



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# ENERGIATEHOKAS VALAISTUS JA KUSTANNUSVERTAILU ELINKAARIMALLILLA

TEKIJÄ: Timo Utriainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Timo Utriainen			
Työn nimi Energiatehokas valaistus ja kustannusvertailu elinkaarimallilla			
Päiväys	14.4.2014	Sivumäärä/Liitteet	46/10
Ohjaaja lehtori Heikki Laininen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Senaatti-kiinteistöt			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Kajaanin Oikeus- ja poliisitaloon uusi valaistus sekä ohjausjärjestelmä ja vertailla niistä aiheutuvia investointikustannuksia ja niiden avulla saatavia energiansäästöjä nykyiseen valaistusjärjestelmään elinkaarikustannusmallilla. Valaistuksen suunnittelu tehtiin DIALux 4.12 -ohjelmalla ja sen toimintaa verrattiin DIALux evo -ohjelmaan. Elinkaarikustannukset laskettiin Fagerhult LCC -ohjelmalla.</p> <p>Tutkittava kohde on valmistunut vuonna 1985. Kohteeseen on tehty saneerauksia, jolloin myös valaistusta on uusittu, mutta suurin osa nykyisestä valaistuksesta on alkuperäistä. Kohteessa työskennellään muulloinkin kuin virka-aikana, mikä nostaa valaistuksen käyttöastetta ja nopeuttaa investointikustannuksien takaisinmaksua energiansäästön kautta. Työn käytännön osuudessa selvitettiin nykyinen valaistusjärjestelmä, sen käyttöaika ja kunto. Käyttöaika selvitettiin haastatteleamalla eri osastoilla työskenteleviä henkilöitä sekä rakennuksen huollosta ja kunnossapidosta vastaavaa henkilöstöä. Haastatteluissa selvisi myös, että rakennuksessa työskentelevillä henkilöillä oli toivomuksia valaistuksen uusimisesta ja ohjauksen monipuolistamisesta.</p> <p>Työn teoriaosuudessa esitellään valaistustekniikan perussuureita ja standardi SFS-EN 12464-1 valo ja valaistus, jonka vaatimuksiin toimistohuoneiden valaistuksessa tutustuttiin tarkemmin. Työssä käsitellään myös valaistuksen energiatehokkuuteen liittyviä asioita.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin laskelmat, joiden perusteella voitiin verrata suunniteltua ja nykyistä valaistusjärjestelmää. Tulosten kannalta merkittävin osa rakennuksen valaistuksesta oli mukana elinkaarikustannuslaskennassa. Vaikka suunnitelluilla valaistusjärjestelmillä voidaan säästää huomattava määrä energiaa verraten niitä nykyiseen tilanteeseen, ei kriittistä pistettä saavutettu niiden elinkaaren aikana. DIALux evon käytöstä jäi pääasiassa hyviä kokemuksia. Ohjelma on vielä suhteellisen uusi, joten sitä luultavasti kehitetään vielä paljon niin, että sen käyttöä ja toimintaa saadaan tehostettua edelleen.</p>			
Avainsanat valaistussuunnittelu, ohjausjärjestelmät, sisävalaistus			
Luottamuksellisuus Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Timo Utriainen			
Title of Thesis Energy Efficient Lighting and Comparison of Costs with Life Cycle Calculator			
Date	14 April 2014	Pages/Appendices	46/10
Supervisor Mr. Heikki Laininen, Lecturer			
Client Organisation /Partner Senate Properties			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to design a new lighting and a control system for the Law and police station located in Kajaani and compare them to the current lighting system in the form of capital costs and savings in energy efficiency with a life cycle calculator. The new lighting was designed with a program called DIALux 4.12 and it was compared to the DIALux evo program. Life cycle costs were calculated with the Fagerhult Life Cycle Cost Calculator.</p> <p>The target building of this thesis was completed in 1985. There have been several renovations in the target building and also parts of the original lighting were renovated but most of the current lighting is original. The usage of the building does not limit only to office hours so utilization rate rises higher and it will speed up the pay back of capital costs of the designed lighting with its energy savings. The current lighting system, its using hours and condition were clarified in the practical part of this thesis. Using hours of the building were clarified by interviewing different employees working in the building and also by interviewing the company which is responsible for the maintenance of the building. The employees working in the building had suggestions regarding the new lighting and diversifying its control system. This was also found out in the interviews.</p> <p>In the theoretical part of this thesis the basic quantities of lighting as well as the standard SFS-EN 12464-1 light and lighting were clarified. The demands set by the standard in office lighting were studied thoroughly. The study also addressed the issues of energy efficiency in lighting.</p> <p>The outcomes of this study are figures that can be used to compare the current and the designed lighting system. From the point of view of results most of the lighting within the building was taken into account. Even though a noticeable amount of energy can be saved with the designed lighting systems compared to the current lighting system, the critical point of life cycle costs is not reached. DIALux evo turned out to be a good program but also some faults were found. It is still quite a new program so it might be developed further which will improve its usability and effectiveness.</p>			
Keywords Planning of lighting, control systems, indoor lighting			
Confidentiality Public			

## ESIPUHE

Ammattikorkeakoulun opetussuunnitelmaan kuuluu yhtenä osana opinnäytetyö. Oman opinnäytetyön miettiminen tuli aiheiseksi keväällä 2013. Kevään aikana varmistui viimeiseksi harjoittelupaikaksi Sähkötoimisto Eltutek Oy ja tuolloin alkoi miettiminen olisiko yrityksellä tiedossa sopivaa aihetta opinnäytetyöksi. Sopiva aihe löytyi ja työn kohteeksi hyväksyttiin selvitysten jälkeen Senaatti-kiinteistöjen omistama Kajaanin Oikeus- ja poliisitalo.

Haluan kiittää työn ohjaajia, Senaatti-kiinteistöjen kehityspäällikkö Esa Halmetojaa mielenkiintoisen kohteen valitsemisesta sekä lehtori Heikki Lainista Savonia-ammattikorkeakoulusta työn ohjauksesta sen eri vaiheissa. Haluan kiittää Kainuun aluepäällikköä Eero Pyykköstä ISS:stä kohteeseen liittyvien dokumenttien etsimisestä ja työpäällikkö Jarmo Moisasta Sähkötoimisto Eltutek Oy:stä. Suuri kiitos myös Kajaanin Oikeus- ja poliisitalon henkilökunnalle, jonka avulla rakennuksen tarkka käyttöaika tuli selville. Haluan myös kiittää perhettäni tuen antamisesta koko työn aikana. Kiitos myös muille, jotka ovat kannustaneet minua työn aikana.

Kuopiossa 14.4.2014

Timo Utrianen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	VALAISTUSTEKNIIKAN PERUSSUUREET JA KÄSITTEET .....	8
2.1	Valovoima I .....	8
2.2	Valovirta $\phi$ .....	8
2.3	Valaistusvoimakkuus E .....	9
2.4	Luminanssi L .....	9
2.5	Isoluksikuvaaja .....	9
3	VALAISTUSSUUNNITTELU .....	10
3.1	Standardi sisätilojen valaistuksesta .....	10
3.2	Työalueen valaistus.....	10
3.3	Häikäisy .....	12
3.4	Luminanssijakauma.....	13
3.5	Sylinterivalaistusvoimakkuus.....	14
3.6	Muodonanto .....	14
3.7	Värintoisto.....	14
4	VALAISTUS JA ENERGIATEHOKKUUS .....	15
4.1	Valonlähteet ja niiden energiatehokkuus.....	17
4.1.1	Loistelamput.....	17
4.1.2	Led .....	18
4.2	Valaistuksen huolto .....	19
4.3	Valaistuksen ohjaus .....	21
4.3.1	DALI .....	21
4.3.2	KNX-väylä.....	21
4.4	Anturit.....	23
4.4.1	Vakiovalo-ohjaus.....	23
4.4.2	Läsnäolo-ohjaus .....	23
4.5	LENI .....	23
5	KAJAANIN OIKEUS- JA POLIISITALO .....	25
6	OHJELMISTOJEN ESITTELY .....	26
6.1	DIALux 4.12:n ja DIALux evon vertailu .....	26
6.2	Laskentatuloksien vertailu .....	29

6.3	Elinkaarikustannuksien laskeminen Fagerhult LCC -ohjelmalla.....	30
7	VALAISIMIEN VALINTA .....	33
8	LASKELMAT .....	35
8.1	Valonlähdevertailu .....	37
8.2	Elinkaarikustannukset toimistohuoneiden valaistuksesta .....	38
8.3	Elinkaarikustannukset käytävien valaistuksesta .....	40
8.4	Elinkaarikustannukset huomioiden koko rakennuksen valaistus .....	42
9	YHTEENVETO.....	44
	LÄHTEET .....	45
	LIITTEET .....	47
	LIITE 1: DIALux 4.12 yhteenveto toimistohuoneesta 1.....	47
	LIITE 2: DIALux 4.12 yhteenveto toimistohuoneesta 2.....	48
	LIITE 3: DIALux 4.12 yhteenveto toimistohuoneesta 3.....	49
	LIITE 4: DIALux evon laskentatulosten yhteenveto toimistohuoneesta 2 .....	50
	LIITE 5: Laskentatulokset toimistohuoneista 1 ja 3 .....	51
	LIITE 6: DIALux 4.12 yhteenveto tyypillisestä käytävästä rakennuksessa .....	52
	LIITE 7: Hiilidioksidin muodostuminen toimistohuoneiden valaistuksesta.....	53
	LIITE 8: Hiilidioksidin muodostuminen käytävien valaistuksesta.....	54
	LIITE 9: Hiilidioksidin muodostuminen koko rakennuksen valaistuksesta .....	55
	LIITE 10: Kustannuskehitysvertailu nykyarvomenetelmällä huomioiden koko rakennuksen valaistus .....	56

## 1 JOHDANTO

Valaistusasennuksien on täytettävä niille asetetut tekniset, arkkitehtoniset, esteettiset ja toiminnalliset vaatimukset. Nykyään sähköenergian kallistumisen vuoksi ja EU:n asettamien energiansäästötavoitteiden saavuttamiseksi panostetaan paljon valaistuksen energiatehokkuuteen. Energiatehokkaaseen valaistukseen liittyy monia seikkoja, joilla pyritään vähentämään muun muassa energiankäytöstä aiheutuvia kuluja ja ympäristölle aiheutuvaa räsitusta.

Toimistorakennuksissa valaistuksen osuus energiankulutuksesta vaihtelee tyypillisesti 20 - 30 %, joten sen osuus energiankulutuksesta on merkittävä. Tämän vuoksi energiatehokkuudella voidaan vähentää huomattava määrä valaistuksen osuudesta energiankulutuksessa.

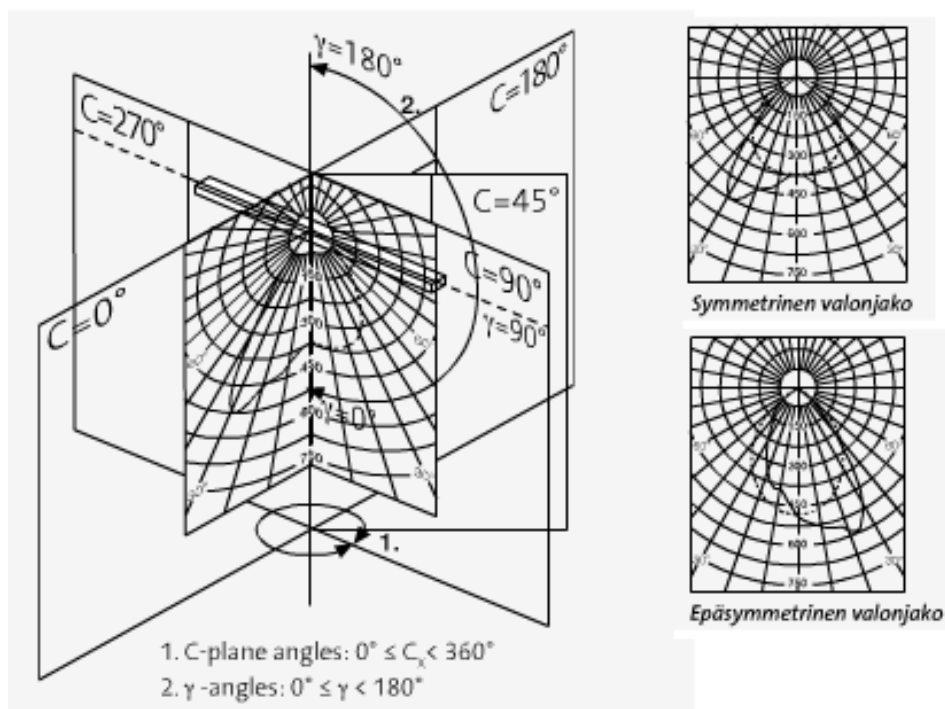
Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella Kajaanin Oikeus- ja poliisitaloon uusi valaistus ja ohjausjärjestelmä sekä tutkia elinkaarimallilla taloudellisinta vaihtoehtoa. Laskennoissa valaistuksen elinkaari on 25 vuoden pituinen. Kohde on valmistunut vuonna 1985, ja suurin osa sen valaistuksesta on alkuperäistä.

Työn käytännön osuudessa kartoitetaan kohteen nykyinen valaistus, sen kunto ja valaistuksen käyttöajat osastottain. Työn teoriaosuudessa käytetään apuna suunnittelu- ja laskentaohjelmia. Valaistussuunnitteluun käytetään DiaLux 4.12 -ohjelmaa ja sen toimintaa verrataan DIALux evo -ohjelmaan. Elinkaarikustannukset lasketaan Fagerhultin LCC -ohjelmalla (Life Cycle Cost).

## 2 VALAISTUSTEKNIIKAN PERUSSUUREET JA KÄSITTEET

### 2.1 Valovoima I

Valovoima kuvaa, kuinka paljon valoa lähtee valonlähteestä tiettyyn suuntaan, eli käytännössä sen avulla ilmaistaan valaisimien ja valonlähteiden valonjako-ominaisuudet. Valovoiman yksikkö on kandela (cd) ja yksikön tunnus I. Valovoima ilmoitetaan tavallisesti niin sanotun valonjakokäyrän avulla. Siinä valaisimen tai valonlähteen valovoima on ilmoitettu yleensä polaari- eli napakoordinaatistossa yhdessä tai useammassa pysty akselin suuntaisessa tasossa. Valaisimien valonjako ilmoitetaan yleensä muodossa cd/klm (kandeloita tuhatta luumenta kohti). Näin voidaan käyttää samaa valonjakokäyrää valovirroiltaan eritehoisille valaisimille, mutta tällöinkin vertailtavien valonlähteiden tulee olla valokappaleeltaan yhdenmuotoisia. (Fagerhult Oy 2012, 429.) Kuviossa 1 on esimerkki erilaisista valonjakokäyristä.



KUVIO 1. Erilaisia valonjakokäyriä (Fagerhult Oy 2012, 431.)

### 2.2 Valovirta $\phi$

Valovirta kuvaa, kuinka paljon valonlähde tuottaa valoa. Valovirran yksikkö on luumen (lm) ja yksikön tunnus  $\phi$ . Valmistajat ilmoittavat valonlähteille niiden antaman valovirran voimakkuuden, jota sitten käytetään lähtötietona valaistuslaskennoissa. Monien valonlähteiden valovirta-arvo riippuu ympäristön lämpötilasta ja polttoasennosta. Valonlähteiden nimellisvalovirta ilmoitetaan standardin mukaisessa 25 °C:n lämpötilassa. (Fagerhult Oy 2012, 429.)



### 2.3 Valaistusvoimakkuus E

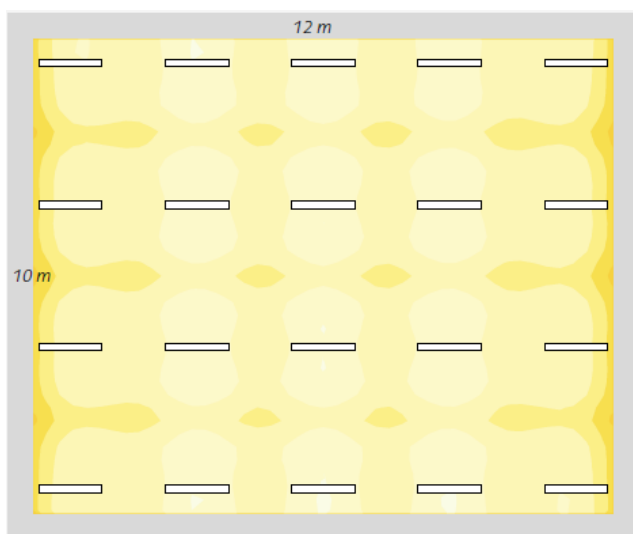
Valaistusvoimakkuus kuvaa, kuinka paljon valoa saadaan tietylle pinta-alalle. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on lux (lx) ja yksikön tunnus E. Sisävalaistuksessa valaistusvoimakkuuksien yleisin vaihteluväli on 100 - 1 000 lx. Valaistusvoimakkuus riippuu suoraan pinnalle tulevasta valovirrasta ja kääntäen valaistavasta pinta-alasta. Tästä riippuvuudesta seurauksena on käänteinen neliölaki, eli etäisyyden kaksinkertaistaminen pudottaa valaistusvoimakkuuden neljäsosaan. Valon tulokulman kosini vaikuttaa valaistusvoimakkuuteen puolestaan suoraan verrannollisesti. (Fagerhult Oy 2012, 429.)

### 2.4 Luminanssi L

Luminanssi kuvaa, kuinka kirkas jonkin kappaleen pinta on. Luminanssi on ainut valaistustekniikan suoranaisesti nähtävissä oleva suure. Mitä kirkkaampana kappaleen pinta on, sitä suurempi on sen luminanssi. Luminanssin yksikkö on kandela neliömetrille ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) ja yksikön tunnus L. Esimerkiksi taivaankannen luminanssi on 8 000  $\text{cd}/\text{m}^2$  ja 36 W loistelampun pinnan luminanssi noin 10 000  $\text{cd}/\text{m}^2$ . Pinnan luminanssiin vaikuttaa pinnan valovoima ja sen projektiopinta-ala tarkastelusuuntaan. (Fagerhult Oy 2012, 429.)

### 2.5 Isoluksikuvaaja

Isoluksikuvaaja ilmoittaa tietyn alueen sisällä olevan valaistusvoimakkuuden käyrillä tai harmaasävyillä. Kuvaajassa näkyy normaalisti tilassa sijaitsevat valaisimet ja kalusteet. Kuviossa 2 on esimerkki isoluksikuvaajasta. Mitä vaaleampana kuvaaja on, sitä suurempi siinä kohdalla on valaistusvoimakkuuden arvo. Isoluksikuvaajaa voidaan esittää myös 3D-muotoisena pintakuvaajana, jolloin tilan valaistuksen tasaisuus on paremmin havainnoitavissa. (Fagerhult Oy 2012, 431.)



KUVIO 2. Isoluksikuvaaja (Fagerhult Oy 2012, 431.)

### 3 VALAISTUSSUUNNITTELU

Valaistussuunnittelu on kokonaisuus, joka muodostuu monista osatekijöistä. Oikein suunnitellulla valaistuksella täytetään sille standardissa asetetut vaatimukset, mutta otetaan huomioon myös valaistuksen positiivinen vaikutus työympäristöön, mikä varmistaa, että työntekijöiden vireystila pysyy korkeampana. Lisäksi on otettava huomioon valaistuksen kuluttama energia.

#### 3.1 Standardi sisätilojen valaistuksesta

Ennen standardin SFS-EN 12464-1 voimaantuloa Suomessa käytettiin valaistuksen suunnittelussa Suomen Valoteknillisen Seuran laatimia suosituksia sisä- ja ulkotyöpaikoille. (Suomen Valoteknillinen seura ry 2008, 4). Standardi tuli voimaan vuonna 2003, ja se uudistui vuonna 2011. Standardin SFS-EN 12464-1 uusitussa versiossa on merkittävimpinä uudistuksina mm. päivänvalon merkityksen huomioiminen, seinien ja kattojen minimivalaistusvoimakkuuden vaatimukset, sylinterivalaistusvoimakkuudelle asetetut vaatimukset ja mallinnustiedot, valaistusvoimakkuuden tasaisuuden vaatimus vaihtelee työtehtävien ja toimintojen mukaisesti, tausta-alueen määritelmä ja sen alueen valaistusvaatimukset. (SFS-EN 12464-1 2011.)

#### 3.2 Työalueen valaistus

Standardi SFS-EN 12464-1 koskee sisätilojen työkohteiden valaistusta. Työturvallisuuslain (738/2002) mukaisesti työpaikoilla tulee olla työn edellyttämä ja työntekijöiden edellytysten mukainen sopiva ja riittävän tehokas valaistus. Yhteiseurooppalaisessa EN-12464-1 standardissa on kootusti erityyppisten työtehtävien edellyttämät valaistusvaatimukset. Standardi on käytännössä velvoittava, koska valaistuksen riittävyteen liittyvät vaatimukset on kirjattu lakiin. (Fagerhult Oy 2012, 434.)

Standardissa on esitetty taulukoituna valaistusvoimakkuuksien vähimmäisvaatimukset, jotka koskevat eri työskentelyalueita, niiden välitöntä lähiympäristöä ja tausta-alueita. Vaikka pääosa standardista käsittelee työalueiden valaistusvoimakkuuksia, tulisi valaistustyöympäristön suunnittelussa hallita myös tilan luminanssijakauma, häikäisyn estäminen, varjonmuodostus, valon värinointi-ominaisuudet, välkyntä ja päivänvalon käyttö. (Fagerhult Oy 2012, 434.) Taulukossa 1 on standardin vaatimukset valaistusvoimakkuuksille toimistorakennuksissa eri työtehtävien mukaan. Valaistusvoimakkuuden keskimääräisen ylläpitoarvon tunnus on  $E_m$ , ja sen tasaisuutta kuvataan yksiköllä  $U_0$ , joka vaihtelee työtehtävän mukaan. Tilan tai alueen tasaisuuden arvo  $U_0$  saadaan, kun lasketaan arvon  $E_{min}$  suhde arvoon  $E_m$ . Taulukon 1  $E_m$ -arvot eivät saa alittua riippumatta valaistusjärjestelmän iästä tai kunnosta (SFS-EN 12464-1 2011).

Taulukossa 1 esitetyt valaistusvoimakkuuksien arvoja voidaan muuttaa vähintään yhden portaan verran valaistusvoimakkuusasteikolla, jos näköolosuhteet poikkeavat tavanomaisista. Asteikon kertoimena käytetään 1,5:ta, joka on pienin subjektiivisesti havaittava valaistusvoimakkuuden ero. Asteikon pienin arvo on 20 lx. Tällä arvolla kasvopiiirteet voidaan juuri ja juuri tunnistaa. Suositeltu

valaistusvoimakkuuden asteikko on (yksikkönä luxi): 20 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1 000 - 1 500 - 2 000 - 3 000 - 5 000. (SFS-EN 12464-1 2011.)

TAULUKKO 1. Valaistusvoimakkuuksien arvot toimistorakennuksessa työtehtävien mukaan (SFS-EN 12464-1 2011.)

Tila, tehtävä tai toiminta	$E_m$ lx	UGR -	$U_0$ -	Ra -	Erityisvaatimukset
Arkistointi, kopiointi jne.	300	19	0,4	80	
Kirjoittaminen, kone-kirjoitus, lukeminen, tietojenkäsittely	500	19	0,6	80	Tietokonenäytöt
Tekninen piirtäminen	750	16	0,7	80	
CAD-työasemat	500	19	0,6	80	Tietokonenäytöt
Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	0,6	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
Vastaanottotiski	300	22	0,6	80	
Arkistot	200	25	0,4	80	

Tilaan vaadittua valaistusvoimakkuuden arvoa voidaan suurentaa, jos

- näkötehtävä on kriittinen
- virheet aiheuttavat suuria kustannuksia
- tarkkuus tai korkea tuottavuus on tärkeää
- näkökohteen yksityiskohdat ovat poikkeuksellisen pieniä ja kontrastit alhaisia
- työtehtävää suoritetaan poikkeuksellisen pitkäkestoisesti
- työntekijän näkökyky on keskimääräistä alhaisempi. (SFS-EN 12464-1 2011.)

Valaistusvoimakkuuden arvoa voidaan pienentää jos

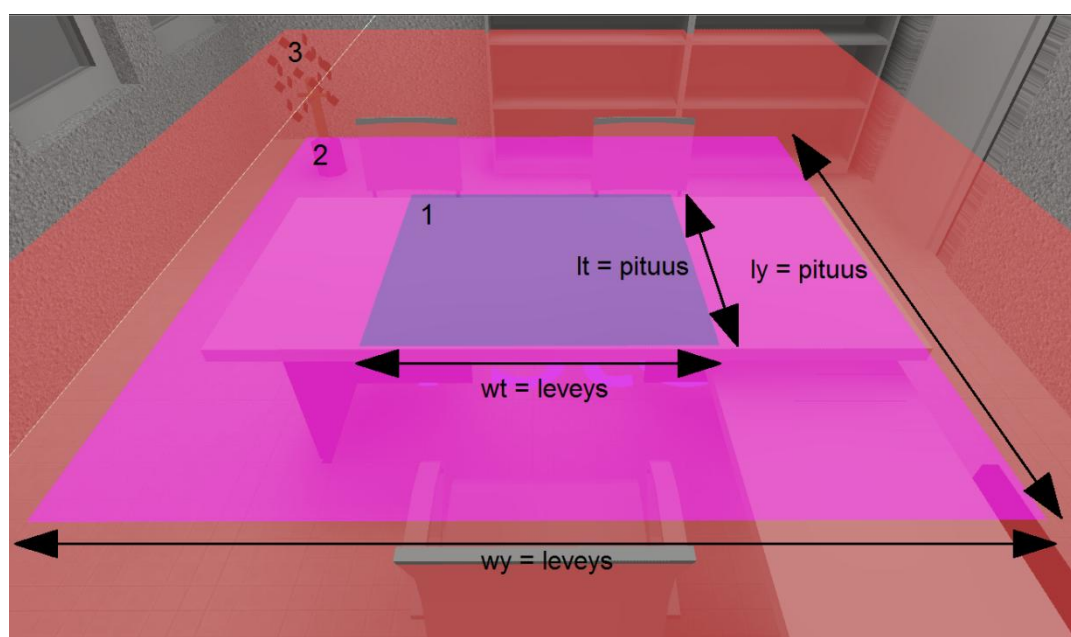
- näkökohde on poikkeuksellisen suuri tai sen kontrastit ovat suuret
- työtehtävää suoritetaan poikkeuksellisen lyhytkestoisesti. (SFS-EN 12464-1 2011.)

Standardissa määritetään myös välittömän lähiympäristön ja lähialueiden ylläpidettävät valaistusvoimakkuuksien arvot. Niiden tulee olla suhteessa työalueiden valaistusvoimakkuuksiin, mikä varmistaa, että tiloihin saadaan tasapainoinen luminanssijakauma. Valaistussuunnitelmaa tehtäessä tulisi suunnittelijalla olla kohteesta myös kalustussuunnitelma oikeanlaisen valaistuksen suunnittelemiseksi. Jos työalueen paikkaa ei voida määrittää tarkasti, tulee tilaan suunnitella taulukon 1 mukainen valaistusvoimakkuus kohtiin, jonne työalue voidaan ajatella sijoitettavaksi. Tämä voi johtaa tilanteeseen, että koko tilaan pitää suunnitella työalueen vaatima valaistusvoimakkuus. Toinen vaihtoehto on, että suunnittelija määrittää tilaan tarvittavan valaistusvoimakkuuden ja sen tasaisuuden arvon pitää olla vähintään 0,4 koko alueella. (SFS-EN 12464-1 2011.)

Taulukossa 2 on esitetty standardin vaatimukset työalueen, lähiympäristön ja lähialueen valaistusvoimakkuuksien suhteille ja tasaisuudelle. Kuvassa 1 on esimerkki työpisteestä ja siihen liittyvistä alueista. Kuvan alla on selvitetty standardissa määritettyjen eri alueiden kokoa koskevia vaatimuksia.

TAULUKKO 2. Työalueen, lähiympäristön ja lähialueen valaistusvoimakkuudet sekä niiden tasaisuus (SFS-EN 12464-1 2011.)

Työalueen valaistusvoimakkuus $lx$	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus $lx$	Tausta-alueen valaistus- voimakkuuden suhde välittömään lähiympäristöön
$\geq 750$	500	1/3
500	300	1/3
300	200	1/3
200	150	1/3
$\leq 150$	E työalue	1/3
	Tasaisuus: $\geq 0,4$	Tasaisuus: $\geq 0,1$



KUVA 1. Esimerkki työtilan työaluejaosta.

1. Työalue ( $l_t \times w_t$ ), mitat tulevat työtehtävän asettamista vaatimuksista.
2. Lähiympäristö ( $l_y \times w_y$ ), suunnittelija määrittelee välittömän lähiympäristön. Lähiympäristö on kuitenkin vähintään 0,5 m:n levyinen työaluetta ympäröivä alue.
3. Tausta-alue, välitöntä lähiympäristöä ympäröivä vähintään 3 m levyinen alue. Tilan asettamissa rajoissa. (SFS-EN 12464-1 2011.)

### 3.3 Häikäisy

Häikäisyä syntyy, kun näkökentässä luminanssitaso tai luminanssijakauma on sopimaton tai siinä on suuria eroja. Häikäisy voi olla suoraa häikäisyä tai epäsuoraa heijastushäikäisyä. Häikäisy jaetaan tavallisesti kiusahäikäisyyn (UGR-menetelmä) ja estohäikäisyyn (TI/GR-menetelmä). Häikäisyä aiheuttaa sekä keinovalaistus että päivänvalo joko heijastumalla suoraan tai epäsuoraan näkökohteen tai sen lähiympäristön kautta. (Fagerhult Oy 2012, 436.)

Keinovalaistuksesta johtuvaa estohäikäisyä voidaan estää valitsemalla valaisimet, joissa on hyvä häikäisysojaus. Standardissa on myös annettu raja-arvot valaisimen rakenteelliselle häikäisysojajakelmalle. Kiusahäikäisyä syntyy, kun valaisimen tai valonlähteen luminanssi on tilaan sopimaton eli käytännössä suurempi, kuin mihin silmät ovat tottuneet. Kiusahäikäisy riippuu

häikäisevän kohteen luminanssista, sen koosta, häikäisyä aiheuttavan kohteen taustan luminanssista sekä sen sijainnista näkökentässä. Kiusahäikäisyä voidaan pienentää käyttämällä enemmän epäsuoraa valaistusta, valaisemalla tilan seinät paremmin joko sijoittamalla valaisimet lähemmäksi seinä tai valaisemalla ne erillisillä valaisimilla tai maalaamalla seinäpinnat vaaleammaksi. Kiusahäikäisy eli UGR-luku voi vaihdella 10 - 28. Mitä pienempi UGR-luku sitä pienempi häikäisy. (Fagerhult Oy 2012, 436.)

Nykyisissä toimistorakennuksissa työpisteellä on lähes aina näyttöpäätte. Standardi ottaa kantaa myös näyttöpäätetyöpaikkojen keinovalaistukseen ja antaa siihen omat vaatimuksensa. Näyttöpäätetyötilojen valaistus tulee suunnitella niillä paikoilla tehtävien työtehtävien mukaisesti, joita ovat esim. näytön ja painetun tekstin lukeminen, käsin kirjoittaminen sekä näppäimistön käyttö. Näytöllä ja myös näppäimistöllä saattaa esiintyä heijastumia, jotka aiheuttavat esto- ja kiusahäikäisyä. (SFS-EN 12464-1 2011.) Häikäisyn välttämiseksi ihminen muuttaa tiedostamattaan asentoaan ja voi näin työskennellä epäergonomisessa asennossa, joka puolestaan johtaa fyysiseen kuormittumiseen (Fagerhult Oy 2012, 437).

### 3.4 Luminanssijakauma

Näkökentän luminanssijakauma määrittää kokonaan silmien sopeutumistason, eli silmien kyvyn sopeutua erilaisiin valaistustilanteisiin. Katse ei kiinnity koko ajan samaan pisteeseen vaan se vaeltaa tilassa, jolloin katse-etäisyys ja katsottavien kohteiden valoisuus muuttuu. Liian suuret luminanssit saattavat aiheuttaa häikäisyä. Sopivalla luminanssilla edesautetaan myös kontrastiherkkyttä, jolloin kohteiden pienetkin luminanssierot ovat havaittavissa. Luminanssin ja kontrastien vaihdellessa suuresti myös silmät rasittuvat enemmän koettaessaan sopeutua eri tilanteisiin. Tasapainoinen sopeutumisluminanssi parantaa näöntarkkuutta, kontrastiherkkyttä ja silmien motoristisia toimintoja. (Fagerhult Oy 2012, 437.)

Kaikkien pintojen luminanssit ovat tärkeitä. Standardissa on määrätty myös seinä- ja kattopintojen keskimääräiset valaistusvoimakkuuksien ylläpitoarvot ( $E_m$ ), mikä varmistaa tasaisen luminanssijakauman tiloihin. Luminanssi määräytyy pintojen heijastussuhteista ja valaistuksesta. Suositeltavat heijastuskertoimet ovat katolle 0,7 - 0,9 ja seinille 0,5 - 0,8 sekä lattialle 0,2 - 0,4. Toimistoille on annettu omat vaatimuksensa seinien ja kattojen keskimääräisistä valaistusvoimakkuuksista. Toimistojen seinien keskimääräisen ylläpidettävän valaistusvoimakkuuden tulee olla vähintään 75 luksia ja tasaisuuden vähintään 0,1. Kattojen keskimääräinen ylläpidettävä valaistusvoimakkuus tulee olla vähintään 50 luksia ja tasaisuuden vähintään 0,1. Samanlaiset vaatimukset on esitetty myös muille tiloille kuten koulutustiloille, hoituhuoneiden kaltaisille tiloille sekä kohtaamistiloille kuten sisääntuloaulat. Muiden tilojen seinien ylläpidettävän valaistusvoimakkuuden arvo on  $>50$  lx ja tasaisuus  $\geq 0,1$  sekä kattojen  $>30$  lx ja tasaisuus  $\geq 0,1$ . (SFS-EN 12464-1 2011.)

### 3.5 Sylinterivalaistusvoimakkuus

Hyvän visuaalisen kommunikoinnin ja tunnistamisen varmistamiseksi on tilat, jossa ihmiset liikkuvat ja työskentelevät valaistava. Tämä vaatimus täytetään nostamalla tiloihin keskimääräisen sylinterivalaistusvoimakkuuden ( $\bar{E}_z$ ) arvot riittävän korkeiksi. Sylinterivalaistusvoimakkuutta on hyvä tarkastella 1,2 ja 1,6 m korkeuksilla. Arvot tulevat normaalipituisten ihmisen työskentelykorkeuksista istuessa tai seisoessa. (SFS-EN 12464-1 2011.)

Aktiivisissa sisätiloissa ylläpidettävän keskimääräisen sylinterivalaistusvoimakkuuden tulee olla määrättyllä korkeudella vähintään 50 luksia tasaisuuden ollessa  $\geq 0,1$ . Tässäkin kohdassa standardi vaatii toimisto- ja koulutustilojen valaistukselta enemmän. Myös muissa tiloissa, joissa visuaalinen kommunikointi on tärkeää tulee keskimääräisen sylinterivalaistusvoimakkuuden olla vähintään 150 luksia ja tasaisuuden tulee ylittää arvo 0,1. (SFS-EN 12464-1 2011.)

### 3.6 Muodonanto

Muodonanto kuvaa hajautetun ja suoran valaistuksen tasapainoa. Tilan yleisvaikutelma selkenee, kun sen rakenne, siellä olevat kohteet ja ihmiset valaistaan niin, että muodot ja tekstuurit tulevat selkeästi ja miellyttävästi esille. Tällä saavutetaan luonnollinen ilme, jolloin mikään kohde ei ole liian pehmeästi tai terävästi valaistu. Liian hajautetulla valaistuksella voidaan muodonanto kadottaa, jolloin kohteiden hahmottamisesta tulee vaikeaa. Toisaalta voimakkaalla valaistuksen suuntauksella muodostetaan teräviä varjoja. Hyvä muodonanto syntyy tilaan, jos siinä sylinteri- ja vaakataso valaistusvoimakkuuden suhde on 0,3 - 0,6. Sylinteri- ja vaakapintojen valaistusvoimakkuuksien arvot on laskettava ja tarkasteltava samoista laskentapisteistä. (SFS-EN 12464-1 2011.)

### 3.7 Värintoisto

Visuaalisen kokemuksen, näkötehokkuuden ja turvallisuuden vuoksi tilan, siellä olevien kohteiden ja ihmisten ihon värin tulee toistua luonnollisesti ja oikein, jolloin ihmiset näyttävät miellyttäviltä ja terveiltä. Värintoistoa kuvataan indeksillä Ra. Ra-indeksi on suure, jolla mitataan valonlähteen kykyä toistaa värejä suhteessa tiettyyn vertailuvalonlähteeseen määrättyssä värilämpötilassa. Asteikon suurin arvo on 100. Toimistorakennuksissa on oltava hyvä värintoisto ja standardissa sen vaadittu arvo on 80. Vaatimukset tilojen värintoistoindeksille riippuvat tilassa suoritettavasta tehtävästä. Erittäin hyvä värintoisto vaaditaan esimerkiksi leikkaussaleihin, joissa värintoiston pitää olla 90. Puolestaan se voi olla alhainen tiloissa, joissa kulkeminen on väliaikaista kuten liikennealueilla. (Fagerhult Oy 2012; SFS-EN 12464-1 2011.)

#### 4 VALAISTUS JA ENERGIATEHOKKUUS

Energiatehokkuudella ja säästeliäällä energian käytöllä saadaan vähennettyä energiankulutusta, joten suurempi osuus energiantarpeesta pystytään kattamaan uusiutuvien energialähteiden avulla. Projektit joissa säästetään energiaa ovat jopa kymmmenen kertaa kannattavampia mitä energiantuotannon lisärakentaminen. Energiatehokkuustoimenpiteillä edistetään työllisyyttä, parannetaan energiaturvallisuutta ja vähennetään energiakuluja. Energiatehokkuuteen investoiminen myös edesauttaa teknologian kehittymistä. Energiatehokkuustoimet myös maksavat itsensä takaisin. Näin saadaan kustannustehokkaasti vähennettyä kasvihuonekaasupäästöjä. EU:n ilmasto ja energiapaketin yhtenä tavoitteena on 20 % energiatehokkuuden parantaminen vuoteen 2020 mennessä verraten tilanteeseen, mikä olisi ilman uusia toimenpiteitä. (Ilmatieteen laitos, Suomen ympäristökeskus, Aalto-yliopisto 2010.)

Valaistuksen osuus toimistorakennuksen sähkökäytöstä on tyypillisesti noin 20 - 30 %. Merkittävänsä vuoksi valaistuksen energiatehokkuuteen on hyvä panostaa suosimalla energiatehokkaiden valonlähteiden käyttöä ja hyödyntämällä valaistuksen säätö- ja ohjauslaitteita. Valaistuksessa tulisi hyödyntää varsinkin luonnonvalon merkitys ja valaistus tulisi toteuttaa siten, että se huomioitaisiin valaistuksen säädettävyydellä. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2011, 11.)

Vanhentuneen tekniikan uusimisella voidaan nykyaikaisten ohjausjärjestelmien ja valaistustavoitteiden tarkentamisella saavuttaa 30 - 70 % säästöt energiankulutuksessa (Motiva Oy JA STEK ry 2009, 4). Energiatehokasvalaistus koostuu siis useista eri tekijöistä, joista muodostuu kokonaisuus. Siihen vaikuttavat ainakin valaistusratkaisu, valonlähteet, valaisimet ja ohjausratkaisut (kuva 2.) (Suomen Valoteknillinen Seura ry 2008, 24).



KUVA 2. Energiatehokkaaseen valaistukseen vaikuttavat tekijät (Suomen Valoteknillinen Seura ry 2008, 24).

Koska valaistuksen osuus energiankulutuksesta on merkittävä, on sille myös asetettu erilaisia vaatimuksia. Valaistukselle vaatimukset asettaa EuP-direktiivi (2005/32/EY), joka korvattiin laajemmalla EcoDesign-direktiivillä. EuP-direktiivi sisälsi jo palvelusektoreiden toimistovalaistusta koskevat määräykset, ne on sisällytetty asetukseen N:o 245/2009. (Motiva Oy 2013)

Yleisvalaistuksen osalta merkittävimmät muutokset asetuksessa N:o 245/2009 koskevat valonlähteiden vähimmäistehokkuutta, valaisimista ja valonlähteistä ilmoitettavia tietoja ja niiden saatavuutta sekä virranrajoittimien energiatehokkuutta. Myös valonlähteiden elohopeapitoisuuksia määrätään sekä värintoisto-ominaisuuksia. Loistelamppujen osalta ei asetuksen myötä poistu yksittäistä loistelampputyyppejä, mutta muutamia lamppumalleja poistuu, koska niiden värintoisto-ominaisuudet eivät täytä vaatimuksia. Käytännön muutos tapahtuu liitantalaitteissa eli virranrajoittimissa. Magneettinen virranrajoitin ei täytä asetuksen vaatimuksia energia-tehokkuudessa. Elektroninen liitänälaitte onkin jo korvannut vanhemmat magneettiset virranrajoittimet. (Siirtoinen [s.a]) Uusissa valaisimissa on oltava elektroninen liitänälaitte vuodesta 2017 alkaen (Motiva Oy ja STEK ry 2009, 4).

Suomen rakentamismääräyskokoelman julkaisu D2 - Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, ottaa kantaa uudisrakennusten valaistusolosuhteisiin: *Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeellä voidaan ylläpitää näkötehtävän edellyttämä valaistus käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti.* Samassa yhteydessä annetaan suositus valaistuksen ryhmittelystä, energiansyötöstä ja ohjauksesta. Nämä seikat pitäisi toteuttaa niin, että valaistustilanteita voidaan vaihdella tehtävien toimintojen ja luonnonvalon määrän mukaisesti. (Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. 2012.)

Suomen rakentamismääräyskokoelman julkaisu D3 - Rakennusten energiatehokkuus, antaa määräykset rakennusten ostoenergiankulutuksen laskentaan. Uusien rakennusten kokonaisenergiankulutus on laskettava. Uusille rakennuksille on laskettava kokonaisenergiankulutusta kuvaava E-luku. E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. Julkaisussa määrätään, että rakennukset varustetaan energiakäytön mittauksella tai mittausvalmiudella. Näin saadaan helpommin selvitettyä energiamuotojen käyttöä rakennuksissa. Valaistusjärjestelmän osalta mittaus vaaditaan toimisto-, liike-, majoitusliike-, opetusrakennuksissa ja päiväkodeissa sekä liikuntahalleissa poislukien uima- ja jäähallit sekä sairaalat. (Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. 2012.)

Standardi SFS-EN 15193 Rakennusten energiatehokkuus - Valaistuksen energiatehokkuus määrittelee laskentamenetelmät rakennuksien sisävalaistuksen energiankulutukselle. Standardissa määritetään, että valaistuksen energiankulutusta tulisi mitata jollain seuraavista menetelmistä:

- a) *mittaamalla kWh-mittarilla valaistukseen käytettävien piirien energian kulutus asennuksen syöttöpisteestä*
- b) *valaistuksen ohjausjärjestelmän säätimiin integroiduilla tai niihin kytketyillä paikallisilla tehomittareilla*
- c) *valaistuksen ohjausjärjestelmällä, joka kykenee laskemaan paikallisesti kulutetun energian ja kykenee toimittamaan tämän informaation koko rakennusautomaatiojärjestelmälle*



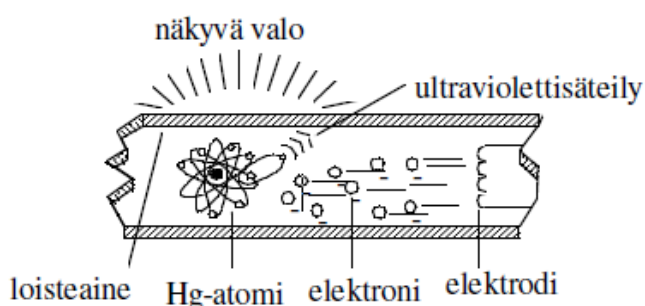
- d) *valaistuksen ohjausjärjestelmällä, joka kykenee laskemaan kulutetun energian rakennuksen tiettyä osa-aluetta kohti ja kykenee muokkaamaan tämän informaation siirtokelpoiseen muotoon kuten taulukkolaskentamuotoon*
- e) *valaistuksen ohjausjärjestelmällä, joka rekisteröi käyttöajan, valaistuksen himmennystason ja vertaa tätä järjestelmän sisäiseen tietokantaan tallennettuun tietoon asennuksen kokonaistehosta. (SFS-EN 15193 2008.)*

Valaistusjärjestelmän erillismittauksella saataisiin hyödyllistä tietoa ohjausjärjestelmien tehokkuudesta (SFS-EN 15193 2008).

## 4.1 Valonlähteet ja niiden energiatehokkuus

### 4.1.1 Loistelamput

Loistelampun toiminta perustuu sähköpurkaukseen. Lampun päissä olevien katodien välille aikaansaatu sähköpurkaus virittää pienipaineisen täytöskaasuna olevan elohopeahöyryn atomeja. Viritystilan lauetessa syntyy näkymätöntä ultraviolettisäteilyä. Lampun sisäseinän sisällä oleva loisteainekerros muuttaa sen pitempiaaltoiseksi näkyväksi valoksi. Loistelampun valon aallonpituus ja värilaji riippuvat käytetyistä loisteaineista. Loistelampun sisällä on elohopeahöyryn lisäksi myös jalokaasuja, joiden avulla helpotetaan lampun syttymistä. (Halonen ja Lehtovaara 1992 204 - 217.) Kuviossa 3 kuvataan loistelampun valontuottoa.



KUVIO 3. Loistelampun valontuotto (Halonen ja Lehtovaara 1992, 206.)

Loistelampun tuottamaa valoa ohjataan loistevalaisimissa erilaisilla peili- ja heijastinratkaisuilla joiden ominaisuuksilla on paljon merkitystä valonlähteestä saatavaan hyötyyn. Nykyään käytetään paljon sisävalaisimissa valonlähteinä T5-loistelamppuja entisten T8-loistelamppujen sijaan. T5-loistelampun halkaisija on 16 mm ja T8-loistelampun 26 mm. T5-loistelampun etuja ovat sen pienempi halkaisija, parempi valotehokkuus ja pidempi käyttöikä verraten T8-loistelamppuun. T5-loistelampun ominaisuuksien ja huolellisen suunnittelun avulla Fagerhult on saanut parannettua valaisimen valotehokkuutta vähintään 35 % verraten T8-loistelampulla toteutettuun valaisimeen (Fagerhult Oy 2012, 453.).

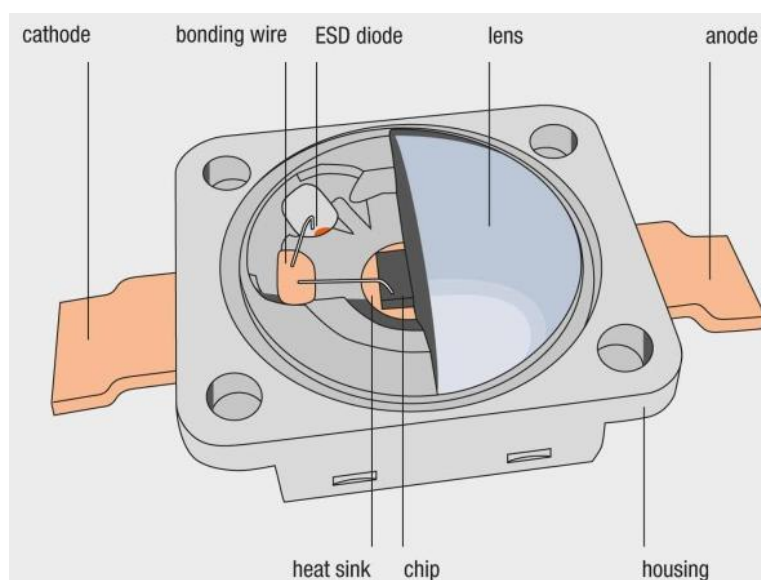
Loisteputkia ei voi kytkeä suoraan käyttöjännitteeseen, vaan ne tarvitsevat liitäntälaitteen rajoittamaan virtaa. Lisäksi loistelamput tarvitsevat syyttimen. Konventionaalisista

liitälaitetyypeistä yleisin on induktiivinen liitälaitte eli kuristin. (Halonen ja Lehtovaara 1992, 289 - 290.)

Elektroninen liitälaitte korvaa perinteiset kuristimet ja sytyttimet sekä kondensaattorit. Liitälaitteen toimintoihin kuuluu sytytys, säätö ja suodatus. Elektronisessa liitälaitteessa voi olla lämminkäynnistys, jolloin liitälaitte esilämmittää loistelampun katodit ennen sytytystä. Tällä pidennetään loistelamppujen polttoikää jopa 50 % kohteissa, joissa valaisimia sytytetään ja sammutetaan normaalisti. Elektroninen liitälaitte nostaa valonlähteiden toimintataajuuden 20 - 50 kHz. Näin varmistetaan, ettei välkyntäilmiötä synny ollenkaan. Välkyntää voi esiintyä vanhemmissa loisteputkivalaisimissa, joissa on perinteiset kuristimet ja sytyttimet. Kuristimia käytettäessä loistelamppujen toimintataajuus on 50 Hz. Elektroninen liitälaitte pidentää valonlähteiden polttoikää keskimääräisesti noin 15 % ja hyötysuhdetta 10 %. Valonlähteiden pitkällä eliniällä on myös ympäristön kannalta hyödyllistä merkistystä pienemmän elohopeakuorman vuoksi. Loistelamppujen säätö on mahdollista vain elektronisella liitälaitteella. (Fagerhult Oy 2012, 456 - 457.)

#### 4.1.2 Led

Led on lyhenne englannin kielen sanoista Light emitting diode. Led on puolijohde, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirtaa. Puolijohdeessa on kaksi aluetta, n- ja p-johdealue. Puolijohdemateriaali alkaa emittoida valoa, kun siihen johdetaan sähkövirtaa. Valon väri riippuu diodin valmistusmateriaalista. Perusvärinä ovat punainen, vihreä ja sininen. Led-valo saadaan tuottamaan valkoista valoa lisäämällä siniseen lediin ylimääräinen kellertävä fosforipinnoite. Tätä menetelmää kutsutaan luminesenssikonversioksi, se muistuttaa loistelampun valon tuottamista. Toinen tapa tuottaa valkoista valoa on perusvärien punaisen, vihreän ja sinisen niin sanottu additiivinen sekoittaminen (RGB). (Osram 2014.) RGB-ledien käyttö onkin yleistynyt tietyntyyppisissä julkisissa rakennuksissa, koska niiden tuottaman värin sävyä voidaan vaihdella ja näin voidaan tehdä erilaisia valaistustilanteita.



KUVA 3. Ledin rakenne. (Osram 2014.)

Ledien valotehokkuus paranee koko ajan; laboratorio-olosuhteissa on saavutettu jo valotehokkuus 200 lm/W. Ledin käyttöikä voi olla erittäin pitkä. Käyttöikään vaikuttavat ledin suunnittelu ja sen rakentamiseen käytettyjen materiaalien laatu. Ledien ongelmana on niiden valovirran heikkeneminen. Eniten valovirtaa heikentää korkea lämpötila, joka voi aiheutua ledin rakenteen huonosta suunnittelusta tai halvoista valmistusmateriaaleista. Valaistussuunnitelmaa tehtäessä on hyvä ottaa huomioon myös led-valaisimen asennusympäristö. (Osram 2014.)

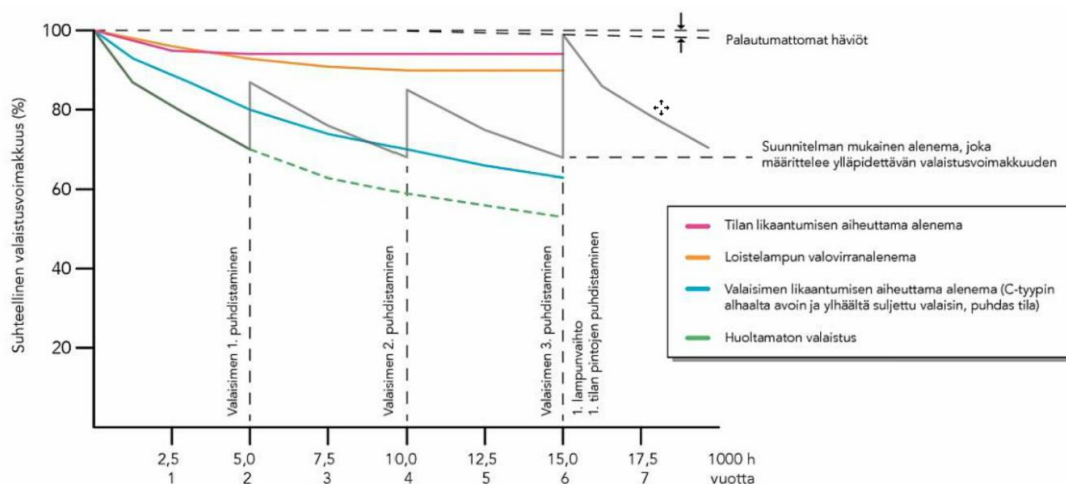
#### 4.2 Valaistuksen huolto

Valaistuksen huollon merkitys tilojen valaistusvoimakkuudessa tulisi huomioida paremmin. Usein valaistuksen huolletaan kuitenkin vain silloin, kun vanhat valonlähteet eivät enää toimi. Lisäksi vasta tässä vaiheessa valaisimet puhdistetaan pölystä tai mahdollisesta muusta liasta.

Valaistusvoimakkuuden arvo heikkenee jatkuvasti johtuen monesta syystä ja syiden yhteisvaikutus voi ajan myötä kasvaa merkittäväksi. Valonlähteiden valovirta pienenee niiden elinkaaren aikana. Pienenemisen suuruuteen ja nopeuteen vaikuttaa valonlähteen ominaisuudet. Valovirran heikkenemisen lisäksi lika alentaa valaistusvoimakkuuden arvoa. Lika kertyy valonlähteeseen, valaisimen heijastimeen, kupuun ja häikäisysojaan, jolloin se absorboi valoa. Likaantuminen on hyvin erilaista riippuen tilan käyttötarkoituksesta. Myös valaisimen rakenne vaikuttaa sen likaantumiseen. Alhaalta avoin ja ylhäältä suljettu valaisin likaantuu herkemmin kuin rakenteeltaan avoin valaisin, joka pääsee tuulettumaan läpi. Valaisimen likaantuminen aiheuttaa myös valonjako-ominaisuuksien muutoksia. Lisäksi huonepinnat likaantuvat ja vähentävät näin heijastusta, mikä puolestaan aiheuttaa häviöitä. (Varsila 2012, 32 - 36.)

Edellä mainittujen tekijöiden summautuminen voi aiheuttaa sen, että tilan valaistus ei täytä standardin sille asettamia vaatimuksia. Jos valaistuksen huoltoa ei suoriteta, tulisi suunniteltavan valaistusvoimakkuuden uusarvon ylittää reilusti standardin vaatimukset, jotta valaistus täyttäisi vaatimukset koko sen elinkaaren aikana. Tällöin ei voida puhua kovin energiatehokkaasta valaistuksesta. (Varsila 2012, 32 - 36.) Kuvio 4 (ks. sivu 20) havainnollistaa valaistusvoimakkuuden muuttumisen ajan myötä ja siihen vaikuttavat tekijät.

Uusissa valaistussuunnitelmissa olisi hyvä määrittää valaistuksen huoltosuunnitelma. Tällöin käyttäjä saisi käytännössä ohjeen, jossa otetaan huomioon suunnittelijan määrittämä huoltoaikataulu, joka puolestaan perustuu valonlähteiden hyötypolttoikään ja suunniteltuun ryhmävaihtoon. Näin saavutettaisiin hyvä valaistusvoimakkuuden pysyvyys ja valaistuksen esteettisyys säilyisi yhdenmukaisena, kun eri-ikäisten ja -tyyppisten valonlähteiden värisävyt eivät sekoitu. Ryhmävaihdon etuna on myös sen edullisuus. Yksittäisen valonlähteen vaihtaminen tulee työkustannuksiltaan 3 - 4 kertaa ryhmävaihtoa kalliimmaksi. T5-loisteputkien vaihtoajankohta on silloin, kun valovirrasta on vielä jäljellä 90 %. (Varsila 2012, 32-36.)



KUVIO 4. Valaistusvoimakkuuden muuttuminen elinkaaren aikana ja eri tekijöiden vaikutus (Varsila 2012, 33.)

Ohjeet keinovalaistuksen alenemakertoimen määrittämiseen löytyvät julkaisusta CIE 97:2005 (Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems). Julkaisussa tilat on jaettu neljään eri likaisuusluokkaan, joille on määritetty valaistuksen kunnontarkastusväli. (Varsila 2012, 33.) Tilat ja niiden likaisuusluokat on esitetty taulukossa 3. Julkaisussa on myös erityyppisten valaisimien suositeltava puhdistusväli, mikä ottaa huomioon valaisimen rakenteen eri likaisuusluokissa. Suositukset ovat taulukossa 4.

TAULUKKO 3. Tilojen luokittelu likaisuusluokkien mukaisesti ja valaisimien luokakohtaiset tarkastusvälit (Varsila 2012, 33.)

Tarkastusväli	Ympäristö	Tilan käyttötarkoitus
3 vuotta	Erittäin puhdas (EP)	Puhdistilat, puolijohdekomponenttien valmistus, sairaaloiden tutkimus- ja hoitotilat, tietokonekeskukset
	Puhdas (P)	Toimistot, koulut, sairaaloiden vuodeosastot
2 vuotta	Normaali (N)	Liiketilat, laboratoriot, ravintolat, varastot, asennustyö, työpajat
1 vuotta	Likainen (L)	Terästehtaat, kemianteollisuus, valimot, hitsaus, kiillotus, puusepänteollisuus

TAULUKKO 4. Erityyppisten valaisimien suositeltavat puhdistusvälit tilojen likaisuusluokka huomioiden (Varsila 2012, 33.)

Puhdistusväli	Ympäristö	3 vuotta			2 vuotta			1 vuosi		
		EP/P	N	L	EP/P	N	L	EP/P	N	L
A. Perusrunko		X				X				X
B. Ylhäältä avoin		X				X				X
C. Ylhäältä suljettu		X			(X)				X	
D. Ylhäältä ja edestä suljettu IP2X		X			(X)				X	
E. Pölytiivis IP5X		X	X				X			
F. Epäsuora valaistus, ylhäältä suljettu					X			(X)	X	
G. Ilmastointivalaisin		X	X				X			

### 4.3 Valaistuksen ohjaus

Vain oikeanlainen valaistuksenohjausjärjestelmä mahdollistaa, että tilassa vallitsee oikea määrä valoa ja samalla säästetään energiaa. Nykyään on tarjolla monenlaisia ohjausperiaatteita ja järjestelmiä joilla ohjaukset voidaan tehdä.

#### 4.3.1 DALI

DALI lyhenne tulee englannin kielen sanoista Digital Addressable Lighting Interface. DALI on standardoitu digitaalinen osoitteellinen ohjausperiaate elektronisille liitäntälaitteille. DALI-väylässä kaksisuuntainen digitaalinen ohjaussignaali välitetään yksinkertaisella johtoparilla järjestelmään kuuluvien laitteiden välillä. Samassa väylässä olevat elektroniset liitäntälaitteet, ohjauspaneelit, anturit ja ohjelmointilaitteet liitetään sarjaan. Vaihe-, nolla- ja suojajohtimen lisäksi valaisimelle tuodaan digitaaliväylän kaksi johdinta, jotka välittävät digitaalisignaalin. (Fagerhult Oy 2012, 474.)

DALI-väylässä valonsäätötiedot välitetään valaisimen liitäntälaitteelle osoitteellista digitaalisignaalia käyttäen. Digitaalisignaalin ansiosta kaikki valaisimet säätyvät ohjaimen ja valaisimen välisestä etäisyydestä riippumatta samalla tavalla. Verkkojännite on kytkettynä koko ajan valaisimelle, koska valot sytytetään ja sammutetaan digitaalisella ohjauskomennolla. (Fagerhult Oy 2012, 474.)

DALI-järjestelmä pitää ohjelmoida ennen käyttöönottoa. Ohjelmoinnissa toimilaitteille määritetään mitä säätötoimenpiteitä ne suorittavat ja mitä valaisimia säädöt koskevat. Ohjelmointi voidaan tehdä ohjauspainikkeilla, kaukosäätimellä tai tietokoneella. Yhdessä DALI-väylässä on 64 eri osoitetta, jotka voidaan vapaasti määrittää valaisimille. Valaisimet voidaan ohjelmoida säätymään ryhmänä, joita voi olla 16 samassa väylässä. DALI-väylän avulla voidaan tehdä myös 16 erilaista tilanneohjausta. (Fagerhult Oy 2012, 474.)

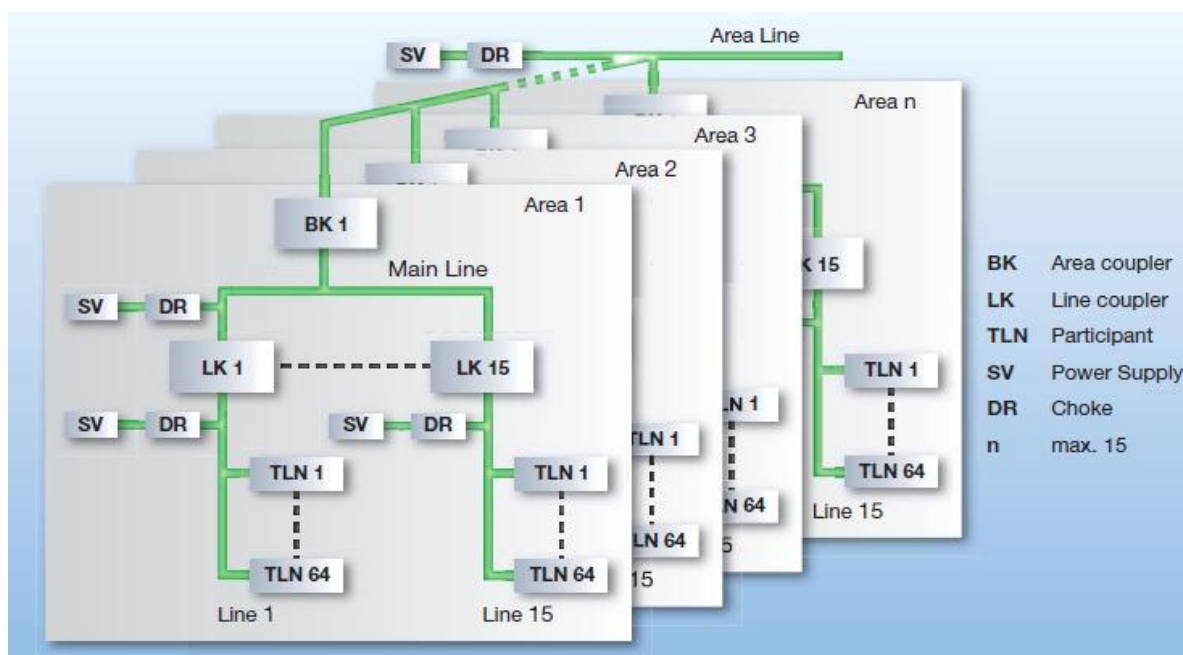
DALI-väylistä voidaan koota suurempi järjestelmä DALI-reitittimellä. Näin samalla järjestelmällä voidaan ohjata koko rakennuksen valaistusta. Järjestelmään voidaan ohjelmoida erilaisia ohjaustoimintoja kuten läsnäolotunnistus ja vakiovalo-ohjaus, näin saadaan säästettyä energiaa. Järjestelmän koko voidaan kasvattaa 16 000 ryhmään. (Fagerhult Oy 2012, 477.)

DALI-väylän ohjaus on myös yhdistettävissä erilaisiin automaatiojärjestelmiin, kuten KNX-järjestelmään. DALI on sen ominaisuuksien vuoksi noussut suosituksi valaistuksen ohjausperiaatteeksi.

#### 4.3.2 KNX-väylä

KNX-järjestelmällä voidaan ohjata valaistuksen lisäksi verhoja ja markiiseja, lämmitystä, jäähdytystä ja ilmanvaihtoa. Lisäksi sillä voidaan ohjata AV-järjestelmiä. Juuri monipuolisuutensa vuoksi se on erinomainen ohjausjärjestelmä. KNX-väylään voi periaatteessa liittää kaikki rakennuksen toiminnot toiminaan yhtenä älykkäänä verkkona. Lisäksi on tehokkaampaa, kun taloautomaatio voidaan toteuttaa yhdellä järjestelmällä, jolloin saadaan paremmin toteutettua energiansäästötoimia.

KNX-väylän pienin asennusyksikkö on linja johon voidaan maksimissaan asentaa 64 eri laitetta. Laitteiden maksimimäärä linjassa määräytyy linjaa syöttävän virtalähteen tehon mukaan. Linjoja voidaan yhdistellä linjayhdistimellä päälinjaan ja näin saadaan muodostettua alue. Yhdessä alueessa voi olla maksimissaan 15 linjaa. Päälinjassakin tulee olla oma virtalähde ja siihen voi myös kytkeä 64 laitetta. Linjayhdistimet lasketaan myös laitteiksi. Alueita yhdessä KNX-järjestelmässä voi olla enintään 15 kappaletta ja ne yhdistetään alueyhdistimellä runkolinjaan. Runkolinjaankin voi kytkeä laitteita ja siinä tulee olla oma virtalähde. (ZVEI 2006.) Kuvassa 4 on esitetty KNX-järjestelmän rakenne.



KUVA 4. KNX-järjestelmän rakenne. (Comfortclick 2012.)

Linjojen asennuksiin liittyy muutamia raja-arvoja. Linjasegmentin pituus voi olla enintään 1 000 m, virtalähteen ja väylälaitteiden välinen etäisyys voi olla enintään 350 m, kahden virtalähteen välinen etäisyys tulee olla vähintään 200 m ja kahden väylälaitteen välinen etäisyys saa olla enintään 700 m. Kaapeloinnin voi tehdä väylä-, tähti- tai puuverkkona. Silmukkaa ei saa muodostua väylälaitteiden välille. (ZVEI 2006.)

Kaikkien laitevalmistajien KNX-laitteet ovat yhteensopivia ja niiden ohjelmointi tehdään windows pohjaisella ETS-ohjelmalla. Ohjelmalla määritetään jokaisen tarvittavan KNX-laitteen yksilöllinen osoite sekä määritetään laitteiden parametrit. Lisäksi tehdään tarvittavat laitteiden linkitykset, jotta halutut ohjaukset saadaan suoritettua.

KNX-väylä liitetään DALI-väylään omalla DALI-gateway -komponentilla. Siihen kytketään molemmat väylät ja se toimii väylien rajapintana. DALI-gatewaysn konfigurointi tehdään, kuten muidenkin KNX-laitteiden konfigurointi ETS -ohjelmalla, mutta DALI-liitäntälaitteiden osoitteet määritetään erillisellä ohjelmalla.

## 4.4 Anturit

### 4.4.1 Vakiovalo-ohjaus

Päivänvalo-ohjauksen tekee vakiovaloanturi. Anturi säätää tilan valaistusta päivänvalon määrän mukaan. Päivänvalon lisääntyessä tilassa anturi säätää keinovaloa pienemmälle siten, että tilaan määritetty valaistusvoimakkuuden arvo ei alitu. Anturi voidaan myös ohjelmoida sammuttamaan valot jos päivänvaloa on tilassa riittävästi. Lisäksi voidaan määrittää, että jos tilassa on valoa riittävästi sinne tultaessa anturi ei sytytä valoja. Vakiovaloantureita on saatavana erikseen tai ne voivat olla myös integroituna valaisimeen. Vakiovalo-ohjauksella saadaan poistettua myös suunnitteluvaiheessa tapahtuva valaistusvoimakkuuden ylimitoitus päivänvalon määrästä huolimatta. Koska valaistusvoimakkuuden arvojen pitää täytyä koko valaistuksen eliniän aikana, tulee tiloihin yleensä hieman standardin vaatimuksia suurempi valaistusvoimakkuuden arvo. (Varsila 2010, 8.)

### 4.4.2 Läsäolo-ohjaus

Läsäoloilmaisin ohjaa tilan valaisimien sytytyksen ja sammumisen automaattisesti. Tilaan tultaessa anturi sytyttää valot päälle ja pitää ne päällä niin kauan, kuin havaitsee tilassa liikettä. Tilasta lähdettäessä tunnistin säätää ohjelmoidun viiveen jälkeen valaistuksen halutulle tasolle tietylle ajalle ja vasta sen jälkeen sammuttaa valaisimet. Läsäoloilmaisin tutkii tilan liikennettä eri tekniikoilla ja niiden herkkyys on erilainen. Sisätiloissa työskennellessä ilmaisimen pitää havaita henkilön pienetkin liikkeet, jolloin tarvitaan suuremmalla herkkyydellä varustettua anturia. (Varsila 2010, 7.)

Näiden antureiden yhdistetyllä käytöllä saadaan suurin energiansäästö. Laitetta, joka sisältää molemmat toiminnot kutsutaan multianturiksi (Varsila 2010, 7). Käyttäjän ei välttämättä tarvitse ohjata valaistusta ollenkaan vaan anturit hoitavat valaistuksen ohjauksen.

## 4.5 LENI

Erilaisia standardeja tehdään, että voidaan arvioida rakennukseen kuuluvien järjestelmien energiankulutusta laskemalla. Erilaisten rakennuksien kiinteän valaistuksen energiankäytön laskenta on standardissa SFS-EN 15193 Rakennusten energiatehokkuus - Valaistuksen energiatehokkuus. Koko valaistuksen energiatehokkuutta arvioidaan LENI-indeksillä (Lighting Energy Number Indicator). LENI-luku pitää laskea koko rakennukselle ja sillä voidaan vertailla energiatehokkuutta erilaisissa samoihin käyttötarkoituksiin ja toimintaan käytettävissä rakennuksissa ja tiloissa. (Fagerhult Oy 2012, 511.)

LENI-luku lasketaan kaavan 1 mukaan:

$$LENI = \frac{W_{kok}}{A} \quad (1)$$

, missä

LENI	rakennuksen sisävalaistuksen kokonaisenergiankulutusta koskeva luku, jota voidaan käyttää myös kuvaamaan rakennuksen tiettyä osaa, (kWh/m <sup>2</sup> /vuosi)
$W_{kok}$	valaistuksen vuotuinen energiankäyttö (kWh/vuosi)
A	rakennuksen sisätilojen kokonaispinta-ala (m <sup>2</sup> ) poislukien asuttamattomat kellaritilat ja valaisemattomat alueet. (Fagerhult 2012, 511.)

LENI-luvun laskentaan on kaksi menetelmää, pikalaskentamenetelmä ja tarkka laskentamenetelmä. Pikalaskentamenetelmää voidaan käyttää vain, kun arvioidaan yleisesti esiintyvän rakennustyyppin vuosittaista energiankäyttöä. Pikalaskentamenetelmää varten standardissa SFS-EN 15193 on taulukko, josta löytyy erityyppisten rakennusten vuosikohtaisia perustietoja. Pikalaskentamenetelmällä saadaan hieman korkeammat energiankäytön arvot, joten sitä ei pidä käyttää tarkempien laskelmien tekemiseen. (Fagerhult Oy 2012, 512.)

Tarkalla laskentamenetelmällä saadaan rakennuksen energiakäytön tarkka määrittäminen rakennuksen tyyppistä tai sijainnista huolimatta. Tämä perustuu siihen, että tässä menetelmässä lasketaan jokaisen huoneen todelliset arvot. Todelliset arvot antavat LENI-luvuksi pienemmän arvon, kuin mitä pikalaskentamenetelmällä saataisiin. DIALux -ohjelma antaa käyttäjälle tarkan laskentamenetelmän mukaisen tuloksen. Tarkalla laskentamenetelmällä voidaan myös laskea vuodesta poikkeavan ajanjakson energiankäyttö, jos käytössä on tiedot rakennuksen käyttöajoista ja päivänvalon saannista. (Fagerhult Oy 2012, 512.)



## 5 KAJAANIN OIKEUS- JA POLIISITALO

Kajaanin poliisiasema (kuva 5) sijaitsee kaupungin keskustassa Oikeus- ja poliisitalossa. Kajaanin poliisiasema toimi ennen Kainuun poliisilaitoksen pääpaikkana, mutta kuuluu nykyään Oulun poliisilaitoksen alaisuuteen. Kajaanin poliisiasema on viisikerroksinen rakennus, jossa on monenlaista toimintaa. Suurin osa rakennuksen tiloista on poliisien ja poliisin hallinnossa työskentelevien käytössä, mutta rakennuksessa on myös Kajaanin käräjäoikeus sekä Kainuun ulosottoviraston päätoimipaikka. (Poliisihallitus 2014.)

Rakennuksessa työskentelee noin 130 henkilöä ja kerrosalaa siinä on 4 150 m<sup>2</sup>. Kaiken kaikkiaan rakennuksessa on yli 90 toimistohuonetta, joiden lisäksi vielä erilaisia neuvottelu- ja asiakaspalvelutiloja. Rakennuksessa työskennellään osittain myös virka-ajan ulkopuolella, mikä puolestaan nostaa valaistuksen käyttöastetta. Korkean käyttöasteen vuoksi takaisinmaksuaika lyhenee ajatellen valaisinhankintoja. Rakennus on valmistunut vuonna 1985, ja siihen on sen jälkeen tehty monta saneerausta ja tekniikkaa on päivitetty nykypäivän tasolle. Saneerauksissa on myös vaihdettu valaisimia, mutta selvästi suurin osa valaistuksesta on täysin alkuperäistä. Alkuperäisten valaisimien sähkönumerot on jo arkistoitu.

Kohteessa ohjataan käytävien, aulojen ja porraskäytävien valaistusta kello-ohjauksella ja toimistohuoneita sekä muita tiloja kytkimillä. Kohteessa on osittain valaistus päällä 24 tuntia joka vuorokausi. Opinnäytetyön teko alkoi kesällä 2013, jolloin kartoitettiin mahdollisimman tarkasti rakennuksen nykyinen valaistus ja käyttöaika osastottain.



KUVA 5. Kajaanin Oikeus- ja poliisitalo (Utriainen 2014-04-06.)

## 6 OHJELMISTOJEN ESITTELY

Valaistussuunnitelman tekemiseen on käytetty jo pitkään DIALux-ohjelmaa ja sen eri versioita. Nykyään DIALux-ohjelmasta on kaksi toisistaan hieman poikkeavaa versioita, DIALux 4.12 ja DIALux evo 3.1. Molemmissa ohjelmissa suunniteltavista tiloista tehdään 2D- ja 3D-mallit ja tarkastellaan, miten eri valaistusratkaisut täyttävät standardien asettamat vaatimukset. Molemmat ohjelmat ovat suomenkielisiä ilmaisohjelmia.

Koska Kajaanin Oikeus- ja poliisitalo on turvaluokiteltu kohde ja eri kerrosten pohjakuvat ovat kokonaisuudessaan suojausluokka III (Luottamuksellinen) tasoa, ei kuvia voi esittää tässä työssä. Tämän takia myös DIALux evon toiminta kerrotaan siten, että sillä luodaan yksittäinen tila valaistuslaskentaa varten.

Myös elinkaaren tarkasteluun on erilaisia ohjelmia, ja sitä voi tehdä myös Excel-ohjelmalla. Valaistuksen elinkaarta tarkasteltiin Fagerhultin LCC-ohjelman (Life Cycle Cost) avulla. Ohjelmassa lasketaan valaistuksen elinkaarikustannukset halutulle ajanjaksolle. Tässä opinnäytetyössä elinkaarikustannukset laskettiin 25 vuoden ajalle.

### 6.1 DIALux 4.12:n ja DIALux evon vertailu

DIALux 4.12:ssa suunniteltavaa projektia tarkastellaan tila kerrallaan toisin kuin DIALux evossa, jossa koko rakennusta, sen kerroksia ja ulkoalueita voi tarkastella yhdellä kertaa ja näin tutkia suunniteltavan kohteen eri valaistustilanteita samanaikaisesti. DIALux 4.12 -ohjelmaan voidaan tuoda myös rakennuksen pohjakuvan ja sen avulla luoda tilat, joihin halutaan suunnitella valaistus. DIALux evo on puolestaan tarkoitettu kokonaisten rakennuksien suunnitteluun, vaikka siinäkin voidaan luoda yksittäisiä tiloja. Kun DIALux evoon tuodaan rakennuksen pohjakuva, voidaan siitä tehdä kokonainen kerros, mikä huomattavasti nopeuttaa projektin etenemistä.

Molemmissa ohjelmissa siis voi valita ohjelman käynnistyksen jälkeen yksittäisen tilan luomisen. Tämän jälkeen tilan mitat annetaan ohjelmaan ja näin luodaan tarkasteltavan kokoinen tila. Kuvassa 6 on DIALux 4.12 -tilaeditori ja kuvassa 7 DIALux evon tilaeditori. DIALux evossa määritetään samalla, minkätyyppinen tila on kyseessä sekä valitaan tälle sovellus, jolla tarkoitetaan, minkätyyppistä työtä tilassa tehdään. DIALux evoon on sisällytetty standardi EN 12464-1, joten tila- ja sovellusvalikoimat ovat ohjelmassa samat kuin standardissa.

Tilan määrittämisen jälkeen molemmissa ohjelmissa voidaan tilaa tarkastella 2D ja 3D muotoisina ja vielä muokata sitä haluttaessa. Sitten määritetään luotuun tilaan objektien ja aukkojen paikat, määrät ja niiden koko. Tämän jälkeen valitaan tilan pintamateriaalit ja niiden heijastuskertoimet ja muokataan ne vastaamaan mahdollisimman lähelle todellisuutta. DIALux evossa täytyy edetä hieman johdonmukaisemmin: ennen kuin tiettyjä asioita voi tehdä, on sitä edeltänyt asia täytynyt päättyä. Tämä ominaisuus ilmenee paremmin, kun ohjelmaan tuodaan pohjakuva ja siitä luodaan rakennus. Yksittäisen tilan luomisessa muokkaaminen on vapaampaa. Ohjelma on rakennettu

kuitenkin niin, että tilan muokkaaminen tapahtuu helposti ja kaikkia asioita voi muokata jälkeenpäin. Molemmissa ohjelmissa on kattava luettelo objektien ja pintamateriaalien valitsemiseen.

**Tilaeditori**

Ympäriöivän kuution mitat

Pituus: 3.500 m    Leveys: 4.500 m

Korkeus: 2.800 m     Pinnan koordinaatit  
 Maailmankoordinaatit

	x	y	l
1	0.000	0.000	3.500
2	3.500	0.000	4.500
3	3.500	4.500	3.500
4	0.000	4.500	4.500
----			

Sijoita koordinaatit    Tyhjennä koordinaatit

OK    Peruuta

KUVA 6. DIALux 4.12 -tilaeditori.

Uusi tyhjä suorakulmainen tila

Alue: Toimistot

Sovellus: Kirjoitus, konekirjoitus, lukeminen, tietojenkäsittely

Pituus: 3.500 m

Leveys: 4.500 m

Korkeus: 2.800 m

Seinän paksuus: 0.200 m

OK    Peruuta

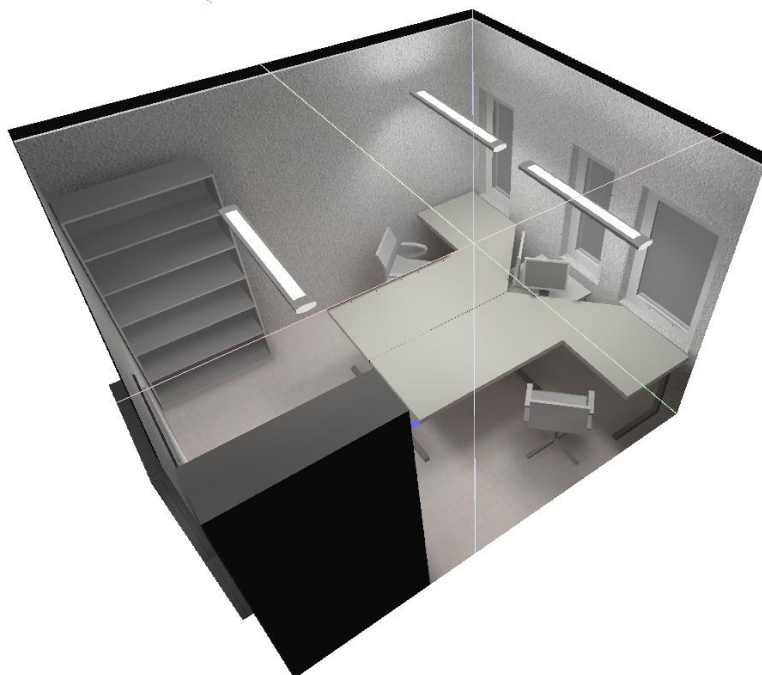
KUVA 7. DIALux evon tilaeditori.

Kun suunniteltava tila on saatu muokattua haluttuun muotoon ja sen laskentaan vaikuttavat parametrit on saatu muokattua, voidaan sijoittaa tilaan halutun valaisinvalmistajan tuotteita. Molemmat ohjelmat tukevat samoja valaisinvalmistajien tietokantoja, jotka voi hakea niiden kotisivuilta.

Molemmissa DIALux-ohjelmissa valaisimien sijoittelu ja niiden liikuttaminen on tehty helpoksi. Lisäksi molemmissa ohjelmissa löytyy valaisimien automaattinen sijoittelu tilaan halutun luxitason mukaisesti. Tämä ei kuitenkaan ole kovin usein hyödyllinen työkalu suunniteltaessa pienempiä tiloja. Kuvassa 8 DIALux 4.12 -ohjelmalla suunniteltu toimisto ja kuvassa 9 DIALux evon malli.



KUVA 8. Kahden hengen toimistohuone DIALux 4.12 -mallinnettuna.



KUVA 9. Kahden hengen toimistohuone DIALux evolla mallinnettuna.

DIALux evo tekee tiloista huomattavasti tarkemmat ja luonnollisemman näköiset. Vaikka pintamateriaalit ovat samoja, ei DIALux 4.12:ssa pintamateriaalin ulkonäkö muutu oikeastaan kuin väreiltään.

## 6.2 Laskentatuloksien vertailu

Molemmissa ohjelmissa tuloksia voi tarkastella isolux-käyrinä, vääräväreillä sekä luminanssiarvojen taulukoilla. DIALux 4.12:ssa pitää tehdä hieman enemmän töitä, että ohjelmasta saa ulos standardin EN 12464-1 vaatimat tulokset. Tilaan pitää erikseen sijoittaa laskentakentät sylinterivalaistusvoimakkuudelle ja horisontaalivalaistusvoimakkuudelle. Lisäksi työalueen ja välittömän lähiympäristön laskentakenttien muokkaaminen on hitaampaa. Ohjelmassa ei voi suoraan valita monikulmaista laskentakenttää työalueeksi, mutta sen voi kuitenkin muokata haluttuun muotoon. Samoin pitää menetellä välittömän lähiympäristön laskentakentän kanssa.

DIALux evossa voi suoraan sijoittaa tilaan haluamansa muotoisen näkötehtävän laskentakentän, jolloin ohjelma laskee siitä standardin EN 12464-1 mukaisen tuloksen. Kun ohjelmassa piirretään näkötehtävän alue, niin ohjelma samalla sijoittaa tilaan välittömän lähiympäristön alueen automaattisesti noudattaen näkötehtävän alueen muotoa. Ohjelmassa voi myös sijoittaa erikseen laskentaobjektin, johon voi määrittää laskentaparametreihin, mitä tuloksia halutaan saada dokumentoinnissa näkyville. Laskentaparametreille voi määrittää eri korkeuksia, jolloin säästyään monen eri laskentaobjektin sijoittamiselta. Laskentaparametreinä ohjelmassa on horisontaali ja kohtisuora valaistusvoimakkuus, UGR-luku ja sylinterivalaistusvoimakkuus. Lisäksi ohjelmassa on myös muita laskentaparametrejä. Ohjelma kaatui välillä muokattaessa laskentakenttiä, eikä eräessä harjoitusprojektissa kahden eri näkötehtävän alueen sijoittaminen onnistunut, vaikka ne olisivat olleet eri tiloissa.

UGR-arvoja saa DIALux 4.12:ssa laskettua joko UGR-alueen tai UGR-pisteen avulla. DIALux evossa voi sijoittaa vain UGR-alueen. UGR-alueen tulokset ovat verrattavissa UGR-pisteistä saatavaan tuloksiin. DIALux evossa UGR-luvun laskeminen on mukana yhtenä laskentaobjektin parametrinä.

Valaistustilanteiden mallintaminen on tehty vain DIALux evoon. Laskennan jälkeen projektin valaisinryhmiä voi säätää haluamalleen teholle valoryhmän omasta liukukytimestä. Joissakin kohteissa tämä voi olla hyödyllinen toiminto, jolloin asiakas näkee eri valaistustilanteiden vaikutuksen.

Taulukossa 5 on vertailu ohjelmista saaduista tuloksista. Laskentatuloksista nähdään, että samanlaisella valaistuksella molemmat ohjelmat laskevat hyväksyttävän tuloksen toimistohuoneelle. DIALux evo laskee valaistukselle hieman paremmat arvot, vaikka huoneet olivat tehty samanlaisiksi.

TAULUKKO 5. Laskentatulosten vertailu DIALux 4.12 ja DIALux evon välillä.

Toimistohuone 15m2	DIALux 4.12	DIALux evo	Vaatus
Työalue, $E_m$ (lx)	589	698	500
Tasaisuus, $U_0 E_{min}/E_m$	0,75	0,80	$\geq 0,6$
Välitön lähiympäristö, $E_m$ (lx)	457	617	300
Tasaisuus, $U_0 E_{min}/E_m$	0,56	0,77	$\geq 0,4$
Tausta-alue, $E_m$ (lx)	363	451	100
Tasaisuus, $U_0 E_{min}/E_m$	0,59	0,74	$\geq 0,1$
Sylinterivalaistusvoimakkuus (lx)	241	295	150
Muodonanto	0,45	0,44	0,3-0,6
UGR-arvo	16	19	$\leq 19$
Teho W/m <sup>2</sup> /100lx	2,84	2,46	-

DIALux evo on raskas ohjelma, joten näin suuren kohteen täydellinen mallintaminen olisi vaatinut huomattavasti tehokkaampaa tietokonetta, mikä tätä opinnäytetyötä tehdessä oli käytössä. Vaikka ohjelman laitevaatimukset täyttyivät meni valaistustuloksien laskentaan yli tunti, kun vasta viidesosa rakennuksesta oli mallinnettu. Lisäksi kohteen muokkaaminen alkoi käydä koko ajan hitaammaksi, kun kerroksia ja tiloja mallinnettiin. Vaikka eri tiloissa objektien määrät vaihtelivat ja kaikkiin tiloihin niitä ei määritelty ollenkaan, alkoi pelkästään sisätilojen lisäämisvaiheessa mennä huomattava määrä aikaa. Lisäksi ohjelmassa on vielä kehitettävää, tämä ilmeni ohjelman alkaessa kaatuilla tietyissä tilanteissa systemaattisesti. Etenkin laskentakenttien muokkaaminen niiden lisäämisen jälkeen kaatoi ohjelman useasti.

Vielä on aikaista sanoa korvaako DIALux evo DIALux 4:n. Evo versioon on jo nyt tehty älykkäämpiä ratkaisuja ja DIALux:n kotisivuilla kerrottiin myös tulevista päivityksistä. Tulevaisuudessa myös evo versiossa on päivänvalotilanteet. Lisäksi DIALux evon grafiikka on parempi ja tehokkaat tietokoneet jaksavat luultavasti pyörittää ohjelmaa olipa siinä mallinnuksessa kuinka iso kohde tahansa.

Kuitenkaan tehokaskaan tietokone ei auta, jos ohjelmaa ei saada vakaammaksi.

### 6.3 Elinkaarikustannuksien laskeminen Fagerhult LCC -ohjelmalla

Tuotteiden tai palveluiden elinkaaria voidaan tarkastella monella tasolla. Elinkaarikustannusten laskemiseen on tehty monia toisistaan poikkeavia ohjelmia. Elinkaarikustannukset tarkoittavat tuotteiden tai palveluiden aikana syntyviä kustannuksia ja niihin lasketaan mukaan raaka-aineiden hankinta ja käytöstäpoisto. Jos tarkastellaan tuotteen elinkaarta tarkemmin käytetään silloin elinkaarianalyysimenetelmää, jossa kaikki mahdolliset tuotteen tai prosessin elinkaaren aikana aiheutuvat kustannukset otetaan huomioon riippumatta siitä kuka ne maksaa. Tässä menetelmässä arvioidaan myös ympäristölle aiheutuvaa räsitusta tarkemmin. Investointikustannuksien huomioimisen lisäksi yhteistä kaikille elinkaarikustannusanalyysille on, että niissä myös muitakin kustannuksia.

Usein elinkaarikustannuksia tarkatellaan käyttäjän näkökulmasta. Silloin elinkaarikustannusanalyysiä käytetään jonkun tietyn tuotteen kustannuksien selvittämiseen sen elinkaaren eri vaiheissa sekä vertaillaan useita samankaltaisia tuotteita. Näin meneteltiin myös tässä opinnäytetyössä, jossa vertailussa on nykyisen ja uuden valaistuksen elinkaarikustannukset ja laskennoissa ovat mukana hankinta- ja käyttökustannukset.

Elinkaarikustannuslaskelmat tehtiin Fagerhult LCC -ohjelmalla. Ohjelmalla on helppo vertailla erilaisten valaistusratkaisujen kustannuseroja. Ohjelman valaisintietokannassa on valmiina kaikki Fagerhultin omat tuotteet. Muiden käytettävien valaisimien tiedot voi itse lisätä omaan tietokantaan, jotta vertailuissa olevat valaisimet säilyvät ohjelman tiedossa. Ohjelmassa projektin perustietoihin syötetään tiedot käytetystä laskentakorosta, inflaatiosta sekä sähkön hinnasta. Jos laskenta suoritetaan vain yhden kokoisista tiloista voi ohjelmalla laskea myös LENI-luvun.

Projektin sisältämät valaisintiedot muokataan vastaamaan todellista tilannetta. Eri valaisintyypeille syötetään tarvittavat tiedot joiden mukaan ohjelma tekee elinkaarikustannuslaskelmat. Syötettäviä tietoja on valaisimen yksikköhinta, asennus- ja materiaalikustannukset sekä valaisimien lukumäärä. Muita muokattavia kokonaisuuksia ovat valonlähteisiin, liitäntälaitteisiin, asennukseen ja käyttötunteihin liittyvät seikat.

Lähes jokaisessa ohjelman osiossa on avustaja, joka helpottaa käyttäjää tekemään oikeat ratkaisut. Avustaja määrittää muun muassa valonlähteen valinnan yhteydessä valaisimen kokonaistehon sen jälkeen, kun liitäntälaitteen tyyppi on valittu. Lisäksi samalla määräytyy liitäntälaitteelle määritettäviä tietoja jo automaattisesti. Ohjelmassa on myös polttotuntien ja ohjauskertoimen määrittämiseen tehty avustaja. Ohjauskertoimen määrittämisessä arvioidaan valaistuksen ohjausjärjestelmän vaikutusta energiankulutukseen. Ohjauskertoimen avustaja perustuu standardiin EN 15193. Valaistuksen ohjausjärjestelmän kustannukset pitää syöttää ohjelmaan, joko kokonaisuutena tai laskea kustannukset ohjausjärjestelmälle yhtä valaisinta kohti.

Ohjelman laskentatuloksia voi tarkastella monella tavalla. Tarkimmat tulokset ovat valaistusratkaisujen kustannusvertailutaulukossa. Tuloksista tulee myös elinkaarikustannusdiagrammi ja hiilidioksidin muodostumista kuvaava diagrammi. Lisäksi ohjelmassa voi tarkastella yksittäisestä valaisintyypistä aiheutuvia kustannuksia. Taulukossa 6 on esimerkki ohjelman tuottamasta elinkaarikustannuksien vertailusta.

TAULUKKO 6. Esimerkkilaskelma valaistusratkaisujen kustannuksista.

## Valaistusratkaisujen kustannusvertailu

Yleiset tiedot	Uusi valaistus - KNX-väylä	Uusi valaistus - DALI-väylä	Uusi valaistus- Perus ohjaus	Nykyinen valaistus
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailu...)				Nykyinen val...
Valaisintyyppien lukumäärä	1	1	1	1
Valaisintyyppi	16 - MultiFive...	16 - MultiFive...	16 - MultiFive...	20 - 6600-136
Lampputyyppi	FDH (T16) 1x...	FDH (T16) 1x...	FDH (T16) 1x...	Loisteputki 3...
Valaisimien lukumäärä	16	16	16	20
Valonlähteiden kokonaismäärä	16	16	16	20
<b>Investointikustannukset</b>				
Valaisimen kokonaiskustannus	4 078,4 EUR	4 078,4 EUR	2 920 EUR	0 EUR
Valonlähdekustannukset yhteensä	48 EUR	48 EUR	48 EUR	0 EUR
Asennuskustannukset yhteensä	1 859,2 EUR	1 884 EUR	0 EUR	0 EUR
Materiaali- ja työkustannukset yhte...	400 EUR	400 EUR	400 EUR	0 EUR
<b>Investointi</b>	<b>6 386 EUR</b>	<b>6 410 EUR</b>	<b>3 368 EUR</b>	<b>0 EUR</b>
<b>Energiakustannukset</b>				
Valaistusratkaisun kokonaisteho	608 W	608 W	608 W	800 W
Keskimääräinen käyttökerroin	70,0 %	70,0 %	100,0 %	100,0 %
Teho yhteensä	425,6 W	425,6 W	608,0 W	800,0 W
Keskimääräinen toiminta-aika	8 760 h/vuotta	8 760 h/vuotta	8 760 h/vuotta	8 760 h/vuotta
Energiankulutus yhteensä/vuosi (i...	8,72821344 MWh/vuotta	8,72821344 MWh/vuotta	6,3260192 MWh/vuotta	7,00792 MWh/vuotta
tyhjäkäyntiteho yhteensä	5,6 W	5,6 W	0,0 W	0,0 W
Keskimääräinen tyhjäkäyntitehoaika	0 h/vuotta	0 h/vuotta	- h/vuotta	- h/vuotta
Tyhjäkäyntienergian kulutus	0,6 Wh/vuotta	0,6 Wh/vuotta	0 Wh/vuotta	0 Wh/vuotta
Energiankulutus vuodessa	3,7 MWh	3,7 MWh	5,3 MWh	7,0 MWh
Sähkön hinta	0,1 EUR/kWh			
Energiakustannukset vuodessa	373 EUR	373 EUR	533 EUR	701 EUR
<b>Energiakustannusten nykyar...</b>	<b>11 853 EUR</b>	<b>11 853 EUR</b>	<b>16 933 EUR</b>	<b>22 280 EUR</b>
<b>Valonlähdekustannuk...</b>				
Valonlähteen nimi	FDH (T16) 1x...	FDH (T16) 1x...	FDH (T16) 1x...	Loisteputki 3...
Valonlähteiden kokonaismäärä	16	16	16	20
Valonlähteiden vaihtokustannukset...	100,8 EUR	100,8 EUR	100,8 EUR	140 EUR
<b>Valonlähdekustannusten ny...</b>	<b>867 EUR</b>	<b>867 EUR</b>	<b>867 EUR</b>	<b>2 319 EUR</b>
<b>Liitäntälaitteen kusan...</b>				
Liitäntälaitteen kokonaisvaihtokusta...	1 920 EUR	1 920 EUR	800 EUR	580 EUR
<b>Liitäntälaittekustannusten ny...</b>	<b>1 834 EUR</b>	<b>1 834 EUR</b>	<b>764 EUR</b>	<b>903 EUR</b>
<b>Huoltokustannukset</b>				
Huoltokustannukset yhteensä	80 EUR	80 EUR	80 EUR	100 EUR
<b>Huoltokustannusten nykyarvo</b>	<b>2 715 EUR</b>	<b>2 715 EUR</b>	<b>2 715 EUR</b>	<b>1 657 EUR</b>
<b>Valaistusratkaisun ny...</b>	<b>23 655 EUR</b>	<b>23 679 EUR</b>	<b>24 647 EUR</b>	<b>27 159 EUR</b>
<b>Kriittinen piste (nyky...</b>	<b>18,0 vuotta</b>	<b>18,0 vuotta</b>	<b>16,0 vuotta</b>	<b>- vuotta</b>
<b>Tuotto</b>	<b>3 505 EUR</b>	<b>3 480 EUR</b>	<b>2 512 EUR</b>	<b>0 EUR</b>

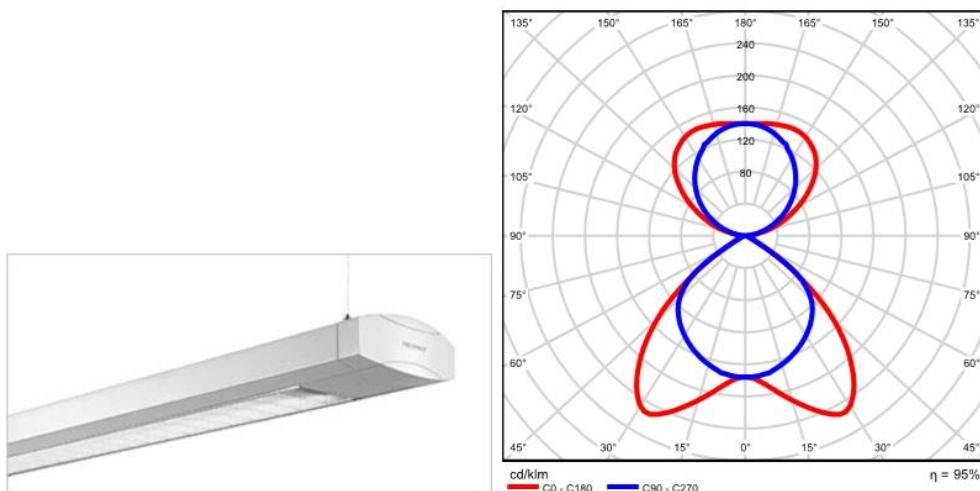
Taulukosta 6 näkee hyvin eri valaistusratkaisujen aiheuttamat kustannukset. Siinä on myös nähtävissä osa suunnittelijan määrittämistä lähtötiedoista. Taulukossa on eroteltu eri valaistusratkaisujen kustannukset viiteen eri kokonaisuuteen investointi-, energia-, valonlähde-, liitäntälaitte ja huoltokustannuksiin. Näin voidaan tarkastella eri valaistusratkaisujen eroavaisuuksia kokonaiskustannuksien muodostumisessa.



## 7 VALAISIMIEN VALINTA

Valaisimien valinnalla on suuri merkitys ajatellen SFS-EN 12464-1 standardin vaatimuksia ja energiatehokkuutta. Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin kohteen uusi valaistus käyttämällä pelkästään Fagerhultin tuotteita. Fagerhultin valaisimet ovat arvokkaampia kuin monen muun valmistajan valaisimet, mutta ne ovat myös kestäviä ja laadukkaita. Lisäksi ne tukevat hyvin eri ohjauseriaatteita. Tässä osiossa esitellään työn tekemisen kannalta merkittävimmät valaisintyytit.

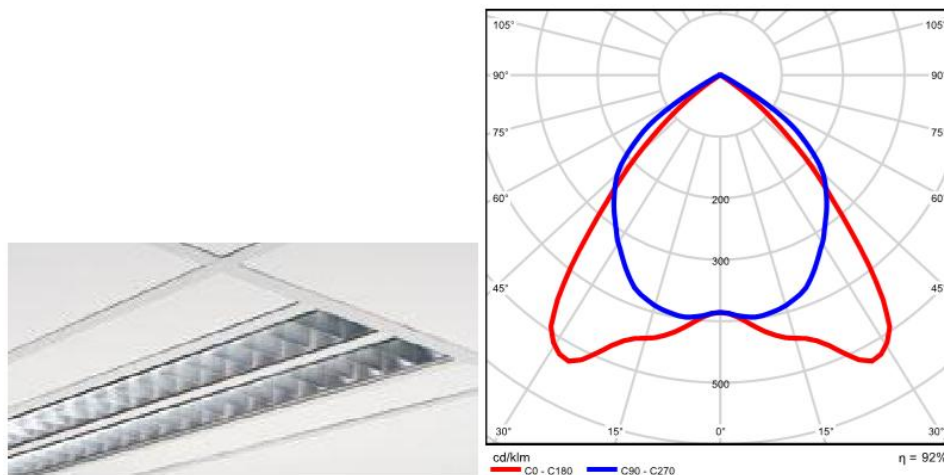
Toimistohuoneisiin valittiin DTI Type 2 Beta -valaisimet. Valaisimilla on hyvä hyötysuhde ja valaisimesta saadaan suoraa/epäsuoraa valoa (50 % / 50 %). Kohteen toimistohuoneiden katto on tasainen ja väriltään valkea, joten sen kautta on hyvä heijastaa tiloihin epäsuoraa valoa. Näin täytetään standardissakin mainittu mukavuustaso tilan eri pintojen valaistuksessa. Valaisimissa on elektroninen liitäntälaitte ja niiden häikäisysojana on Beta-pienluminanssiritilä, joka soveltuu hyvin tiloihin, joissa työskennellään näyttöpäätteellä. Valaisimen hyötysuhdeprosentti on erittäin hyvä tarkasteltiimpa sitten yksi- tai kaksiputkisista versioista. Hyötysuhde saadaan mittaamalla vapaasti palavaa vertailuvalonlähdettä valaisimesta lähtevään valovirtaan (Fagerhult Oy 2012). DTI type 2 Beta -valaisimen hyötysuhdeprosentti on yksiputkisena 97 % ja kaksiputkisena 98 %.



KUVA 10. DTI Type 2 Beta 2x28W.

Toimistohuoneisiin suunniteltiin valaistuksen ohjaukseen multisensorit ja lisäksi painikkeet. Multisensoreilla saadaan säästettyä energiaa, kun päivänvalo-ohjaus ja läsnäolotunnistus ohjaavat valaistusta automaattisesti. Painikkeiden avulla voidaan säätää valaistusta henkilökohtaisten tarpeiden mukaan.

Käytäväosuuksille valittiin MultiFive Basic Beta -valaisin yksiputkisena ja 35 W valonlähteellä varustettuna. Valaisimen hyötysuhde on 82 %. Myös tämä valaisin on varustettu elektronisella liitäntälaitteella. Kohteessa on käytävissä alas laskettu metallikasettikatto, joka myös vaikutti valaisimen valintaan. Käytävien valaistusta ohjaa pääasiallisesti multisensorit, ja painikkeita ei suunniteltu monille käytäväosuuksille.



KUVA 11. MultiFive Basic Beta 1x35W.

Uuden valaistuksen valonlähdevertailu tehdään vain kahden erityyppisen loisteputken välillä. Vertailussa ovat mukana normaali T5-loisteputki 24 000 tunnin hyötypolttotiellä ja T5 Long Life -loisteputki, jonka hyötypolttotika on 45 000 tuntia. Valonlähteet ovat Philipsin tuotteita. Valonlähteet ja niiden hinnat ovat taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Valonlähteet.

Valonlähde	Tyyppi	Hinta
T5-loisteputki	MASTER TL5 High Efficiency	3 €
T5 Long Life -loisteputki	MASTER TL5 High Efficiency Xtra Eco	9 €

## 8 LASKELMAT

Tässä luvussa keskitytään vertailemaan suunniteltuja valaistusjärjestelmiä nykyiseen valaistusjärjestelmään elinkaarimallilla.

Uusi valaistus suunniteltiin lähes koko rakennukseen. Pois suunnitelmista jäi viimeisimmissä saneerauksissa uusitut tilat. Elinkaarikustannusvertailua tehtiin erikseen toimistohuoneiden sekä käytävien valaistuksesta. Lisäksi laskettiin elinkaarikustannusvertailu, missä huomioitiin edellä mainitut tilat ja niiden lisäksi myös muita tiloja sekä rakennuksen käyttöaika huomioitiin tässä laskelmassa tarkemmin. Elinkaarikustannuksissa uuden valaistuksen hankintakustannuksiin laskettiin myös asennuskustannukset ja ohjausjärjestelmänä tarkasteltiin nykyistä, DALI-väylällä sekä KNX-väylällä toteutettua ratkaisua. Laskelmassa, jossa tutkittiin koko rakennuksen valaistuksen elinkaarikustannuksia, ei enää vertailtu nykyisen ohjausjärjestelmän käyttöä uuden valaistuksen ohjauksessa.

Jos hankintamenoihin ei sisällytä asennus- ja ohjausjärjestelmän investointikustannuksia, tulee elinkaarikustannuksien kriittinen piste huomattavasti aikaisemmin vastaan, kuin jos huomioidaan pelkästään niiden tuomat edut elinkaarilaskelmissa. Asennuskustannuksien arvioiminen on hieman helpompaa kuin ohjausjärjestelmän kustannuksien. Asennuskustannukset käsittävät tässä opinnäytetyössä pelkän valaisimen fyysisen asentamisen ja niihin ei sisälly erikseen ohjausjärjestelmän asentamiseen liittyviä kustannuksia, esimerkiksi kaapelointia ja ohjelmointia. Ohjausjärjestelmän kustannukset laskettiin siis komponenttitasolla.

Taulukossa 8 on esitetty elinkaarikustannuksien laskennassa olleet nykyiset valaisimet ja niiden määrät. Valaisimien lukumäärä eri laskentatilanteissa vaihteli. Kohteen nykyiset loistevalaisimet on varustettu konventionaalisilla liitäntälaitteilla. Taulukossa 9 on puolestaan kohteeseen suunnitellut uudet valaisimet ja niiden määrät ja hinnat ohjausperiaatteen mukaan. Taulukoissa 8 ja 9 on esitetty valaisimien määrät laskentatilanteessa, jossa määritettiin koko rakennuksen valaistuksen elinkaarikustannukset. Taulukon 9 hintoihin on lisätty myös valaisimien tarvitsemat lisävarusteet. Kaikki hinnat ovat arvonlisäverottomia Fagerhultin listahintoja. Valaistuksen elinkaarikustannuksissa huomioidaan valaisimien investointikustannuksien lisäksi liitäntälaitteiden hinnat.

Ohjausjärjestelmien vertailua tehdään nykyisen järjestelmän, DALI-väylän ja KNX-väylän kesken. DALI-väylän komponentit ovat Helvarin valmistamia ja KNX-väylän tuotteet puolestaan ABB:n valmistamia. Molempien väyläjärjestelmien tuotteiden hinnat on kysytty valmistajilta: ne ovat listahintoja eikä niihin sisälly arvonlisäveroa. Tuotteet ja hinnat esitetään taulukossa 10. Hintoihin on sisällytetty komponenttien mahdolliset lisävarusteet.

TAULUKKO 8. Kohteen nykyiset valaisimet.

Positio	Valaisin	Tyyppi	Teho	Lukumäärä
1	SLO	6670-158	1x58W	163
2	SLO	6680-158	1x58W	127
3	SLO	6600U-136	1x36W	190
4	SLO	6600-136	1x36W	30
5	SLO	560	2x36W	25
6	SLO	-	60W	12
7	SLO	1220U/20	60W	33
8	SLO	5200-236	2x36W	2
9	SLO	5200-218	2x18W	13

TAULUKKO 9. Kohteeseen suunnitellut valaisimet hintoineen.

Positio	Valaisin	Tyyppi	Teho	Lukumäärä	Ohjaustapa ja hinnat	
					Perus	DALI
1	Fagerhult	DTI Type 2 Beta	2x28W	243	154,10 €	211,90 €
2	Fagerhult	DTI Type 2 Beta	2x35W	47	157,10 €	215,70 €
3	Fagerhult	MultiFive Basic Beta	1x35W	152	182,50 €	245,90 €
4	Fagerhult	Closs Beta	2x35W	18	-	268,10 €
5	Fagerhult	MultiFive Basic Beta	2x28W	18	-	269,10 €
6	Fagerhult	Notor recessed Beta	2x1x35W	4	-	572,90 €
7	Fagerhult	Notor recessed Beta	1x35W	3	-	273,30 €
8	Fagerhult	Pleiad Comfort G2	18W	33	-	192,40 €
9	Fagerhult	Pleiad Comfort G3	12W	12	-	245,70 €
10	Fagerhult	Kaptur LED	43W	2	-	398,50 €
11	Fagerhult	Kaptur LED	22W	13	-	292,00 €

TAULUKKO 10. Ohjausjärjestelmien komponentit.

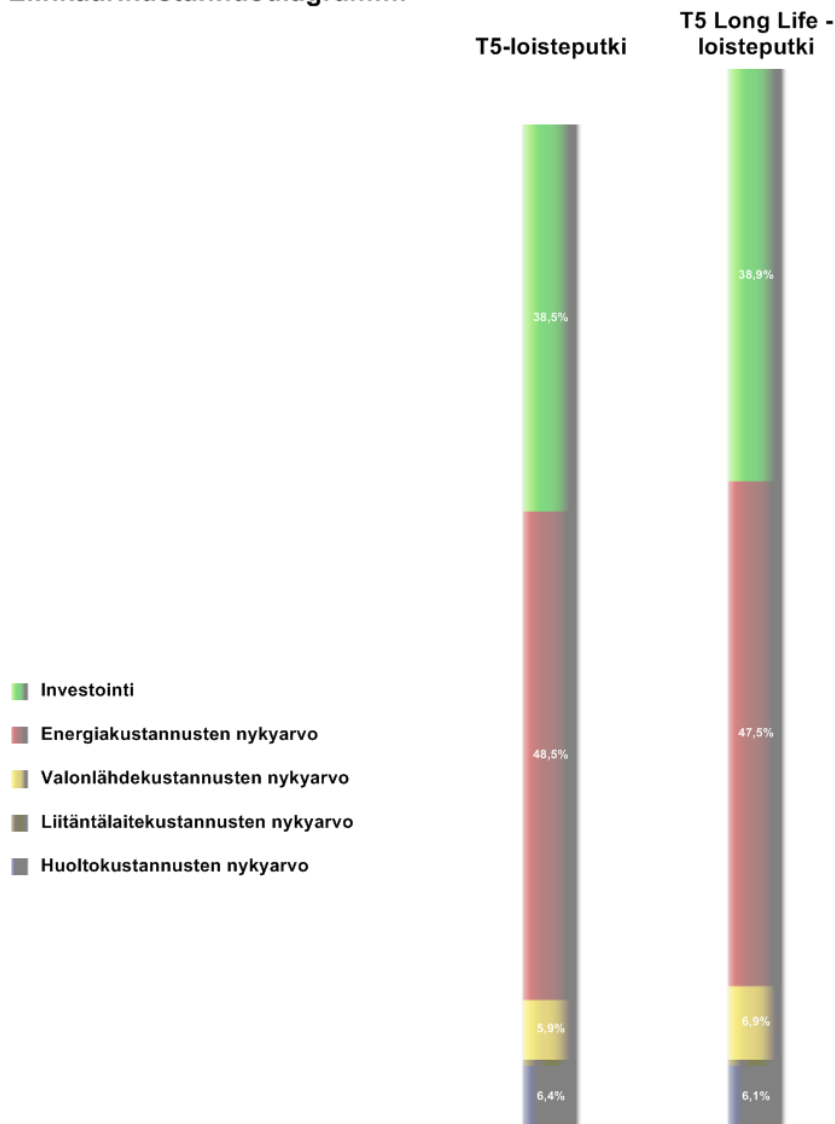
DALI-väylä		
Tuote	Tyyppi	Hinta
Reititin	Digidim 910	985,00 €
Multisensori	Digidim 312	119,00 €
Painike	Digidim 132W	185,00 €
Painike	Digidim 134W	185,00 €
KNX-väylä		
Tuote	Tyyppi	Hinta
Virtalähde	SV/S 30.640.5	243,49 €
DALI-gateway	DG/S1.1	390,13 €
Linjayhdistin	LK/S4.2	254,56 €
Läsnäolotunnistin	6131/11-183-500	185,82 €
Painike 1-os.	6125/01-84-500	73,90 €
Painike 2-os.	6126/01-84-500	82,37 €
Painike 4-os.	6127/01-84-500	110,86 €

Laskentatuloksien saamiseksi käytettiin elinkaarikustannuslaskelmissa laskentakorkona 3 %:a, inflaationa 1 %:a 25 vuoden tarkasteluajalle. Inflaation vaikutus energianhintaan oli laskennoissa 5 %. Sähkönhinta on kysytty Senaatti-kiinteistöltä. Se on kyseisessä kohteessa kokonaisuudessaan 0,1 €/kWh. Uuden valaistuksen huoltoväli on suunniteltu kuvion 4 mukaan (ks. sivu 20). Kohteessa ei ole valaistuksen huoltosuunnitelmaa, joten nykyisen valaistuksen huoltovälinä käytetään eri valonlähteiden hyötypolttoikiä. Muut laskentatiedot vaihtelivat tarkasteltavien tilojen mukaan. Niitä käsitellään tiloihin liittyvissä kappaleissa.

## 8.1 Valonlähdevertailu

Aluksi vertailtiin eri valonlähteiden vaikutusta elinkaarikustannuksiin. Vertailtavat valonlähteet ovat taulukossa 7 (ks. sivu 35). Valonlähdevertailussa otetaan huomioon myös valonlähteiden valovirran heikkeneminen, joka tarkoittaa sitä, että taulukon 7 normaalin T5-loisteputken vaihto tulee suorittaa 19 000 tunnin jälkeen ja T5 Long Life -loisteputken vaihto 30 000 tunnin jälkeen (Philips 2014). Laskelmassa tarkasteltiin valonlähteiden vaikutusta elinkaarikustannuksiin koko pitoaikana eikä ohjauksjärjestelmien vaikutusta huomioitu.

### Elinkaarikustannusdiagrammi



KUVA 12. Valonlähdevertailun tulokset

Tuloksista selviää, että normaalin T5-loisteputken käyttäminen tulee edullisemmaksi, joten se valitaan käytettäväksi valonlähteeksi. Ohjausjärjestelmien avulla saatavat energiansäästöt vaikuttavat valonlähteisiin samalla tavalla, joten Long Life -loisteputki ei voi tulla taloudellisemmaksi vaihtoehdoksi. Laskelma tehtiin toimistohuoneiden valaistuksessa, jonka vuotuinen käyttö laskettiin virka-ajan mukaan.

## 8.2 Elinkaarikustannukset toimistohuoneiden valaistuksesta

Kaiken kaikkiaan rakennuksessa on 95 toimistohuonetta. Näiden huoneiden käytöstä laskettiin omat vertailut nykyisen ja uusien valaistusjärjestelmien kesken. Uuden valaistuksen ohjausjärjestelmän kustannukset laskettiin siten, että ohjausjärjestelmällä ohjattaisiin vain toimistohuoneiden valaistusta. Valaisinkohtaiset ohjausjärjestelmistä aiheutuvat investointikustannukset vaihtelevat huomattavasti laskentatilanteissa. Tässä laskentatilanteessa tulee valaisinkohtainen ohjausjärjestelmästä aiheutuva investointikustannus kaikkein kalleimmaksi. Jokaiseen toimistohuoneeseen laskettiin oma painike ja läsnäoloanturi. Suunnitellut painikkeet olivat KNX-väylästä 1-os. painike ja DALI-väylästä Digidim 132W. Uudella valaistuksella laskettiin myös vertailun vuoksi tilanne, jossa säilytettiin nykyinen ohjausjärjestelmä, jolloin voitiin vertailla pelkistä valaisimien vaihdosta saatua energiansäästöä nykyiseen tilanteeseen.

Koska kohteessa on monenlaista toimintaa, piti eri osastojen työajat määrittää mahdollisimman tarkasti, jotta valaistuksen käyttöaika tulee selväksi. Selvästi suurin osa koko rakennuksen toimistohuoneista on käytössä pelkästään virka-aikana. Vain muutama toimistohuone on käytössä myös viikonloppuisin ja silloinkin käytössä olevien tilojen määrä vaihtelee satunnaisesti. Tässä osioissa tarkastellaan tilannetta, jossa toimistohuoneiden valaistuksen vuotuinen käyttö on laskettu virka-ajan mukaan eikä poikkeavaa käyttöä ole huomioitu. Taulukoissa 8 ja 9 (ks. sivu 37) positiot 1 ja 2 ovat toimistohuoneiden valaisimia.

Ohjausjärjestelmän käyttökertoimen huomioimisen takia huoneet jaettiin laskentaan niiden koon mukaan. Oikeus- ja poliisitalossa on 3 erityyppistä toimistohuonetta: Ensimmäisen huoneen koko on noin 10 m<sup>2</sup>, ja siinä on työpiste vain 1 henkilölle. Toinen huone on noin 15 m<sup>2</sup> kokoinen ja siinä on sijoitettu työpisteet kahdelle hengelle ja kolmas huone on n. 20 m<sup>2</sup> kokoinen. Lisäksi laskentaan tuli mukaan myös muutama tila, jotka voidaan lukea avotoimistoiksi. Kaikille eri tiloille tuli omat käyttökertoimet koon ja ohjausjärjestelmän mukaan.

Taulukossa 11 näkyy laskelmien tulokset. Kalleimmaksi ratkaisuksi osoittautui uusi valaistus DALI-ohjattuna. Taulukon 10 (ks. sivu 36) avulla laskettiin ohjausjärjestelmästä aiheutuvat investointikustannukset valaisinta kohti. DALI-väylän hinta oli valaisinta kohti 120,7 €. KNX-järjestelmän kustannukset puolestaan olivat 104,4 € valaisinta kohti.

Vuotuisessa energiankulutuksessa säästöä syntyy väyläohjatun uuden valaistuksen avulla 48,7 % verraten nykyiseen valaistukseen. Pelkällä valaisimien vaihdolla säästettäisiin 12,7 % energiaa vuosittaisessa kulutuksessa.

TAULUKKO 11. Rakennuksen toimistohuoneiden valaistuksen kustannusvertailu.

## Valaistusratkaisujen kustannusvertailu

Yleiset tiedot	Uusi valaistus - KNX-väylä	Uusi valaistus - DALI-väylä	Uusi valaistus - Nykyinen ohjaus	Nykyinen valaistus
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailu...)				Nykyinen val...
Valaisintyyppien lukumäärä	4	4	4	6
Valaisintyypit	45 - DTI type...	45 - DTI type...	45 - DTI type...	46 - 6670-158
	47 - DTI type...	47 - DTI type...	47 - DTI type...	46 - 6680-158
	111 - DTI typ...	111 - DTI typ...	111 - DTI typ...	74 - 6670-158
	83 - DTI type...	83 - DTI type...	83 - DTI type...	...
Valaisimien lukumäärä	286	286	286	286
Valonlähteiden kokonaismäärä	572	572	572	286
<b>Investointikustannukset</b>				
Valaisimen kokonaiskustannus	60 782 EUR	60 782 EUR	44 213,6 EUR	0 EUR
Valonlähdekustannukset yhteensä	1 716 EUR	1 716 EUR	1 716 EUR	0 EUR
Asennuskustannukset yhteensä	29 861,26 EUR	34 525,92 EUR	0 EUR	0 EUR
Materiaali- ja työkustannukset yhte...	7 150 EUR	7 150 EUR	7 150 EUR	0 EUR
<b>Investointi</b>	<b>99 509 EUR</b>	<b>-104 174 EUR</b>	<b>-53 080 EUR</b>	<b>0 EUR</b>
<b>Energiakustannukset</b>				
Valaistusratkaisun kokonaisteho	17,9 kW	17,9 kW	17,9 kW	20,3 kW
Keskimääräinen käyttökerroin	42,1 %	42,1 %	74,0 %	74,5 %
Teho yhteensä	7,5 kW	7,5 kW	13,2 kW	15,1 kW
Keskimääräinen toiminta-aika	2 500 h/vuotta	2 500 h/vuotta	2 500 h/vuotta	2 500 h/vuotta
Energiankulutus yhteensä/vuosi (il...)	18,79875 MWh/vuotta	18,79875 MWh/vuotta	33,03 MWh/vuotta	37,834125 MWh/vuotta
tyhjäkäyntiteho yhteensä	100,1 W	100,1 W	0,0 W	0,0 W
Keskimääräinen tyhjäkäyntiteho aika	6 260 h/vuotta	6 260 h/vuotta	- h/vuotta	- h/vuotta
Tyhjäkäyntienergian kulutus	626,6 kWh/vuotta	626,6 kWh/vuotta	0 Wh/vuotta	0 Wh/vuotta
Energiankulutus vuodessa	19,4 MWh	19,4 MWh	33,0 MWh	37,8 MWh
Sähkön hinta	0,1 EUR/kWh			
Energiakustannukset vuodessa	1 943 EUR	1 943 EUR	3 303 EUR	3 783 EUR
<b>Energiakustannusten nykyar...</b>	<b>61 759 EUR</b>	<b>-61 759 EUR</b>	<b>-105 013 EUR</b>	<b>-120 286 EUR</b>
<b>Valonlähdekustannuk...</b>				
Valonlähteiden kokonaismäärä	572	572	572	286
Valonlähteiden vaihtokustannukset...	3 603,6 EUR	3 603,6 EUR	3 603,6 EUR	2 002 EUR
<b>Valonlähdekustannusten ny...</b>	<b>8 084 EUR</b>	<b>-8 084 EUR</b>	<b>-8 084 EUR</b>	<b>-7 615 EUR</b>
<b>Liitäntälaitteen kusan...</b>				
Liitäntälaitteen kokonaisvaihtokusta...	34 320 EUR	34 320 EUR	11 440 EUR	8 294 EUR
<b>Liitäntälaitteiden kustannusten ny...</b>	<b>2 065 EUR</b>	<b>-2 065 EUR</b>	<b>688 EUR</b>	<b>1 159 EUR</b>
<b>Huoltokustannukset</b>				
Huoltokustannukset yhteensä	1 430 EUR	1 430 EUR	1 430 EUR	1 430 EUR
<b>Huoltokustannusten nykyarvo</b>	<b>13 421 EUR</b>	<b>-13 421 EUR</b>	<b>-13 421 EUR</b>	<b>5 439 EUR</b>
<b>Valaistusratkaisun ny...</b>	<b>184 838 EUR</b>	<b>189 503 EUR</b>	<b>180 285 EUR</b>	<b>134 499 EUR</b>
<b>Kriittinen piste (nyky...</b>	- vuotta	- vuotta	- vuotta	- vuotta
<b>Tuotto</b>	<b>-50 339 EUR</b>	<b>-55 003 EUR</b>	<b>-45 786 EUR</b>	<b>0 EUR</b>

Tuloksista selviää, että investointikustannukset ovat niin kalliit ettei valaistusratkaisut ole kannattavia. Tämä johtuu siitä, ettei toimistohuoneiden nykyisessä ja uudessa ratkaisussa valaisimien määrä muutu, suunnitelluilla valaisimilla toimistohuoneiden valaistuksesta aiheutuva kokonaisteho pienenee suhteellisen vähän sekä lisäksi eri ohjausjärjestelmät nostavat investointikustannuksia. Käyttökertoimen huomioiminen toki parantaa tilannetta.

### 8.3 Elinkaarikustannukset käytävien valaistuksesta

Rakennuksen eri osien käytävien yhteenlaskettu pituus on noin 300 m. Normaalisti käytävillä valaistus on päällä virka-aikana ja sitä ohjataan kello-ohjauksella ja osaksi manuaalisesti. Tähän mittaan ei ole arvioitu mukaan rakennuksen käytäviä, joissa valaistus on toiminnassa 24 tuntia vuorokaudessa eikä myöskään suurempia aulatiloja, joihin on myös suunniteltu uusi valaistus käyttämällä samaa valaisintyyppiä, kuin käytävillä. Tässä laskelmassa mukana kuitenkin on kaikki rakennuksen käytävät ja aulatilat ja käyttöaika on laskettua virka-ajan mukaan. Käytävä, jossa valaistus on päällä 24 tuntia vuorokaudessa huomioidaan viimeisessä laskennassa.

Käytäväosuuksilla saatiin uudessa suunnitelmassa pudotettua valaisinten määrää verraten nykyiseen tilanteeseen. Käytävät sijaitsevat pääasiallisesti rakennuksen kerrosten keskellä, joten päivänvalon määrä käytävillä on vähäinen. Tämän takia käyttökertoimeksi väyläohjatussakin tilanteessa valittiin 70 %.

Tässä laskelmassa kalleimmaksi ratkaisuksi osoittautui uusi valaistus KNX-väylällä ohjattuna. Tässä laskelmassa väyläjärjestelmät mitoitettiin siten, että ne ohjaavat vain käytävien valaistusta, eikä mitään muita tiloja. KNX-järjestelmän hinta valaisinta kohti oli 90,73 €. DALI-väylän hinta valaisinta kohti oli 70,1 €. Hintaero johtuu siitä, että käytäväosuuksille tuli suunnitelmassa paljon läsnäoloantureita ja se on KNX-järjestelmässä kalliimpi mitä DALI-järjestelmässä.

Laskelman tulokset ovat taulukossa 12. Vaikka uudessa suunnitelmassa valaisimien lukumäärä väheni nykyisestä, ei investointikustannuksia saadaa katettua energiansäästöllä. Vuotuista energiankulutusta saadaan säästettyä uudella valaistuksella ja väyläohjauksella 51,5 % ja pelkästään uudella valaistuksella 33,1 %.



TAULUKKO 12. Rakennuksen käytävävalaistuksen kustannusvertailu.

## Valaistusratkaisujen kustannusvertailu

Yleiset tiedot	Uusi valaistus - KNX-väylä	Uusi valaistus - DALI-väylä	Uusi valaistus - Nykyinen ohjaus	Nykyinen valaistus
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailu...)				Nykyinen val...
Valaisintyyppien lukumäärä	1	1	1	1
Valaisintyyppi	119 - MultiFiv...	119 - MultiFiv...	119 - MultiFiv...	150 - 6600-136
Lampputyyppi	FDH (T16) 1x...	FDH (T16) 1x...	FDH (T16) 1x...	FD (T26) 1x3...
Valaisimien lukumäärä	119	119	119	150
Valonlähteiden kokonaismäärä	119	119	119	150
<b>Investointikustannukset</b>				
Valaisimen kokonaiskustannus	29 262,1 EUR	29 262,1 EUR	21 717,5 EUR	0 EUR
Valonlähdekustannukset yhteensä	357 EUR	357 EUR	357 EUR	0 EUR
Asennuskustannukset yhteensä	10 797 EUR	8 343,09 EUR	0 EUR	0 EUR
Materiaali- ja työkustannukset yhte...	2 975 EUR	2 975 EUR	2 975 EUR	0 EUR
<b>Investointi</b>	<b>43 391 EUR</b>	<b>40 937 EUR</b>	<b>25 050 EUR</b>	<b>0 EUR</b>
<b>Energiakustannukset</b>				
Valaistusratkaisun kokonaisteho	4,5 kW	4,5 kW	4,5 kW	6,8 kW
Keskimääräinen käyttökerroin	70,0 %	70,0 %	100,0 %	100,0 %
Teho yhteensä	3,2 kW	3,2 kW	4,5 kW	6,8 kW
Keskimääräinen toiminta-aika	2 500 h/vuotta	2 500 h/vuotta	2 500 h/vuotta	2 500 h/vuotta
Energiankulutus yhteensä/vuosi (il...)	7,9135 MWh/vuotta	7,9135 MWh/vuotta	11,305 MWh/vuotta	16,875 MWh/vuotta
tyhjäkäyntiteho yhteensä	41,65 W	41,65 W	0,0 W	0,0 W
Keskimääräinen tyhjäkäyntitehoaika	6 260 h/vuotta	6 260 h/vuotta	- h/vuotta	- h/vuotta
Tyhjäkäyntienergian kulutus	260,7 kWh/vuotta	260,7 kWh/vuotta	0 Wh/vuotta	0 Wh/vuotta
Energiankulutus vuodessa	8,2 MWh	8,2 MWh	11,3 MWh	16,9 MWh
Sähkön hinta	0,1 EUR/kWh			
Energiakustannukset vuodessa	817 EUR	817 EUR	1 130 EUR	1 688 EUR
<b>Energiakustannusten nykyar...</b>	<b>25 988 EUR</b>	<b>25 988 EUR</b>	<b>35 942 EUR</b>	<b>53 651 EUR</b>
<b>Valonlähdekustannuk...</b>				
Valonlähteen nimi	FDH (T16) 1x...	FDH (T16) 1x...	FDH (T16) 1x...	FD (T26) 1x3...
Valonlähteiden kokonaismäärä	119	119	119	150
Valonlähteiden vaihtokustannukset...	749,7 EUR	749,7 EUR	749,7 EUR	1 050 EUR
<b>Valonlähdekustannusten ny...</b>	<b>1 682 EUR</b>	<b>1 682 EUR</b>	<b>1 682 EUR</b>	<b>3 994 EUR</b>
<b>Liitäntälaitteen kusan...</b>				
Liitäntälaitteen kokonaisvaihtokusta...	14 280 EUR	14 280 EUR	4 760 EUR	4 350 EUR
<b>Liitäntälaittekustannusten ny...</b>	<b>859 EUR</b>	<b>859 EUR</b>	<b>286 EUR</b>	<b>608 EUR</b>
<b>Huoltokustannukset</b>				
Huoltokustannukset yhteensä	595 EUR	595 EUR	595 EUR	750 EUR
<b>Huoltokustannusten nykyarvo</b>	<b>5 584 EUR</b>	<b>5 584 EUR</b>	<b>5 584 EUR</b>	<b>2 853 EUR</b>
<b>Valaistusratkaisun ny...</b>	<b>77 505 EUR</b>	<b>75 051 EUR</b>	<b>68 544 EUR</b>	<b>61 105 EUR</b>
<b>Kriittinen piste (nykya...</b>	- vuotta	- vuotta	- vuotta	- vuotta
<b>Tuotto</b>	<b>-16 399 EUR</b>	<b>-13 946 EUR</b>	<b>-7 439 EUR</b>	<b>0 EUR</b>

#### 8.4 Elinkaarikustannukset huomioiden koko rakennuksen valaistus

Tässä kappaleessa esitettyissä laskentatuloksissa huomioitiin koko rakennuksen vuotuinen käyttöaika ja aikaisempiin tilanteisiin verrattuna on myös muita tiloja laskelmassa mukana. Uusia tiloja tässä laskelmassa on erilaiset aula- ja vastaanottotilat, putkaosasto ja käräjäoikeuden tilat. Aula ja vastaanottotilojen käyttö on laskettu virka-ajan mukaan. Putkaosaston käytävävalaistuksen käyttö laskettiin siten, että se on päällä 24 tuntia jokainen vuorokausi. Poliisitalon henkilökunnalta kysyttiin keskiarvoa vuotuisten vangittujen määrästä ja siitä arvioitaan vuotuinen sellien käyttö. Myös käräjäoikeuden tilojen käyttö selvitettiin ja näin laskelmissa pystyttiin arvioimaan niiden vuotuinen käyttöaika. Lisäksi rakennuksen viikonloppuinen käyttö on huomioitu ja sen käytöstä aiheutuvat lisätunnit on huomioitu toimistohuoneiden ja käytävien valaistuksessa.

Investointikustannuksiltaan kalleimmaksi ratkaisuksi osoittautui uusi valaistus KNX-järjestelmällä ohjattuna. Eroa DALI-järjestelmään ei ole kuin 115 €, joka ei ole käytännössä mitään. Tästä syystä rakennukseen voisi suositella KNX-väylällä toteutettua ratkaisua sen monipuolisuuden takia. KNX-järjestelmän hinta valaisinta kohti on 84,61 € ja DALI-järjestelmän hinta valaisinta kohti on 84,4 €.

Säästöt energiankulutuksessa on huomattavat. Uudella valaistuksella ja ohjausjärjestelmällä voitaisiin säästää 51,1 % vuotuisessa energiankulutuksessa. Energiakolmio Oy:ltä saatiin tiedot rakennuksen vuotuisista energiankulutuksista ja kulutus vaihteli seuraavasti: rakennuksen kokonaisenergiankulutus oli vuonna 2010: 517 915 kWh, 2011: 476 165 kWh ja 2012: 490 349 kWh (Maunula 2014). Näiden vuosittaisten energiankulutuksien keskiarvo on 494 810 kWh. Jos laskennassa mukana ollutta nykyistä valaistusta vertaa keskiarvoon on sen osuus 14,9 %. Todellisuudessa luku on suurempi, koska kaikkea rakennuksen valaistusta ei huomioitu laskennassa. Jos uutta valaistusratkaisua vertaa vuosien 2010 - 2012 kokonaisenergiankulutuksen keskiarvoon on sen osuus 7,28 %. Valaistusjärjestelmän uusimisella voitaisiin siis pudottaa huomattava määrä rakennuksen energiankulutuksesta. Laskennan tarkat tulokset ovat taulukossa 13.

Taulukon tuloksista nähdään, että vaikka energiaa säästetään ei valaistusratkaisut ole kannattavia ja tuotto -kohdassa on vielä kohtuullisen suuret rahasummat miinusmerkkisinä. Laskennasta on tehty myös kustannuskehitysverailu (ks. liite 10). Tässä laskelmassa eniten tuottoa toi käytävä, jossa valot ovat päällä 24 tuntia vuorokaudessa. Vähäkäyttöisten tilojen huomioiden puolestaan huononsi tilannetta. Vähäkäyttöisissä tiloissa oli myös suunnitelmissa kalliita valaisimia, jotka edelleen hidastivat suunniteltujen valaistusjärjestelmien takaisinmaksua. Kun erilaisia laskelmia tehtiin, oli ympärivuorokauden päällä oleva käytävävalaistus ainut laskelma, missä uudet valaistusratkaisut maksoivat itsensä takaisin niiden elinkaarien aikana. Tulokset ovat taulukossa 6 (ks. sivu 32).

TAULUKKO 13. Kustannuvvertailu koko rakennuksen valaistuksesta.

## Valaistusratkaisujen kustannusvertailu

Yleiset tiedot	Uusi valaistus - KNX-väylä	Uusi valaistus - DALI-väylä	Nykyinen valaistus
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailuratkaisu...)			Nykyinen valaist...
Valaisintyyppien lukumäärä	18	18	18
Valaisintyytit	228 - DTI type 2... 4 - DTI type 2 Beta 11 - DTI type 2 B... ...	228 - DTI type 2... 4 - DTI type 2 Beta 11 - DTI type 2 B... ...	153 - 6670-158 2 - 6670-158 8 - 6670-158 ...
Valaisimien lukumäärä	545	545	595
Valonlähteiden kokonaismäärä	875	875	635
<b>Investointikustannukset</b>			
Valaisimen kokonaiskustannus	125 678,1 EUR	125 678,1 EUR	0 EUR
Valonlähdekustannukset yhteensä	2 445 EUR	2 445 EUR	0 EUR
Asennuskustannukset yhteensä	46 112,45 EUR	45 998 EUR	0 EUR
Materiaali- ja työkustannukset yhteensä	13 765 EUR	13 765 EUR	0 EUR
<b>Investointi</b>	<b>188 001 EUR</b>	<b>187 886 EUR</b>	<b>0 EUR</b>
<b>Energiakustannukset</b>			
Valaistusratkaisun kokonaisteho	27,9 kW	27,9 kW	36,2 kW
Keskimääräinen käyttökerroin	48,2 %	48,2 %	80,3 %
Teho yhteensä	13,5 kW	13,5 kW	29,1 kW
Keskimääräinen toiminta-aika	2 589 h/vuotta	2 589 h/vuotta	2 534 h/vuotta
Energiankulutus yhteensä/vuosi (ilman tyhj...)	34,82719594 MWh/vuotta	34,82719594 MWh/vuotta	73,6499125 MWh/vuotta
tyhjäkäyntiteho yhteensä	185,5 W	185,5 W	0,0 W
Keskimääräinen tyhjäkäyntitehoaika	6 210 h/vuotta	6 210 h/vuotta	- h/vuotta
Tyhjäkäyntienergian kulutus	1,2 MWh/vuotta	1,2 MWh/vuotta	0 Wh/vuotta
Energiankulutus vuodessa	36,0 MWh	36,0 MWh	73,6 MWh
Sähkön hinta	0,1 EUR/kWh		
Energiakustannukset vuodessa	3 598 EUR	3 598 EUR	7 365 EUR
<b>Energiakustannusten nykyarvo</b>	<b>114 389 EUR</b>	<b>114 389 EUR</b>	<b>234 156 EUR</b>
<b>Valonlähdekustannukset</b>			
Valonlähteiden kokonaismäärä	875	875	635
Valonlähteiden vaihtokustannukset yhteensä	9 079,2 EUR	9 079,2 EUR	4 580 EUR
<b>Valonlähdekustannusten nykyarvo</b>	<b>12 132 EUR</b>	<b>12 132 EUR</b>	<b>22 360 EUR</b>
<b>Liitäntälaitteen kustannukset</b>			
Liitäntälaitteen kokonaisvaihtokustannus	64 200 EUR	64 200 EUR	15 950 EUR
<b>Liitäntälaitetekustannusten nykyarvo</b>	<b>5 557 EUR</b>	<b>5 557 EUR</b>	<b>3 256 EUR</b>
<b>Huoltokustannukset</b>			
Huoltokustannukset yhteensä	2 725 EUR	2 725 EUR	2 975 EUR
<b>Huoltokustannusten nykyarvo</b>	<b>25 503 EUR</b>	<b>25 503 EUR</b>	<b>14 372 EUR</b>
<b>Valaistusratkaisun nykyarvo</b>	<b>345 581 EUR</b>	<b>345 467 EUR</b>	<b>274 144 EUR</b>
<b>Kriittinen piste (nykyarvom...)</b>	- vuotta	- vuotta	- vuotta
<b>Tuotto</b>	<b>-71 437 EUR</b>	<b>-71 323 EUR</b>	<b>0 EUR</b>

## 9 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella Kajaanin Oikeus- ja poliisitaloon uusi valaistus ja ohjausjärjestelmä ja tutkia niistä aiheutuvia investointikustannuksia ja niiden tuomia energiansäästöjä nykyiseen valaistusjärjestelmään verraten. Työssä selvitettiin eri valaisintyyppien ja niiden tehojen vaikutusta tarvittavien valaisimien lukumäärään erityyppisten tilojen valaisemiseen standardin mukaisesti. Lisäksi tutkittiin eri valaistushojojärjestelmien tuomia energiansäästöjä ja investointikustannuksia.

Tuloksena suunniteltiin uusi valaistus ja ohjausjärjestelmä ja kustannusvertailua tehtiin kohteesta suhteellisen monipuolisesti. Kaikista tarkemmin analysoiduista laskelmista tulee selväksi se, ettei suunnitelman mukaiset valaistusjärjestelmät maksa itseään takaisin elinkaaren aikana. Ainut vertailu missä suunniteltu valaistus maksaa itsensä takaisin millä tahansa ohjausjärjestelmällä, on käytävä missä valaistus on päällä 24 tuntia vuorokaudessa. Kohteen nykyinen valaistusjärjestelmä on jo 29 vuoden ikäinen, joten on hankalaa arvioida sen kuntoa 25 vuoden päähän. Kohteessa suoritetaan jo tällä hetkellä paljon valaistuksen huoltoa, joten kohteeseen kannattaisi tehdä jo nykyiselle valaistukselle huoltosuunnitelma ja toimia sen mukaisesti.

Laskelmista jäi puuttumaan eri ohjausjärjestelmien ohjelmointiin kuluva työaika ja niiden kaapelointikulut. Näiden seikkojen huomioiminen olisi nostanut investointikustannuksia edelleen ja hankintojen kriittinen piste olisi jäänyt vielä kauemmaksi. On vaikea arvioida, miten kohteen työntekijöihin vaikuttaisi valaistuksen positiivisuus, jos sinne uusi valaistus asennettaisiin ja se heitä miellyttäisi. Kohteessa käydessä kommentteja kuitenkin nykyisestä valaistuksesta tuli ja käyttäjillä oli myös toivomuksia uudesta valaistusjärjestelmästä. Suurin osa nykyisen valaistuksen kommentteista koski valaisimien sijoittelua ja pienempi osa käyttäjistä toivoi monipuolisempaa ohjausmahdollisuutta.

DIALux evoon tutustuminen työn aikana oli mielenkiintoista. DIALux 4 oli jo ennen työn alkamista tuttu ohjelma. DIALux evoa voi kuitenkin suositella muillekin alan ihmisille sen ominaisuuksien takia, vaikka ongelmia ohjelmassa on ja sen raskaus voidaan myös lukea miinukseksi. Ohjelmaan tutustuminen ja käyttäminen kävi nopeasti. Lisäksi DIALux on tehnyt kotisivuillaan ohjelman käyttöön liittyviä opetusvideoita, joista oli myös apua. DIALux evon etuna on ainakin se, ettei standardin mukaisten tulosten saamiseksi tarvitse sijoittaa niin monta laskentakenttää samaan tilaan.

Opinnäytetyö on ollut haastava ja monipuolinen prosessi ja työn aikana on perehdytty syvällisemmin valaistukseen, standardeihin sekä eri ohjausjärjestelmiin. Vaikka työssä ei onnistuttu suunnittelemaan elinkaarikustannuksiltaan edullista uutta valaistusjärjestelmää, voidaan opinnäytetyötä pitää onnistuneena, koska asetetut tavoitteet täyttyivät ja merkittävin osa rakennuksen valaistuksesta oli mukana laskelmissa. Tulevaisuudessa, kun led-valaisimien ja ohjausjärjestelmien komponenttien hinnat edelleen laskevat, on tässä kohteessa paljon säästöpotentiaalia.

## LÄHTEET

COMFORTCLICK. 2012. KNX Topology. [verkkosivu] [Viitattu 2014-4-1.]

Saatavissa: [http://www.comfortclick.com/mediawiki/index.php?title=KNX\\_Topology](http://www.comfortclick.com/mediawiki/index.php?title=KNX_Topology)

FAGERHULT OY. 2012. Indoor Lighting Solutions. Luettelo 2012 - 2013.

HALONEN, Liisa & LEHTOVAARA, Jorma. 1992. Valaistustekniikka. Helsinki: Otatieto

ILMATIETEEN LAITOS, SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS, AALTO-YLIOPISTO. 2010. Energiansäästö ja energiatehokkuus. [verkkosivu] [Viitattu 2014-4-1.]

Saatavissa: <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/75ef09a7-01a2-489a-862e-0dce463a8e1c/energiansaasto-ja-energiatehokkuus.html>

MAUNULA, Mikko. 23-1-2014. Energiakolmio Oy. Taulukot Kajaanin oikeus- ja poliisitalon vuotuisista energiankulutuksista vuosilta 2010 - 2013. [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Timo Utriainen. [Viitattu 2014-4-1.]

MOTIVA OY. 2013. EcoDesign direktiivi. [verkkosivu] [Viitattu 2014-4-1.]

Saatavissa: <http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/ecodesign-direktiivi>

MOTIVA OY & STEK RY. 2009. Valaistusta on uusittava! [verkkoaineisto] [Viitattu 2014-4-1.]

Saatavissa:

[http://www.motiva.fi/files/2096/Valaistusta\\_on\\_uusittava\\_Tarkeaa\\_tietoa\\_kuntien\\_paattajille.pdf](http://www.motiva.fi/files/2096/Valaistusta_on_uusittava_Tarkeaa_tietoa_kuntien_paattajille.pdf)

OSRAM. 2014. Led-maailma: ammattitietoa ledistä. [verkkosivu] [Viitattu 2014-4-1.]

Saatavissa: [http://www.osram.fi/osram\\_fi/uutiset--tiedot/led/ammattitietoa/index.jsp](http://www.osram.fi/osram_fi/uutiset--tiedot/led/ammattitietoa/index.jsp)

PHILIPS. 2014. Tuoteluettelo. Lamput ammattivalaistus. [verkkosivu] [Viitattu 2014-4-1.]

Saatavissa: <http://www.ecat.lighting.philips.fi/l/lamput-ammattivalaistus/loistelamput/tl5-loistelamput/36460/cat/>

POLIISIHALLITUS. 2014. Kainuun poliisilaitos. [verkkosivu] [Viitattu 2014-4-1.]

Saatavissa:

<http://www.poliisiammattikorkeakoulu.fi/poliisi/kainuu/home.nsf/pages/indexfin?opendocument>

SFS-EN 12464-1. 2011. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. 2. Painos. Suomen Standardoimisliitto

SFS-EN 15193. 2008. Rakennusten energiatehokkuus. Valaistuksen energiatehokkuus. Suomen Standardoimisliitto.

SIIROINEN, Roope. Valoa Design rhs Oy. [s.a]. EuP-direktiivin vaikutusten arviointi: Tie- ja katuvalaistus sekä toimistovalaistus. [verkkoaineisto] [Viitattu 2014-4-1.]

Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/2648/EuP-direktiivin\\_vaikutusten\\_arviointi\\_Tie- ja\\_katuvalaistus\\_seka\\_toimistovalaistus.pdf](http://www.motiva.fi/files/2648/EuP-direktiivin_vaikutusten_arviointi_Tie- ja_katuvalaistus_seka_toimistovalaistus.pdf)

SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA D2. 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Ympäristöministeriö. [verkkoaineisto] [Viitattu 2014-4-1.]

Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf)

SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Ympäristöministeriö [verkkoaineisto] [Viitattu 2014-4-1.]

Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf)

SUOMEN VALOTEKNILLINEN SEURA RY. 2008. Valaistushankintojen energiatehokkuus. Versio 4. Taustaraportti.[verkkoaineisto] [Viitattu 2014-4-1.]

Saatavissa: [http://www.valosto.com/tiedostot/SVS\\_Valaistushankintojen\\_energiatehokkuus\\_V4.pdf](http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf)

TYÖ- JA ELINKEINOMINISTERIÖ. 2011. Energiatehokkuus julkisissa hankinnoissa. [verkkoaineisto] [Viitattu 2014-4-1.]

Saatavissa: <http://www.tem.fi/files/30410/Energiatehokkuus.pdf>

VARSILA, Markku. 2012. Valaistuksen huolto - onko sitä? KT Interior Oy. Valo-lehti 1/2012. [digilehti] [Viitattu 2014-4-1.]

Saatavissa: <http://www.prointerior.fi/catalogue/valolehti.php?magazineID=40&p=32>

VARSILA, Markku. 2010. Valaistuksen ohjaus – lisää laatua ja toiminnallisuutta. KT Interior Oy. [digilehti] [Viitattu 2014-4-1.]

Saatavissa: <http://www.ktinterior.fi/luettelot/ValaistuksenOhjaus/>

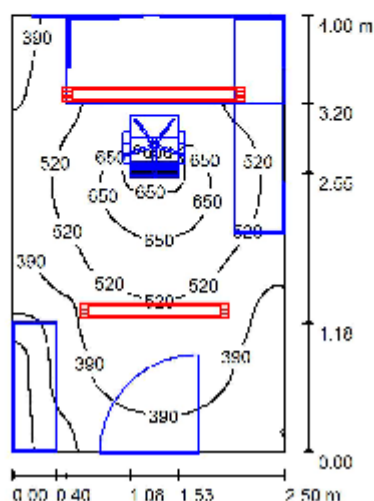
ZVEI. 2006. Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin - KNX peruseräaatteet. 5 painos. KNX Finland ry ja Sähköinfo. (Suomennos: KNX Finland ry, Piikkilä Veijo, Liukku Harri, Parviainen Kari)

## LIITTEET

## LIITE 1: DIALux 4.12 yhteenveto toimistohuoneesta 1

**Kajaanin oikeus- ja poliisitalo** **DIALux**  
07.04.2014

Tekijä Timo Utrainen  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

**Toimistohuone1 10 m<sup>2</sup> / Keinovaistus / Yhteenveto**

Tilan korkeus: 2.800 m, Asennuskorkeus: 2.400 m

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:52

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	482	95	702	0.205
Lattia	20	249	35	428	0.141
Katto	73	489	101	1659	0.208
Seinät (4)	70	191	1.68	844	/

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.850 m  
Rasteri: 64 x 64 Pisteet  
Reuna-alue: 0.000 m

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	1	FAGERHULT 28822 DTI type 2 Beta 2xT16 28 W (1.000)	4923	5200	60.0
2	1	FAGERHULT 28824 DTI type 2 Beta 2xT16 35 W (1.000)	6248	6800	75.0

Yhteensä: 11172 Yhteensä: 11800 135.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: 13.50 W/m<sup>2</sup> = 2.92 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Pohjapinta-ala: 10.00 m<sup>2</sup>)

## LIITE 2: DIALux 4.12 yhteenveto toimistohuoneesta 2

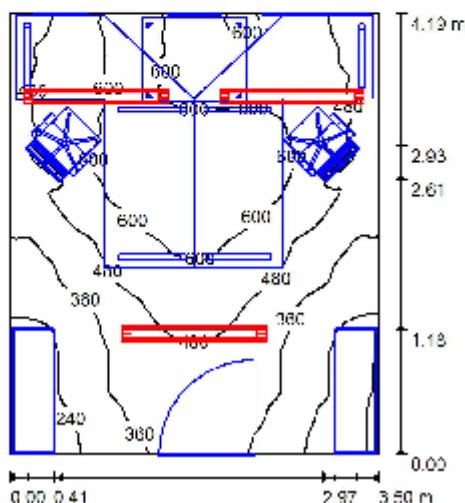
Kajaanin oikeus- ja poliisitalo

DIALux

07.04.2014

Tekijä Timo Utrainen  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

## Toimistohuone 2 / Keinovaalaistus / Yhteenveto



Tilan korkeus: 2.800 m, Asennuskorkeus: 2.400 m

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:54

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	464	107	672	0.231
Lattia	20	158	35	332	0.224
Katto	73	461	82	1619	0.177
Seinät (4)	70	190	9.95	750	/

## Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m  
Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
Reuna-alue: 0.000 m

## Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	3	FAGERHULT 28822 DT1 type 2 Beta 2xT18 28 W (1.000)	4923	5200	60.0
			Yhteensä: 14789	Yhteensä: 15600	180.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $12.27 \text{ W/m}^2 = 2.65 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $14.67 \text{ m}^2$ )



## LIITE 3: DIALux 4.12 yhteenveto toimistohuoneesta 3

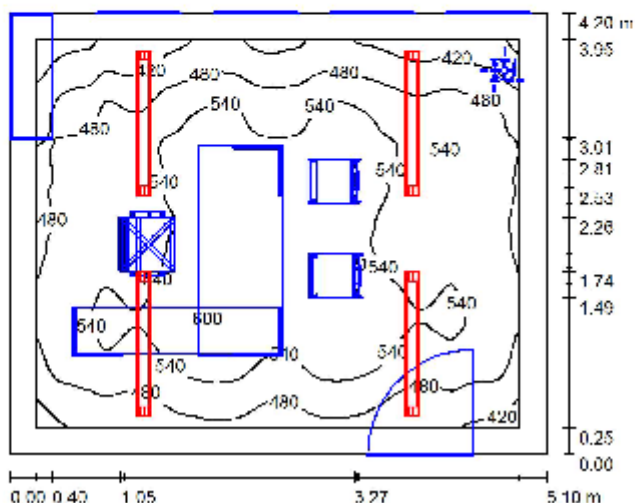
Kajaanin oikeus- ja poliisitalo

DIALux

07.04.2014

Tekijä Timo Utrainen  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

## Toimistohuone 3 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 2.800 m, Asennuskorkeus: 2.400 m

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:54

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	512	312	606	0.608
Lattia	20	308	67	424	0.219
Katto	73	433	131	1605	0.303
Seinät (4)	70	210	15	438	/

## Käyttötaso:

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

## Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	4	FAGERHULT 28822 DT1 type 2 Beta 2xT18 28 W (1.000)	4923	5200	60.0
Yhteensä:			19692	Yhteensä: 20800	240.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $11.20 \text{ W/m}^2 = 2.19 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $21.42 \text{ m}^2$ )

## LIITE 4: DIALux evon laskentatulosten yhteenveto toimistohuoneesta 2

Kajaanin oikeus- ja poliisitalo

7.4.2014

DIALux

Ympäristö 1 / Rakennus 1 / Korras 1 / Toimistohuone 2 / Tulokalien yhteenveto, EN 12464

## Toimistohuone 2 / Tuloksien yhteenveto, EN 12464

## Kohtisuora valaistusvoimakkuus

Nimi	Keski [lx]	Min. [lx]	Maks. [lx]	Min./keskim.	Min./ maks.	Pisteet (näistä tärkeitä)
Seinän laskentaobjekti 1	368	218	671	0.692	0.381	3 x 17 (kaikki)
Seinän laskentaobjekti 2	366	266	772	0.719	0.331	10 x 6 (kaikki)
Seinän laskentaobjekti 3	700	476	1201	0.678	0.396	6 x 3 (kaikki)
Seinän laskentaobjekti 4	362	260	779	0.710	0.321	10 x 6 (kaikki)
Seinän laskentaobjekti 5	388	206	674	0.629	0.306	3 x 32 (kaikki)
Yhteenveto	421	206	1201	0.49	0.17	

## Kohtisuora valaistusvoimakkuus

Nimi	Keski [lx]	Min. [lx]	Maks. [lx]	Min./keskim.	Min./ maks.	Pisteet (näistä tärkeitä)
Katon laskentaobjekti 6	668	281	1762	0.427	0.161	6 x 4 (kaikki)

## Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva)

Nimi	Keski [lx]	Min. [lx]	Maks. [lx]	Min./keskim.	Min./ maks.	Pisteet (näistä tärkeitä)
Tausta-alue 1	461	331	677	0.736	0.676	6 x 7 (19)
Näkötehtävän alue 1	698	667	801	0.797	0.696	6 x 7 (19)
Ympäriövä alue 1	617	473	724	0.766	0.663	7 x 9 (17)
Yhteenveto	/	331	801	/	/	

## Horisontaali valaistusvoimakkuus

Nimi	Keski [lx]	Min. [lx]	Maks. [lx]	Min./keskim.	Min./ maks.	Pisteet (näistä tärkeitä)
Työkohde 2	672	301	919	0.448	0.328	7 x 8 (62)

## Sylinterivalaistusvoimakkuus

Nimi	Keski [lx]	Min. [lx]	Maks. [lx]	Min./keskim.	Min./ maks.	Pisteet (näistä tärkeitä)
Työkohde 2	296	191	403	0.647	0.474	7 x 8 (62)

Työkohde 2 - Mallinnus (sylinterisestä horisontaalivalaistusvoimakkuuteen): 0.439 (0.277 - 0.662)

Tärkeitä pisteitä ovat pisteet, jotka ovat kulloisenkin pinnan sisäpuolella eivätkä huonekalujen tai muiden objektien peittämiä. Yhteenvedettävät tulokset perustuvat yksinomaan näihin pisteisiin. Muut pisteet väärinäisivät tuloksia osittain erittäin paljon.

## LIITE 5: Laskentatulokset toimistohuoneista 1 ja 3

TAULUKKO 14. Laskentatulokset toimistohuoneista 1 ja 3

<b>DIALux 4.12 laskentatulokset</b>	Toimistohuone 1 10 m <sup>2</sup>	Toimistohuone 3 20 m <sup>2</sup>	Vaatus
Työalue, E <sub>m</sub> (lx)	523	(512)	500
Tasaisuus, U <sub>0</sub> E <sub>min</sub> /E <sub>m</sub>	0,83	(0,61)	≥0,6
Välitön lähiympäristö, E <sub>m</sub> (lx)	536		300
Tasaisuus, U <sub>0</sub> E <sub>min</sub> /E <sub>m</sub>	0,61		≥0,4
Tausta-alue, E <sub>m</sub> (lx)	431		100
Tasaisuus, U <sub>0</sub> E <sub>min</sub> /E <sub>m</sub>	0,56		≥0,1
Sylinterivalaistusvoimakkuus (lx)	259	228	150
Muodonanto	0,34	0,34	0,3-0,6
UGR-arvo	19	16	≤19
Teho W/m <sup>2</sup> /100lx	2,92	2,46	-

Toimistohuoneen 3 käyttö vaihtelee rakennuksessa. Se voi olla eri osastojen johtajan toimisto tai vaihtoehtoisesti siellä sijaitsee työpisteet kahdelle henkilölle. Tästä syystä toimistoon suunniteltiin valaistus, joka täyttää koko tilassa yli 500 lx vaatimuksen ja sen tasaisuuden vaatimus on taulukkoarvosta poiketen 0,4.

## LIITE 6: DIALux 4.12 yhteenveto tyypillisestä käytävästä rakennuksessa

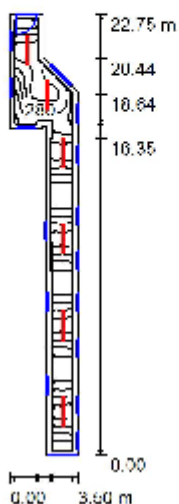
Kajaanin oikeus- ja poliisitalo

DIALux

07.04.2014

Tekijä Timo Utrainen  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

## Käytävä / Yhteenveto



Tilan korkeus: 2.500 m, Asennuskorkeus: 2.500 m

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:203

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	255	57	405	0.225
Lattia	20	185	87	265	0.468
Katto	73	45	26	66	0.593
Seinät (12)	50	95	26	327	/

## Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m  
Rasteri: 128 x 32 Pisteet  
Reuna-alue: 0.250 m

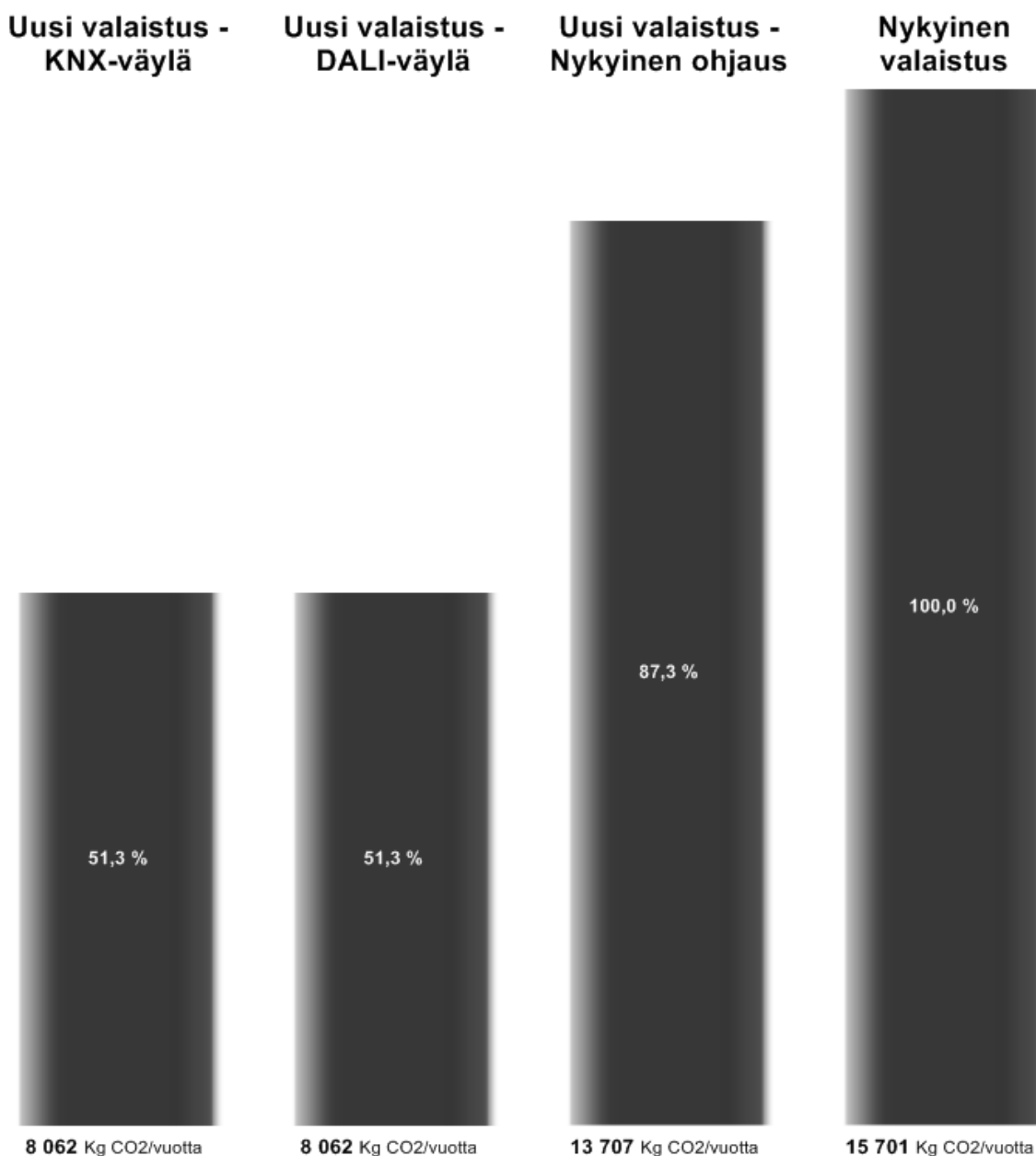
## Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	6	Fagerhult 25488 MultiFive Basic Beta 1xT5 35 W (1.000)	3030	3300	38.0
Yhteensä:			18180	Yhteensä: 19800	228.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $5.36 \text{ W/m}^2 = 2.10 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $42.50 \text{ m}^2$ )

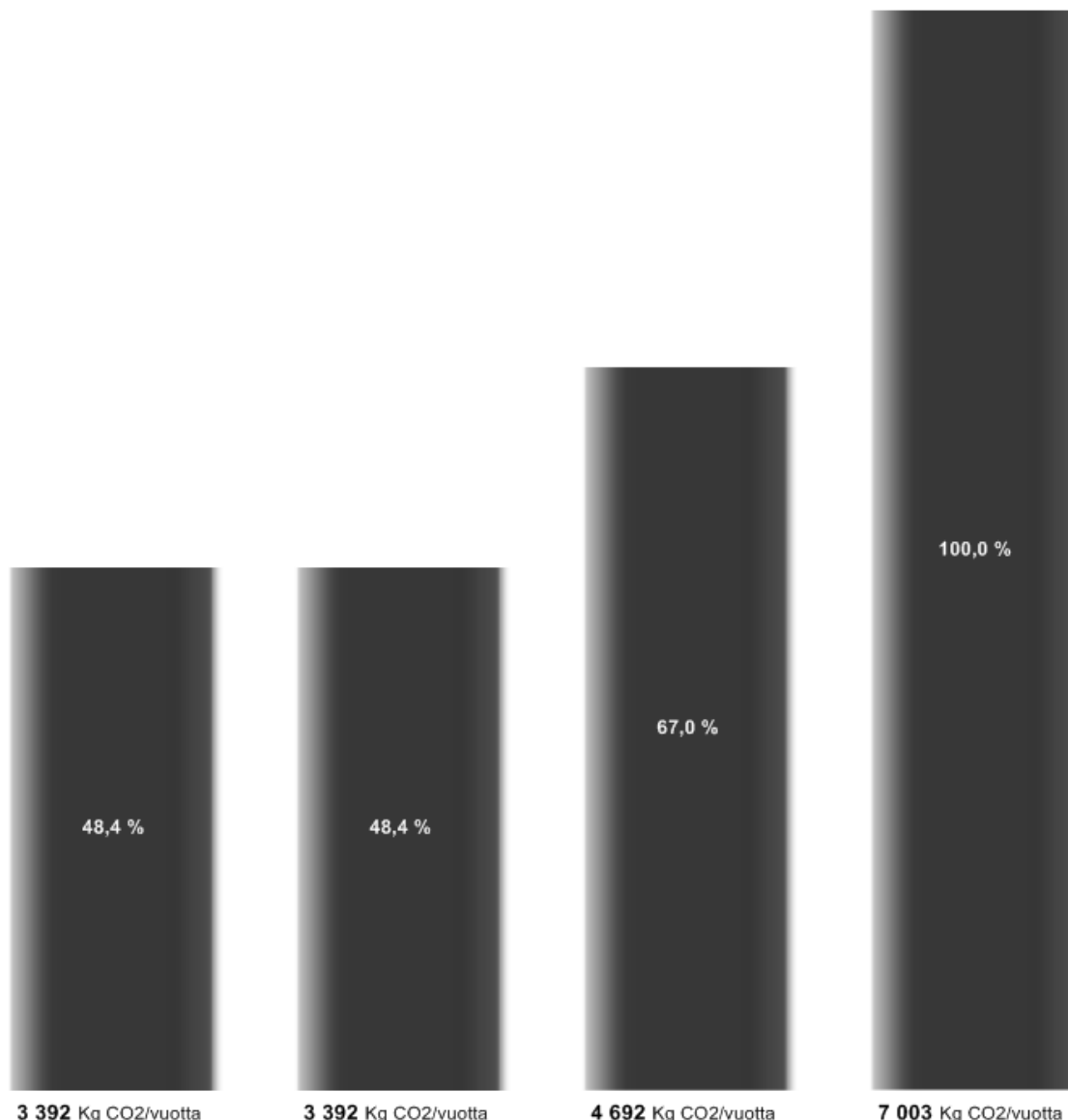
LIITE 7: Hiilidioksidin muodostuminen toimistohuoneiden valaistuksesta

## CO<sub>2</sub>-muodostus



CO <sub>2</sub> - muodostus/vuosi	Uusi valaistus - KNX-väylä	Uusi valaistus - DALI-väylä	Uusi valaistus - Nykyinen o...	Nykyinen valaistus
Energiankulutus vuodessa	19,43 MWh	19,43 MWh	33,03 MWh	37,83 MWh
CO <sub>2</sub> kerroin	0,415 Kg CO <sub>2</sub> /KWh			
CO <sub>2</sub> - muodostus/vuosi	8 062 Kg CO <sub>2</sub> /vuotta	8 062 Kg CO <sub>2</sub> /vuotta	13 707 Kg CO <sub>2</sub> /vuotta	15 701 Kg CO <sub>2</sub> /vuotta

## LIITE 8: Hiilidioksidin muodostuminen käytävien valaistuksesta

**CO<sub>2</sub>-muodostus****Uusi valaistus -  
KNX-väylä****Uusi valaistus -  
DALI-väylä****Uusi valaistus -  
Nykyinen ohjaus****Nykyinen  
valaistus**3 392 Kg CO<sub>2</sub>/vuotta3 392 Kg CO<sub>2</sub>/vuotta4 692 Kg CO<sub>2</sub>/vuotta7 003 Kg CO<sub>2</sub>/vuotta**CO<sub>2</sub> - muodostus/vuosi**

Energiankulutus vuodessa

CO<sub>2</sub> kerroin0,415 Kg CO<sub>2</sub>/KWh**Uusi valaistus  
- KNX-väylä**

8,17 MWh

**Uusi valaistus  
- DALI-väylä**

8,17 MWh

**Uusi valaistus  
- Nykyinen o...**

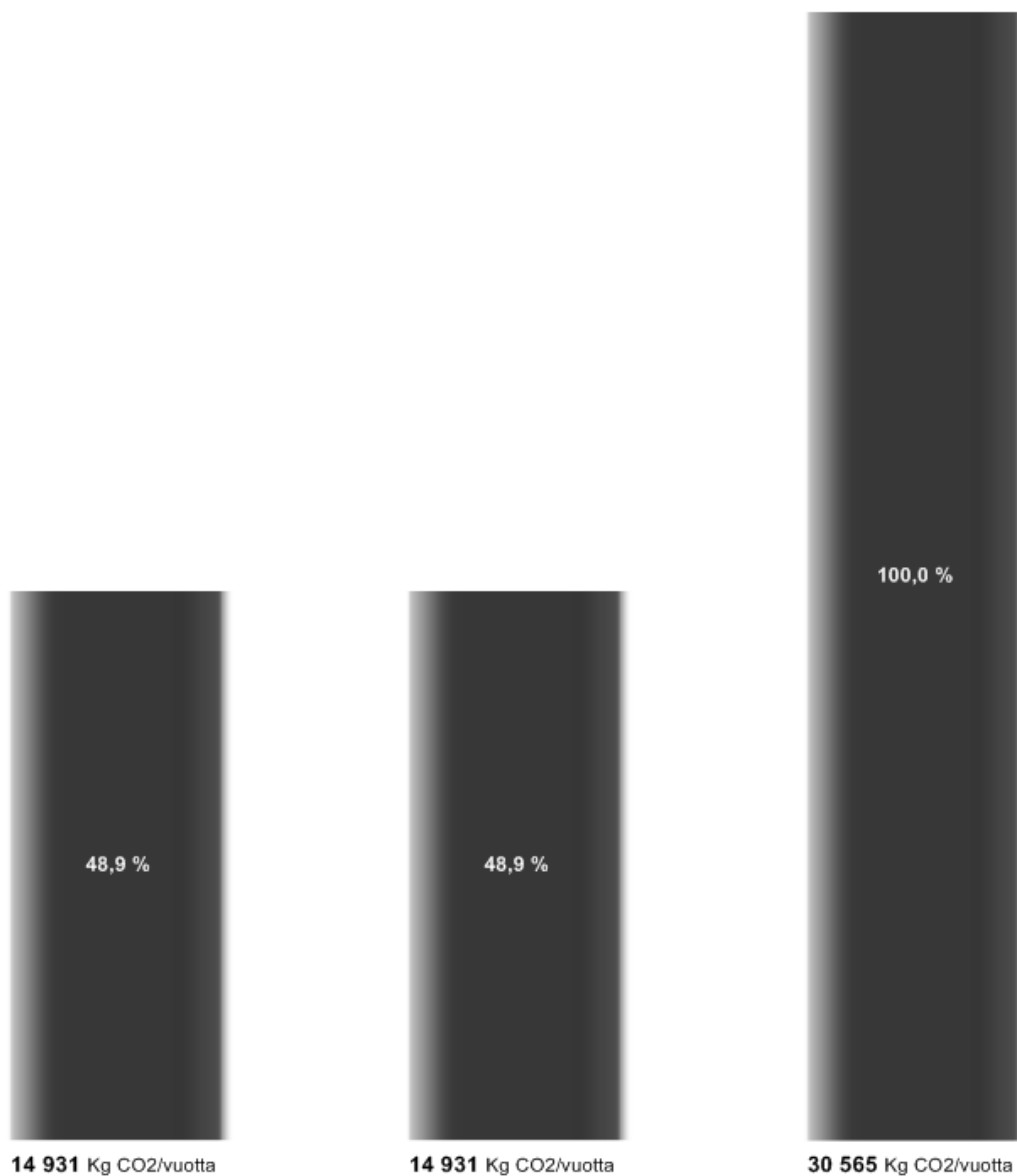
11,3 MWh

**Nykyinen  
valaistus**

16,88 MWh

**CO<sub>2</sub> - muodostus/vuosi**3 392 Kg CO<sub>2</sub>/vuotta 3 392 Kg CO<sub>2</sub>/vuotta 4 692 Kg CO<sub>2</sub>/vuotta 7 003 Kg CO<sub>2</sub>/vuotta

## LIITE 9: Hiilidioksidin muodostuminen koko rakennuksen valaistuksesta

**CO<sub>2</sub>-muodostus****Uusi valaistus - KNX-väylä****Uusi valaistus - DALI-väylä****Nykyinen valaistus****CO<sub>2</sub> - muodostus/vuosi**

Energiankulutus vuodessa

CO<sub>2</sub> kerroin**0,415 Kg CO<sub>2</sub>/KWh****Uusi valaistus -  
KNX-väylä****35,98 MWh****Uusi valaistus -  
DALI-väylä****35,98 MWh****Nykyinen  
valaistus****73,65 MWh****CO<sub>2</sub> - muodostus/vuosi****14 931 Kg CO<sub>2</sub>/vuotta****14 931 Kg CO<sub>2</sub>/vuotta****30 565 Kg CO<sub>2</sub>/vuotta**

LIITE 10: Kustannuskehitysvertailu nykyarvomenetelmällä huomioiden koko rakennuksen valaistus

