita valmistaa Tridonic. Digitaalisen ohjauksen ansiosta eri tehoisia lampuja voidaan säätää samassa ohjauksessa, koska liitäntälaitteisiin on ohjelmoitu ihmisen silmän herkkyyttä vastaava korjaus. Valonsäätötiedot välitetään valaisimen liitäntälaitteelle osoitteettoman digitaalisignaalin avulla. Valovirran minimitaso on lamputyypistä riippuen 1 %, 3 % tai 10 %. Käyttämällä yhden kytkimen ohjausta saadaan lyhyellä painalluksella sytytettyä ja sammutettua valaisin, kun taas pitkällä painalluksella säädetään valotehoa vuorotellen ylös- tai alaspäin. Vaihtoehtona edelliselle on käyttää verhokytkintä, jolloin toisella painikkeella säädetään valotehoa ylös- tai alaspäin. Valaistuksen sytyttäminen ja sammuttaminen voidaan tehdä kummalla kytkimellä tahansa. DSI-järjestelmä ei edellytä ohjelmointia. Kuitenkin tilanneohjauksen ja vakiovalo-ohjauksen tapauksessa joudutaan tilanteet ja vakiovalotasot tallentamaan järjestelmän muistiin. /1/

DSI:n kytkennässä valaisimeen tuodaan vaihe-, nolla- ja suojajohtimien lisäksi kaksi ohjausvirtapiirin johdinta, jotka välittävät noin 12 V:n suuruisen digitaalisignaalin. Ohjausvirtapiirin napaisuudella ei ole merkitystä. Koska digitaalinen ohjaussignaali on riippumaton häiriöistä, niin samaan laitteeseen menevät ohjaus- ja verkkojännitteiset johtimet voivat olla saman putken tai kaapelivaipan sisällä jopa yli 200 m:n pituudelta. Digitaaliohjauksen hyvänä puolena on riippumattomuus ohjausvirtapiirin pituudesta ja vastuksesta. Kaikki DSI-järjestelmään liitetyt valaisimet säätävät samalla lailla ohjaimen ja valaisimen välisestä etäisyydestä riippumatta. Valojen sytytys ja sammutus tapahtuu digitaalisella ohjauskomenolla, joten verkkojännite voidaan tuoda suoraan keskukselta valaisimelle. Ohjauksessa on käytössä vakiovalo- läsnäolotunnistimia, IR-kauko-ohjain sekä 250 V:n sulkeutuvalla koskettimella ja impulssijousella varustettuja rasiakytkimiä toisin sanoen palautusjousella varustettuja 1-kytkimiä. /1/

### 5.2.3 Vaiheohjaus

Valonohjaustapana vaiheen kautta toteutettu ohjaus (impulssi) on yksinkertainen ja edullinen. Vaiheohjauksen käyttäminen edellyttää siihen soveltuvaa ohjattavaa elektronista liitäntälaitetta. Yleensä näitä laitteita voidaan ohjata myös

väyläjärjestelmillä esim. DSI, DALI tai 1–10 V DC tuotteesta ja tyypistä riippuen.

Vaiheohjauksessa ei tarvita säädintä tai muuta ohjauslaitetta. Ohjaussignaali lähetetään liitäntälaitteelle palautusjousella varustetun katkaisijan avulla. Muita lisälaitteita ei vaadita. Voidaankin sanoa, että säädin on rakennettu liitäntälaitteeseen. /1/

Vaiheohjauksessa valaisimeen tarvitaan neljä johdinta: suora (katkeamaton)

verkkojännite, nolla, suojamaadoitus sekä verkkojännite (impulssi) katkaisijasta.

Vaiheohjaus on erittäin hyvä järjestelmä tilanteissa, joissa valaistusta halutaan ohjata useista pisteistä. Valmisteesta riippuen ohjaustapaan voidaan lisätä muun muassa päivänvalotunnistin. Ohjauspainikkeena toimii 230 V:n sulkeutuvalla koskettimella varustettu katkaisija ja palautusjousella varustettu katkaisija. Painikekäytössä valaisin sytytetään ja sammutetaan lyhytkestoisella painalluksella. Valonvoimakkuuden säätäminen tapahtuu vuorotellen ylös- ja alaspäin pitämällä painiketta alaspainettuna.

Vaihtoehtoisena tapana on verhokytkin, jolloin toisella painikkeella ohjataan valaistuksen voimakkuutta ylös ja toisella alas. Valaisimen sytyttäminen ja sammuttaminen voidaan tehdä kummalla painikkeella tahansa. /1/

#### **5.2.4 Ohjaus 1–10 V:n tasajännitesignaalilla**

Suurin osa ohjattavista liitäntälaitteista on toteutettu standardin EN 60929 mukaisesti siten, että liitäntälaitteen ohjauksessa käytetään 1–10 V:n tasajännitesignaalia.

Liitäntälaite muodostaa tarvittavan ohjausvirran itse ja ohjaimeksi riittää yksinkertaisimmassa tapauksessa pelkkä potentiometri. Monilla valmistajilla on tarjolla elektroniikkaa sisältäviä potentiometriohjaimia, koska ne huomioivat kuorman määrän ja säätövaikutelma saadaan lineaarisemmaksi. /1/

Liitäntälaite mittaa ohjausvirtapiirin jännitettä sen navoista. Mitä pienempi jännite on, sitä pienempi valaistustaso saadaan aikaiseksi. Jos ohjausvirtapiiri jätetään avoimeksi, niin valaisin toimii täydellä teholla eli juuri niin kuin ei-säädettävä valaisin. Suuremman luokan valonohjausjärjestelmissä ohjain antaa tarvittavan 1–10 V:n ohjausjännitteen. Valovirran minimitaso on loistelampuilla 1–5 % ja pienoiskoistelampuilla 3–10 %.

1–10 V -ohjauksjärjestelmä voidaan käyttöönottaa ilman erillistä ohjelmointia. Kuitenkin tilanneohjauksen tilanteet ja vakiovalo-ohjauksen vakiovalotasot joudutaan tallentamaan järjestelmän muistiin. /1/

1–10 V -ohjauksjärjestelmässä valaisimeen tuodaan vaihe-, nolla- ja suojajohtimen lisäksi myös kaksi ohjauksvirtapiirin johdinta. Ohjauksjohtimet voivat sijaita myös saman putken tai kaapelivaipan sisällä kuin verkkojännitteen syöttötilanteessa, jossa ne liittyvät saman laitteen ohjaukseen. Tässä tilanteessa johdinten eristys tulee mitoittaa verkkojännitteen mukaisesti. Ohjauksvirtapiirillä on napaisuus, joka tulee huomioida kytkennöissä. Ohjauksjohtimien lisäksi myös vaihejohdin tulee johdottaa ohjaimen tai potentiometrin yhteydessä olevan kytkimen kautta, koska valaisinten sammuttaminen voidaan tehdä vain katkaisemalla valaisimelle tuleva verkkojännite. Asennuksessa on huomioitava potentiometrin kytkimen katkaisukyky, koska se riittää yleensä vain 5–10 valaisimelle niiden tehosta riippuen, vaikka potentiometrillä voidaankin säätää jopa 50 valaisinta. Suurempien kuormitusten tilanteissa tarvitaan avuksi rele. /1/

### **5.2.5 RGB-ohjaus**

Punaisiin, vihreisiin ja sinisiin LED-lamppuihin perustuva valonohjaus on nimeltään RGB-ohjaus. Näitä kolmen värin eri vahvuuksia sekoittamalla ja yhdistämällä saadaan aikaan noin 65000 eri väri vaihtoehtoa. Omien värien luominen vaatii ohjauksyksikön tai käyttöliittymän ohjelmistoon, joka kommunikoi esim. DALI-standardin välityksellä. /1/

Eri valmistajilla on valaisimia, joissa on RGB-ohjauksen ja DALI-käyttöliittymän lisäksi valmiina automaattinen sekvenssiohjaus esim. Fagerhultin Pozzo.

Sekvenssiohjaus käynnistyy heti, kun valaisimen LED-yksikköön kytketään jännite.

Pozzossa on lisäksi erilliset jänniteliitännät loiste ja LED-lampuille, joten kahta katkaisijaa käytettäessä voidaan valita joko loistelamppuvalaistus tai RGB-ohjaus.

Loistelampun palaessa RGB-ohjausta on vaikea havaita sen pienemmän valotehon vuoksi. Jos samassa tilassa on useampia automaattisella sekvenssiohjauksella varustettuja valaisimia, eri vaiheiden välinen ero on jonkin ajan jälkeen havaittavissa siitä, että valaisimien värit alkavat vaihtua epätahdissa. /1/

Ulkoisella virransyötöllä ja ohjelmistolla toimivaan DALI-järjestelmään liitettäessä Pozzon käyttöliittymäyksiköstä loppuu automaattinen sekvenssiohjaus. Punaisen, vihreän ja sinisen kolme kanavaa siirtyvät sen sijaan normaaleiksi DALI-kuormiksi. Tällöin jokaisesta väristä tulee yksi DALI-osoite, joten 10:stä RGB-ohjauskanavasta tulee 30 DALI-osoitetta. Ohjausta voidaan käsitellä erilaisilla tavoilla. Jos automaattista sekvenssiohjausta halutaan jatkaa, kaikkia yksiköitä voidaan ohjata DALI SQM-ohjaimella. Jos taas ohjelmoinnin jälkeen halutaankin käsinohjata kiinteitä valaistustilanteita, voidaan se tehdä käyttäen ohjauspaneelia esimerkiksi DALI-kalvopaneelia, jossa on 4 tilannetta ja sammutuspainike. Monimutkaisemman DALI-järjestelmän tilanteessa voidaan käyttää DALI-routeria. /1/

### 5.3 Valonsäädön ohjausperiaatteiden ominaisuudet

Taulukossa 2 on esitetty yhteenvetona valonsäädön ohjausperiaatteiden ominaisuudet.

Taulukko 2. Valonsäädön ohjausperiaatteiden ominaisuudet. /1/

Ominaisuudet	DALI	DSI
Osoitteellinen	64 osoitetta	Ei
Ryhmäosoitteita	16 ryhmää	Ei
Tilanneohjaus	16 tilannetta	Ohjaimella
Logaritminen säätö	Kyllä	Kyllä
Ohjausvirtapiirin polariteetti	Vapaa	Vapaa
Sammutetaan ohjausvirtapiiristä	Kyllä	Kyllä
Johtimia valaisimeen	5	5
Ohjausvirtapiirin pituus	300 m	250 m
Monikanavaisuus vaatii keskusyksikön	Ei	Kyllä

Suora painikeohjaus	1-10V	Vaihesäätö
Ei	Ei	Ei
Ei	Ei	Ei
Ohjaimella	Ohjaimella	Ohjaimella
Kyllä	Riippuu valmistajasta	Riippuu valmistajasta
Vapaa	Sidottu	Ei ohjausvirtapiiriä
Kyllä	Ei	Ei
4 tai 5	5	3
Jopa yli 300 m	300 m	Ei ohjausvirtapiiriä
Ysikanavainen	Kyllä	Kyllä

## 5.5 LED-lampun säätäminen

Yksinkertaisimmassa tapauksessa ohjain on sähkökaapelia pitkin tuleva käyttö sähkö, joka ohjaa liitälaitteen kautta valonlähteen päälle tai pois. Käyttäjälle tämä ohjain voi olla esimerkiksi näkyvässä oleva kytkin eli manuaaliohjaus. Ohjaimella on seuraavia ominaisuuksia

- valon sytyttäminen ja sammuttaminen
- valon säätö erilaisille kirkkaustasoille
- valon säätö eri kirkkauksina ja eri värisävyillä
- ajallinen automaatiotaso
- ohjain voidaan automatisoida ottamaan ympäristön ohjaussignaaleja huomioon, kuten aikatauluja ja ihmisten liikkumista, lisäksi ohjaus voidaan toteuttaa myös internetin kautta. /5/

LED:ejä on mahdollista ohjata liitälaitteen jänniteohjauksella (1–10 V) tai väyläohjauksella. Mahdollisia väyläsovelluksia on esim. DALI, puhelinverkko tai sähköverkko pitkin tapahtuva kommunikaatio, joka säästää ylimääräiseltä kaapeloinnilla. Ohjauksen olisi hyvä ulottua yksittäisiin LED:eihin, mikä mahdollistuu puolestaan sopivilla liitälaitteilla ja väyläsovelluksilla. Järjestelmä on mahdollista saada tehokkaammaksi ja monitoimisemmaksi, jos laitteet itsessään tuottavat informaatiota ja väylä on kaksisuuntainen. Tässä tilanteessa liitälaitteet havaitsevat valaisimilta tulevat virheet, lähettävät ne ohjaimelle ja ohjain puolestaan korjaa ne säädöllä tai ilmoittamalla virhetilanteesta. /5/

LED:ejä on mahdollista himmentää ohjaimen kautta liitälaitteella yleisimmin pulssittamalla niitä tietyllä perustaajuudella, joka on 10–20 kertainen verrattuna sähkövirran taajuuteen (100–1000 Hz). Pulssin tulee olla sellainen, ettei ihmissilmä sitä havaitse ja se ei saa aiheuttaa aivoille alituisia ärsyksiä ja tästä aiheutuvia terveydellisiä haittoja. Kytkentätaajuudella ei ole merkitystä LED:in elinikään, joten himmentäminen pulssin leveyttä muuttamalla on mahdollista. Valoa pulssittamalla on mahdollista lähettää tietoa (esim. infrapunakaukosäädin). Himmennys taas olisi hyvä tehdä säädettävällä vakiovirtalähteellä. Nykyään valonsäätimellä annetaan haluttu

kirkkaustieto ja LED:it toteuttavat tämän hyvin varsin lineaarisella säädöllä. LED reagoikin koko säätömatkaltaan pienemmästä kuin yhden promillen ohjausmuutoksesta.

/5/

## 5.6 Loistelampun säätäminen

Loistelamppujen säätäminen onnistuu hyvin oikeanlaisia komponentteja käyttämällä.

Säätöalue on 1–100 %, joka vaihtelee kuitenkin hieman eri lampputyypin välillä.

Säädettäessä loistelampun värisävy ei kuitenkaan muutu merkittävästi. Jotta

loistelampun ominaisuudet tasaantuisivat ja säädön ominaisuudet vakiintuisivat, täytyy

loistelamppua esipolttaa noin 100 h maksimiteholla. /4/

Loistelampun säätäminen edellyttää elektronista liitäntälaitetta, joka on säädettävissä analogisesti ja digitaalisesti. Itse lampun ominaisuuksissa ei ole eroavaisuuksia.

Nykypäivänä ohjaustapoja on monia: 1–10 V, painikeohjaus, DALI, DSI. Valonlähteet ja niiden säädettävät digitaaliset liitäntälaitteet ovat yhdistettävissä laajempiin väyläpohjaisiin ohjausjärjestelmiin. /2/

## 5.7 Monimetallilampun säätäminen

Aikaisemmin säätö on toteutettu muuntajasäätimillä, sekä kuristimilla että sytyttimillä.

Säätöalue on kuitenkin vain 70–100 %, jolloin energiaa saadaan säästettyä

maksimissaan 50 %. Säätäminen täytyy tehdä hitaasti (säätöaika on noin 15 min), koska

lamput voivat sammua säädön aikana. Lamppujen suuret värin vaihtelut säädön aikana

ovat yleinen ominaisuus. /4/

Monimetallilampun säätäminen onnistuu kuitenkin tietyillä raja-arvoilla. Säätäminen voidaan toteuttaa sekä lineaarisesti että portaittain riippuen käytettävistä liitäntälaitteista

sekä ohjausjärjestelmistä. Säätöalueen laajuus ja energiansäästö riippuvat myös edellä

olevista seikoista. Väriominaisuudet saattavat muuttua monimetallilamppua

himmennettäessä. Esimerkiksi sisätiloissa tämä on usein häiritsevä ominaisuus. Tämän

lisäksi säädöllä voi olla merkittäväsi lampun käyttöikää lyhentävä vaikutus.



Monimetallilampun himmentäminen onnistuu parhaiten käyttämällä elektronisia liitäntälaitteita. /2/

## 6. Oma projekti

Tässä luvussa on käsitelty oma projektini, jonka olen laatinut DIALux- ja LCC-ohjelmilla.

Opinnäytetyössäni valitsin tutkittavaksi valonlähteeksi loistelampun, koska se on LED- ja monimetallilamppuihin verrattuna paras vaihtoehto toimiston työpiste- ja yleisvalaisimiin. Loistelamppu on hyvin pitkäikäinen, sillä joidenkin valmistajien mukaan loistelampun keskimääräinen polttoikä on jopa yli 20000 h. Toimistotilojen työpiste- ja yleisvalaistukseen ei ole vielä tarjolla järkeviä ja hinnaltaan käyttökelpoisia LED-valaisimia. LED-tekniikka kehittyy kuitenkin nopeasti, mutta tällä hetkellä LED on parhaimmillaan julkisivujen valaistuksessa, kohde- ja korostusvalaistuksessa sekä opastevalaistuksessa. Monimetallilampuilla varustettuja valaisimia ei juurikaan käytetä toimistotiloissa työpiste- ja yleisvalaistukseen, vaan ne ovat omimmillaan sisätiloissa kohdevalaistuksessa ja ulkona julkisivu- piha- ja tievalaistuksessa.

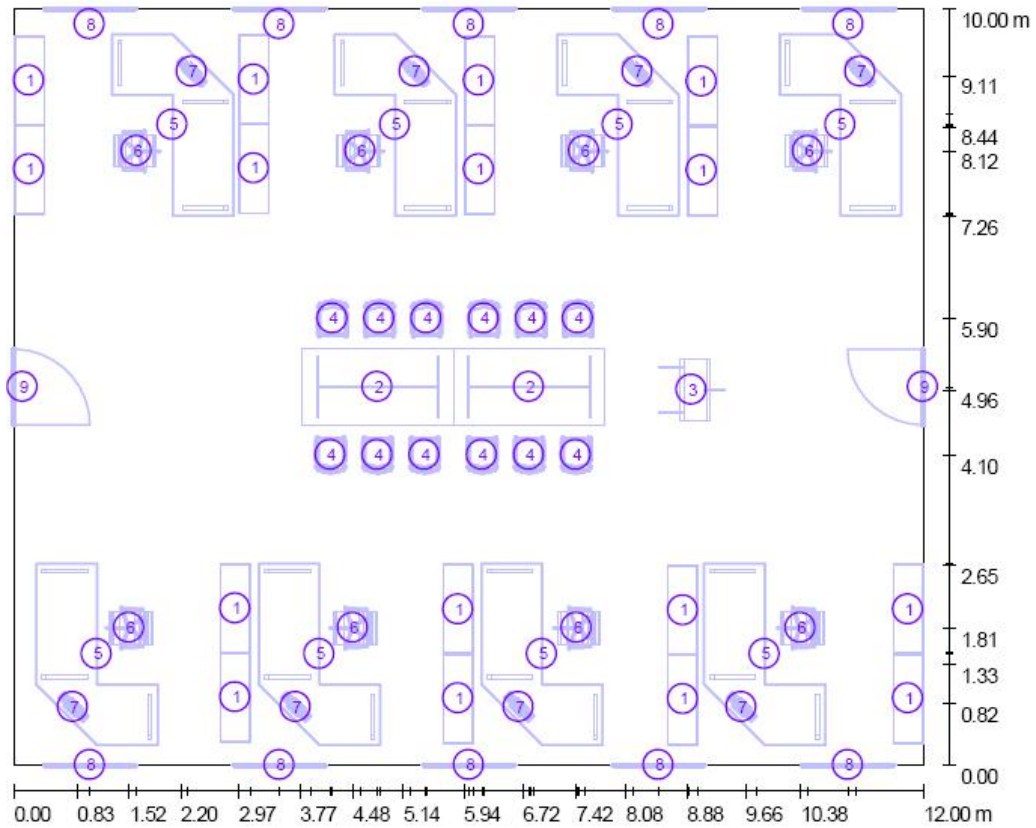
### 6.1 DIALux

#### 6.1.1 Yleistä

DIALux on tehokas, moderni ja kattava valaistussuunnittelun työkalu kaikille valaistusalan ammattilaisille sisä-, ulko- ja tievalaistukseen laskentaan. /5/

DIALux:in avulla suunniteltiin liikekiinteistön maisemakonttori ja kaksi erilaista valaistusratkaisua: säätämätön ja säädettävä. Suunnittelu toteutettiin EN 12464-1 standardin mukaisesti. Maisemakonttorin pinta-alaksi määriteltiin 120 m<sup>2</sup> ja huonekorkeudeksi 3,0 m. Tilaan suunniteltiin pitkille seinille ikkunat tasajaolla ja lyhyille seinille ovet. Tilaan suunniteltiin lisäksi 8 kpl työpisteitä, jotka sijaitsevat molemmilla ikkunaseinillä ja työpisteissä on kussakin kulmatyöpöytä, TFT-näyttö, 2-

osainen toimistokaappi. Tilan keskialueelle suunniteltiin kokous-/neuvottelu-/koulutustila, jossa on pöytätila 12 hengelle ja fläppitaulu. Kuvassa 9 on maisemakonttorin objektien sijaintikaavio ja taulukossa 3 on objektien osaluettelo.



Kuva 9. Objektien sijaintikaavio.

Taulukko 3. Objektien osaluettelo.

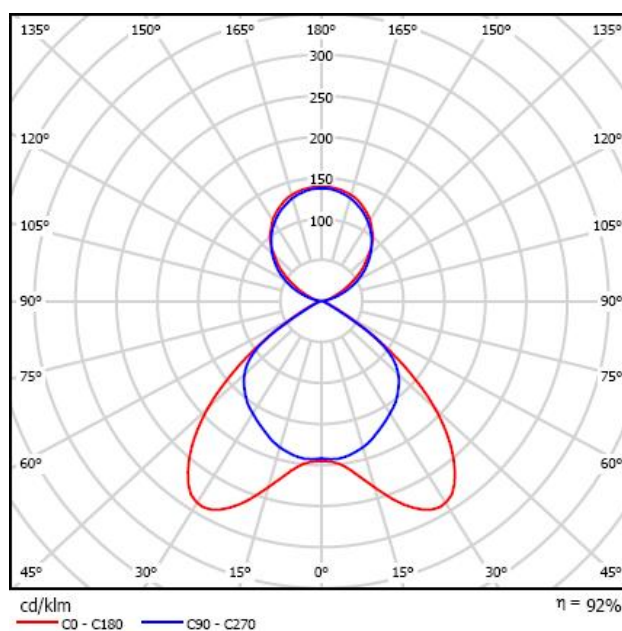
Numero	Kappale	Tunnus
1	16	120x120 yksipuolinen
2	2	200x100 kokous
3	1	fläppitaulu
4	12	freischwinger-tuoli
5	8	Kulmakirjoituspöytä vasemmalla
6	8	pyörivä tuoli3
7	8	TFT-näyttö
8	10	lkkuna
9	2	Ovi

Valaisimiksi valittiin Fagerhultin Ten° Line -sarjan Beta -valaisimet, joissa on valonlähteinä 2x28W T5-loistelampun ja liitäntälaitteina elektroniset liitäntälaitteet. Ten°

Line -sarjan valaisimissa yhdistyvät näköergonomia, muotoilu, laatu ja toimivuus. Valaisimen tuottamasta valosta 60 % heijastuu suoraan kohteeseen ja valosta 40 % heijastuu epäsuorasti katon ja seinien kautta kohteeseen. Valaisin vastaa siis hyvin nykyaikaisen toimistotilan valaistukselle asetettuja vaatimuksia. Valaisimien päällä on muovinen levy, joka suojaa pölyltä ja näin ollen nopeuttaa puhdistusta ja huoltotyötä. Valaisimet ripustetaan vaijereilla 0,6 m katosta alaspäin. Alakaton rakenne on ns. T-profiilikatto. Valaisimien ripustusvaijerit kiinnitetään T-profiilikattoon lisävarusteena saataviin ripustuskiskoihin, näin valaisimet voidaan asentaa työpisteeseen oikeaan kohtaan ja myöhemmin mahdollisesti tulevia muutostarpeita on tällä ripustustavalla helpompi suorittaa ”jälkiä jättämättä”. Valaisimien ryhmäjohdot ja rasioinnit asennetaan alakaton yläpuolella olevaan välitilaan, sinne asennettuja johtoteitä hyväksi käyttäen. Kuvassa 10 on edellä mainittu valaisin ja kuvassa 11 on valaisimen valonjakokäyrä.



Kuva 10. Fagerhultin Ten° Line Beta -valaisin.



Kuva 11. Ten° Line Beta (2x28 W) -valaisimen valonjakokäyrä.

Kuvasta 11 nähdään, että valaisin antaa sekä alavaloa että ylävaloa. Kuvasta 11 voidaan nähdä, että valovoiman suuruus alaspäin kulmassa  $I_0^\circ$  on noin 190 cd, ylöspäin kulmassa  $I_{180^\circ}$  on noin 140 cd ja kulmassa  $I_{30^\circ}$  on noin 290 cd. Valovirran  $\Phi$  arvo (5200 lm) saadaan kuvan 13 valaisinluettelon tiedoista. Valovoima suoraan alas on laskettavissa seuraavasti:

$$I = \frac{\Phi}{1000 \text{ lm}} \cdot I_{0^\circ} = \frac{5200 \text{ lm}}{1000 \text{ lm}} \cdot 190 \text{ cd} = \underline{\underline{988 \text{ cd}}}$$

Valovoima suoraan ylös on puolestaan:

$$I = \frac{\Phi}{1000 \text{ lm}} \cdot I_{180^\circ} = \frac{5200 \text{ lm}}{1000 \text{ lm}} \cdot 140 \text{ cd} = \underline{\underline{728 \text{ cd}}}$$

Valovoiman maksimiarvo (heijastimen vaikutuksesta) on kulmassa  $30^\circ$ :

$$I = \frac{\Phi}{1000 \text{ lm}} \cdot I_{30^\circ} = \frac{5200 \text{ lm}}{1000 \text{ lm}} \cdot 290 \text{ cd} = \underline{\underline{1508 \text{ cd}}}$$

Alavalon osuus on 60 % ja ylävalon osuus 40 %. Valaisimen valaistushyötysuhde  $\eta = 92 \%$ , mikä tarkoittaa, että valaisimen lamppujen valovirrasta 92 % päättyy suoraan tai heijastusten kautta tilan työtasolle.

Kuvassa 12 on Ten° Line Beta -valaisimen valaisintietoarkki.

#### **Asennus**

Vaijeriripustus kitkalukoilla suoraan valaisimesta tai ripustussangoista, jotka mahdollistavat portaattomasti säädettävän ripustusvälin. Kitkalukot sisältyvät valaisimen toimitukseen. Poikittaissuuntainen säätövara ripustuskiinnikkeissä 14 mm. Jonoasennusmahdollisuus lisävarusteen avulla.

#### **Kytkenä**

Liitosjohto 2,4 m 3x1,0 mm<sup>2</sup> maadoitetulla pistotulpalla. Jousiliitinkytkentärima 3x2,5 mm<sup>2</sup> (säädettävissä valaisimissa 5x2,5 mm<sup>2</sup>) -o-. Liitosjohdon lähtö samassa päässä kuin vetokytkimet. Lisänumerolla -368 ja -300 toimitettavissa valaisimissa liitosjohto 2,4 m 5x0,75 mm<sup>2</sup>.

#### **Rakenne**

Valaisimen runko ja päädyt valkoiseksi (RAL 9016) tai alumiininharmaaksi (RAL 9006) maalattua teräslevyä, raepinta. Ylävaloaukossa pölysuojana kirkas muovilevy. Kolmelamppuisissa valaisimissa erilliset vetokytkimet ylä- ja alavalolle. Valaisimet ovat tasapainotettuja. 1- ja 2- lamppuiset tilauksesta vetokytkimellä.

#### **Häikäisysuoja**

Beta - pienluminaanssiritilä, jossa on paraboliset poikkilamellit ja pitkittäisheijastimet mattapintaista metalloitua alumiinia (heijastussuhde >92%). Häikäisysuoja on saranoitu ja maadoitettu. Jousikiinnitys. Valonlähteet vaihdetaan yläkautta, joten häikäisysuojaa ei tarvitse irrottaa lampunvaihdon yhteydessä.

#### **Heijastin**

Heijastimet kiiltäväpintaista eloksoitua alumiinia. Kolmelamppuisissa malleissa on erilliset heijastimet ylä- ja alavaloa varten. Yksi- ja kaksilamppuisissa malleissa samat lamput valaisevat sekä ylös että alas.

#### **Turvavalaistus**

Turvavalaistimet on varustettu integroidulla emLED-diodiyksiköllä (sijoitettu valaisimen alapintaan päädyn ja häikäisysuojan väliin).

#### **Valonsäätö**

Valonsäätö lisänumeron mukaisesti. Muut säätötavat tilauksesta.

#### **Lisätiedot**

Tilauksesta valaisimet saatavissa myös 49W tehoisina. Fagerhult Plus -valaisimien toimituspakkaukseen sisältyy valmiiksi asennettuina 2,5m liitosjohto 3x1,0 mm<sup>2</sup> maadoitetulla pistotulpalla, ripustusvaijerit kattokoukkuasennukseen sekä valonlähteet 3000K.

Kuva 12. Ten° Line Beta -valaisimen valaisintietoarkki. /1/

### **6.1.2 Säätämätön valaistusratkaisu**

Tässä asennustavassa valaisimissa ei ole säätöä lainkaan, vaan valaisimet sytytetään ja sammutetaan ovipielissä olevista painikkeista ryhmäkeskukseen asennettujen sysäysreleen ja kontaktorin avulla. Tämä tarkoittaa siis sitä, että valot sytytetään painamalla painonappia, joka näin ohjaa ryhmäkeskuksessa olevaa sysäysrelettä, jolla ohjataan puolestaan kontaktoria.

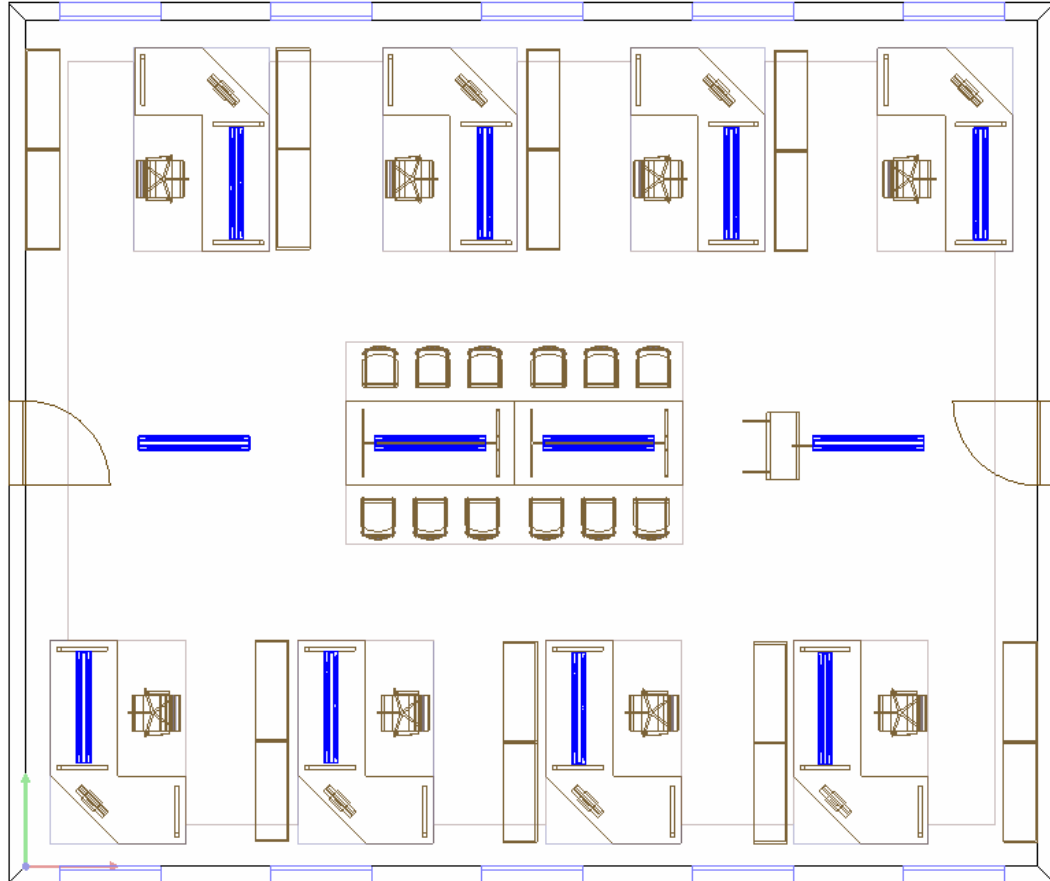
Tässä valaistusratkaisussa käytetyt valaisimet ovat kuvassa 13.

12 Kappale Fagerhult 26233 Ten° Line Beta 2xT16 28W  
Tavaranumero: 26233  
Valaisimien valovirta: 5200 lm  
Valaisimien teho: 62.0 W  
Valaisinten luokittelu CIE: 62  
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 60  
97 100 62 92  
Varustus: 2 x T16 (Korjaustekijä 1.000).

Kuva 13. Valaisinluettelo.

Kuvan 13 mukaiset valaisimet valittiin, koska näillä valaisimilla saavutettiin EN 12464-1 standardin keskimääräinen valaistusvoimakkuus  $E_m$  500 lx, häikäisyindeksi  $UGR_L$  19 sekä värinointoindeksi  $R_a$  80. Lisäksi piti huomioida yleinen nyrkkisääntö, jonka mukaan näytön pinnalla valaistusvoimakkuus ei saa ylittää 200 lx:a. /1/

Valaisimet on sijoitettu kuvan 14 mukaisesti maisemakonttoriin.



Kuva 14. Valaisinten sijoittelu.

Kuvan 14 mukaiseen valaisinten sijoitteluun päädyttiin, koska tavoitteena oli saada valoa sinne, missä työtä tehdään eli kyseessä oli työpistekohtainen valaistus ja keskialueen kokoustilan tarpeisiin vaadittava valaistus, joka toimii samalla yleisvalaistuksena. Läsnaolotunnistimella varustetut valaisimet sijoitettiin niin, että tunnistin sijoittuu valaisimen siihen päähän, joka on lähimpänä näyttöpäätettä eli missä työskentely pääosin tapahtuu.

### 6.1.3 Säädettävä valaistusratkaisu

Tässä ratkaisussa työpisteissä käytetyissä valaisimissa on varusteena päivänvalotunnistin, joka säätelee keinovalon määrää sisään tulevan päivänvalon mukaan. Valaisimissa on myös vetokytkin, jolla voidaan sääteellä valaistusta manuaalisesti tarpeen mukaan. Valaisimissa on lisäksi läsnäolotunnistin, joka sytyttää ja sammuttaa valot automaattisesti. Kyseessä on siis automaattinen päällekytkentä/himmennys. Valaisimet kytketään automaattisesti päälle välittömästi, kun henkilö on läsnä ja valaisimet himmennetään alle 20 %:iin normaalivoimakkuudesta viimeistään 5 min viimeisen henkilön poistumisen jälkeen ja kytketään myöhemmin automaattisesti pois päältä. Näissä kahdeksassa (8) valaisimissa on edellä mainittujen komponenttien lisäksi käytössä elektroninen liitäntälaite ja T5-loistelamput. Valaisimen tyyppi on Ten° Line Beta 2xT16 28 W, e-Sense SmartSwitch. Tilan keskiosassa sijaitsevalla kokousalueella on lähinnä fläppitaulua olevan pöydän yläpuolella Master-valaisin, jolla ohjataan samassa jonossa olevia kolmea muuta valaisinta, joita kutsutaan orjavalaisimiksi. Ohjaavassa Master-valaisimissa on vetokytkin valaistuksen manuaalista säätöä varten sekä läsnäolotunnistin. Tämä valaisin on tyypiltään Ten° Line Beta 2xT16 28 W, e-Sense Actilume ja orjavalaisimet puolestaan Ten° Line Beta 2xT16 28 W, DALI. Tämä valaisinjono voidaan kytkeä päälle ja sammuttaa vain manuaalisesti valokatkaisimista. Kokoustilan neljässä (4) valaisimissa on elektroninen liitäntälaite, joka soveltuu DALI-ohjausjärjestelmän käyttöön ja T5-loistelamput. /1/

DIALux:iin jouduttiin valitsemaan samat valaisimet kuin valaistusratkaisussa ilman säätöä, koska DIALux:iin ei voida valaisimiksi valita muita kuin ”perusmallin” valaisimia, joten tämän valaistusratkaisun valaisinluettelo on kuvan 13 mukainen ja valaisinten sijoittelu on kuvan 14 mukainen. DIALux:iin asetettiin kuitenkin

ikkunaseinien valaisimien läsnäolon tehokkuuskertoimeksi 0,95, joka tarkoittaa automaattista päällekytkentää/himmennystä ja keskialueen kokoustilan valaisimille vastaava kerroin 0,90, joka tarkoittaa manuaalista päällekytkentää/himmennystä. Ikkunaseinien valaisimille asetettiin päivänvalon saantikertoimeksi 0,67 kuvaamaan säädettyä valaisinta. Kerroin 0,67 perustuu FCC-laskurin ohjauskertoimen avustajan antamiin arvoihin, jossa päivänvalon/himmennyksen ja läsnäolon huomioiminen vastasi prosenttilukuna 67 %.

#### 6.1.4 Tulosten arviointi

Kuvissa 15–18 on esitetty DIALux:ista saatavia tuloksia säätämättömästä valaistusratkaisusta.

Energia-arvio seuraavan normin mukaisesti: EN 15193  
Paikka: Helsinki, Pituusaste: 25.00°, Leveysaste: 60.20°

##### Tulokset

Kokonaisenergia Valaisu: 1950.12 kWh/a  
LENI: 16.25 kWh/(a · m<sup>2</sup>)

Kokonaisenergia Työalue: 1860.00 kWh/a  
Kokonaisenergia Loisiimiö (Kokonainen): 90.12 kWh/a  
Kokonaisenergia Loisiimiö (Valmiustila): 37.56 kWh/a  
Kokonaisenergia Loisiimiö (Hätävalaistuksen lataaminen): 52.56 kWh/a  
Kokonaispinta-ala: 120.00 m<sup>2</sup>

##### Kuukausitulokset

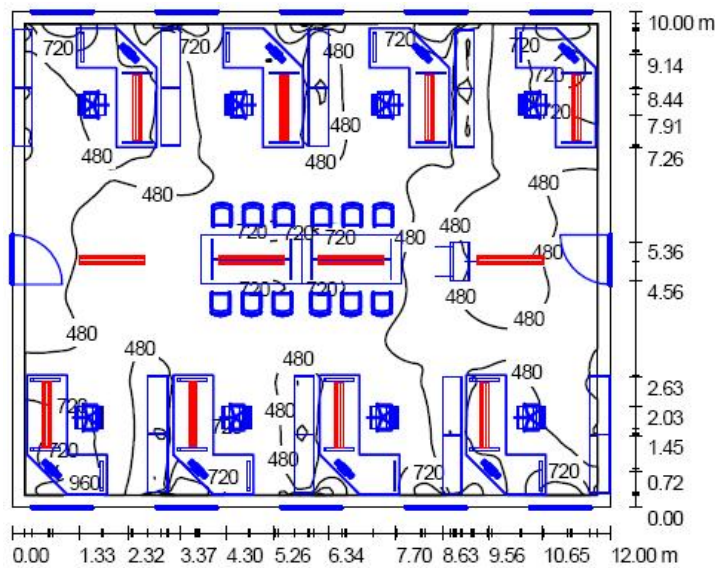
Kuukausi	Valaisu		Työalue		Loisiimiö	
	[kWh]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh]	[kWh/m <sup>2</sup> ]
Tammik.	69.52	0.58	62.01	0.52	7.51	0.06
Helmik.	69.52	0.58	62.01	0.52	7.51	0.06
Maalisk.	69.52	0.58	62.01	0.52	7.51	0.06
Huhtik.	69.52	0.58	62.01	0.52	7.51	0.06
Toukok.	69.52	0.58	62.01	0.52	7.51	0.06
Kesäk.	69.52	0.58	62.01	0.52	7.51	0.06
Heinäk.	69.52	0.58	62.01	0.52	7.51	0.06
Elok.	69.52	0.58	62.01	0.52	7.51	0.06
Syysk.	69.52	0.58	62.01	0.52	7.51	0.06
Lokak.	69.52	0.58	62.01	0.52	7.51	0.06
Marrask.	69.52	0.58	62.01	0.52	7.51	0.06
Jouluk.	69.52	0.58	62.01	0.52	7.51	0.06

Kuva 15. Energia-arvion yhteenveto.

Kuvan 15 tuloksista on nähtävissä hyvin, ettei kyseistä valaistusratkaisua säädetä lainkaan, koska valaisun energiankulutus on yhtä suuri vuoden jokaisena kuukautena (69,52 kWh/kk). LENI-luku 16,25 kWh/(a·m<sup>2</sup>) on liitteen 6 taulukon 2 mukaan



energiankäyttöluokaltaan luokkaa 4, mikä tarkoittaa, että kyseessä on energiatehokkaasti toteutettu valaistusjärjestelmä, jossa valaistus on tyypillisesti kohdistettu ja siinä käytetään energiatehokkaita valonlähteitä sekä normaalia ohjausta. Loisisilmion osuus kokonaisenergiasta muodostuu säätölaitteiden ottamasta tehosta silloin kun lamput eivät pala (37,56 kWh/a) ja hätävalaisimien lataamiseen käytetyn tehon kulutuksesta (52,56 kWh/a).



Tilan korkeus: 3.000 m, Asennuskorkeus: 2.400 m, Huoltokerroin: 0.85

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:129

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	543	155	1322	0.286
Lattia	20	328	59	542	0.181
Katto	85	302	118	1292	0.393
Seinät (4)	85	219	34	800	/

#### Käyttötaso:

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

#### Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ [lm]	P [W]
1	12	Fagerhult 26233 Ten° Line Beta 2xT16 28W (1.000)	5200	62.0
			Yhteensä: 62400	744.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $6.20 \text{ W/m}^2 = 1.14 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $120.00 \text{ m}^2$ )

Kuva 16. Valaistustilanteen yhteenveto.

Kuvasta 16 nähdään, että käyttötasolla saavutetaan EN 12464-1 standardin mukainen keskimääräinen valaistusvoimakkuus  $E_m$  500 lx. Yleisen nyrkkisäännön mukainen alle

200 lx:n valaistusvoimakkuus näytön pinnalla on vaikea tarkalleen saavuttaa, mutta keinoina häikäisyn estämiseksi on TFT-näytön kallistaminen keinovalon mukaan ja sälekaihtimien säätäminen päivänvalon mukaan.

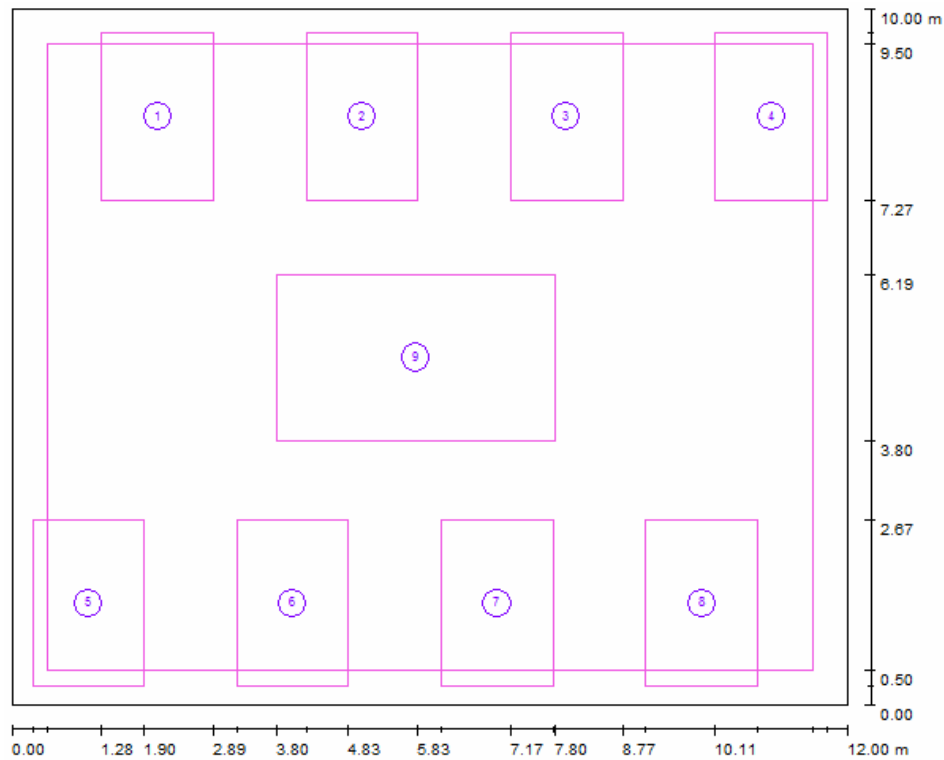
Kokonaisvalovirta: 62400 lm  
Kokonaisteho: 744.0 W  
Huoltokerroin: 0.85  
Reuna-alue: 0.250 m

Pinta	Keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]			Heijastussuhde [%]	Keskimääräinen luminanssi [cd/m <sup>2</sup> ]
	suoraan	epäsuoraan	kokonaan		
Käyttötaso	336	207	543	/	/
Lattia	182	146	328	20	21
Katto	148	154	302	85	82
Seinä 1	34	169	203	85	55
Seinä 2	87	152	239	85	65
Seinä 3	34	169	203	85	55
Seinä 4	86	153	239	85	65

Yhdenmukaisuus käyttötasolla  
 $E_{\min} / E_m$ : 0.286 (1:3)  
 $E_{\min} / E_{\max}$ : 0.117 (1:9)

Kuva 17. Valaistustekniset tulokset.

Kuvasta 17 nähdään hyvin, että valaisimet heijastavat valoa suoraan ja epäsuoraan esim. käyttötasolle suoraan heijastuvan valon määrä on 336 lx ja epäsuorasti katon ja seinien kautta heijastuvan valon määrä on 207 lx. Valaistusvoimakkuuden tasaisuus käyttötasolla ( $E_{\min}/E_m$  0,286) ei ole EN 12464-1 standardin mukainen ( $E_{\min}/E_m >0,7$ ). Syynä tähän on, että valaisimet on sijoitettu työpistekohtaisesti eikä niitä ole sijoitettu tasajaolla tilaan, koska valaistusratkaisussa on pyritty saavuttamaan työntekijän kannalta hyvät valaistusolosuhteet. EN 12464-1 standardin mukainen seinäpintojen luminanssin minimiarvo 30 cd/m<sup>2</sup> kuitenkin toteutui arvolla 55–65 cd/m<sup>2</sup> ja näin ollen työpisteissä saavutetaan hyvä näkömukavuus. Heijastussuhteet: lattia 20 %, katto 85 % ja seinät 85 % ovat EN 12464-1 standardin mukaiset (lattia 10–50 %, katto 60–90 %, seinät 30–80 % ja ikkunaseinät >60 %). Huoltokerroin (alennemakerroin) 0,85 vastaa EN 12464-1 standardin mukaista puhtaan toimistotilan luokitusta. /1/



Mittakaava 1 : 86

Numero	Tunnus	Rasteri	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
	Työalue 1	16 x 16	577	257	862	0.445	0.298
	Työalue 2	16 x 16	640	385	940	0.602	0.410
	Työalue 3	16 x 16	676	376	1080	0.556	0.348
	Työalue 4	64 x 64	731	373	1026	0.510	0.363
	Työalue 5	64 x 64	755	379	1099	0.501	0.345
	Työalue 6	128 x 128	695	378	1133	0.543	0.333
	Työalue 7	16 x 16	647	390	996	0.603	0.392
	Työalue 8	64 x 64	580	256	897	0.441	0.285
	Työalue 9	128 x 128	637	463	716	0.726	0.646
	Ympäröivä alue	128 x 128	470	120	894	0.255	0.134

Kuva 18. Työalueiden sijoittelu ja valaistusvoimakkuudet.

Kuvasta 18 nähdään työalueiden (9 kpl) sijoittelu. Työalueet 1–8 ovat ikkunaseinien työpisteet ja työalue 9 on keskialueen kokoustila. Verrattuna käyttötason valaistusvoimakkuuden tasaisuuteen ( $E_{min}/E_m$  0,286) on työaluekohtainen arvo ( $E_{min}/E_m$  0,441–0,726) jo paljon lähempänä EN 12464-1 standardin mukaista ( $E_{min}/E_m > 0,7$ ) arvoa. /1/

Kuvissa 19–22 on esitetty DIALux:ista saatavia tuloksia säädettävästä valaistusratkaisusta.

Energia-arvio seuraavan normin mukaisesti: EN 15193  
Paikka: Helsinki, Pituusaste: 25.00°, Leveysaste: 60.20°

#### Tulokset

Kokonaisenergia Valaisu: 1277.88 kWh/a  
LENI: 10.65 kWh/(a · m<sup>2</sup>)

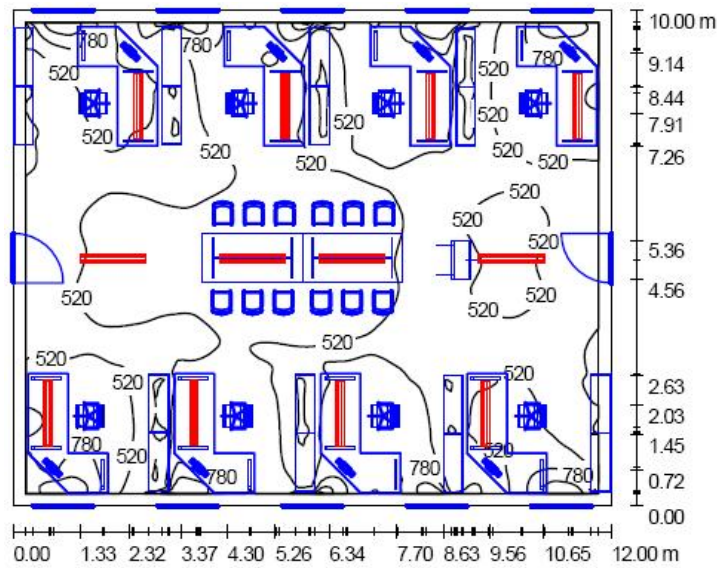
Kokonaisenergia Työalue: 1187.76 kWh/a  
Kokonaisenergia Loisiö (Kokonainen): 90.12 kWh/a  
Kokonaisenergia Loisiö (Valmiustila): 37.56 kWh/a  
Kokonaisenergia Loisiö (Hätävalaistuksen lataaminen): 52.56 kWh/a  
Kokonaispinta-ala: 120.00 m<sup>2</sup>

#### Kuukausitulokset

Kuukausi	Valaisu		Työalue		Loisiö	
	[kWh]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh]	[kWh/m <sup>2</sup> ]
Tammik.	140.75	1.17	133.24	1.11	7.51	0.06
Helmik.	122.47	1.02	114.96	0.96	7.51	0.06
Maalisk.	101.01	0.84	93.50	0.78	7.51	0.06
Huhtik.	87.31	0.73	79.80	0.66	7.51	0.06
Toukok.	82.27	0.69	74.76	0.62	7.51	0.06
Kesäk.	80.45	0.67	72.94	0.61	7.51	0.06
Heinäk.	80.91	0.67	73.40	0.61	7.51	0.06
Elok.	83.19	0.69	75.68	0.63	7.51	0.06
Syysk.	99.17	0.83	91.66	0.76	7.51	0.06
Lokak.	117.91	0.98	110.40	0.92	7.51	0.06
Marrask.	137.09	1.14	129.58	1.08	7.51	0.06
Jouluk.	145.33	1.21	137.82	1.15	7.51	0.06

Kuva 19. Energia-arvio (yhteenveto).

Kuvan 19 tuloksista on nähtävissä hyvin, että kyseistä valaistusratkaisua säädetään päivänvalon mukaan, koska valaisun energiankulutus vaihtelee vuodenaikojen mukaan, talvella suurempi energiankulutus ja kesällä huomattavasti pienempi. LENI-luku 10,65 kWh/(a·m<sup>2</sup>) on liitteen 6 taulukon 2 mukaan energiankäyttöluokaltaan lähes luokkaa 5, koska vaadittava arvo 10 kWh/(a·m<sup>2</sup>). Tämä tarkoittaa, että kyseessä energiatehokkaasti toteutettu valaistusjärjestelmä, jossa valaistus on kohdistettu ja siinä käytetään energiatehokkaita valonlähteitä sekä päivänvalo- ja läsnäolo-ohjausta. Loisiön osuus kokonaisenergiasta muodostuu säätölaitteiden ottamasta tehosta silloin kun lamput eivät pala (37,56 kWh/a) ja hätävalaisimien lataamiseen käytetyn tehon kulutuksesta (52,56 kWh/a).



Tilan korkeus: 3.000 m, Asennuskorkeus: 2.400 m, Huoltokerroin: 0.85

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:129

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	555	159	1418	0.286
Lattia	20	336	64	548	0.190
Katto	85	305	122	1296	0.398
Seinät (4)	85	225	37	808	/

#### Käyttötaso:

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

#### Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ [lm]	P [W]
1	12	Fagerhult 26233 Ten <sup>o</sup> Line Beta 2xT16 28W (1.000)	5200	62.0
Yhteensä:			62400	744.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $6.20 \text{ W/m}^2 = 1.12 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $120.00 \text{ m}^2$ )

Kuva 20. Valaistustilanteen yhteenveto.

Kuvasta 20 nähdään, että käyttötasolla saavutetaan EN 12464-1 standardin mukainen keskimääräinen valaistusvoimakkuus  $E_m$  500 lx. Yleisen nyrkkisäännön mukainen alle 200 lx:n valaistusvoimakkuus näytön pinnalla on vaikea tarkalleen saavuttaa, mutta keinoina häikäisyn estämiseksi on päivänvalon säätö tai himmennys vetokytkimellä ja lisäksi TFT-näytön kallistaminen keinovalon mukaan ja sälekaihtimien säätäminen päivänvalon mukaan. /1/

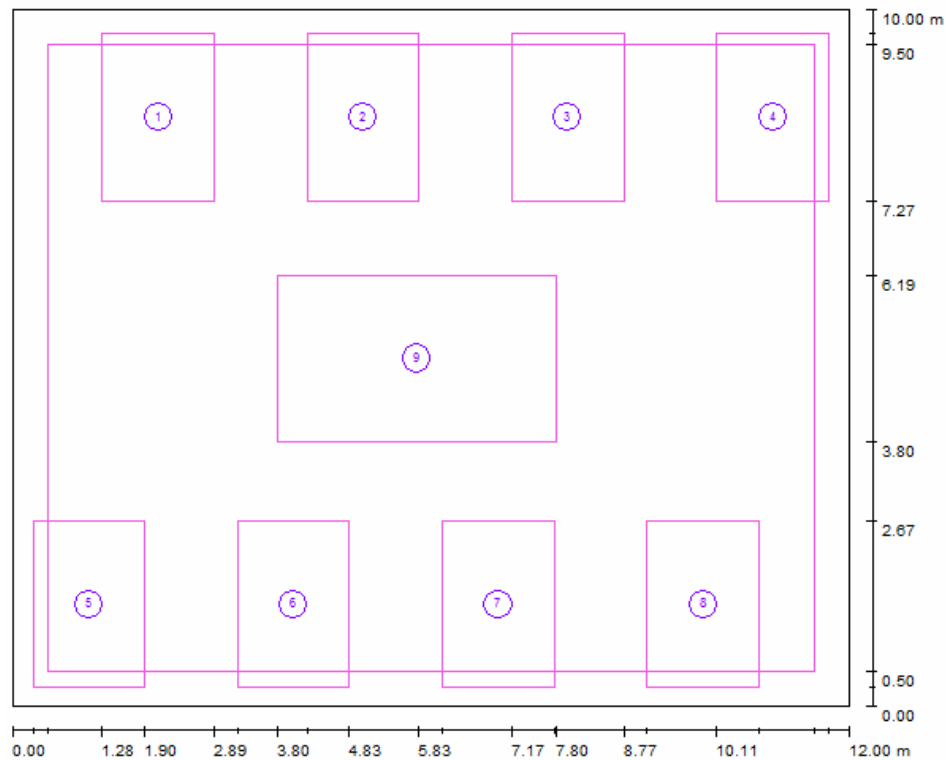
Kokonaisvalovirta: 62400 lm  
Kokonaisteho: 744.0 W  
Huoltokerroin: 0.85  
Reuna-alue: 0.250 m

Pinta	Keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]			Heijastussuhde [%]	Keskimääräinen luminanssi [cd/m <sup>2</sup> ]
	suoraan	epäsuoraan	kokonaan		
Käyttötaso	345	210	555	/	/
Lattia	188	148	336	20	21
Katto	148	158	305	85	83
Seinä 1	35	174	208	85	56
Seinä 2	90	155	245	85	66
Seinä 3	35	173	208	85	56
Seinä 4	90	156	246	85	67

Yhdenmukaisuus käyttötasolla  
 $E_{\min} / E_m$ : 0.286 (1:4)  
 $E_{\min} / E_{\max}$ : 0.112 (1:9)

#### Kuva 21. Valaistustekniset tulokset.

Kuvasta 21 nähdään hyvin, että valaisimet heijastavat valoa suoraan ja epäsuoraan esim. käyttötasolle suoraan heijastuvan valon määrä on 345 lx ja epäsuorasti katon ja seinien kautta heijastuvan valon määrä on 210 lx. Valaistusvoimakkuuden tasaisuus käyttötasolla ( $E_{\min}/E_m$  0,286) ei ole EN 12464-1 standardin mukainen ( $E_{\min}/E_m >0,7$ ). Syynä tähän on, että valaisimet on sijoitettu työpistekohtaisesti eikä niitä ole sijoitettu tasajaolla tilaan, koska valaistusratkaisussa on pyritty saavuttamaan työntekijän kannalta hyvät valaistusolosuhteet. EN 12464-1 standardin mukainen seinäpintojen luminanssin minimiarvo 30 cd/m<sup>2</sup> kuitenkin toteutui arvolla 56–67 cd/m<sup>2</sup> ja näin ollen työpisteissä saavutetaan hyvä näkömukavuus. Heijastussuhteet: lattia 20 %, katto 85 % ja seinät 85 % ovat EN 12464-1 standardin mukaiset (lattia 10–50 %, katto 60–90 %, seinät 30–80 % ja ikkunaseinät >60 %). Huoltokerroin (alenemakerroin) 0,85 vastaa EN 12464-1 standardin mukaista puhtaan toimistotilan luokitusta. /1/



Mittakaava 1 : 86

Numero	Tunnus	Rasteri	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
	Työalue 1	16 x 16	594	266	909	0.448	0.293
	Työalue 2	16 x 16	658	395	990	0.600	0.399
	Työalue 3	16 x 16	697	383	1143	0.550	0.335
	Työalue 4	64 x 64	755	380	1080	0.503	0.351
	Työalue 5	64 x 64	780	387	1159	0.496	0.334
	Työalue 6	128 x 128	718	385	1202	0.536	0.320
	Työalue 7	16 x 16	666	400	1053	0.601	0.380
	Työalue 8	64 x 64	597	265	947	0.444	0.280
	Työalue 9	128 x 128	642	467	721	0.727	0.647
	Ympäröivä alue	128 x 128	478	121	944	0.252	0.128

Kuva 22. Työalueiden sijoittelu ja valaistusvoimakkuudet.

Kuvasta 22 nähdään työalueiden (9 kpl) sijoittelu. Työalueet 1–8 ovat ikkunaseinien työpisteet ja työalue 9 on keskialueen kokoustila. Verrattuna käyttötason yhdenmukaisuuteen ( $E_{min}/E_m$  0,286) on työaluekohtainen arvo ( $E_{min}/E_m$  0,444–0,727) jo paljon lähempänä EN12464-1 standardin mukaista ( $E_{min}/E_m > 0,7$ ) arvoa. /1/

## 6.2 LCC - Life Cycle Cost calculator

LCC on Fagerhultin kehittämä elinkaarikustannusten laskentaohjelma. Laskentaohjelma huomioi investoinnin kokonaiskustannukset, järjestelmän energiakustannukset sekä sen käyttö- ja huoltokustannukset. Lisäksi ohjelma laskee järjestelmän kokonaiskustannukset koko pitoajalle ja ottaa huomioon korot ja inflaation vaikutukset. LCC laskee myös, minkä ajan kuluessa uusi valaistusjärjestelmä on maksanut itsensä takaisin. /1/

Laskurilla laskettiin DIALux:illa suunnitelluille valaistusratkaisuille vertaileva elinkaarikustannuslaskelma. Laskurissa nykyiseksi valaistusratkaisuksi valittiin säätämätön valaistusratkaisu ja uudeksi säädettävä valaistusratkaisu. Laskuriin syötettiin kuvien 23–41 mukaiset tiedot. Syötetyt tiedot perustuvat valaisinten ja valonlähteiden osalta Fagerhultin sähkötuotehinnastoon (1.6.2009) ja Onnisen sähkötuotehinnastoon (1.3.2010). Töiden osalta hinnat perustuvat keskimääräisiin sähkötoiden urakkahintoihin. Kaikki hinnat sisältävät Alv 22 %.

Kyseessä on arviointi kahden eri valaistusratkaisun kustannusvertailusta tulevan 20 vuoden käyttöajalta. Laskentakorkona käytettiin 3 %, inflaatioarvona 1 % ja energian hinnan kasvuna 4 %/a. Lähtökohtana oli, että toisessa vertailutilanteessa tilaan asennettiin 12 valaisinta, joissa oli elektroniset liitäntälaitteet ja toisessa vertailukohteessa oli 12 valaisinta saman valmistajan samanmallisia valaisimia, jotka oli varustettu valaistuksen säätimillä.

Kuvassa 23 on projektiin syötetyt yleiset tiedot.



Projekti	Yhteystiedot	Huomiot	Yksiköt
Projektin nimi	Valaistusratkaisujen vertailu		
Päivämäärä	6.3.2010		
Laskentakorko (vertailuarvo)	3,0 %		
Inflaatio (vertailuarvo)	1,0 %		
Pitoaika	20,0 vuotta		
Sähkön hinta	0,316 EUR/kWh		
<input checked="" type="checkbox"/> Energian hinnan kasvu (inflaation vaikutus energian hintaan)	4,0 %		
CO <sub>2</sub> kerroin	0,515 kg CO <sub>2</sub> /kWh		
<input checked="" type="checkbox"/> Wattia/pinta-ala			
Huonepinta-ala	120,0 m <sup>2</sup>		
<input type="checkbox"/> Wattia/tilavuus			
<input type="radio"/> Määrittele korkeus	3,0 m		
<input checked="" type="radio"/> Määrittele asennuskorkeus jokaiselle valaisintyypille erikseen			

Kuva 23. Projektin tiedot.

Kuvassa 23 Sähkön hinta on ilmoitettu arviona 20 vuoden päästä ja lähtökohtana oli keskimääräinen sähkön hinta 0,144 €/kWh tänä päivänä, jolloin sen arvo on 20 vuoden päästä 4 % inflaation vaikutuksesta noin 0,316 €/kWh. CO<sub>2</sub>-kerroin oli valittavissa ja se valittiin EU-maiden mukaisesti arvoon 0,515.

### 6.2.1 Säättämätön valaistusratkaisu

Kuvissa 24–28 on säättämättömään valaistusratkaisuun syötetyt tiedot.

Valaisin	Valonlähde	Litäntälaite	Asennus	Käyttötunnit
Valmistaja	Fagerhult			
Tuotteen nimi	Ten° Line Beta 26233			
Tuotenumero	26233			
Valaisimen yksikköhinta (ilman lamppuja)	204,52 EUR			
Asennus- ja materiaalikustannukset/valaisin	24,4 EUR			
Valaisimien lukumäärä	12			
Asennuskorkeus	2,4 m			

Kuva 24. Valaisimen tiedot.

Kuvan 24 valaisimen asennus- ja materiaalikustannukset perustuvat tuntityön veloitukseen 48,80 €/h asennusnopeuden ollessa 2 valaisinta tunnissa, joten yksikköhinnaksi muodostui 24,40 €/6/

Valaisin	Valonlähde	Liitäntälaitte	Asennus	Käyttötunnit
<input type="button" value="Valonlähdetyyppin avustaja"/>				
Valonlähteen nimi	FDH (T16) 2x28W			
Valonlähteiden lukumäärä/valaisin	2			
Kokonaisteho/valaisin (sis.liitäntälaittehäviöt)	62,0 W			
Polttotuntimäärä	19000 h			
Yksikköhinta/valonlähde	5,1 EUR			
Vaihtotyön kustannus/valonlähde	8,13 EUR			

Kuva 25. Valonlähdetiedot.

Kuvassa 25 valonlähde valittiin valaisimeen sopivan lamputyyppin mukaisesti (FDH (T16) 2x28 W) laskurin valonlähdetaulukosta valonlähdetyyppin avustajan (painike) avulla, minkä jälkeen laskuri asetti valonlähteen kokonaistehoksi/valaisin (sis. liitäntälaittehäviöt) 62 W ja polttotuntimääräksi 19000 h. Polttotuntimäärä oli laskurin asetettu valmiiksi. Hinnaksi vaihtotyön kustannus/valonlähde perustuu oletukseen, että kaikki lamput vaihdetaan kerralla (24 kpl lamppuja) vaihtonopeudella 6 lamppua tunnissa ja tuntityön veloituksen ollessa 48,80 €/h, joten yksikköhinnaksi muodostui 8,13 €/6/

Valaisin	Valonlähde	Liitäntälaitte	Asennus	Käyttötunnit
<input checked="" type="checkbox"/> tyhjäkäyntiteho				
tyhjäkäyntiteho <input type="text" value="0,5"/> W				
Kytettäaika verkkoon/vuosi <input type="text" value="8760"/> hours				
<input checked="" type="checkbox"/> Liitäntälaitteen vaihto				
<a href="#">Lue lisää EL-liitäntälaitteista.</a>				
Elinikä max. 10% alenemalla. <input type="text" value="50000"/> hours				
Hinta/liitäntälaitte <input type="text" value="48,8"/> EUR				
Vaihtokustannus (ilman liitäntälaitetta) <input type="text" value="48,8"/> EUR				

Kuva 26. Liitäntälaitetiedot.

Kuvassa 26 tyhjäkäyntiteho ja kytkentäaika verkkoon/vuosi oli laskuriin valmiiksi asetettuja arvoja. Hinnaksi vaihtokustannukselle (ilman liitäntälaitetta) asetettiin asennuskustannuksen mukainen 48,80 €/h, koska liitäntälaitteita ei vaihdeta kaikkia kerralla, sillä niiden elinikä on 20 vuotta ja niiden oletetaan kestävän tarkastelujakson ajan. /6/

Kategoria	Yhteensä (EUR)	Per valaisin (EUR)
Ohjausjärjestelmän kustannukset	112,32	9,36
Muut kustannukset	97,56	8,13

Kuva 27. Asennustiedot.

Kuvassa 27 ohjausjärjestelmän kustannukset muodostuivat asennetuista komponenteista eli 2 kpl valaistuksen ohjauspainike (27,30 €), 2 kpl peitelevy (6,30 €), 1 kpl sysäysrele (20,60 €) ja 1 kpl kontaktori (58,30 €), joten yhteishinnaksi syntyi 112,30 € ja tämä hinta jaettiin valaisimien (12 kpl) kesken, joten yksikköhinnaksi saatiin 9,36 €. Muut kustannukset muodostuivat asennustyöstä, jonka hinnaksi muodostui 97,60 € (2 h työtä) ja tämä hinta jaettiin valaisinten kesken, joten yksikköhinnaksi saatiin 8,13 € /7/

Parametri	Arvo
Vuotuinen polttoaika	2500 h/vuosi
Ohjaukserroin	100,0 %
Huoltokustannus/valaisin	16,26 EUR
Huoltoväli	19000 h

Kuva 28. Käyttötunnit.

Kuvassa 28 vuotuinen polttoaika oli valittavissa ja se valittiin toimistokäytön mukaan 2500 h/a. Ohjauskerroin asetettiin 100 %:iin, koska säätöä ei tässä valaistusratkaisussa ollut. Huoltokustannukseksi arvioitiin kaksinkertainen lampun vaihdosta (8,13 €) syntyvä kustannus, joten valaisinkohtaiseksi yksikköhinnaksi muodostui 16,26 € Huoltoväli oli asetettuna laskuriin vakiona 19000 h.

## 6.2.2 Säädetty valaistusratkaisu

Kuvissa 29–41 on säädetty valaistusratkaisuun syötetyt tiedot. Kuvissa 29–32 on ikkunaseinien työpisteiden valaisinkohtaiset (8 kpl) tiedot.

Valaisin	Valonlähde	Litäntälaite	Asennus	Käyttötunnit
Valmistaja	Fagerhult			
Tuotteen nimi	Ten° Line Beta 26233-315			
Tuotenumero	26233-315			
Valaisimen yksikköhinta (ilman lampuja)	425,0	EUR		
Asennus- ja materiaalikustannukset/valaisin	36,6	EUR		
Valaisimien lukumäärä	8			
Asennuskorkeus	2,4	m		

Kuva 29. Valaisimen tiedot.

Kuvan 29 valaisimen asennus- ja materiaalikustannukset perustuvat tuntihintaan, jonka oletuksena on 1,5 h:n työmäärä ( $48,80 \text{ €/h} \times 1,5 \text{ h} = 73,20 \text{ €}$ ), koska kyseessä on säädetty valaisin ja sen asennus on monimutkaisempaa. Asennusnopeus on 2 valaisinta 1,5 tunnissa, joten yksikköhinnaksi valaisinta kohti muodostui  $36,60 \text{ €} / 6/$

Valaisin	Valonlähde	Liitäntälaitte	Asennus	Käyttötunnit
<input type="button" value="Valonlähdeyytyn avustaja"/>				
Valonlähteen nimi	FDH (T16) 2x28W			
Valonlähteiden lukumäärä/valaisin	<input type="text" value="2"/>			
Kokonaisteho/valaisin (sis.liitäntälaittehäviöt)	<input type="text" value="62.0"/> W			
Polttotuntimäärä	<input type="text" value="19000"/> h			
Yksikköhinta/valonlähde	<input type="text" value="5.1"/> EUR			
Vaihtotyön kustannus/valonlähde	<input type="text" value="8.13"/> EUR			

Kuva 30. Valonlähdetiedot.

Valaisin	Valonlähde	Liitäntälaitte	Asennus	Käyttötunnit
<input checked="" type="checkbox"/> tyhjäkäyntiteho				
tyhjäkäyntiteho <input type="text" value="0.5"/> W				
Kytkeäaika verkkoon/vuosi <input type="text" value="8760"/> hours				
<input checked="" type="checkbox"/> Liitäntälaitteen vaihto				
<a href="#">Lue lisää EL-liitäntälaitteista.</a>				
Elinikä max. 10% alenemalla <input type="text" value="50000"/> hours				
Hinta/liitäntälaitte <input type="text" value="146.4"/> EUR				
Vaihtokustannus (ilman liitäntälaitetta) <input type="text" value="73.2"/> EUR				

Kuva 31. Liitäntälaitetiedot.

Kuvassa 31 hinnaksi vaihtokustannukselle (ilman liitäntälaitetta) asetettiin asennuskustannuksen mukainen 73,20 €, koska liitäntälaitteita ei vaihdeta kaikkia kerralla, sillä niiden elinikä on 20 vuotta ja niiden oletetaan kestävän tarkastelujakson ajan. /6/

Valaisin	Valonlähde	Litäntälaite	Asennus	Käyttötunnit
Vuotuinen polttoaika				
				<input type="button" value="Polttotuntien avustaja"/>
Vuotuinen polttoaika				▼ 2500 h/vuosi
Ohjauskerroin				
				<input type="button" value="Ohjauskertoimen avustaja"/>
Ohjauskerroin				67,0 %
Valaistushuolto				
Huoltokustannus/valaisin				
				16,26 EUR
Huoltoväli				
				19000 h
<input type="button" value="Käytä lampun hyötypolttokäyttöä"/>				

Kuva 32. Käyttötunnit.

Kuvan 32 vuotuinen polttoaika oli valittavissa ja se valittiin toimistokäytön mukaan 2500 h/a. Ohjauskerroin asetettiin 67 %:iin ohjauskertoimen avustajalla (painike), jossa huomioitiin päivänvalon säätö/himmennys ja läsnäolotunnistimen käyttö.

Kuvissa 33–36 on keskialueen kokoustilan valaisinkohtaiset (3 kpl) tiedot.

Valaisin	Valonlähde	Litäntälaite	Asennus	Käyttötunnit
Valmistaja	Fagerhult			
Tuotteen nimi	Ten° Line Beta 26233-368			
Tuotenumero	26233-368			
Valaisimen yksikköhinta (ilman lamppuja)	288,0 EUR			
Asennus- ja materiaalikustannukset/valaisin	36,6 EUR			
Valaisimien lukumäärä	3			
Asennuskorkeus	2,4 m			

Kuva 33. Valaisimen tiedot.

Valaisin	Valonlähde	Liitäntälaitte	Asennus	Käyttötunnit
<input type="button" value="Valonlähdetyyppin avustaja"/>				
Valonlähteen nimi	FDH (T16) 2x28W			
Valonlähteiden lukumäärä/valaisin	2			
Kokonaisteho/valaisin (sis liitäntälaittehäviöt)	62,0 W			
Polttoaika	19000 h			
Yksikköhinta/valonlähde	5,1 EUR			
Vaihtotyön kustannus/valonlähde	8,13 EUR			

Kuva 34. Valonlähdetiedot.

Valaisin	Valonlähde	Liitäntälaitte	Asennus	Käyttötunnit
<input checked="" type="checkbox"/> tyhjäkäyntiteho				
tyhjäkäyntiteho	0,5 W			
Kytettäaika verkkoon/vuosi	8760 hours			
<input checked="" type="checkbox"/> Liitäntälaitteen vaihto				
<a href="#">Lue lisää EL-liitäntälaitteista.</a>				
Elinikä max. 10% alenemalla.	50000 hours			
Hinta/liitäntälaitte	146,4 EUR			
Vaihtokustannus (ilman liitäntälaitetta)	73,2 EUR			

Kuva 35. Liitäntälaitetiedot.

Valaisin	Valonlähde	Liitäntälaitte	Asennus	Käyttötunnit
Vuotuinen polttoaika				
<input type="button" value="Polttoaika avustaja"/>				
Vuotuinen polttoaika	2500 h/vuosi			
Ohjauskertoimen				
<input type="button" value="Ohjauskertoimen avustaja"/>				
Ohjauskertoimen	67,0 %			
Valaistushuolto				
Huoltokustannus/valaisin	16,26 EUR			
Huoltoväli	19000 h			
<input type="button" value="Käytä lampun hyötypolttokäikää"/>				

Kuva 36. Käyttötunnit.



Kuvissa 37–41 on keskialueen kokoustilan valaisinkohtaiset (1 kpl) tiedot.

Valaisin	Valonlähde	Litäntälaite	Asennus	Käyttötunnit
Valmistaja	Fagerhult			
Tuotteen nimi	Ten° Line Beta 26233-308			
Tuotenumero	26233-308			
Valaisimen yksikköhinta (ilman lamppuja)	478,0	EUR		
Asennus- ja materiaalikustannukset/valaisin	36,6	EUR		
Valaisimien lukumäärä	1			
Asennuskorkeus	2,4	m		

Kuva 37. Valaisimen tiedot.

Valaisin	Valonlähde	Litäntälaite	Asennus	Käyttötunnit
	<input type="button" value="Valonlähdetyyppin avustaja"/>			
Valonlähteen nimi	FDH (T16) 2x28W			
Valonlähteiden lukumäärä/valaisin	2			
Kokonaisteho/valaisin (sis.litäntälaitehäviöt)	62,0	W		
Polttotuntimäärä	19000	h		
Yksikköhinta/valonlähde	5,1	EUR		
Vaihtotyön kustannus/valonlähde	8,13	EUR		

Kuva 38. Valonlähdetiedot.

Valaisin	Valonlähde	Litäntälaite	Asennus	Käyttötunnit
<input checked="" type="checkbox"/> tyhjäkäyntiteho				
tyhjäkäyntiteho	0,5	W		
Kytettäaika verkkoon/vuosi	760,0	hours		
<input checked="" type="checkbox"/> Litäntälaitteen vaihto				
<a href="#">Lue lisää EL-litäntälaiteista.</a>				
Elinikä max. 10% alenemalla.	50000	hours		
Hinta/litäntälaite	146,4	EUR		
Vaihtokustannus (ilman litäntälaitetta)	73,2	EUR		

Kuva 39. Litäntälaitetiedot.



Ohjausjärjestelmän kustannukset	Yhteensä	Yksikkö
tälle valaisintyyppille yhteensä	33,7	EUR
per valaisin	33,7	EUR

Muut kustannukset	Yhteensä	Yksikkö
tälle valaisintyyppille yhteensä	146,4	EUR
per valaisin	146,4	EUR

Kuva 40. Asennustiedot.

Kuvassa 40 ohjausjärjestelmän kustannukset muodostuivat asennetuista komponenteista eli 2 kpl valaistuksen ohjauspainike (27,30 €) ja 2 kpl peitelevy (6,30 €), joten yhteishinnaksi syntyi 33,70 €, mikä on yksikköhinta valaisinta kohti, koska valaisimia on yksi kappale. Muut kustannukset muodostuivat asennustyöstä, jonka hinnaksi muodostui 146,40 € (2 h työtä), joten yksikköhinnaksi valaisinta kohti saatiin 146,40 € /7/

Vuotuinen polttoaika	Arvo
Vuotuinen polttoaika	2500 h/vuosi

Ohjauskertoimen	Arvo
Ohjauskertoimen	67,0 %

Valaistushuolto	Arvo
Huoltokustannus/valaisin	16,26 EUR
Huoltoväli	19000 h

Kuva 41. Käyttötunnit.

### 6.2.3 Tulosten arviointi

Seuraavissa kuvissa 42–45 on esitetty LCC-laskurilla saadut tulokset. Kuvassa 42 on esitetty tulokset valaistusratkaisujen kustannusvertailusta.

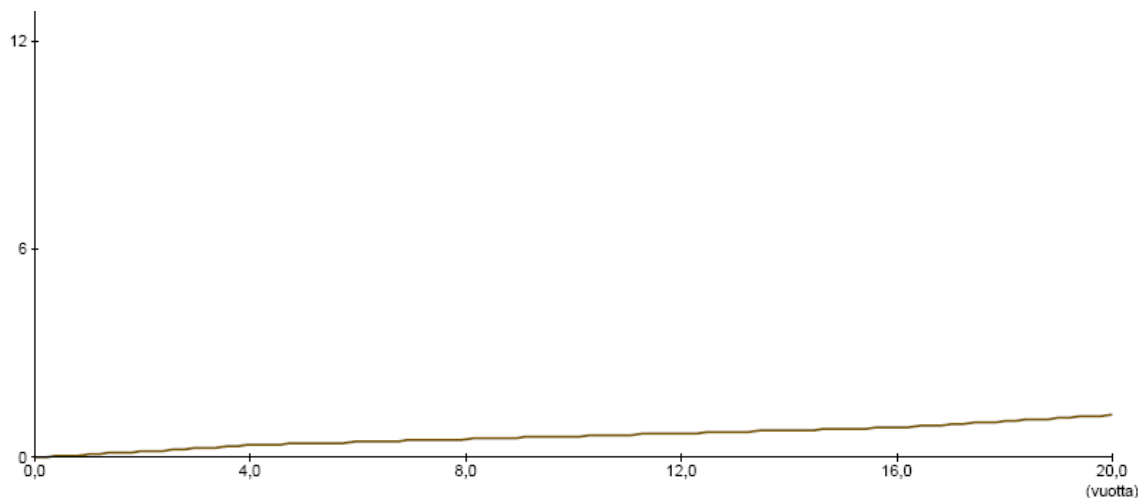
<b>Yleiset tiedot</b>	<b>Ilman säätöä</b>	<b>Säädön kanssa</b>
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailuratkaisu takaisinm...	Nykyinen valaistusrat...	
Valaisintyyppien lukumäärä	1	3
Valaisintyypit	12 - Ten° Line Beta 26...	8 - Ten° Line Beta 262... 3 - Ten° Line Beta 262... 1 - Ten° Line Beta 262...
Valaisimien lukumäärä	12	12
Valonlähteiden kokonaismäärä	24	24
<b>Investointikustannukset</b>	<b>Ilman säätöä</b>	<b>Säädön kanssa</b>
Valaisinkustannukset yhteensä (ilman lampuja)	2 454,24 EUR	4 742 EUR
Valonlähdekustannukset yhteensä	122,4 EUR	122,4 EUR
Asennuskustannukset yhteensä	209,88 EUR	180,1 EUR
Materiaali- ja työkustannukset yhteensä	292,8 EUR	439,2 EUR
<b>Investointi</b>	<b>3 079,32 EUR</b>	<b>5 483,7 EUR</b>
<b>Energiakustannukset</b>	<b>Ilman säätöä</b>	<b>Säädön kanssa</b>
Valaistusratkaisun kokonaisteho	744 W	744 W
Keskimääräinen käyttökerroin	100,0 %	67,0 %
Teho yhteensä	744 W	498,48 W
Keskimääräinen toiminta-aika	2 500 h/vuotta	2 500 h/vuotta
Energiankulutus yhteensä/vuosi (ilman tyhjäkäyntiteho... tyhjäkäyntiteho yhteensä	1,86 MWh/vuotta 6,0 W	1,2462 MWh/vuotta 6,0 W
Keskimääräinen tyhjäkäyntitehoaika	6 260 h/vuotta	6 260 h/vuotta
Tyhjäkäyntienergian kulutus	37,6 kWh/vuotta	37,6 kWh/vuotta
Energiankulutus vuodessa	1,9 MWh	1,28 MWh
Sähkön hinta	0,316 EUR/kWh	
Energiakustannukset vuodessa	600 EUR	406 EUR
Jaksollisten suoritusten kumulatiivinen nykyarvo	21,957	
<b>Energiakustannusten nykyarvo</b>	<b>13 166 EUR</b>	<b>8 907 EUR</b>
<b>Valonlähdekustannukset</b>	<b>Ilman säätöä</b>	<b>Säädön kanssa</b>
Valonlähteiden kokonaismäärä	24	24
Valonlähteiden vaihtokustannukset yhteensä	317,52 EUR	317,52 EUR
Keskimääräinen nykyarvokerroin	2,505	2,505
<b>Valonlähdekustannusten nykyarvo</b>	<b>795 EUR</b>	<b>795 EUR</b>
<b>Liitälaitteen kustannukset</b>	<b>Ilman säätöä</b>	<b>Säädön kanssa</b>
Liitälaitteen kokonaisvaihtokustannus	1 171,2 EUR	2 415,6 EUR
Keskimääräinen nykyarvokerroin	0,140	0,140
<b>Liitälaitteiden kustannusten nykyarvo</b>	<b>164 EUR</b>	<b>338 EUR</b>
<b>Huoltokustannukset</b>	<b>Ilman säätöä</b>	<b>Säädön kanssa</b>
Huoltokustannukset yhteensä	195,12 EUR	195,12 EUR
Keskimääräinen nykyarvokerroin	2,505 EUR	2,505 EUR
<b>Huoltokustannusten nykyarvo</b>	<b>489 EUR</b>	<b>489 EUR</b>
<b>Valaistusratkaisun nykyarvo</b>	<b>17 693 EUR</b>	<b>16 013 EUR</b>
<b>Kriittinen piste (nykyarvomenetel... Tuotto</b>	<b>- vuotta 0 EUR</b>	<b>12,3 vuotta 1 680 EUR</b>

Kuva 42. Valaistusratkaisujen kustannusvertailu.

Investointikustannuksissa syntyi eroa noin 2400 €materiaali- ja työkustannuksista säätämättömän version hyväksi. Keskimääräinen käyttökerroin on säädettävissä valaisimissa edullisempi, koska valaistuksen voimakkuutta pienemmälle säädettäessä

myös tehoa kuluu vähemmän. Energian kulutus vuodessa on noin 620 kWh pienempi säädetyissä valaisimissa, mikä säästää kuluja vuodessa noin 200 €. Laskentaohjelma määrittelee nykyarvokertoimen sekä energiakustannusten nykyarvon, peilaten sitä muun muassa inflaatioon, korkotasoon ja muihin muuttuviin kustannuksiin.

Kuvassa 43 on esitetty vaihdettujen liitäntälaitteiden lukumäärä.



Kuva 43. Vaihdettujen liitäntälaitteiden lukumäärä.

Kuvasta 43 nähdään, että liitäntälaitteita vaihdettiin 20 vuoden tarkasteluaikana 2 kappaletta. Tämä tulos on LCC-ohjelman laskennallinen, minkä mukaan muutama liitäntälaitte joudutaan mahdollisesti vaihtamaan. Oletuksena kuitenkin oli, että liitäntälaitteet kestävät koko 20 vuoden tarkastelujakson ajan, koska 50000 tuntia vastaa 20 vuotta ja tähän aikaan on sisällytetty liitäntälaitteen max. 10 %:n eliniän alenema.

Valonlähdekustannukset ovat molemmissa valaisinratkaisuissa samat, koska valaisimet ja lamput ovat samanlaisia ja ne vaihdetaan kerran vertailujakson aikana. Lamppujen elinikä on noin 7,6 vuotta (19000 h). Liitäntä- ja säätölaitteita ei vaihdeta kaikkia kerralla niin kuin esim. valonlähteitä, vaan LCC-laskurin laskennallisen tuloksen mukaan 2 kpl:ta seuranta-aikana molemmissa valaistusratkaisuissa ja kustannukset tästä ovat n. 195–440 €. Liitäntä- ja säätölaitteiden elinikä on noin 20 vuotta (50000 h) eikä niitä todennäköisesti tarvitse vaihtaa takuuajan jälkeen ollenkaan. Huoltokustannukset ovat molemmissa vertailukohteissa samat nykyarvokertoimella noin 490 €. Vertailukohteiden kustannukset kohtaavat toisensa 12,3 vuoden kohdalla käyttöönotosta

toisin sanoen tuona ajankohtana energiaa enemmän käyttävä, säätämätön valaistusratkaisu saavuttaa säädettävän ja kalliimman investointikustannuksiltaan olevan järjestelmän siihen astiset kustannukset. Tuottoa investoinneiltaan kalliimpi ratkaisu tuottaa tämän jälkeen noin 1700 €vertailujakson loppuun mennessä. Kuvassa 44 on esitetty valaistusratkaisujen tehot ja tehojen suhteutus tilan pinta-aloihin.

<b>Wattia/pinta-ala</b>	<b>Ilman säätöä</b>	<b>Säädön kanssa</b>
Valaistusratkaisun kokonaisteho	744 W	744 W
Keskimääräinen käyttökerroin	100 %	67 %
Teho yhteensä	744 W	498,48 W
Pinta-ala	120,0 m <sup>2</sup>	120,0 m <sup>2</sup>
<b>Wattia/pinta-ala</b>	<b>6,2 W/m<sup>2</sup></b>	<b>4,15 W/m<sup>2</sup></b>

Kuva 44. Tehot ja tehojen suhteutus tilan pinta-aloihin.

Kuvasta 44 selviää, että säätämättömän valaistusratkaisun kokonaisteho on 744 W ja säädön kanssa saavutetun hyödyn kanssa noin 500 W. Kokonaistehoa kuluu lattianeliötä kohti 6,2 W/m<sup>2</sup> ja 4,15 W/m<sup>2</sup>.

Kuvassa 45 on esitetty valaistusratkaisujen valaisimien käytöstä aiheutuva vuotuinen CO<sub>2</sub>-muodostus.

	<b>Ilman säätöä</b>	<b>Säädön kanssa</b>
Valaistusratkaisun kokonaisteho	744,0 W	744,0 W
Keskimääräinen käyttökerroin	100,0 %	67,0 %
Teho yhteensä	744,0 W	498,48 W
Keskimääräinen toiminta-aika	2 500,0 h/vuotta	2 500,0 h/vuotta
Energiankulutus yhteensä/vuosi (ilman tyhjäkäyntiteho...)	1,86 MWh/vuotta	1,25 MWh/vuotta
tyhjäkäyntiteho yhteensä	6,0 W	6,0 W
Keskimääräinen tyhjäkäyntitehoaika	6 260 h/vuotta	6 260 h/vuotta
Tyhjäkäyntienergian kulutus	37,56 kWh/vuotta	37,56 kWh/vuotta
Energiankulutus vuodessa	1,9 MWh	1,28 MWh
CO <sub>2</sub> kerroin	0,515 Kg CO <sub>2</sub> /kWh	
<b>CO<sub>2</sub> - muodostus/vuosi</b>	<b>977 Kg CO<sub>2</sub>/vuotta</b>	<b>661 Kg CO<sub>2</sub>/vuotta</b>

Kuva 45. Vuotuinen CO<sub>2</sub>-muodostus.

Kuvasta 45 nähdään, että valaisimien käytöstä aiheutuva vuotuinen CO<sub>2</sub>-muodostus säätämättömässä valaistusratkaisussa on 977 kg/a ja säädettävässä 32,2 % vähemmän eli 661 kg/a.

## 7. Yhteenveto

Opinnäytetyössä tekemäni projektin lisäksi suoritin puhelin- ja sähköpostikyselyjä sekä keskusteluja opinnäytetyöni aiheeseen liittyen eri valaisinvalmistajien kanssa sekä suurimpien sähkötukkuliikkeiden edustajien kanssa. Viime vuosina elektroniset liitäntälaitteet ovat kehittyneet todella laadukkaiksi ja kestäviksi. Suuri valaisinvalmistaja Philips on esimerkiksi luopunut kokonaan tavallisen rautasydämisen kuristimen käytöstä liitäntälaitteena valmistamissaan valaisimissa. Käytettäessä elektronisia liitäntälaitteita loistelampun haitallinen vilkkuminen poistuu, samoin vanhemmasta tekniikasta aiheutuva hurina. Lisäksi elektroninen liitäntälaitte mahdollistaa lampun nopean syttymisen. Valonsäätöön tarkoitetut elektroniset liitäntälaitteet mahdollistavat valaistuksen tason muuttamisen siten, että valon määrä on aina käyttötarpeeseen nähden sopiva. Energian kulutus ko. liitäntälaitteilla varustetuilla valaisimilla on huomattavasti pienempi kuin vanhemmalla tekniikalla varustetuilla valaisimilla. Lamppukustannukset ja samoin muut huoltokustannukset pienentyvät merkittävästi elektronista liitäntälaitetta käytettäessä. Lampun elinikä kasvaa jopa 50 %, eikä sytyttimien vaihtotarvetta enää ole.

Nykyisin uudistetaan ja peruskorjataan paljon toimistotiloja. Kohteessa uusitaan myös valaistus. Työposteisiin kannattaa vanhojen valaisimien tilalle asentaa uudet säädettävät loistevalaisimet, joissa on päivänvalotunnistin, läsnäolotunnistin ja valaistustason käsisäätö. Valaistuksen säätö on työpistekohtainen ja näin kukin työntekijä voi säätää valaistuksensa tarpeidensa mukaan. Energia- ja huoltokustannuksiltaan tämä ratkaisu on paljon edullisempi verrattuna vanhoihin valaistusasennuksiin, joissa on käytetty kuristintyyppisiä liitäntälaitteita ja kaikki tilan valaisimet sytytettiin ja sammutettiin samanaikaisesti ilman säätömahdollisuutta. Muutos on myös asennuskustannuksiltaan edullinen suorittaa, koska ryhmäjohtoalueella tehtävät muutokset ovat vähäisiä. Riippuen valaisinvalinnasta riittää, kun katossa on pistorasia, johon uusi säädettävä valaisin liitetään pistotulpalla.

Tutkimukseni mukaan käytettäessä säädettyä asennustapaa loistelampun käyttötuntimäärä (19000 h) ei pienene eikä suurene valaistuksen säädön takia. Valaisimissa käytetyt komponentit ovat myös hyvin pitkäikäisiä, sillä käyttötuntimäärät

ovat yli 50000 h (elektroniset liitäntälaitteet), eikä valaistuksen säätäminen vaikuta näihin käyttötuntimääriin. Mahdolliset yksittäiset ongelmat ilmenevät ensimmäisen sadan käyttötunnin aikana, jolloin takuu on vielä voimassa. Takuuajaksi elektronisille liitäntälaitteille luvataan 3–5 vuotta (Philips). LED:it soveltuvat hyvin valonsäätöön, kun niitä käytetään valmistajien ohjeiden mukaisesti, saadaan LED:ien käyttötuntimääräksi jopa 50000 h. Monimetallilamppua säädettäessä saattaa sen käyttötuntimäärä pienentyä huomattavasti.

Yhteenvedona DIALux-ohjelman antamista tuloksista voidaan todeta, että säädetyllä valaistusratkaisulla saavutetaan energiataloudellisempi ratkaisu, koska näin saadaan hyödynnettyä päivänvalo valaistusta säätämällä, eikä valaisimia tarvitse käyttää täydellä teholla ympäri vuoden. Säästöjä lisää myös manuaalinen himmennys sekä läsnäolotunnistin. Yhteenvedona LCC-ohjelman antamista tuloksista voidaan todeta, että vertailtavana olleesta valaistusratkaisuista kannattaa valita säädettävä valaistusratkaisu, koska se on taloudellisesti kannattavampi ja käytössä toimivampi. Työpisteiden valonsäätö on jo työnteen ja työssäviihtyvyydenkin kannalta hyvä valinta. Käyttökustannuksissa saavutetaan huomattavasti säästöä ja valaisimien käytöstä aiheutuvat vuotuiset CO<sub>2</sub>-päästöt pienenevät merkittävästi.

## Lähteet

- /1/ Fagerhult, Valaistus 2009–2010. 552 s.
- /2/ ST 58.08: Valonlähteiden ominaisuudet. Sähkötieto ry. Laadittu 15.11.2009. 16 s. (pdf)
- /3/ ST 58.06: Valaistuksen tavoitteet ja valaistuksen tavoitteiden toteutus. Sähkötieto ry. Laadittu 15.6.2000. 20 s. (pdf)
- /4/ ST 58.31: Eri valonlähteiden säätö. Sähkötieto ry. Laadittu 15.9.2004. 8 s. (pdf)
- /5/ ST 57.52: LED-valaistusjärjestelmät. Sähkötieto ry. Sähkötieto ry. Laadittu 15.5.2008. 12 s. (pdf)
- /6/ Fagerhult. Sähkötuotehinnasto. Laadittu 1.6.2009. [viitattu 6.3.2010] (pdf)
- /7/ <http://www.omninen.com>, Onninen. Sähkötuotehinnasto. Laadittu 1.3.2010. [viitattu 6.3.2010] (excel)

## Liitteet

## Tehtäväkohtaiset suositukset

Oheiseen taulukkoon on koottu otteita standardin EN 12464-1 mukaisista valaistusvaatimuksista. Standardissa käytetään jäsentelyä teollisuusalan mukaan.

EN 12464-1 on vanhoja suosituksia yksityiskohtaisempi erityisesti kouluvalaistuksessa ja sairaalataloissa. Standardissa ei ole enää omia suosituksia koskien esimerkiksi asuntoja, huoltoasemia, hissejä, kaivoksia, kirkkoja, paloasemia, posteja, pankkeja tai poliisilaitoksia. Näitä tiloja suunniteltaessa tulee käyttää soveltuvin osin muiden vastaavien tilojen suosituksia.

## Selityksiä ① -merkinnöille:

- 4 = värilämpötilan tulee olla vähintään 4000 K.  
 5 = värilämpötilan tulee olla vähintään 5000 K.  
 6 = värilämpötilan tulee olla vähintään 6000 K.  
 B = vuodetasolla.  
 C = valaistuksen tulisi olla säädetty.  
 E = suuret luminanssit potilaan näkökentässä estettävä.  
 F = stroboskooppi-ilmiö estettävä.  
 G = kiinnitettävä huomiota häikäisyyn.  
 H = syväseiteilyvalaisimien värinvalaistus voi yleisvalaistuksen osalta olla vaadittua alempi.  
 I = valaistussuunnittelun tavoitteena on luoda tilaan sopiva ilmapiiri.  
 L = lasketaan lattiatasolla.  
 M = yöaikaan pienempi valaistusvoimakkuus on hyväksyttävä.  
 N = näyttöpäävalaistuksen ohjeet otettava huomioon suunnittelussa.  
 P = peilivalaistuksen tulee olla häikäisemätön.  
 R = kiiltokuvastuminen estettävä.  
 S = sisään- ja uloskäyntien yhteydessä tulee olla sopeutumisyöhyke, joka auttaa silmää sopeutumaan valaistuseroihin tilojen välillä.  
 T = turvavärien tulee näkyä oikein.  
 U = ota huomioon myös EN 12193.  
 V = kiinnitä huomiota pysty pintojen valaistukseen.

Kulkuväylät ja rakennuksen yleiset sisätilat				
Tehtävä tai tila	$E_m$	UGR <sub>1</sub>	$R_a$	①
<b>Liikennealueet (sisätilassa)</b>				
Liikennealueet ja käytävät (Ra ja UGR <sub>1</sub> sovitettava yhteen naapuritilojen kanssa)	100	28	40	LS
Käytävät, joissa ajoneuvoja	150	28	40	L
Portaikot, liukuportaat kuljettimet	150	25	40	
Ajoluisat, lastausalueet	150	25	40	
<b>Lepo- ja saniteettitilat ja ensiapuhuoneet</b>				
Kahvihuoneet	200	22	80	
Lepo- ja leikkimateriaalitilat	100	22	80	
Kuntoilutilat	300	22	80	
Vaate-, pesu-, kylpy- ja WC:t	200	25	80	
Sairashuone	500	19	80	
Lääkintähuone	500	19	90	4
<b>Valvomot</b>				
Talotekniset huoneet	200	25	60	
kytkentälaittehuoneet	200	25	60	
Telex, postitus, puhelinkeskus	500	19	80	
<b>Varastot, kylmät varastot</b>				
Varastotilat	100	25	60	
Jatkuvasti miehityt varastot	200	25	60	
Lähtämö- ja käsittelyalueet	300	25	60	
<b>Varastointi- ja hyllystöalueet</b>				
Käytävät, ei henkilöliikennettä	20	-	40	
Käytävät	150	22	60	
Käyttö- ja ohjauspaikat	150	22	60	

Opetustilat				
Tehtävä tai tila	$E_m$	UGR <sub>1</sub>	$R_a$	①
<b>Lastentarhat, esikoulu</b>				
Leikki, askartelu, lastenhoito	300	19	80	
<b>Oppilaitokset</b>				
Luokat, opetustilat	300	19	80	C
Iltaopetus, aikuiskoulutus	500	19	80	C
Luentosalit	500	19	80	C
Liitutaulu	500	19	80	R
Havaintopöydät	500	19	80	
Havaintopöydät luentosalissa	750	19	80	
Piirustusallit	500	19	80	
Piirustusallit taideoppilaitoks.	750	19	90	5
Tekninen piirustus	750	16	80	
Harjoitusallit ja laboratoriot	500	19	80	
Käsityöluokat, tekniset työt	500	19	80	
Musiikkiluokat	300	19	80	
ATK-luokat (valikko-ohjaus)	300	19	80	N
Kiellilaboratoriot	300	19	80	
Valmisteluhuoneet ja työpajat	500	22	80	
Sisäänkäyntihallit	200	22	80	
Kulkuväylät, käytävät	100	25	80	
Portaat	150	25	80	
Oppil. yhteis- ja kokouksetilat	200	22	80	
Opettajainhuoneet	300	19	80	
Kirjaston hyllyjen pystypinta	200	19	80	
Kirjaston lukualueet	500	19	80	
Opetusvälinevarasto	100	25	80	
Voimistelusalit ja uimahallit	300	22	80	U
Kouluruokala	200	22	80	
Koulukeittiö	500	22	80	

Liiketilat				
Tehtävä tai tila	$E_m$	UGR <sub>1</sub>	$R_a$	①
<b>Liiketilat</b>				
Myyntialue*	300	22	80	
Kassa-alue ja pakkauspyöty	500	19	80	

\* Valaistusvoimakkuus ja UGR<sub>1</sub> tulee valita myymälätyypin mukaisesti.

Toimistot				
Tehtävä tai tila	$E_m$	UGR <sub>1</sub>	$R_a$	①
<b>Toimistot</b>				
Arkistointi ja kopiointi	300	19	80	
Kirjoitus, konekirjoitus,	500	19	80	N
Lukeminen, tietojenkäsittely	750	16	80	
Tekninen piirtäminen	500	19	80	N
CAD-työasemat	500	19	80	C
Kokous- ja neuvottelutilat	300	22	80	
Vastaanottotiski	200	25	80	
Arkistot	200	25	80	

Julkiset kokouksetilat				
Tehtävä tai tila	$E_m$	UGR <sub>1</sub>	$R_a$	①
<b>Yleiset alueet</b>				
Eteiset	100	(22)	80	
Vaatesäilyt	200	25	80	
Odotusaulat	200	22	80	
Lipputoimistot	300	22	80	
<b>Ravintolat ja hotellit</b>				
Vastaanottotiski, kassa	300	22	80	
Keittiö	500	22	80	S
Ravintolasali ja vastaavat tilat	-	-	80	I
Itsepalveluravintola	200	22	80	
Tarjoilupöytä	300	22	80	
Kokoushuoneet	500	19	80	C
Käytävät	100	25	80	M

## Teatterit, konserttisalit, elokuvateatterit

Harjoitus- ja puukeuhkustilat	300	22	80	P
-------------------------------	-----	----	----	---

## Messut, näyttelyhallit

Yleisvalaistus	300	22	80	
----------------	-----	----	----	--

## Kirjastot

Kirjahyllyt	200	19	80	
Lukualueet, palvelutiskit	500	19	80	

## Pysäköintilaitokset

Sisään/ulosajorampit (päivä)	300	25	20*	L
Sisään/ulosajorampit (yö)	75	25	20*	L
Ajoradat	75	25	20*	L
Pysäköintialueet	75	-	20*	LV
Lipunmyynti	300	19	80	L

\* Turvavärien havaitsemiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

## Kuljetus- ja liikennealueet

Tehtävä tai tila	$E_m$	UGR <sub>1</sub>	$R_a$	①
------------------	-------	------------------	-------	---

## Lentoasemat

Tulo- ja lähtöhallit, matkatavarahallit	200	22	80	H
Yhdyskäytävät, liukuportaat, kuljettimet	150	22	80	
Lähtöselvitys, neuvonta	500	19	80	N
Tulli ja passintarkastus	500	19	80	V
Odotustilat	200	22	80	
Matkatavaratilat	200	25	80	
Turvatarkastusalueet	300	19	80	N
Lennonjohtotorni*	500	16	80	CN
Huolto- ja korjaushallit	500	22	80	H
Moottorien testausalueet	500	22	80	H
Mittausalueet lentokonehallissa	500	22	80	H

## Rautatiet

Katetut laiturialueet ja matkustajatunnelit	50	28	40	
Asemahalli	200	28	40	

Lippu- ja matkatavara-	300	19	80	
toimistot sekä palvelutiskit	200	22	80	

Odotushuoneet	200	22	80	
---------------	-----	----	----	--

\* Päivänvalon aiheuttama häikäisy on rajoitettava. Heijastukset ja kiillot ikkunoista yöaikaan estettävä.



Terveydenhoitotilat				
<i>Tehtävä tai tila</i>	<i>E<sub>m</sub></i>	<i>UGR<sub>1</sub></i>	<i>R<sub>a</sub></i>	<i>ⓘ</i>
<b>Yleiskäyttöhuoneet</b>				
Odotushuoneet	200	22	80	L
Käytävät päivällä	200	22	80	L
Käytävät yöllä	50	22	80	L
Päivahuoneet	200	22	80	L
<b>Henkilökunnan huoneet</b>				
Toimistotilat	500	19	80	
Henkilökuntatilat	300	19	80	
<b>Vuodeosastot, synnytysoastot</b>				
Yleisvalaistus	100	19	80	EL
Lukuvalaistus	300	19	80	
Yksinkertaiset tarkastukset	300	19	80	
Tutkimus ja hoitotoimenpiteet	1000	19	90	
Yö- ja huomiovalaistus	5	-	80	
Potilas WC:t ja kylpyhuoneet	200	22	80	
<b>Tutkimushuoneet (yleis-)</b>				
Yleisvalaistus	500	19	90	
Tutkimus ja hoitotoimenpiteet	1000	19	90	
<b>Silmätutkimus</b>				
Yleisvalaistus	300	19	80	
Silmän ulkopuolinen tutkimus	1000	-	90	
Näkö- ja värinäkö tarkastus	500	19	90	
<b>Korvatutkimus</b>				
Yleisvalaistus	300	19	80	
Korvatutkimus	1000	-	90	
<b>Synnytyshuoneet</b>				
Yleisvalaistus	300	19	80	
Tutkimus ja hoitotoimenpiteet	1000	19	80	
<b>Toimenpidehuoneet (yleis-)</b>				
Dialyysi	500	19	80	C
Dermatologia	500	19	90	
Endoskopia	300	19	80	
Kipsaushuoneet	500	19	80	
Lääkelylvyt	300	19	80	
Hieronta ja radioterapia	300	19	80	
<b>Leikkaussalit</b>				
Valmistelu ja heräämö	500	19	90	
Leikkaussali	1000	19	90	
Toimenpidealue	10k-100k			
<b>Teho-osasto</b>				
Yleisvalaistus	100	19	90	B
Yksinkertaiset tarkastukset	300	19	90	B
Tutkimus ja hoitotoimenpiteet	1000	19	90	B
Yövalvonta	20	19	90	
<b>Hammaslääkärit</b>				
Yleisvalaistus	500	19	90	G
Hoitotuoli (potilas)	1000	-	90	
Toimenpidealue	5000	-	90	
Hampaan valkoisuuden arviointi	5000	-	90	6
<b>Laboratoriot ja apteekit</b>				
Yleisvalaistus	500	19	80	
Väritarkastus	1000	19	90	6
<b>Sterilointitilat</b>				
Sterilointi ja desinfektio	300	22	80	
<b>Teollisuuden valmistus ja käsityö</b>				
<i>Tehtävä tai tila</i>	<i>E<sub>m</sub></i>	<i>UGR<sub>1</sub></i>	<i>R<sub>a</sub></i>	<i>ⓘ</i>
<b>Maatalous</b>				
Tavaroiden lastaus, käsittely				
Laitteiden ja koneiden käsittely	200	25	80	
Karjarakennukset	50	-	40	
Sairaseläinkarsinat, vasikointi	200	25	80	
<b>Rehunkäsittely, maitohuoneet</b>				
ja laitteiden puhdistus	200	25	80	
<b>Leipomot</b>				
Valmistelu ja leivonta	300	22	80	
Viimeistely, kuorrutus, koristelu	500	22	80	
<b>Jalokiviteollisuus</b>				
Jalokivien työstäminen	1500	16	90	4
Korujen valmistus	1000	16	90	
Kellojen valmistus (käsityö)	1500	16	80	
<b>Teollisuuden valmistus ja käsityö</b>				
<i>Tehtävä tai tila</i>	<i>E<sub>m</sub></i>	<i>UGR<sub>1</sub></i>	<i>R<sub>a</sub></i>	<i>ⓘ</i>
<b>Kemian-, muovi- ja kumiteollisuus</b>				
Kauko-ohjatut prosessit	50	-	20	T
Miehitetyt prosessitilat	300	25	80	
Tarkkuusmittaus, laboratoriot	500	19	80	
Farmaseuttinen tuotanto	500	22	80	
Renkaiden valmistus	500	22	80	
Värien tarkastus	1000	16	90	4
Leikkaus, viimeistely, tarkastus	750	19	80	
<b>Sähköteollisuus</b>				
Kokoonpano, isot (muuntaja)	300	25	80	H
Kokoonpano, keskikoko (keskus)	500	22	80	H
Kokoonpano, pieni (puhelin)	750	19	80	
Kokoonpano, tarkkuustyö	1000	16	80	
Elektroniikkapajat, testaus, säätö	1500	16	80	
<b>Elintarvike- ja nautintoaineteollisuus</b>				
Työpisteet yleensä	200	25	80	
Lajittelu, pesu, jauhatus, sekoitus, pakkaus, hedelmien ja vihannesten viipalointi ja lajittelu	300	25	80	
Kriittiset alueet ja työpisteet	500	25	80	
Lasi- ja pullojen tarkastus, tuotevalvonta, koristelu	500	22	80	
Laboratoriot	500	19	80	
Väritarkastus	1000	16	90	4
<b>Parturit- ja kampaamot</b>				
Hiusmuotoilu	500	19	90	
<b>Pesulat ja kemialliset pesulat</b>				
Vastaanotto, merkintä, lajittelu	300	25	80	
Pesu, kuivapesu, silitys	300	25	80	
Tarkastus ja korjaus	750	19	80	
<b>Nahka- ja nahkatuotteet</b>				
Lajittelu	500	22	90	4
Tikkaus, ompelu, kiilloitus, leikkaus	500	22	80	
Laaduntarkastus	1000	19	80	
Väritarkastus	1000	16	90	4
Kenkien, käsineiden valmistus	500	22	80	
<b>Metalliteollisuus ja metallin käsittely</b>				
Hitsaus	300	25	60	
Karkea/keskitarkka koneistus	300	22	60	
Tarkka koneistus, hionta	500	19	60	
Levyntyöstö (paksuus yli 5 mm)	200	25	60	
Levyntyöstö (paksuus alle 5 mm)	300	22	60	
Leikkaus- ja kappaleiden valmistus	750	19	60	
Kokoonpano (isot kappaleet)	200	25	80	H
Kokoonpano (hieno)	500	22	80	H
Pintakäsittely ja maalaus	750	25	80	
Työkälyt, hienomekaniikka	1000	19	80	
<b>Paperi- ja paperituotteet</b>				
Kuulamylyt, sellutehtaat	200	25	80	
Paperin ja kartongin valmistus	300	25	80	
Taitto, leikkaus, sidonta, liimaus	500	22	80	
<b>Kirjapainot</b>				
Painotyöt, leikkaus, lajittelu	500	19	80	
Ladonta, retusointi, litografia	1000	19	80	
Moniväripainatuksen väritarkastus	1000	19	90	
Teräksen ja kuparin kaiverrus	2000	16	80	
<b>Tekstiiliteollisuus</b>				
Karstausta, pesu, silitys, veto	300	22	80	
Kehruu, vyyhteäminen, keriminen	500	22	80	F
Kudonta, punonta, neulominen	500	22	80	F
Käsinsuunnittelu, kaavojen teko	750	22	90	4
Viimeistely, värjäys	500	22	80	
Kuivaushuone	100	28	60	
Automaattinen painatus	500	25	80	
Nukan poisto, puhdistus	1000	19	80	
Väritarkastus, kudoksen tarkastus	1000	16	90	4
<b>Puutyö ja puunkäsittely</b>				
Sahaus	300	25	60	F
Puusepäntö, liimaus	300	25	80	
Kiilloitus, maalaus, tarkkuustyö	750	22	80	
Työskentely puuntyöstökoneilla	500	19	80	F
Viulun lajittelu, upotus, koristelu	750	22	90	4

## Suunnittelun muistilista:

### 1. Selvitä, mitä töitä tilassa tehdään?

- Mikä on tyypillisin tehtävä?
- Mitä töitä tehdään vain harvoin?
- Miten tehtävät vaihtelevat eri vuorokauden ja vuodenaikoina?

- Aseta energiankulutukseen ja valaistushuoltoon sekä ympäristönsuojeluun liittyvät tavoitteet.

### 2. Mitä arvoa tilassa on käytettävä (suuri, normaali, pieni)?

- Valitse valaistustaso yleisimmän tehtävän mukaan, mikäli kriittiset tehtävät eivät edellytä parempaa valaistusta. Ota huomioon myös turvallisuus, viihtyvyys ja valaistusetiikka.

- Noudata EN 12464-1 ohjeita poikkeamisesta ylös/alas.

- Valitse arvo lukusarjan avulla.

- Selvitä, mitä muita vaatimuksia tilassa on noudatettava.

### 3. Paikallista työalueet

- Mikäli nämä tunnetaan, valaistus voidaan mitoittaa tarkasti työalueille.

- Määritä työalueen koko yhteistyössä tilaajan kanssa.

- Mikäli työalueiden sijaintia ei tunneta, tulee käyttää siirrettävää valaistusta tai mitoittaa valaistus niin, että vaatimukset toteutuvat kaikissa paikoissa, johon työpiste voidaan sijoittaa.
- Näkökohteen tulee olla paremmin valaistu kuin taustansa, jotta näkö-tarkkuus olisi mahdollisimman hyvä.

### 4. Päätä välittömän lähiympäristön mitat

- Se ulottuu vähintään 0,5 m työalueen ulkopuolelle.

- Kasvata välittömän lähiympäristön kokoa, kun:

- työalue on pieni.
- työalueella esiintyy suuria valaistusvoimakkuuksia.
- työ on liikkuva.
- mikäli välittömät lähiympäristöt tulevat lähelle toisiaan (esim < 1 m).

- Muista myös tilan muunneltavuus.

- Valitse välittömän lähiympäristön valaistusvaatimukset työskentelyalueen valaistusvoimakkuuden avulla EN 12464-1 mukaisesti.

### 5. Päätä tilan yleisvalaistustaso

- 1/3 työalueen valaistusvoimakkuudesta, ellei tilaaja vaadi muuta.

- Vähintään 200 lx, mikäli tilassa oleskellaan jatkuvasti.

- Minimi vähintään 1/5 työalueen vaatimuksesta.

### 6. Näköympäristö

- Noudata pintojen värityksessä EN 12464-1 mukaisia suosituksia.

- Käytä pinoilla tilan pintojen valaistusuhjeita annettuja ohjeita. (katso Valaistussuunnittelu-osio).

- Muista pystypintojen valaistus (erityisesti pienluminanssi- ja downlight-valaisimien kanssa).

### 7. Häikäisyn rajoittaminen

- Avoimien valaisimien rakenteellisen häikäisyuojauksen vaatimukset löytyvät Valaistusvaatimukset-osioista.

- Häikäisyuojan valintaohjeita löytyy Häikäisyuojat-osioista.

- Muista myös valaistuksen muut laatuvaatimukset, katso Valaistuksen ergonomisen laadun arviointi-osio.

# EN 15193-1

## LENI-luku – valaistuksen vuosittaisen energiankäytön laskentaindeksi

Standardi EN 15193 "Energy performance of Buildings – Energy requirements for lighting" määrittää harmonisoidun laskentamenetelmän kiinteän valaistuksen energiankäytölle erilaisissa rakennuksissa. Rakennuksen valaistuksen energiatehokkuus arvioidaan indeksillä, joka ilmoitetaan muodossa kWh/m<sup>2</sup>/vuosi (LENI). LENI-luku lasketaan koko rakennukselle ja sitä voidaan käyttää valaistukseen käytetyn energian vertailulukuna. Tällöin samaan käyttötarkoitukseen tarkoitettujen rakennusten energiankulutuksen vertailu on helppoa.

Standardi esittelee tarkan ja pikalaskentamenetelmän LENI-luvun laskentaan sekä ohjeet valaistuksen energiankulutuksen mittaukseen. Standardia voidaan käyttää pohjana kansallisille suosituksille.



### Valaistuksen energiatehokkuuden mittari

Valaistuksen energiankulutus ilmoitetaan LENI-indeksillä (Lighting Energy Numeric Indicator) ja merkitään muodossa kWh/m<sup>2</sup>, vuosi.

Rakennuksen LENI-luku lasketaan kaavalla:

$$\text{LENI}_{\text{laskettu}} = W_{\text{kokonais}} / A \text{ (kWh/m}^2\text{, vuosi)}$$

**LENI** lasketaan koko rakennuksen valaistukselle. Valaistuksen tulee samalla täyttää sisävalaistuksesta annetut voimassa olevat standardit ja suositukset (EN 12464-1)

**W<sub>kokonais</sub>** on valaistuksen vuotuinen kokonaisenergiankäyttö

**A** on rakennuksen sisätilojen kokonaispinta-ala (m<sup>2</sup>). Se lasketaan ulkoseinien sisäpuolelta ilman valaisematomia tiloja ja kellaritiloja, jotka eivät ole käytössä.

### LENI-luku voidaan laskea kahdella menetelmällä

#### Pikalaskentamenetelmää

käytetään silloin, kun halutaan saada arvio koko rakennuksen vuosittaisesta energiankäytöstä. Menetelmää voidaan käyttää vain tietyissä yleisesti esiintyvissä rakennustyypeissä. Pikalaskentamenetelmää varten standardissa on taulukot, joista erityyppisten rakennusten vuosikohtaiset perustiedot voidaan ottaa. Rakennustyyppejä ovat toimistorakennukset, oppilaitokset, sairaalat, hotellit, ravintolat, urheilutilat, liiketilat sekä tuotantotilat.

Pikalaskentamenetelmässä oletetaan lepokulutukselle vakioarvo 6 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa ja sitä tulee käyttää soveltuviissa kohteissa.

#### Tarkka laskentamenetelmä

mahdollistaa energiankäytön tarkan määrittämisen, sillä se perustuu jokaisen huoneen todellisiin arvoihin. Koska tarkka laskentamenetelmä perustuu todellisiin arvoihin, sen tuotama LENI-luku on alhaisempi kuin pikalaskentamenetelmällä saatu arvo.

Tarkkaa laskentamenetelmää voidaan käyttää kaiken tyyppisten rakennusten arviointiin maantieteellisestä sijainnista riippumatta. Tarkalla menetelmällä voidaan laskea valitun ajanjakson (ei pelkän vuoden) energiankäyttö, mikäli käytössä on tiedot työntekijöiden läsnäoloajoista ja tilojen päivänvalon saannista. Seuraavan aukeaman esimerkissä olemme käyttäneen tarkkaa menetelmää.

$$\text{LENI} = (W_{\text{valaistus}} / A) + 6 \text{ kWh/m}^2\text{, vuosi}$$

$$\text{LENI} = (W_{\text{valaistus}} + W_{\text{lepokulutus}}) / A \text{ kWh/m}^2\text{, aika}^*$$

\* Tarkassa laskentamenetelmässä voidaan käyttää vuosi-, kuukausi- tai tuntiperustetta.

# EN 15193-1

## Valaistuksen energiankäytön laskenta tarkalla menetelmällä



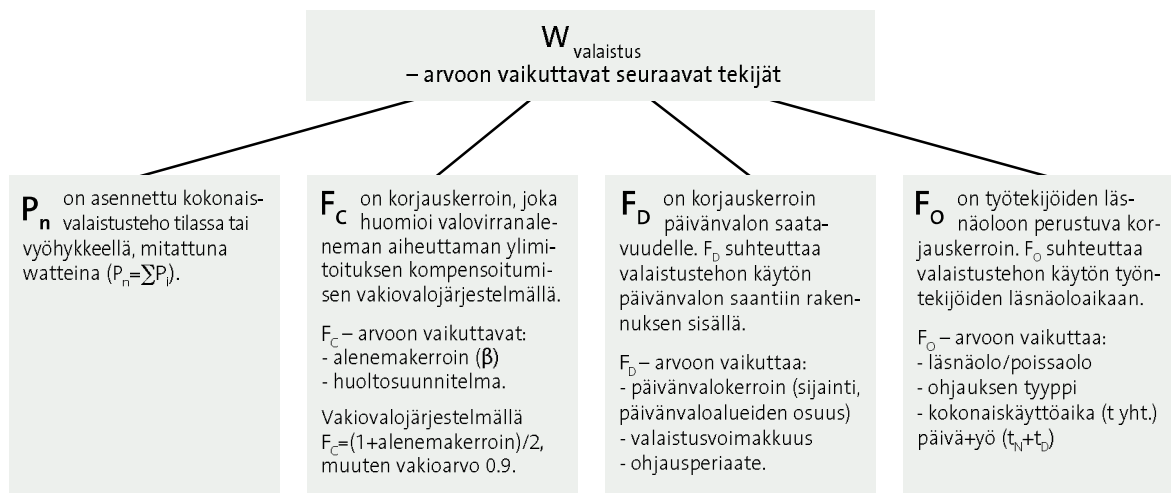
Valaistukseen kuluva kokonaisenergia lasketaan seuraavan kaavan mukaan ja ilmoitetaan muodossa kWh/vuosi:

$$W_{\text{kokonais}} = W_{\text{valaistus}} + W_{\text{lepokulutus}}$$

$W_{\text{valaistus}}$  rakennuksen valaistuksen käyttöön kuluvan energian arvioitu määrä tietyn ajanjakson aikana. Laskelmaan otetaan kaikki valonlähteet ja toimilaitteet.

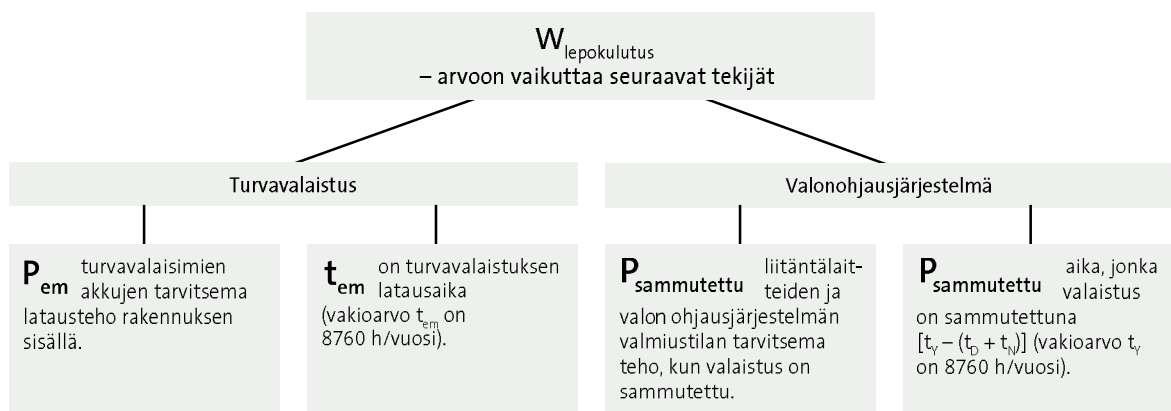
$W_{\text{lepokulutus}}$  arvioitu energiamäärä, mikä kuluu siitä huolimatta, että valaistus on sammutettuna. Energia, jonka valmiustilassa olevat liitäntälaitteet ja valonohjausjärjestelmä sekä turvalaistimien akkujen lataaminen käyttävät.

Mitkä tekijät vaikuttavat valaistuksen tehonkulutukseen  $W_{\text{valaistus}}$ ?



Energiankulutuksen laskukaava:  $W_{\text{valaistus}} = [\sum (P_n \times F_C) \times (t_D \times F_D \times F_O) + (t_n \times F_O)] / 1000 \text{ kWh/m}^2, \text{ vuosi}$

Mitkä tekijät vaikuttavat valaistuksen lepokulutukseen  $W_{\text{lepokulutus}}$ ?



Lepokulutuksen laskukaava:  $W_{\text{lepokulutus}} = [\sum P_{\text{sammutettu}} \times t_{\text{sammutettu}} + (P_{em} \times t_{em})] / 1000 \text{ kWh/m}^2, \text{ vuosi}$

## Valaistuksen energiankäytön pikalaskenta

### Pikalaskentamenetelmä

Menetelmää voidaan käyttää vain toimistorakennuksissa, oppilaitoksissa, sairaaloissa, hotelleissa, ravintoloissa, urheiluhalleissa, liiketiloissa sekä tuotantotiloissa. Pikalaskentamenetelmä perustuu taulukkotietoihin, joista erityyppisten rakennusten vuosikohtaiset perustiedot voidaan ottaa. Pikalaskentamenetelmässä käytetään lepokulutukselle vakioarvoa 6 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa, josta 1 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa on jaettu turvalaistukselle ja 5 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa ohjattavien liitäntälaitteiden valmiustilaan kuluvalle energialle.

$$W_{\text{valaistus}} = 6xA + [(t_{\text{ux}} \sum P_n) / 1000] \text{ kWh/m}^2, \text{ a}$$

missä  $t_{\text{u}} = (t_{\text{p}} \times F_{\text{D}} \times F_{\text{O}}) + (t_{\text{N}} \times F_{\text{O}})$ .



- $P_n$  Valaisimien yhteenlaskettu teho rakennuksessa/alueella
- $t_d$  työtuntien määrä, jolloin päivänvalo on käytettävissä (taulukko 1)
- $t_n$  työtuntien määrä, jolloin päivänvalo ei ole käytettävissä (taulukko 1)
- $F_d$  päivänvalon saatavuuskerroin (taulukko 2)
- $F_o$  läsnäolokerroin (taulukko 3)
- $A$  on rakennuksen sisätilojen kokonaispinta-ala (m<sup>2</sup>). Se lasketaan ulkoseinien sisäpuolelta ilman valaisematomia tiloja ja kellaritiloja, jotka eivät ole käytössä.

Taulukko 1: Oletettu vuotuinen käyttötuntien määrä erityyppisissä rakennuksissa. Käyttötunnit on jaettu erikseen valoisan ja pimeän ajan käyttöön.

Oletetut käyttötunnit			
Rakennustyyppi	$t_p$	$t_n$	$t_{\text{yhteensä}}$
Toimisto	2250	250	2500
Oppilaitos	1800	200	2000
Sairaala	3000	2000	5000
Hotelli	3000	2000	5000
Ravintola	1250	1250	2500
Urheiluhalli	2000	2000	4000
Liiketila	3000	2000	5000
Tuotantolaitos	2500	1500	4000

Taulukko 2: Päivänvalon hyödynnettävyys vakiovalojärjestelmällä varustetuissa järjestelmissä eri tyyppisissä rakennuksissa.

Päivänvalon saatavuuskerroin		
Rakennustyyppi	Valaistuksen ohjaustapa	$F_D$
Toimisto, urheiluhalli, tuotantolaitos	Manuaalinen	1,0
	Vakiovalo-ohjaus ilman päivänvaloa	0,9
	Vakiovalo-ohjaus	0,8
Hotelli, ravintola, liiketila	Manuaalinen	1,0
	Vakiovalo-ohjaus ilman päivänvaloa	0,9
Oppilaitos, sairaala	Manuaalinen	1,0
	Vakiovalo-ohjaus ilman päivänvaloa	0,9
	Vakiovalo-ohjaus	0,7

Huom! Vähintään 60 % valaistuksesta tulee olla liitettyinä vakiovalo-ohjaukseen.

Taulukko 3: Läsnäolo-ohjauksen hyödynnettävyys erityyppisissä rakennuksissa.

Läsnäolokerroin		
Rakennustyyppi	Valaistuksen ohjaustapa	$F_o$
Toimisto, oppilaitos	Manuaalinen	1,0
	Läsnäolo-ohjaus ≤ 60 % kuormasta	0,9
Liiketila, tuotantolaitos, urheiluhalli, ravintola	Manuaalinen	1,0
Hotelli	Manuaalinen	0,7
Sairaala	Manuaalinen (myös läsnäolo-ohjausta)	0,8

Huom! Läsnäolo-ohjauksella tulee olla vähintään 1 kpl/huone tai avoimissa vähintään 1 kpl/30m<sup>2</sup>.



## 1. Valaistusvaikutelman arviointiasteikko

Valaistusvaikutelman inhimilliset tekijät (VBE-indeksi) käsittävät valaistuksen visuaaliset, biologiset ja emotionaaliset vaikutukset. Niitä arvioidaan kullekin tekijälle asetettujen vaatimusten pohjalta, katso VBE-indeksi sivulla 4. Mitä paremmin annetut vaatimukset täyttyvät, sitä korkeampi on VBE-indeksin pistemäärä.



Tilan valaistusvaikutelma (VBE-indeksi) arvioidaan taulukon 1 mukaan, ja se siirretään osatekijänä AQ-indeksiin.

Valaistusvaikutelma =	VBE-kokonaisindeksi
5	13-15
4	10-12
3	7-9
2	5-6
1	alle 5

## 2. Energiankäytön arviointiasteikko

Tilan energiankulutus ilmoitetaan LENI-luvulla (Lighting Energy Numeric Indicator), joka lasketaan standardin EN 15193 mukaisesti. LENI-luku voidaan laskea helposti esimerkiksi DIALux-ohjelman versiolla 4.4 tai uudemmalla. LENI-luvun yksikkö on kWh/m<sup>2</sup>/vuosi. LENI-luku kuvaa valaistusratkaisun energiatehokkuutta. Arvo riippuu valaistusvoimakkuudesta, asennetusta tehosta, tilan käyttöajasta, päivänvalon saataavuudesta sekä valaistuksen ohjauksesta. Energiankäytön arvo 3 vastaa RakMK D5:n mukaisia sähkön ominaiskulutusarvoja (nykyaikaisella valaistuksella saavutettava taso ilman läsnä- tai vakiovalo-ohjausta).



Taulukon 2 energiankäyttöä voidaan kuvata seuraavasti:

**Energiankäyttö 5** – Energiatehokkaasti toteutettu valaistusjärjestelmä, jossa valaistus on paikallistettu, siinä käytetään energiatehokkaita valonlähteitä sekä päivänvalo- ja läsnäolo-ohjausta.

**Energiankäyttö 4** – Energiatehokkaasti toteutettu valaistusjärjestelmä, jossa valaistus on tyypillisesti paikallistettu, siinä käytetään energiatehokkaita valonlähteitä sekä normaalia ohjausta.

**Energiankäyttö 3** – Nykyaikainen valaistusjärjestelmä, jossa ei ole erityisesti pyritty energiatehokkuuteen.

**Energiankäyttö 2** – Tehokkuudeltaan heikohko valaistusjärjestelmä.

**Energiankäyttö 1** – Tehokkuudeltaan heikko valaistusjärjestelmä. Tyypillinen 70-luvun valaistusratkaisu C-luokan kuristimella.

**Laskentaperusteet taulukolle 2:**

Arvot perustuvat standardiin EN 15193 sekä DIALux 4.4 -ohjelmaan. Nämä lähtötiedot löytyvät myös DIALuxista.

**Käytävät** – 2000-2500 h/vuosi (100 lx lattiatasossa).

**Luokahuoneet** – 2000-2500 h/vuosi (500 lx työalueella).

**Toimistot** – 2500 h/vuosi (500 lx työalueella).

**Aulat** – 2500 h/vuosi (500 lx yleisvalaistus).

**Kokoustilat** – 2500 h/vuosi (500 lx työalueella).

**Urheiluhallit** – 4000 h/vuosi (EN 12193 luokka 2, 500 lx pelialueella).

**Teollisuustilat** – 4000 h/vuosi (500 lx työalueella).

**Tavaratalot ja marketit** – 5000 h/vuosi (ei päivänvaloa, 700-1000 lx yleisvalaistus).

Tila	LENI-luku (kWh/m <sup>2</sup> /vuosi)				
	≤10	10-15	15-20	20-25	>25
Käytävät	≤10	10-15	15-20	20-25	>25
Luokahuoneet	≤15	15-20	20-25	25-30	>30
Toimistot	≤10	10-20	20-30	30-40	>40
Aulat	≤15	15-25	25-35	35-45	>45
Kokoustilat	≤15	15-30	30-40	40-50	>50
Urheiluhallit	≤40	40-50	50-60	60-70	>70
Teollisuustilat	≤40	40-60	60-80	80-100	>100
Tavaratalot	≤75	75-100	100-125	125-150	>150
Marketit	≤75	75-100	100-125	125-150	>150
<b>Energiankäyttö</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Huomi! Taulukon 2 LENI-luvut on laskettu standardin EN 15193 mukaisesti (tarkka laskentamenetelmä). Arvo voi vaihdella maittäin. Voimassa olevat taulukot löytyvät Fagerhullin kotisivulta. Energiankäyttöön 3 päästään nykyaikaisella valaisin- ja lampputekniikalla ilman valaistuksenohjausta.