



TOIMISTORAKENNUKSEN ENER- GIATEHOKKUUDEN PARANTAMI- NEN VALAISTUKSEN AVULLA

Teemu Jamrozinski

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015
Sähkö- ja automaatio-
tekniikka
Sähkövoimatekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

TEEMU JAMROZINSKI:

Toimistorakennuksen energiatehokkuuden parantaminen valaistuksen avulla

Opinnäytetyö 53 sivua, joista liitteitä 7 sivua
Huhtikuu 2015

Opinnäytetyössä on tarkoituksena selvittää, onko loisteputkivalaisimien vaihtaminen LED-valaisimiin kannattavaa. Asiaa tarkasteltiin taloudelliselta ja valaistustekniseltä kannalta. Valaistussuunnitelmat tehtiin vanhan valaistuksen ehdoilla, mikä osaltaan vaikeutti opinnäytetyön tekemistä. Opinnäytetyön tavoitteena on toimia suuntaa antavana tulevaisuuden saneerauksissa sekä Elematic Oy Ab:n betonielementtitehtaiden suunnittelussa. Valaistusmittaukset suoritettiin vertailukohdan saamiseksi uusia valaistusratkaisuja varten.

Toimistorakennuksesta tehtiin CADS Planner –ohjelmistolla sähköpiirustukset, joiden avulla uudet valaistusratkaisut mallinnettiin DIALux-ohjelmalla. Valaistusmittausten avulla vertailtiin nykyistä valaistusta uusiin valaistussuunnitelmiin ja tehtiin päätelmiä valaistuksen tasosta. Valaistussuunnitelmien perusteella tehtiin Excel-laskentaohjelmistolla kustannuslaskelmat nykyisestä ja uusista valaisimista, joiden avulla voitiin tutkia LED-valaisinten kannattavuutta.

Tehtyjen laskelmien ja vertailujen perusteella, voitiin todeta, että kyseisen rakennuksen valaisimien vaihto LED-valaisimiin oli kannattavaa, mutta ei järkevää. Uusissa rakennuksissa LED-valaistuksen asentaminen taas on erittäin suositeltavaa ja tulevaisuudessa ero perinteisen ja LED-valaisimien välillä tulee edelleen kasvamaan.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Electrical Engineering
Option of Electrical Power Engineering

Teemu Jamrozinski:
Improving Energy Efficiency with Lighting in an Office Building

Bachelor's thesis 53 pages, appendices 7 pages
April 2015

The purpose was to establish whether it was economically reasonable to change fluorescent lamps to LED-lighting. In this thesis lighting is surveyed from economical and technical standpoints. All lighting designs were made to fit to old lighting conditions. This thesis can be used as a guide for future remodeling. To get a point of reference luminance measurements were made.

CADS Planner software was used to draw electrical drawings which helped to create lighting solutions with DIALux software. Current lighting was compared to new lighting solutions with luminance measurements and conclusions were made from the quality of lighting. With the aid of luminance measurements, Excel calculation software was used to create cost calculations for current lighting and new lighting solutions which were used to study the viability of LED lighting.

With the aid of calculations and comparisons it was concluded that replacing current lighting with LED lighting in an office building would be profitable but not reasonable. Installing LED lighting to new buildings is recommended and difference between traditional and LED lighting will increase in the future.

Key words: led, lighting, cost calculation, Elematic Oy Ab

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ELEMATIC OY AB.....	7
3	YLEISTIETOA VALAISTUKSESTA	8
3.1	Valaistukseen liittyvät suureet ja termit.....	8
3.1.1	Valovirta.....	8
3.1.2	Valotehokkuus.....	8
3.1.3	Valovoima.....	8
3.1.4	Luminanssi	8
3.1.5	Valaistusvoimakkuus	9
3.1.6	Väriämpötila.....	9
3.1.7	Värintoisto.....	9
3.2	Valaistuksen vaikutukset ihmiselle.....	10
3.3	Vaatimuksia sisävalaistukselle.....	10
4	TAUSTATIETOA LEDEISTÄ.....	12
4.1	Historia ja kehitys	12
4.2	Tekniikka ja rakenne.....	13
4.3	Ledien tuottama valo.....	15
4.4	Led verrattuna loisteputkeen.....	17
4.5	Ledin edut ja haitat.....	19
5	VALAISTUKSEN NYKYTILANNE.....	21
5.1	Nykyinen valaistus.....	21
5.2	CADS Planner 16.....	22
5.3	Valaistusvoimakkuuden mittaaminen.....	22
5.4	Toimiston valaistusvoimakkuuden mittaustulokset.....	23
6	VALAISTUSSUUNNITELMA.....	27
6.1	Uusien valaisimien valintakriteerit	27
6.2	Työtilat.....	27
6.3	Mallintaminen DIALux:lla	28
6.4	Uudet valaistussuunnitelmat	28
6.4.1	Winled Eden.....	28
6.4.2	Havells-sylvania Lytepanel.....	31
6.4.3	Philips Arano.....	34
7	ELINKAARIANALYYSI JA TAKAISINMAKSUAIKA	38
7.1	Elinkaarilaskenta.....	38
7.2	Tulokset.....	39
7.3	Valaistuksen vaikutus ilmanvaihtoon	40

8 POHDINTA.....	42
LÄHTEET.....	44
LIITTEET.....	47
Liite 1. Kerroksen 0. pistekuva.....	47
Liite 2. Kerroksen 1. pistekuva.....	48
Liite 3. Kerroksen 2 pistekuva.....	49
Liite 4. Takaisinmaksuaika-laskenta loisteputki	50
Liite 5. Takaisinmaksuaika-laskenta Winled Eden	51
Liite 6. Takaisinmaksuaika-laskenta Havells-sylvania Lytepanel	52
Liite 7. Takaisinmaksuaika-laskenta Philips Arano	53

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Elematic Oy Ab:n toimistorakennuksen valaistusta kustannustehokkuuden kannalta, käyttäen apuna teoriaa, standardeja, mittalaitteita ja jo olemassa olevia tutkimuksia aiheesta. Teoria koostuu luotettaviksi todetuista Internet-lähteistä ja kirjallisuudesta.

LED-valaistus on kehittynyt huimasti viime vuosina ja kehitys tulee jatkumaan tulevaisuudessakin. Jatkossa yhä useammassa julkisen tai kaupallisen alan suurissa kiinteistöissä tullaan käyttämään LED-valaistusta hyödyksi kustannustehokkuuden parantuessa. Opinnäytetyön kohteena olevan toimistorakennuksen valaistus on 1970-luvulta, lukuun ottamatta muutamaa lisättyä loisteputkivalaisinta. Tarkoituksena on selvittää LED-valaistuksen nykyinen hintataso ja tarkastella kustannusten kannalta onko LED-valaisimien asennus järkevää.

Toimistorakennuksen sähkökomponenteista tehdään CADS Planner ohjelmiston avulla ensin pistekuvat, joiden perusteella voidaan toteuttaa yksinkertainen valaistussuunnitelma DIALux ohjelmalla. Suunnitelman kriteereinä ovat valaisinten asennus nykyisille paikoille sekä huomattava sähkönsäästö nykyisiin loisteputkiin verrattuna. Suunnitelma ja kustannuslaskelma toimii myös pohjana tulevaisuudessa tuleville uusille suunnitelmille sekä rakennettaville uusille kiinteistöille.

2 ELEMATIC OY AB

Elematic on maailman johtava betonielementtitehtaiden ja -tuotantolinjojen toimittaja. Yhtiön liikevaihto on noin 90 miljoonaa euroa, josta viennin osuus on yli 95 %. Henkilöstömäärä on noin 200. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Akaan Toijalassa, tuotantolaitoksia on lisäksi Valkeakoskella, Riihimäellä ja Nastolassa. Omat myyntikonttorit ovat USA:ssa, Saksassa, Kiinassa, Venäjällä, Intiassa ja Arabiemiirikunnissa, jälleenmyyjä on yli 20 maassa. Yli 50 toimintavuoden aikana Elematic on toimittanut laitteita yli 100 eri maahan.

Maailmanlaajuinen asiakaskunta on taannut jatkuvan vakaan ja kannattavan liiketoiminnan. Yrityksellä on sertifioitu ISO 9001 – laatu järjestelmä ja henkilöstön kehittämisen kansainvälinen laatusertifikaatti INVESTOR IN PEOPLE. (Elematic www-sivut 2015)

3 YLEISTIETOA VALAISTUKSESTA

3.1 Valaistukseen liittyvät suureet ja termit

3.1.1 Valovirta

Valovirta Φ ilmaisee valolähteestä lähtevän valon määrän. Sen mittayksikkö on lumen (lm). Suurempi arvo kertoo tehokkaammasta lampusta. Lamppujen tuottamaa valon määrää ei voi energiansäästölamppujen, ledien ja energiatehokkaampien halogeeni-en kohdalla vertailla enää wattien perusteella. Wattimäärä ei kerro lampun tuottaman valon määrästä, vaan ainoastaan sähkönkulutuksesta.

Jotta esimerkiksi energiansäästölampun tuottama valon määrä vastaisi 60 watin hehku-lamppua, tulisi ledilampun ja energiansäästölampun valovirran (lm) olla 800 lumenia. (Staples Finland Oy www-sivut 2005; Motiva Oy www-sivut)

3.1.2 Valotehokkuus

Valotehokkuus (lm/W) ilmaisee, miten paljon valoa lamppu tuottaa suhteessa käytettyyn energiaan. Mitä korkeampi valotehokkuus, sitä energiatehokkaampi lamppu. Led-valaisimissa täytyy ottaa huomioon, puhutaanko yhden ledin vai koko valaisimen valotehokkuudesta. (Motiva Oy www-sivut)

3.1.3 Valovoima

Valovoiman I yksikkö on kandela (cd), joka mittaa valonlähteen valovoimaa eli valon intensiteettiä. Valovoima kertoo, kuinka paljon valoa lamppu säteilee johonkin tiettyyn säteilykulmaan. Yksi kandela vastaa suunnilleen tavallisen kynttilän (latinaksi 'candela') valon voimakkuutta tai kirkkautta. (Motiva Oy www-sivut)

3.1.4 Luminanssi

Luminanssi L eli valotiheys on pinnasta tiettyyn suuntaan heijastuvan valovoiman suhde pinnan tästä suunnasta näkyvän projektion pinta-alaan. Se ilmaisee kohdekappaleen pinnan valotiheyden eli pintakirkkauden. Luminanssi on ainoa nähtävissä oleva suure.

Se syntyy pinnan valaistusvoimakkuuden ja heijastumissuhteen yhteisvaikutuksena. (Ensto www-sivut)

3.1.5 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuuden E yksikkö on lx (luksi). Valaistusvoimakkuus kertoo, kuinka suuri valovirran tiheys on tarkastelupinnalla. Se on siis tarkastelupinnalle, joko valolähteestä suoraan tai heijastumalla pinnoista, tuleva valovirta pinta-alayksikköä kohti.

Valaistusvoimakkuuden avulla määritellään valaistuksen määrällisiä tavoitteita. Usein myös valaistusmittauksissa mitataan valaistusvoimakkuutta. Sitä ei kuitenkaan nähdä, koska vain pinnasta heijastunut valo on nähtävissä.

Valaistusvoimakkuus noudattaa ns. neliölakia. Mitä kauempana valaistava pinta on valolähteestä, sitä pienempi on pinnan valaistusvoimakkuus.

Valaistusvoimakkuus voidaan määritellä hyvinkin tarkasti valaistuslaskentaohjelmilla. Perinteisiä laskentamenetelmiä valaistusvoimakkuuden määrittelyyn ovat hyötysuhde-menettelmä ja pistemenettelmä. (Ensto www-sivut)

3.1.6 Väriämpötila

Väriämpötila ilmoittaa lampun valon sävyn ja sitä mitataan Kelvin -asteikolla (K). Mitä korkeampi väriämpötila on, sitä kylmempi valo on (sininen) ja lähempänä päivänvaloa. Mitä matalampi väriämpötila on, sitä lämpimämpi valo on (keltainen tai punainen). Esimerkiksi tavallisen hehkulampun väriämpötila on noin 2700K, joka vastaa lämpimän valkoista, hieman kellertävää valoa. Yli 5000K valaisimet tuottavat kylmän valkoista, sinertävää valoa. (Staples Finland Oy www-sivut; Motiva Oy www-sivut)

3.1.7 Värintoisto

Ympäristön, siinä olevien kohteiden ja ihmisten ihon värin toistuminen luonnollisena ja oikeana on tärkeää näkötehokkuuden, mukavuuden ja hyvinvoinnin kannalta. Valon hyvä värintoisto saa ihmiset näyttämään miellyttäviltä ja terveiltä.

Valonlähteiden värintoisto-ominaisuuksia määritellään yleisen värintoistoindeksin R_a avulla. Sen suurin arvo on 100. Indeksien arvo on sitä pienempi, mitä huonommat värintoisto-ominaisuudet ovat. (Ensto www-sivut)

3.2 Valaistuksen vaikutukset ihmiselle

Hyvä valaistus merkitsee viihtyvyyttä, terveellisyyttä, turvallisuutta ja tuottavuutta. Viihtyvyys merkitsee optimiolosuhteita, joissa vireystila on maksimissaan. Silmien rasitustasoireet ja terveyshaitat (esim. silmien kuivuminen) vähenevät hyvässä valaistuksessa.

Valaistusvoimakkuuden lisääminen 500 luksista noin 1600 luksiin kasvattaa tuottavuutta useilla prosenteilla. Vaativissa näkötehtävissä on näin saavutettu jopa 8 - 9 % tuottavuuden nousu, myös virheiden lukumäärä on saatu jopa puolittumaan. Valaistusvoimakkuuden lisäämisellä on suurempi vaikutus iäkkäiden työntekijöiden tuottavuuden parantumiseen kuin nuorten työntekijöiden. Valaistuksen täysremontilla voi myös säästää energiaa.

Näköhavaintoon vaikuttavat työtilan koko, seinien ja kattopintojen heijastusominaisuudet, värit yms. Tärkeimmät näkemiseen vaikuttavat tekijät ovat tilan valaisimet ja niiden tuottama valaistus. Myös katseen kohde ja tehtävän työn vaatimukset vaikuttavat. Näkemiseen vaikuttavat myös katselijan yksilölliset ominaisuudet kuten ikä, näkökyky, silmälasit ja vireystila. (Työterveyslaitos 2014 www-sivut)

3.3 Vaatimuksia sisävalaistukselle

Sisävalaistuksen ohjearvoja esitetään standardissa SFS-EN 12464-1. Standardissa esitetään myös valaisinten aiheuttaman häikäisyn rajoittamiseen ja valonlähteiden värintoistoon liittyviä ohjearvoja. Valaistusjärjestelmän on täytettävä vaatimukset koko asennuksen elinkaaren ajan. Tyypillisesti työtehtäväalueilla suositellut valaistusvoimakkuudet ovat 300-750 lx. (Työterveyslaitos 2014 www-sivut)

Työpaikalla tulee olla työn edellyttämä ja työntekijöiden edellytysten mukainen sopiva ja riittävän tehokas valaistus. Sinne on mahdollisuuksien mukaan päästävä riittävästi luonnonvaloa. (Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738)

Hyvässä valaistuksessa on oleellista, että vaaditun valaistusvoimakkuuden lisäksi myös laadulliset ja määrälliset tarpeet tyydytetään.

Valaistusvaatimukset määritetään seuraavan kolmen perustarpeen täyttymisenä:

- näkömukavuus, jolloin työntekijä kokee valaistuksen vaikuttavan positiivisesti hyvinvointiinsa; tämä johtaa epäsuorasti myös parempaan tuottavuuteen ja työn laatuun
- näkötehokkuus, jolloin työntekijät pystyvät suoriutumaan näkötehtävästään myös vaativissa olosuhteissa ja pitempien jaksojen aikana
- turvallisuus.

(Suomen standardoimisliitto SFS 2010)

4 TAUSTATIETOA LEDEISTÄ

Led-teknologia on kehittynyt viime vuosina valtavaa vauhtia eteenpäin, erityisesti yleisvalaistussektorilla. Tämä menestystarina tuskin hämmästyttää, koska ledeillä on lukuisia hyödyllisiä ominaisuuksia perinteisiin valaistusteknologioihin verrattuna: Ne ovat pieniä, kompakteja, hyvin pitkäikäisiä ja niitä voidaan käyttää erittäin monipuolisesti. Lisäksi niiden värintoisto ylittää hyvältä erinomaiseen. (Osram 2015 www-sivut)

4.1 Historia ja kehitys

Ledien juuret ulottuvat vuoteen 1907, kun englantilainen Henry Joseph Round havaitsi, että epäorgaaniset materiaalit kykenevät säteilemään valoa sähkövirran ansiosta. Vuoteen 1951 saakka havaintoa tutkittiin enemmän, kunnes transistorin kehittäminen vei puolijohdefysiikkaa tieteellisesti askeleen eteenpäin.

Led varsinaisena keksintönä tuli ihmisten tietoisuuteen kuitenkin vasta vuonna 1962, jolloin amerikkalaisen Nick Holonyakin kehittämä ensimmäinen punainen luminesenssidiodi tuli markkinoille. Ensimmäinen näkyvän valon aallonpituusalueella toimiva led merkitsi teollisesti valmistetun ledin synnyinhetkeä. Vuonna 1971 uusien puolijohdemateriaalien kehittämisen tuloksena alettiin valmistaa uudenvärisiä ledejä: vihreitä, oranseja ja keltaisia. Ledien suorituskyky ja tehokkuus kehittyivät edelleen. Seuraavana suurena askeleena Japanilainen Shuji Nakamura kehitti ensimmäisen kirkkaansinisen ledin sekä spektrin vihreällä alueella toimivan erittäin tehokkaan ledin (InGaN-diodi). Hie- man myöhemmin hän suunnitteli myös valkoisen ledin.

Ensimmäiset 100 lumenia per watti -valodiodit valmistettiin vuonna 2006. Ainoastaan kaasupurkauslamput lyövät enää tämän valotehokkuuden laudalta. Laboratorio-oloissa on kehitetty jo tietynvärisiä ledejä, joiden valotehokkuus on jättimäinen 250 lumenia per watti. Kehitys jatkuu. Tänään jatkokehitys kohti OLED:ä (Organic Light-Emitting Diode) katsotaan tulevaisuuden teknologiaksi. (Osram 2015 www-sivut)

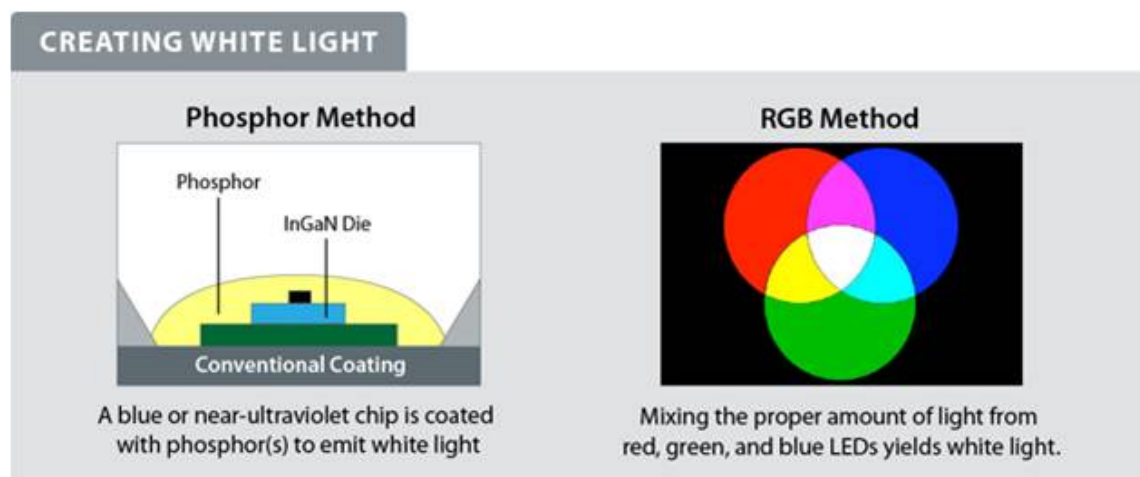
4.2 Tekniikka ja rakenne

LED (Light-emitting diode) on puolijohdekomponentti, jonka toiminta perustuu elektroluminesenssi-ilmiöön. Elektroluminesenssi-ilmiössä sähkövirta johdetaan kiinteään aineeseen, joka alkaa emittoimaan valoa.

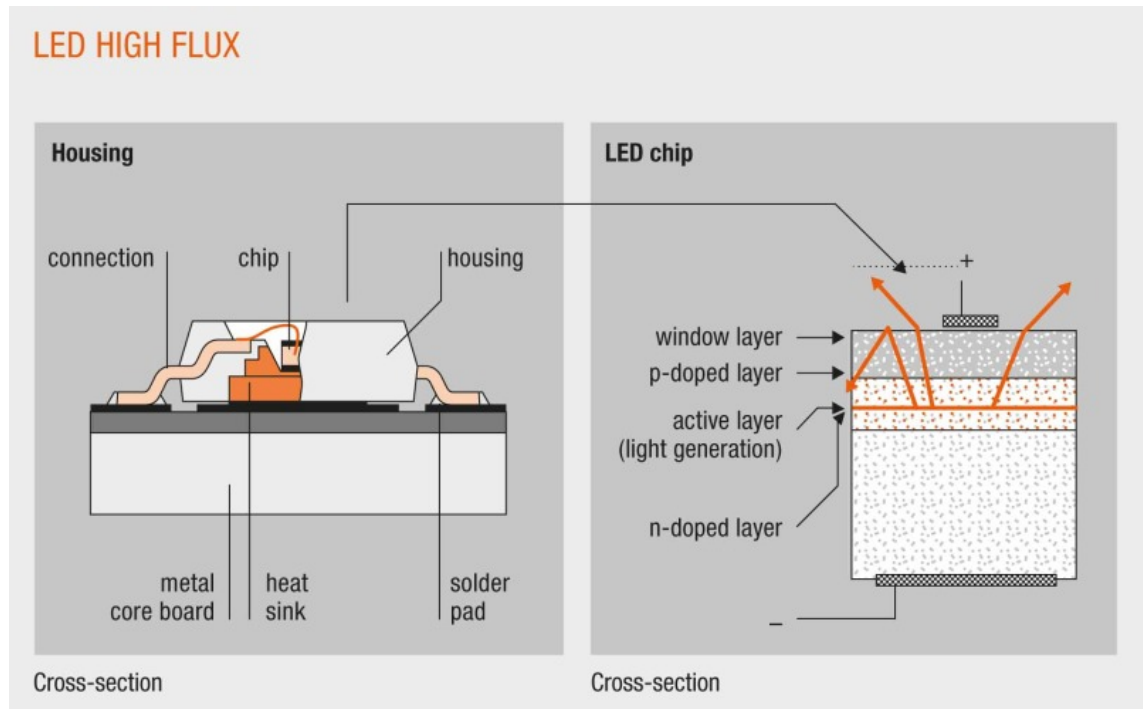
Valodiodi muodostuu useista puolijohtavista materiaalikerroksista. Kun diodia käytetään tasavirralla, aktiivisessa kerroksessa syntyy valoa. Valo otetaan ulos suoraan tai heijastamalla. Led säteilee tietynväristä valoa, toisin kuin jatkuvaa spektriä säteilevät heijastinhehkulamput. Valon väri riippuu käytettävästä puolijohdemateriaalista. Käytössä on pääasiassa kaksi materiaalijärjestelmää. Niiden avulla valmistetaan kaikenvärisiä kirkkaita ledejä sinisestä punaiseen ja luminesenssikonversion avulla myös valkoiseen. Diodin käyttäminen myötasuuntaan edellyttää erilaisia jännitteitä.

Ledit ovat puolijohdekiteitä. Kun virta kulkee niiden läpi, ne säteilevät kideyhdisteiden koostumuksesta riippuen punaista, vihreää, keltaista tai sinistä valoa. Ylimääräisen keltävän fluoresoivan kerroksen avulla siniset ledit tuottavat myös valkoista valoa (luminesenssikonversio). Toinen tapa tuottaa valkoista valoa on yhdistää punainen, vihreä ja sininen valodiodi (RGB). Tällaista menetelmää käytetään etenkin kohteissa, joissa ei ensisijaisesti tarvita valkoista yleisvalaistusta, vaan värikästä koristevaloa. Kuvassa 1 on havainnollistettu valkoisen valon luontiin käytettäviä tekniikoita. On olemassa myös kolmas, harvinainen tapa luoda valkoista valoa, joka on sekoitus luminesenssikonversiota ja RGB tekniikkaa.

Kolmen RGB-värien yhdistelmiä muuntelemalla on mahdollista sekoittaa mikä tahansa värisävy. Näin led-valaistuksella saadaan aikaan kiehtovia valaistusratkaisuja. (Osram 2015 www-sivut)

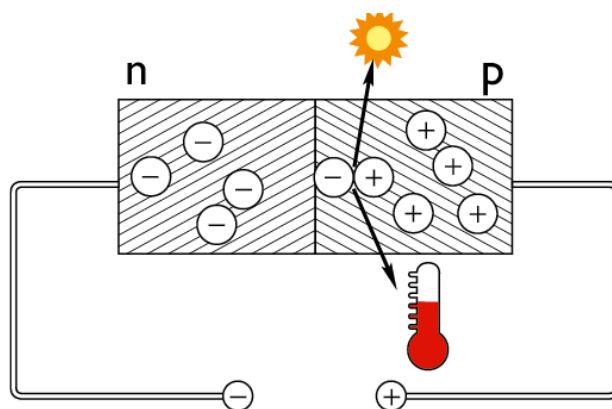


Kuva 1. Valkoista valoa tuottavat led-tekniikat. (Antares Group Inc www-sivut)



Kuva 2. Poikkileikkaus ledistä. (Osram 2015 www-sivut)

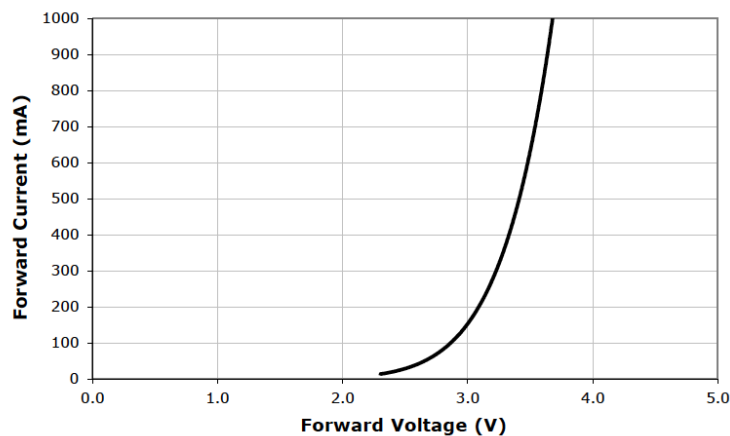
Led on rakenteeltaan diodi eli pn-rajapinta (kuva 2). P-tyypin puolijohde on ainetta, jonka valenssivyöllä on tyhjiä elektronitiloja eli aukkoja ja johtavuusvyö on tyhjä. Puolestaan n-tyypin valenssivyö on täynnä ja johtavuusvyöllä on ylimääräisiä elektroneja. Kun rajapinnan ylitse kytketään riittävän korkea kynnysjännite, alkaa sähkökenttä kuljettaa elektroneja tyhjennysalueelle, jolloin ne putoavat korkeamman energian tiloilta johtavuusvyön matalamman energian aukkoihin. Tällöin energia vapautuu fotoneina ympäristöön. Kuva 3 havainnollistaa tarkemmin elektronien siirtymisen myötäsuuntaisen sähkövirran mukana.



Kuva 3. Ledin toimintaperiaate. Elektronin siirtyessä N-puolelta P puolelle syntyy valoa ja lämpöä ympäristöön. (OEM Finland Oy www-sivut)

Suurimmat valodiodit ovat tänä päivänä kooltaan n. 1 mm ja pisteen muotoisia. Diodi asennetaan koteloon, jotta se säilyisi ehjänä. Tällöin ledin valokeilaa on helpompi muokata ja suunnata haluttuun kohteeseen. LED-valon valokeilaa on helpompi säätää kuin vastaavaa ympärisäteilevää valonlähdettä.

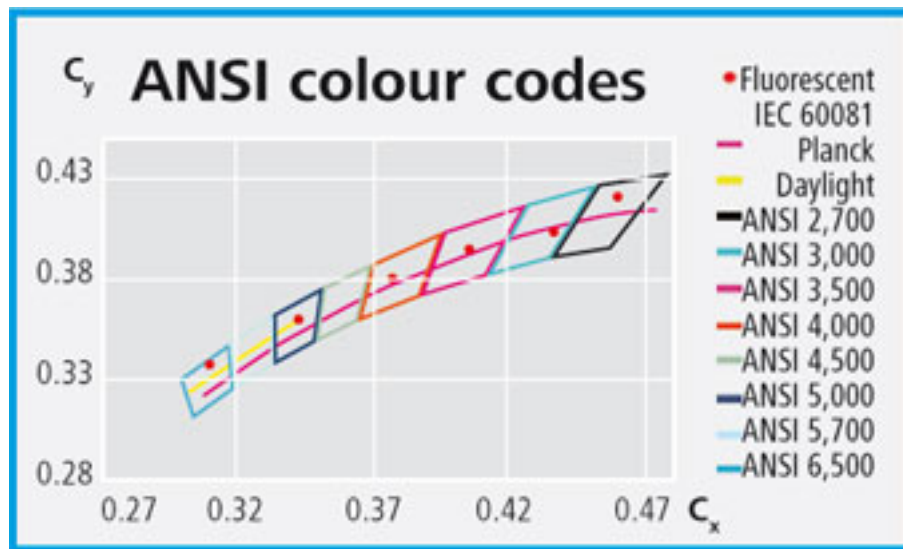
Toimiakseen diodi asennetaan piirilevyyn. Tämä mahdollistaa hyvän sähköisen kytkennän ja samalla piirilevy johtaa lämpöä pois diodista. Ledeillä itsellään ei ole sähkövastusta, jonka johdosta virtapiirissä on oltava virranrajoitus. Led-ohjaimet syöttävät oikean suuruista vakiovirtaa diodille. Syötettävän virran suuruus määrittää, kuinka paljon diodi tuottaa valoa. Kuviosta 1 nähdään jännitteen ja virran kuvaaja ledille. Kynnysjännitteen ylitettyään ledin virta kasvaa jyrkästi. (OEM Finland Oy www-sivut)



Kuvio 1. Myötäsuuntaisen virran ja jännitteen kuvaaja ledille. (Cree Inc. 2014 www-sivut.)

4.3 Ledien tuottama valo

Koska ledien tuottama valo ei ole täysin jatkuvaspektristä, tulee kiinnittää huomiota värin laatuun ja värintoisto-ominaisuuksiin. Ledien tuotantoprosessissa lopputuotteena on ledejä, joiden värikoordinaatit sijaitsevat molemmin puolin Planckin säteilijän (Planckin musta kappale) säteilykäyrää CIE:n eli kansainvälisen valaistuskomission väriavaruudessa (1931). Tämän takia käytetään binning-järjestelmää, jossa ledit luokitellaan niiden värikoordinaattien tai värilämpötilan perusteella. Kuvassa 4 nähdään ANSI-standardin suosittama värilämpötiloihin perustuva koodisto. (Glamox Luxo Lighting Oy www-sivut)

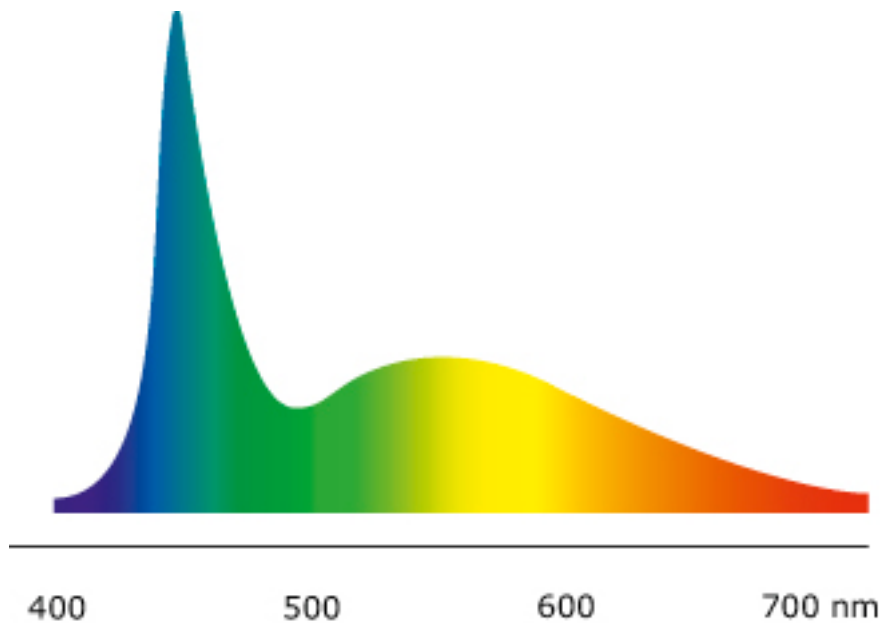


Kuva 4. ANSI-standardin värikoodisto. (OMS Lighting 2012 www-sivut)

Luokittelu eli binning perustuu ihmissilmän herkkyyteen tunnistaa värejä niin kutsutun MacAdamin ellipsien mallin mukaan. Tiedemies nimeltä David MacAdam loi kyseisen mallin vuonna 1943. Hän pyrki CIE:n väriavaruuteen piirtämiensä ellipsien avulla määrittämään, kuinka herkästi ihminen havaitsee eron kahden värin välillä, kun liikutaan värikoordinaatistossa x- ja y-suunnassa. Ellipsien eri koot eli askelmat vastaavat keskijajontaa. Askemat siis kuvaavat todennäköisyyttä, millä osa ihmisistä havaitsee värieron. Yksinkertaisesti sanottuna: mitä suurempi MacAdam-arvo on, sitä todennäköisemmin ihminen havaitsee värieron. Amerikkalaisessa ANSI-standardissa suositellaan, että valonlähdevalmistajat pysyisivät 4 askelman ellipsin sisällä. Esimerkiksi 3000K led-valaisimen värilämpötilan vaihtelun tulisi olla enintään $\pm 100K$ taulukon 1 mukaisesti. (Glamox Luxo Lighting Oy www-sivut)

Taulukko 1. MacAdamin ellipsien vaihtelurajat 3000K. (Photometric Testing 2015 www-sivut)

SDCM	CCT @ 3000K	ΔUV
1x	$\pm 30K$	± 0.0007
2x	$\pm 60K$	± 0.0010
4x	$\pm 100K$	± 0.0020
7-8x	$\pm 175K$	± 0.0060



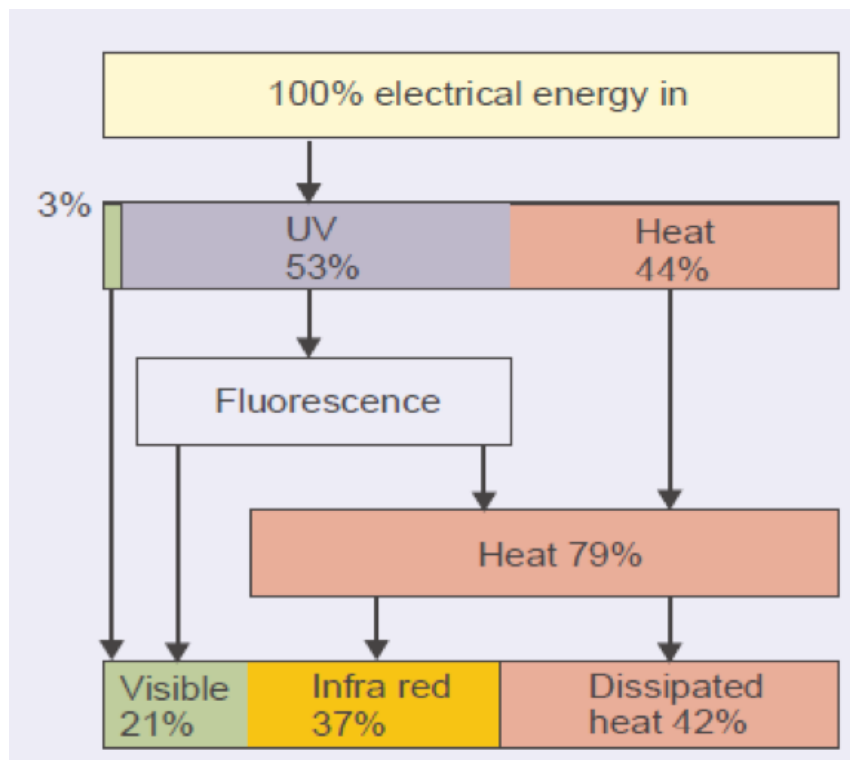
Kuva 5. Fosfori-menetelmällä valmistetun ledin spektri. (Glamox Luxo Lighting Oy [www-sivut](#))

Kuvan 5 ledin spektrijakaumasta eli siitä kuinka paljon eri aallonpituuksilla emittoituu valoa nähdään selkeästi sinisen ledin tuottama valo sekä lediin lisätyn fosforin valo.

4.4 Led verrattuna loisteputkeen

Loistelamppujen ja pienloistelamppujen toiminta perustuu pienpaineikaasupurkausperiaatteeseen. Pienpaineikaasupurkauslampun lasiputki on täytetty matalapaineisella jalokaasulla ja pienellä määrällä elohopeaa. Lasinen seinämä on päällystetty fluoresoivalla loisteaineella. Rungon sisällä kahden elektrodin väliin muodostuu sähkökenttä, joka saa aikaan kaasupurkauksen. Purkausprosessi saa elohopeahöyryn säteilemään UV-säteitä. Näkyvää valoa syntyy heti, kun UV-säteily saavuttaa fluoresoivan aineen. Syntyvän valon väriä voidaan säädellä käyttämällä erilaisia fluoresoivia seoksia. Tämän takia loistelamppuja voidaan valmistaa moniin erilaisiin tarpeisiin. (Osram 2015 [www-sivut](#))

Loisteputken kuluttamasta energiasta suuri osa kuluu erilaisiin häviöihin, kuten ultraviolett- ja lämpösäteilyksi. Otetusta sähköenergiasta vain 21% muuttuu näkyväksi valoksi, 37% infrapunasäteilyksi ja 42% lämpöhäviöiksi. (kuva 6)

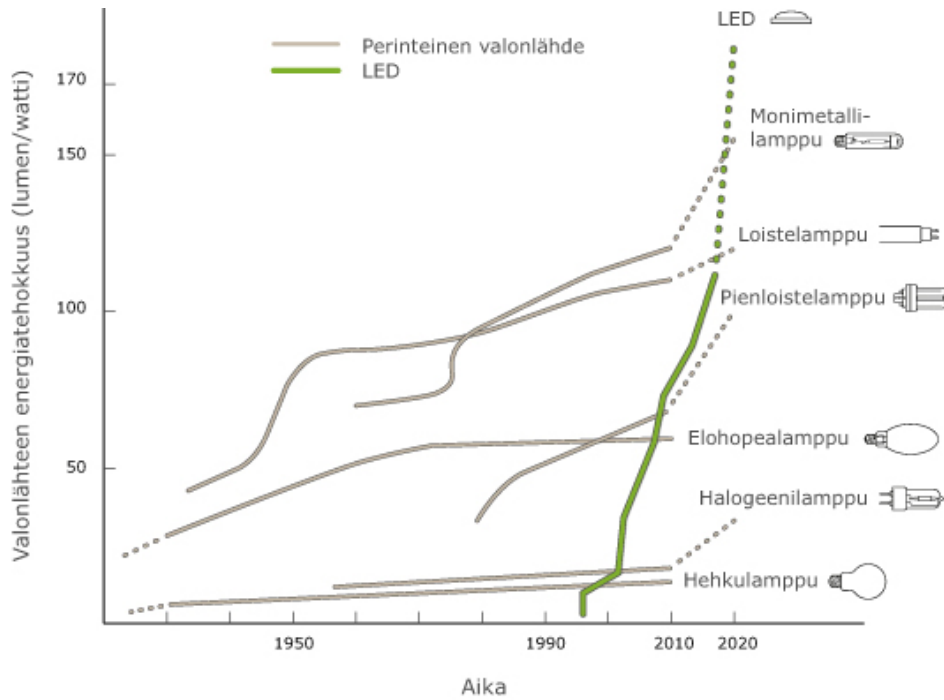


Kuva 6. Loisteputken energianmuunnos. (Simpson 2003, 121)

Nykyisissä led-valaisimissa tapahtuvat häviöt ovat noin 30% kokonaishyötysuhteesta. Häviöt koostuvat lämpöhäviöistä, ohjaimessa syntyvistä häviöistä sekä optiikasta johtuvista häviöistä. Ohjaimesta johtuvat häviöt ovat yleensä 15%. Kun loisteputkissa lämpöhäviöt voidaan olettaa lähes vakioiksi valmistajasta riippumatta, ovat ledien lämpöhäviöt yksilöllisiä kaikille led-valaisimille. Tämä johtuu ledien valotehokkuuden kasvamisesta ledin lämpötilan laskiessa. Toisin sanoen lämpöhäviöt riippuvat valmistajan valitsemasta jäähdytystehosta sekä ympäröivän ulkoilman lämpötilasta. (DOE 2013)

Ledien energiatehokkuus on parantunut huimaa tahtia viime vuosina ja mikäli kehitys jatkuu samalla tavalla, on arvioitu, että myydyistä valonlähteistä led-valaisimia tulee olemaan maailmanlaajuisesti 50% vuoteen 2020 mennessä. (Glamox Luxo Lighting Oy [www-sivut](#))

Kun katsotaan alla olevaa kuvaajaa (kuva 7) huomataan, että loistelamppujen energiatehokkuus on kasvanut kymmenien vuosien ajan tasaisesti. Ledien varsinainen kehitys taas on alkanut vasta 1995 ja on jo nyt loistelampun kanssa lähes samassa pisteessä. Tästä voidaan olettaa, että ledien kehitys tulee ohittamaan loistelampun parempana valonlähteenä muutaman vuoden sisällä ja parempien valmistustekniikoiden myötä yleisen hintatason laskiessa ne tulevat yleistymään.



Kuva 7. Eri valonlähteiden valotehokkuuden kehittyminen ajan kuluessa. (Glamox Luxo Lighting Oy www-sivut)

4.5 Ledin edut ja haitat

Perinteisiin valolähteisiin verrattuna ledeillä on useita erilaisia etuja, jotka tekevät siitä tulevaisuudessa käytetyimmän valonlähteen. Hyvän energiatehokkuuden lisäksi ledeillä on muun muassa seuraavia etuja verrattuna perinteisiin valonlähteisiin:

- Erittäin pieni koko ja ohut rakenne
- LED-valo ei tuota IR- tai UV-säteilyä
- LED toimii paremmin kylmässä ympäristössä. Esim. jääkaappivalon käyttöikä on huomattavasti pidempi verrattuna huonelämpötilassa olevaan valoon.
- Erittäin pitkä käyttöikä.
- Ei reagoi iskuihin tai tärinään.
- Helppo käyttää, käynnistyy heti täydellä teholla ja valotehoa voidaan säätää helposti välillä 0-100%.
- LED-valo ei vilku, koska käyttöjännite on tasavirta(DC).
- Sytyttämiset/sammuttamiset eivät vaikuta kielteisesti, päinvastoin – käyttöikä pitenee.

- LEDillä on korkea valoteho ja valoa voidaan muokata yksinkertaisella muovilinssillä tai heijastimella pienillä häviöillä.
- Ei sisällä elohopeaa tai muita raskasmetalleja.

Ledeillä on paljon erilaisia hyötyjä ja vaikka se usein onkin ylivoimaisesti parempi vaihtoehto kuin perinteinen valaisin on sillä myös omat haittansa. Niihin voidaan lukea muun muassa seuraavat:

- LED on erittäin lämpöherkkä. Se ei luovuta lämpöä säteilynä (IR) vaan vaati tehokkaan jäähdytyksen, muuten käyttöikä lyhenee huomattavasti.
- LED-valo on monokromaattinen.
- Hankintahinta korkeampi verrattuna esim. hehkulamppuihin – pidemmän päälle edullinen alhaisen energiankulutuksensa ja pitkän käyttöikänsä ansiosta.
- Valkoisilla LEDillä voi olla suuria eroja värisävyyssä, mikä pitää ottaa huomioon.
- Valon tuottaminen LEDillä vaatii erillisen virtalähteen.
- Kaikkia valaisimia ei voi himmentää perinteisillä himmentimillä.

(OEM Finland Oy [www-sivut](#))

5 VALAISTUKSEN NYKYTILANNE

5.1 Nykyinen valaistus

Toimiston eri tiloissa on käytössä tällä hetkellä 1970-luvulla asennetut alkuperäiset valaisinrungot, joissa on loistelamput, tyypiltään T8 (kuva 8). Valaisimia on eri kokoisia mm. kokoluokissa 1x36W/2x36W ja 1x58W/2x58W. Kaikissa toimiston kolmessa kerroksessa on käytetty samoja valaisimia, lukuun ottamatta toisen kerroksen saneerattuja neuvotteluhuoneita, joissa on T5-pienloisteputkivalaisimet. Toimistoon on myös lisätty loistelamppu valaisimia tarvittaviin paikkoihin.

Perinteisen loisteputken ottotehoon lisätään kuristimen teho, joka on keskimäärin 15 W. Näin ollen 58 W loisteputken (pituus 150 cm) todellinen kulutus on 72 W, 36 W loisteputken (pituus 120 cm) kulutus 51 W ja 18 W loisteputken (pituus 60 cm) putken kulutus 32 W. Täten opinnäytetyössä oletetaan loistelampun todelliseksi ottotehoksi $P_N + 15W$. (Valoram Oy [www-sivut](http://www.sivut))



Kuva 8. Nykyinen loisteputkivalaisin.

Koska toimistorakennuksesta ei ollut olemassa minkäänlaisia sähköisiä pistekuvia, kuului tähän opinnäytetyöhön myös niiden piirtäminen, jotta tietoja voitaisiin jatkossa käyttää hyväksi. Toinen syy pistekuvien piirtämiseen oli niiden käyttäminen opinnäytetyön uuden valaistussuunnitelman tekemisessä, sillä niiden perusteella saatiin valaisimien

paikat määriteltyä. CADS Planner 16 –ohjelmistolla tehdyistä pistekuvista selviää nykyisen valaistuksen paikat sekä muut tärkeät sähköiset komponentit, kuten pistorasiat ja kytkimet.

CADS Planner –ohjelmistolla tehdyt pistekuvat nähdään liitteissä 1-3.

5.2 CADS Planner 16

CADS Planner on vuonna 1979 perustetun Kymdata Oy:n tekemä tekniseen piirtämiseen suunniteltu ohjelmisto. Yritys on kehittänyt toimialakohtaisia CADS-ohjelmistoja jo 30-vuotta. CADS-ohjelmistot ovat tutkitusti markkinajohtajia Suomessa sähkö- ja LVI-suunnittelutoimistoissa ja urakointiyrityksissä. CADS-ohjelmistoja löytyy esimerkiksi CADS Electric, jolla on mahdollista toteuttaa esimerkiksi teollisuuden teknisiä sähköpiirustuksia ja CADS House, jonka avulla voidaan suunnitella rakennuksia tai osia niistä.

Kymdata Oy:llä on seitsemän eri toimipistettä, jotka sijaitsevat Kotkassa, Kuopiossa, Lahdessa, Oulussa, Turussa, Vaasassa ja Vantaalla. (Kymdata Oy www-sivut)

5.3 Valaistusvoimakkuuden mittaaminen

Valaistusta mitataan luksimittarilla, joka koostuu valokennosta, värikorjaussuotimesta, kosinikorjaimesta sekä virtamittarista.

Kohdevalaistus mitataan työskentelypisteessä. Valaistusmittari asetetaan työtasolle ja luetaan lukema. Samalla valaistusvoimakkuus mitataan kauempaa työpisteestä, siten arvioidaan valaistuksen tasaisuutta. Valaistusvoimakkuuden mittauskorkeus on istumatyössä 75 cm ja seisomatyössä 90 cm.

Tilan yleisvalaistuksen voimakkuus mitataan tasavälisin mittauspistein joko koko tilasta tai sellaisesta osasta huonetta, jossa valaisimet sijaitsevat symmetrisesti. (Työterveyslaitos 2014 www-sivut)

Tässä opinnäytetyössä käytettiin Trotec:n BF05 Multimeasure Basic valaistusvoimakkuusmittaria. Valaistusvoimakkuusmittarin virhemarginaali $\pm(5 \% + 10 \text{ lx}) < 10000 \text{ lx}$, $\pm(10 \% + 10 \text{ lx}) > 10000 \text{ lx}$.

Suomen standardoimisliitto on määritellyt toimistotiloihin valaistusvoimakkuusvaatimukset, jotka ovat taulukon 2 mukaiset.

Taulukko 2. Valaistusvoimakkuusvaatimukset toimistotiloissa. (Suomen standardoimisliitto SFS 2010)

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

5.4 Toimiston valaistusvoimakkuuden mittaustulokset

Valaistusvoimakkuusmittaukset suoritettiin Elematic Oy Ab:n päätoimipaikan tiloissa Akaan Toijalassa joulukuun alussa normaalissa päivänvalossa. Mittauksia varten oli etukäteen määritelty mittauskartta, johon tulokset merkattiin. Mittauskarttaan määritettiin riittävä määrä mittauspisteitä, jotta mittaus olisi luotettava. Mittaukset suoritettiin työterveyslaitoksen edellyttämällä tavalla.

Elematic Oy Ab:n toimiston koosta ja työhuoneiden suuresta määrästä johtuen valaistusvoimakkuusmittaukset suoritettiin jokaisessa kerroksessa eniten käytetystä tilasta. Tilat valittiin myös tarkoituksella yleistiloista, jotta opinnäytetyön tarkoituksena olevan ledien kustannustehokkuuden/ valaistusvoimakkuuden merkitys ja edut korostuisivat. Tiloiksi valikoitui ensimmäisen ja toisen kerroksen avokonttorit, molempien ollessa suuria yleistiloja, jossa työskentelee suuri määrä ihmisiä samaan aikaan. Työntekijöistä suurin osa tekee näkötehtäviä tietokonepääteellä. Kellarista valittiin ainoa aktiivisessa käytössä oleva tila, joka on varastosta neuvotteluhuoneeksi muutettu neuvotteluhuone. Mittauksista saaduista tuloksista laskettiin keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m , joka saadaan kun lasketaan mittausruutujen keskipisteistä saatujen tulosten keskiarvo.

		3,00						
3,00	768	459	390	967	767	792	836	702
	637	728	713	970	889	811	903	708
	527	1180	1250	1014	1085	885	975	721
	429	1017	755	483	685	517	486	630
	421	623	518	463	527	448	458	510

Kuva 9. Kerroksen 1 avokonttorin valaistusvoimakkuusmittauksen tulokset.

Kerroksen 1 avokonttorin (kuva 9) mittauksen tuloksista nähdään, että mittaustulokset vaihtelevat välillä 390 – 1250 lx. Mittausten tekohetkellä konttorissa oli muutama loisteputki rikki, joten voidaan olettaa, että pienimmät valaistusvoimakkuus tulokset johtuvat siitä ja täten ne jätetään pois laskuista. Keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi saadaan tulosten perusteella noin 707 lx, mikä täyttää SFS EN 12464-1-standardin vaatimukset toimistotilojen valaistusvoimakkuuksista. Valaistuksen tasaisuus on erittäin vaihteleva ja sitä pyritään uuden suunnitelman myötä parantamaan.

	3,00									
3,00	709	836	776	695	952	793	789	734	688	504
	957	952	840	918	952	878	1090	812	632	589
	637	702	723	930	995	885	781	847	817	643
	635	674	678	681	635	736	862	509	532	487
	467	558	610	616	596	624	612	435	466	429

Kuva 10. Kerroksen 2 avokonttorin valaistusvoimakkuusmittauksen tulokset.

Kerroksen 2 avokonttorissa (kuva 10) mittaustulokset vaihtelevat välillä 429 – 1090 lx. Mittausten aikana kaikki loisteputket olivat kunnossa, joten mittaustuloksista ei tarvitse jättää pois tuloksia. Keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi saadaan tulosten perusteella noin 718 lx, mikä täyttää SFS EN 12464-1-standardin vaatimukset toimistotilojen valaistusvoimakkuuksista. Jälleen valaistusvoimakkuuksien tasaisuus on vaihteleva yli kaksinkertaisella valaistusvoimakkuuksien erolla kahden eri pisteen välillä. Koska tilassa tehdään paljon tietokonepäätyötä, täytyy uudessa suunnitelmassa kiinnittää huomiota valaistuksen tasaisuuteen häikäisyn ja varjojen syntymisen estämiseksi.

	3,00		
3,00	321	557	630
	314	462	608
	334	447	612
	345	357	602

Kuva 11. Kerroksen 0 neuvotteluhuoneen valaistusvoimakkuusmittauksen tulokset.

Kerroksen 0 neuvotteluhuoneessa (kuva 11) mittaustulokset vaihtelevat välillä 314 – 612 lx. Mittausten aikana kaikki loisteputket olivat kunnossa, joten mittaustuloksista ei tarvitse jättää pois tuloksia. Keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi saadaan tulosten perusteella noin 466 lx, mikä ei täytä SFS EN 12464-1-standardin vaatimuksia toimistotilojen valaistusvoimakkuuksista. Valaistuksen tasaisuudessakin on parantamisen varaa sillä valaistusvoimakkuuden vaihteluväli on todella suuri. Uuden suunnitelman myötä tähän saadaan todennäköisesti suurin parannus.

Kokonaisuutena mittausten perusteella, sekä tehtyjen laskelmien avulla voidaan todeta, että valaistusvoimakkuudet ovat pääosin riittävät tällä hetkellä. Joissakin kohteissa, varsinkin saneerauskohteina olleiden tilojen valaistusvoimakkuudet eivät täytä SFS EN 12464-1-standardia ja täten niihin pitäisi kiinnittää huomiota. Valaistuksen tasaisuus vaihtelee suuresti kaikissa mitatuissa tiloissa, kuitenkin, mikäli nurkat jätetään huomiotta on valaistuksen tasaisuus pääosin standardin sallimissa rajoissa. Tulevaisuudessa tähänkin kannattaisi kiinnittää huomiota työtehokkuuden kannalta.

6 VALAISTUSSUUNNITELMA

6.1 Uusien valaisimien valintakriteerit

Opinnäytetyön kohteena olevan toimistorakennuksen kohdalla loisteputkivalaisimista on suurta haittaa lämmöntuoton vuoksi kesäisin ja tästä syystä led-valaistusta alettiin suunnittelemaan. Rakennus on rakennettu 1970-luvulla, joten uuden suunnitelman pitää olla edullinen ja helppo toteuttaa. Tästä syystä led-valaisimien tärkeimmäksi valintakriteeriksi muodostui niiden helppo vaihdettavuus alkuperäisten tilalle, joten valaisimien tuli olla muodoltaan ja mitoiltaan nykyisten kaltaisia. Toimistorakennuksen valaisimet ovat myös päällä yhtäjaksoisesti noin 10 tuntia päivässä ja kohteessa vaaditaan hyvää valaistusta näkötehtävien takia, joten valaisimien tulisi olla myös laadukkaita.

Edellä mainittujen kriteerien avulla valaistussuunnitelmaan valikoitui seuraavat valaisimet:

1. Winled Eden 1200x300mm, kokonaisteho 42W.
Winled Eden 600x300mm, kokonaisteho 22W.
2. Havells-sylvania Lytepanel 1200x300, kokonaisteho 50W.
3. Philips Arano 1200x300, kokonaisteho 47W.

6.2 Työtilat

Erilaiset työtilat vaikuttavat suuresti uutta valaistussuunnitelmaa tehtäessä, koska eri työtiloihin on annettu erilaiset valaistusvaatimukset. Opinnäytetyössä voidaan kuitenkin soveltaa koko rakennukseen taulukossa 2 olevia vaatimuksia valaistusvoimakkuuksista toimistotiloihin.

Tämän opinnäytetyön toimistorakennuksen työtilat ovat pääosin työtiloja, joissa tehdään tietokonepäätyötä, jolloin suositeltu valaistusvoimakkuus on vähintään 500 lx. Muita suunnitelmassa huomioon otettavia tiloja ovat neuvotteluhuoneet (500 lx), vastaanotto-

tiski (300 lx), arkistointi/kopiointi (300 lx) ja arkisto (200 lx). Käytävillä pitää olla vähintään 300 lx.

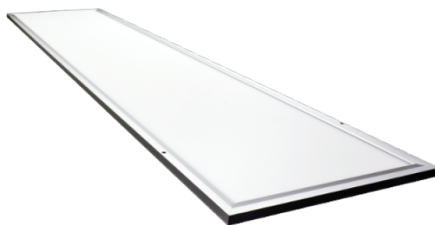
Työskentely tapahtuu pääosin kerroksissa 1 ja 2 sekä kerroksen 0 neuvotteluhuoneessa. Kerroksessa 0 on arkistointitiloja, varastotila, sekä neuvotteluhuone. Kerroksessa yksi on avokonttori, vastaanottotiski, neuvotteluhuoneita sekä toimistohuoneita. Kerros 2 sisältää kopiointitilan, avokonttorin sekä toimistohuoneita. Kerroksen 2 neuvotteluhuoneita ei otettu mukaan suunnitelmaan.

6.3 Mallintaminen DIALux:lla

DIALux on saksalaisen DIAL GmbH:n ohjelmisto, jolla voidaan suunnitella valaistus alusta loppuun. Se on ilmainen ja ohjelmalla voidaan laskea esimerkiksi valaistusvoimakkuudet ja häikäisyindeksi. Laskenta tehdään ottaen samalla huomioon kaikki valaistukseen vaikuttavat tekijät, kuten ikkunoista tuleva päivänvalo. Ohjelmistoon on saatavilla eri valaisinvalmistajilta valaisimien valaistummalleja, joiden avulla laskenta on helppoa. DIALux-ohjelmasta on erilaisia versioita, joista tässä opinnäytetyössä käytettiin DIALux evo:a. Sillä on mahdollista suunnitella valaistus koko rakennukselle sekä lähiympäristölle. Mallintamisessa otettiin huomioon rakennuksen selkeimmät muodot ja pinnat. (DIALux GmbH 2015 www-sivut)

6.4 Uudet valaistussuunnitelmat

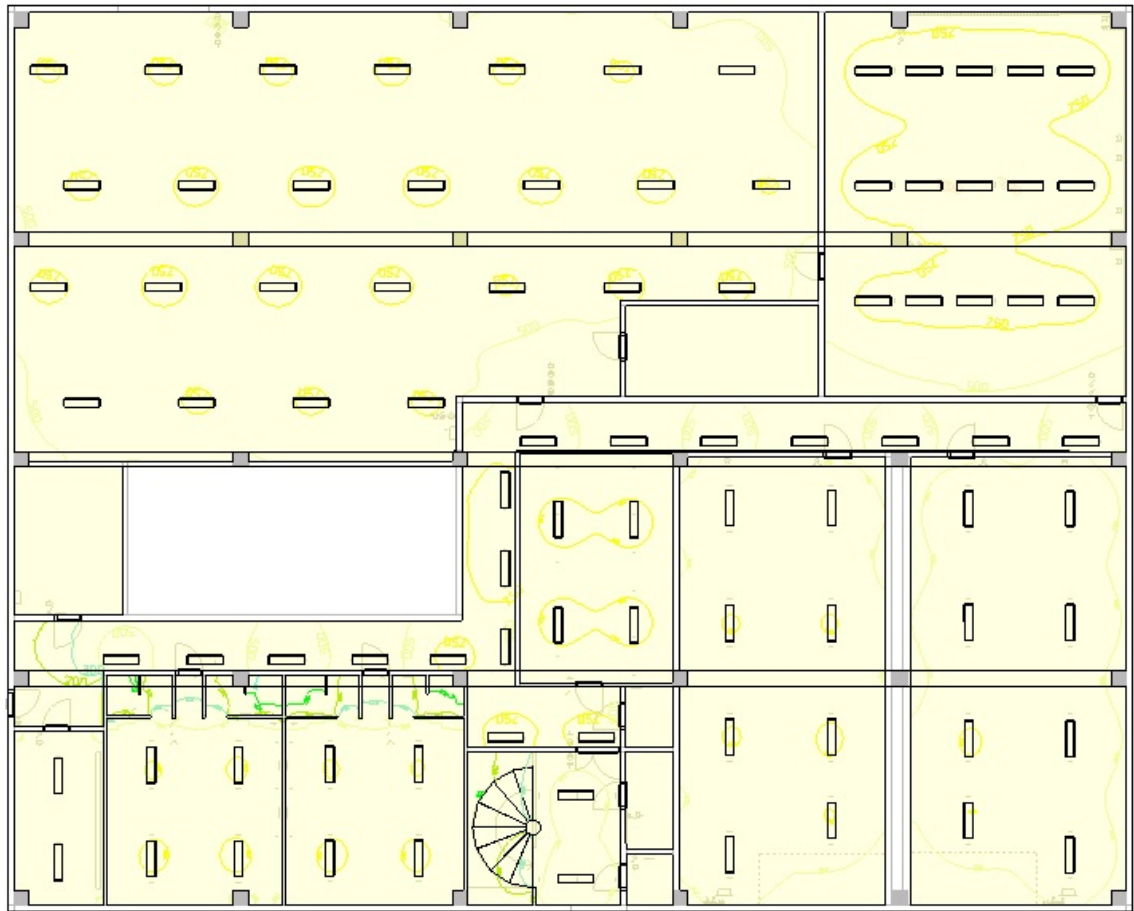
6.4.1 Winled Eden



Kuva 12. Winled Eden -valaisin. (Winled www-sivut)

Ensimmäisessä suunnitelmassa käytettiin Winledin Eden 120x30 (kuva 12) ja 60x30 valaisinpaneeleja. Ne ovat led-valaisimista yleisimpiä paneelimaisten muotonsa takia ja

kyseisiä valaisimia olikin myynnissä useammassa paikassa. Valaisimen alv 0% suositushinta 14.2.2015 on 254,6€/178,6€. Hyvinä puolina voidaan pitää tasaista valonjakoa ja että tarjolla on erikokoisia valaisimia. Valaisimen käyttöikä on 50000 tuntia 30% valaistusvoimakkuuden alenemalla. (Winled [www-sivut](http://www.winled.com))



Kuva 13. Valaistussuunnitelma, Winled Eden, kerros 0.

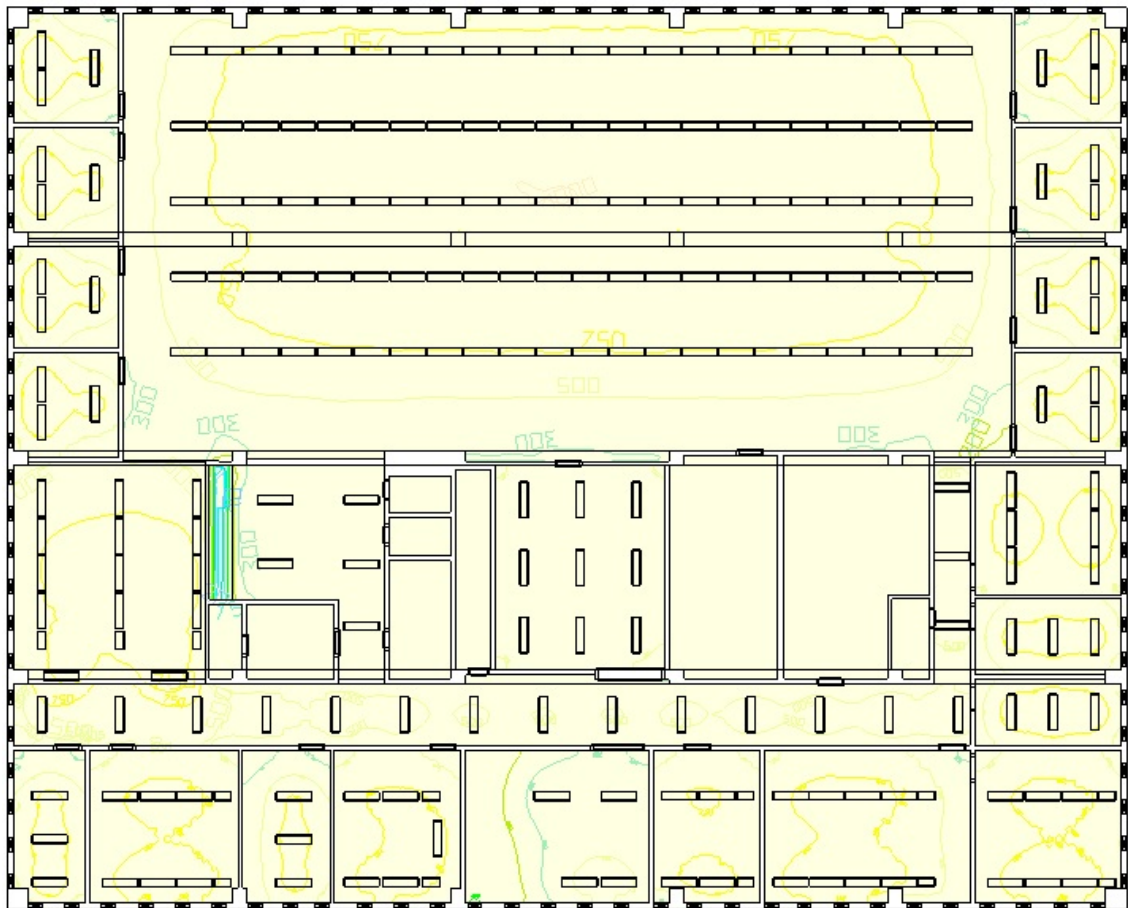
Winled Eden valaisimissa on tasainen valonjako, jonka ansiosta Isolux-käyrät ovat suhteellisen tasaisia. Kuvasta 13 nähdään kerroksen 0 valaistusvoimakkuus, joka on pääosin standardien mukainen. Joissakin kohteissa, kuten esimerkiksi nurkissa valaistusvoimakkuus tippuu alle standardin rajojen. Valaisimet pystyvät tuottamaan kuitenkin riittävän valaistusvoimakkuuden nyt ja vielä 50000 käyttötunnin jälkeenkin. Tärkein kohde on oikeassa ylänurkassa oleva neuvotteluhuone, jonne on saatu suhteellisen tasainen valaistus.



Kuva 14. Valaistussuunnitelma, Winled Eden, kerros 1.

Kuvassa 14 on kerroksen 1 valaistussuunnitelma, jossa eniten ihmisiä työskentelee keskiosassa sijaitsevassa konttorissa. Konttorin valaistus on ikkunoiden lähellä hieman suurempi kuin sisäosassa, mikä korostuu kesäaikaan. Muutoin valaistusvoimakkuudet ovat lähellä nykyisiä ja täyttävät standardit hyvin. Valaistus täyttää standardit vielä 50000 käyttötunnin jälkeenkin.

Kuvassa 15 on kerroksen 2 valaistussuunnitelma, jossa työskennellään eniten keskellä olevassa piirtämössä. Kuten kuvasta nähdään keskiosassa on suuri tasaisen valaistusvoimakkuuden alue ja nurkkiin jää alueet, joissa standardit eivät täyty. Nurkka alueilla on tosin käytävät, jolloin häirtää ei juurikaan aiheudu. Toimistohuoneissa sekä kopioliikassa valaistuksen voimakkuudet ovat suhteellisen hyvät. Valaistus täyttää standardit vielä 50000 käyttötunnin jälkeenkin.



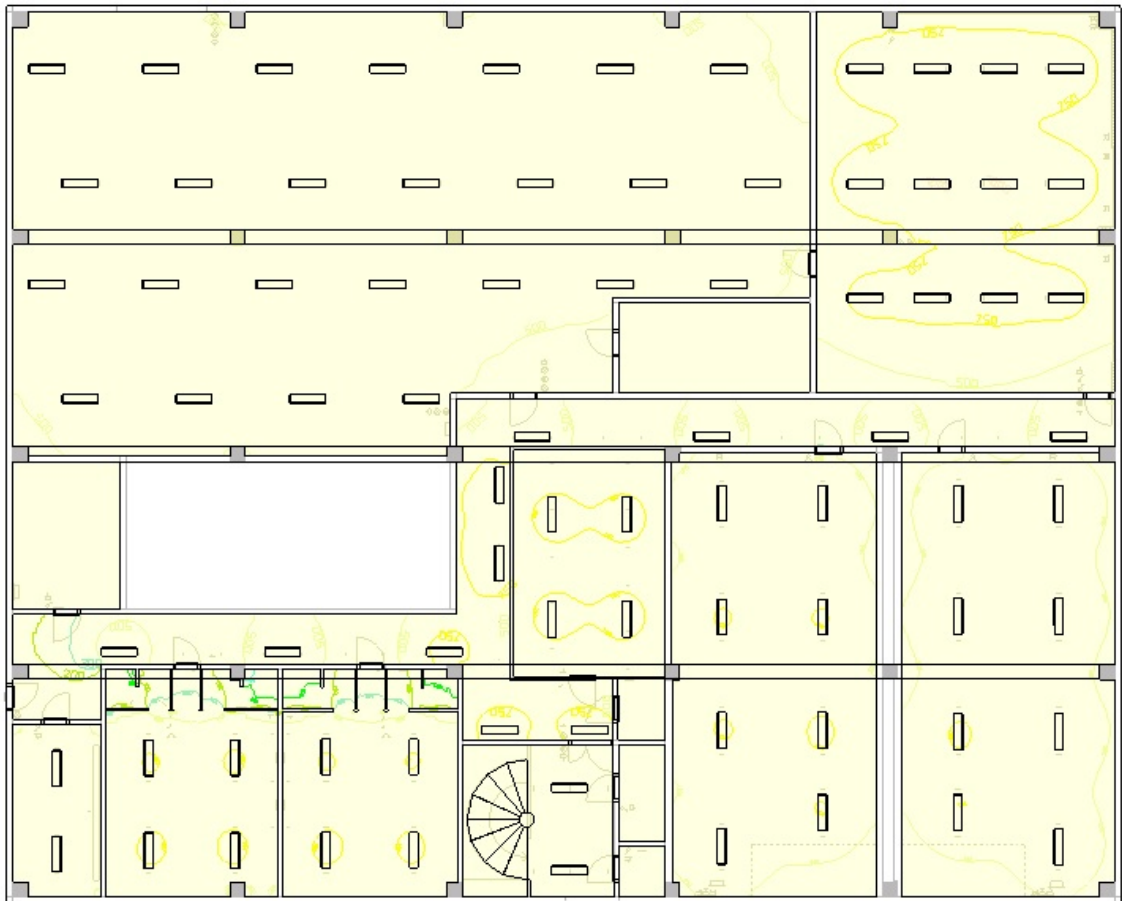
Kuva 15. Valaistussuunnitelma, Winled Eden, kerros 2.

6.4.2 Havells-sylvania Lytepanel



Kuva 16. Havells-sylvania Lytepanel –valaisin. (Havells-sylvania www-sivut)

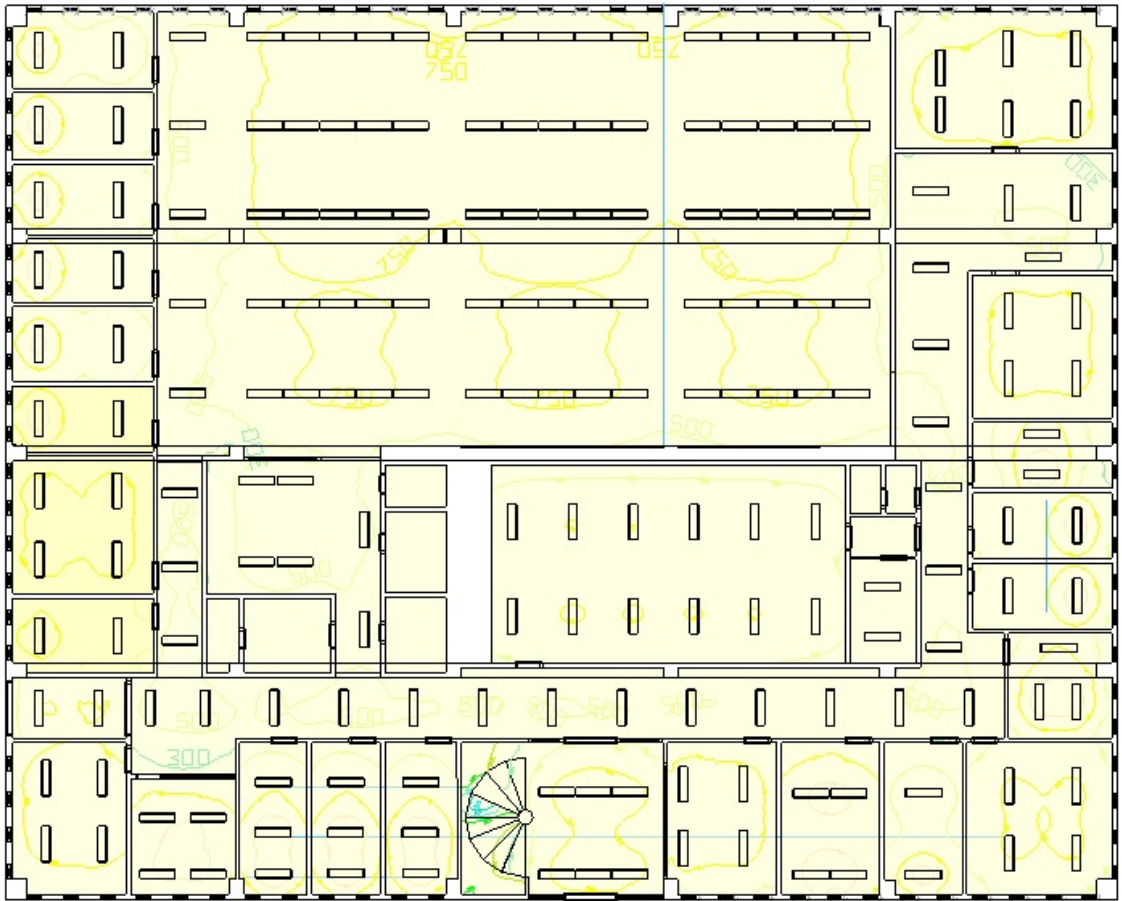
Toisessa suunnitelmassa käytettiin Havells-sylvanian Lytepanel –valaisinta, joka vastaa ulkomuodoltaan paljolti perinteistä loisteputkivalaisinta. Valaisinta saa vain koossa 120x30, jolloin valaisin oli parhaita ehdokkaita juuri muotonsa ja kokonsa takia tähän työhön. Valaisimen alv 0% suositushinta 14.2.2015 on 500,8€, mikä suhteellisen korkea ja tulee todennäköisesti muodostumaan ongelmaksi. Valaisimen käyttöikä on 50000 tuntia 30% valaistusvoimakkuuden alenemalla. (Havells-sylvania www-sivut)



Kuva 17. Valaistussuunnitelma, Havells-sylvania Lytepanel, kerros 0.

Lytepanel tuottaa hieman pistemäisemmän valaistuksen kuin Winled Eden, mutta suuremman valontuoton ansiosta valaisimia voidaan vähentää verrattuna edelliseen suunnitelmaan. Kuvassa 17 näkyvän kerroksen 0 suunnitelman perusteella Lytepanel täyttää standardit suurellakin alueella tuottaen riittävän tasaisen valaistuksen. Käytävillä on havaittavissa suurempien erojen muodostumista, mutta ei kuitenkaan huomattavasti. Jälleen nurkissa valaistusvoimakkuus on pienekkö. Valaistus täyttää standardit vielä 50000 käyttötunnin jälkeenkin.

Kuvassa 18 on kerroksen 1 valaistussuunnitelma Lytepanel-valaisimella. Kun verrataan kuvaan 14 huomataan, että nyt toimistoissa on yksi valaisin vähemmän ja konttorissa niitä on saman verran. Lytepanel-valaisimen paremman valontuottokyvyn ansiosta valaisinten määrä voidaan vähentää jälleen, jolloin energiaakin kuluu vähemmän. Toimistoissa on kuitenkin havaittavissa valaistuksen tasaisuudessa ongelmia, sillä valaistusvoimakkuus on toisella puolen suurempi. Muutoin suunnitelma täyttää standardit hyvin.



Kuva 18. Valaistussuunnitelma, Havells-sylvania Lytepanel, kerros 1.

Kerroksen 2 suunnitelma on kuvassa 19, jonka mukaan valaistusvoimakkuudet täyttävät pääosin standardin. Nurkkiin ja osiin käytävistä jää kuitenkin selkeästi heikomman valaistuksen alueita. Piirtämön alueella valaistus on kuitenkin hyvä ja valaisinten määräänkin on voitu selkeästi tiputtaa. Toimistoissa on tasaiset valaistukset ja suunnitelman perusteella 50000 käyttötunnin jälkeenkin valaistus täyttää vaatimukset, jos nurkkia ei lasketa mukaan.



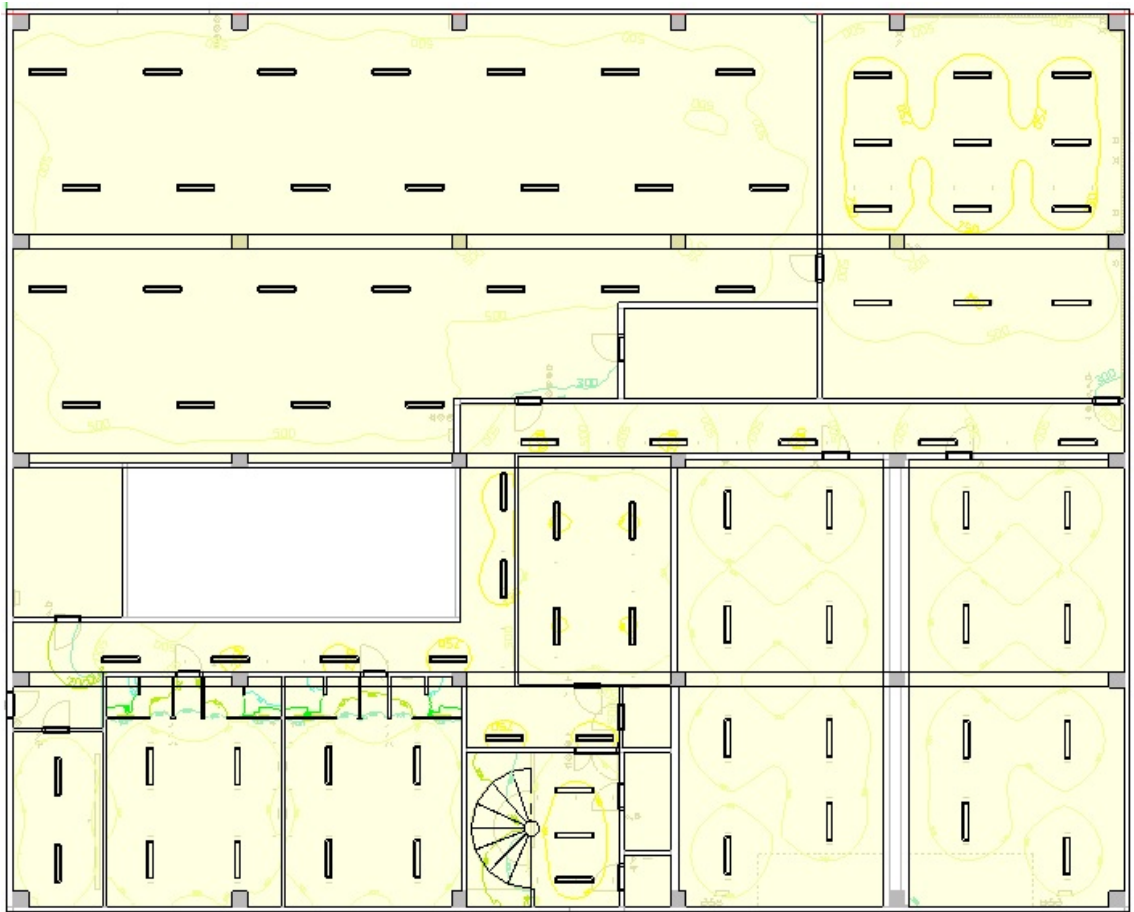
Kuva 19. Valaistussuunnitelma, Havells-sylvania Lytepanel, kerros 2.

6.4.3 Philips Arano



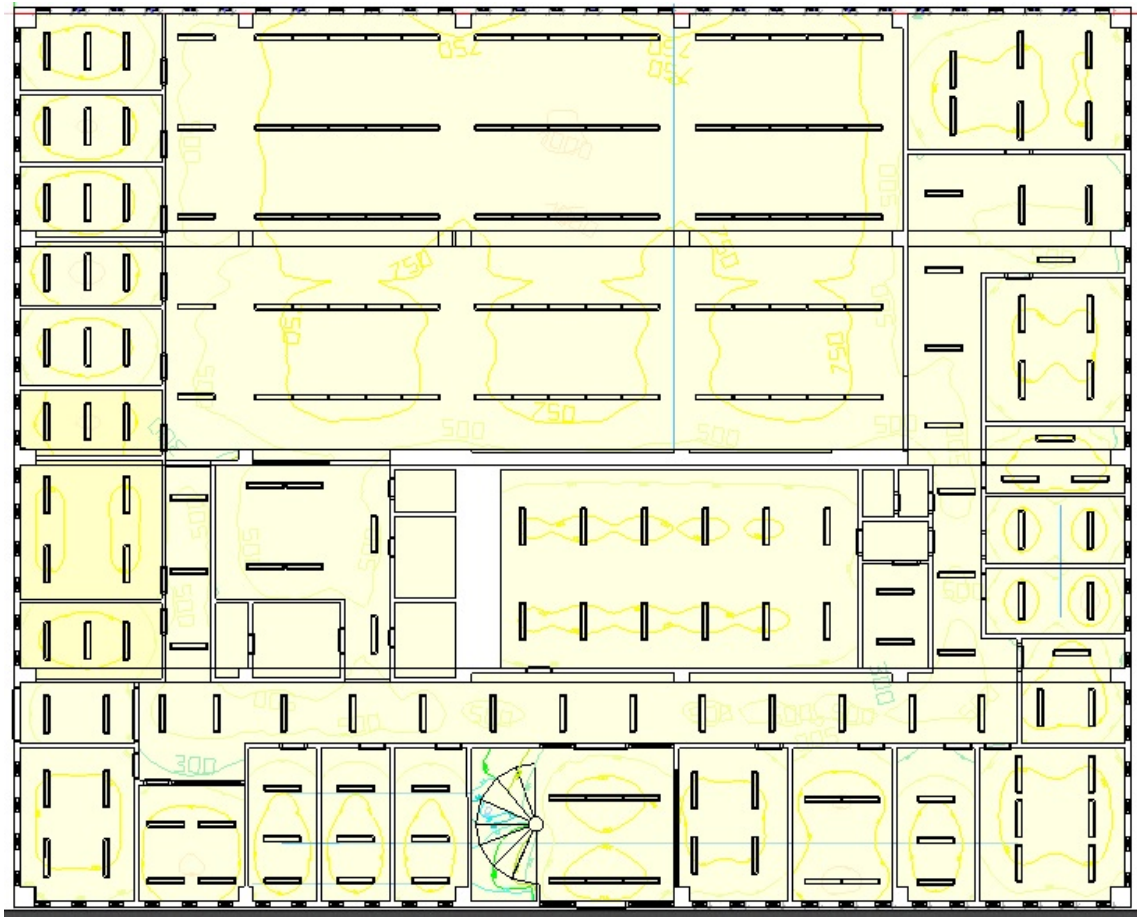
Kuva 20. Philips Arano –valaisin. (Philips www-sivut)

Kolmanteen valaistussuunnitelmaan valittiin tunnetun valmistajan, Philipsin, eniten tähän työhön sopiva valaisin, Arano (mallikoodi BCS640 LED48/840 PSD W21L125 MLO-PC). Tämä malli oli ominaisuuksiltaan ja ulkonäöltään sopivin valaisin. 14.2.2015 suositushinnaksi annettiin alv. 0% 285€. Valaisimen käyttöiäksi on annettu IEC L80B50 mukaan 50000 tuntia 30% valaistusvoimakkuuden alenemalla.



Kuva 21. Valaistussuunnitelma, Philips Arano, kerros 0.

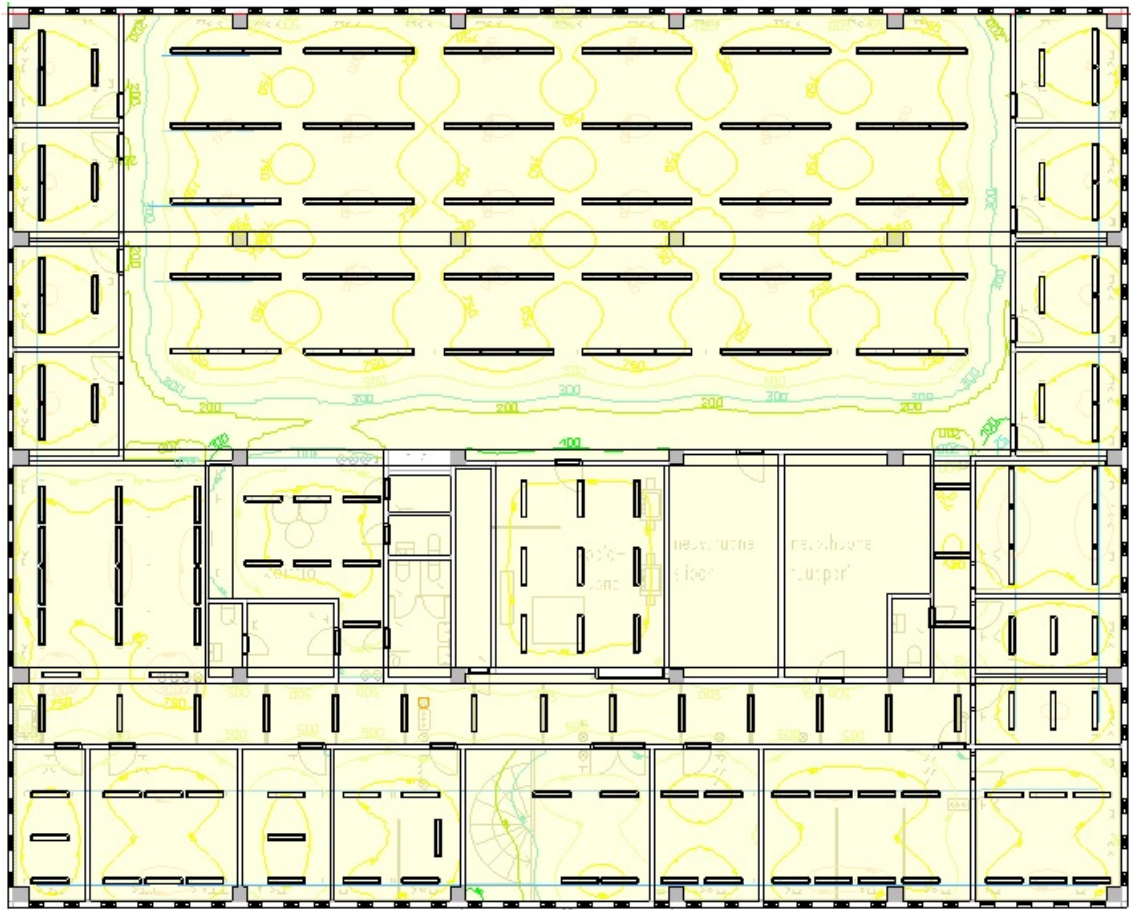
Philips Arano –valaisimella saatu suunnitelma kerrokselle 0 näkyy kuvassa 21. Suunnitelman perusteella valaisin tuottaa heikohkon, mutta erittäin tasaisen valon. Arkistoissa valaistusvoimakkuudet ovat juuri sallituissa rajoissa ja varastossa valaistus on hyvä. Neuvotteluhuoneen valaistus tarvitsisi ehkä hieman lisää valoa takaosaan, jolloin tasaisuus paranisi vielä. Valaisimella tehty suunnitelma täyttää kuitenkin pääosin standardin vaatimukset.



Kuva 22. Valaistussuunnitelma, Philips Arano, kerros 1.

Kuvassa 22 on kerroksen 1 suunnitelma. Valaisimia on tarvittava suurehko määrä tuottamaan riittävä valoteho, valaistusvoimakkuuden ollessa kuitenkin tasainen ilman suurehkoja vaihteluita. Tässä tapauksessa myöskään nurkkiin eikä käytävälle jää häiritseviä hämäreitä kohtia. Valaistusvoimakkuudet ovat standardin mukaisia vielä 50000 käyttötunnin jälkeenkin.

Kerroksen 2 suunnitelmassa (kuva 23) valaistusvoimakkuudet täyttävät pääosin standardit. Jälleen piirtämön sisempään reunaan ja nurkkiin jää pienemmän valaistusvoimakkuuden alueita. Muutoin valaistus on tasaista ja vaatimukset täyttyvät. Koska avokonttorin sisempi reuna muodostuu jokaisessa suunnitelmassa jonkinlaiseksi ongelmaksi, olisi kyseiseen kohtaan hyvä kiinnittää huomiota ja mahdollisesti lisätä valaisimia sinne, mikäli se on mahdollista suunnitelman toteutuessa.



Kuva 23. Valaistussuunnitelma, Philips Arano, kerros 2.

7 ELINKAARIANALYYSI JA TAKAISINMAKSUAIKA

7.1 Elinkaarilaskenta

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana oli selvittää nykyisten led-valaisimien kilpailukykyisyys ja tätä varten elinkaarilaskenta on olennainen. Laskenta toteutettiin Microsoft Excel –ohjelmistolla. Elinkaarilaskenta tehtiin 20 vuodelle, koska päivittäinen polttoaika on 10 h, jolloin vuodessa tulee 2600 h ja tällöin 20 vuodessa 52000 h, joka on lähellä valaisinvalmistajien ilmoittamia lupauksia valaisinten eliniästä. Led-valaisimien ohjainten vikaantumisasteena on käytetty 1 %/5000 h.

Laskenta tehtiin seuraavien parametrien avulla:

- Käyttötunnit vuodessa 2600 h
- Sähkön hinta 0,13€ kWh
- Sähkön vuotuinen hinnannousu 2 %
- Inflaatiokorjaus 1,8 %

Nykyisen valaistuksen laskennassa käytetyt tiedot:

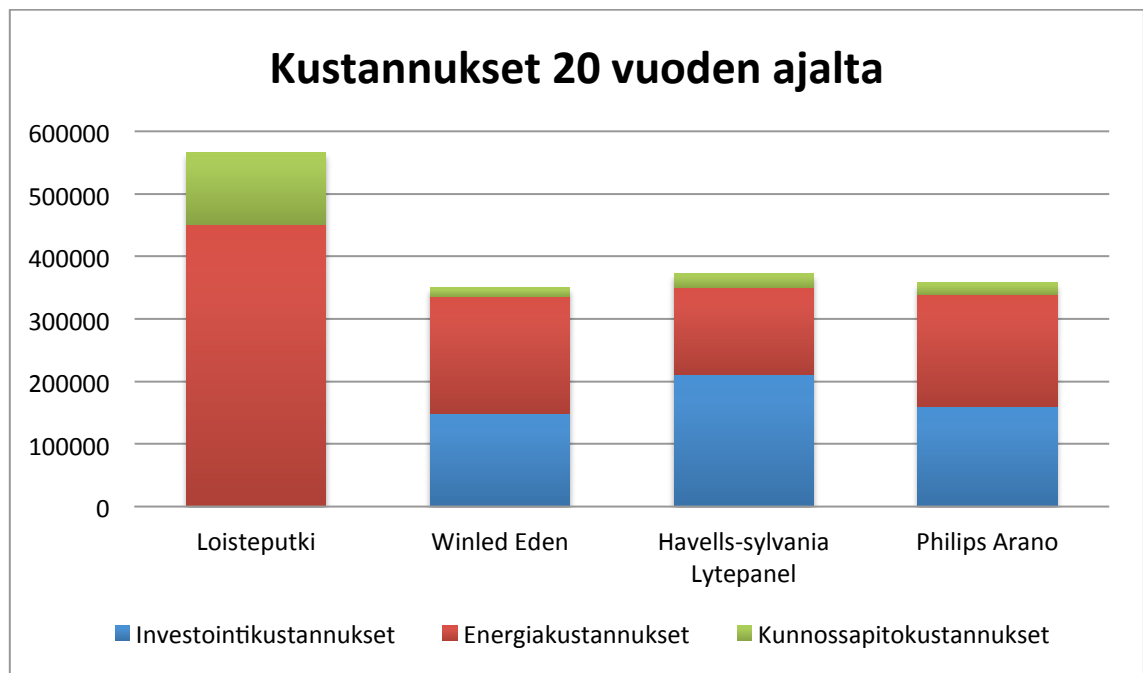
- Loisteputkien ja sytyttimien vaihtoväli 2 vuotta
- Uuden loisteputken hinta 5 €/kpl
- Uuden sytyttimen hinta 1 €/kpl
- Kuristimien vaihtoväli 10 vuotta
- Uuden kuristimen hinta 15 €/kpl

Led-valaisimien laskennassa käytetyt tiedot:

- Valaisimien elinikä 50000 h
- Asennuskustannukset 15 €/kpl
- Viallisten valaisimien vaihtoväli 2 vuotta
- Valaisimien hinnat pysyvät samoina

7.2 Tulokset

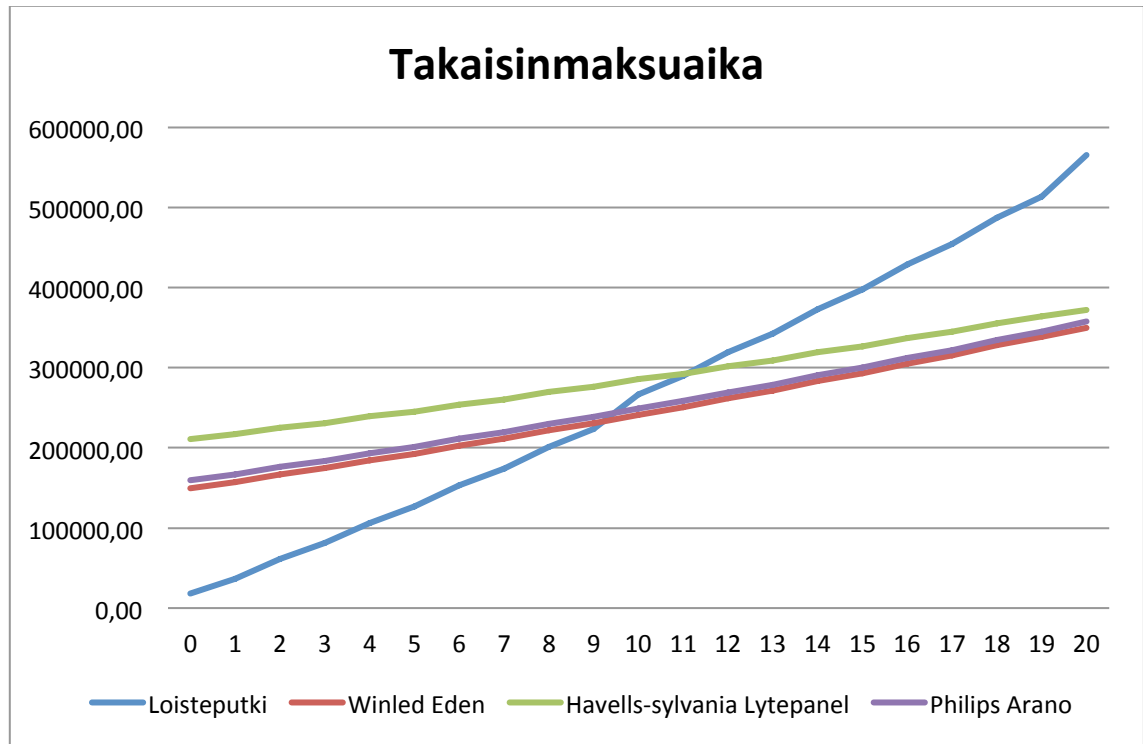
Laskenta suoritettiin käyttämällä edellä mainittuja tietoja, jolloin saatiin kuviot 2 ja 3. Kuviossa 2 esitetään kaikki kustannukset 20 vuoden ajalta, mitä valaisimiin kohdistuu. Tästä huomataan, että lähes kaikki led-valaisimet ovat samalla hintatasolla 20 vuoden jälkeen. Nykyinen valaistus taas on suurien energiakustannusten takia huomattavasti kalliimpi. Kuvion perusteella led-valaisimien suurin rasitus tulee alkuinvestoinnista, joka on noin puolet koko 20 vuoden investoinnista. Toisaalta nykyinen valaistus saa hieman etumatkaa vertailussa, koska siihen ei tarvitse investoida mitään alussa.



Kuvio 2. Kustannukset 20 vuoden ajalta.

Kun perehdytään tarkemmin takaisinmaksuaikaan nähdään, että kaikilla led-valaisimilla kuvaajat kulkevat hyvin samankaltaisesti (kuvio 3). Ainoa eroavaisuus on Havells-sylvanian Lytepanel –valaisimella, jonka suurehko yksikköhinta nostaa alkuinvestoinnin hintaa. Lytepanel on kuitenkin kaikkein energiatehokkain saavuttaen muut valaisimet lähes kokonaan 20 vuoden kuluessa. Kuvion perusteella takaisinmaksuaika led-valaisimelle on noin 10-12 vuotta. Tähän voidaan kuitenkin saada vielä parannusta, mikäli valaisimien yksikköhinta laskee kun niitä ostetaan suuri määrä kerralla. Toinen huomionarvoinen asia on se, että kun yritys tekee investoinnin, voidaan investointi laittaa poistoihin, jolloin yritys saa tavallaan investoinnin halvemmalla. Näitä asioita ei kuitenkaan tässä laskelmassa huomioitu vaan laskelma on tehty hieman yläkanttiin.

Kustannusten pohjalta parhaimmat valaisimet olivat Winled Eden ja Philips Arano. Näistä kuitenkin muiden tietojen pohjalta Philips Arano voidaan nostaa ensimmäiseksi vaihtoehdoksi, sen tunnetun valmistajan, helpomman asennustavan ja suhteellisen hyvien valaistusominaisuuksien takia.



Kuvio 3. Valaisinten takaisinmaksuajan kuvaaja.

7.3 Valaistuksen vaikutus ilmanvaihtoon

Tämän opinnäytetyön tärkeimpänä kohteena oli tarkastella valaistuksen erilaisia kustannuksia ja koska nykyiset loisteputket tuottavat kesäisin huomattavasti lisälämpöä oli yhtenä kohteena tutkia valaistuksen vaikutusta sisälämpötilaan ja kuinka paljon sen jäähdyttäminen kuluttaa energiaa.

Kun tiedetään, että loisteputkissa tapahtuu 42 % kokonaistehosta lämpöhäviöitä ja led-valaisimien lämpöhäviöiksi oletetaan 10 %, voidaan laskea jäähdytystehon tarpeen alenema. Koska tällä hetkellä Elematic Oy Ab:n ilmanvaihtokoneen elinikä alkaa olla lopussa, tehdään laskelma käyttäen nykyisten ilmalämpöpumppujen SCOP/SEER arvoja, jotka oletetaan tässä laskelmassa olevan 5 eli 1W sähköteholla tuotetaan 5W jäähdytys- tai lämmitystehoa.

Taulukko 3. Lämpöhäviöiden aiheuttamat jäähdytyskustannukset.

Valaisin	Kokonaisteho (kW)	Lämpöhäviöt (kW)	Jäähdytystehon tarve/h (kW)	Jäähdytystehon tarve/kk (kW)	Energiakustannukset /kk (€)
Loisteputki	55,89	23,48	4,70	939,00	122,07
Winled Eden	23,03	2,30	0,46	92,11	11,97
Havells-sylvania Lytepanel	17,18	1,72	0,34	68,71	8,93
Philips Arano	22,30	2,23	0,45	89,21	11,60

Kuten taulukosta 3 huomataan on nykyaikaisella ilmalämpöpumppujärjestelmällä suhteellisen edullista jäähdyttää sisäilmaa. Kuitenkin jos nykyisen lämmönvaihdinjärjestelmän tehotarpeen hyötysuhde olisi esimerkiksi 1/0,5, menisi kuukaudessa jäähdytykseen 1220,70€. Taulukon perusteella led-valaisimet aiheuttavat siis jäähdytystehon tarvetta kymmenen kertaa vähemmän kuin loisteputket. Talvisin tilanne kuitenkin on päinvastainen ja tällöin valaisimista aiheutuneet lämpöhäviöt lämmittävät rakennusta ja vähentävät lämmitystarvetta. Mikäli käytössä olisi nykyaikainen lämmitysjärjestelmä, esimerkiksi maalämpö tai ilmalämpöpumppujärjestelmä saataisiin tällöinkin säästöjä. Esimerkiksi ilmalämpöpumpulla voitaisiin kompensoida lämpöhäviöiden puute periaatteella 1W on 5W lämmitystehoa.

8 POHDINTA

Elematic Oy Ab:n toimistossa oleva nykyinen loisteputkivalaistus on tällä hetkellä riittävä ja suhteellisen hyvässä kunnossa. Valaistus kuitenkin kuluttaa erittäin paljon sähköenergiaa muuttaen osan siitä lämmöksi, joka kesäisin tuottaa ongelmia. Tehtyjen laskelmien perusteella huomattiin, että jo tällä hetkellä tarjolla olevat led-valaisimet ovat huomattavasti energiatehokkaampia kuin loisteputket. Jokaisen led-valaisimen lumen/W-arvotkin olivat samalla tasolla loisteputkien kanssa, mikä kuvastaa led-valaisimissa tapahtunutta kehitystä viime vuosien aikana. Jo nyt valaisimien määrä pystyttiin pudottamaan alkuperäisestä lukumäärästä ja tulevaisuudessa voidaan olettaa led-valaisimien kehittyvän vielä edelleen, jolloin energiatehokkuus paranee edelleen. Tällöin muutaman vuoden sisällä valaisimet alkavat olemaan edullisia vaihtaa, koska jo nyt päästiin yläkanttiin tehdyllä laskelmalla 10-12 vuoden takaisinmaksuaikoihin. Huomioitavaa on, että laskelmiin ei ole huomioitu jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmien uusimisesta koituvia hyötyjä. Kyseisessä toimistorakennuksessa kannattaisi laskelmien perusteella perehtyä mahdollisiin korvaaviin jäähdytys- ja lämmitysmenetelmiin, koska tällöin led-valaisimista saatava hyöty paranee edelleen.

Opinnäytetyöhön valituissa led-valaisimissa ei ollut suuria eroja, lukuun ottamatta Havells-sylvanian Lytepanel – valaisimen suurta alkuinvestointia. Toisaalta Lytepanel taas oli energiatehokkain kaikista valaisimista, jolloin kaikki led-valaisimet olivat 20 vuoden jälkeen lähes samalla tasolla. Huomioitavaa on, että tehty suunnitelma on tehty vanhan valaistuksen ehdoilla, jolloin parasta mahdollista tulosta ei välttämättä saavutettu. Led-valaisimet myös usein kytketään erilliseen digitaaliseen ohjauslaitteeseen, jolloin näistä saadaan paras mahdollinen elinikä ja valonjako. Mikäli led-valaistuksen asennus tulisi jossain vaiheessa ajankohtaiseksi, olisi kannattavaa kartoittaa esimerkiksi DALI-järjestelmän (Digital Addressable Lighting Interface) asennuksen hyviä puolia ja sen tuottamia lisäsäästöjä. DALI-järjestelmällä voitaisiin muun muassa himmentää valaisimia, jolloin jokaiselle työntekijälle olisi mahdollista saada haluttu valaistusvoimakkuus. Osa led-valaisimista tukee myös perinteistä himmennystä, joka on myös yksi vaihtoehto saada aikaan työpistekohtainen valaistusvoimakkuus. DALI-järjestelmän olisi led-valaistuksen kannalta kaikista paras vaihtoehto ja sellainen olisi suotavaa asentaa. Tämän kokoisen DALI-järjestelmän rakentaminen tulisi maksamaan todennäköises-

ti tuhansia euroja lisää, jolloin jouduttaisiin jälleen pohtimaan järjestelmän mielekkyyttä.

Kun ajatellaan, että toimistorakennus on 1970-luvulta herää kysymys, onko valaistukseen enää järkevää investoida 150 000€-200 000€, vaikka se maksaisi itsensä takaisin 20 vuoden aikana ja tuottaisi vielä säästöjäkin. Tässä tapauksessa, jotta suurin mahdollinen hyöty saataisiin irti olisi suotavaa miettiä ilmanvaihdollekin uutta ratkaisua, jolloin alkuinvestoinnin hinta vain kasvaa. Kuitenkin tulevaisuudessa led-valaisimet tulevat olemaan yleisimpiä käytettäviä valaisimia loisteputkien poistuessa käytöstä. Tämän ja tehtyjen laskelmien perusteella suosittelisin ainakin kaikkiin uusiin rakennettaviin rakennuksiin käytettävään led-valaisimia, jolloin perinteisiin valaisimiin olisi pakko investoida. Tällöin kallis alkuinvestointi ei olisikaan enää liian kallis vaan se toisi jo muutamassa vuodessa säästöjä yritykselle. Elematic Oy Ab:n nykyisessä toimistorakennuksessa voitaisiin kuitenkin kokeilla esimerkiksi pelkkiä led-putkia, jotka voidaan asentaa alkuperäisiin valaisinrunkoihin. Niitä voisi alkuun kokeilla varastotiloihin, jolloin niistä ei aiheutuisi haittaa, mikäli led-putket havaittaisiin huonoksi ratkaisuksi.

Yhteenvetona voidaan sanoa, että jo nykyisillä led-valaisimilla saadaan aikaan huomattavia säästöjä verrattuna perinteisiin valaisimiin ja tulevaisuudessa ero tulee edelleen kasvamaan.

LÄHTEET

Antares Group Inc. Valkoisen valon luonti. Luettu 6.2.2015.

<http://antaresgroupinc.com/wp-content/uploads/2012/03/4-creating-white-light.jpg>.

Cree Inc. XLamp XR-E Datasheet. Luettu 16.3.2015.

<http://www.cree.com/LED-Components-and-Modules/Products/XLamp/Discrete-Directional/XLamp-XRE>.

DIALux GmbH. Company. Luettu 16.3.2015.

<http://www.dial.de/DIAL/en/company/dial.html>.

Elematic Oy Ab. Yrityksen esittely. Luettu 26.1.2015.

<http://www.elematic.com>.

Ensto. Luminanssi. Luettu 16.3.2015.

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398134018.html>.

Ensto. Valaistusvoimakkuus. Luettu 9.2.2015.

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398124022.html>.

Ensto. Värintoisto. Luettu 16.3.2015.

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398056227/1228463236219.html>.

Finlex. Työturvallisuuslaki, työpaikan valaistus 34 §. Luettu 6.2.2015.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738#L5P34>.

Glamox Luxo Lighting. Ledit ja valon laatu. Luettu 10.2.2015.

<http://glamox.com/fi/ledit-ja-valon-laatu1>.

Glamox Luxo Lighting. Led perusteet. Luettu 10.2.2015.

<http://glamox.com/fi/ledit-ja-valon-laatu1>.

Havells-sylvania Finland Oy. Tuotekortti Lytepanel.

<http://www.sylvania.fi/valaisimet/toimistovalaisimet/pinta-asennettavat/item/590-lytepanel>.

Kymdata Oy. CADS Planner. Luettu 17.3.2015.

<http://www.cads.fi/fi/Yhteys/Tietoa%20yrityksestä/>.

Motiva Oy, lampputieto. Kandela - valovoima. Luettu 29.1.2015.

<http://www.lampputieto.fi/lamput/lamppujen-ominaisuuksia/kandela-valovoima/>.

Motiva Oy, lampputieto. Kelvin – värilämpötila. Luettu 16.3.2015.

<http://www.lampputieto.fi/lamput/lamppujen-ominaisuuksia/kelvin-varilampotila/>.

Motiva Oy, lampputieto. Lumen – valon määrä. Luettu 26.1.2015.

<http://www.lampputieto.fi/lamput/lamppujen-ominaisuuksia/lumen-valon-maara/>.

Motiva Oy, lampputieto. Valaistus. Luettu 16.3.2015.

http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/ostajan_opas/valaistus/energiansaastolamput.

OEM Finland Oy. Hidealite Led-koulu. Luettu 9.2.2015.

http://www.hidealite.fi/?page_id=55.

OMS Lighting. Led for office. Luettu 10.2.2015.

<http://rl.omslighting.com/rightlight/1640/>.

Osram GmbH. Led historia. Luettu 6.2.2015.

http://www.osram.fi/osram_fi/uutiset--tiedot/led/ammattitietoa/led-perusteet/led-historia/index.jsp

Osram GmbH. Led perusteet. Luettu 6.2.2015.

http://www.osram.fi/osram_fi/uutiset--tiedot/led/ammattitietoa/led-perusteet/index.jsp

Osram GmbH. Led perustietoa. Luettu 6.2.2015.

http://www.osram.fi/osram_fi/uutiset--tiedot/led/ammattitietoa/led-perusteet/perustietoa/index.jsp.

Osram GmbH. Pienpaineakaasupurkaus loistelamppuihin ja pienloistelamppuihin. Luettu 10.2.2015.

http://www.osram.fi/osram_fi/uutiset-tiedot/loistelamput/ammattitietoa/pienpaineakaasupurkaus/index.jsp

Philips Oy. Tuotekortti Arano BCS640.

<http://www.ecat.lighting.philips.fi/l/sisaevalaisimet/pinta-asennettavat/arano-led-bcs640/54633/cat/?t1=ProductList>.

Photometric Testing. Talking Photometry: LED Colour Difference Metrics: SDCM & MacAdam Ellipses. Luettu 10.2.2015.

http://www.photometrictesting.co.uk/File/blog_LED_colour_difference.php.

SFS EN 12464-1. Valo ja valaistus. Osa 4: Valaistussuunnittelun perusteet. 2. painos. 2010. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS EN 12464-1. Valo ja valaistus. Osa 5: Taulukko 5.26 Toimistot. 2. painos. 2010. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Simpson, R. 2003. Lighting Control: Technology and Applications. Taylor & Francis.

Staples Finland Oy. Valovirta. Luettu 26.1.2015.

<http://www.staples.fi/?id=99>.

Työterveyslaitos. Toimistomaisten tilojen valaistus. Luettu 6.2.2015.

<http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/toimistovalistus/sivut/default.aspx>.

Työterveyslaitos. Valaistuksen mittaaminen ja arviointi. Luettu 10.2.2015.

http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/valaistuksen_mittaaminen/sivut/default.aspx.

Työterveyslaitos. Valaistus. Luettu 6.2.2015.

<http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/Sivut/default.aspx>.

U.S Department of enrgy. Energy Efficiency of LEDs. Luettu 14.2.2015.

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/led_energy_efficiency.pdf.

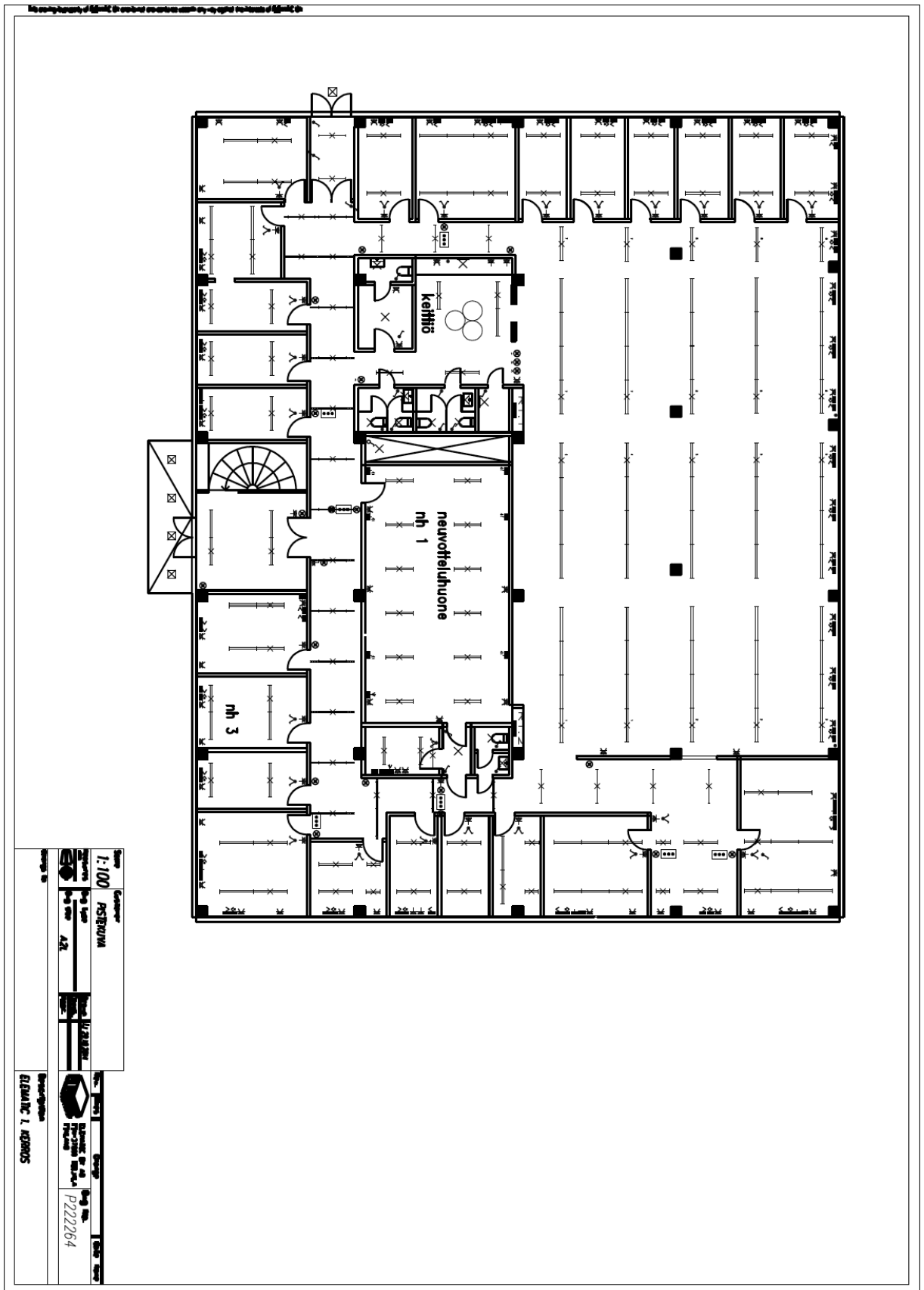
Valoram Oy. Loisteputken todellinen ottoteho. Luettu 16.3.2015.

<http://led-valaisin.fi/tuote/osram-led-loisteputki-basic-60cm-10w/>.

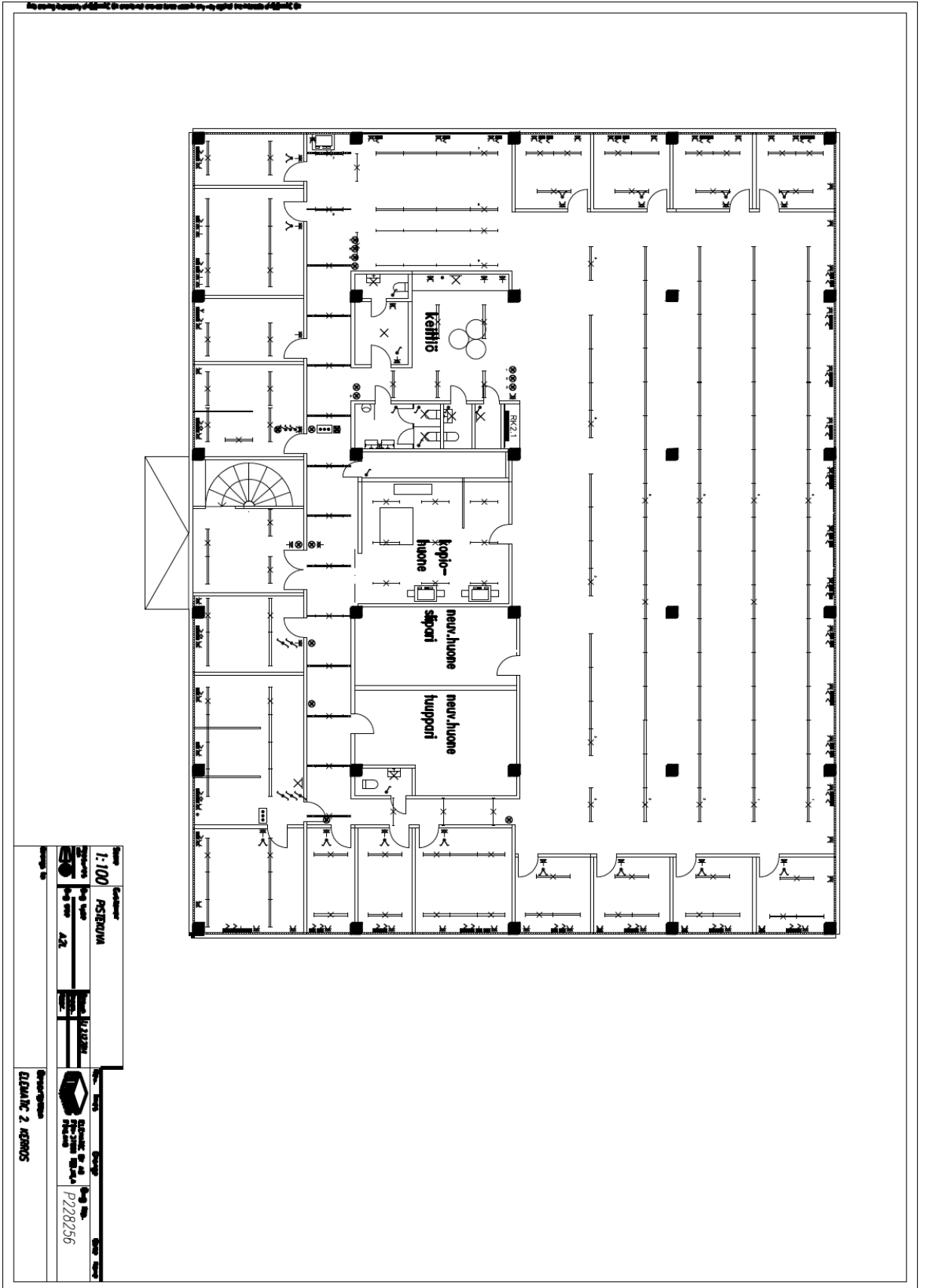
Winled Oy Ltd. Tuotekortti Eden.

<http://winled.fi/index.php/tuotteet#Valopaneelit>.

Liite 2. Kerroksen 1. pistekuva



Liite 3. Kerroksen 2 pistekuva.



Liite 4. Takaisinmaksuaika-laskenta loisteputki

Inflaatiokorjaus: 1,8 %									
Vuosi	Investointikustannukset (€)	Energiakustannukset (€)	Kunnossapitokustannukset (€)	Käyttökustannukset /vuosi (€)	Kokonaiskustannus (€)	Kumulatiiviset kustannukset (€)			
0		0,00	17913,00	17913,00	17913,00	17913,00			
1		18891,83		18891,83	18891,83	36804,83			
2		19238,69	5303,91	5303,91	24542,59	61347,43			
3		19591,91		19591,91	19591,91	80939,34			
4		19951,62	5496,57	5496,57	25448,18	106387,52			
5		20317,93		20317,93	20317,93	126705,45			
6		20690,97	5696,22	5696,22	26387,19	153092,64			
7		21070,85		21070,85	21070,85	174163,49			
8		21457,71	5903,13	5903,13	27360,85	201524,34			
9		21851,68		21851,68	21851,68	223376,02			
10		22252,87	21411,45	21411,45	43664,33	267040,34			
11		22661,44		22661,44	22661,44	289701,78			
12		23077,50	6339,77	6339,77	29417,27	319119,05			
13		23501,20		23501,20	23501,20	342620,26			
14		23932,69	6570,06	6570,06	30502,74	373123,00			
15		24372,09		24372,09	24372,09	397495,09			
16		24819,56	6808,71	6808,71	31628,27	429123,36			
17		25275,25		25275,25	25275,25	454398,61			
18		25739,30	7056,03	7056,03	32795,33	487193,94			
19		26211,88		26211,88	26211,88	513405,81			
20		26693,13	25593,16	25593,16	52286,28	565692,10			
Yhteensä:		451600,10	114092,00	565692,10	565692,10	565692,10			

Liite 5. Takaisinmaksuaika-laskenta Winled Eden

Inflaatiokorjaus: 1,8 %								
Vuosi	Investointikustannukset (€)	Energiakustannukset (€)	Kunnossapitokustannukset (€)	Käyttökustannukset /vuosi (€)	Kokonaiskustannus (€)	Kumulatiiviset kustannukset (€)		
0	149546,40	0,00				149546,40		149546,40
1		7783,46			7783,46	157329,86		157329,86
2		7926,37	1372,26		9298,63	166628,50		166628,50
3		8071,90			8071,90	174700,39		174700,39
4		8220,10	1422,11		9642,21	184342,60		184342,60
5		8371,02			8371,02	192713,62		192713,62
6		8524,71	1473,77		9998,48	202712,09		202712,09
7		8681,22			8681,22	211393,32		211393,32
8		8840,61	1527,30		10367,91	221761,23		221761,23
9		9002,92			9002,92	230764,15		230764,15
10		9168,22	1582,78		10751,00	241515,15		241515,15
11		9336,55			9336,55	250851,69		250851,69
12		9507,97	1640,27		11148,24	261999,93		261999,93
13		9682,53			9682,53	271682,46		271682,46
14		9860,30	1699,85		11560,15	283242,61		283242,61
15		10041,34			10041,34	293283,95		293283,95
16		10225,70	1761,60		11987,29	305271,24		305271,24
17		10413,44			10413,44	315684,68		315684,68
18		10604,63	1825,59		12430,22	328114,90		328114,90
19		10799,33			10799,33	338914,23		338914,23
20		10997,61			10997,61	349911,84		349911,84
Yhteensä:	149546,40	186059,92	14305,52	200365,44	349911,84	349911,84		349911,84

Liite 6. Takaisinmaksuaika-laskenta Havells-sylvania Lytepanel

Inflaatiokorjaus: 1,8 %								
Vuosi	Investointikustannukset (€)	Energiakustannukset (€)	Kunnossapitokustannukset (€)	Käyttökustannukset /vuosi (€)	Kokonaiskustannus (€)	Kumulatiiviset kustannukset (€)		
0	210962,20	0,00			210962,20	210962,20		
1		5806,16			5806,16	216768,36		
2		5912,77	2138,14		8050,91	224819,27		
3		6021,32			6021,32	230840,60		
4		6131,88	2215,81		8347,68	239188,28		
5		6244,46			6244,46	245432,74		
6		6359,10	2296,30		8655,40	254088,14		
7		6475,86			6475,86	260564,00		
8		6594,75	2379,71		8974,46	269538,46		
9		6715,83			6715,83	276254,29		
10		6839,14	2466,15		9305,28	285559,58		
11		6964,70			6964,70	292524,28		
12		7092,58	2555,73		9648,30	302172,58		
13		7222,79			7222,79	309395,38		
14		7355,41	2648,56		10003,97	319399,35		
15		7490,45			7490,45	326889,80		
16		7627,98	2744,77		10372,74	337262,54		
17		7768,03			7768,03	345030,57		
18		7910,65	2844,47		10755,12	355785,68		
19		8055,89			8055,89	363841,57		
20		8203,79			8203,79	372045,36		
Yhteensä:	210962,20	138793,52	22289,63	161083,16	372045,36	372045,36		

Liite 7. Takaisinmaksuaika-laskenta Philips Arano

Inflaatiokorjaus: 1,8 %								
Vuosi	Investointikustannukset (€)	Energiakustannukset (€)	Kunnossapitokustannukset (€)	Käyttökustannukset /vuosi (€)	Kokonaiskustannus (€)	Kumulatiiviset kustannukset (€)		
0	159300,00	0,00		0,00	159300,00	159300,00		
1		7538,08		7538,08	7538,08	166838,08		
2		7676,48	1527,00	9203,48	9203,48	176041,55		
3		7817,42		7817,42	7817,42	183858,97		
4		7960,94	1582,47	9543,41	9543,41	193402,38		
5		8107,11		8107,11	8107,11	201509,48		
6		8255,95	1639,95	9895,90	9895,90	211405,38		
7		8407,53		8407,53	8407,53	219812,91		
8		8561,89	1699,52	10261,41	10261,41	230074,33		
9		8719,09		8719,09	8719,09	238793,42		
10		8879,17	1761,25	10640,42	10640,42	249433,84		
11		9042,19		9042,19	9042,19	258476,03		
12		9208,21	1825,23	11033,44	11033,44	269509,47		
13		9377,27		9377,27	9377,27	278886,74		
14		9549,44	1891,53	11440,96	11440,96	290327,71		
15		9724,77		9724,77	9724,77	300052,47		
16		9903,31	1960,23	11863,55	11863,55	311916,02		
17		10085,14		10085,14	10085,14	322001,16		
18		10270,30	2031,44	12301,74	12301,74	334302,89		
19		10458,86		10458,86	10458,86	344761,76		
20		10650,89	2105,23	12756,12	12756,12	357517,87		
Yhteensä:	159300,00	180194,04	18023,84	198217,87	357517,87	357517,87		