

LED-VALOT RAKENTAMISESSA

MATTI JOKINEN

Opinnäytetyö
Toukokuu 2011
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

Jokinen, Matti
LED-valot rakentamisessa
Opinnäytetyö 48 sivua, liitteet 3 sivua
Huhtikuu 2011
Työn ohjaaja: Mauri Inha
Työn tilaaja: Rejlers Oy, Ilkka Sippola, department head of construction

Tämä sähkövoimatekniikan opinnäytetyö tehtiin Rejlers Oy:lle. Vuonna 1942 perustettu Suomen Rejlers on osa pohjoismaista Rejlerkoncernen yhtiötä. Yhtiö tarjoaa suunnittelua, konsultointia ja turnkey-toimituksia teollisuuden, energian, rakentamisen ja kiinteistöjen sekä infran toimialoilla Suomessa, Ruotsissa, Virossa ja Norjassa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuoda esille LED-tekniikalla toteutettuja valojen käyttömahdollisuuksia rakentamisessa. Työssä tutustuttiin LED-valojen ominaisuuksiin sekä vertailtiin LED-tekniikkaa perinteisiin valonlähteisiin verrattuna. Myös LED-piirien vaikutusta Suomen sähköverkkoon tutkittiin.

Työstä saatiin tietoja, joista käy ilmi LED-valojen monipuolisuus sekä niiden rajattomat käyttömahdollisuudet. LED-tekniikasta puhuttaessa tulee mainita käyttökustannukset sähkön hinnan noustessa niiden energiansäästön ja pitkäikäisyyden vuoksi. LED-valon hankinta on vielä suhteellisen kallista, koska LED-tekniikan kehitys on kuitenkin vielä vaiheessa. Todennäköisesti LED-valo tulee korvaamaan perinteiset valonlähteet lähitulevaisuudessa.

Työn tutkimusmenetelmänä vertailtiin erilaisten valotyyppeiden ominaisuuksia aikaisempia artikkeleja ja vertailuja hyväksikäyttäen. Työn perustan isona osana on myös oma suunnittelu- ja työkokemus LED-valojen asentamisesta.

Avainsanat: LED, LAMPPU, VALO

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Option of Electrical Power Engineering

Jokinen, Matti

LED-Lights on Constructing

Bachelor's thesis 48 pages, appendices 3 pages

May 2011

Thesis supervisor: Mauri Inha

Co-operating Company: Rejlers Oy, Ilkka Sippola, department head of construction

This Bachelor's Thesis of Electrical Power Engineering was made for Rejlers Oy. The company was founded in 1942, and it is part of The Rejler Group. Rejlers offers engineering, consultancy and turnkey delivery services for the customers in the fields of industry, energy, construction property and infrastructure in Finland, Sweden, Estonia and Norway.

The object of this thesis was to bring out the LED lightning technology on constructing. The thesis explored the properties of LEDs and compared LED technology to conventional light sources. Also, impact of LED circuit to the Finnish electricity grid was also investigated.

Knowledge of this thesis shows the versatility of LEDs, as well as unlimited accessibilities. When talking about LED technology must be mentioned energy savings and the running expenses as the energy prices are rising. Supplying LEDs is still relatively expensive. LED technology is still in developing stage, but in the near future the LED will replace the traditional lightsources.

The research method was to compare all types of lightning features, articles and previous comparisons. Big part of the thesis was also my own experience of designing and installing of LED lights.

Keywords: LED, LAMP, LIGHT

ALKUSANAT

Työ on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehdon tutkintotyönä. Idean opinnäytetyön aiheeseen sain Rejlers Oy:ltä. Aihe kuulosti mielenkiintoiselta ja asennustöistä saamani kokemuksen kautta päätin alkaa tutkimaan aihetta. Nykyinen energiatehokkuuden painottaminen loi myös omalta osaltaan mielenkiintoa tutustua uuteen energiaa säästävään valaistumahdollisuuteen.

Haluan kiittää opinnäytetyön tekemisestä Rejlers Oy:n Tampereen konttorin rakentamisosaston päällikköä Ilkka Sippolaa sekä Rejlers Oy:n Länsi-Suomen aluejohtajaa Kari Viheriälää. Suurimmat kiitokset saa lähipiiri antamastaan tuesta ja työrauhasta. Työstä ansaitsee kiitoksen myös Kangasalan kunnan varikkopäällikkö, sähköinsinööri Seppo Mäkelä. Kiitoksen saa myös tutkintotyön ohjaaja Mauri Inha.

Tampereella 20.4.2011

Matti Jokinen

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	7
2 LED.....	8
2.1 Yleistä.....	8
2.2 Rakenne.....	9
2.3 Toimintaperiaate.....	10
3 LED:IEN KEHITYS.....	11
3.1 Historia.....	11
3.2 Nykyaika.....	12
3.3 Tulevaisuus.....	12
4 KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET.....	13
4.1 Sisävalaistus.....	13
4.1.1 Turvavalistus.....	14
4.1.2 Työpiste- ja lukuvalaistus.....	15
4.1.3 Kohdevalaistus.....	17
4.1.4 Yleisvalaistus.....	18
4.1.5 Arkkitehtuuri.....	20
4.1.6 Tehostevalaistus.....	21
4.2 Ulkovalaistus.....	23
4.3 Muut sovellukset.....	26
5 EDUT.....	26
5.1 Kustannukset.....	27
5.2 Elinkaari.....	28
5.3 Turvallisuus.....	29
5.4 Kytöntäaika.....	31
5.5 Koko.....	31
5.6 Värimahdollisuudet.....	32
5.7 Himmennys.....	33
5.8 Syttymisnopeus.....	34
5.9 Valomäärä.....	36
6 HAITAT.....	37
6.1 Lämmitystehottomuus.....	37
6.2 Isot tehot.....	38

	6
6.3 Valon spektri.....	39
6.4 Hinta.....	39
6.5 Lämpötilariippuvuus.....	39
7 SÄHKÖVERKKO.....	40
7.1 Yliaallot	42
8. YHTEENVETO.....	44
LÄHTEET.....	45
LIITTEET.....	48

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä perehdytään LED-tekniikkaan ja sen lukuisiin ominaisuuksiin. Pää tarkoituksena on tuoda suunnittelijoille ilmi LED-tekniikan ominaisuuksia rakentamisen alalle suunniteltuina. Tässä työssä olen vertaillut LED-tekniikan kustannuksia, elinkaariasioita, käytön monipuolisuutta sekä etuja ja haittoja verrattuna energiansäästö-, halogeeni- ja hehkulamppuun sekä loisteputkeen.

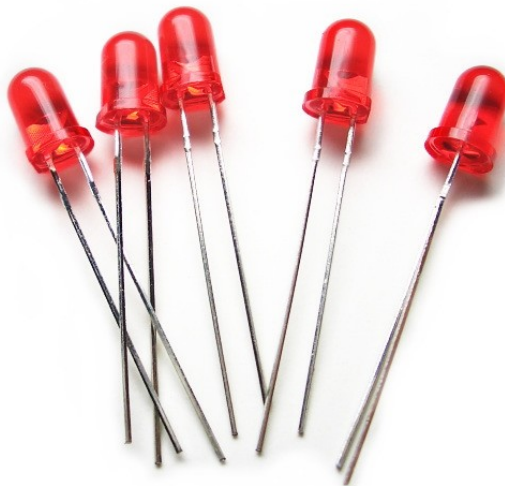
Työn aihe sopii hyvin 2000-luvulle, koska LED-valoista on julkaistu myös paljon väärää tietoa. LED:it ovat myös kokoajan valtavasti kehittyvä tekniikka, jolla lähitulevaisuudessa tullaan korvaamaan kaikki muut valaistusmahdollisuudet. LED-valo on ympäristöystävällisyydeltään ja energiatehokkuudeltaan paras valaistusvaihtoehto nykymarkkinoilla. LED tulee kehittymään vielä merkittävästi tulevaisuudessa ja suurimmat kehitystarpeet ovat sen hankintahinta sekä valotehokkuus.

Tämä työ on hyödyllinen opas vastavalmistuneille sekä kokeneemmille suunnittelijoille ja tarjoaa uusia näkökulmia sähkösuunnitteluun. Opinnäytetyö on kirjoitettu ilman sidonnaisuuksia, joten työssä käytetään neutraalia näkökulmaa. Työn tarkoituksena oli koota yhteen jo käytössä olevat LED-sovellukset sekä valottaa hieman LED:in tulevaisuuden näkymiä tuoden lisäksi mukaan myös tuoreita näkökulmia. Tämän työn pohjalta voi suunnittelija ennakoida LED-tekniikan kehityssuuntaa tulevaisuudessa.

2 LED

2.1 Yleistä

LED eli Light emitting diode on puolijohdekomponentti, joka käyttää valodiodeja valonlähteinä. Valon väri riippuu diodin puolijohdemateriaalista. Se säteilee valoa, kun sähkövirta kulkee diodin lävitse. LED:ejä käytetään paljon mittalaitteissa ja yhä enemmän valaistuksessa. LED-valo on keksitty jo vuonna 1962, jolloin ne olivat tehottomia punaisia merkkivaloja elektroniikkakomponenteissa (Koninklijke Philips Electronics N.V. 2011).



Kuva 1: LED-valoja (Wutel.net).

Nykyään LED:it voivat olla näkyvää valoa lähettäviä, ultravioletti- tai infrapuna-aallonpituuksilla toimivia todella kirkkaita valonlähteitä. LED:llä voidaan viitata orgaaniseen valodiodiin (OLED) tai polymeeriseen valodiodiin (PLED). LED:llä on heikko valoteho, joten niitä käytetään yleensä useita yhdessä. LED-lamput toimivat yleisesti tasavirralla, joten LED-valaisimiin tarvitaan sisäinen muuntopiiri (Lumilab Oy. 2009).

LED-valo tarvitsee myös loisteputkea tarkemman virran toimiakseen. LED-valossa ei ole hehkulankaa, kuten perinteisissä valonlähteissä, joten siihen ei vaikuta mekaaninen

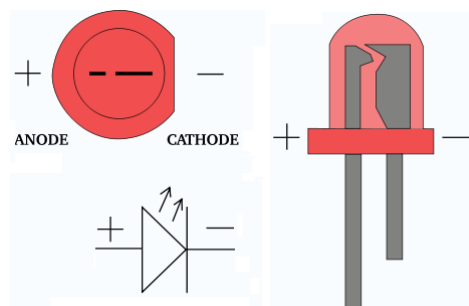
rasitus, eikä se lämpene. Viime vuosina LED:ien valotehoa on saatu kasvatettua merkittävästi, mikä on mahdollistanut muiden lamppujen korvaamisen LED:eillä. Yksi kaupallinen LED voi lähettää yli 7500 lumenia, käyttämällä alle 100 watin tehoa (Lumilab Oy. 2009).

LED:in suosio perustuu sen pieneen energiakulutukseen, pitkään käyttöikään ja loppuhäviöiden ympäristöystävällisyyteen. Esikustannukset ovat kuitenkin vielä suhteellisen korkeat. LED-valoissa ei ole ympäristölle haitallista elohopeaa, johon esimerkiksi energiansäästölamppun loisteputken toiminta perustuu (Koninklijke Philips Electronics N.V. 2011).

”LED-valaistus on kiistatta suurin muutos valaistusteollisuudessa sähkövalon keksimisen jälkeen. LEDit muuttavat valaistuksen luonteen avaamalla uusia mahdollisuuksia sille, miten ja missä keinovaloa käytetään tehostamaan ihmisten kokemuksia.” (Koninklijke Philips Electronics N.V. 2011)

2.2 Rakenne

LED on yleisin optokomponentti, jossa puolijohdemateriaali alkaa luovuttamaan valoa, kun diodin rajapinnan kynnysjännite ylittyy. Valon väri riippuu puolijohdeiden materiaalista.

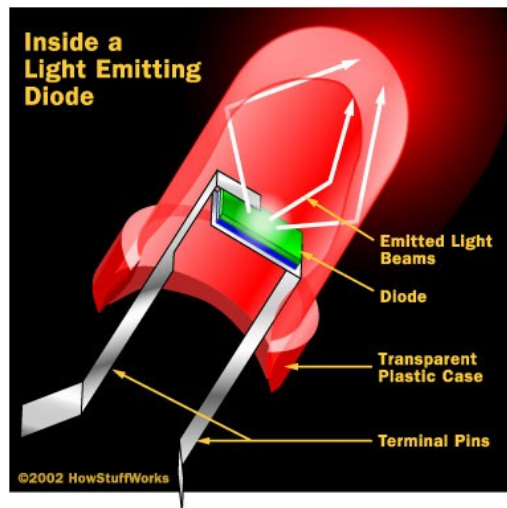


Kuva 2: LED:n rakenne (Society of robots. 2010).

LED on puolijohdekomponentti, jossa on anodi ja katodi kuten diodissa. Käytännössä anodin ja katodin erottaa siitä, että anodissa johdin on pidempi. Yleisesti käytetyt materiaalit LED:eissä ovat erilaisia epäorgaanisia puolijohdemateriaaleja, esimerkiksi alumiinia, galliumia, piitä, indiumia, sinkkiä jne.

2.3 Toimintaperiaate

LED perustuu p- ja n-tyyppin puolijohteisiin kuten diodi. Positiivisella puolella (anodi) aukot lisäävät johtavuutta, joihin negatiiviselta puolelta (katodi) elektronit siirtyvät pn-liitoksessa. Virran positiivinen suunta on anodilta katodille.



Kuva 3: LED:n toimintaperiaate (How stuff works, Icl. 2011).

LED:n käyttöjännite on noin 2-3 voltia. LED:n läpi kulkeva virta on milliamppeereista ampeeriin ja sen mukaan määräytyy diodin kirkkaus. Mitä enemmän virtaa kulkee diodin läpi, sitä kirkkaammin se palaa. Lisäksi LED syttyy ja sammuu myös perinteisiä valonlähteitä nopeammin, nanosekunneissa. Tämä mahdollistaa myös tiedon lähettämisen moduloimalla valoa.

3 LED: IEN KEHITYS

3.1 Historia

Ensimmäisen LED:n valmisti englantilainen laboratoriossa työskennellyt H. J. Round 1900-luvun alussa. Samoihin aikoihin vuonna 1920 saman keksinnön teki venäläinen Oleg Vladimirovich Losev tietämättä Round:sta. Kuitenkin vasta vuonna 1955 eräässä Amerikkalaisessa radiolaitteita valmistavassa yrityksessä Rubin Braunsteinin huomasi, että piin ja germaniumin seoksista valmistetut puolijohdekomponentit lähettivät infrapunasäteilyä. Tämän keksivät myös Bob Biard ja Gary Pittman Texas Instrumentsistä, ja he voittivat lopulta patentin LED:stä itselleen. Ensimmäisen punaista valoa lähettävän LED:n kehitti Nick Holonyak vuonna 1962. Häntä pidetäänkin yleisesti LED:ien keksijänä.

Holonyakin opissa Illinoisin yliopistossa ollut George Craford kehitti 1970-luvun alussa keltaisen, sekä huomattavasti aiempia tehokkaamman punaisen LED:n. Vuoteen 1968 asti LED:t olivat mahdottoman kalliita, maksaen jopa yli 200 dollaria kappale. Tähän tuli kuitenkin muutos, kun samana vuonna Amerikkalainen yritys Monsanto Company alkoi valmistaa LED:ejä sarjatuotantona käyttäen galiumarsenidiä puolijohteena. Galiumarsenidi on huomattavasti edullisempi materiaali verrattuna piihin ja germaniumiin. Lisäksi sen saatavuus on edellisiin verrattuna parempi. Kirkkaansinisen LED:n kehittäjä japanilainen Shuji Nakamura, joka kehitti myöhemmin 1990-luvulla ensimmäisen valkoisen LED:n.

LED:ien ensimmäiset käyttötarkoitukset olivat toimia hehkulamppujen korvikkeina sekä merkkivaloina. LED:ejä käytettiin jo 1970-luvulla esimerkiksi televisioissa, radioissa, puhelimissa ja laskimissa. Vasta 1990-luvun lopulta lähtien LED:ien käyttö valaistuksessa on alkanut yleistyä niiden kirkkauden kehittymisen myötä.

3.2 Nykyaika

Nykyään LED:ejä käytetään lähes kaikissa merkkivaloissa, autojen valoissa ja liikennevaloissa. Lisäksi niitä kehitetään valaistukseen sopivammiksi yhä enemmän ja enemmän. Suuritehoisia LED:ejä on alettu käyttämään ulkovalaistukseen, katuvaloihin ja erilaisten rakennusten julkisivuihin 2000-luvun alusta lähtien.



Kuva 4: Erivärisiä LED:ejä

Vuonna 2009 suuritehoisia LED:ejä valmistava Amerikkalainen yhtiö Cree Inc. kehitti LED:n, jossa on tehoa jo yli 100 Lumenia wattia kohden. Näillä suuriteholedeillä on alettu nyt korvaamaan hehkulamppuja, halogeeneja sekä uv-valoja. Nykyään LED-lampuilla voidaan korvata esimerkiksi E27-kantaisia kupu- ja spottilamppuja, E14-kynttilälamppuja, GU10- ja MR16-halogeenilamppuja sekä T8-kantaisia loisteputkia.

3.3 Tulevaisuus

On todennäköistä, että LED:ejä tullaan kehittämään edelleen rakenteen osalta tulevaisuudessa ja samalla myös niiden käyttömahdollisuudet tulevat yhä monipuolisemmiksi. LED-valojen kirkkaus on tähän päivään asti kasvanut exponentiaalisesti ja jatkaa todennäköisesti samalla tavalla kasvuaan tulevaisuudessa.

Hintakehitykseen vaikuttaa voimakkaasti LED:ien käyttömahdollisuudet: Mitä yleisemmäksi ne tulevat, sitä enemmän niiden hinta laskee. Uusia LED-sovelluksia julkistetaan lähes päivittäin, joten tulevaisuuden hintakehitys vaikuttaa lupaavalta. Lisäksi yhä useampaan uuteen rakennukseen aletaan jo alusta asti suunnittelemaan LED-valaistusta perinteisen tilalle. LED-valojen ennustetaan korvaavan vuoteen 2025 mennessä kaikki vaihtoehtoiset valaistusmahdollisuudet yleisvaloina. Niiden käyttö

tulee siis edelleen kasvamaan voimakkaasti ja lopulta ehkä syrjäyttämään muut valaistumahdollisuudet kokonaan.

”Yhdysvaltojen energiaministeriö ennustaa, että ledit voivat vuoteen 2025 mennessä syrjäyttää hehku- ja loistelamput yleisvaloina.” (United States Department of Energy. 2011).

4 KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET

4.1 Sisävalaistus

LED-valoja käytetään yhä enemmän sisävalaistuksessa halogeeni- ja hehkulamppujen korvaajina. LED-lamppuja tehdäänkin jo lähes joka kannalla ja ne sopivat lähestulkoon jokaiseen vanhaan valaisimeen. Esimerkiksi jääkaappien ja muiden kylmätilojen valot voidaan korvata pitkäikäisemmillä LED:eillä, sillä ne kestävät hyvin viileää. Turvavalistus on energiatehokkainta ja huoltovapainta tehdä pitkäikäisellä LED-tekniikalla.



Kuva 5: LED-loisteputki T5-kannalla (KITA, Korea international trade association. 2011)

4.1.1 Turvavalaistus

Sisätilojen tärkeimpiä valoja ovat turva- ja poistumisopastevalot, jotka opastavat ihmiset ulos tilasta sähkökatkon tai muun näkemistä häiritsevän syyn seurauksena. Muun muassa Teknoware valmistaa nykyään paljon rakennuksilla käytettyjä poistumisopastevalaistuksia käyttäen LED-tekniikkaa.



*Kuva 6: Teknoware:n
Escape 10
poistumistievalo
(Teknoware. 2011).*

Myös Fagerhult valmistaa uudenaikaisia LED-tekniikalla varustettuja poistumisopaste- ja turvavalaisimia. Alla mainittu ViVa- poistumisopasvalaisin toimii jopa 3 tuntia sisäänrakennetulla akulla sähkökatkon jälkeen.



*Kuva 7: Fagerhult exLED ViVa, 1,4W (Fagerhult Oy.
2011).*

Fagerhult valmistaa myös turvavalaisimia omalla emLED-konseptillaan. Käytännössä se on tehokas LED, joka pitkän käyttöiän vuoksi kestää lähes ikuisesti, koska sitä

käytetään vain turvavalotilanteissa sekä testauksien aikana. ”Vanhanaikaisessa” turvavalojärjestelmässä käytetään samaa valaisinta sekä normaali- että turvavalaistukseen. Erikseen turvavalaistukseen suunniteltu LED-tekniikalla toteutettu turvavalon siten varmatoiminen ratkaisu.



Kuva 8: Fagerhult emLED-micro, 3W, (Fagerhult Oy. 2011).

4.1.2 Työpiste- ja lukuvalaistus

Työpiste- ja lukuvaloina LED-valaisimet ovat ehdottomat, koska niistä tulee kirkas 5500K väriämpötila. Tämä on todella lähellä oikeaa päivänvaloa verrattuna keltaiseen loisteputken ~2900K väriämpötilaan. Lukuvalona käytettäessä päivänvalon kaltainen valaistus auttaa loisteputken valoa paremmin lukijaa näkemään ja keskittymään omaan lukukohteeseensa. Tämä perustuu siihen, että kirkkaassa päivänvalossa ihmisen silmän pupillit eli mustuaiset ovat hieman pienemmät verrattuna tilanteeseen, jossa lukuvalona toimii päivänvaloa heikompi valonlähde.

LED-valaisimien käytön etu työpiste- ja lukuvalona loisteputkeen verrattuna perustuu siten kirkkaampaan, lähempänä auringon aikaansaamaa päivänvaloa olevaan väriämpötilaan. Päivänvalon kaltaisessa lukuvalossa, eli myös siis LED-lamppujen valossa, lukijan lukunopeus voi tutkitusti kasvaa jopa 20% verrattuna tilanteeseen, jossa lukeminen tapahtuu loisteputken tarjoamassa keltasävyisessä valaistuksessa (Brainard, G, Lowden, A. 2008).



Kuva 9: Fagerhult TESLA 10,8W suurteho LED:llä, (Fagerhult Oy. 2011).

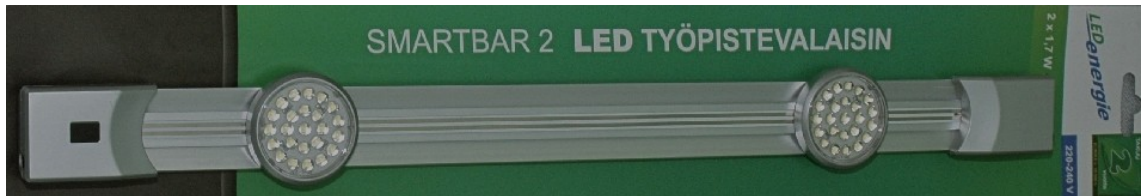
Käytettäessä LED:iä työpistevalona sujuu työnteko paremmin aidon kirkkauden ansiosta. Koska LED-valo ei välky päällä ollessaan ja se syttyy välittömästi, parantuvat työskentelyvirkeys ja -viihtyvyys sekä näiden kautta työskentelynopeus. LED-valojen on tutkittu parantavan kouluissa ja toimistoissa oppilaiden ja työntekijöiden stressinsietokykyä sekä parantavan heidän keskittymiskykyään (Brainard, G, Lowden, A. 2008).



Kuva 10: LED Energie työpistevalaisin 3x1W (Finntology Oy. 2011).

Uusiin keittiöihin on kannattavaa asentaa LED-tekniikalla varustettuja työpistevalaisimia. Ne ovat huoltoystävällisempiä, sillä niitä voidaan siirrellä ja huoltaa ilman sähköjenkatkaisua, koska ne toimivat 230 VAC pistorasialla. LED-valoissa on

itsessään tasasuuntaaja, joka muuttaa syötön tasajännitteeksi, sekä muuntaja muuntamaan jännite sopivaksi LED-piirille. Alla mainittu Smartbar-LED-valaisin on tarkoitettu keittiöihin työpistevalaisimeksi ja se tarjoaakin 264 lumenia 2x1,5 W:n teholla.



Kuva 11: Smartbar työpistevalaisin kahdella 1,5W siirrettävällä LED:llä (Edutor Oy. 2011).

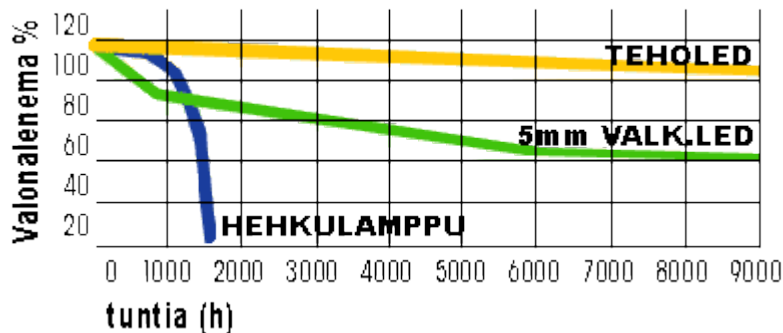
Toimistovalauksessa tärkeitä lähtökohtia ovat valotehokkuus ja sen luonnollisuus. Valaistus määritellään useasti erilaiseksi, eri työtarkoituksen mukaan. LED-teknologia auttaa näissä asioissa hyvin, koska sillä voidaan saada aikaan erivärisiä valaistuksia sekä erilaisia valovoimakkuuksia. LED-teknologia mahdollistaa säätämismahdollisuudet eri kellon- ja vuodenajan mukaan tarjoamaan kirkkaampaa tai himmeämpää valoa. Myös värejä voidaan käyttää erilaisten mielialojen ja tehokkuuksien saavuttamiseksi.

4.1.3 Kohdevalaistus

LED-valaistuksen avulla voidaan loistavasti luoda pistemäisiä valonsäteitä, joten sen avulla on helppo rajata tiettyjä alueita tai tuotteita. Siten saadaan asiakkaan huomio kiinnittymään toivottuun kohteeseen paremmin kuin ilman kohdevalaistusta. Tämä tuotteen valaiseminen on puolet koko esillepanosta. Erilaiset mahdollisuudet tuotteiden esille tuomisessa LED-valaistusta apuna käyttäen riippuvat lähes täysin valaistuksen suunnittelijan mielikuvituksesta. Valaistuksen avulla saadaan luotua lähes rajattomasti erilaisia efektejä sekä tunnelmia ja ne ovat kaikin puolin edelleen muokattavissa.

4.1.4 Yleisvalaistus

Yleisvalaistuksessa LED-tekniikka on yleistymässä ja LED-lamput ovat valtaamassa muiden lamputyyppien paikat peristeisissä valaistusratkaisuissa. LED:eillä pystytään korvaamaan sekä energiansäästö- että halogeenilamput samankantaisilla, mutta LED-teknologiaa käyttävillä, lampuilla.



Kuva 12: Hehkulampun, sekä LED:ien valonaleneman vertailu (Aurinkosähkötalo Eurosolar Oy. 2008).

Viimeisin LED-teknologia takaa hyvän valotehon, pienen energiankulutuksen ja loistavan värinänkeston, joka on tärkeä ominaisuus sähköturvallisuuden kannalta. Lisäksi matalan rakenteen ansiosta LED:ille ei tarvitse varata niin suurta tilaa välikatosta, kuin mitä tulisi varata muita lamppeja käytettäessä.

LED-lamput ovat tarkoitettuja korvaamaan standardinmukaisia perinteisiä lamppeja, joiden yleisimmät kannat ovat Mr16, GU5.3, GU10 ja Edison-kannat E27 sekä siitä pienemmät kannat. LED-valot toimivat tyypillisesti 12 voltin tasajännitteellä, joten niissä on yleensä sisäinen muuntopiiri 230 voltin vaihtojännitteen muuntamista varten.

Monet perinteiset valonlähteet aina 100 wattiin asti voidaan korvata 13 wattisella LED-lampulla. Yleinen nyrkkisääntö valaistukselle on 14 – 17 lumenia wattia kohden. Vastaavasti Euroopan Unionin mukaan LED-lampun pitää olla 60 watin hehkulamppua vastaava ja valotehokkuudelta minimissään 806 lumenia (Euroopan Unioni. 2011).

Kunnon LED-valon tulisi kestää oikein asennettuna ja käytettynä noin 50 000 tuntia. Vastaavasti energiansäästölamppujen keski-ikä pitäisi olla noin 6 000 – 15 000 tuntia. Verrattuna hehkulampun tyypilliseen kesto-aikaan, 1000 tuntiin, erottuu jo energiansäästölamppujenkin keski-ikä edukseen. Kuitenkin huomattavasti pitkäikäisin edellä mainituista on LED, jonka kesto-aika on energiansäästölamppuun verrattuna jopa kolminkertainen.

Taulukko 1: Eri lampputyyppeiden ominaisuuksia (Sami Kindt Oy. 2011).

	Käyttöikä	Valonalenema	hyötysuhde	sytytys/sammutus	Hinta
	h	%	lämpö/valo	kpl	€
tehoLED	50 000	30	50/50	ääretön	50-250
Valkoinen LED	20 000	60	80/20	ääretön	20-120
Energiansäästölamppu	6-15 000	30-60	80/20	20 000	4-12
Halogeenilamppu	2-4 000	60-80	60/40		2-6
Hehkulamppu	1-2 000	80-100	95/5		0,90-2

LED-valoissa valoteho tippuu vähemmän kuin 10 % 6 000 tunnissa ja pahimmillaan kuitenkin vain 15 %. Koko LED-valon käyttöiän aikana parhaimmilla lamppuilla valonalenema on 30 %. Yleisesti mitä vanhempaa teknologiaa lamppu käyttää, sitä suurempi on valonalenema ja pienempi käyttöikä. Hyötysuhteeltaan normaali valkoinen LED-lamppu on samaa luokkaa kuin hyväntasoinen energiansäästölamppu.

Nykyään LED-lamppuja valmistavia yrityksiä on tuhansia ympäri maailmaa. C. Crane Company kehitti ensimmäisenä 60 watin hehkulampun korvaavan 7 watin LED-valon.



Kuva 13: Geobulb 12 V LED-lamppu C. Crane Companyltä (C. Crane Company, Inc. 2011).

Esimerkiksi Philips tekee laadukkaita LED-lamppuja, joille yritys lupaa kuuden vuoden käyttöiän oikeita käyttötapoja noudattamalla. LED-teknologia kehittyi nopeasti ja edelleen uusia valmistajia ilmestyy LED-markkinoille. Uusien energiatehokkaiden LED-lamppujen kolme suurinta valmistajaa ovat tällä hetkellä Osram, Philips ja General Electric, mutta niitä valmistaa myös suuri joukko pienempiä yrityksiä.

4.1.5 Arkkitehtuuri

LED-valot sopivat myös rakennusten ja siltojen julkisivujen sekä niiden yksityiskohtien korostamiseen. Lisäksi niiden avulla voidaan luoda erilaisia valoeffektejä esimerkiksi rakennusten seiniin. Suuriteho-LED:ejä on esimerkiksi Suomessa käytetty Tampereella, Kittilässä ja Mikkelissä kadunpätkien valaistukseen. Tampereella hyvänä esimerkkinä LED-valojen käytöstä arkkitehtuurissa toimii Naistenlahden voimalaitos.

Naistenlahden voimalaitoksen sähkösuunnittelun toteutti Pöyry Engineering Oy kesällä 2006. Valaistus voimalaitokseen valmistui vuonna 2007. Sähköasennukset teki Tampereen Vera Oy. Valaistus on jaettu vuorokauden mukaan erilaisiin ohjelmiin. Se toimii siten, että valaistuksen iltaohjelma alkaa palamaan illan hämärtyessä lopulta päättyen kello 22, jolloin siirrytään yöohjelmaan. Iltaohjelman aikana valot ja värit ovat runsaimmillaan. Yöohjelma kestää aina kello kuuteen asti aamulla, jonka jälkeen alkaa aamuvalaistus ja lopulta päivävalaistus kestäen aina hämärän tuloon asti.



Kuva 14: LED-valoilla toteutettu julkisivu Tampereella, Naistenlahden voimalaitoksessa (Tampereen sähkölaitos. 2011).

4.1.6 Tehostevalaistus

Tehostevalona käytettäessä LED mahdollistaa erilaisten tunnelmien, teemojen ja tilanteiden saavuttamisen. Tässä hyvänä esimerkkinä toimivat erilaiset hotellit, kylpylät, aulat ja käytävät, joissa LED-valot ovat määritelty tiettyyn hetkeen ja tarkoitukseen. Esimerkiksi portaiden askelmia on helppo valaista käyttäen LED-tekniikkaa.



Kuva 15: Rappukäytävävalaistus toteutettuna LED-valoilla (Oy Airam Electric Ab. 2011).

4.1.7 Kylmätilat

LED-valo toimii loistavasti kylmätiloissa ja pienen energiantarpeensa vuoksi se on aivan omiaan esimerkiksi jääkaapin valonlähteeksi. Mitä kylmempää on, sen paremmalla hyötysuhteella LED palaa ja sitä pidempään se kestää (Lumilab Oy. 2009).

LED-valolla saavutetaan kylmätiloissa valtava etu verrattuna loisteputkeen kahdesta syystä. Ensinnäkin, LED-valo säästää energiaa pienen kulutuksensa vuoksi. Toiseksi, loisteputki säteilee lämpöä ympäristöönsä enemmän kuin LED-tekniikka. Tämän vuoksi kylmätilojen jäähdytyslaitteet eivät joudu koville, jos valaistuksessa käytetään LED-lamppuja (Elcool Oy. 2011).

4.2 Ulkovalaistus

Nykymaailmassa katuvalaistuksen tarkoitus on hieman muuttunut viimeaikoina aiempiin vuosiin verrattuna. Nykyään lähtökohdiana on valaistuksen halpa ylläpito, eikä niinkään se, että kaikki kadut ja niiden lähiympäristö olisivat miellyttävästi valaistuja. Toinen tärkeä ja erityishuomiota vaativa asia katuvalaistuksessa on risteyksien turvallisuus sekä kaupungin oma idyllisyys. Ulkovalaistuksessa on helppoa suunnata valo tolppien välimatkojen mukaan eri leveyksille ja siten vaikuttaa turvallisuuteen ja idylliseen tunnelmaan.



Taulukko 2: Sitaco Oy:n katuvalaisin (Kuva: Seppo Mäkelä 2010).

Ohessa oleva taulukko 3 on Kangasalan kunnalle esitetty eri valaistusmahdollisuuksien hankinta-, käyttö- ja huoltokustannuslaskelma 30 vuoden ajanjaksolle. Taulukosta 3 huomataan hyvin, että pitkällä, 30:n vuoden ajanjaksolla käyttämällä LED-valoja katuvalotolpissa tavallisten monimetallilamppujen sijaan kustannukset jopa puolittuvat. Suurin kustannus LED-lampuille aiheutuu niiden hankinnasta, kun taas monimetallilampuilla niiden suuri sähkökulutus aiheuttaa suuret käyttökustannukset. Monimetallilampuilla on myös lyhyempi vaihtoväli, joten myös niiden huoltokustannukset ovat LED-valoja suuremmat.

Taulukko 3: 30-vuoden ulkovalaistuksen ylläpito ja hankintakustannukset 18 valaisimelle (Kangasalan kunta, Seppo Mäkelä. 2010).

Valaistuskustannusten vertailulaskelma

(perustuu Ruotsin viranomaisten laskentamalliin)

Lasketaan ulkovalaistuksen hinta 30 vuoden ajanjaksolle

Vuotuinen todellinen korko 0,03%

Vuotuinen energian hinnannousu inflaation lisäksi 0,05%

Investointikustannukset

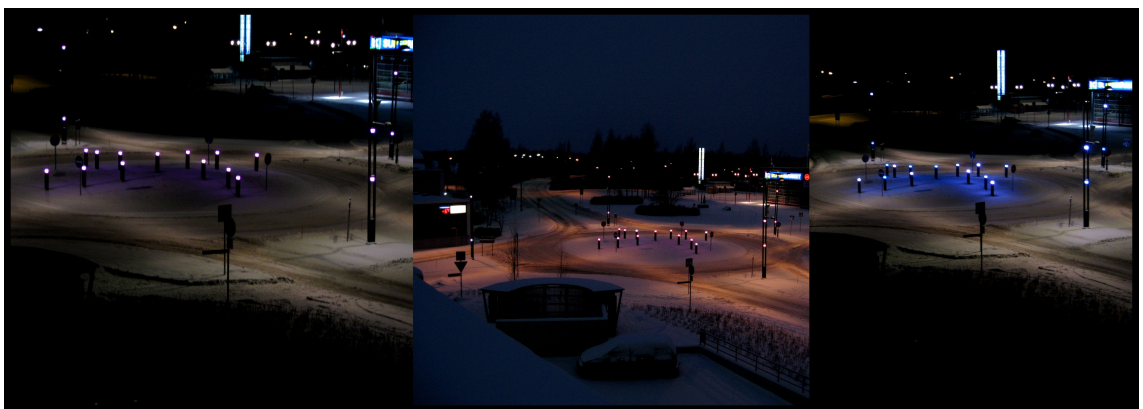
Valaisimet		Hg125 1xHg125	Ecovalo K2S 1x40W	Ecovalo K1S 1xEv20W
Tarkempi määrittely				
Lukumäärä	kpl	18	18	18
Yksikköhinta	€/kpl	1	544	444
Valaisinkustannus	€	18	9792	7992
Lamput				
Teho ja liitäntälaitteen häviöt	W	141	44	22
Lukumäärä/valaisin	kpl	1	1	1
Yksikköhinta	€/kpl	12	0	0
Lamppukustannus	€	216	0	0
Asennus				
Materiaali- ja työkustannukset/valaisin	€	1	100	100
Asennuskustannukset	€	18	1800	1800
Investointikustannukset yhteensä	€	252	11592	9792
Käyttökustannukset				
Energiakustannukset				
Asennettu teho ja liitäntälaittehäviöt	W	2538	792	396
Käyttöaika	tunti/vuosi	4000	4000	4000
Energiankulutus/vuosi	Mwh/vuosi	10,15	3,17	1,58
Sähköenergian hinta	€/kWh	0,1	0,1	0,1
Sähköenergian hinta	€/vuosi	1015	317	158
Energiakustannusten nykyarvo	€	30456	9504	4752
Valonlähdekustannukset+vaihto				
Valonlähteen elinikä	tunti	12000	120000	120000
Vaihtoväli	vuosi	3	30	30
Vaihtokustannus/kpl	€	20	250	250
Valonlähdekustannusten nykyarvo	€	3600	0	0
Huoltokustannukset				
Huoltokustannus valaisinta kohden	€/kpl	120	165	165
Käyttöaika ennen huoltoa	tunti	60000	60000	60000
Huoltoväli	vuosi	15	15	15
Huoltokustannusten nykyarvo	€	1080	1485	1485
Käyttökustannukset yhteensä	€	35136	10989	6237
Kokonaiskustannukset	€	35388	22581	16029

Käytännössä yhden monimetallivalaisimen hankintahinta on noin 150 euroa ja LED-tekniikalla toimivan ulkovalaisimen hinta on vastaavasti noin 400-500 euroa. Lisähinnalla ulkovalaisimeen saa tarvittaessa hienomman ohjauksen. Kuten käyttökustannuksia verrattaessa huomataan, tulee uudelle katuvalolle LED-tekniikalla varustettuna noin kolmasosan verran halvempi hinta verrattuna korkeapainevalaisimiin.



Kuva 16: LED-valaistuksella toteutettu ulkovaalaistus (Valopaa Oy. 2011).

Suuritehoiset LED-valot tarjoavat energiatehokkaan valaistuksen katuvaloihin, joissa on myös paljon säätövaraa. Esimerkkinä toimii Kangasalan kunnan tilaamat LED-katuvalot keskustaan, joissa valaistuksen väri ja tehokkuus riippuvat vuodenajasta ja päivän valoisuudesta. Muita LED-valaistuksen avulla toteutettuja kadunpätkiä löytyy myös Tampereelta, Kittilästä ja Mikkelistä.



Kuva 17: Tampereentien kiertoliittymä Kangasalan keskustassa (Kuva: Seppo Mäkelä, 2010).

4.3 Muut sovellukset

Rakentamisen yksi osa ovat työkoneet, joissa niissäkin voidaan perinteiset valonlähteet korvata LED:eillä. Uusissa ajoneuvoissa niin on jo tehty. Etu-, taka- ja hälytysvalot ovat sellaisia osia, jotka on usein uusissa malleissa korvattu LED:eillä. Rakennustyömailla hyviä esimerkkejä LED-valojen käytöstä ovat akkukoneisiin integroidut valaisimet, erilaiset varoitusvalot ja kaikkien akkukäyttöisten koneiden valot.

Opastusvaloina käytettäessä LED-tekniikka aikaansaa huomattavaa taloudellista säästöä. Tämä toteutuu sellaisissakin käyttökohteissa, missä valot ovat päällä ympäri vuoden, kuten katuvaloissa, mainoskylteissä sekä varoitusvaloissa.

5 EDUT

Etuja LED:eissä on todella paljon verrattuna perinteisempiin lamppuratkaisuihin. Suurimpana etuna voidaan nykypäivänä pitää edullisia käyttökustannuksia, koska mitä enemmän sähkön hinta jatkaa kasvuaan, sitä edullisemmaksi LED-valojen käyttö tulee.

Perinteisen hehkulampun sähkötehosta melkein 95% muuttuu lämmöksi ja vain muutamia prosentteja muuttuu valoksi asti. Hyötysuhteet ovat riippuvaisia myös lampun laadusta ja tehosta. Hehkulamppu toimii isona osana talon sähkölämmitystä, koska valot ovat usein päällä silloin kun tilassa on joku. Jos talossa olisi käytössä sähkölämmitys, niin periaatteessa olisi sama olisiko lämmitysteho hehkulamppusta vai sähköpatterista. Kesällä tämä hehkulampuista peräisin oleva lämpö menee hukkaan, koska lämpenevää huoneilmaa täytyy viilentää ilmastoinnilla, mikä puolestaan lisää sähkönkulutusta. Lisäksi hehkulamppu syttyy hitaasti maksimikirkkauteensa verrattuna esimerkiksi halogeenilamppuun ja sen valo on keltaisensävyistä.

Energiansäästölampulla saadaan sama valoteho kuin hehkulamppulla, mutta vain murto-osalla hehkulampun samaan valomäärään tarvitsemasta energiasta. Energiansäästölamput ovat paljon pitkäikäisempiä kuin hehkulamput, mutta tämä pätee vain niinsanottujen laadukkaiden energiansäästölamppujen kohdalla. Poikkeuksena

hehkulamppuihin ja LED-lamppuihin verrattuna energiansäästölamppu sisältää ympäristölle vaarallista elohopeaa ja sen valmistaminen kuluttaa luonnonvaroja enemmän kuin perinteisen hehkulampan valmistaminen. Energiansäästölamppujen kannoissa on myös tyypillisesti paljon elektroniikkakomponentteja, jotka nekin ovat ongelmajätettä. Lamppu syttyy myös todella hitaasti verrattuna LED-valoon ja valonlaatu on huomattavan keltaista.

5.1 Kustannukset

Energiansäästö perinteisiin valaistusratkaisuihin verrattuna voi olla jopa 90 %. Kustannukset ovat myös huoltotöissä todella suuret, koska loisteputkissa usein vaihtuvat itse lamppujen lisäksi myös sytyttimet sekä kuristimet. Sytyttimet vaihdetaan normaalisti samalla kertaa loisteputken kanssa. Lamppujenvaihtoväli LED-valoilla voi olla moninkertaisesti pidempi kuin loisteputkivaloilla.

Suurin säästö syntyy kuitenkin sähkölaskussa, jonka summa kuitenkin nousee aina vain korkeammaksi. Tällä hetkellä LED-lamppuun sijoittaminen kannattaa noin yhden ja viiden vuoden aikavälillä verrattuna hehkulamppuun ja loisteputkeen. Tähän neljän vuoden eroon vaikuttaa sekä lampun käyttötunnit päivässä, että alati nouseva sähkön hinta.

Taulukko 4: Vuotuiset säästöt LED-teknologialla (Sähkön hintana käytetty 12senttiä/kWh, loisteputki 52W, hehkulamppu 40W, halogeeni 30W)

Tila	Valaisimet	Tyyppi	käyttötunnit	käyttöpäivät	säästö LED:eillä
Toimisto	8 kpl	120cm T8 loisteputki	8,5h/päivä	240 päivää vuodessa	100€/vuosi
Koululuokka	20 kpl	120cm T8 loisteputki	7h/päivä	200 päivää vuodessa	175€/vuosi
Pieni kauppa	400 kpl	120cm T8 loisteputki	94h/vk	365 päivää vuodessa	12 200€/vuosi
3-vuorotyö tehdas	5000 kpl	120cm T8 loisteputki	24h/päivä	365 päivää vuodessa	273 000€/vuosi
Omakotitalo	50 kpl	Hehkulamppuja/halogeeneja	8h/päivä	365 päivää vuodessa	260€/vuosi
Kerrostalo	15 kpl	Hehkulamppuja/halogeeneja	8h/päivä	365 päivää vuodessa	80€/vuosi

Yhden hehkulampun käyttöhintaa:

sähkön hinta €/kwh * tuntia päivässä * päiviä vuodessa * 0,06kWh

Yhden ledilampun käyttöhintaa:

sähkön hinta €/kwh * tuntia päivässä * päiviä vuodessa * 0,007kWh

Esimerkiksi: Jokapäiväinen 5 tunnit käyttö:

Hehkulamppu $0,081 * 5 * 365 * 0,06 = 8,87€$

Ledilamppu $0,081 * 5 * 365 * 0,007 = 1,04€$

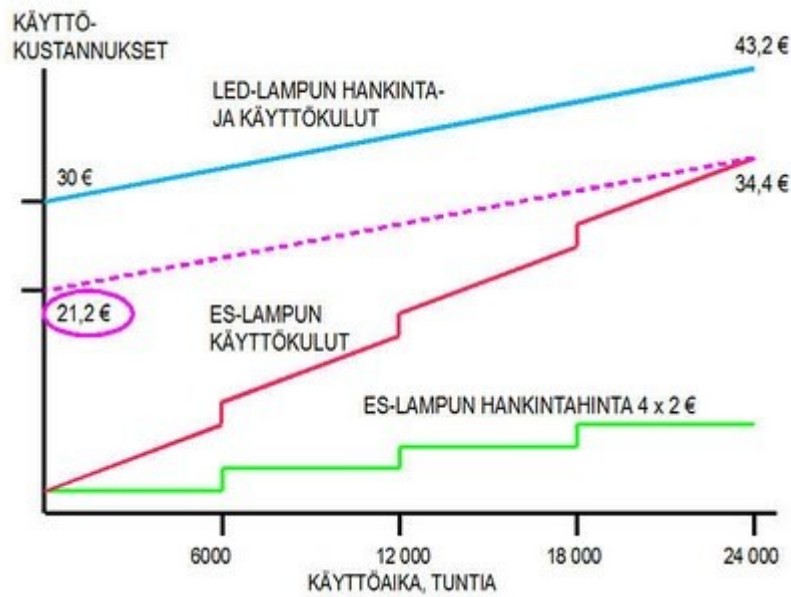
Yhdelle lampulle säästöä tulee siis vuodessa $8,87 - 1,04 = 7,83€$

(kWh, energian yksikkö, ilmaisee kuin monta wattia tehoa kuluu tunnin aikana)
(Sanoma News. 2011)

5.2 Elinkaari

Elinkaarioissa LED-teknologia on edelläkävijä. LED:ien valmistus on vielä hetkellisesti kalliimpaa kuin perinteisten lamppujen. Käyttökustannuksien ja huoltotoimenpiteiden väheneminen moninkertaisesti verrattuna perinteisiin valoihin mahdollistaa LED-valojen nopean takaisinmaksuajan.

Ohessa olevassa kuvassa 18 verrataan LED-lampun ja energiansäästölamppun hankinta- ja käyttökustannuksia. Kustannukset on laskettu 24 000 tunnin ajanjaksolta 11 watin energiansäästölamppulla ja saman verran valoa tuottavalla 5,5 watin LED-lampulla. Sähkön hinnaksi on arvioitu 10 senttiä kilowattitunnille. Energiansäästölampulle on laskettu keski-ikä 6 000 tuntia. Led-lampun hinnaksi on arvioitu 30 euroa ja energiansäästölamppun hinnaksi neljä kappaletta kertaa kaksi euroa.



Kuva 18: Lamppujen hankinta- ja käyttökustannukset (Oulun 1. 2010).

Vihreä kuvaaja kertoo energiansäästölamppun hankintahinnan ja punainen sen käyttökulut. Sininen kuvaaja näyttää LED-lampun hankinta ja käyttökustannukset. Magenta väri ilmoittaa sen kuinka paljon kannattaisi LED-polttimosta maksaa, jotta se tulisi kannattamaan 24 000 tunnin ajanjaksolla (Oulun 1. 2010).

5.3 Turvallisuus

LED-valo on hehku-, loiste- ja halogeenivalaisimia turvallisempi, koska se ei lämpene ja näin aiheuta palamisvaaraa. Esimerkiksi halogeenilamppujen asennuksessa on otettava huomioon ilmatila valaisimen takana sekä sen tarkoituksenmukainen suojaaminen, joten asennuskorkeus on aivan eri luokkaa kuin mitä se on litteällä LED-valaisimella.

Parempaan paloturvallisuuden lisäksi LED-lamppujen käyttö vähentää myös lamppuvaihtotilanteisiin mahdollisesti liittyviä tapaturmia. LED-valojen pidemmän käyttöiän myötä vähenevät lamppuvaihtokerrat verrattuna siihen, että käytettäisiin lyhytikäisempiä lamppuvaihtoehtoja. Siten myös vaihtotapahtumasta mahdollisesti aiheutuvat tapaturmat saadaan vähenemään. Vaaratilanteita aiheuttavat esimerkiksi

lampunvaihtajan ammattitaidottomuus, sopimattomat tai heikkokuntoiset työkalut ja muut apuvälineet sekä lampujen vaihto niiden vaikean sijainnin takia.

LED-valo ei sisällä ihmiselle vaarallista ultraviolettisäteilyä. Loisteputkissa sitä tuotetaan alipaineistetun elohopeakaasun avulla. Lisäksi LED-valo ei säteile infrapunavaloa eli infrapunasäteilyä. Nämä kaksi säteilymuotoa, ultravioletti- ja infrapunasäteily, aiheuttavat paperiin ja muihin painotuotteisiin kohdistuessaan väripigmentin haalistumista. Ne aikaansaavat myös valkoisten muoviosien kellastumisen, joka on esteettisesti haitallista esimerkiksi asuntojen erilaisten valkoisten muoviosien kohdalla. Tällaisia helposti kellastuvia muoviosia ovat esimerkiksi valonkatkaisijat ja pistorasiat.

Loisteputkissa ja uusissa energiansäästölamppuissa käytetty elohopeakaasu on vaarallista ihmiselle hengitettäessä. Elohopeakaasua saattaa joutua huoneilmaan esimerkiksi loisteputken rikkoutuessa. Lisäksi vanhemmissa loisteputkivalaisimien kuristimissa on käytetty vaarallisia myrkkyjä, kuten esimerkiksi PCB:ä eli Polykloorattua bifenyylä, joka on syöpää aiheuttava eli karsinogeeninen yhdiste.

”Yhdysvaltain ympäristönsuojeluvirasto neuvoa evakuoimaan huoneen, jossa energiansäästölamppu on rikkoutunut. Huonetta on tuuletettava vähintään 15 minuutin ajan.” (Yhdysvaltain ympäristönsuojeluvirasto. 2011).

Toisin kuin loisteputki, LED-valo ei hajoa helposti. Rikkoutuessaan loisteputki myös usein hajoaa erittäin pieniksi sirpaleiksi, jolloin kaikkea raaka-ainetta on vaikea saada kerättyä talteen ja toimittaa edelleen kierrätykseen. Pieni ja muovinen LED-valo pysyy useimmiten ehjänä ja siten kaikki siihen kulunut valmistusmateriaali on helppo toimittaa kierrätykseen. Tästä syystä loisteputkimateriaalin tehokas kierrättäminen on paljon monimutkaisempaa pieneen ja muoviseen LED-valoon verrattuna.

Työtaturmia tarkastellessa LED-tekniikan edut tulevat esille esimerkiksi työntekijöiden pääsärkyriskin pienenemisenä, sillä LED:n välkkymätön valo pienentää riskiä huomattavasti muihin, välkkyviin valonlähteisiin verrattuna. Lisäksi työntekijän vireystaso on korkeampi, koska työskentely on mahdollista lähes päivänvaloa vastaavissa olosuhteissa. Näin vireystason laskuun esimerkiksi liittyvät lisääntyneet

huolimattomuusvirheet ja reaktiokyvyn heikentyminen jäävät vähemmälle, jolloin näistä aiheutuvien työtapaturmien määrä myöskin laskee. Lisäksi koulutustapahtumissa käytettäessä LED-valon vilkkumattomuus vähentää oppilaiden levottomuutta ja stressaantumista.

5.4 Kytöntaika

Energiansäästölamppu on suunniteltu niin, että se syttyy todella hitaasti LED-valoon verrattuna ja täyden valomääränsä se lähettää ympäristöönsä vasta pitkän noin muutaman minuutin lämpenemisajan jälkeen. Toisaalta markkinoille on viime aikoina tullut ”Fast Start”-energiansäästölamppu, jonka pitäisi syttyä yli puolta nopeammin mitä normaali loisteputki. Loisteputkella valoteho pienenee ympäristön kylmyyden mukaan, kun taas LED-teknologialla varustettu lamppu toimii sitä paremmin, mitä viileämpää on. Tästä syystä LED-valot yleistyvät koko ajan myös ulkovalaistuksessa.

Erilaisia asennuksia suunniteltaessa tulee huomioida valon syttymis- ja sammumisfrekvenssi ja valita sopiva lamppu tämän mukaan. LED:ejä on ideaalista käyttää asennuksissa, joissa valon täytyy syttyä ja sammua useasti ja nopeasti peräkkäin. Energiansäästölamppujen käyttöikä taas vähenee, mitä enemmän niitä sammutetaan. Korkeapainelamppujen kohdalla syttymisaika on puolestaan erittäin pitkä, joten niiden kohdalla nopea sytyttäminen ja sammuttaminen ei ole mahdollista.

5.5 Koko

LED:in koko verrattuna muihin perinteisiin valaisimiin on todella pieni. Yhden LED:in koko on vähemmän kuin 2 neliömillimetriä ja niitä saadaan helposti asennettua piirilevyille vierekkäin. Energiansäästölamppu vaatii tietyn putkenpituuden, jotta sinne saadaan mahtumaan tarvittava määrän verran elohopeakaasua toimiakseen. Jos kaasua laittaa vähemmän niin valoteho kärsii. Myös halogeenilamputta oleva halogeenikaasu tarvitsee tietyn tilavuuden lähettääkseen tarpeellisen määrän valotehoa.

5.6 Värimahdollisuudet

LED-komponentin hehkuva rajapinnan tarkka määrittäminen valmistusprosessissa on äärimmäisen vaikeaa, joten jokainen LED joudutaan mittaamaan ja testaamaan erikseen.

Taulukko 5: LED-valojen puolijohdemateriaalit ja niiden väri vaihtoehdot (Wikipedia Foundation. 2011).

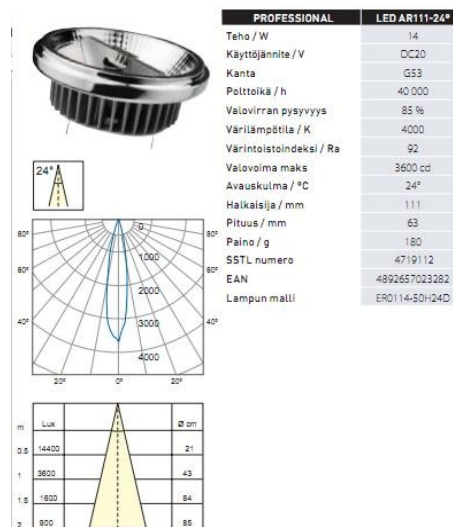
Väri	Aallonpituus [nm]	Jännite [V]	Puolijohdemateriaali
Infrapuna	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1.9$	Gallium arseeni (GaAs) Alumiini gallium arseeni (AlGaAs)
Punainen	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	Alumiini gallium arseeni (AlGaAs) Gallium arseeni fosfaatti (GaAsP) Alumiini gallium indium fosfaatti (AlGaInP) Gallium(III) fosfaatti (GaP)
Oranssi	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	Gallium arseeni fosfaatti (GaAsP) Alumiini gallium indium fosfaatti (AlGaInP) Gallium(III) fosfaatti (GaP)
Keltainen	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	Gallium arseeni fosfaatti (GaAsP) Alumiini gallium indium fosfaatti (AlGaInP) Gallium(III) fosfaatti (GaP)
Vihreä	$500 < \lambda < 570$	$2.18 < \Delta V < 4.0$	Indium gallium nitridi (InGaN) / Gallium(III) nitridi (GaN) Gallium(III) fosfaatti (GaP) Alumiini gallium indium fosfaatti (AlGaInP) Alumiini gallium fosfaatti (AlGaP)
Sininen	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta V < 3.7$	Sinkki seleeni (ZnSe) Indium gallium nitridi (InGaN) Pii karbidi (SiC) substraattina Pii (Si) — (kehitteillä)
Violetti	$400 < \lambda < 450$	$2.76 < \Delta V < 4.0$	Indium gallium nitridi (InGaN)
Purppura	monia eri tyyppiä	$2.48 < \Delta V < 3.7$	Tupla sini/puna LED, sininen punaisella fosforipäällysteellä, valkoinen LED purppura muovilla
Ultravioletti	$\lambda < 400$	$3.1 < \Delta V < 4.4$	timantti (C) Alumiini nitridi (AlN) Alumiini gallium nitridi (AlGaN) Alumiini gallium indium nitridi (AlGaInN) — (down to 210 nm[7])
Valkoinen	laaja spektri	$\Delta V = 3.5$	Sini/UV diodi keltaisella fosforipäällysteellä

LED-valoissa valon väriä saa helposti muutettua ja säädeltäviä puolijohteita muuttamalla. Värimahdollisuuksia on lukuisia, eikä niiden aikaansaamiseksi tarvitse värjätä itse LED-valon heijastimia, kupuja tai muita vastaavia osia erivärisillä muovikalvoilla. LED-valo toistaa erinomaisesti värejä sellaisenaan kuin ne ovat, kun taas perinteiset valoratkaisut tuottavat vain kellertävää valoa.

Värien käyttö valaistuksessa on perusteltua. Tiettyjen värien käytön vaikutus ihmisen mieleen esimerkiksi erilaisissa sisustusteksteilleissä tai maalipinnoissa on yleisesti tunnettu, joten samaa ideaa voidaan käyttää valaistuksessakin. Pirteät valonvärit sekä valon kirkastaminen auttavat piristämään ja pitämään mielen virkeänä. Vastaavasti valaistusta himmentämällä ja muuttamalla väriä pystytään luomaan erilaisia, kulloiseenkin tilanteeseen sopivia, tunnelmia.

5.7 Himmennys

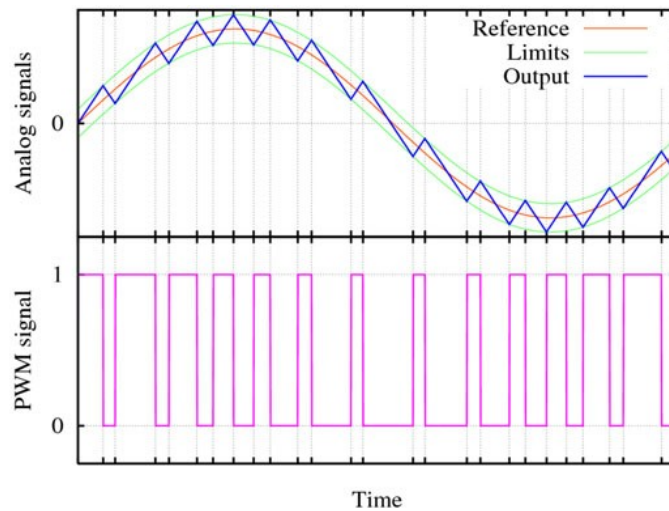
LED-valoja voidaan himmentää käytännössä kahdella eri tavalla. Toinen himmennysperiaate on virran pienentäminen, joka tapahtuu vastusta lisäämällä virtapiirissä. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää pulssinleveysmodulaatiota (PWM, pulse width modulation).



Kuva 19: Himmennettävä 14 W LED (Oy Airam Electric Ab. 2011).

Pulssinleveysmodulaatioissa säädetään kuormalle menevän jännitteen pulssisuhdetta siten, että lähtösignaalin yhden värähtelyjakson keskiarvo on sama kuin modulointisignaalin arvo. Pulssinleveysmodulaation tärkein hyöty tulee siitä, että siinä komponentti joko johtaa virtaa tai sitten ei. Tällöin LED on siis päällä tietyn ajan, jonka jälkeen se on vastaavasti sammuneena tietyn ajan. Valo on aina sitä himmeämpi, mitä

pidempi on johtamaton ajanjakso. Tähän systeemiin tarvitaan himmennin, jossa on tähän tarkoitukseen asennettu ajastin. PWM suodattaa pois kaiken hukkatehon, jolloin laitteen hyötysuhde pysyy hyvänä (Johnson, N. 2011).



Kuva 20: Pulssinleveysmodulaation periaate (Johnson, N. 2011).

Toinen himmennysperiaate on virran pienentäminen, joka tapahtuu vastuksen lisäämisellä virtapiirissä. LED-valon kirkkautta säädellään siis virtaa suurentamalla, joka tapahtuu vastuksen lisäämisellä sarjaan LED:in kanssa.

Yleisesti luullaan, että LED:ejä ei voida himmentää. Todellisuudessa suurinta osaa LED-valoista kyetään himmentämään. Poikkeuksena ovat halogeenien tilalle asennettavat LED-spotit, joissa on vanhanmalliset sytyttimet. Näiden tehontarve alkaa vasta esimerkiksi 50 watin paikkeilta, joten tässä tapauksessa muutamalla LED-valolla ei päästä lähellekkään 50 watin tehoja, jotta saataisiin 50 watin yhteenlaskettu teho.

Monessa himmentimessä on kuitenkin minimikuormat, suuruudeltaan esimerkiksi 40 watin luokkaa. Näin suureen kuormaan tarvittaisiin 14 kappaletta 3 watin LED:ejä. Halvoissa hakkurin sisältävissä LED:eissa huonon himmentimen kanssa, himmentämällä nousee vain loisvirta, eikä lamppu himmene ollenkaan.

5.8 Syttymisnopeus

Valomäärä LED-valossa on huomattavasti parempi energiansäästölamppuihin verrattuna, jos katsotaan lampun wattimäärää. Seuraavasta taulukosta näkee kuitenkin sen, että LED-valo syttyy kirkkauteensa heti, kun taas vastaavilla energiansäästölampeilla siihen vaaditaan ainakin yli minuutti, parhaimmillaan jopa 8 minuuttia. Taulukossa on käytetty Airam ja Philipsin uusia fast start-lamppuja, joiden pitäisi syttyä normaalia nopeammin.

Taulukko 6: Valomäärät heti syttymisen jälkeen (Limic Oy. 2011).

AIKA	VALOLÄHDE JA MITATTU VALOMÄÄRÄ (LUX) AJAN SUHTEEN	LED	ES	ES(Philips)	ES(Philips)	ES
		5 W	Airam 11 W	Sylvania 7 W	Sylvania 11 W	Cotech 11 W
0 sek		281	113	58	26	87
5 sek		281	118	64	16	78
10 sek		281	133	73	18	81
15 sek		281	148	82	17	84
20 sek		281	156	92	17	86
25 sek		281	163	101	17	87
30 sek		281	175	110	18	90
35 sek		281	186	119	19	92
40 sek		281	195	126	20	95
45 sek		281	212	132	21	98
50 sek		280	221	136	22	101
55 sek		280	226	140	24	103
60 sek		280	230	143	25	106
65 sek		280	233	146	27	109
70 sek		280	235	147	29	113
75 sek		280	236	149	30	118
80 sek		280	237	150	32	119
85 sek		280	238	151	33	123
90 sek		280	238	152	36	125
120 sek						137
150 sek					63	137
180 sek					78	
210 sek						157
240 sek					113	163
300 sek					152	181
360 sek					203	
420 sek					277	191
480 sek					320	
540 sek					347	190
600 sek		265	253	172	349	191

5.9 Valomäärä

Valomäärä on LED-valossa tehon suhteen parempi kuin perinteisissä valonlähteissä. Kuitenkin verrattaessa esimerkiksi monimetallilamppuihin ei LED:illä ole vielä tekniikkaa, joka vaaditaan saman valomäärän saavuttamiseksi.

Ohessa olevan taulukon 6 mukaan valoteho GU10-kantaisissa spottivaloissa 30 asteen valon aukeamiskulmalla LED-valo on parempi kuin 35 watin halogeeni. Toisaalta paremman valotehon saa esimerkiksi 50 watin halogeenilampulla, mutta se kuluttaa myös yli kymmenen kertaa enemmän tehoa. Taulukossa on myös vertailun vuoksi LED-valo 60 asteen aukeamiskulmalla, joka sekin tuottaa saman valomäärän kuin 35 watin halogeeni 30 asteen aukeamiskulmalla.

Kalliimman kaupan LED-tuote	Valon aukeamiskulma	Mitattu	Valomäärä (LUX)			
		Mitattu teho	Etäisyys 200cm	150cm	100cm	50cm
GU10-3x1W	30 ast	3,3 W	168	301	651	1853
GU10-3x1W	60 ast	3,3 W	113	216	461	1321
Halpakaupan LED-tuote						
Tarjoustalo 3W	30 ast	5,1 W	32	56	121	484
Halogeeni						
20 W	30 ast	19,6 W	83	123	322	966
35 W	30 ast	33,4 W	109	194	431	1512
50 W	30 ast	42,8 W	231	445	973	2300

Taulukko 7: valoteho GU10-kantaisilla (Limic Oy. 2011).

Liiteiden 1 - 3 valomäärämittaukset on tehty 25, 50, 100 ja 150 etäisyydellä itse valonlähteestä noin 10 minuutin kuluttua valon syttymisestä, jolloin myös hidat energiansäästölamppu on täydellisesti syttynyt. Mittaukset on myös tehty kuvan 21 mukaisesti 3 eri kulmasta mitattuna. Taulukon reunalla on laskettu kuinka monta luksia on saatu valonlähteen nimellisellä valoteholla. Mittauksissa on käytetty vain lämmintä valkoista valoa (värilämpötila 2600-3400 K) tuottavia lamppeja. Mittauksista pystyy huomaamaan kuinka paljon parempi on valotehokkuus LED-lampuilla verrattuna moninkertaisesti isompitehoisempiin energiansäästö-, sekä hehkulamppuihin.

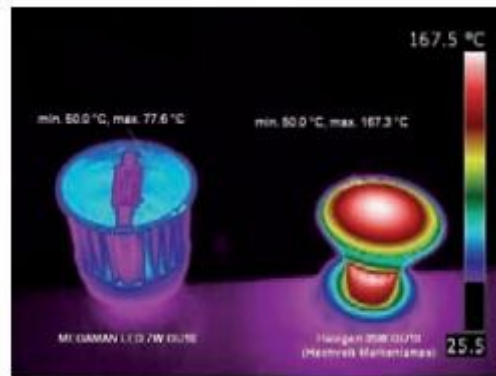
6 HAITAT

LED-valot eivät ole vielä täysin kehittyneitä, sillä niiden sekalainen laatu, todella korkea hinta ja vain muutamat valmistajat hidastavat vielä kysyntää. LED-valo on vielä toistaiseksi kallis ja kehittymätön, koska suuremmat lamppuvalmistajat keskittyvät pelkästään loistelamppuihin, kuten energiansäästölamppuihin, niiden suuremman kysynnän vuoksi.

Kuten muillakin lamputyypeillä, myös LED:eillä on halpoja kopioita, joissa on puutteelliset komponentit tai ne ovat muuten heikompilaatuisia. Tämä tarkoittaa sitä, että aitoja ja laadukkaampia tuotteita ei voida valmistaa tai tuoda maahan. Huonompien tuotteiden luvataan olevan suorituskyvyltään ja käyttöiältään vastaavia kuin parempilaatuiset, joten jälkimmäiset eivät erotu markkinoilla edukseen hintansa vuoksi. Nämä halvemmalla tehdyt LED-lamput hidastavat hyvin tehtyjen lamppujen kehitystä ja vähentävät kysyntää merkittävästi.

6.1 Lämmitystehottomuus

Haittana hehkulampun korvaajana LED-valolla on lämmitystehottomuus. Hehkulampussa sen ottamasta sähkötehosta vain noin viisi prosenttia käytetään valaisuun ja loput muuttuvat lämpöhäviöiksi. Tämä riippuu myös vähän lampun tehosta. Myös halogeenilamput lämpiävät pinnastaan jopa 160 asteen kuumuuteen.



Kuva 21: LED-lampun ja halogeenilampun lämpötilat.

Perinteisen omakotitalon valaistuksen polttimon tuottama lämpöteho on 80 prosentin luokkaa. Yleisesti ajatellaan, että kun olet jossain tilassa niin sinulla on valot päällä. Valot siis lämmittävät sinua juuri siellä missä olet. Tämäkin on omalla tavallaan sähkölämmitystä, ja jos lämmitys toimii suoralla sähkölämmityksellä, sähköpattereilla tai muilla vastuksilla on se yhdentekevää onko tilassa hehkulamput vai ei. Tämä toteutuu tietysti vain talvella. Kesällä hehkulampun lämmitysteho vain häiritsee.

LED-putken pintalämpötila pysyy viiden tunnin palamisen jälkeen alle 29 asteen, kun loisteputkella se nousee jopa 10 astetta suuremmaksi. Päätyosien lämpötila loisteputkella voi nousta jopa 60 asteeseen, kun taas LED-putken pää pysyy 32 asteessa (Elcool Oy. 2011).

6.2 Isot tehot

Vanhemmissa kiinteistöissä täytyy ottaa huomioon erilaiset jännitepiikit, jotka helposti voivat rikkoa LED-valon. Jos LED-valo on niin sanottu halpakaupan tuote, ei siihen ole integroitu sisälle hakkuria, joka suodattaisi erikokoiset jännitepiikit syöttöjännitteestä.

LED-piiri on todella herkkä, joten olisi sousiteltavaa, että valaisin olisi tarkoitettu myös LED-teknologialle. Parhaimman mahdollisen hyötysuhteen LED-valo saa, kun siihen lisätään ohjauselektronikka, esimerkiksi hakkurityyppisen vakiovirtalähde.

Suuri virta lyhentää LED-polttimon ikää kuluttamalla puolijohdemateriaaleja, jolloin

niiden ominaisuudet huononevat. Liian suuret virrat taas polttavat LED-polttimon käyttökelvottomaksi.

6.3 Valon spektri

LED-valolle on ominaista myös halvalla ja suunnittelematta tehdyt heijastimet ja muut valonohjaimet. Jos LED:in heijastimen suunnitteluun ei ole käytetty resursseja niin valo on herkästi todella pistemäistä. Mitä lähemmäksi heijastinta LED-valonlähteen tuo, sitä kapeamman valokeilan se tuottaa. LED-spottivaloissa on useasti tyyppivikana pistemäinen valo.

Monen LED-polttimon spektri on surkea, samoin valoteho. LED-valaistus ei siten vielä ole täysin yleispätevä hehkulampun korvaaja sisätilavalauksessa juuri näiden puutteiden vuoksi.

6.4 Hinta

Hinta on LED-lampussa toistaiseksi vielä kallis, koska suurimmat lamppuvalmistajat keskittyvät täysin enemmän kysyntää tarjoaviin loistevaloihin, kuten esimerkiksi energiansäästölamppuihin. Myös lampun diodien rajapintojen materiaalien ja niiden suhteiden valmistus vaatii testauksen ja mittauksen jokaiselle LED:ille, mikä lisää myös kustannuksia.

6.5 Lämpötilariippuvuus

LED-valo ei tuota, eli säteile, lämpöä juuri lainkaan. LED:in sisällä kuitenkin lämpöä syntyy, joten LED:in säteilevä lämpö jää LED:in sisälle. Tästä syystä LED:in säteilevän kohdan tarvitsee olla tarpeeksi viileä, jotta valo toimisi oikein ja oikealla kirkkaudella. Tähän on markkinoilla olemassa kaksi eri vaihtoehtoa. Toinen on sellainen, jossa lämpö johdetaan LED-sirun pinnalta erilliseen lämpösieluun. Toinen olemassa oleva vähän

vähemmän käytetty, sekä kalliimpi on nestejäähdytetty LED-lamppu. Nestejäähdytetyssä LED-lampussa on sisällä piiriä jäähdyttävä mineraaliöljyä, joka on turvallinen ympäristölle ja ihmisille (Eternaleds.com. 2011).



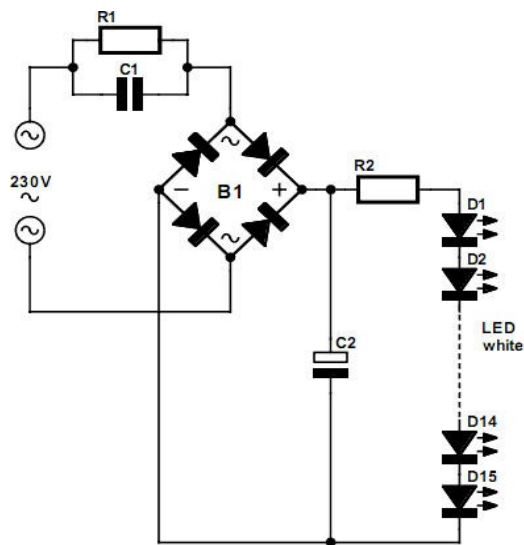
*Kuva 22: Himmennettävä
ja nestejäähdytetty
mikropiiri eternaleds:ltä
(Eternaleds.com. 2011).*

LED-valon käyttöikä ja suorituskykyyn vaikuttaa oleellisesti ympäristön lämpötila. LED-valoa valittaessa onkin hyvä katsoa mainitaanko tuoteselosteessa ne olosuhteet, joissa kestoikä, valoteho ja valonalenema on mitattu. Mitä kuumemmassa ympäristössä LED-polttimea käytetään, sitä huonommiksi käyttöikä ja muut ominaisuudet muuttuvat.

Mitä tarkemmat tulokset valon laadulle, määrälle ja eliniälle voidaan luvata, sitä suurempi merkitys on lämmön johtamisella komponentista valaisimen runkoon ja lopulta siitä pois. Tämä takaa LED-valon käytön turvallisuuden ja pitkäikäisyyden.

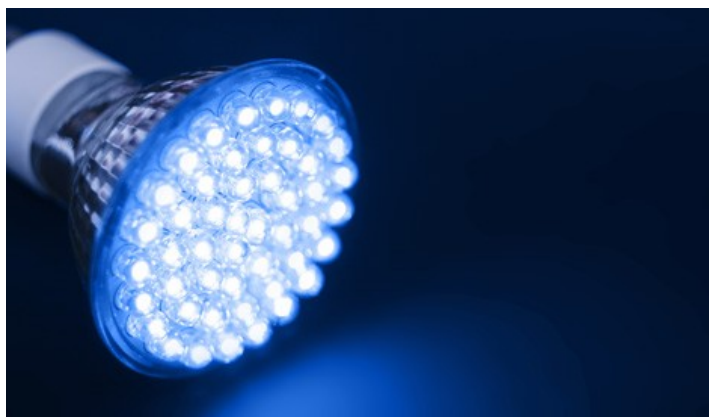
7 SÄHKÖVERKKO

LED-valo on kuten mikä tahansa muukin tasavirralla toimiva laite, kuten esimerkiksi tietokone. Jos LED-polttime toimii 230 voltin vaihtojänniteverkossa on siinä sisällä muuntaja muuttamaan jännitteen tarvittavaan suuruuteen. Tämän jälkeen piirissä on tasasuuntaaja, joka suuntaa siniaallon negatiiviset puolijaksot positiivisiksi, jolloin LED:lle ei mene negatiivista jännitettä.



Kuva 23: 230 VAC LED-polttimon sijaiskytkentäkuva (Revolution Deluxe Blogger Template. 2011).

LED-valaisimen vaihtoa perinteisen valonlähteen tilalle kannattaa miettiä tarkemmin, jos valaisin käyttää elektronista muuntajaa. Elektroninen muuntaja ja LED-polttimo eivät välttämättä sovi yhteen, koska muuntajilla on yleisesti minimi valaisinkuorma, jota pienemmällä tehomäärällä kuormittaessa valossa esiintyy vikoja. Tuloksena on joko täysin pimeä valo, väärä jännite tai valo alkaa vilkkumaan. Esimerkiksi halogeenipolttimoita vaihdettaessa LED-polttimoihin on otettava huomioon se, että kolmen watin LED-polttimoita tarvitaan 14 kappaletta muuntajaan, jossa minimikuorma on 40 wattia. Tämä toimii kyllä kahdella tai kolmella halogeenivalaisimella, koska yksi halogeeni voi olla noin 20 wattia teholtaan.



Kuva 24: 230 VAC sähköverkossa toimiva LED-polttimo

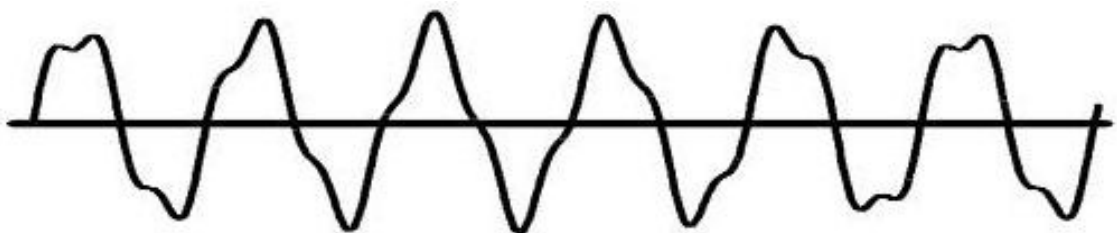
LED-polttimot hakevat vielä jalansijaa maailman valaistusmarkkinoilta, joten niihin kehitellään kaikenlaisia elektroniikkaratkaisuja. Osa ratkaisuista ei toimi aina suurtaajuisten noin 20 kHz:n vaihtovirran kanssa, jota elektroniset muuntajat antavat ulostulossa. Myös LED-polttimon ottama virta saattaa olla epälineaarista. Tätä eivät erilaatuiset muuntajatkaan pysty kunnolla vastaanottamaan, koska se poikkeaa huomattavasti normaalin polttimon kuormituksesta.

7.1 Yliaallot

Yhä useampi sähkölaite on suunniteltu toimimaan sinimuotoisella jännitteellä ja ne vaativat lähes virheetöntä jännitettä toimiakseen kunnolla. Sähkölaitteiden määrän kasvaessa sähkönkäyttö on kasvanut merkittävästi, minkä vuoksi häiriöt sähköverkossa ovat yleistyneet huomattavasti.

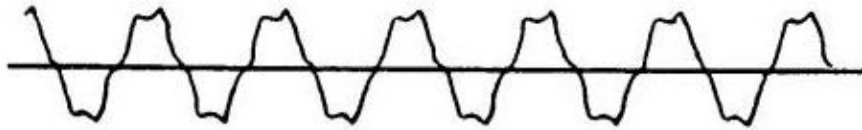
Yliaallot heikentävät Suomen sähköverkkoa huomattavasti. Yliaallon lähde syöttää verkkoon virtayliaaltoja, joista syntyy jännitehäviöitä. Nämä yliaallot jännitteen siniaaltoon lisättynä aiheuttavat jännitteen käyrämuodon säröitymisen. Virran särö on useasti jännitteen säröä suurempi, koska verkon impedanssi on yleensä pieni.

Puolijohdetekniikalla tehtyjen suuntaajakäyttöjen kuten tasasuuntaussiltojen käytöt ovat kasvaneet viime aikoina paljon. Tämä on tapahtunut, koska niissä ei ole kuluvia osia, hyösuhte on todella korkea ja säätö tarkkaa. Suuntaajasovelluksia ovat muun muassa tietokoneet, televisiot, LED-polttimot ja himmentimet, eli oikeastaan kaikki elektroniikka, joka toimii tasasähköllä. Suuntauslaitteissa haittana on niiden aiheuttamat yliaallot sähköverkkoon, koska niiden sähköverkkoon takaisin tuleva virta poikkeaa sinimuotoisesta käyrämuodosta (Korpinen, L. 2010).



Kuva 25: Epäharmonisen yliaallon vuoksi säröytynyt jännite (Korpinen, L. 2010).

Yliaaltojännitettä syntyy yleensä silloin, kun sähköverkkoon on kytketty ylikuormitettuja muuntajia, epäsymmetrisiä kuormituksia, hakkuriteholähteitä, tasasuuntaajia, taajuusmuuttajia, tyristorikäyttöjä ja purkauslamppuja. Viime vuosina yliaaltojen määrä on kasvanut moninkertaisesti tietokoneiden ja loistelamppujen yleistyessä. Yliaallot saavat verkossa aikaan häviöitä, muuntajien ylikuormitusta, mittarivirheitä, suojauslaitteiden virhetoimintoja ja nollajohtimien ylikuormitusta.



Kuva 26: Harmonisen yliaallon vuoksi säröytynyt jännite (Korpinen, L. 2010).

LED-valokuorman ottama virta on epälineaarista ja täten tehomitoitusten kannalta todella hankala mitoittaa. LED-piirin käynnistyssysäytykset ovat suhteellisen suuret nimellisvirtaan nähden. LED-teknologia asettaa suuret ja hankalat laatuvaatimukset sähköverkolle (Korpinen, L. 2010).

LED-piiri toimii tasasähköllä, joka saadaan yleensä sisäisestä hakkuriteholähteestä ja se suunnataan tasasuuntaajalla tasasähköksi yhdestä vaiheesta. Tämän tasasuuntaajan vuoksi sisäänmenevän virran aaltomuoto poikkeaa normaalista ideaalisesta sinimuodosta.

8. YHTEENVETO

Työssä kerrotaan vain LED-valaistuksesta rakentamisessa, kuten sisä-, ulko-, turva-, työ- ja kohdevalaistuksista. LED-tekniikkaa käytetään myös esimerkiksi sensoreissa, LED-seinissä ja merkkivaloissa. Nämä eivät kuuluneet työn aihepiiriin, koska ne olisivat laajentaneet opinnäytetyön liian suureksi kokonaisuudeksi.

Tämän työn tarkoituksena oli tuoda suunnittelijoille esiin erilaisia tosiasioita LED:eistä niiden ominaisuuksien pohjalta sekä niiden aiheuttamien kustannusten esilletuominen. Sähkösuunnittelun ehdot muuttuvat yhä enemmän siihen suuntaan, että sekä energia-että kustannustehokkuutta painotetaan entistä enemmän.

Työn tavoitteena oli tuoda esille LED-valojen ominaisuuksia, joita on koottu monesta eri lähteestä. Työ on luotettava tietolähde, koska tiedoiltaan yhdenmukaisia lähteitä löytyi runsaasti. Työ onnistui hyvin ja alkoi kiinnostamaan sitä enemmän, mitä pidemmälle asioita tutkittiin.

Suurimmat kehitysmahdollisuudet LED-valoissa on niiden hinnan pieneneminen sekä suurimpien valmistajien keskittyminen LED-tekniikkaan ja sen kehittämiseen. Myös LED-valojen laatua pitäisi yhdenmukaistaa, että kuluttaja saisi varmatoimisen LED-valon niin halutessaan.

LÄHTEET

Wutel.net. Luettu 18.2.2011.

<http://www.wutel.net/led/FILE/led.jpg>.

Koninklijke Philips Electronics N.V. 2011. Mitä ovat LEDit? Luettu 10.3.2011.

http://www.lighting.philips.fi/lightcommunity/trends/led/what_are_leds.wpd.

Lumilab Oy. 2009. LED-teknologia. Luettu 6.2.2011.

<http://www.lumilab.fi/index.php/teknologia>.

Zhelude, N. 2007. The life and times of the LED - a 100-year history. Luettu 6.2.2011.

<http://www.nanophotonics.org.uk/niz/publications/zheludev-2007-ltl.pdf>.

Morris, N. 2006. LED there be light. Luettu 13.3.2011.

<http://www.electrooptics.com/features/junjul06/junjul06leds.html>.

Mills, M. 2008. The LED illumination revolution. Luettu 10.2.2011.

http://www.forbes.com/2008/02/27/incandescent-led-cfl-pf-guru_in_mm_0227energy_inl.html.

Stevenson, R. 2009. The LED's dark secret. Luettu 20.3.2011.

<http://spectrum.ieee.org/semiconductors/optoelectronics/the-leds-dark-secret>.

Society of robots. 2010. Luettu 12.3.2011.

http://www.societyofrobots.com/images/electronics_led_diagram.png.

How stuff works, Icl. 2011. Luettu 12.3.2011.

<http://static.howstuffworks.com/gif/led-diagram.jpg>.

Limic Oy. 2011. Tekniikkaosuus. Luettu 20.2.2011.

<http://www.limic.fi/html/led-tx.htm>.

Ledivalo.fi. 2011. Led-info. Luettu 22.3.2010.

<http://www.ledivalo.fi/>.

KITA, (Korea international trade association). 2011. Luettu 11.3.2010.

http://web.tradekorea.com/upload_file2/product/543/P00228543/cbe9caa6_b6788c9d_dbef_4a60_a2e0_3db0b633baf0.jpg

Fagerhult Oy. 2011. Valaistus. Luettu 20.3.2010.

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

Teknoware. 2011. Turvavalaistus. Luettu 20.3.2011.

<http://www.teknoware.fi/>.

Oy Neptolux Ab. 2005. Opaste- ja turvavalot. Luettu 28.3.2011.

<http://www.neptolux.fi/>.

Brainard, G, Lowden, A. 2008. Pick and mix your teaching styles. Luettu 1.4.2011.

<http://www.tes.co.uk/article.aspx?storycode=2142701>.

Finntology Oy. 2011. LED-energie työpistevalo. Luettu 26.3.2011.

<http://www.ledenergie.fi/fin/tuotteet/>.

Edutor Oy. 2011. Smartbar työpistevalo. Luettu 29.3.2011.

<http://www.led-valot.fi/led-tyopistevalaisin-smartbar3-3x15-396-p-1379.html>.

Aurinkosähkötalo Eurosolar Oy. 2008. Päivitetty 2011. Mikä on Led?. Luettu 4.1.2011.

<http://eurosolar.fi/led-valaisimet/>.

Sami Kindt Oy. 2011. Luettu 1.2.2011.

<http://www.valonetti.fi/index.php>.

Lemnis lightning, Inc. 2011. Luettu 2.2.2011.

<http://www.pharox-led.com/cms/>

C. Crane Company, Inc. 2011. Luettu 20.2.2011.

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

Tampereen sähkölaitos. 2011. Naistenlahden voimalaitoksen julkisivuvalaistus palkittiin. Luettu 1.3.2011.

<http://www.tampereensahkolaitos.fi/internet/Uutiset/2008/Naistenlahden+voimalaitokse n+julkisivuvalaistus+palkittiin.htm> .

Oy Airam Electric Ab. 2011. Luettu 20.2.2011.

<http://www.airam.fi/>

Valopaa Oy. 2011. Luettu 20.3.2011.

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

Sanoma News. 2011. Sähkön hintavertailu. Luettu 11.2.2011.

<http://hintaseuranta.fi/s%C3%A4hk%C3%B6/laskuri.aspx#810>

Oulun 1. 2010. LED-lamppu. Luettu 23.2.2011.

<http://oulun1.blogspot.com/2010/03/led-lamppu.html>

Yhdysvaltain ympäristösuojeluvirasto. 2011. Luettu 12.2.2011.

<http://www.epa.gov/aboutepa/index.html>

Wikipedia Foundation. 2011. Väritaulukko. Luettu 10.4.2011.

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Led>

Johnson, N. 2011. Pulse Width Modulation. Luettu 20.2.2011.

<http://sites.google.com/site/uvasux/pwmmodulator>

Limic Oy. 2011. Valojen syttymisnopeus ja valomäärät ajan suhteen. Luettu 18.3.2011.

<http://www.valokas.fi/>.

Eternaleds.com. 2011. Nestejäähdytetty LED. Luettu 7.3.2011.

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

Tetri, E. 2010. Mitä ledi on ja mitkä ovat sen haitat. Luettu 8.3.2011.
http://www.valosto.com/tiedostot/Kohti_valoa_Tetri.pdf

Revolution Deluxe Blogger Template. 2011. Mains powered white LED lamp. Luettu 17.2.2011.
<http://www.extremecircuits.net/2010/07/mains-powered-white-led-lamp.html>

Korpinen, L. 2010. Yliaalto-opus. Luettu 2.2.2011.
<http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/yliaalto-opus.pdf>

Elcool Oy. 2011. LED-valoputket. Luettu 4.4.2011.
<http://www.elcool.fi/>

United States Department of Energy. 2011. Luettu 2.3.2011.
<http://www.energy.gov/>

Euroopan Unioni. 2011. LED. Luettu 4.4.2011.
http://europa.eu/index_fi.htm

LIITTEET

Taulukko 8: E27-kanta valotehovertailu **lampun edestä** (Limic Oy. 2011).

	VALO- TEHO, W	SUORAAN EDESTÄ (0 astetta), luksia	150 cm	100 cm	50 cm	25 cm	Energiat eh. Lux / W
LED LAMPPU							
B-E27-C5*1W-M / Cree LED	5	26	55	217	829	11,0	
B-E27-5W-M (SMD)	5	16	35	122	504	7,0	
B1-E27-3W-M	3	17	34	121	478	11,3	
C-E27-C1x3W-M, kynttilä	3	3	7	25	95	2,3	
C-E27-C3x1W-M, kynttilä	3	6	13	43	157	4,3	
E27-10W LED, 50 astetta	10	451	987	3720	12550	98,7	
VERTAILULAMPUT (energiesäästö- ja hehkulamput)							
Sylvania (Philips) 7 W, energias.	7	11	22	74	244	3,1	
Northlight 9 W, energias.	9	19	40	138	468	4,4	
CoTech 36-1883 2P211 energias.	11	16	34	101	377	3,1	
Airalite (Airam) 11 W, energias.	11	15	34	106	365	3,1	
Sylvania (Philips) 11 W, energias.	11	26	58	202	702	5,3	
Osram 20 W, energias.	20	31	67	198	691	3,4	
OSRAM 25 W, hehkulamppu	25	16	31	107	429	1,2	
OSRAM 40 W, hehkulamppu	40	24	50	172	623	1,3	
IKEA 60 W Hehkulamppu	60	57	117	402	1382	2,0	
OSRAM 75 W, hehkulamppu	75	55	115	398	1330	1,5	

Taulukko 9: E27 kanta valovoimakkuusvertailu 45 asteen kulmassa (Limic Oy. 2011).

	VALO- TEHO, W	ETUVIISTOST A (45 astetta), luksia	150 cm	100 cm	50 cm	25 cm	Energiateh. Lux / W
LED LAMPPU							
B-E27-C5*1W-M / Cree LED	5	21	47	182	680	9,4	
B-E27-5W-M (SMD)	5	14	31	107	463	6,2	
B1-E27-3W-M	3	13	26	96	418	8,7	
C-E27-C1x3W-M, kynttilä	3	5	11	41	153	3,7	
C-E27-C3x1W-M, kynttilä	3	5	20	75	304	6,7	
E27-10W LED, 50 astetta	10	16	38	81	298	3,8	
VERTAILULAMPUT (energiasäästö- ja hehkulamput)							
Sylvania (Philips) 7 W, energias.	7	17	34	111	403	4,9	
Northlight 9 W, energias.	9	22	47	154	542	5,2	
CoTech 36-1883 2P211, energias.	11	28	52	178	610	4,7	
Airalite (Airam) 11 W, energias.	11	27	53	180	660	4,8	
Sylvania (Philips) 11 W, energias.	11	37	81	290	949	7,4	
Osram 20 W, energias.	20	53	112	393	1201	5,6	
OSRAM 25 W, hehkulamppu	25	16	31	105	425	1,2	
OSRAM 40 W, hehkulamppu	40	26	55	175	591	1,4	
IKEA 60 W Hehkulamppu	60	52	114	391	1353	1,9	
OSRAM 75 W, hehkulamppu	75	58	121	441	1487	1,6	

Taulukko 10: E27kanta, 90 ast kulma, (Limic Oy. 2011).

VALO-	SUORAAN SIVULTA (90 astetta), luksia					Energiat eh.
LED LAMPPU	TEHO, W	150 cm	100 cm	50 cm	25 cm	Lux / W
B-E27-C5*1W-M / CREE	5	14	30	104	365	6,0
B-E27-5W-M (SMD)	5	9	19	63	240	3,8
B1-E27-3W-M	3	9	18	59	220	6,0
C-E27-C1x3W-M, kynttilä	3	5	11	37	130	3,7
C-E27-C3x1W-M, kynttilä	3	5	18	69	284	6,0
E27-10W LED, 50 astetta	10	7	20	44	93	2,0
VERTAILULAMPUT (energiasäästö- ja hehkulamput)						
Sylvania (Philips) 7 W, energias.	7	19	38	161	492	5,4
Northlight 9 W, energias.	9	23	44	152	531	4,9
CoTech 36-1883 2P211, energias.	11	33	63	225	777	5,7
Airalite (Airam) 11 W, energias.	11	31	70	245	912	6,4
Sylvania (Philips) 11 W, energias.	11	35	75	283	976	6,8
Osram 20 W, energias.	20	64	132	512	1657	6,6
OSRAM 25 W, hehkulamppu	25	18	30	91	365	1,2
OSRAM 40 W, hehkulamppu	40	27	55	184	603	1,4
IKEA 60 W Hehkulamppu	60	43	90	310	912	1,5
OSRAM 75 W, hehkulamppu	75	60	124	484	1524	1,7