



ENERGIATEHOKAS VALAISTUS JA DIALUX EVON HYÖDYNTÄMINEN ENERGIATEHOKKAAN VALAIS- TUKSEN SUUNNITTELUSSA

Petri Vinnikainen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2013
Talotekniikan koulutusoh-
jelma
Sähköinen talotekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
Sähköinen talotekniikka

VINNIKAINEN, PETRI:

Energiatehokas valaistus ja DIALux evon hyödyntäminen energiatehokkaan valaistuksen suunnittelussa

Opinnäytetyö 50 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Huhtikuu 2013

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin DIALux evon soveltuvuuteen valaistussuunnittelussa ja evo-ohjelman ominaisuuksiin sekä toimintoihin. Työssä suunnittelukohteena oli Finnish Consulting Group Oy:n Tampereella sijaitseva toimistorakennus. Tilan valaistus on tällä hetkellä melko vanha ja uuden valaistussuunnitelman tekoa työstiin DIALux evolla. Valaistuslaskentaohjelmaan tutustumisen lisäksi työssä pohdiskeltiin energiansäästön mahdollisuuksia valaistuksessa. Työssä selvitettiin myös uuden valaistussuunnitelman elinkaarikustannuksia ja vertailtiin niitä nykyiseen valaistukseen kohdekiinteistöissä.

Työssä käsitellään valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Muun muassa uusien ja käytössä olevien rakennusten energian säästämiseen liittyviä asetuksia kiristetään jatkuvasti. Jotta näihin vaadittuihin tavoitteisiin päästäisiin, on valaistukseenkin haettava säästötoimenpiteitä. Valaistuksen huoltaminen suunnitellun aikataulun mukaisesti korostuu, kun halutaan ylläpitää hyvä valaistustaso ja näkötehtävälle asetetut vaatimukset. Myös valaistuksen ohjaus on tärkeää, kun tavoitteena on laadukas ja energiaa säästävä ratkaisu. Työssä on perehdytty valaistusstandardin SFS-EN 12464-1-2011 velvoittaviin ohjeistuksiin erityisesti toimistotiloissa.

Työn tuloksista havaitaan, että hyvin suunnitellulla valaistuksella ja sen ohjauksella voidaan saavuttaa huomattavat energiansäästöt. Kalliiden investointikustannusten tutkimisen sijaan kannattaa keskittyä valaistuksen elinkaarikustannusten tarkasteluun. DIALux evon käyttökokemuksista jäi sekä hyviä että huonoja ajatuksia. Ohjelma on erittäin kehityskelpoinen, jonka vuoksi olisi tärkeää parantaa laskentaominaisuuksia sekä kokonaisuuden hallintaa. DIALux evon grafiikka on parempi kuin DIALux 4 -ohjelmassa ja tilakokonaisuuksien sekä eri kerrosten hallittavuus voidaan laskea DIALux evon vahvuuksiksi. Tällä hetkellä yleisesti valaistuslaskennassa käytetään DIALux 4-ohjelmaa, jossa laskentatoiminnot ovat monipuolisia ja ne toimivat hyvin. DIALux evo on vielä suhteellisen tuore ohjelma ja kehitystyötä toimintojen parantamiseksi tul- laan varmasti tekemään, jotta käyttö saadaan mahdollisimman tehokkaaksi.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
Electrical Services

VINNIKAINEN, PETRI:

Energy-efficient Lighting and Using DIALux evo in Energy-efficient Lighting Planning

Bachelor's thesis 50 pages, appendices 6 pages

April 2013

The purpose of this thesis was to familiarize lighting planning program called DIALux evo and figure out how it works, what the features are, and how the program apply to lighting planning. The subject of planning was made for Finnish Consulting Group PLC. They have office building in Tampere. The present lighting system is quite old and the new lighting planning was made by DIALux evo. In addition to inspecting the program, energy saving factors in lighting were taken into consideration. Life cycle costs were also made for the new lighting system as compared to the present lighting system.

This study is explored by the factors that affect to energy efficiency. New orders of energy saving area are being tightened constantly including new buildings and also buildings which are in use at the moment. In order for these goals to be reached, searching of new saving methods is needed within lighting area. Planning the schedule to the maintenance of lighting is important when good light level is aimed to be maintained and requirements to visual task are needed. Lighting control systems are also important when quality and energy saving costs are taken into consideration. This study inspects obligations of lighting standard SFS-EN 12464-1-2011 focusing on offices.

The findings indicate that investing to good lighting planning and control system can together reach significant energy savings. It is reasonable to review life cycle costs during planned lifetime period instead of checking expensive investment costs. The experience in using DIALux evo brings up both good and bad thoughts. The program contains good preparedness to be developed forward when calculation properties of areas and controlling of whole building would work effectively. The program is still quite new and development of improve operations is needed to be done. Lighting calculation is commonly used by DIALux 4-program at the moment, which has diverse calculation operations and they work well. There is still work with DIALux evo to catch up, so that it is possible to use the program in an effective way.

Key words: DIALux evo, energy efficiency, lighting

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	VALAISTUKSEN VAIKUTUS ENERGIATEHOKKUUTEEN.....	9
2.1	Valaistuksen energiankulutus	9
2.1.1	Loisteputkivalaisimien kehitys	11
2.1.2	Valaisinhuollon merkitys	13
2.2	Valaistuksen ohjauksen merkitys.....	17
2.2.1	Läsnäolotunnistus.....	17
2.2.2	Vakiovalo-ohjaus	18
2.3	LENI-luku	19
3	VALAISTUKSEN SUUNNITTELU TOIMISTOTILOIHIN	21
3.1	Valovoima.....	21
3.2	Valovirta	22
3.3	Valaistusvoimakkuus	22
3.4	Luminanssi.....	23
3.5	Valaistusstandardin määräykset.....	23
3.5.1	Työalueen määrittäminen	24
3.5.2	Luminanssijakauma.....	26
3.5.3	Häikäisy.....	27
3.5.4	Sylinterivalaistusvoimakkuus	27
3.5.5	Muodonanto	28
3.5.6	Värintoisto.....	28
4	DIALUX EVON KÄYTTÖ VALAISTUSSUUNNITTELUSSA JA ELINKAARIKUSTANNUSTEN HUOMIOMINEN KOHDEKIINTEISTÖSSÄ	29
4.1	Valaistuksen suunnittelu DIALux evo-ohjelmalla	29
4.1.1	Kohteen tiedot	30
4.1.2	Valaistuksen nykytilanne	31
4.1.3	Rakenteiden ja objektien luonti DIALux evolla	32
4.1.4	Valaisimien valinta kohteeseen.....	33
4.1.5	Valaisimien sijoittelu	34
4.1.6	Laskentakohdeet ja dokumentointi DIALux evolla	36
4.2	Elinkaarikustannukset	39
5	POHDINTA.....	42
	LÄHTEET.....	43
	LIITTEET	45
	Liite 1. Tyypillisiä alenemakertoimen arvoja keskikokoisessa huonetilassa puhtausluokka huomioon ottaen (CIE 97:2005, 16)	45

Liite 2. Valaisimet sijoitettuna DIALux evolla pohjakuvaan.....	46
Liite 3. Dialux evon yhteenveto uudesta valaistussuunnitelmasta työhuoneen 2 osalta	47
Liite 4. Dialux 4:n yhteenveto uudesta valaistussuunnitelmasta työhuoneen 2 osalta	48
Liite 5. Dialux 4:n yhteenveto nykyisestä valaistussuunnitelmasta työhuoneen 2 osalta	49
Liite 6. Elinkaarikustannusvertailu käyttäen Fagerhultin Life Cost Calculatoria	50

LYHENTEET JA TERMIT

Φ	Valovirta lumen [lm], ilmaisee valonlähteen tuottaman kokonaisvalomäärän
E	Valaistusvoimakkuus luksa [lx], kuvaa tietylle pinnalle saapuvan valovirran määrän
\bar{E}_m	Keskimääräinen valaistusvoimakkuus
\bar{E}_z	Keskimääräinen sylinterivalaistusvoimakkuus
I	Valovoima kandela [cd], ilmaisee, kuinka paljon valoa säteilee valonlähteestä tiettyyn suuntaan
L	Luminanssi kandela neliömetrille [cd/m^2], kuvaa kohteen pinnan valotiheyttä eli pintakirkkautta
R_a	Värintoistoindeksi (0-100 %), ilmaisee valonlähteen kykyä toistaa tiettyjä värejä suhteessa annettuun vertailuvalonlähteeseen
U_o	Tasaisuus [E_{\min}/E_m], kuvaa määritetyn pinnan valaistusvoimakkuuden minimiarvon suhdetta keskiarvoon
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage, kansainvälinen valaistuskomissio
LENI	Lighting Energy Numeric Indicator, standardin EN 15193–2008 mukainen valaistuksen energiatehokkuusindeksi
UGR	Unified Glare Rating, kiusahäikäisyindeksi

1 JOHDANTO

Nykypäivänä yleisenä trendinä on, että energiaa tulee säästää mahdollisuuksien mukaan joka osa-alueella arkipäiväisen kulutuksen kohteissa. Teknologia kehittyy jatkuvasti ympäristöystävällisempään suuntaan, koska vasta viime vuosina on havahduttu kiinnittämään huomiota tulevaisuuden ongelmiin. Materiaalien käyttö esimerkiksi elektroniikkakomponenttien saralla on kehitettävä siten, että myös tulevaisuudessa valmistuksessa on saatavilla tarvittavia ainesosia. Materiaaleja on jatkossa pystyttävä hyödyntämään ja kierrättämään käyttöään päättyessä. Ympäristöä säästävää kehitystä tehdään autojen päästöjen sekä kulutuksen vähentämiseen koskien ja siitä kilpaillaan tällä hetkellä valmistajien kesken. Tämä on kuitenkin vain yksi osa ympäristöä säästävää kehitystä. Myös rakennusten energiatehokkuuteen on alettu panostaa viime vuosien aikana ja valaistuksella on merkittävä rooli rakennuksen energiatehokkuuden parantamisessa.

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan valaistuksen energiatehokkuustekijöihin ja niiden vaikutuksiin etenkin toimistorakennuksissa. Työssä tutkitaan asetuksia ja määräyksiä, joita on viime aikoina tullut energia-alalle entistä enemmän ja myös valaistuksen tasolle on asetettu tavoitteita, joihin tulee pyrkiä. Lisäksi valaistuksen ohjauksen merkitys korostuu energiansäästöstä puhuttaessa. Suunnittelun kannalta on tärkeää tuntea valaistusstandardin vaatimukset ja termit, joita käsitellään teoriaosiossa. Suunnittelutyötä avustavat nykyään tietokoneohjelmat, jotka pystyvät laskemaan erilaisia arvoja esimerkiksi valaistuksen osalta. Työssä haluttiin tutustua melko uuteen DIALux evo -valaistuslaskentaohjelmaan ja sen mahdollisuuksiin suunnittelussa.

Selvityksen kohteena on Finnish Consulting Group Oy:n Tampereen toimipisteen toimistotila. Työntekijät tekevät yrityksessä pääosin näyttöpäätetyöskentelyä, jolloin valaistuksella on suuri vaikutus työviihtyvyyteen ja hyvinvointiin. Kohteen nykyiset valaisimet ovat melko vanhoja, jonka vuoksi opinnäytetyössä haluttiin selvittää kohteen valaistuksen energiatehokkuuden parantamismahdollisuuksia ja DIALux evon mahdollisuuksia osana energiatehokasta valaistussuunnittelua.

DIALux evon avulla huonetiloja sekä valaistusta pystytään mallintamaan ja hallitsemaan kokonaisuutena rakennuksen eri kerrokset huomioon ottaen. Tämä ei ole ollut aikaisemmin DIALux 4 -ohjelmassa mahdollista. Opinnäytetyössä halutaankin selvittää,

onko DIALux evo valmis korvaamaan tai ainakin haastamaan tällä hetkellä laajasti käytössä olevan DIALux 4 -ohjelman. Myös ohjelman laskentatyökalut ovat tarkastelun kohteena, eli ovatko kattavat laskentatoimenpiteet ja työkalut siirretty 4 -ohjelmasta evoon.

Tavoitteena on laskea uudelle valaistusjärjestelmälle elinkaarikustannukset ja verrata niitä nykyiseen valaistusratkaisuun. Ohjauksen vaikutus otetaan laskennoissa huomioon ja selvitetään siitä saatava hyöty energiansäästön näkökulmasta. Opinnäytetyössä ei oteta huomioon tiettyä ohjausjärjestelmää, vaan ohjauksia käsitellään yleisesti kokonaisuutena ja tutkitaan niiden vaikutuksia uuden valaistusratkaisun rinnalla.

2 VALAISTUKSEN VAIKUTUS ENERGIAITEHOKKUUTEEN

Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat monet eri tekijät, kuten valaisintyyppit, ympäristö jossa työskennellään ja valaistuksen ohjaus. Keskittyminen vain yhteen osaluokkaan ei takaa parasta hyötyä energiatehokkuudessa, vaan valaistusta pitää tarkastella kokonaisuutena. Tässä luvussa käsitellään energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ja keskitytään toimistorakennuksissa yleisimmin käytettyjen loisteputkivalaisimien ominaisuuksiin, valaisinhuoltoon sekä valaistuksen ohjauksen merkitykseen.

2.1 Valaistuksen energiankulutus

Energiatehokkuuden parantamisella on päämääränä kasvihuonekaasupäästöjen kustannustehokas vähentäminen. EU on asettanut yhteiseksi tavoitteeksi kasvattaa energiatehokkuutta 20 % vuoteen 2020 mennessä. Ilmastopoliittisten asioiden lisäksi energiaa kannattaa edelleen säästää myös perinteisten vaikutusten vuoksi. Kulutuksen vähentämisellä voidaan vaikuttaa energian saatavuuden turvaamiseen myös tulevaisuudessa, energiakustannusten alentamiseen ja muihin ympäristönäkökohtiin. (Energiatehokkuus 2013.)

Valaistuksella on merkittävä vaikutus rakennusten energiankulutukseen. Jos tarkastellaan esimerkiksi toimistorakennuksia, niin valaistuksen osuus sähkön kulutuksesta on suunnilleen 20–30 %. Valaistuksen energiatehokkuuden parantamiseksi voidaan vaikuttaa käyttämällä kohteessa energiatehokkaita valonlähteitä sekä hyödyntämällä käyttötarpeisiin soveltuvia valaistuksen ohjaus- ja säätölaitteita. Myös luonnonvaloa on hyödynnettävä tehokkaasti ja valaistus on toteutettava siten, että saadaan optimoitua valon määrää. (Energiatehokkuus julkisissa hankinnoissa 2011, 11.)

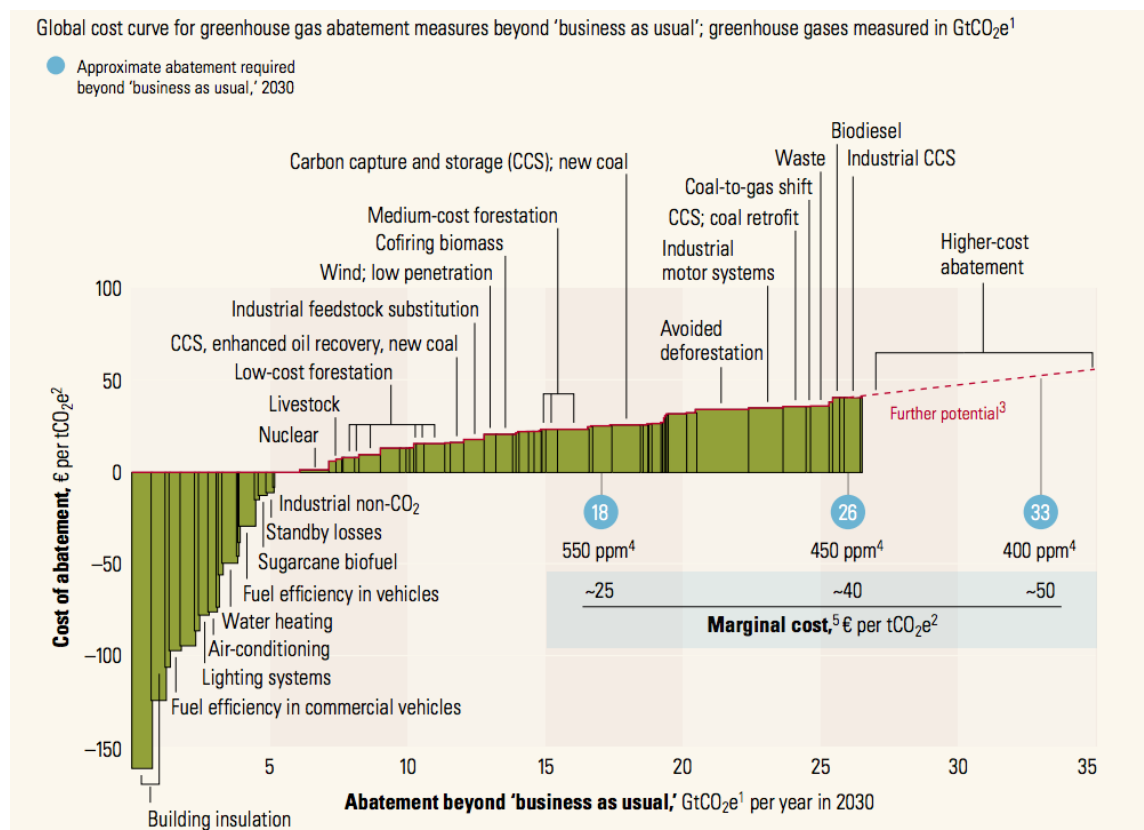
Vanhalla tekniikalla toteutetun valaistusjärjestelmän uusimisella, tehokkaiden ohjausjärjestelmien käytöllä ja valaistustavoitteiden tarkentamisella voidaan energiaa säästää 30–70 % käyttökohteesta riippuen (Valaistusta on uusittava 2009, 4). Säästöpotentiaalia siis löytyy. Valaisimiin ja valonlähteisiin on panostettu viime vuosina huomattavasti. Valaisimiin on tullut enemmän tekniikkaa, joka mahdollistaa ohjausjärjestelmien tehokkaan käytön yhdessä valaisimien kanssa.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 painottuu pääosin rakennuksen sisäilmastoon ja ilmanvaihtoon. Tekstissä viitataan myös valaistukseen ja samalla velvoitetaan, että valaistus on suunniteltava ja toteutettava käyttöaikana siten, ettei energiaa kuluteta tarpeettomasti. Valaistuksessa ei kuitenkaan saa tinkiä näkötehtäväalueen edellyttämästä tasosta. Ohjeistuksessa on viitattu myös ohjauksen merkitykseen siten, että valaistusta tulee voida muunnella erilaisiin tehtäviin sopivaksi ja luonnonvaloa on hyödynnettävä mahdollisuuksien mukaan. (Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 2012, 8.)

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 painottuu rakennusten energiatehokkuuteen. Se sisältää rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen eli E-luvun laskennassa tarvittavat ohjeet ja velvoitteet. Nykypäivänä uusille rakennuksille vaaditaan E-luvun laskenta, joka tarkoittaa energiamuotojen kertoimilla painotettua rakennuksen vuotuista ostoenergiankulutusta rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden (Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 2012, 8). Ostoenergiankulutukseen liittyy lämmityskustannusten lisäksi myös olennaisesti valaistuksesta aiheutuvat kulut. Valaistuksen energiankäytön mittaukselle on asetettu vaatimuksia Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 uudistumisen myötä. Toimisto-, liike-, majoitusliike- ja opetusrakennuksien sekä päiväkotien, liikuntahallien ja sairaaloiden kiinteä valaistusjärjestelmä on varustettava sähkönkulutuksen mittauksella (Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 2012, 16–17). Standardissa SFS-EN 15193 (Rakennusten energiatehokkuus – Valaistuksen energiatehokkuus 2008, 18) suositellaan valaistuksen energiankulutuksen mittaukseen käytettäväksi jotakin seuraavista tavoista:

- a) mittaamalla kWh-mittarilla valaistukseen kuuluvien piirien energiankulutus asennuksen syöttöpisteestä
- b) valaistuksen ohjausjärjestelmän säätimiin paikallisesti sisällytetyillä tai kytkettyillä tehomittareilla
- c) valaistuksen ohjausjärjestelmällä, joka pystyy laskemaan kohteen energiankulutuksen ja välittämään tiedon koko rakennusautomaatiojärjestelmälle
- d) valaistuksen ohjausjärjestelmällä, joka pystyy laskemaan kohteen tietyn osan alueen energiankulutuksen ja valmistelevaan tästä esimerkiksi taulukkolaskentamuotoon soveltuvan version
- e) valaistuksen ohjausjärjestelmällä, joka havainnoi käyttöajan, valaistuksen himmennuksen ja vertaa sitä tietokantaan asetettuun arvoon kokonaistehosta.

Sähköyhtiö Vattenfall sekä konsulttiyhtiö McKinsey ovat selvittäneet vuonna 2007 julkaistussa raportissaan kasvihuonekaasujen vähentämisen mahdollisuuksia yleisimpien teknologioiden osalta ja vertailleet niiden vaikutuksia kustannuksiin. Tutkimuksessa on arvioitu kustannuskäyrien avulla vaikutuksia hiilidioksidipäästöihin vuonna 2030 kuvion 1 mukaisesti (McKinsey & Vattenfall 2007, 38). Kustannuksista havaitaan, että osa luvuista on negatiivisia. Nämä ovat energiatehokkuutta edistäviä tekijöitä, jotka eivät maksa, vaan tuottavat rahallisia säästöjä. Suuri osa säästöpotentiaalista liittyy rakennusteollisuuteen. Paremmilla eristyksillä, valaistuksella ja ilmanvaihdoilla pystytään pienentämään hiilidioksidipäästöjä kustannustehokkaasti. Vastaavasti metsäalalla tai energiateollisuudella on potentiaalia päästöjen vähyyteen, mutta kustannukset ovat verrattain korkeita. (McKinsey & Vattenfall 2007, 37–38.)



KUVIO 1. Kustannuskäyrä kasvihuonekaasujen vähentämisestä energiatehokkaasti (McKinsey & Vattenfall 2007, 38)

2.1.1 Loisteputkivalaisimien kehitys

Jos verrataan nykyajan loisteputkivalaisimia 20–30 vuotta sitten tehtyihin, on ero merkittävä. Valaisimien, loisteputkien ja liitälaitteiden kehitystä on viety eteenpäin ener-

giatehokkuuden ja hyötysuhteen parantamiseksi. Myös valotehokkuutta on saatu lisättyä lamppujen ja valaisimien osalta. Nykyaikaisissa sisätiloihin tarkoitetuissa valaisimissa käytetään usein T5-loisteputkia, jotka ovat energiatehokkaampia T8-putkiin verrattuna. T5-putkissa on parempi valotehokkuus ja lampun polttoikä on pidempi. Loisteputkien halkaisijat eroavat toisistaan, T8-loisteputket ovat halkaisijaltaan 26 mm ja T5-loisteputket 16 mm.

Pienemmän koon ansiosta T5-loisteputkilla on saatu parannettua myös valaisimien optiikkaa. Optiikalla tarkoitetaan valon ohjaamista haluttuun suuntaan ja pyrkimystä minimoida valon säteilyä sellaisiin paikkoihin, missä sitä ei tarvita. Vanhoissa valaisimissa voi olla lisäksi huono heijastinmateriaali, jolloin säteily ei peilaudu ulos, vaan osa siitä voi absorboitua valaisimen sisälle pintamateriaaleihin. Hyvin suunnitelluilla heijastimilla ja häikäisysojilla saadaan aikaiseksi erinomainen käyttöhyötysuhde. Esimerkiksi Fagerhult käyttää heijastinmateriaalina metalloitua alumiinia, jonka heijastussuhde on parhaimmillaan yli 92 %. (Fagerhult Oy 2012, 453.)

Näyttöpäätetyössä on tärkeää, että heijastumat valaisimista näyttöruutuun pystytään minimoimaan. Valaisimen heijastinmateriaalin lisäksi häikäisyä pystytään vähentämään tehokkaasti käyttämällä pienluminanssiritilöitä. Rakenteen suunnitteluun panostaminen ja T5-loistelampun käyttäminen voivat tuoda valotehokkuuteen parannusta jopa 35 % T8-loistelampuilla varustettuihin valaisimiin verrattuna. Tähän vaikuttaa myös olennaisesti se, että T8-loisteputkivalaisimissa on ennen käytetty konventionaalisia kuristimia, jotka aiheuttavat huomattavia tehohäviöitä. T5-loisteputkivalaisimet käyttävät elektronisia liitäntälaitteita, joilla on noin 20–25 % parempi hyötysuhde verrattuna konventionaaliin kuristimiin. (Fagerhult Oy 2012, 453, 456; Helvar Oy 2007, 7.)

Elektroniset liitäntälaitteet ovat tuoneet huomattavia säästöjä energiakustannuksiin vanhoihin kuristimiin verrattuna. Elektroniset liitäntälaitteet eivät myöskään aiheuta välkymistä sytytyshetken aikana. Tutkimuksissa on havaittu, että elektronisia liitäntälaitteita käytettäessä työpaikoilla olevat henkilöt ovat virkeämpiä ja saavat töissä enemmän aikaa. Vaikka kyseessä on vain hetkellinen valon värinä, on sillä vaikutusta ihmisen mielialaan. (Fagerhult Oy 2012, 456.)

Ennen loisteputken sytytystä sen sisällä olevat katodit esilämmitetään. Elektroninen liitäntälaite mahdollistaa sytytyshetken tehokkaan käytön, jolla on tärkeä vaikutus lii-

täntälaitteen energiankulutukseen. Lämminkäynnistyksellä voidaan saavuttaa jopa 50 % suurempi polttoikä loisteputkelle. Elektronista liitäntälaitetta voidaan käyttää myös valonsäätöön. Tämä lisää huomattavasti valaisimen energiatehokkuutta, kun lamppua voidaan ohjata muutenkin kuin normaalilla kytkimellä päälle/pois. (Fagerhult Oy 2012, 456.)

Euroopan unionissa on valmisteltu energiaa käyttäville tuotteille oma direktiivi. Eco-Design-direktiivissä (2009/125/EY) on säädetty liitäntälaitteille energiatehokkuusvaatimus, jonka mukaan uusissa loistelamppuvalaisimissa tulee käyttää elektronisia liitäntälaitteita vuodesta 2017 lähtien (Valaistusta on uusittava 2009, 2; Motiva Oy 2013). Magneettisien kuristimien energiatehokkuus ei täytä direktiivin määräyksiä. Markkinoilla on ollut kuitenkin jo pidemmän aikaa käytössä elektronisilla liitäntälaitteilla varustettuja loisteputkivalaisimia.

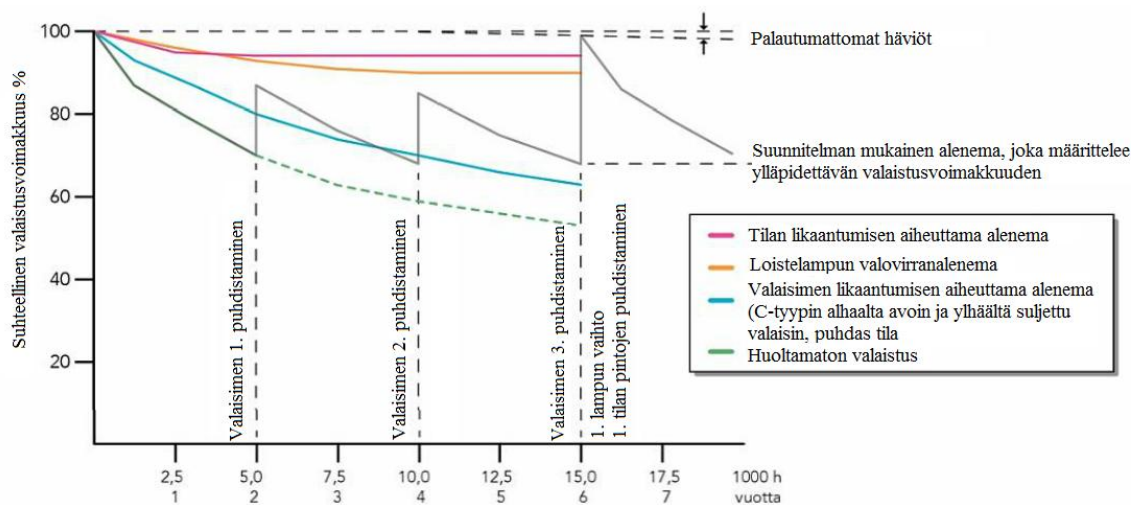
2.1.2 Valaisinhuollon merkitys

Valaistuksen huolto vaikuttaa tilan valaistusvoimakkuuden tasoon oleellisesti. Valaistusta suunniteltaessa on sille asetettu vaatimukset ylläpidettävästä valaistusvoimakkuudesta. Lamppujen valovirran heikkeneminen vuosien kuluessa tulee huomioda. Myös tilan ja valaisimien likaantuminen sekä yksittäisten lamppujen loppuun palaminen heikentävät valovirtaa koko alueella. Jos valaistusta ei huolleta, seurauksena on heikko valaistustaso, joka ei saavuta vaatimuksia.

Valovirta heikkenee ajan kuluessa merkittävästi, jonka takia lamput kannattaa vaihtaa ennen niiden sammumista. Yksittäisten lamppujen vaihto tulee lisäksi jopa 3-4 kertaa kalliimmaksi kuin se, että ne uusittaisiin ryhmävaihdon aikana. Eduiksi voidaan lukea myös valaistuksen tasaisuus, kun vanhojen ja uusien lamppujen värisävyt ja valovirrat eivät vaihtelee suuresti. Vaihdoajankohta tulee suunnitella hyötypolttoian mukaisesti, joka tarkoittaa, että esimerkiksi T5-loisteputken valovirrasta on jäljellä 90 %. (Varsila 2012, 32–34.)

Lamppujen valovirran heikkenemisen lisäksi riittävään valaistusvoimakkuuteen vaikuttaa alentavasti lian ja pölyn kertyminen valaisinten heijastimien, kupujen ja häikäisyuojien pinnalle. Tilan käyttötarkoituksella on merkitystä likaantumiseen, jos ver-

rataan esimerkiksi suhteellisen puhtaita toimitiloja likaantuviin teollisuuskäyttöihin. Myös valaisimen rakenne likaannuttaa valaisimia eri tavoin. Jos valaisin pääsee tuulettumaan rakenteen läpi, se voi kerätä vähemmän pölyä verrattuna alta avoimiin ja päältä suljettuihin valaisimiin. Lisäksi likaantuneet huonepinnat heikentävät heijastavan valon vaikutusta, joka aiheuttaa valaistusvoimakkuuden heikentymistä. Kuviossa 2 on esitetty eri tekijöiden vaikutus valaistusvoimakkuuteen ajan funktiona. (Varsila 2012, 32–33.)



KUVIO 2. Valaistusvoimakkuuden muuttuminen ajan myötä (CIE 97:2005; Varsila 2012, 33, muokattu)

Olisi tärkeää, että valaisinhuollosta tehtäisiin aikataulu, josta selviäisi lamppujen vaihto sekä valaisimien puhdistus. Tilan käyttäjää tulisi opastaa, kuinka saavutetaan haluttu ylläpidettävä valaistusvoimakkuus. Jos valaisinhuoltoa ei suoriteta, valaistuksesta tulee energiatehoton ja vaadittuja valaistustasoja ei saavuteta. Huoltamattoman valaistuksen heikkoa tasoa ei välttämättä havaita, koska valotehon heikkeneminen tapahtuu portaittain huonompaan suuntaan. Tämä voi aiheuttaa silmien väsymistä sekä tuottaa virheitä työn aikana. Myös jossain ympäristöissä heikko valaistus voi aiheuttaa jopa tapaturmia. Säännöllisen huollon merkitys on tärkeä tekijä energiatehokkaassa valaistusjärjestelmässä. Sillä saavutetaan suunnitteluvaiheessa määritetyt tavoitteet ylläpidettyä energiansäästön ja työn mielekkyyden kannalta. (CIE 97:2005, 1-2.)

Valaistuksen alenemakertoimella voidaan arvioida valovirran heikkeneminen sekä lamppujen, valaisimien ja tilan likaantumisen vaikutus lamppujen huoltovälin ajalle. Alenemakertoimen määritelmät on esitetty kansainvälisen valaistuskomission CIE

97:2005 (Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems) -julkaisussa, josta käy ilmi valaisinhuollon ja suunnittelun väliset suhteet ja tarvittavat arvot alenemakerrointa arvioitaessa. Julkaisussa on määritetty valaistusasennuksen kunnon suositeltava tarkastusväli, joka on jaettu neljään likaisuusluokkaan; likaiseen, normaaliin, puhtaaseen ja erittäin puhtaaseen. Likaisiin tiloihin luetaan teollisuusrakennukset, jossa valaisimet tulee tarkistaa vuoden välein. Normaaletiloja ovat esimerkiksi liiketilat, ravintolat ja varastot, joiden tarkastusväli on 2 vuotta. Puhtaita tiloja ovat toimistot ja koulut ja erittäin puhtaita sairaaloiden tutkimus- ja hoitotilat sekä tietokonekeskukset, joiden tarkastusväli on 3 vuotta. (Varsila 2012, 33.)

CIE 97:2005 sisältää myös suositeltavan puhdistusvälin erilaisille valaisimille, joka on riippuvainen likaisuusluokasta taulukon 1 mukaisesti. Ympäristön lyhenteet ovat seuraavat: EP on erittäin puhdas tila, P on puhdas tila, N on normaali tila ja L on likainen tila. Taulukossa oleva puhdistusväli perustuu likaantumisesta aiheutuvaan alenemaan 0,8, joka vastaa likaantumiseltaan voimakkaampaa mitä Suomessa suunnittelussa käytetään. Valaisinhuollosta tulisi tehdä huoltoaikataulu, jota käytetään kuitenkin erittäin vähän ja tästä johtuen valaisimia puhdistetaan ja huolletaan liian harvoin. (Varsila 2012, 33.)

TAULUKKO 1. Valaisimien suositeltava puhdistusväli riippuen tilan likaisuudesta, EP on erittäin puhdas tila, P on puhdas tila, N on normaali tila ja L on likainen tila (CIE 97:2005; Varsila 2012, 33, muokattu)

Puhdistusväli	3 vuotta			2 vuotta			1 vuosi		
Valaisintyyppi Ympäristö	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 (esimerkiksi integroitu ilmastointipalkkiin)	x	x				x			

Jotta valaistustaso pysyy riittävänä, on muistettava ottaa huomioon muutama edesauttava tekijä. Rikkoutuneet lamput tulee vaihtaa uusiin, valaisimet ja lamput puhdistaa säännöllisesti, vioittuneet valaisimet korjata, huonepinnat puhdistaa sekä ikkunat puhdistaa tarvittaessa. (Varsila 2012, 34.)

Alenemakerroin ei siis riipu pelkästään lamppujen kulumisesta, vaan tila ja ympäristö on otettava huomioon arviointia suoritettaessa. Kaavassa 1 on määritelty alenemakerroimissa huomioon otettavat tekijät (CIE 97:2005, 17):

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF \quad (1)$$

, jossa

<i>MF</i>	on alenemakerroin (maintenance factor)
<i>LLMF</i>	on valovirran alenemakerroin (lamp lumen maintenance factor)
<i>LSF</i>	on lampun eloonjäämiskerroin (lamp survival factor)
<i>LMF</i>	on valaisimen alenemakerroin (luminaire maintenance factor)
<i>RSMF</i>	on huonepintojen alenemakerroin (room surface maintenance factor)

CIE 97:2005 julkaisussa on ohjeet, miten alenemakerrointa lähdetään arvioimaan. Arviointikriteerit kannattaa aloittaa määrittelemällä valaisintyypit taulukon 1 mukaisesti. Seuraavaksi suunnitellaan lamppujen ryhmänvaihdon aikataulu ja selvitetään valovirran alenemakerroin (LLMF) ja otetaan huomioon lampun eloonjäämiskerroin (LSF). Tämän jälkeen valitaan ympäristön likaisuusluokka, josta päästään valaisimien (LMF) ja huonepintojen (RSMF) puhdistuksen aikataulun määrittämiseen. Näiden tietojen pohjalta voidaan suorittaa alenemakertoimen määrittäminen. Liitteessä 1 on esitetty tyypillisiä alenemakertoimen arvoja keskikokoisessa huonetilassa puhtausluokka huomioon ottaen. Kyseiset arvot ovat suuntaa antavia ja tarkempaan lopputulokseen pääsee arvioimalla kaavassa 1 käytettyjä arvoja. (CIE 97:2005, 17.)

2.2 Valaistuksen ohjauksen merkitys

Nykyaikaisen ohjauksen merkitys korostuu huomattavasti osana valaistusratkaisua. Työtiloissa voi olla monia erilaisia käyttötarpeita ja valaistuksen säädettävyydellä on iso rooli. Ohjauksella saadaan aikaan valaisimien kohdentaminen näkötehtävän vaatimalle alueelle ja voidaan säädellä valon voimakkuutta käyttötarpeen mukaan. Tällä on suora vaikutus kiinteistön energiankulutukseen ja sitä kautta kustannussäästöihin. Aikaisemmissa valaistushajauksissa on saatettu käyttää pelkästään päälle/pois-kytkimiä, jolloin valot ovat voineet palaa koko työpäivän maksimiteholla.

Ohjaustekniikka on kehittynyt paljon vuosien saatossa. Elektroniset liitäntälaitteet ovat tuoneet mahdollisuuksia loistevalaisimien tehokkaaseen säätöön ja ohjaukseen. Myös tietokoneiden käyttö ohjauksen suunnitteluun ja toteutukseen on korostunut. Käytössä on monien eri valmistajien tuotteita, joilla pystytään suunnittelemaan tilatarpeisiin soveltuvia ratkaisuja. Eri ohjausratkaisuja voidaan yhdistellä ja käyttää myös samanaikaisesti tilan valaistuksen ohjaukseen, jolloin maksimoidaan energiatehokkuus.

2.2.1 Läsnaolotunnistus

Työpäivän aikana on tilanteita, jolloin valot jäävät helposti palamaan, vaikka niitä ei tarvitsisi pitää päällä. Esimerkiksi lounastaukojen tai asiakaskäyntien aikana valot saatavat olla päällä pelkän unohduksen takia. Läsnaoloanturin avulla valaistus voidaan sytyttää tai sammuttaa liikkeen perusteella. Tunnistin tarkkailee tilassa tapahtuvaa liikehdintää ja reagoi siihen tarvittaessa. Etenkin tietokonetyössä on tärkeää, että liiketunnistin havaitsee istumatyötä tekevän henkilön liikkeen. Tunnistimien anturien herkkyyttä on kehitetty sisävalaistuksessa tarkemmaksi kuin esimerkiksi ulkotiloihin tarkoitetuilla tunnistimilla. Tunnistimeen voidaan asettaa haluttu aikaviive, jolloin valot sammuvat. Markkinoilla on tuotteita, joissa aikaviiveen jälkeen valaistustaso putoaa haluttuun valaistustasoon tietyksi aikaa, jonka jälkeen valot kytkeytyvät pois päältä kokonaan. Kuvassa 1 on havainnollistettu kyseinen tilanne. Läsnaolotunnistimia käyttämällä voidaan saavuttaa 15–30 % kustannussäästöt (Helvar Oy 2011, 5).



KUVA 1. Läsäolotunnistimen aikaviiveellä voidaan säätää valot portaittain pois päältä

2.2.2 Vakiovalo-ohjaus

Päivänvalon merkitys valaistuksen ohjauksessa tulee ottaa huomioon. Päivänvalon saatavuus on riippuvainen kellonajasta sekä vuodenajasta. Keinovalaistuksen käyttö päiväsaikaan voi olla hyödytöntä, jos ulkoa tuleva valo on riittävä valaisemaan tilan ja työpisteen. Etenkin ikkunan lähellä olevassa työpisteessä ei välttämättä tarvita lainkaan keinovaloa valoisana päivänä. Vakiovaloanturi mittaa ulkoa tulevan valon määrää ja himmentää valot vaaditulle tasolle. Valoisuusanturi voi olla itsenäinen ilmaisin tai se voi olla integroituna valaisimeen.

Vakiovalo-ohjauksesta on muutakin hyötyä. Suunnitteluvaiheessa valaistusratkaisu on ylimitoitettava ja standardin valaistukselle vaaditut arvot on ylitettävä. Tämä johtuu siitä, että tilan valaistusvoimakkuus heikkenee iän myötä johtuen lamppujen valovirran alenemisesta ja tilan likaantumisesta. Alenemakerroin on otettava huomioon suunnittelussa, jotta valaistustaso olisi vielä hyvällä tasolla valaisinhuollon koittaessa. Energiaa kuluu turhaan ylimitoituksen takia, kun lamput ovat uusia ja standardin vaatimukset ylittyvät. Vakiovalo-ohjauksella pystytään valaistusta himmentämään alkuvaiheessa vaaditulle tasolle ja loppuvaiheessa sen tarve vähenee valaistusvoimakkuuden heikentymisen vuoksi. Vakiovalo-ohjauksella pystytään säästämään 10–15 % energiakustannuksissa päivänvalosta riippumatta. (Varsila 2010, 8.)

Myös vakiovalo-ohjauksen sekä läsnäolotunnistuksen yhdistäminen samassa tilassa on mahdollista. Multisensoriksi kutsutussa laitteessa on erilliset anturit valoisuudelle ja liikkeelle. Tällä tavoin ohjauksesta saadaan paras hyöty irti ja energiansäästö on huomattava, jopa 60–70 % (Helvar Oy 2007, 12).

2.3 LENI-luku

Valaistuksella on oma merkittävä osuutensa rakennusten energiankäytössä. Eurooppalainen standardi EN 15193–2008, Energy performance of buildings – Energy requirements for lighting, on luotu kehittämään yhteisiä laskentamenetelmiä rakennusten valaistuksen energiankulutuksen vaikutuksista. Standardiin on luotu laskentaohjeet kiinteän valaistuksen energiankäytölle erilaisissa rakennusympäristöissä, jota arvioidaan indeksillä nimeltä LENI (Lighting Energy Numeric Indicator). LENI-luku tulee laskea koko rakennuksesta, jolloin sen avulla voidaan vertailla samankaltaisten tilojen ja rakennusten valaistuksen energiatehokkuutta. (Fagerhult Oy 2012, 511–512.)

LENI-luku lasketaan kaavan 2 mukaisesti:

$$LENI = \frac{W_{kokonais}}{A} \quad (2)$$

, jossa

<i>LENI</i>	on rakennuksen sisävalaistuksen kokonaisenergiankulutusta tarkoittava luku (kWh/m ² /vuosi)
<i>W_{kokonais}</i>	on valaistuksen vuodessa käyttämä kokonaisenergia, joka ottaa huomioon valaistuksen käyttämän energian lisäksi myös valmiustilassa olevien laitteiden kulutuksen (kWh/vuosi)
<i>A</i>	on rakennuksen sisätilojen kokonaispinta-ala, pois lukien asumattomat ja valaisemattomat tilat ja alueet

LENI-luvun laskemiseen voidaan käyttää kahta erilaista kaavaa, pikalaskentamenetelmää sekä tarkkaa laskentamenetelmää. Pikalaskentaa käytetään tilanteissa, joissa halutaan arvio koko rakennuksen vuosittaisesta energiankäytöstä. Laskennassa tarvittavat vuosikohtaiset perustiedot on standardissa koottu taulukkoon erilaisille rakennustyypeille. Pikalaskentaa voidaan käyttää rajoitetusti tietyntyyppisiin rakennuksiin. Menetelmää ei tulisi käyttää tarkemmissa laskennoissa, sillä tulokseksi se antaa todellista korkeammat LENI-arvot. (Fagerhult Oy 2012, 511–512.)

Tarkkaa laskentamenetelmää käytetään tilanteissa, joissa energiankäytöstä halutaan tilakohtaisesti tarkat arvot. Menetelmä soveltuu pikalaskentaa paremmin erityyppisten rakennusten arviointiin. Tarkassa laskelmassa voidaan valita haluttu ajanjakso, kuten kuukausi- tai tuntiperusteinen, jonka mukaan laskelmat tehdään. Tarkka laskentamenetelmä ottaa huomioon päivänvalon riippuvuuskertoimen, läsnäolokertoimen ja ylimitoituksen kompensointikertoimen halutulla ajanjaksolla. (SFS-EN 15193 2008, 24.)

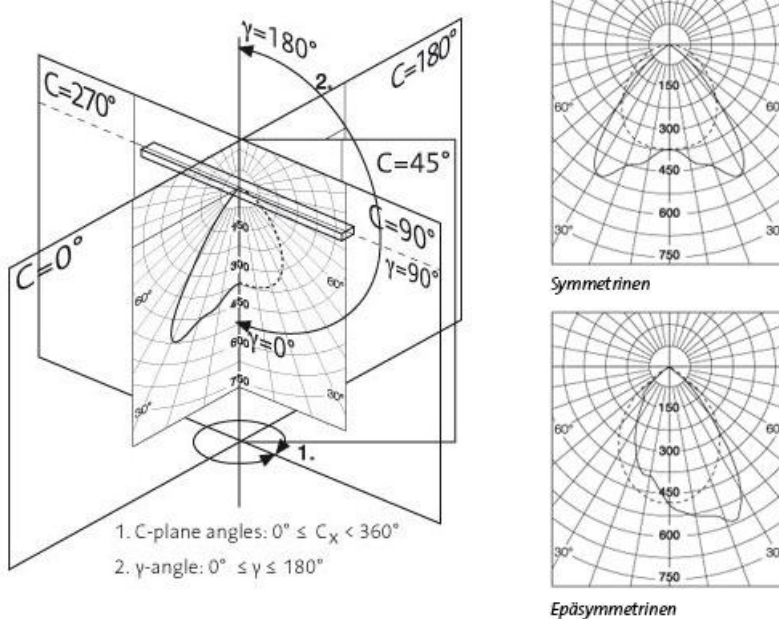
3 VALAISTUKSEN SUUNNITTELU TOIMISTOTILOIHIN

Standardit asettavat vaatimuksia valaistuksen laadulliselle tasolle. Toimistotiloissa on tärkeä saavuttaa näkötehtävälle vaaditut arvot, jotta työskentely olisi mahdollisimman miellyttävää. Sisävalaistusstandardi SFS-EN 12464-1-2011 on luotu määrittelemään vaatimukset valaistukselle erilaisissa työkohteissa. Tässä luvussa tutustutaan kyseiseen standardiin toimistotilojen osalta ja esitellään valosuureet ja yksiköt, jotka on tunnettava valaistusta suunniteltaessa.

3.1 Valovoima

Valovoima ilmaisee, kuinka paljon valoa säteilee valonlähteestä tiettyyn suuntaan. Valovoiman symboli on I ja yksikkönä kandela [cd]. Valaisimissa ja lampuissa usein ilmaistaan valonjako-ominaisuudet, jotka on johdettu valovoimasta. Valonjakokäyrällä esitetään graafisesti valaisimen tai valonlähteen valovoima napakoordinaatistossa yhdessä tai useammassa pysty akselin suuntaisessa tasossa. Kuviossa 3 havainnollistetaan valaisimen valonjakokäyrä. Valonjaon mittaukset tehdään monissa sektoreissa valaisimen ympäri. Mittaustason ollessa 0° se kuvaa kohtisuoraan lamppujen pituussuuntaa vastaan. Valovoiman maksimi suuntautuu kyseiseen suuntaan epäsymmetrisillä valaisimilla. (Fagerhult Oy 2012, 429.)

Valonjakokäyrä



KUVIO 3. Valaisimen valonjakokäyrän havainnollistaminen (Fagerhult Oy 2012)

3.2 Valovirta

Valonlähteiden kykyä tuottaa valoa kutsutaan valovirraksi. Valovirran symboli on Φ ja yksikkönä lumen [lm]. Valovirran laskenta perustuu ihmisen silmän spektriherkkyydellä painotettuun valonlähteen näkyvän valon säteilytehoon. Lamppuvalmistajat ilmoittavat tuoteluetteloissa valonlähteiden valovirrat, joita hyödynnetään suunnittelussa. (Halonen & Lehtovaara 1992, 35–36; Fagerhult Oy 2012, 429.)

3.3 Valaistusvoimakkuus

Kun valovirta säteilee pois valonlähteestä, se osuu lopulta johonkin pintaan, joka voi heijastaa, läpäistä tai absorboida tulevan valon. Valaistusvoimakkuus kuvaa pinnalle saapuvan valon tiheyttä. Valaistusvoimakkuuden symboli on E ja yksikkönä lux [lx]. Suure ei ole nähtävissä, vaan valon heijastuminen pinnoilta tekee valon näkyväksi. Valaistusvoimakkuuteen vaikuttaa suoraan pinnalle tuleva valovirta ja kääntäen verrannollisesti valaistavan pinnan ala. Tätä kutsutaan käänteiseksi neliölainksi, joka tarkoittaa, että etäisyyden kaksinkertaistuessa valaistusvoimakkuus putoaa neljännesosaan. Jos

kohdetta käännetään, se vaikuttaa suoraan verrannollisesti tulokulman kosiniin ja tätä kautta valaistusvoimakkuuteen. (Halonen & Lehtovaara 1992, 42; Fagerhult Oy 2012, 429.)

3.4 Luminanssi

Luminanssi kertoo kohdepinnalla olevan kappaleen valontiheyden eli pintakirkkauden. Tähän vaikuttaa pinnan valovoiman heijastuminen tarkastelusuuntaan ja sen projektiopinta-alan suhteesta kyseiseen tarkastelusuuntaan. Mitä suurempi arvo luminanssilla on, sitä kirkkaammalta pinta näyttää. Tästä johtuen luminanssi on ainoa nähtävissä oleva valaistussuure. Luminanssiin vaikuttaa pinnan valaistusvoimakkuus ja heijastuskerroin. Luminanssin symboli on L ja yksikkönä kandela neliömetrille [cd/m^2]. (Fagerhult Oy 2012, 429.)

3.5 Valaistusstandardin määräykset

Valaistussuunnittelu perustui aikanaan kansallisiin sisätilojen valaistusta koskeviin suosituksiin. Kun velvoittavia standardeja ei aikanaan ollut, saattoi monen arkkitehdin, käyttäjän ja valaistussuunnittelijan välillä olla erimielisyyksiä. Esimerkiksi Suomessa käytössä on ollut Suomen Valoteknillisen Seuran tekemiä julkaisuja aiheeseen liittyen. Työpaikkojen valaistusta määrittelevä Eurooppalainen sisävalaistusstandardi SFS-EN 12464-1 otettiin Suomessa käyttöön vuonna 2003 ja kyseinen teos uudistettiin vuonna 2011. Standardin avulla saadaan suunnitteluun selkeät tavoitteet ja raja-arvot valaistusta suunniteltaessa. (SVS 2008, 4.)

Valaistusstandardissa ohjeistetaan, että valaistusvoimakkuudella ja sen jakautumisella työalueella sekä alueen läheisyydessä on merkittävä vaikutus ihmisen mielialalle, turvallisuudelle ja tehokkuudelle. Standardi sisältää useita suosituksia valaistusvoimakkuuden arvoille tila- ja tehtäväkohtaisesti. Taulukoissa käytetään valaistusvoimakkuudesta suositusarvoa \bar{E}_m . Tunnus merkitsee keskimääräistä valaistusvoimakkuuden minimiarvoa, jota valaistustaso ei saa alittaa asennuksen eliniän aikana. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon valaistustason alenema ja pyrkiä pitämään annettu minimitaso valaisinhuoltoon saakka. (SVS 2008, 5.)

Keskimääräiselle valaistusvoimakkuudelle ohjeistetut arvot perustuvat kokemusperäisiin tuloksiin, näköergonomiaan ja taloudellisiin seikkoihin. Taulukossa 2 on esitetty valaistusstandardista toimistotilojen työalueille asetetut valotekniset vaatimukset.

TAULUKKO 2. Toimistotilojen työalueiden vaaditut valotekniset arvot (SFS-EN 12464-1-2011, 54, muokattu)

Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR _L -	U _o -	R _a -	Erityisvaatimukset
Arkistointi, kopiointi, jne.	300	19	0,40	80	
Kirjoittaminen, konekirjoitus, lukeminen, tietojenkäsittely	500	19	0,60	80	Tietokonenäytöt
Tekninen piirtäminen	750	16	0,70	80	
CAD-työasemat	500	19	0,60	80	Tietokonenäytöt
Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
Vastaanottotiski	300	22	0,60	80	
Arkistot	200	25	0,40	80	

Valaistusvoimakkuuksille on asetettu suositellut tasot, jonka mukaan luksit nousevat porrastetusti standardin EN 12665 mukaisesti (SFS-EN 12464-1-2011, 16):

20–30–50–75–100–150–200–300–500–750–1000–1500–2000–3000–5000

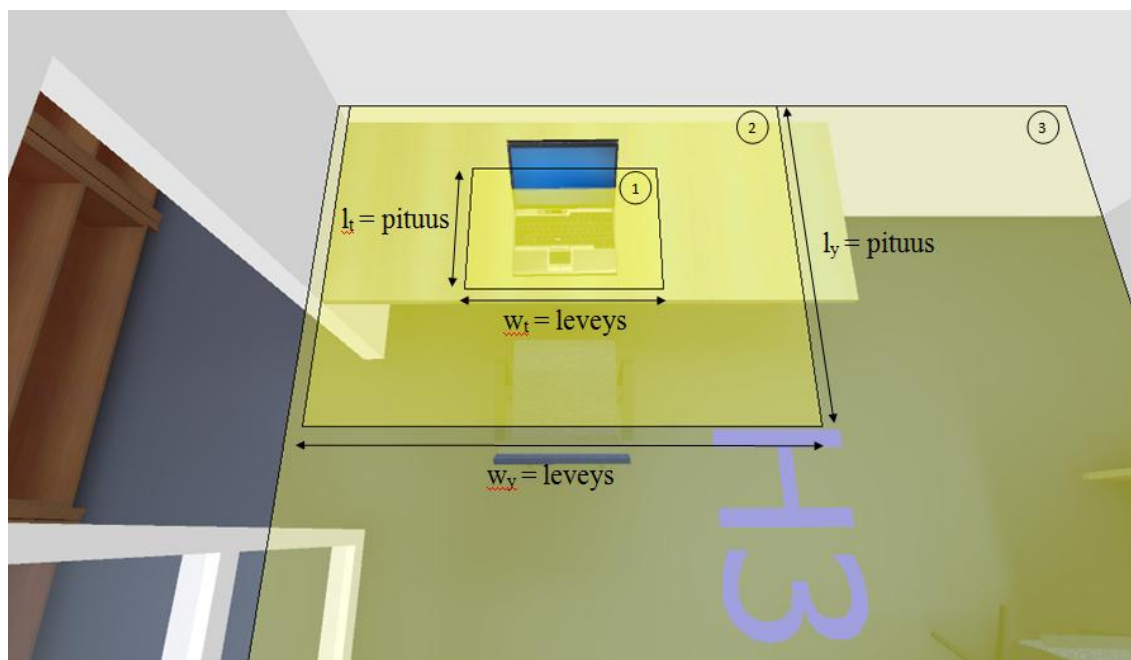
Vaaditusta valaistusvoimakkuuden arvosta, joita esitetään taulukossa 2 toimistotilojen työalueille, voidaan poiketa yhden portaalan verran tietyissä olosuhteissa. Arvoja voidaan kasvattaa, kun näkötehtävän laatu on esimerkiksi kriittinen tai erityistä tarkkuutta vaativa. Vastaavasti arvoja voidaan alentaa, kun näkökohde tai kontrastit ovat suuria tai jos työtehtävä on lyhytkestoista. (SFS-EN 12464-1-2011, 18.)

3.5.1 Työalueen määrittäminen

Valaistussuunnittelua tehtäessä työalue, jossa työskennellään, tulisi määrittää ja dokumentoida. Alue on pyrittävä saamaan valaistukseltaan tasaiseksi ja taulukkoarvoja on noudatettava. Jos työalueen kokoa tai paikkaa ei tiedetä, on suunnitelmassa otettava käsiteltäväksi työalueeksi koko tila tai suunnittelijan on määritettävä valaistusvoimak-

kuus tasaiseksi ($U_o \geq 0,40$) koko alue huomioon ottaen. (SFS-EN 12464-1-2011, 18.)

Kuvassa 2 on esitetty työalueen määrittäminen.



KUVA 2. Työalueen määrittäminen, jossa numero 1 on työalue ($l_t \cdot w_t$), numero 2 on välitön lähiympäristö ($l_y \cdot w_y$) ja numero 3 on tausta-alue

Työalue ei yleensä koske koko työpöydän alaa. Toimistotyössä painopiste on tietokoneen läheisyydessä sekä kirjoitus- ja muissa paperitöissä. Kuvassa 2 tietokoneen sijainnin kohta on merkitty työalueeksi numerolla 1. Valaistusstandardissa on määritetty, että työaluetta ympäröi välitön lähiympäristö, kuvassa numero 2, joka ylittää vähintään 0,5 metriä työalueen reunasta.

Suuret valaistusvoimakkuuden erot työalueen läheisyydessä aiheuttavat silmien väsymystä. Tästä johtuen välittömän lähiympäristön ja työalueen välinen luminanssijakauma tulisi olla tasapainoinen näkökentän alueella. Numero 3 on tausta-alue, jonka etäisyys välittömästä lähiympäristöstä tulisi olla 3 metriä tilan asettamissa rajoissa. Myös välittömän lähiympäristölle ja tausta-alueelle on asetettu valaistusvoimakkuuden vaatimukset taulukon 3 mukaisesti. (SFS-EN 12464-1-2011, 20–21.)

TAULUKKO 3. Työalueen välittömän lähiympäristön ja tausta-alueen vaaditut arvot (SFS-EN 12464-1-2011, 20, muokattu)

Valaistusvoimakkuus työalueella [lx]	Valaistusvoimakkuus välittömässä lähiympäristössä [lx]	Valaistusvoimakkuus tausta-alueella suhteessa välittömään lähiympäristöön
≥ 750	500	1/3
500	300	1/3
300	200	1/3
200	$E_{\text{työalue}}$	1/3
150	$E_{\text{työalue}}$	1/3
100	$E_{\text{työalue}}$	1/3
≤ 50	$E_{\text{työalue}}$	1/3

Työalueen valaistusvoimakkuuden täytyy myös olla riittävän tasainen. Tasaisuudelle on annettu taulukossa 2 toimistotiloissa vaaditut U_o -arvot. Tasaisuus kuvaa määritetyn pinnan valaistusvoimakkuuden minimiarvon suhdetta keskiarvoon. Välittömässä lähiympäristössä tasaisuuden on oltava suurempi kuin 0,40 ja tausta-alueella suurempi kuin 0,10. (SFS-EN 12464-1-2011, 22.)

3.5.2 Luminanssijakauma

Luminanssijakaumat vaikuttavat näkömukavuuteen ja siihen, miten silmät reagoivat ympäristön sopeutumistasoon ja kohteen näkyvyyteen. Tämä tarkoittaa sitä, että liiallinen luminanssi aiheuttaa häikäisyä. Myös luminanssien kontrastierot vaikuttavat näköväsämykseen, koska jatkuva sopeutuminen muuttuvaan ympäristöön rasittaa silmiä. Toisaalta liian alhaiset luminanssit ja kontrastit voivat olla työympäristössä tylsiä ja yksitoikkoisia. Sopivan suhteen löytäminen on siis arvioitava suunnittelutyötä tehdessä. Tasainen sopeutumisluminanssi edesauttaa näöntarkkuutta, kontrastiherkkyttä sekä näköaistin toimintojen tehokkuutta. (SFS-EN 12464-1-2011, 15–16.)

Seinä- ja kattopintojen valoisuus edesauttaa tasapainoista luminanssijakaumaa. Suunnittelussa tulee huomioida näiden pintojen valaisu, koska hämärää pitää pyrkiä ehkäisemään, jotta mukavuustaso nousee. Sisäpinnoille on ohjeistettu heijastuskertoimista lukuarvot, joiden välille tulisi pyrkiä. Kattopintojen heijastuskertoimien suositellaan si-

joittuvan 0,7-0,9 välille, vastaavat lukemat seinille ovat 0,5-0,8 ja lattialle 0,2-0,4. Seinien ja kattojen keskimääräinen ylläpidettävä valaistusvoimakkuus (\bar{E}_m) on oltava esimerkiksi toimisto-, opetus- ja terveydenhuoltotiloissa sekä yleisissä sisäänkäynti-, käytävä- ja porrastiloissa parempi kuin standardi yleisesti ohjeistaa muille tiloille. Näissä tiloissa tärkeimmillä pinnoilla suositellaan, että ylläpidettävä valaistusvoimakkuus on ylitettävä seinillä 75 luksia ja tasaisuuden on ylitettävä arvo 0,10. Katossa suositeltava ylläpidettävä valaistusvoimakkuuden arvo on suurempi kuin 50 luksia ja tasaisuuden on ylitettävä arvo 0,10. (SFS-EN 12464-1-2011, 16.)

3.5.3 Häikäisy

Häikäisyä aiheuttavat näkökentässä kirkkaat valaistut pinnat, valaisimet sekä mahdollisesti ikkunat. Päivänvalo ja valaisimet voivat aiheuttaa häikäisyä joko suoraan näkökentässä tai heijastumalla jonkin kohteen tai pinnan kautta. Häikäisyä pystytään valaisimissa estämään häikäisysojilla. Valaisimien häikäisysojakulmille on annettu standardissa raja-arvot vastaavalla tavalla kuin valaistusvoimakkuuksille. (Fagerhult Oy 2012, 436.)

Kiusahäikäisyä esiintyy tyypillisesti tilanteissa, joissa silmä joutuu tekemisiin valaisimen liian voimakkaan luminanssin kanssa. Häikäisevän kohteen luminanssi ja sen koko sekä kohteen taustan luminanssi ja sijainti vaikuttavat olennaisesti kiusahäikäisyn määrään. Jos luminanssin määrää kasvatetaan tilojen pinnoilla, voidaan kiusahäikäisyä pienentää. Valaistusstandardissa on valaisimien aiheuttaman kiusahäikäisyn arvioimiseksi laskentamenetelmä, jota kutsutaan lyhenteellä UGR (Unified Glare Rating). UGR-sarjan arvot vaihtelevat 10–28 välillä ja porrastus on kolmen yksikön välein. Nämä arvot on esitettävä valaistusta suunniteltaessa ja niille on taulukoitu maksimi-arvot tilakohtaisesti. Mitä pienempi UGR-luku on, sitä vähemmän on häikäisyä. Valaistuslaskentaohjelmat laskevat kyseisen luvun, jolloin manuaalista menetelmää laskemiseen ei tarvitse käyttää. (Fagerhult Oy 2012, 436.)

3.5.4 Sylinterivalaistusvoimakkuus

Työpisteiden lisäksi myös tilassa oleva muu ympäristö tulee valaista, jotta työviihtyvyys ja keskustelu ihmisten välillä olisi mahdollisimman miellyttävää. Visuaalisessa kom-

munikoinnissa valoa täytyy olla myös ihmisten kasvoilla ja inspiroivat objektit on hyvä tuoda esille. Keskimääräinen sylinterivalaistusvoimakkuus \bar{E}_z mittaroi valaistuksen näitä ominaisuuksia. Sisätiloissa, joissa liikehditään aktiivisesti, on sylinterivalaistusvoimakkuuden oltava suurempi kuin 50 luksia ja tasaisuuden ylitettävä 0,10. Mittauskorkeus mitataan vaakatasossa ja korkeudeksi lattiasta istumatyössä suositellaan 1,2 metriä, joka on suunnilleen silmien tasolla. Visuaalisen kommunikoinnin ollessa erityisen tärkeää, kuten toimistoissa ja opetustiloissa, on sylinterivalaistusvoimakkuuden ylitettävä 150 luksia ja tasaisuuden oltava suurempi kuin 0,10. (SFS-EN 12464-1-2011, 26.)

3.5.5 Muodonanto

Tilan esineet ja ihmiset on pyrittävä valaisemaan luonnollisesti siten, että vältetään teräviä varjoja sekä liian pehmeitä valaistustilanteita. Suunnatussa valaistuksessa tulee helpposti varjoja ja hajautetussa valaistuksessa liian pehmeitä muotoja, joka luo tilalle tylsän vaikutuksen. Hyvä muodonanto sijoittuu näiden ääritapausten välille. Sylinteri- ja vaakapintojen valaistusvoimakkuuden suhdetta kuvataan standardissa termillä "muodonanto", joka on tutkittava vertailutasolta. Muodonanto on hyvä, jos sen arvo on välillä 0,3-0,6. (SFS-EN 12464-1-2011, 28.)

3.5.6 Värintoisto

Ympäristön pintojen, objektien sekä ihmisten ihon värin luonnollisuus, aitous ja värien tunnistettavuus ovat tärkeitä näkötehtävän onnistumisessa ja visuaalisessa kokemuksessa. Hyvä värintoisto saa ihmiset näyttämään terveeltä ja miellyttävältä, jolla on vaikutusta turvallisuuteen ja hyvinvointiin. Jotta valonlähteiden värintoisto-ominaisuuksia pystytään vertailemaan, on sitä varten kehitetty asteikko, jota kutsutaan värintoistoindeksiksi. Värintoistoindeksin tunnuksena on R_a ja suurin arvo on 100. Toimistotyössä vaaditaan hyvää värintoistoa ja standardissa vähimmäisvaatimus sille on 80. Myös muissa tarkkuutta vaativissa töissä värintoistolle on asetettu korkea arvo. Vastaavasti tiloissa, joissa on melko hämärää ja näkötehtävän merkitys ei vaadi suurta valaistusvoimakkuutta, on värintoistokin alhainen. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi pysäköintihallit, joissa värintoiston on oltava vähintään 40. (SFS-EN 12464-1-2011, 30.)

4 DIALUX EVON KÄYTTÖ VALAISTUSSUUNNITTELUSSA JA ELINKAARIKUSTANNUSTEN HUOMIOMINEN KOHDEKIINTEISTÖSSÄ

Jotta valaistukselle asetetut vaatimukset pystyttäisiin toteuttamaan, on suunnittelijoiden avuksi luotu tietokoneohjelmia, joiden avulla valaistusratkaisu voidaan mallintaa ja tehdä sen pohjalta valaistuslaskelmia. Ohjelman laskemien tulosten perusteella voidaan niitä verrata sisävalaistusstandardin vaatimuksiin. Tässä luvussa selvitetään melko uuden valaistuslaskentaohjelman DIALux evon ominaisuuksia valaistussuunnittelussa. Kohdekiinteistönä on Finnish Consulting Group Oy:n toimisto, jonka valaistuksesta haluttiin tehdä uusi suunnitelma energiatehokkuus huomioiden ja tarkastella järjestelmän elinkaarikustannuksia.

4.1 Valaistuksen suunnittelu DIALux evo-ohjelmalla

DIALux evo -valaistuslaskentaohjelmalla pystytään luomaan tarkasteltavasta tilasta mallinnus, joka vastaa toiminnoiltaan sekä käyttötarkoituksiltaan mahdollisimman tarkasti todellista kohdetta. DIALuxissa suunnitelmaa voidaan toteuttaa ja tarkastella 2D- tai 3D-muodossa. Tiloihin voidaan suunnitella valaistusratkaisuja, joiden pohjalta ohjelma laskee erilaisia tuloksia valaistuksen osalta. Ohjelma ottaa huomioon tilan muotojen, pintojen ja objektien vaikutuksen ja tekee näiden pohjalta laskelman. Näin voidaan jo ennen rakentamisprojektin aloitusta suunnitella tilaan ja toimintoihin haluttu valaistus.

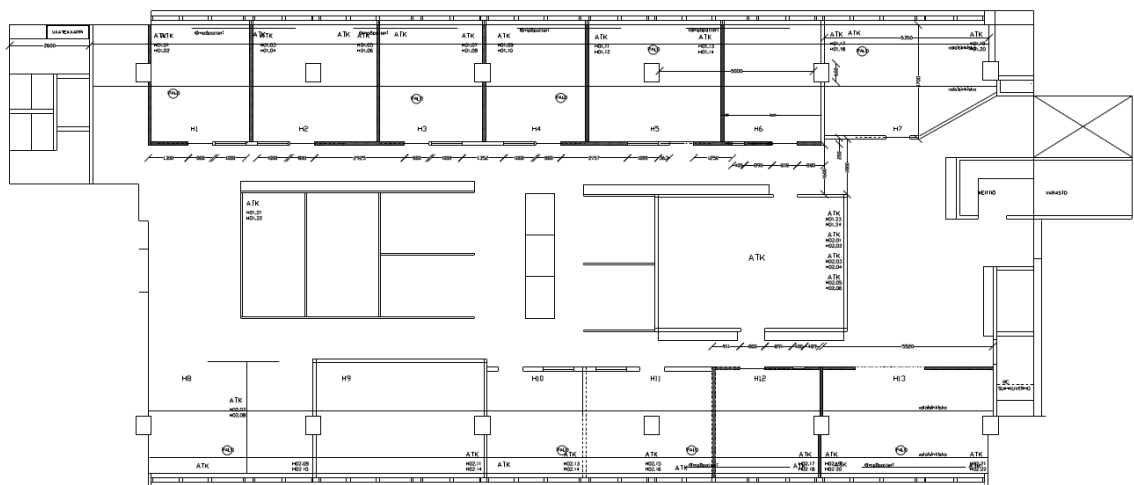
DIALuxilla on ollut vuodesta 2005 käytössään 4 -ohjelma, jota on päivitelty vuosien mittaan. Tänä päivänä moni valaistussuunnitteluyritys käyttää ympäri maailman DIALuxia valaistuslaskentaohjelmana. Suosio perustuu siihen, että ohjelma on ilmainen ja monet valaisinvalmistajat tukevat DIALuxia toimittamalla ohjelmaan kattavat tietokannat valaisimistaan. Lisäksi ohjelman laskentatyökalu on ominaisuuksiltaan monipuolinen, jolloin ohjelmaa käytettäessä vältetään käsinlaskenta ja arvailu valaistuksen tasosta suunnitteluvaiheessa.

Keväällä 2012 DIAL GmbH lanseerasi uuden DIALux evo -ohjelman. Suurin muutos edellisiin ohjelmiin on se, että sillä voidaan mallintaa kokonaisia rakennuksia ja niiden kerroksia sekä ulkoalueita samanaikaisesti. Aikaisemmalla DIALux 4 -ohjelmalla on

pystytty tekemään ainoastaan tilakohtaisia valaistussuunnitelmia. DIALux evoo kehittää jatkuvasti ja ohjelman käyttäjät pystyvät vaikuttamaan tuotekehitykseen ilmaisemalla DIALuxille toiveita ja puutteita tulevia päivityksiä varten.

4.1.1 Kohteen tiedot

Opinnäytetyön suunnittelukohteena on Finnish Consulting Group Oy:n toimisto, joka sijaitsee Tampereella Pyhäjärvenkadulla. Yhtiöllä on toimipaikkoja ympäri Suomea, mutta tässä työssä perehdyttiin yksittäisen toimipisteen suunnitteluun. Rakennus on nelikerroksinen, josta kolmannen kerroksen tiloissa työskentelee Finnish Consulting Group Oy:n työntekijät. Kyseisen kerroksen tilat koostuvat erillisistä toimistohuoneista sekä yhtenäisestä avotoimistosta. Huoneistoala kyseisessä kerroksessa on hieman yli 400 m². Työssä keskityttiin tekemään valaistussuunnitelma ainoastaan tähän kerrokseen, sillä muissa kerroksissa on eri yritysten toimitiloja. Kuvassa 3 on esitetty pohjakuva tiloista.



KUVA 3. Finnish Consulting Group Oy:n toimiston pohjakuva (Finnish Consulting Group Oy, 2012)

Opinnäytetyön aiheen juuret juontavat jo pari vuotta sitten suoritettuun valaisimien loisteputkien vaihtotyöhön kyseisessä kohteessa. Tuolloin havaittiin osan valaisimista olevan jo melko iäkkäitä. Etenkin avotoimistossa olevien valaisimien rakenteiden kunto alkoi olla monilta osin elinkaarensa päässä.

4.1.2 Valaistuksen nykytilanne

Kohteen valaisimet on varustettu kompensoiduilla konventionaalisilla liitälaitteilla. Valaistuksen ohjaus on keskitetty ja sitä pystytään ohjaamaan vain yhdestä keskuksesta kytkimillä, jotka ohjaavat kontaktoreita. Työpäivän alkaessa kaikki valaisimet sytytetään kerralla päälle ja ne palavat täydellä teholla työpäivän loppuun asti. Kaikissa työhuoneissa palaa valot koko päivän ajan. Yrityksen työntekijät tekevät työmatkoja ja tästä johtuen he eivät ole välttämättä päivittäin paikalla. Valaisimet siis palavat turhaan työhuoneissa, kun tilan käyttäjät eivät ole työpisteellä. Kuvassa 4 on esitetty valaistuksen tämänhetkiset ohjauskytkimet.



KUVA 4. Valaistuksen ohjaus tapahtuu Finnish Consulting Group Oy:n toimistossa nykyisellään keskitetysti sisääntuloaulasta

Syksyllä 2012 päätettiin, että opinnäytetyössä selvitetään kyseisen kohteen valaistuksen uusimista käyttäen apuna DIALux evo-valaistuslaskentaohjelmaa. Työ aloitettiin kartoittamalla toimiston pintojen sekä objektien sijainnit, materiaalit ja muodot. Näiden lähtötietojen perusteella rakennusta alettiin mallintaa DIALux evolla kerroksen pohjakuvaan perustuen.

4.1.3 Rakenteiden ja objektien luonti DIALux evolla

DIALux evoon on sijoitettu kuvakkeita siinä järjestyksessä, jonka mukaan tulisi edetä. Jotkut toiminnot eivät välttämättä onnistu, ennen kuin sitä edeltävä työvaihe on tehty. Työ pitää aloittaa piirtämällä rakennuksen ääriviivat ja ympäristö rakennuksen ulkopuolelta. Tämän jälkeen siirrytään kuvakkeissa seuraavaan eli kerrosten ja sisätilojen ääriviivojen piirtämiseen, jonka jälkeen voidaan valita kattopinnat ja tilaelementit kuten palkit tai pylvää. Kun rakenteeseen vaikuttavat komponentit on sijoitettu, niin silloin pystytään lisäämään ikkunoita, ovia, aukkoja sekä objekteja. Vaikka rakennuksessa keskityttiin yhteen kerrokseen, niin ulkoapäin se tehtiin vastaamaan mahdollisimman hyvin todellista kohdetta. Kuvassa 5 on valokuva todellisesta kohteesta ja DIALux evolla mallinnetusta rakennuksesta.

Kohteessa on paljon ikkunoita ulko- ja sisäpuolella, joka aiheutti ongelmia mallinnuksessa. DIALux evo on raskas sovellus ja kun ikkunoita haluttiin siirtää paikasta toiseen, kesti se turhan kauan. Myös palkkeja oli runsaasti ja niiden siirtely haluttuun paikkaan vei vastaavasti yllättävän paljon aikaa.



KUVA 5. Vasemmalla on valokuva todellisesta kohteesta, oikealla on DIALux evolla mallinnettu rakennus.

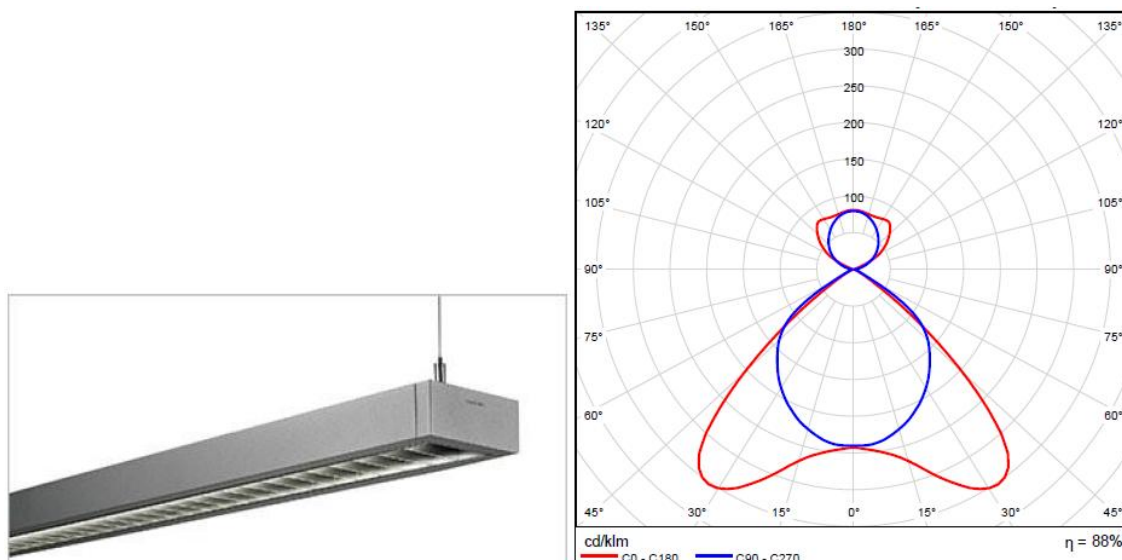
Kun rakennus ulkoisesti vastasi halutulla tavalla todellisuutta, siirryttiin sisätilojen mallintamiseen. Kohteesta otettujen valokuvien perusteella tila saatettiin 3D-muotoon. DIALux evossa on melko kattava objektiluettelo, jonka avulla pyrittiin kalustamaan tila alkuperäistä vastaavaksi. Pintojen värjäykseen ohjelmassa on oma työkalunsa ja joitakin materiaaleja, kuten puupintoja, on saatavilla materiaaliluettelosta. Kuten DIALux 4-

ohjelmassa on totuttu, voidaan sillä luoda omia materiaaleja kuvatiedostoista, jos ohjelman omasta luettelosta ei haluttua väriä, kuviota tai materiaalia löydy.

4.1.4 Valaisimien valinta kohteeseen

Valaistusta kohteeseen lähdettiin suunnittelemaan Fagerhultin valaisimilla. Fagerhultilla on olemassa hyvät valaisintietokannat ja yritys tunnetaan hyvästä laadusta valaisimien suhteen. Kun kyseessä on laadukas valaisin, on sen hankintahinta toki suurempi. Todennäköistä kuitenkin hyvin suunnitellulle valaisimelle on, että se maksaa itsensä takaisin muutaman vuoden aikana energiakustannussäästöjen vuoksi. Myös toiminta erilaisen ohjausjärjestelmien kanssa ja muokattavuus tilakohtaisiin tarpeisiin olivat lähtökohdana valaisinvalmistajaa valittaessa.

Tiloihin valittiin Closs Beta-valaisimet. Kyseisissä valaisimissa on hyvä valotehokkuus ja osa valosta pystytään toteuttamaan epäsuorana. Katossa on palkkirakenne ja näkyvisä on paljon tekniikkaa, kuten ilmastoinnin laitteita sekä kanavia ja valaisinripustuskiskoja. Jos kattopinta olisi tasainen, voisi sen kautta heijastaa enemmänkin valoa työpisteelle. Closs Beta-valaisimen valontuotosta saadaan suunnattua 70–75% suoraan alas ja loput on epäsuoraa valoa. Tällä tavoin saadaan kyseiseen tilaan ja työalueelle vaadittu valotehokkuus pääosin suoralla valaistuksella. Kattopinnan valaiseminen on kuitenkin tärkeää mukavuustason kasvun takia valaistusstandardin ohjeiden mukaisesti, joten ylävalolla varustettuja valaisimia pyrittiin asettamaan mahdollisuuksien mukaan. Valaisimet ovat varustettu elektronisilla liitäntälaitteilla ja optiikka on soveltuvainen näyttöpäätetyöskentelyyn. Valaisimen optinen hyötysuhde on yksiputkisena 88 % ja kaksiputkisena 85 %. Kuvassa 6 on esitetty valaisimen kuva sekä valonjakokäyrä yhdellä loisteputkella varustettuna.



KUVA 6. Fagerhult Closs Beta valaisin sekä kyseisen valaisimen valonjakokäyrä yhdellä loisteputkella varustettuna.

Toimistohuoneissa käyttöön suunniteltiin multisensorit, joiden avulla saadaan energia- tehokas ohjaus kyseisiin tiloihin. Vakiovalo-ohjauksen ja läsnäolotunnistuksen huomiointi tuo huomattavia säästöjä valaistuksen ohjauksessa. Avotoimistossa ohjauksessa suunniteltiin käytettäväksi vakiovalo-ohjausta ja poissaolovalaistusta. Tämä tarkoittaa sitä, että jos työpisteellä ei havaita liikettä, voidaan valaistuksen tasoa laskea alas maksimiarvosta esimerkiksi 20 %:iin. Tällöin säilytetään avotoimistossa valaistuksen perustaso, jotta tilassa ei ole liian pimeää. Kuitenkin energiaa säästyy, kun valo ei tarvitse pitää päällä täydellä teholla.

4.1.5 Valaisimien sijoittelu

Työtilat sijoittuvat toimistohuoneissa pääosin ikkunoiden läheisyyteen. Jotta valaistusstandardin vaatimukset täyttyvät, on valaisimien tehokkuuteen panostettava kyseisellä alueella enemmän. Vaikka ikkunan läheisyydessä on riittävästi valoa päiväsaikaan, niin pimeät olosuhteet on otettava huomioon. Päivänvalon merkitys korostuu, jolloin valaistuksen ohjauksella on iso rooli energian säästöä ajatellen. Tehokas valaisin kuluttaa eniten energiaa palaessaan maksimiteholla, mutta päivänvalonsäädöllä pystytään laskemaan kulutusta reilusti. Ikkunoiden läheisyyteen on sijoitettu 2x49 W loisteputkivalaisimia riittävän valon tuottamiseksi. Muuten työhuoneissa on käytetty pääosin 1x49 W loisteputkivalaisimia. Valaisimien lukumäärä tilaa kohden vaihtelee pinta-alan ja työpis-

teiden määrän mukaan. Kuvassa 7 on havainnollistettu työtilaan sijoitettujen valaisimien avulla niiden järjestys ja valaisinmallit. Liitteessä 2 on pohjakuva kohteeseen sijoitettuihin valaisimiin.



KUVA 7. DIALux evolla mallinnettu työhuoneen kuva, jossa ikkunan läheisyyteen on sijoitettu 2x49 W loisteputkivalaisin ja muut ovat 1x49 W loisteputkivalaisimia

Tilojen muunneltavuus tulee ottaa huomioon suunnittelussa. Työtehtävät ja -alueet voivat muuttua tulevaisuudessa, jolloin valaistuksen on oltava sovellettavissa kyseisiin tilanteisiin myös tuolloin. Keskellä kiinteistöä on työpisteet toteutettu avotoimiston tapaan. Tilan reunoilla kulkee käytävätyyppinen ratkaisu. Nykyisessä valaistusratkaisussa valaisimet on sijoitettu katossa olevien palkkien suuntaisesti. Uudessa suunnitelmassa valot on sijoitettu pitkittäin, jolloin saavutettiin hieman erilaista esteettistä näkökulmaa ja valaistus saatiin toteutettua alkuperäistä ratkaisua pienemmällä valaisinmäärällä. Kuvassa 8 on esitetty nykyisen ja uuden suunnitelman vertailua käytävästä.



KUVA 8. Vasemmalla on nykyinen valaistus Finnish Consulting Group Oy:n toimiston käytävältä ja oikealla on Dialux Evolla suunniteltu ratkaisu

4.1.6 Laskentakohteet ja dokumentointi DIALux evolla

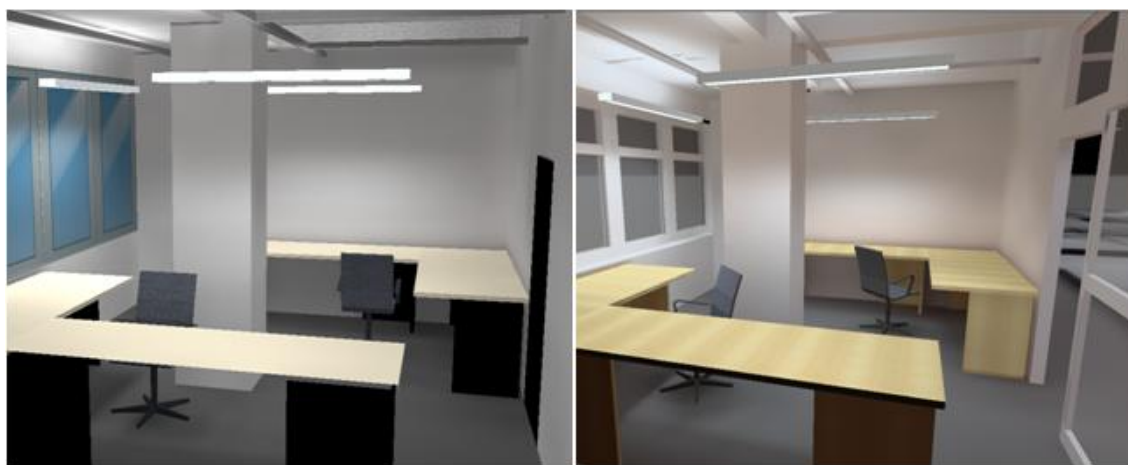
DIALux Evon valikkorivillä on työkalu, joka on nimetty EN 12464-standardin mukaisesti. Kyseisen valikon alta löytyy työalueen määrittämiseen tarvittava toiminto. Näkötehtävän alueen saa suunnitella ja piirtää itse, jonka jälkeen ohjelma luo lähiympäristön ja tausta-alueen standardin ohjeiden perusteella. Samasta valikosta voi luoda sylinterivalaistusvoimakkuudelle tarvittavan alueen.

Isolux-käyrät, väärävärit sekä luminanssiarvot saadaan kaikilta pinnoilta yksinkertaisesti selville laskennan jälkeen. Siihen kuitenkin päätyvät DIALux evon yksinkertaiset toimenpiteet laskennan osalta. Kun laskelma tilasta on tehty, niin tuloksista saatava hyöty on melko heikko. Esimerkiksi energiankulutuksen laskennassa käytettävät W/m^2 -arvot ja $\text{W/m}^2/100\text{lx}$ -arvot puuttuvat nykyisestä ohjelmasta kokonaan. DIALuxin forumisivustolla on valmistajan puolesta luvattu korjauksia tuleviin versioihin liittyen tähän ongelmaan. Myös UGR-arvojen saaminen tuloksiin on toteutettu erikoisesti. DIALux 4 -ohjelmassa pystytään asettamaan UGR-katsoja halutulle korkeudelle sekä suunnalle ja tämän perusteella ohjelma määrittää häikäisyindeksin. DIALux evossa kyseiselle toimenpiteelle ei löytynyt ratkaisua. Kun luo laskettavan pinnan, on laskentapa-

rametreissa mainittu UGR ja muita mahdollisia käytettäviä valaistussuureita. Näitä testaamalla ei saavutettu kuitenkaan mitään järkeviä tuloksia, joten oletettavasti tämä työkalu kehittyy myös seuraaviin versioihin. DIALux evon laskentatulokset on esitetty liitteessä 3.

Laskelmien jälkeen pystytään valaistukselle luomaan valaistustilanteita, jossa liukukytkimellä voidaan asettaa valaisinryhmille haluttu valoteho 0–100 välillä. Tätä toimintoa voisi käyttää esimerkiksi tiloissa, joissa tunnelmavalistus on tärkeää ja asiakkaalle voidaan esitellä himmentämisen vaikutuksia. Tässä työssä kuitenkaan toiminnolle ei löytynyt tarpeellista käyttöä.

Valaistusratkaisu tehtiin huoneesta 2 vertailun vuoksi myös DIALux 4:llä. Valaistusratkaisuista saadut tulokset erosivat hieman toisistaan evon ja 4-ohjelman välillä. DIALux 4:n avulla saatiin selvitettyä työtilan valaistuksen laskennallinen valoteho neliömetriä kohden, joka ei onnistunut DIALux evolla. Kuvassa 9 on vertailtu DIALux 4:n ja evon 3D-mallinnuksia samasta työtilasta.



KUVA 9. Vasemmalla puolella on DIALux 4-ohjelmalla suunniteltu ja oikealla DIALux evolla suunniteltu versio huoneesta 2.

Kohteesta tehtiin myös laskentaversio, jossa tilaan oli asennettu nykyisten valaisimien kaltaiset valaisimet. Vanhalla optiikalla ja konventionaalisilla liitälaitteilla varustettuja valaisimia on vaikea löytää tänä päivänä DIALux-katalogista. Philipsin luettelosta löytyi 2x58 watin loisteputkivalaisimia elektronisilla liitälaitteilla, joita käytettiin vertailussa. Kyseinen valaisimen malli on Philips TCS160 2xTL-D58W HFP C3. Vanhojen valaisimien valaistusvoimakkuus ei varmastikaan yllä samalle tasolle kuin uudet

valaisimet, mutta vertailupohjana valotehon käytöstä neliometriä kohden Philipsin valaisimet ovat kohtuullisia.

Taulukossa 4 on kerätty huoneen valaistuskalkulaation tuloksia DIALux 4:llä ja DIALux evolla. DIALux 4 -ohjelmalla on taulukoitu myös suuntaa antavat arvot nykyiselle valaistukselle. Yhteenveto uuden valaistussuunnitelman laskentatuloksista on liitteessä 4 ja nykyisen tilan laskentatulokset ovat liitteessä 5.

TAULUKKO 4. Huoneen 2 valaistuskalkulaation tuloksia uudella ja nykyisellä ratkaisulla DIALux 4:n avulla sekä DIALux evolla

Työpiste 1 (Huone 2)	DIALux 4, nykyinen	DIALux 4, uusi	DIALux evo, uusi	Vaatus
Työalue, E_m (lx)	1165	522	533	500
Lähiympäristö, E_m (lx)	1147	544	611	300
Työpisteen tasaisuus, U_o (E_{min}/E_m)	0,95	0,86	0,7	0,60
Sylinterivalaistusvoimakkuus (lx)	504	213	338	150
Muodonanto	0,31	0,51	0,50	0,3-0,6
Kiusahäikäisyindeksi (UGR_L)	18	18	-	≤ 19
Teho $W/m^2/100lx$	2,83	2,4	-	-

DIALux 4:n antamien laskentatuloksien perusteella uuden valaistussuunnitelman valaistusvoimakkuus ylitti 500 luksin työalueelle vaaditun arvon. Valoteho neliometriä kohden oli tässä työtilassa $14 W/m^2$ ja yhden neliometrin valaisuun 100 luxin voimalla kulutetaan 2,4 wattia. Vastaavasti 2x58 watin nykyisillä valaisimilla valaistusvoimakkuus ylitti työpisteellä rajusti vaaditut arvot ja näin ollen energiaa kuluu reilusti yli tarpeellisen vaatimuksen. Myös valaisimien ottama teho oli yli kaksi kertaa suurempi kuin uudessa suunnitelmassa. Valoteho neliometriä kohden oli $28,8 W/m^2$ ja yhden neliometrin valaisuun 100 luxin voimalla kulutetaan 2,83 wattia. Uudella suunnitelmalla $W/m^2/100lx$ -arvo laskee noin 15 %. Työaluetta ja lähialuetta vertailtaessa valaistusvoimakkuuden vaatimukset on ylimitoitettu 6-20 % riippuen tarkastelupisteestä.

Taulukon 4 arvoista voidaan havaita, että pieniä eroavaisuuksia löytyy DIALux evon ja DIALux 4 -ohjelman tuloksien välillä, vaikka kyseiset tilat on pyritty mallintamaan mahdollisimman samanlaisiksi. Eroavaisuus on ymmärrettävää ja pieniä eroja voi syntyä, kun kyseessä on kaksi eri tavoin toimivaa ohjelmaa.

4.2 Elinkaarikustannukset

Uudelle valaistussuunnitelmalle haluttiin tehdä kustannusarvio. Sen avulla saatiin selvitettyä valaistuksen uusimisesta aiheutuvia investointikustannuksia sekä sen kautta vertailtua takaisinmaksuaikaa. Valaisimien uusinta suunniteltiin koko toimistokiinteistöön, lukuun ottamatta WC- ja varastotiloja. Asennustyön osuutta ei otettu huomioon valaistuslaskennoissa. Myöskään ohjausjärjestelmän kustannuksia ei ole otettu huomioon, kun opinnäytetyössä ei tutkittu minkään tietyn valmistajan ohjausjärjestelmää. Kustannuksissa on kuitenkin huomioitu päivänvalon ja liiketunnistimien käyttö. Uudessa valaistussuunnitelmassa käytettiin taulukon 5 mukaisia valaisimia.

TAULUKKO 5. Kohteeseen suunnitellut valaisimet

Valaisin	Malli	Teho	Lukumäärä
Fagerhult	Closs Beta Direct	1x28 W	1
Fagerhult	Closs Beta Direct	1x35 W	6
Fagerhult	Closs Beta Direct	2x35 W	18
Fagerhult	Closs Beta Direct/Indirect	1x28 W	4
Fagerhult	Closs Beta Direct/Indirect	1x35 W	24
Fagerhult	Closs Beta Direct/Indirect	1x49 W	39
Fagerhult	Closs Beta Direct/Indirect	2x49 W	13
Yhteensä		5,6 kW	105

Nykyisistä vanhoista valaisimista otettiin selville tehot ja valaisimien lukumäärä kartoitettiin ja laskettiin paikan päällä. Kyseiset arvot on kirjattu taulukkoon 6.

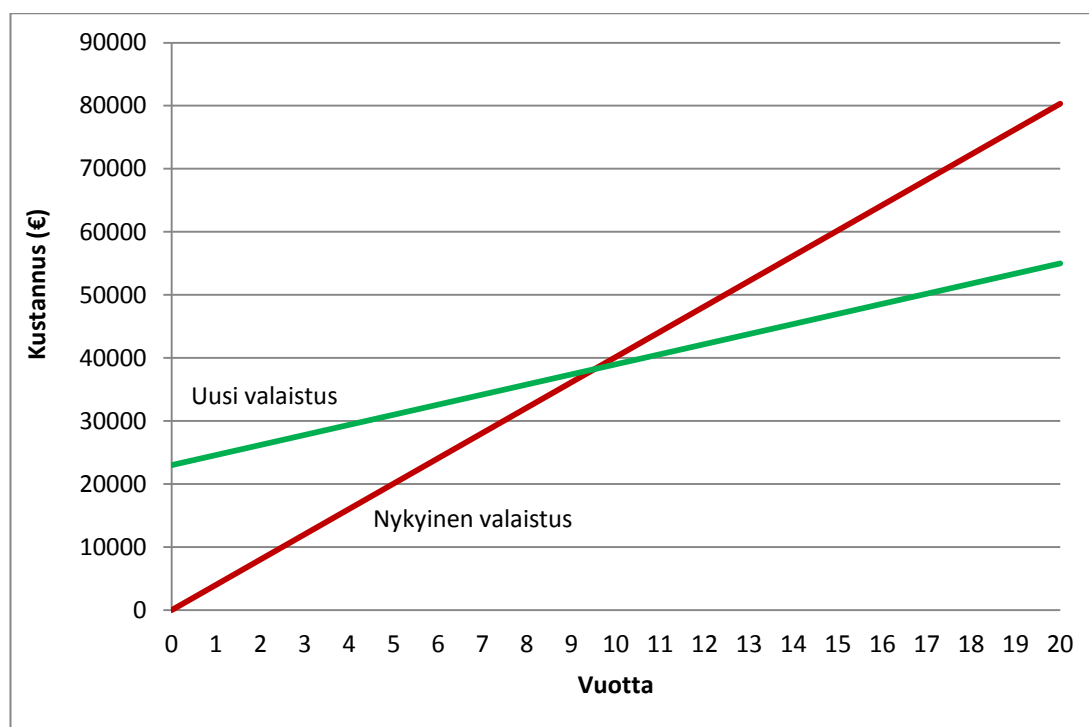
TAULUKKO 6. Kohteen nykyiset valaisimet konventionaalisilla liitälaitteilla varustettuna

Valaisin	Teho	Lukumäärä
Vanha valaisin 1	1x18 W	3
Vanha valaisin 2	1x36 W	30
Vanha valaisin 3	1x58 W	27
Vanha valaisin 4	2x58 W	40
Yhteensä	9,0 kW	100

Konventionaalisilla liitäntälaitteilla varustetuissa valaisimissa on huomioitava se, että esimerkiksi 2x58 W:n loisteputkivalaisin kuluttaa liitäntälaitteen takia noin 140 W (Helvar Oy 2007, 7). Yhteenlasketussa tehossa on arvioitu valaisimien tehon lisäksi konventionaalisesta liitäntälaitteesta johtuva lisäys, joka arvioitiin olevan 1,7 kW. Valaistuksen elinkaarilaskenta laskettiin nykyisen ja uuden suunnitelman pohjalta. Laskentatyökaluna käytettiin Fagerhultin Life Cost Calculator-ohjelmaa. Jotta laskelma voidaan suorittaa, on ohjelmaan lisättävä lähtötiedot ja valaisimista mahdollisimman tarkka kuvaus. Jos valaistusratkaisu toteutettaisiin, arvioitiin investointiajaksi 20 vuotta. Ohjelma laskee investoinneista ja vuosien aikana aiheutuvista kuluista nykyarvomenetelmällä hinta-arvion määritellyn ajanjakson perusteella.

Valaisimien hinnoittelu perustui suositushintoihin, joiden arvonlisävero oli 0 %. Valaisimien suositushinta Fagerhultin mukaan oli 215 euroa kappaleelta. Life Cost Calculator-ohjelma ottaa huomioon myös ohjauksen merkityksen. Käyttötunteja määritettäessä ohjelmaan voi syöttää ohjauskertoimen, joka perustuu standardiin EN 15193-2008. Kyseisessä toiminnossa on käytössä ohjauskertoimen avustaja, jossa tilat on järjestelty rakennustyypeittäin. Esimerkiksi toimistotiloihin voidaan valita haluttuja ohjaustoimintoja, kuten liiketunnistus- ja päivänvalotoiminnot. Nämä tekijät otettiin huomioon laskennassa arvioiden tilakohtaisesti ohjauksen tarpeet. Huoltoväliksi arvioitiin uudella järjestelmällä 5 000 tuntia, jolloin se noudattaa kuvion 2 (ks. sivu 14) mukaista huolto-suunnitelmaa. Nykyisessä järjestelmässä käytettiin huoltovälinä 12 000 tuntia hyöty-polttoain mukaisesti, koska nykyisellä järjestelmällä ei ole huoltoaikataulua. Uuden valaistusohjausjärjestelmän tuoma tekniikan lisääntyminen voi aiheuttaa lisäkustannuksia rikkoutumisen tai muun toimimattomuuden takia. Näitä tekijöitä ei kuitenkaan otettu huomioon laskelmassa, koska kyseiset tekijät ovat yksilöllisiä.

Vuosien mittaan erilaiset ulkoiset tekijät vaikuttavat järjestelmän lopullisiin kustannuksiin. Laskentakoroksi määritettiin 3 %, inflaation vaikutukseksi 1 % sekä sähkön hinnan nousun arvioiduksi kasvuksi 5 % vuodessa. Sähkön hinnaksi määritettiin 13 snt/kWh, joka perustuu Energiamarkkinaviraston julkaisemiin tilastoihin sähkön kokonaishinnasta (siirto+energia). Ohjelma ottaa huomioon valaistuksen ohjausjärjestelmän vaikutuksen ja tällä tavoin voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä. Kuviossa 4 on havainnollistettu elinkaarikustannusten vaikutuksia nykyisen ja uuden valaistuksen välillä. Liitteessä 6 on tarkemmat vertailut Life Cost Calculator-ohjelman tuloksista.



KUVIO 4. Valaistusratkaisujen elinkaarikustannusten vertailu

Uuden valaistusratkaisun investointikustannukset ovat suuremmat, mutta jo reilun kymmenen vuoden kuluttua ollaan risteyskohdassa, jolloin uuden valaistuksen tuomat hyödyt alkavat näkyä kustannuksissa. 20 vuoden jälkeen valaistuksen uusinta on tuonut yli 25 000 euron säästöt nykyiseen verrattuna. Uutta järjestelmää huolletaan puhdistus-aikataulun takia enemmän, jotta saavutetaan hyvä valaistuksen taso vuosien saatossa. Silti uusi järjestelmä tulee halvemmaksi kuin nykyinen.

Suurin säästöpotentiaali nykyisen ja uuden valaistusratkaisun välillä on energiankulutuksen säästöt. Nykyisen järjestelmän valaistuksen ohjaus on heikko. Kun sitä verrataan kehittyneisiin ohjauksiin, niin erot ovat suuret. Laskennassa käyttökerroin putosi 100 prosentin arvosta 45 prosenttiin. Investoinnin ajanjakson aikana eroa rahallisesti kertyi energiakustannuksista lähes 50 000 euroa.

5 POHDINTA

Opinnäytetyössä tutustuttiin valaistuksen energiatehokkuuteen ja haluttiin selvittää sen vaikutuksia toimistorakennuksissa. Myös kustannuksiin haluttiin perehtyä tutkimalla elinkaarikustannuksia. Työssä havaittiin, että valaistuksen energiatehokkuuteen panostamalla voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä. Valaistusjärjestelmän hyvin suunniteltu ohjaus vakiovaloantureilla ja poissaolo-ohjauksilla varustettuna vaikuttavat olennaisesti kustannuksien alenemiseen energiankulutuksen osalta. Opinnäytetyön myötä voidaan todeta, että valaisimien korkeat investointikustannukset kannattaa suhteuttaa koko valaisimien elinkaaren ajaksi energiakustannukset huomioon ottaen.

Tavoitteena oli myös selvittää DIALux evon soveltuvuus valaistuslaskentaohjelmana. Tässä työssä esimerkkikohteena käytetty toimistotila on kooltaan melko suuri tällä hetkellä DIALux evolle ja muiden kerrosten suunnittelu samaan tiedostoon ei olisi mahdollista. Laskentaan kului aina tunnin verran aikaa, joka on kohtuuttoman pitkä aika miettiessä ohjelman käyttöä päivittäisessä suunnittelussa. Myös laskentatyökalujen toteutuksessa ja monipuolisuudessa on vielä tehtävää DIALux evossa verrattuna DIALux 4 -ohjelmaan. DIALux evossa on kuitenkin potentiaalia tulevaisuudessa, kun ohjelmaa saadaan kehitettyä. Visuaalinen ilme on jo nyt huomattavasti parempi ja suunniteltavan tilan hallinta kokonaisuutena on DIALux evon valttikortteja DIALux 4 -ohjelmaan verrattuna. Myös esimerkiksi pienemmän kohteen, kuten kaksikerroksisen omakotitalon suunnittelu voisi nykyhetkellä toimia paremmin DIALux evossa kuin opinnäytetyössä käytetty toimistokiinteistö.

Opinnäytetyö oli opettavainen valaistussuunnittelun osalta. Valaistusstandardin vaatimuksien täyttymiseksi valaistusratkaisua täytyi muuttaa moneen kertaan työn aikana. Myös DIALux evon soveltuvuus suunnitteluun saatiin kartoitettua ja ohjelman tuomista haasteista selvittiin. Materiaalia ja käyttökokemuksia ohjelmasta on tällä hetkellä melko vähän saatavilla, joten toivottavasti tästä työstä on apua henkilöille, jotka aikovat käyttää DIALux evoa valaistussuunnitteluun. Tulevaisuus näyttää, onko DIALux evosta perinteisen DIALuxin haastajaksi ja lähdetäänkö sitä kehittämään valaistussuunnitteluun uudeksi johtavaksi työkaluksi.

LÄHTEET

Fagerhult Oy. 2011. Indoor Lighting Solutions – Luettelo 2012–2013.

Finnish Consulting Group Oy. 2012. Toimiston pohjakuva.

Halonen, L. & Lehtovaara, J. 1992. Valaistustekniikka. Helsinki: Otatieto Oy.

Helvar Oy. 2007. 40 vuotta valonohjausta. Luentomateriaali. Luettu 23.3.2013.
http://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/Napola_BAFF240507.pdf

Helvar Oy. 2011. Valaistuksenohjaus energiansäästöissä. Luentomateriaali. Luettu 19.2.2013.
[http://www.tamk.fi/cms/hakumm.nsf/lupGraphics/Helvar.pdf/\\$file/Helvar.pdf](http://www.tamk.fi/cms/hakumm.nsf/lupGraphics/Helvar.pdf/$file/Helvar.pdf)

McKinsey & Vattenfall. 2007. A Cost Curve for Greenhouse Gas Reduction. Luettu 24.3.2013. http://www.epa.gov/oar/caaac/coaltech/2007_05_mckinsey.pdf

Motiva Oy. 2013. EcoDesign-direktiivi. Luettu 30.3.2013.
<http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/ecodesign-direktiivi>

Motiva Oy. 2009. Valaistusta on uusittava! Tärkeää tietoa kuntien päättäjille. Luettu 17.1.2013.
http://www.motiva.fi/files/2096/Valaistusta_on_uusittava_Tarkeaa_tietoa_kuntien_paat_tajille.pdf

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

SFS-EN 12464-1. 2011. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus.

Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Ympäristöministeriö.

SVS ry. 2008. Valaistushankintojen energiatehokkuus. Taustaraportti. Versio 4.0.

The International Commission on Illumination. 2005. Technical Report. Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems. CIE 97:2005. 2nd edition.

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2012. Energiatehokkuus. Luettu 12.1.2013.
<http://www.tem.fi/index.phtml?s=2586>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2011. Energiatehokkuus julkisissa hankinnoissa. Luettu 12.1.2013. <http://www.tem.fi/files/30410/Energiatehokkuus.pdf>

Varsila M. 2012. Valaistuksen huolto – onko sitä? Valo-lehti 1/2012, 32-36.

Varsila, M. 2010. Valaistuksen Ohjaus. KT-Interior Oy. Luettu 14.2.2012.
<http://www.ktinterior.fi/luettelot/ValaistuksenOhjaus/>

LIITTEET

Liite 1. Tyypillisiä alenemakertoimen arvoja keskikokoisessa huonetilassa puhtausluok-
ka huomioon ottaen (CIE 97:2005, 16)

Table 4.1. Typical set of *MF* values for a medium sized room and the various lamp and luminaire type combinations.

Lamp type	Incandescent halogen				Compact fluorescent				HF with pre-heat fluorescent linear tri-phosphor				Metal halide (250/400 W)				High pressure sodium (250/400 W)				
	VC	C	N	D	VC	C	N	D	VC	C	N	D	VC	C	N	D	VC	C	N	D	
Environment																					
Luminaire																					
Type	DF																				
A	0.5	0.87	0.80	0.70	0.59	0.81	0.75	0.66	0.55	0.82	0.76	0.66	0.56	0.79	0.74	0.64	0.54	0.86	0.80	0.69	0.59
B	0.5	0.86	0.78	0.73	0.59	0.80	0.73	0.64	0.55	0.81	0.74	0.64	0.56	0.79	0.71	0.62	0.54	0.85	0.77	0.67	0.59
C	0.0	0.87	0.79	0.69	0.61	0.81	0.74	0.65	0.57	0.82	0.75	0.66	0.58	0.79	0.73	0.63	0.56	0.86	0.79	0.69	0.60
D	0.0	0.87	0.79	0.70	0.63	0.81	0.74	0.65	0.59	0.82	0.74	0.66	0.60	0.79	0.72	0.64	0.58	0.86	0.78	0.69	0.62
E	0.0	0.88	0.84	0.77	0.70	0.83	0.79	0.72	0.66	0.84	0.80	0.73	0.67	0.81	0.77	0.70	0.64	0.88	0.83	0.76	0.70
F	1.0	0.81	0.69	0.55	0.39	0.76	0.64	0.52	0.36	0.77	0.65	0.52	0.37	0.74	0.63	0.51	0.35	0.80	0.68	0.55	0.38
G	0.0	0.92	0.88	0.82	0.76	0.86	0.83	0.77	0.71	0.87	0.84	0.78	0.72	0.84	0.81	0.75	0.70	0.91	0.87	0.81	0.75

This table is based on the following assumptions:

medium sized room (k 2,5) with reflectance 70/50/20 for ceiling, walls and floor respectively;

cleaning intervals of lamps and luminaires – 1 year;

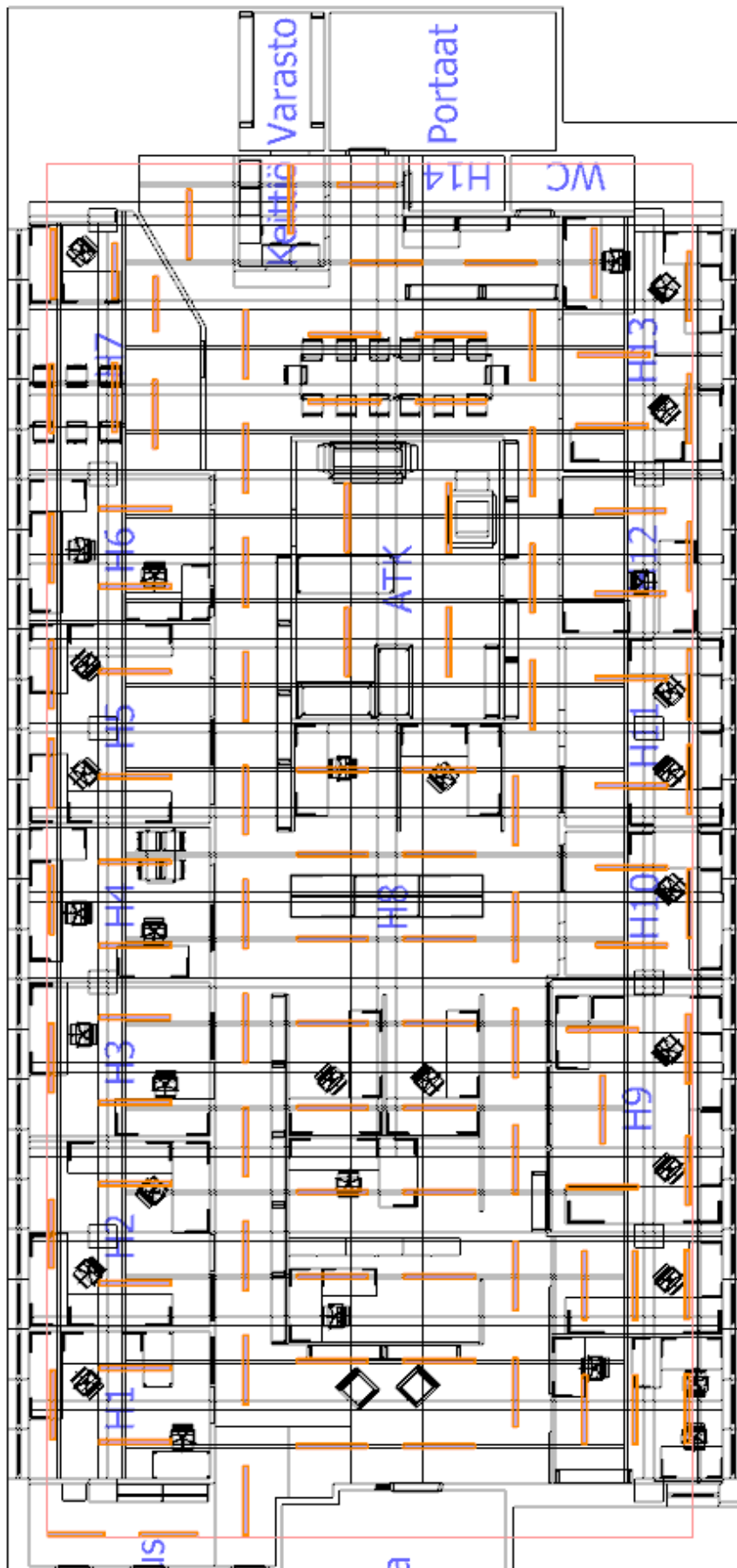
cleaning intervals of room surfaces – 6 years;

failed lamps are spot replaced;

bulk re-lamping intervals (burning hours)

incandescent halogen 2000 hours (LLMF 0,95);
compact fluorescent 6000 hours (LLMF 0,89);
HF fluorescent linear 15000 hours (LLMF 0,90);
metal halide 4000 hours (LLMF 0,87);
high pressure sodium 20000 hours (LLMF 0,94).

Liite 2. Valaisimet sijoitettuna DIALux evolla pohjakuvaan



Liite 3. Dialux evon yhteenveto uudesta valaistussuunnitelmasta työhuoneen 2 osalta

Projekti FCG

8.1.2013

Ympäristö 1 / Rakennus 1 / Kerros 3 / H2 / Tuloksien yhteenveto, EN 12464

DIALux

H2 / Tuloksien yhteenveto, EN 12464

Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva)

Nimi	Keski [lx]	Min. [lx]	Maks. [lx]	Min./keskim.	Min./ maks.	Pisteet (näistä tärkeitä)
Tausta-alue 1	634	338	1047	0.533	0.323	8 x 8 (59)
Näkötehtävän alue 2	533	435	621	0.816	0.700	5 x 3 (kaikki)
Näkötehtävän alue 2	470	391	551	0.831	0.709	3 x 5 (kaikki)
Ympäröivä alue 1	611	349	818	0.571	0.426	11 x 9 (55)
Ympäröivä alue 2	460	299	635	0.650	0.470	9 x 11 (62)
Yhteenveto	/	299	1047	/	/	

Horisontaali valaistusvoimakkuus

Nimi	Keski [lx]	Min. [lx]	Maks. [lx]	Min./keskim.	Min./ maks.	Pisteet (näistä tärkeitä)
Työtila 2	675	272	1324	0.404	0.206	14 x 6 (kaikki)

Sylinterivalaistusvoimakkuus

Nimi	Keski [lx]	Min. [lx]	Maks. [lx]	Min./keskim.	Min./ maks.	Pisteet (näistä tärkeitä)
Työtila 2	338	233	492	0.690	0.474	14 x 6 (kaikki)

Työtila 2 - Mallinnus (sylinterisestä horisontaalivalaistusvoimakkuuteen): 0.501 (0.331 - 0.978)

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

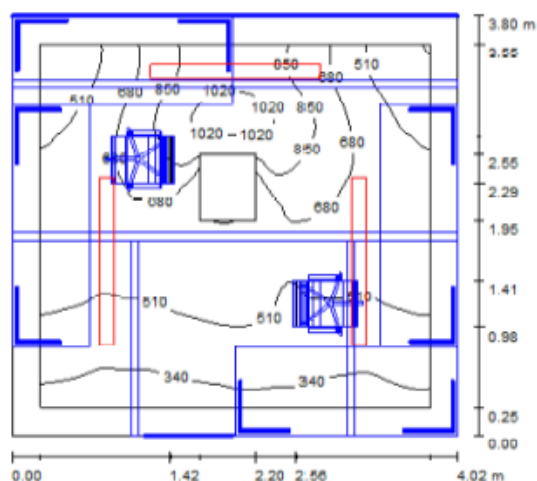
Liite 4. Dialux 4:n yhteenveto uudesta valaistussuunnitelmasta työhuoneen 2 osalta

Projekti 1


DIALux
 07.04.2013

 Tekijä
 Puhelin
 Faksi
 Sähköpostiosoite

Tila 1 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 3.300 m, Asennuskorkeus: 2.280 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:49

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	584	268	1113	0.458
Lattia	20	252	17	610	0.069
Katot (3)	73	218	70	384	/
Seinät (4)	80	187	12	1075	/

Käyttötaso:

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

Luettelo valaisimista

Número	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ [lm]	P [W]
1	2	Fagerhult 26675 Closs Beta Ylävalolla 1xT16 49W (1.000)	4300	54.0
2	1	Fagerhult 26676 Closs Beta Ylävalolla 2xT16 49W (1.000)	8600	106.0
Yhteensä:			17200	214.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $14.01 \text{ W/m}^2 = 2.40 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 15.28 m^2)

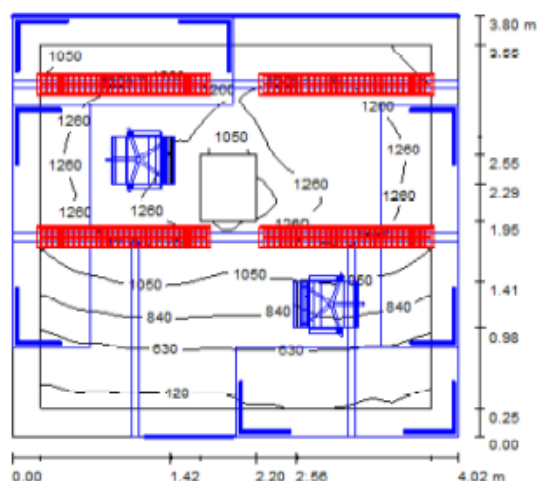
Liite 5. Dialux 4:n yhteenveto nykyisestä valaistussuunnitelmasta työhuoneen 2 osalta

Projekti 1


DIALux
 07.04.2013

 Tekijä
 Puhelin
 Faksi
 Sähköpostiosoite

Tila 1 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 3.300 m, Asennuskorkeus: 2.595 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:49

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	1019	367	1399	0.361
Lattia	20	433	28	899	0.065
Katot (3)	73	174	80	216	/
Seinät (4)	80	319	24	1103	/

Käyttötaso:

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

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ [lm]	P [W]
1	4	PHILIPS TCS160 2xTL-D58W HFP C3 (1.000)	10480	110.0
Yhteensä:			41920	440.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $28.80 \text{ W/m}^2 = 2.83 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 15.28 m^2)

Liite 6. Elinkaarikustannusvertailu käyttäen Fagerhultin Life Cost Calculatoria

Fagerhult LCC Uusi projekti		3.4.2013
Valaistusratkaisujen kustannusvertailu		
Yleiset tiedot	Uusi valaistusratkaisu	Nykyinen valaistusratkaisu
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailuratkaisu takaisinma...)		Nykyinen valaistusratk...
Valaisintyyppien lukumäärä	7	4
Valaisintyytit	39 - Closs Beta Direct/I... 13 - Closs Beta Direct/I... 1 - Closs Beta Direct 6 - Closs Beta Direct 18 - Closs Beta Direct 4 - Closs Beta Direct/In... 24 - Closs Beta Direct/I...	40 - 2x58W 27 - 1x58W 30 - 1x36W 3 - 1x18W
Valaisimien lukumäärä	105	100
Valonlähteiden kokonaismäärä	136	140
Investointikustannukset		
Valaisinkustannukset yhteensä (ilman lamppuja)	22 560 EUR	0 EUR
Valonlähdekustannukset yhteensä	399,1 EUR	420 EUR
Asennuskustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR
Materiaali- ja työkustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR
Investointi	22 959 EUR	420 EUR
Energiakustannukset		
Valaistusratkaisun kokonaisteho	6,1 kW	9 kW
Keskimääräinen käyttökerroin	45,0 %	100,0 %
Teho yhteensä	2,7 kW	9,0 kW
Keskimääräinen toiminta-aika	2 500 h/vuotta	2 500 h/vuotta
Energiankulutus vuodessa	6,8 MWh	22,6 MWh
Sähkön hinta	0,13 EUR/kWh	
Energiakustannukset vuodessa	886 EUR	2 936 EUR
Energiakustannusten nykyarvo	21 407 EUR	70 934 EUR
Valonlähdekustannukset		
Valonlähteiden kokonaismäärä	136	140
Valonlähteiden vaihtokustannukset yhteensä	1 759,1 EUR	1 820 EUR
Valonlähdekustannusten nykyarvo	2 821 EUR	5 786 EUR
Huoltokustannukset		
Huoltokustannukset yhteensä	1 050 EUR	1 000 EUR
Huoltokustannusten nykyarvo	7 807 EUR	3 179 EUR
Valaistusratkaisun nykyarvo		
Kriittinen piste (nykyarvomenetelmä)	54 994 EUR	80 318 EUR
Tuotto	10,6 vuotta	- vuotta
LENI	25 324 EUR	0 EUR
	~16,4 kWh/m2, vuotta	~54,4 kWh/m2, vuotta
FAGERHULT		2(4) 5.5.2013
Fagerhult Life Cycle Cost calculator 2.3.0.1 © FAGERHULT		