



TEKNIikka JA LIIKENNE

Tuotantotalous

Kansainvälinen ICT-liiketoiminta

OPINNÄYTETYÖ

HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN MUODOSTUMINEN VALAISTUSPROSESSISSA

**Työn tekijä: Pauliina Oksanen
Työn ohjaaja: Julle Oksanen
Työn ohjaaja: Tapio Kallasjoki**

Työ hyväksytty: __. __. 2009

**Tapio Kallasjoki
lehtori**



ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Julle Oksanen Lighting Design Oy:lle. Haluan kiittää projektiin arvokkaita tietoja ja asiantuntevuuttaan antaneita valaistusalan ammattilaisia Julle Oksanta, Marko Martikaista, Paula Fagerroosia ja Peter Björkmania.

Helsingissä 27.4.2009

Pauliina Oksanen

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Pauliina Oksanen	
Työn nimi: Hiilidioksidipäästöjen muodostuminen valaistusprosessissa	
Päivämäärä: 27.4.2009	Sivumäärä: 30 s. + 1 liite
Koulutusohjelma: Tuotantotalous	Ammatillinen suuntautuminen: Kansainvälinen ICT-liiketoiminta
Työn ohjaaja: DI Lehtori Tapio Kallasjoki	
Työn ohjaaja: Prof. Julle Oksanen, Julle Oksanen Lighting Design Oy	
<p>Tässä insinöörityössä tutkittiin ja vertailtiin kotivalaistuksessa käytettävien eri lampputyyp- pien hiilijalanjälkiä toisiinsa. Työ sisältää case-tutkimuksen, joka on osa University of Ten- nessee USA:n projektia UT Zero Energy House. Työ on tehty Julle Oksanen Lighting De- sign Oy:n tilauksesta.</p> <p>Työ aloitettiin perehtymällä hehku-, halogeeni-, loiste-, ja LED-lamppujen elinkaariin ja niiden hiilijalanjälkien muodostumiseen. Työ toteutettiin desk research -tutkimusmene- telmällä, jonka tuotoksia sovellettiin case-tutkimukseen. Tutkimustulosten perusteella mie- tittiin uuden voimaan astuneen EuP-direktiivin järkevyyttä. Direktiivi tulee poistamaan energiatehottomimmat lamput markkinoilta.</p> <p>Case-tutkimuksessa UT Zero Energy House -projektiin laadittiin kaksi erillistä valaistus- suunnitelmaa käyttäen valaistussuunnitteluohjelmaa nimeltä Dialux. Toisessa suunnitel- massa käytettiin yleisesti kodin sisävalaistuksessa käytettyjä energiatehottomampia heh- ku-, halogeeni- ja kylmäsädehalogeenilamppuja ja toisessa energiaa vähemmän käyttäviä LED-valonlähteitä. Molemmista valaistussuunnitelmista muodostettiin hiilijalanjäljet, joita vertailtiin toisiinsa.</p> <p>Case-tutkimuksen tulos oli, että korvaamalla hehkulamput ja halogeenilamput LED- lampuilla valaistuksen hiilijalanjälki pienenee puoleen. Lamppujen hiilijalanjälkien tutkimus tulos osoitti, että hehkulampun hiilijalanjälki on 82 % suurempi energiaa säästävemmän loistelampun hiilijalanjälkeen verrattuna ja 68 % suurempi LED-lamppuun verrattuna. Ver- tailussa lamppujen antamat valovirrat olivat suhteutettu samansuuruisiksi. Työn tulosten pohjalta ajateltuna EuP-direktiivi vaikuttaa järkevältä sen tuottamista kustannuksista ja vaivasta huolimatta.</p> <p>Työssä todettiin myös, että lampun hiilijalanjälki on pääosin sen käytössä kuluttaman energian tuotannosta aiheutuva hiilidioksidipäästö. Muut tekijät, kuten lampun tuotanto ja kierrätys ovat vain murto-osa lampun hiilijalanjäljestä.</p>	
Avainsanat: lamppu, valaistus, hiilidioksidipäästö, hiilijalanjälki	

Name: Pauliina Oksanen	
Title: Carbon Dioxide Emissions in Lighting Process	
Date: 27.4.2009	Number of pages: 30 s. + 1 appendix
Department: Industrial Management	Study Programme: Global ICT-business
Instructor: Tapio Kallasjoki, M.S., lecturer	
Supervisor: Julle Oksanen, Professor	
<p>This graduate study explores and compares Carbon Footprints of the lamps commonly used in indoor lighting. The study is part of a project made in the University of Tennessee, USA. The project is about designing a house called UT Zero Energy House whose purpose is to consume as little energy as possible. The study was commissioned by Julle Oksanen Lighting Design Oy.</p> <p>First, the life cycles of different lamps and their Carbon Footprints were examined. The Carbon Footprint of incandescent, halogen, fluorescent and LED-lamp were studied. The study was carried out as a desk research, after which the research material was applied to the case study in question. Based on the study results, the sensibility of the new effective EuP-directive was considered. The aim of the directive is to remove the most energy inefficient lamps from the market.</p> <p>The case study was made to the UT Zero Energy House. Two different kinds of lighting plans were designed to the house by using a lighting design program called Dialux. The one lighting plan was made by using an older and more energy consuming incandescent, halogen, and cool beam halogen lamps while the other was made by using more energy efficient LED-lamps. Carbon Footprints were calculated from both of the plans and compared to each others.</p> <p>The result of the study was that when using more energy effective LED-lamps at indoor lighting, the Carbon Footprint was two times smaller than when using more energy consuming halogen and incandescent lamps. An outcome from the Carbon Footprint studies of lamps was that Carbon Footprint of an incandescent lamp was five times bigger than the Carbon Footprint of a fluorescent lamp. And the Carbon Footprint of a LED-lamp was three times smaller than the Carbon Footprint of a incandescent lamp. Comparisons were made by using equal lumen packages.</p> <p>Results of the study also indicated that almost 100% of the Carbon Footprint of a lamp was formed while it was used. Other phases of the life cycle of a lamp had a minor role as to its Footprint. According to the results gained, the new EuP-directive seemed sensible.</p>	
Keywords: lamp, lighting, carbon dioxide emission, Carbon Footprint	

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TAUSTAA	2
3	VALAISTUKSEN VAIKUTUS HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖIHIN	4
4	TUTKITTAVAT LAMPUT: NELJÄ ERI LAMPPUTYYPPIÄ	4
4.1	Hehkulamppu	4
4.2	Halogeenilamppu	5
4.3	Loistelamppu	5
4.4	LED-lamppu	7
5	HIILIJALANJÄLKI	8
5.1	Puuindeksi	9
5.2	Sähköhankinnan päästökerroin	9
6	HIILIJALANJÄLJEN JAKAUTUMINEN LAMPUN ELINKAAREN ERI VAIHEILLE	9
7	CO₂-PÄÄSTÖJEN VERTAILU	12
8	CASE: SISÄVALAISTUSESIMERKKI UT ZERO ENERGY HOUSE	17
8.1	Taustaa	17
8.2	Valaistussuunnitelmien vertailu	18
8.2.1	<i>Yleinen valaistussuunnitelma</i>	20
8.2.2	<i>Energiaa säästävä valaistussuunnitelma</i>	22
8.2.3	<i>Vertailu</i>	24
9	ANALYSOINTI	28
10	YHTEENVETO	30

VIITTELUETTELO

LIITTEET

Liite 1. UT Zero Energy House Strategies

LYHENTEITÄ JA MÄÄRITELMIÄ

lm Valovirran yksikkö lumen.

LOR Light Output Ratio, valaisimen hyötysuhde (alla).

Valaisimen hyötysuhde

Valaisimesta saadun valovirran suhde siinä olevien lamppujen valovirtaan.

Valotehokkuus Valovirran ja sen tuottamiseen kuluneen sähkötehon suhde [lm/W].

1 JOHDANTO

Ihmisen aiheuttama ilmaston lämpeneminen on ajankohtainen aihe. Jatkuvasti kehittyvään ja tehokkaampaan tähtäävään ihmisen toimintaan jokaisella eri teollisuuden ja talouden alalla vaikuttaa suuresti elinympäristöömme. Tähän on havahduttu.

Valaistus käytti sähköenergiaa noin 19 prosenttia maailmanlaajuisesta sähkönkulutuksesta vuonna 2005 (Härkönen 2008). Valaistuksen merkittävästä sähkönkulutuksesta johtuen valaistusala kohtaa mullistavia muutoksia, joihin on ryhdyttävä energiatehokkuutta koskevien direktiivien, standardien ja suositusten painostamana.

Euroopassa 18.3.2009 voimaan astuneen Eco Design -direktiivin mukaisesti hehkulamput tullaan poistamaan markkinoilta vuoteen 2012 mennessä ja ne korvataan vähemmän energiaa kuluttavilla valaistustuotteilla, kuten energiänsäästö- ja LED-lampuilla (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008).

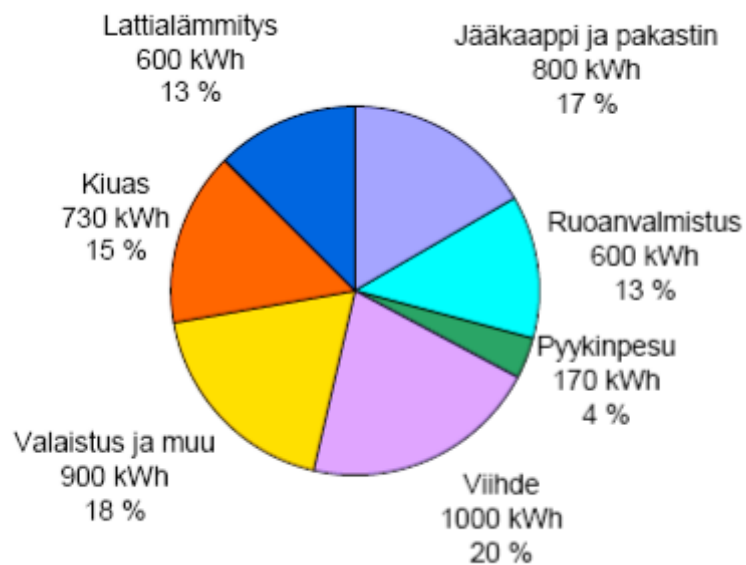
Tämän työn tarkoituksena on tarkastella sisävalaistuksessa yleisimmin käytettyjä tai siihen parhaiten sopivia hehku-, halogeeni-, loiste-, ja LED-lamppuja ja niiden aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä lampun elinkaaren eri vaiheissa.

Lamppujen käytön järkevyyttä pohditaan valaistuksessa, jossa tärkeitä tarkailun aiheita ovat lamppujen antama valovirta, lamppujen teho ja elinikä. Työssä tutkitaan lamppujen eri elinkaaren vaiheissa syntyviä hiilidioksidipäästöjä ja vertaillaan eri lampputyyppeiden hiilijalanjälkiä toisiinsa.

2 TAUSTAA

Merkittävin ihmisestä aiheutuva kasvihuonekaasu on hiilidioksidi, jonka osuus Suomen kasvihuonekaasupäästöistä on noin 80 %. Hiilidioksidin suuri aiheuttaja on fossiilisten polttoaineiden käyttö sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä liikenteessä. Maapallon ilmakehässä on tällä hetkellä korkeampi hiilidioksidin pitoisuus kuin koskaan noin 400 000 vuoden aikana.

Suomessa valaistus on eniten sähköenergiaa kuluttava tekninen laiteryhmä. Valaistuksen kuluttama osuus sähköenergian käytöstä kotitalouksissa vuonna 2006 oli 22 %. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008.) Alla oleva diagrammi kuvaa 96 m²:n rivitaloasunnon sähkön kulutusjakaumaa. Asunnossa on korkea varustelutaso ja siellä asuu kolme henkilöä. Asunnon lämmityksen oletetaan käyttävän muita lähteitä kuin sähköenergiaa. Lämmitysjärjestelmän kulutus on otettu huomioon lähinnä lämmitysverkostopumppujen kulutuksena. Sähkön kulutuksen jakaumat riippuvat muun muassa asunnon varustelutasosta, asuinhenkilöiden määrästä, laitteiden käyttötavasta ja pinta-alasta.

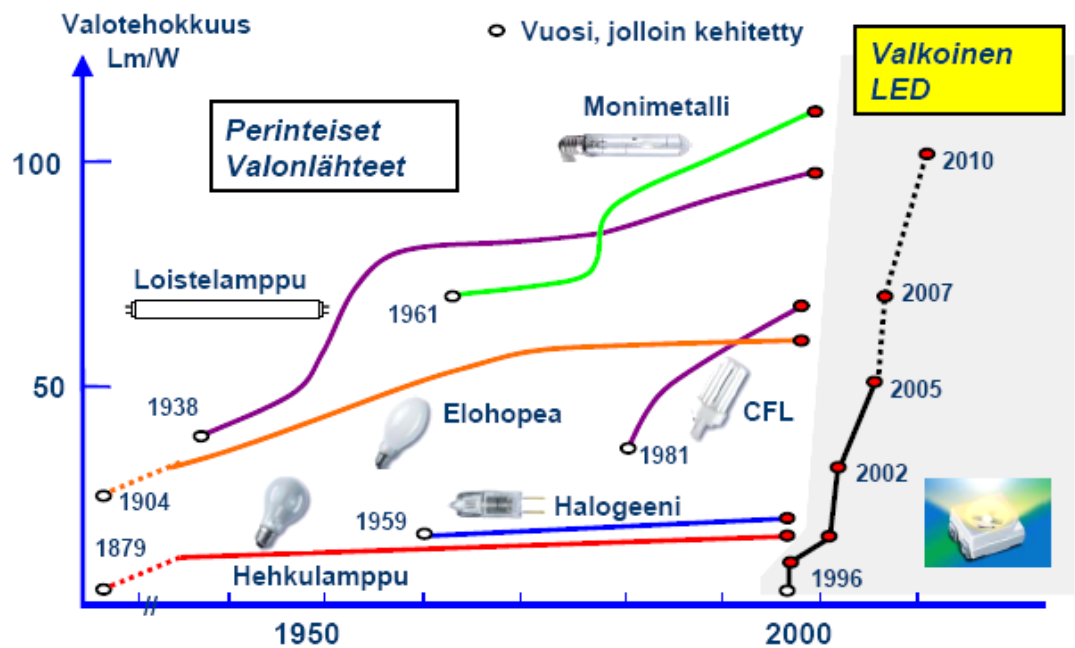


Kuva 1: Esimerkki sähkön kulutusjakaumasta eräässä kotitaloudessa (Adato 2006).

Suomessa ja muissa maapallon maissa käytetään paljon vanhanaikaisia, energiatehokkuudeltaan huonoja lamppeja, mistä johtuu valaistusalan suuri säästöpotentiali. Lamppejen kehitys on mennyt ja menee edelleen huimaa vauhtia eteenpäin. Vanhoja lamppeja korvataan vähitellen hyötysuhteeltaan parempiin ja energiatehokkaampiin lamppeihin. (Osram 2009.) Alla oleva

esitys (kuva 2) kuvaa lamppujen elinkaaria ja niiden valotehokkuuksien kehittymistä. Hehkulamppu ja halogeenilamppu ovat kehittyneet todella vähän valotehokkaammiksi verrattuna muihin lamppuihin, minkä takia ne ovat antaneet lähes aina saman verran valovirtaa/kWh. Muut lampputyypit perustuvat toiminnaltaan erilaisiin loisteaineisiin, kaasuihin ja niiden yhdistelmiin, joita kehittämällä ja muuttamalla saadaan lamppua valotehokkaammaksi. Hehkulampun ja halogeenilampun toiminta on aina perustunut ja perustuu edelleen hehkulankaan, eikä se anna tilaa suurille muutoksille ja sitä kautta lamppun kehittymiselle.

Esityksen oletuksena on, että vasta 1990-luvulla valaisimissa käytetty LED (Light-Emitting Diode) -lamppu jatkaisi eksponentiaalista kehitystään ja tulisi korvaamaan valontuoton suhteen kaikki vanhemmat lamput. Vanhemmat lamput poistuisivat tämän mukaan vähitellen kehityksen tieltä. LED-lampun kehittämiseen panostetaan tällä hetkellä erittäin voimakkaasti, jotta sitä saataisiin kehitettyä valotehokkaammaksi ja myös muilta valaistusominaisuuksiltaan paremmaksi lampuksi (katso luku 4.4).



Kuva 2: Valotehokkuuden kehitys eri lamppuilla (Osram 2007).

Markkinoilta uuden EuP-direktiivin mukaisesti poistettavat hehkulamput ovat valotehottomimpia muihin lamppuihin verrattuna. Hehkulamput ovat "korvattavissa" kolmella eri lamppuvaihtoehdolla:

- yksikantainen loistelamppu

- monimetallilamppu
- LED-lamppu.

Edellä mainitut lamput soveltuvat erinomaisesti erityisesti kotien sisävalaistukseen. Ulkovalaistuksen vaatimien valaistussuosituksen täyttämiseen LED ei ole vielä tarpeeksi kehittynyt valoteholtaan tai häikäisyominaisuuksiltaan. Nähtäväksi jää, tuleeko LED lähitulevaisuudessa mullistamaan valaistusalan, niin sisä- kuin ulkovalaistuksessa, kuten monet alan ammattilaiset uskovat.

3 VALAISTUKSEN VAIKUTUS HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖIHIN

Vuonna 2005 valaistuksen käyttämä sähköenergia oli maailmanlaajuisesti 2 650 TWh, ja hiilidioksidipäästöjä valaistuksesta syntyi 1900 Mton (Härkönen 2008). Valaistuksen vaikutus kasvihuonepäästöihin on kieltämättä suuri. Tämän tosiasian takia on ryhdytty toimiin, jotta energiatehokkaammat lamput ja valaisimet saataisiin käyttöön mahdollisimman nopeasti, ja vanhat energiaa paljon kuluttavat ja valotehokkuudeltaan huonot valonlähteet saataisiin poistettua käytöstä ja lopulta markkinoilta kokonaan. Tämä toiminta on osa prosessia, jossa Suomi on sitoutunut pienentämään energiankulutustaan 20 % vuoteen 2020 mennessä.

4 TUTKITTAVAT LAMPUT: NELJÄ ERI LAMPPUTYYPPIÄ

4.1 Hehkulamppu

Hehkulamppu (kuva 4) on yleisin valonlähde kotitalouksien sisävalaistuksissa. Valo muodostuu kahden johtimen välisessä kierteisessä metallisessa hehkulangassa, joka on tavallisimmin valmistettu volframista (W). Valo saadaan aikaan johtamalla sähkövirtaa hehkulankaa pitkin, joka tämän seurauksena kuumenee ja alkaa hehkua. Kuumeneminen saa aikaan metalliatomien lämpöliikkeen jolloin atomit virittäytyvät korkeampaan energiatilaan. Kun atomin viritystila purkautuu, syntyy valokvantti. Atomien virittyminen ja sen purkautuminen on mahdollista volframin runsaan elektronimäärän ansiosta. Viritystila syntyy, kun elektroni siirtyy lämpöliikkeen ansiosta uuteen energiatilaan. Energiatilojen purkautuessa alempiin energiatiloihin, vapautuu erisuuruisia valokvantteja. Valokvantin suuruus määrää valon värin. Erisuu-

ruisten valokvanttien sekoittuessa toisiinsa, syntynyt valo lähentelee valkoista valoa.

Hehkulampun elinikä on lyhyt, keskimäärin 1000 tuntia (Osram 2007) ja valotehokkuus luokkaa 12 lm/W (Massinen 2008).



Kuva 3: Hehkulamppu.

4.2 Halogeenilamppu

Halogeenilamppu (kuva 3) on hyvin samankaltainen hehkulampun kanssa. Sen toiminta perustuu hehkulankaan, joka on argonin, kryptonin tai halogeeniyhdisteen seoksessa (katso luku 4.2). Polttoikä on lyhyt, mutta kuitenkin pitempi kuin hehkulampuilla, 1000–3000 tuntia. Halogeenilamppu on geometrisiltaan sirompi kuin tehokas hehkulamppu. Halogeenilamppujen valotehokkuus on 15–24 lm/W. Yleisimmin halogeenilampun valo tuotetaan keilamaiseksi, ja tämän takia ne ovat yleisesti käytetty lamppuja kohdevalaisimissa. (Osram 2007.)



Kuva 4: Halogeenilamppu.

4.3 Loistelamppu

Loistelamput voidaan jakaa kahteen pääryhmään: yksikantaloistelamput ja kaksikantaloistelamput. Molempien lamppujen valontuotto perustuu samaan periaatteeseen, ainoastaan niiden fyysiset rakenteet poikkeavat toisistaan.

Loistelampun valontuotto perustuu kaasupurkaukseen, joka tapahtuu elohopeahöyryssä. Kaasupurkaus tuottaa lyhytaaltoista UV-säteilyä, joka muuttuu loistelampun sisäpinnalla olevan loisteaineen ansiosta näkyväksi valoksi.

Lamppuja voidaan käyttää sekä sisä- että ulkokohteissa. Loistelamppujen värisävyvalikoima on laaja. Lamppu on käytössä energiatehokas ja pitkäikäinen, minkä takia sen käyttäminen on vaivatonta. Hehkulamppujen tilalle kierrettäviä pienoisloistelamppuja, joissa on sisäänrakennetut liitäntälaitteet, kutsutaan yleisesti energiansäästölamppuiksi.

Työssä keskitytään yksikantaan loistelamppuun (kuva 5), sillä se on yleisempi sisävalaistuksessa käytetty lamppu. Näitä myös pienloistelamppuiksi kutsuttuja lamppuja on sekä pistokannalla että kierrekantaisena, joista pistokantainen on hieman valotehokkaampi. Kierrekantaiset energiansäästölamput sopivat korvaamaan hehkulamppuja, mikäli ne vain mahtuvat valaisimeen. (Osram 2007.)



Kuva 5: Yksikantaloistelamppu kierrekannalla.

Hehkulampun tilalle pistettävä yksikantainen loistelamppu tarvitsee huomattavasti pienemmän tehon kuin vastaavan valovirran tuottama hehkulamppu. Loistelampun valotehokkuus on moninkertainen hehkulamppuun verrattuna (taulukko alla).

Taulukko 1. Hehkulamppuja valovirraltaan vastaavien yksikantaisten kierrekantaloistelamppujen tehot (lähde Osram 2007 2008 mukailen).

Vakio hehkulamppu		Hehkulamppua valovirralta vastaava yksikantainen kierrekantaloistelamppu	
Valovirta	Järjestelmän teho	Valovirta	Järjestelmän teho
935 lm	70 W	815 lm	16 W
1340 lm	100 W	1380	23 W

Kierrätys

Osramin (2007) mukaan loistelamput voidaan kierrättää 93-prosenttisesti. Loistelamput sisältävät myrkyllistä elohopeaa, joka hankaloittaa sen hävittämistä. Loistelampun elohopea erotellaan ja puhdas lasi voidaan saattaa uusiokäyttöön. Euroopan alueella WEEE:n (Waste Electrical and Electronic Equipment) ansiosta kotitaloudet ja muut pienkuluttajat ovat oikeutettuja

kierrättämään lamput ilmaiseksi millä tahansa yhteisön ongelmajätteiden kierrätyspisteissä.

4.4 LED-lamppu

LED tulee sanoista Light Emitting Diode. Suomeksi hohtodiodi on tietotekniikan tavoin eksponentiaalisesti kehittynyt lampputyyppejä, jonka tuotekehitykseltä odotetaan paljon tulevaisuudessa. LED on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sähkövirtaa johdetaan sen läpi. LED valmistetaan erilaisista seostetuista puolijohdevalmisteista. Valon väri määräytyy saostaineiden perusteella. Valtaosa valkoisista LEDeistä pohjautuu siniseen LEDiin, joka on päällystetty keltaisella loisteaineella.

LED on pitkäikäinen, erittäin pienikokoinen, vähän energiaa kuluttava ja mekaanisesti kestävä. LED lampun elinikä riippuu siitä, millaisesta LED-lampusta on kyse. Se voi kestää jopa 100 000 h (Sarmalux 2009). Sen pieni koko ja hyvä suuntaavuus ovat sisustuksellisesti houkuttelevia ominaisuuksia. Se ei kuitenkaan ole valoteholtaan riittävän suuri, jotta sitä voitaisiin huolta käyttää esimerkiksi ulkovalaistuksessa, mutta sisävalaistukseen LED on erinomainen.

LEDin huonoja puolia on sen heikomman valotehon lisäksi epätasainen spektrikäyrä (vääristää värejä), lampun hintavuus loppukäyttäjälle sekä sietämättömyys korkeille lämpötiloille ja kosteuspitoisuuksille (Reinikainen 2006). LED-lampun sietokyky kuumuudelle ei vielä ole hyvä, ja siksi sitä ei suositella käytettäväksi korkeisiin lämpötiloihin.

Asiantuntijat uskovat LED-lampun nopean kehityksen jatkuvan, ja sen uskotaan olevan tulevaisuudessa yleisimmin käytetty lampputyyppejä (Osram 2007).



Kuva 6: E27-kantainen LED-lamppu.

5 HIILIJALANJÄLKI

Energian tuottamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästömäärät riippuvat käytetystä energialähteestä. Fossiiliset uusiutumattomat polttoaineet saastuttavat moninkertaisesti enemmän kuin uusiutuvien luonnonvarojen käyttö energiantuotannon lähteenä. Tästä johtuvat suuret eroavaisuudet eri maiden ja voimalaitosten hiilidioksidipäästöjen määrissä. Suomessa hiilidioksidipäästöt ovat melko pienet verrattuna Euroopan keskimääräiseen päästökertoimeen, joka on 900 g CO₂/kWh. (EPIA 2008: 52.) Suomessa sähkönhankinnan päästökerroin on 200 g CO₂/kWh johtuen fossiilisten energialähteiden vähäisemmästä käytöstä ja panostuksesta uusiutuvien energialähteiden kehitykseen ja käyttöön (Suomen luonnonsuojeluliitto 2008: 5). Tuotantolaitoksen päästökerroin lasketaan alla olevaa kaavaa käyttämällä.

Kaava 1. Tuotantolaitoksen CO₂-päästön laskukaava (lähde Energiateollisuus 2005 mukailen)

$$\text{CO}_2 \text{ päästö / vuosi} = \text{Käytetyn polttoaineen energiasisältö [TJ] / vuosi} \cdot \text{päästökerroin [tCO}_2 \text{ / TJ]} \cdot \text{hapettumiskerroin}$$

$$\text{CO}_2 \text{ päästö / kWh} = \text{Vuospäästö CO}_2 \text{ / Tuotettu sähkömäärä vuodessa} = \text{g / kWh}$$

CO₂ päästö jaetaan sähkölle ja lämmölle yhteistuotantolaitoksessa suhdemenetelmän avulla.

Taulukko 2. CO₂-päästökertoimet eri energialähteille (lähde Energiateollisuus 2004 mukailen).

	Päästökerroin g CO ₂ /MJ = t CO ₂ /TJ	Hapettumiskerroin	Ref.	kg C/GJ	Tehollinen lämpöarvo		Huom.
Kivihiili	94.6	0.99	2,3	25.8	25.5	GJ/t	
Koksi	108	0.99	2,3	29.5	29.3	GJ/t	
Antrasiitti	94.6	0.99	1,3	25.8	33.5	GJ/t	
Maakaasu	55.04	0.995	2,3	15.3	36	GJ/1000m ³	
Nestekaasu	65.0	0.995	2,3				
Koksikaasu	106	0.995	1,3				
Kevyt polttoöljy (POK)	74.1	0.995	2,3	20.2	42.4	GJ/t	
Raskas polttoöljy (POR)	78.8	0.995	2,3	21.1	40.7	GJ/t	40.5–41.1 GJ/t
Turve	105.9	0.99	2,3	28.9	10.1–12.3	GJ/1000m ³	
Jätepolttoaineet	31.8	0.99	2,3				

Taulukon 2 (yllä) mukaan koksi, turve ja kivihiili aiheuttavat eniten hiilidioksidipäästöjä muihin lähteisiin verrattuna. Ydinenergian käytöstä ei aiheudu lainkaan hiilidioksidipäästöjä, mutta siitä aiheutuneen myrkyllisen ydinjätteen muodostuminen kyseenalaistaa ydinenergian käytön kannattavuuden.

5.1 Puuindeksi

Jotta hiilidioksidipäästöjen suuruutta voidaan havainnollistaa, on työssä käytetty niin kutsuttua puuindeksiä. Puuindeksi kertoo, kuinka monta puuta tarvitaan kyseessä olevan hiilidioksidipäästön poistamiseen ilmakehästä vuodessa. Yksi puu absorboi hiilidioksidia 20 kg vuodessa. (Osram 2009.)

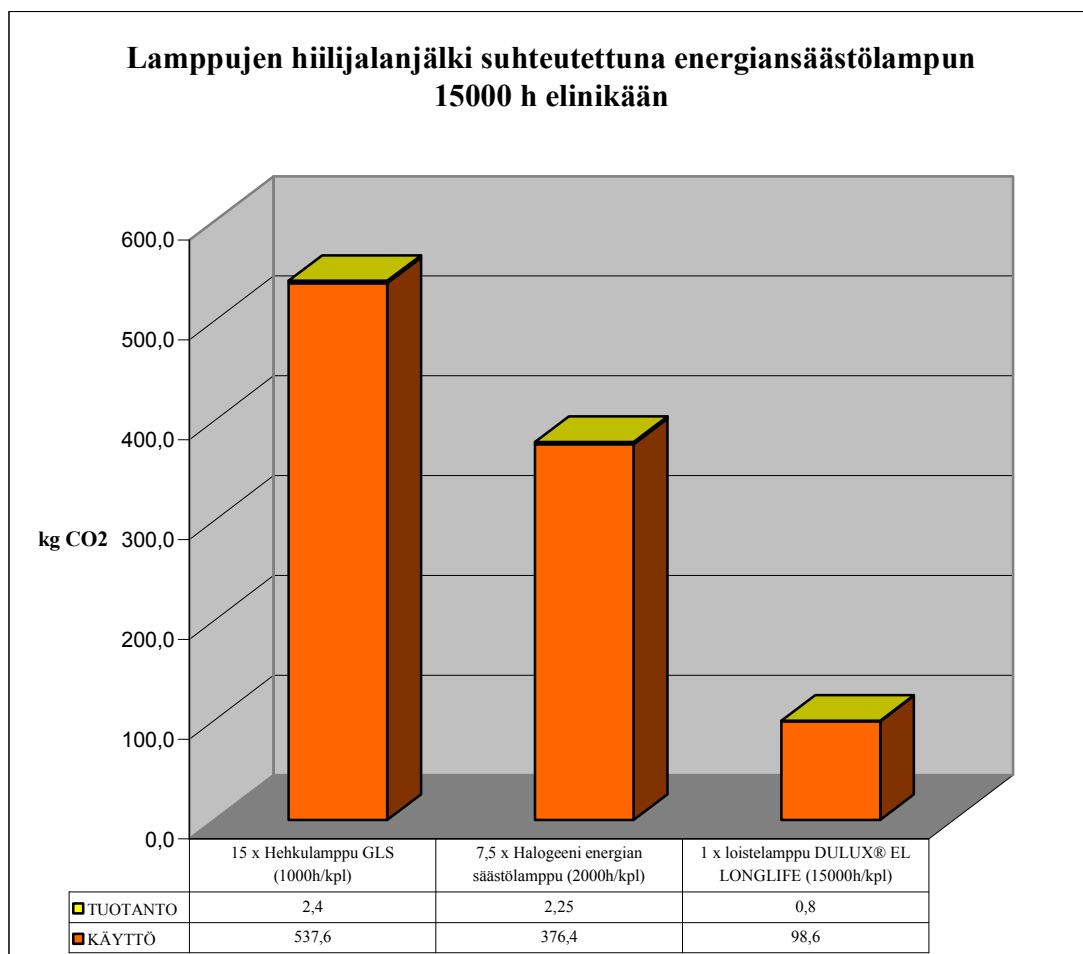
Yhden puun absorboima hiilidioksidimäärä 20 kg tarkoittaa käytännössä 10 kuution hiilidioksidikaasumäärää (hiilidioksidin tiheys $\rho = 1,98 \text{ kg/m}^3$). Ottaen huomioon, että ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on 0,036 % (Maol 2001: 142), ilmakehään sekoittuessaan 20 kg hiilidioksidia tarkoittaa noin 67 000 kuutiota hiilidioksidilla kuormitettua ilmamassaa. Tämä kuutiomäärä muodostaa pallon, jonka halkaisija on 50 metriä.

5.2 Sähköhankinnan päästökerroin

Työssä olevat graafiset esitykset ovat tehty Suomen sähköhankinnan päästökerrointa käyttämällä. Jokaista Suomessa tuotettua kWh:a kohden muodostuu keskimäärin 200 grammaa hiilidioksidipäästöä (Suomen luonnonsuojeluliitto 2008: 5). Työssä tehdyissä laskuissa on otettu huomioon energian tuotannon hyötysuhde ja sähkösiirrossa aiheutuvat tehohäviöt, jotka ovat huomattavia tekijöitä. Jos energian tuotannon hyötysuhdetta ja siirrossa tapahtuneita tehohäviöitä ei otettaisi huomioon ja laskettaisiin ainoastaan loppukäyttäjän lampulleen tarvitsema energiamäärä, eivät tulokset vastaisi oikeaa lampujen käytöstä aiheutuvaa hiilidioksidipäästö määrää. Energian tuotannon hyötysuhde ja siirtohäviöiden mukaan lukeminen nostaa lamppua kohden tuotettavan energiamäärän ja hiilidioksidipäästön lähes kolminkertaiseksi.

6 HIILIJALANJÄLJEN JAKAUTUMINEN LAMPUN ELINKAAREN ERI VAIHEILLE

Lamppu jättää suurimman osuuden hiilijalanjäljestään sen käytön aikana. Lampun tuottaminen ja kierrättäminen näyttelevät vain pientä osaa sen hiilijalanjäljessä, joista kierrättämisen osuus on hyvin vähäpätöinen (graafi 1). Esityksestä voi päätellä, että mitä energiaa säästävämpi lamppu on, sitä suurempi prosentuaalinen osuus sen tuotannossa aiheutuvalla CO₂-päästöllä on sen hiilijalanjäljessä. Tuotannon osuus jäljessä jää kuitenkin vain maininnan arvoiseksi.



Graafi 1. Lamppujen hiilijalanjälki suhteutettuna 15000 h:n käyttöikään (lähde: Martikainen 2009 mukailen).

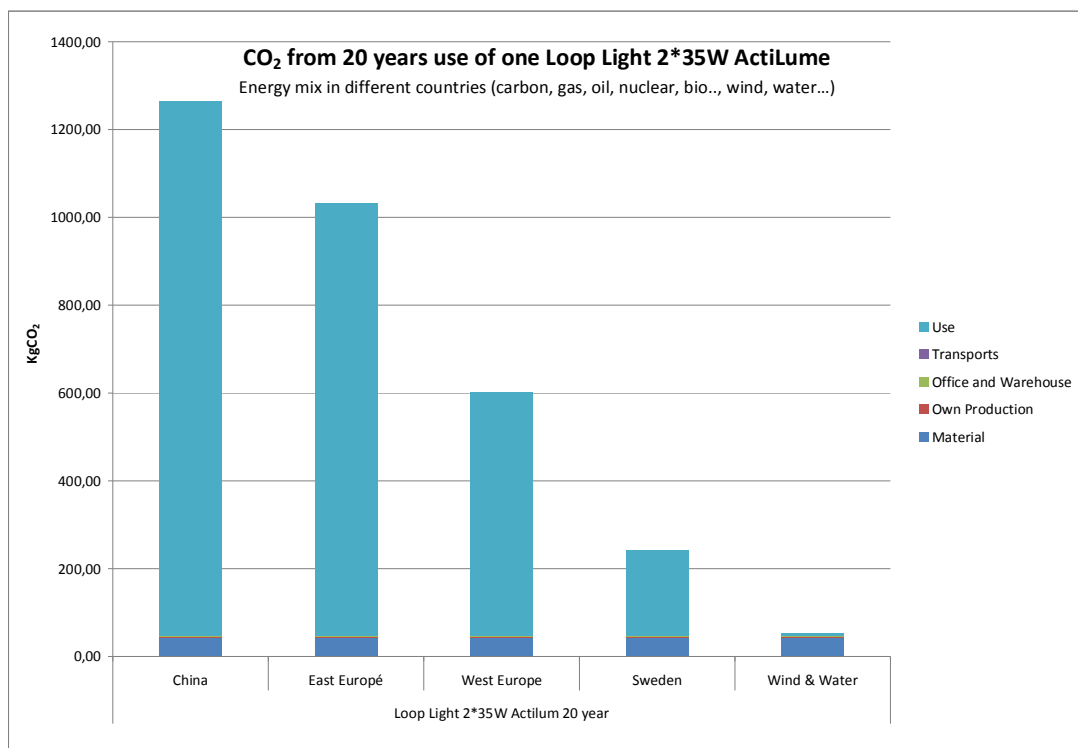
Philips Oy:n kehitysjohtajan mukaan käytännössä lampun hiilijalanjälki on sama kuin lampun elinikänsä aikana kuluttaman energian jalanjälki. Jos tuotanto, kuljetukset ja pakkaus kuitenkin huomioidaan, voidaan lampun käytössä kuluttaman energiamäärän kertoimena hänen mukaansa käyttää arvoa 1,05, jolloin saataisiin lampun elinaikanaan kuluttama kokonaisenergiamäärä. (Juslen 2009.)

Kuljetus ja pakkaus

Laskettaessa kulutustavaran hiilijalanjälkeä, laskuun otetaan mukaan kuljetuksen ja tavarassa käytettävien materiaalien tuottamisesta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt. Graafi 2 kuvaa hiilidioksidipäästöjen jakautumista kattovalaisimen 20 vuoden käytön ajalle. Kyseinen valaisin riippuu katosta kahden vajerin avulla. Esityksessä valaisimen käytössä aiheutuneita hiilidioksidi-

päästöjä on verrattu eri maiden välillä. Erot ovat todella suuria, johtuen eri maiden erilaisista energialähteiden käytöstä.

Suurin osuus valaisimen hiilijalanjäljestä syntyy valaisimen käytöstä ja materiaalien tuotannosta. Muut hiilijalanjälkeen laskettavat tekijät, kuten kuljetukset, toimisto ja varastointi sekä itse valaisimen tuottaminen, ovat vain pieni murto-osa valaisimen kokonaisesta hiilijalanjäljestä.



Graafi 2. Valaisimen 20 vuoden käytön aiheuttama hiilijalanjälki eri maissa (Fagerhult 2009).

Kyseinen esitys kuvaa kokonaisen valaisimen hiilijalanjälkeä. Valaisimessa on kaksi 35 W:n T5-kaksikantaista loistelamppua. Lamppujen hiilijalanjäljessä materiaalin osuus ei ole yhtä suuri kuin valaisimen, jossa on rautaa, kaapelia, lasia ja monia muita materiaaleja paljon enemmän ja suuremmassa mittakaavassa kuin mitä pienimmässä lampussa on.

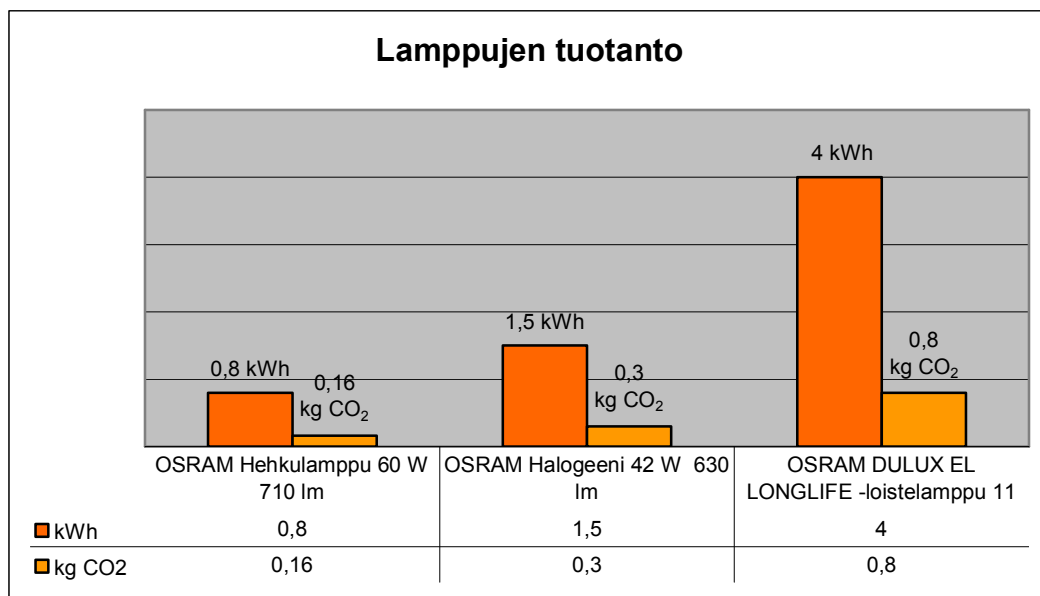
Työssä on täten jätetty lamppujen kuljetus, toimisto ja varastointi vähemmälle huomiolle hiilijalanjälkiä tutkittaessa. Niiden mukaan ottaminen ei vaikuttaisi oleellisesti lopputuloksiin, mutta toisi paljon muuttujia mukaan, jotka monimutkaistaisivat hiilijalanjälkien tekoja todella paljon.

7 CO₂-PÄÄSTÖJEN VERTAILU

Vertaillaan hehkulampun, halogeenilampun, yksikantaisen loistelampun ja LED-lampun tuotannon ja käytön aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä toisiinsa. Kaikki lamput ovat kierrekantaisia E27-lamppuja, joten niitä voidaan arvioida käytettävän samanlaisissa valaisimissa ja valaistustarkoituksissa.

Koska eri valmistajien lamput eroavat toisistaan, on vertailussa selkeyden vuoksi käytetty samoja lamppumalleja edustamaan eri lampputyyppejä. Tutkielmassa on käytetty Osram ja Philips Oy:n valmistamia lamppuja.

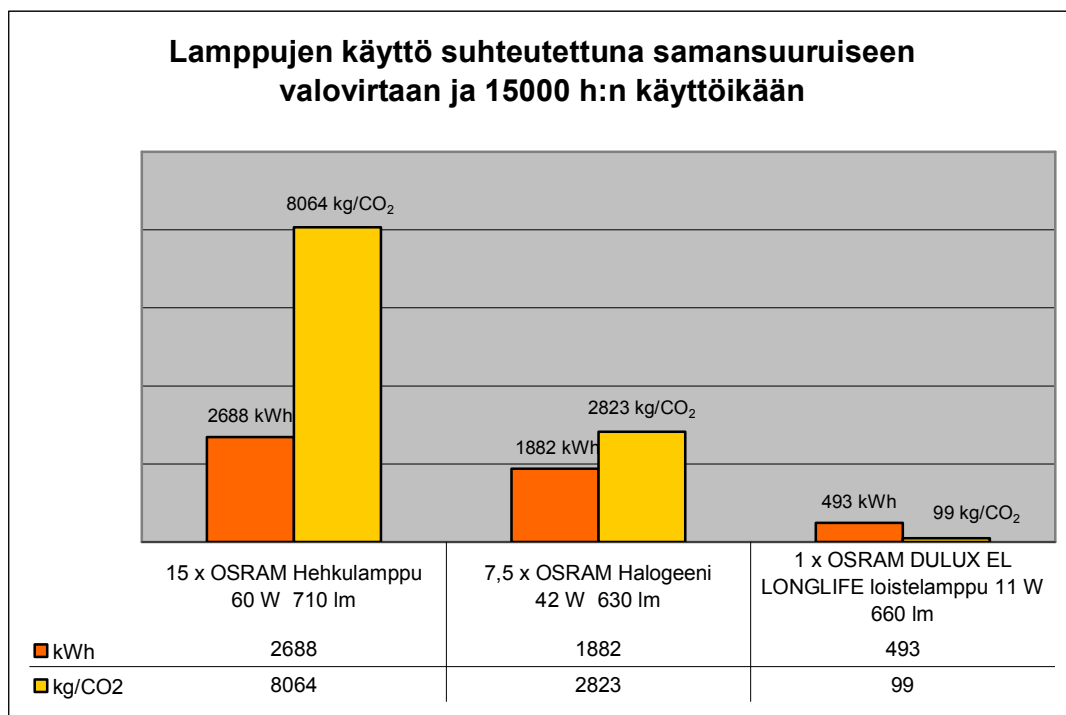
Alla oleva esitys havainnollistaa, kuinka paljon energiaa kuluu kunkin eri lampputyypin tekemiseen. LED-lampusta kyseistä tietoa ei ole vielä saatavilla, mutta sen tekemiseen kulunut sähköenergia ei voi olla enempää kuin loistelamppuun kuluva energia, joka on suurempi kuin hehku- tai halogeenilampun valmistamiseen kuluva energiamäärä. Loistelampun tuotantoon kuluu enemmän energiaa kuin muiden lamppujen, sillä yksikantaisen loistelampun (esim. Osram dulux el longlife) rakenne vaatii lasin kuumentamista täydellä liekillä kauemman aikaa kuin esimerkiksi hehkulampun, joka on rakenteeltaan soikiomainen pallo.



Graafi 3. Lamppujen tuotannosta aiheutuvat CO₂-päästöt (lähde: Martikainen 2009 mukailleen).

Tieto siitä, että loistelamppu kuluttaa tuotannossa viisinkertaisen energiamäärän hehkulamppuun verrattuna, herättää nopeasti ajateltuna epärointiä sen käytön kannattavuudesta.

Esitys 4 havainnollistaa lamppujen käytössä kuluttavia energiamääriä ja muodostuneita hiilidioksidipäästöjä 15 000 tunnin käytön aikana. Kolme vertailussa mukana olevaa lampputyyppiä ovat valovirraltaan samaa luokkaa, jonka kannalta ne ovat suoraan vertailtavissa toisiinsa. Esityksissä lampputyyppien eliniät ovat suhteutettuna pisimpään kestävänsä loistelampun 15 000 tunnin elinikään. Tämän takia yhtä loistelamppua kohden on vertailtava viittätoista hehkulamppua (elinikä 1000 h) ja seitsemää ja puolta halogeenilamppua (elinikä 2000 h).



Graafi 4. Lamppujen käyttö suhteutettuna samansuuruiseen valovirtaan ja 15 000 tunnin käyttöikään (lähde: Martikainen 2009 mukailen).

Laskelmien perusteella hehkulamppu kuluttaa 445 % enemmän energiaa kuin saman valovirran tuottama loistelamppu. Toisin sanoen käyttämällä loistelamppua hehkulampun sijaan, tulee sähkönkulutus moninkertaisesti pienemmäksi. Halogeenilamppu kuluttaa 30 % enemmän energiaa kuin sitä vastaava hehkulamppu ja jopa 280 % enemmän energiaa kuin loistelamppu.

Esitykset 3 ja 4 osoittavat, että lampun tuotantoon kuluva energia on 0,5–0,8 % siitä energiamäärästä, mitä se 15 000 tunnin käytön ajalla kuluttaa. Lampun tuotannossa aiheutuva hiilidioksidipäästö on niin pieni, että se ei ole oleellinen osatekijä kun mietitään, mitä lamppeja tulisi käyttää mahdollisimman ekologisessa ja energiatehokkaassa valaistussuunnitelmassa.

LED-lampun hiilijalanjäljestä ei vielä anneta tietoja juuri lainkaan yritysten ulkopuoliseen käyttöön. Tämän voi olettaa johtuvan sen nopeasta kehityksestä ja kovasta kilpailusta yritysten välillä. Ainoa saatu tieto on Philips Oy:n asiakaspäällikkö Paula Fagerroosilta, joka luovutti tiedon Philips Oy:n MasterLED-lampun hiilijalanjäljestä. Kyseisellä 6,3 W:n tehoisella MasterLED-lampulla voidaan suoraan korvata 40 W hehkulamppu. Fagerroosin mukaan tämän eliniältään 45 000 h:n lampun hiilijalanjälki on 172 kg CO₂. Jos LED-lamppua verrataan Philipsin 40 W:n hehkulamppuun, tarvittaisiin 45 kpl kat-

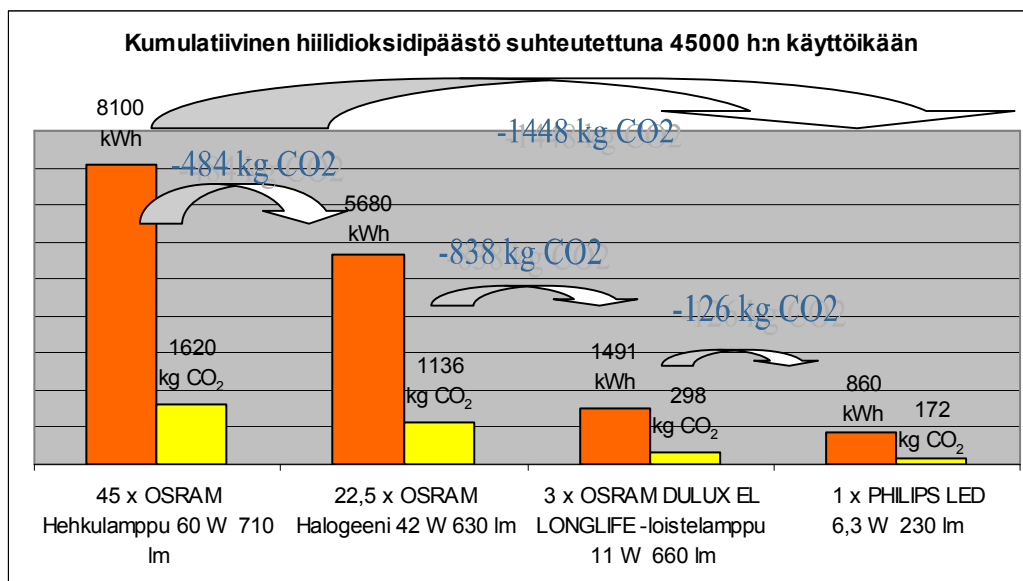
tamaan 45 000 tunnin elinikä. 45 kappaletta 40 W:n hehkulamppuja jättäisivät 1074 kg CO₂ päästöjä.

Jos näitä arvoja suhteutetaan 1000 tuntiin, niin MasterLED-lampun jalanjäljeksi tulee 3,8 kg / 1000 h ja hehkulampulle 23,9 kg / 1000 h. Toisin sanoen Philipsin LED-lampun hiilijalanjälki on vain noin 16 % Philips hehkulampun hiilijalanjäljestä. Kyseinen hehkulamppu antaa kuitenkin 210 % enemmän valovirtaa kuin LED-lamppu, minkä takia vertailu ei ole reilu.

Alla olevassa esityksessä kyseistä LED-lamppua vertaillaan Osramin lampumallien kanssa. LED-lamppu ei ole valovirraltaan suoraan vertailukelpoinen tutkittavien Osramin lampumallien kanssa, sillä sen antama valovirta on vain $\frac{1}{3}$ muiden vertailtavien lamppujen valovirrasta.

Esityksissä 7 ja 8 on laskettu lamppujen tuotannosta ja 45 000 tunnin käytöstä aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä.

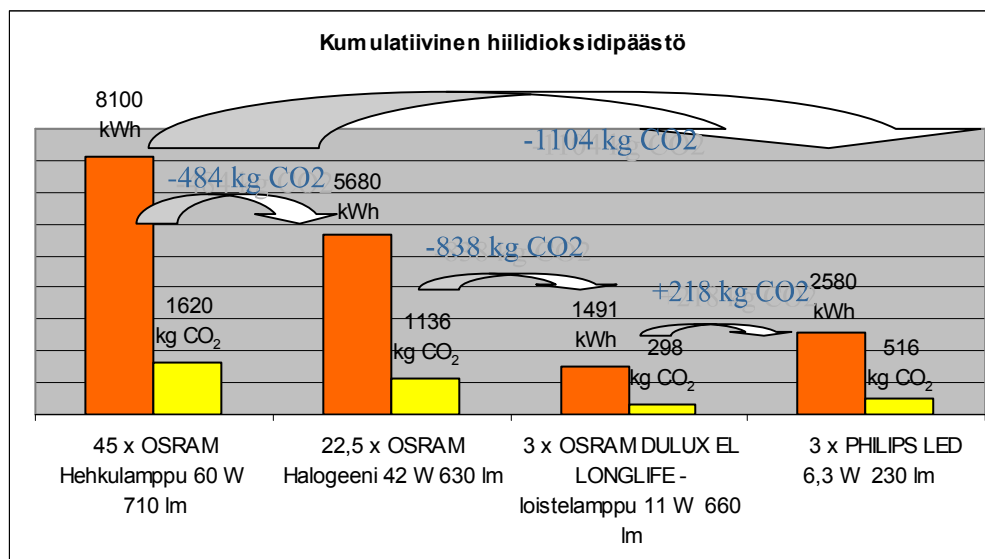
Jos lamppuja vertaillaan suhteutettuna ainoastaan elinikään eikä valovirtoja suhteuteta toisiinsa, on LED-lamppu energiaa säästävämpi kuin loistelamppu. LED-lampun valovirta suhteutettuna muiden lamppujen valovirtaan antaa kuitenkin eri tuloksen, jolloin loistelamppu osoittautuu energiatehokkaammaksi (graafi 5).



Graafi 5. Kumulatiivinen hiilidioksidipäästö suhteutettuna 45000 h:n käyttöikään (lähde: Martikainen 2009 mukailen).

LED- ja loistelamppu ovat huomattavasti energiasäästävämpiä kuin hehku- ja halogeenilamppu. Hehkulampun korvaaminen loistelampulla vähentäisi hiilidioksidipäästöjä noin 1300 kg, joka puuindeksinä on 65. Prosentuaalisesti tämä tarkoittaa, että loistelamppu aiheuttaa noin 82 % vähemmän CO₂-päästöjä kuin saman valovirran antama hehkulamppu. Hehkulampun korvaaminen taas Philipsin LED-lampulla vähentäisi hiilidioksidipäästöjä noin 1448 kg, joka puuindeksinä on 72. Energiaa kuluisi 89 % vähemmän valopistettä kohden.

Jotta vertailu olisi tasavertainen lampun tuottaman valovirran suhteen, on LED-lamppuja oltava 3 kappaletta, jolloin tilaan tuotettu valovirta vastaisi muiden lamppujen antamaa valovirtaa tilan neliometriä kohden. 3 kappaletta LED-lamppuja tuottaisi 690 lm. (Graafi 6.)



Graafi 6. Lamppujen hiilidioksidipäästöt ja energiankulutukset suhteutettuna valovirtaan ja 45 000 h:n käyttöikään (lähde: Martikainen 2009 mukailen).

Kun LED-lampun tuottama valovirta suhteutetaan loistelampun tuottamaan valovirtaan, on loistelamppu energiatehokkaampi kuin vastaavan valovirran tuottamat kolme LED-lamppua. Loistelamppu kuluttaa 42 % vähemmän energiaa, mikä tarkoittaisi noin 220 kg vähemmän hiilidioksidipäästöjä. Puuindeksinä tämä on 11.

Kolme LED-lamppua kuluttaisi noin 1100 kWh eli 68 % vähemmän energiaa kuin hehkulamppu tutkittavan 45 000 tunnin käyttöajalla.

Voidaan todeta, että LED lamppu ei vielä yllä energiatehokkaan yksikantaisen loistelampun tasolle, mikäli tilaan halutaan tuottaa loistelampun antamaa valovirtaa vastaava valomäärä.

8 CASE: SISÄVALAISTUSESIMERKKI UT ZERO ENERGY HOUSE

8.1 Taustaa

University of Tennessee (USA) on suunnitellut mahdollisimman energiaystävällisen asuintalon, jonka periaatteena on olla mahdollisimman luontoystävällinen rakennuksiltaan sekä käyttöominaisuuksiltaan. Suunnittelu on aloitettu syksyllä 2008 ja talon prototyyppi tullaan rakentamaan heinäkuussa 2009.

UT Zero Energy Housen rakennuksen suunnittelussa sen ekologinen jälki on minimoitu. Huomioon otetaan talon ekologisuus käytettävistä raken-

nusmateriaaleista aina asumisen ekologisuuteen asti (liite 1). Talo koostuu 5 x 5 m:n moduuleista, joita on yhdessä talossa kahdeksan, ja niistä kolmesta muodostuu asuintalon sisätila. Taloa viilennetään suunnitelluiden ilmatuuletusaukkojen kautta ja tarvittaessa sitä lämmitetään auringon luovuttamalla lämmöllä. Päivänvalo käytetään valaisemaan huoneita mahdollisimman paljon, jotta valaistukseen käytettävä energia saataisiin minimoitua. Talon käyttämä sähköenergia tuotetaan aurinkopaneelilla.

Käyttämällä yllämainittuja strategioita, talon totaalinen energiankulutus ja tätä kautta myös asumisesta koituvat CO₂-päästöt on minimoitu.

Metropolia Ammattikorkeakoulu osallistuu UT Zero Energy House -projektiin Tennesseeen Universityn yhteistyökouluna. Metropolia amk:n sisustussuunnittelu ja valaistus -kurssin opiskelijat ovat suunnitelleet taloon LED-lamppuja käyttävän design-valaistuksen.

Tämän case-tutkimuksen tarkoitus on verrata normaalia, yleisesti käytettyä valaistussuunnitelmaa toiseen, vähäiseen energiankulutukseen tähtäävään LED-lamppuja käyttävään valaistussuunnitelmaan.

8.2 Valaistussuunnitelmien vertailu

Metropolia amk:n sisustussuunnittelu ja valaistuskurssin opiskelijoiden tekemään valaistussuunnitelman ja yleisesti käytettävän valaistussuunnitelman lähtö- ja vertailukohtia ovat muun muassa

- valaistussuunnitelmien yhdenvertaisuus
- valon käyttö
- valaistustapa
- lamppujen valotehokkuus
- valaisimien hyötysuhde
- likaantuminen.

Vertailussa on paljon muuttujia. Jotta vertailu olisi mahdollisimman yksiselitteinen ja suunnitelmat selkeästi toisiinsa verrattavissa, on tilaan tuotetun ”valon määrän” lm/m³ oltava samalla tasolla molemmissa suunnitelmissa. Valovirran on siis oltava sama molemmissa suunnitelmissa.

Se miten valaistusta käytetään, riippuu sata prosenttisesti valaistuksen käyttäjistä, joten oletamme molempien valaistusten olevan täydellä teholla niitä

käytettäessä. Tällä periaatteella pystymme vertailemaan valaistuksien käyttämiä energioita toisiinsa. Jos ja kun käytetään valonohjausjärjestelmän avulla johonkin tiettyyn prosentuaaliseen asteeseen himmennettyä valaistusta, pienenisivät molempien suunnitelmien käyttämät energiamäärät suhteessa saman verran.

Lamppujen säteilyn valotehokkuus on valovirran ja sen tuottamiseen kuluneen sähkötehon suhde [lm/W]. Valaisimen hyötysuhteella taas tarkoitetaan valaisimesta saadun valovirran suhdetta siinä olevien lamppujen valovirtaan. (ABB 2000: 23.) Nämä tekijät ovat otettu huomioon valovirtaa laskettaessa, joka molemmissa suunnitelmissa on $\approx 20\,000\text{ lm}$.

Valaisimen hyötysuhde on osatekijä valaistuksen kokonaishyötysuhteessa, joka taas on riippuvainen huoneen materiaalien heijastumissuhteista ja geometrisista mitoista. Vertailussa huoneet ovat kuitenkin samat, joten tämä muuttuja pysyy vakiona molemmissa suunnitelmissa.

Oleelliseksi lähtökohdaksi jää samansuuruisen valovirran tuotto suunnitelmissa.


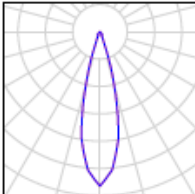
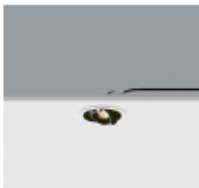
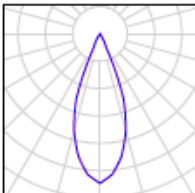

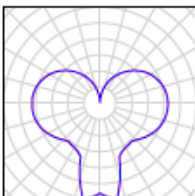

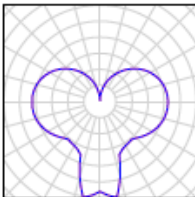

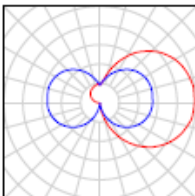
Vertailun tarkoituksena on saada mahdollisimman konkreettinen kuva siitä, kuinka paljon valaistuksen järkevällä suunnittelulla voidaan vaikuttaa energiankulutukseen ja sitä kautta CO_2 -päästöjen minimointiin. Molemmista valaistussuunnittelukokonaisuuksista lasketaan käytettyjen lamppujen yhteinen hiilijalanjälki.

8.2.1 Yleinen valaistussuunnitelma

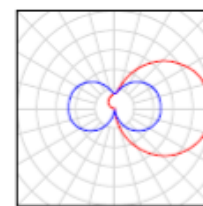
Yleinen valaistussuunnitelma on toteutettu käyttämällä valaisimia, joiden valonlähteenä käytetään halogeeni- ja hehkulamppuja.

Tuotteet

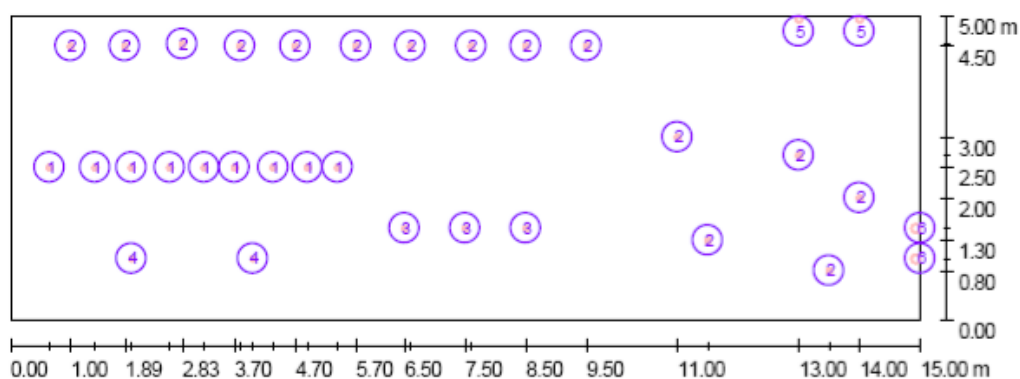
UTZeroEnergyHouse / Carbon Footprint calculus / Luettelo valaisimista

9 Kappale	<p>ERCO 72100000 Parscan Spotlight 1xQT12-ax-RE 50W Tavarnumero: 72100000 Valaisimien valovirta: 1250 lm Valaisimien teho: 53.0 W Valaisinten luokittelu CIE: 100 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 99 100 100 100 60 Varustus: 1 x QT12-ax-RE 50W (Korjaustekijä 1.000).</p>		
15 Kappale	<p>ERCO 88100000 Gimbal Recessed spotlight 1xQR-CBC35 20W 38° Tavarnumero: 88100000 Valaisimien valovirta: 320 lm Valaisimien teho: 20.0 W Valaisinten luokittelu CIE: 100 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 100 100 100 98 72 Varustus: 1 x QR-CBC35 20W 38° (Korjaustekijä 1.000).</p>		
3 Kappale	<p>Limburg 4911 1 A60 75W Tavarnumero: 4911 Valaisimien valovirta: 940 lm Valaisimien teho: 75.0 W Valaisinten luokittelu CIE: 54 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 24 46 72 54 89 Varustus: 1 x A60 (Korjaustekijä 1.000).</p>		
2 Kappale	<p>Limburg 4911 1 A60 75W (Tyyppi 2) Tavarnumero: 4911 Valaisimien valovirta: 940 lm Valaisimien teho: 100.0 W Valaisinten luokittelu CIE: 54 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 24 46 72 54 89 Varustus: 1 x Käyttäjän määrittelemä (Korjaustekijä 1.000).</p>		
2 Kappale	<p>Limburg 7248 1 QT32 100W Tavarnumero: 7248 Valaisimien valovirta: 1430 lm Valaisimien teho: 100.0 W Valaisinten luokittelu CIE: 45 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 12 37 67 45 54 Varustus: 1 x QT32 (Korjaustekijä 1.000).</p>		

2 Kappale Limburg 7249 2 QT32 75W
 Tavarnumero: 7249
 Valaisimien valovirta: 2100 lm
 Valaisimien teho: 75.0 W
 Valaisinten luokittelu CIE: 48
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 13
 38 68 48 61
 Varustus: 1 x Käyttäjän määrittelemä
 (Korjaustekijä 1.000).



UTZeroEnergyHouse / Carbon Footprint calculus / Valaisimet (pohjakuva)



Mittakaava 1 : 108

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus
1	9	ERCO 72100000 Parscan Spotlight 1xQT12-ax-RE 50W
2	15	ERCO 88100000 Gimbal Recessed spotlight 1xQR-CBC35 20W 38°
3	3	Limburg 4911 1 A60 75W
4	2	Limburg 4911 1 A60 75W (Tyyppi 2)*
5	2	Limburg 7248 1 QT32 100W
6	2	Limburg 7249 2 QT32 75W

UTZeroEnergyHouse / Carbon Footprint calculus / Kolmiulotteinen kuvanmuodostus



8.2.2 Energiaa säästävä valaistussuunnitelma

Energiaa säästävä valaistussuunnitelma on tehty arkkitehtonisesta näkökulmasta. Suunnitelmassa on käytetty 100-prosenttisesti LED-lamppua valonlähteenä, koska se on energiatehokkaampi ratkaisu kuin hehku- tai halogeenilamppu ja sen pieni koko antaa arkkitehtonisen vapauden (esim. integroinnin rakenteisiin).

Suunnitelmassa tilan valaistus on toteutettu käyttämällä valotaskuja ja katos-
ta ripustettavaa design valaisinta.

Tuotteet

Osram Linearlight Powerflex LM 10P-W4F-854 LLP.FLEX

Moduulin koko: (P x L x K) 2800 mm x 10 mm x 2,5 mm

Valaisimen valovirta: 50 lm / W

Valaisimen teho: 26 W / m



Järvinen Hyvönen Keränen design

Ripustettava LED valaisin

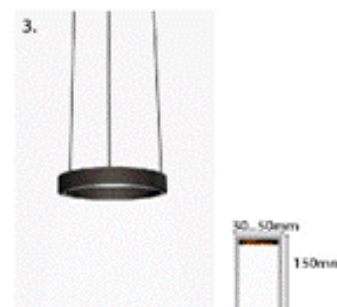
Valaisimen koko: 2 kokoa

1000x50x150mm

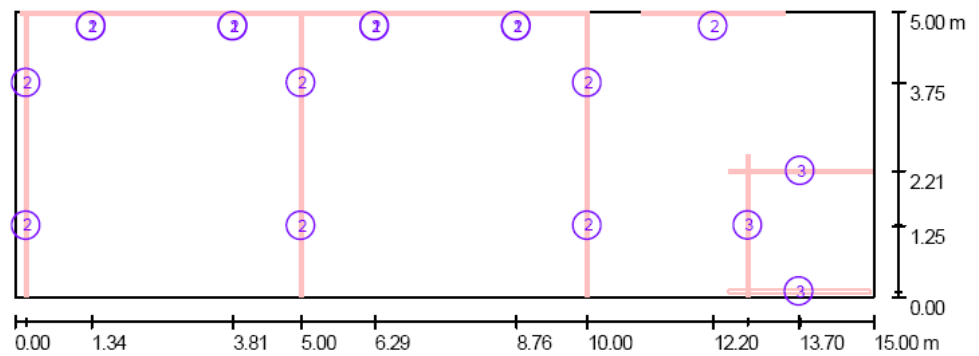
500x30x150mm

Valaisimen valovirta: 50 lm / W

Valaisimen teho: 26 W / m



UTZeroEnergyHouse / Carbon Footprint calculus / Valaisimet (pohjakuva)



Mittakaava 1 : 108

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus
1	4	Fagerhult 26969 Notor G2 Direkt Opal 2xT16 28W
2	11	Fagerhult 26969 Notor G2 Direkt Opal 2xT16 28W (Tyyppi 2)*
3	3	Fagerhult 26969 Notor G2 Direkt Opal 2xT16 28W (Tyyppi 3)*

*Muutetut tekniset tiedot

Kuvassa (yllä) on käytetty simulaatio valaisimia, joiden sijainti, antama valovirta ja teho vastaavat laskelmissa käytettyjä LED valaisimia.

UTZeroEnergyHouse / Carbon Footprint calculus / Kolmiulotteinen kuvanmuodostus



8.2.3 Vertailu

Alla olevissa taulukoissa (taulukot 3 ja 4) on molempien valaistussuunnitelmien tuottama valovirta ja niiden kuluttamat tehot. Tilaan tuotettu valovirta on molemmissa suunnitelmissa käytännössä sama eli $\approx 20\ 000$ lumenta.

Taulukko 3. Normaalin valaistussuunnitelman tuottama valovirta ja sen kuluttama teho 45 000 h:n käytössä (lähteitä ERCO 2009 ja Glashutte Limburg 2009 mukailen).

Valaisin nro	Valaisintyyppi	kpl	Teho W/kpl tai W/m	Valovirta lm	Valaisimen hyötysuhde LOR	Tilaan tuottama valovirta total/lm	Teho/W
1	ERCO Parscan Spotlight 72101.001	9	50	1250	1,0	11 250	450
2	ERCO Gimbal 88100.000	15	20	320	1,0	4800	300
3	Glashutte Limburg:in kattovalaisin, 4911	3	75	935	0,7	1963,5	225
4	Glashutte Limburg:in kattovalaisin, 4911 (Tyyppi 2)	2	75	935	0,7	1309	150
5	Glashutte Limburg WC:n valaisin 7248	2	100	1470	0,7	2058	200
6	Glashutte Limburg WC:n valaisin 7249	2	2x75	2100	0,7	2940	300
					yhhteensä	24320,5	1625

Koska energiaa säästävissä valaistussuunnitelma (taulukko 4) on arkkitehtonisesti toteutettu valaisimen hyötysuhdetta pienentävillä valotaskuilla, on taskuissa käytetyt LED-valonauhat suunniteltu suhteessa myös tehokkaiksi. Metrillä valonauhaa on käytetty 30 kappaletta. Teho on 26 W / metri. Jos valotaskuja poltettaisiin täydellä teholla, olisi niiden antama valovirta 52 755 lm, jolloin suunnitelma ei olisi vertailukelpoinen normaalin valaistussuunnitelman kanssa kuluttamallaan 1358 W:n tehollaan. Vertailukelpoisuuden mahdollistamiseksi valotaskut on säädetty tuottamaan valoa vain 40 prosenttia niiden 100-prosenttisesta tehosta. Voidaan kuitenkin laittaa merkille, että vaikka kaikki valotaskut oli säädetty palamaan täydellä teholla, olisi valaistuksen kuluttama kokonaisteho silti 270 W pienempi.

Taulukko 4. Energiaa säästävä valaistussuunnitelman tuottama valovirta ja sen kulluttama teho 45 000 h:n käytössä.

Valaisin nro	Valaisintyyppi	kpl tai m	Teho W/kpl tai W/m	Valovirta lm	Valaisimen hyötysuhde LOR	Tilaan tuottama valovirta total/lm	Teho/W	Huom.
1a,b,c,5	Osram Linearlight Powerflex LM 10P-W4F-854 LLP.FLEX (Valotasku valaistus+lasit)	30	26	50	0,8	12480	312	Säädetty 40 prosenttiin maximista
2a,b,c	Osram Linearlight Powerflex LM 10P-W4F-854 LLP.FLEX (Valotasku valaistus+lasit)	15	26	50	0,8	6240	156	Säädetty 40 prosenttiin maximista
3a,b	Osram Linearlight Powerflex LM 10P-W4F-854 LLP.FLEX (Valotasku valaistus+lasit)/ Design valaisin	1,5	26	50	0,7	1365	39	
4	Osram Linearlight Powerflex LM 10P-W4F-854 LLP.FLEX (Valotasku valaistus+lasit). Sängyn alla.	5,5	26	50	0,6	1716	57	Säädetty 40 prosenttiin maximista
6	LED-valaisin	2	3	50	1,0	300	6	
					Yhteensä	22101	570	

Tutkitaan, kuinka paljon kumpikin valaistussuunnitelma aiheuttaisi energiankulutuksellaan hiilidioksidipäästöjä 45 000 tunnin käyttöajalla. Otetaan huomioon käytettävien lamppujen tuotanto ja käyttö.

Olemassa olevan tiedon puuttuessa vertailussa oletetaan, että LED-lampun tuotantoon kuluu saman verran energiaa kuin loistelampun eli 4 kWh/lamppu. Tätä oletusta on käytetty laskettaessa lamppujen hiilijalanjälkiä (taulukot 5 ja 6).

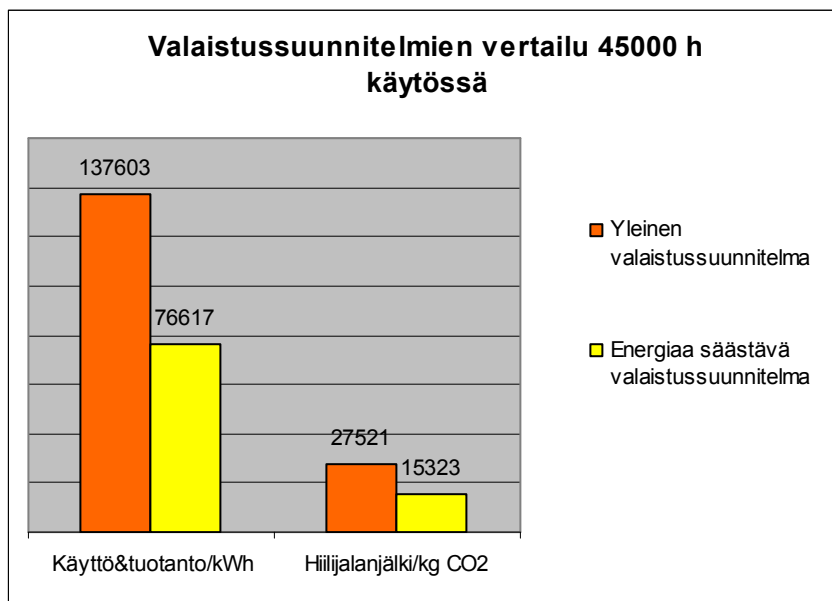
Taulukko 5. Yleisen suunnitelman lamppujen energiankulutus ja CO₂-päästöt.

Lamppu	Lamppuja/kpl/ suunnitelma	tuotanto/lamppu/ kWh	käyttö/lamppu/ kWh/45000h	tuotanto/kg CO ₂ /lamppu	käyttö/kg CO ₂ /45000h
Halogeenilamppu QR-CBC35 20W	10	337,5	26820	67,5	5364
Halogeenilamppu QT32, 75 W	2	67,5	20115	13,5	4023
Halogeenilamppu QT32 100W	2	67,5	5364	13,5	1072,8
Hehkulamppu 60 W	3	108	24138	21,6	4827,6
Hehkulamppu 100 W	2	72	26820	14,4	5364
Halogeenilamppu QT12-ax-RE 50 W	5	168,75	33525	33,75	6705
	Yhteensä	821	136782	164	27356

Taulukko 6. Energiaa säästävän valaistussuunnitelman lampujen energiankulutus ja CO₂-päästöt.

Lamppu	Lamppuja/kpl/ m/suunnitelma	tuotanto/lamppu/ /kWh	käyttö/lamppu/ kWh/45000h	tuotanto/kg CO ₂ /lamppu	käyttö/kg CO ₂ /45000h
Osram Linearlight Powerflex LM 10P-W4F-854 LLP.FLEX (Valotasku valaistus+lasi)	30	120	41937,5	24	8387,5
Osram Linearlight Powerflex LM 10P-W4F-854 LLP.FLEX (Valotasku valaistus+lasi)	15	60	20968,7	12	4193,7
Osram Linearlight Powerflex LM 10P-W4F-854 LLP.FLEX (Valotasku valaistus+lasi)/ Design valaisin	1,5	6	5242,2	1,2	1048,4
Osram Linearlight Powerflex LM 10P-W4F-854 LLP.FLEX (Valotasku valaistus+lasi). Sängyn alla.	5,5	22	7661,7	4,4	1532,3
LED-valaisin	2	8	806,5	1,6	161,3
Yhteensä		216	76617	43	15323

Energiaa säästävä valaistussuunnitelma kuluttaisi energiaa noin $\frac{1}{2}$ siitä, mitä yleinen valaistussuunnitelma kuluttaisi. Hiilidioksidipäästöjä muodostuisi noin 50 % vähemmän kuin sitä valovirraltaan vastaavan yleisen valaistussuunnitelman käytöstä (graafi 7). Laskelmissa on otettu huomioon jokaisen lampun tuotannossa ja käytössä kuluttama energia 45 000 tunnin käytössä. Tämä käyttö aika vastaa viiden vuoden ja kahden kuukauden yhtämittaista lampun polttoa 100-prosentin teholla.



Graafi 7. Suunnitelmien kuluttamat energiat ja muodostuneet hiilidioksidipäästöt.

Hiilijalanjälki energiaa säästävässä suunnitelmassa on noin 6 100 kuutiometriä pienempi kuin yleisessä suunnitelmassa. Tämä hiilidioksidimäärä ilmaan sekoitettuna muodostaisi pallon, jonka halkaisija on 320 metriä.

Puuindeksinä yleisen valaistussuunnitelman hiilijalanjälki tarkoittaa 1380 ja energiaa säästävän valaistussuunnitelman hiilijalanjälki 770. Yleisen valaistussuunnitelman viiden vuoden käytöstä aiheutuvan hiilidioksidimäärän poistamiseen ilmakehästä tarvittaisiin siis noin 80 % enemmän puita.

9 ANALYSOINTI

Case-tutkimuksesta saatujen tulosten mukaan energiaa säästävän valaistussuunnitelman hiilijalanjälki on 55 prosenttia yleisen valaistussuunnitelman jalanjäljestä. Toisin sanoen käyttämällä energiatehokkaampia lamppeja UT Zero Energy Housen valaistuksessa, hiilijalanjälki puoliintuu siitä, mitä se olisi yleisimmin kodin sisävalaistuksessa käytettävillä lampuilla.

Koska työssä keskitytään lamppejen tutkimiseen, ei valaistussuunnitelmien hiilijalanjälkeen ole otettu huomioon valaisimien hiilijalanjälkeä. Lamppejen kuljetusta, pakkausta tai kierrätystä ei ole myöskään huomioitu, sillä vertailuun olisi tullut liikaa muuttujia. Lisäksi on todettu, että kierrätys on niin pieni osa valonlähteiden hiilijalanjäljestä, että sen mukaanotto ei vaikuttaisi vertailun lopputulokseen käytännössä mitenkään.

Kuljetuksen ja pakkauksen osuus prosentuaalisesti ei ole suuri, ja varsinkin kuljetuksen tarkastelussa on paljon muuttujia. Eri kuljetusvälineillä on hyvin erilaiset päästökertoimet, ja niiden aiheuttama hiilijalanjälki riippuisi kuljetusta matkasta. Kuljetettu matka taas riippuisi siitä, kuinka usein esimerkiksi hehkulamppuja kuljetettaisiin viiden vuoden ja kahden kuukauden käyttöä varten taloon (case), jonka aikana niitä käytettäisiin yhteensä 180 kappaletta. Kuljetusten ja pakkauksen osuutta tarkastellaan lähemmin luvussa 6 ”Hiilijalanjäljen jakautuminen lampun elinkaaren eri vaiheille”.

Energiaa säästävässä valaistussuunnitelmassa 5 vuotta ja 2 kuukautta kuluvat käyttämällä samoja lamppeja siinä, missä yleisen valaistussuunnitelman hehkulamppuja jouduttaisiin vaihtamaan 45 ja halogeenilamppuja 23 kertaa. Jokainen lamppejen vaihtaminen aiheuttaisi uuden lampun pakkauksen kuljetuksineen, mikä lisäisi hiilijalanjäljen suuruutta. Hypoteettisesti ajatellen siis kuljetusten ja pakkaamisen mukaan laskeminen kasvattaisi entistä enemmän yleisen valaistussuunnitelman hiilijalanjälkeä kuin energiaa säästävän valaistussuunnitelman hiilijalanjälkeä.

Lampputyyppeiden hiilijalanjälkien vertailuissa loistelampun hiilijalanjälki osoitautui monta kertaa pienemmäksi kuin sitä valoarvoltaan vastaavan hehkulamppun hiilijalanjälki. Vertailuissa ei otettu huomioon kuitenkaan sitä, että hehkulamppun käyttö tuottaa lämpöenergiaa, sillä se kuumenee käytössä. Loistelampun käyttö ei lämmitä tilaa samalla lailla, mikä taas nostaisi lämmi-

tyksen tarvetta entisestään. Tämä on herättänyt kysymyksiä siitä, onko hehkulampun poistaminen käytöstä loppujen lopuksi energiaa säästävä teko. Tampereen teknillisessä yliopistossa tehtiin tutkimus asiasta vuonna 1993 (Tekniikka & talous: 9.4.2009). Tutkimuksen mukaan 70 % valaistuksen energiasta tulee hyödynnettyä lämmityksessä. Energiansäästölamput saattava energiansäästö on noin 30 %. Tämä saatu energiahyöty kuitenkin pienenee, kun rakennuksen lämmöneristys paranee, sillä hyvin eristetyn talon sisälämpötila nousee helpommin halutulle tasolle kuin huonosti eristetyn. Saatu hyöty riippuu myös siitä, millä taloa lämmitetään. Nykyaikana talojen eristykseen ja talon ekologiseen lämmitykseen kiinnitetään enemmän huomiota. Nämä pienentävät valaistuksesta saadun lämpöenergian merkitystä talon lämmityksessä, sillä uusimmat ja alati yleistyvät lämmitysjärjestelmät käyttävät entistä vähemmän varsinaista sähköenergiaa lämmitykseen.

Lisäksi on huomioitava se, että vain kylmemmissä EU-maissa valaistuksen tuottamasta lämpöenergiasta on hyötyä, ja niissäkin vain talvikaudella. Lämpimämissä maissa valaistuksesta aiheutunut lämpö aiheuttaa ainoastaan suurempia energiakulutuksia ilman viilennyksen.

10 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutkia sisävalaistuksessa yleisimmin käytettyjen tai siihen parhaiten sopivien lamppujen energiakulutusta lamppujen elämän kaaren eri vaiheilla ja vertailla näistä muodostuneita hiilijalanjälkiä toisiinsa. Tutkielmassa todettiin, että suurin osa lampun hiilijalanjäljestä aiheutuu sitä käytettäessä ja muut tekijät kuten sen tuottaminen, kierrätys, pakkaus, kuljetus ja materiaalit ovat vain murto-osa lampun hiilijalanjäljestä.

Tutkimuksen tuloksena oli, että energiatehokkaampien lamppujen käyttö vähentäisi moninkertaisesti valaistuksen hiilidioksidipäästöjä. Loistelamppu aiheuttaa noin 82 % vähemmän CO₂-päästöjä kuin saman valovirran antama hehkulamppu. Jos hehkulamppu korvattaisiin kolmella LED lampulla, jotka antavat saman valovirran kuin 60 W:n hehkulamppu, aiheutuisi CO₂-päästöjä 68 % vähemmän.

Tutkimuksessa todettujen tosiasioiden pohjalta ajateltuna uusi voimaan astunut EuP-direktiivi on järkevä poistaessaan energiatehottomat hehkulamput. Direktiivi on kiistelty muun muassa sen tuomien suurien kustannusten ja työurakoiden takia, sillä yli 60 prosenttia Euroopan valaistuksesta on tehty energiatehottomilla vanhemmilla lamputilla.

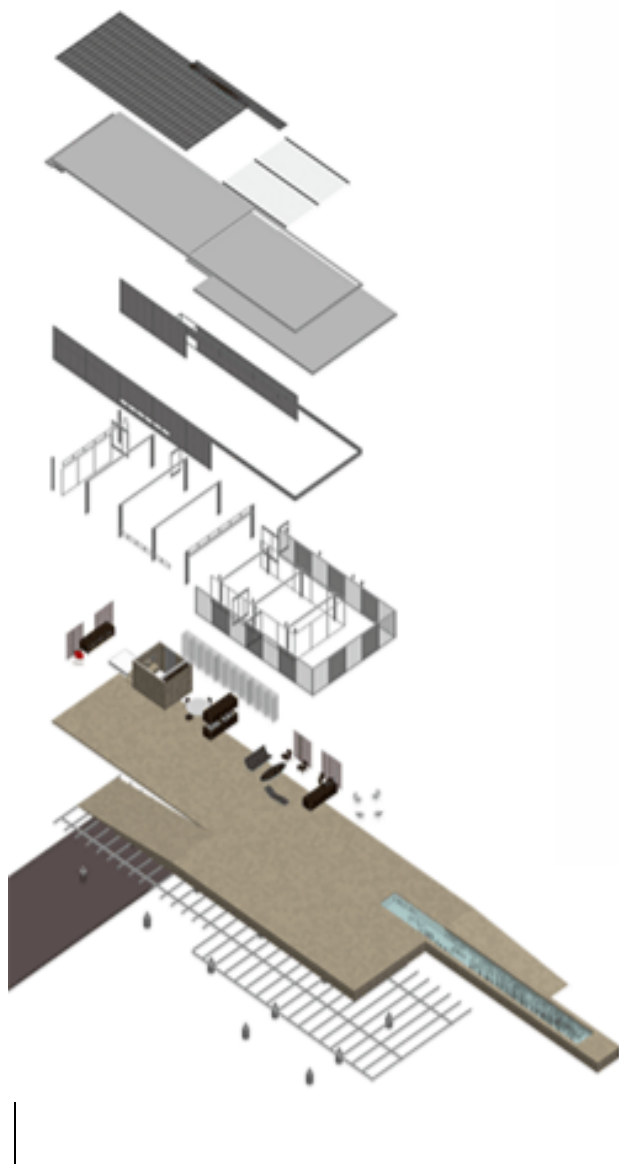
Osramin arvion mukaan ainoastaan Suomen kotitalouksissa on käytössä noin 25 miljoonaa hehkulamppua. Jos nämä hehkulamput korvattaisiin hehkulamppujen valovirtaa vastaavilla energiansäästölamputilla, muodostuisi hiilidioksidipäästöjä 730 000 kg vähemmän joka tunti. Tämä tarkoittaa 370 000 kuutiota puhdasta hiilidioksidia. Kun tämä määrä sekoittuu ilmaan, muodostaa se pallon, jonka halkaisija on 1,3 kilometriä. Puuindeksinä säästynyt hiilidioksidimäärä on 36 500 puuta.

VIITELUETTELO

- [1] Energiateollisuus ry. 2005. Imastonmuutos.info. [verkkodokumentti, viitattu 10.4.2009.]. Saatavissa: www.energia.fi
- [2] Härkönen, Heikki 2008. Energiatehokas valaistus – ajankohtaiskurssin materiaali. Metropolia amk: Helsinki.
- [3] Työ- ja elinkeinoministeriö 2008. Tiedotteet: Energia. [verkkodokumentti, viitattu 1.4.2009.]. Saatavissa: www.tem.fi
- [4] Oy Osram AB. Tuoteluettelo 2007 2008. Ympäristöä ajatellen. Helsinki.
- [5] Oy Osram AB. Luminord-seminaari 2007. Esitysmateriaali, Paula Fagerroos.
- [6] Oy Osram AB. Light and the environment 2007. [verkkodokumentti, viitattu 1.4.2009.]. Saatavissa: www.osram.com
- [7] European Photovoltaic Industry Association. 2008. Solar Generation V - 2008. [verkkodokumentti, viitattu 20.3.2009.]. Saatavissa: <http://www.epia.org>
- [8] Adato 2006. Kotitalouksien sähkönkäyttö. Tutkimusraportti 2.10.2008. [verkkodokumentti, viitattu 29.3.2009.]. Saatavissa: http://www.tem.fi/files/20199/253_Kotitalouksien_sahkonkaytto_2006_raportti.pdf
- [9] ABB 2000. TTT-käsikirja 2000–7. Luku 21: Valaistustekniikka. [verkkodokumentti, viitattu 14.3.2009.]. Saatavissa: [http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/\\$file/210_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/$file/210_0007.pdf)
- [10] Martikainen, Marko 2009. Tuotepäällikkö. Oy Osram AB. Esitysmateriaali.
- [11] Fagerhult 2009. Tuotepäällikkö Björkman, Peter. Esitysmateriaali.
- [12] Maol-taulukot 2001. Haavisto, Anja - Varho, Kiuru. Otava: Helsinki.
- [13] Philips Oy 2009. Asiakaspäällikkö Fagerroos, Paula. Re: LEDin hiilijalanjäljestä [sähköpostiviesti]. Lähetetty 30.3.2009 [viitattu 2.4.2009].
- [14] Suomen luonnonsuojeluliitto 2008. Norppaenergia-merkki. [verkkodokumentti, viitattu 28.3.2009.]. Saatavissa: http://www.norppaenergia.fi/yriyksille/dokumentit/vaikuttava_valinta_norppaenergia_pdf
- [15] Energiateollisuus 2004. Muistio. [verkkodokumentti, viitattu 13.3.2009.]. Saatavissa: <http://www.energia.fi/fi/sahko/sahkokauppa/sahkonalkuperanilmoittaminenasiakkaalle/labelling-suositus%2030-6-08.pdf>
- [16] Reinikainen, Pauli 2006: Led mullistaa valaistuksen. Energia virtaa. Vantaan Energia Oy:n asiakaslehti 4/2006: 12.

- [17] Tekniikka & talous 2009. Mieliidekirjoitus: Energiasäästölamput säästävät sähköä, mutta lisäävät lämmönkulutusta. Kaleva, Timo. 4.2009: 9.
- [18] Sarmalux Oy 2009. LED-lamppujen kehitys LED 2009. [verkkodokumentti, viitattu 6.5.2009.]. Saatavissa: www.ledivalot.fi
- [19] Juslen, Henri 2009. Kehitysjohtaja. Philips Oy. Re: LEDin hiilijalanjäljestä [sähköpostiviesti]. Lähetetty 30.3.2009 [viitattu 2.4.2009].
- [20] Massinen, Osmo 2008. Energiasäästölamppujen verkkovaikutukset 15.9.2008. [verkkodokumentti, viitattu 11.5.2009.]. Saatavissa: www.sahko-ala.fi
- [21] ERCO 2009. Products. [verkkodokumentti, viitattu 1.4.2009.]. Saatavissa: www.erco.com
- [22] Glashutte Limburg 2009. Products. [verkkodokumentti, viitattu 1.4.2009.]. Saatavissa: www.hedtech.com

UT ZERO ENERGY HOUSE STRATEGIES



The Zero Energy Resource page is the resource site for the UT Zero Energy House initiative. The site provides information in three different categories:

Passive Systems and Strategies

Passive strategies in architectural design take advantage of natural conditions to minimize energy use without the aid of machines or human intervention.

Active Systems and Strategies

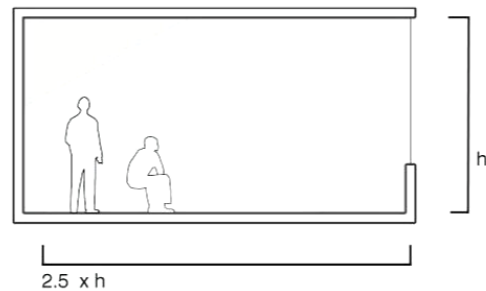
Active strategies use human intervention or technology to provide for additional energy needs and improve the effectiveness of the passive strategies already designed.

Assemblies and Materials

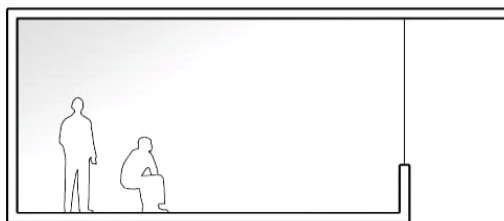
When quality materials are assembled correctly, heating and cooling loads are reduced, and air quality increases creating a healthier environment.

DAYLIGHTING

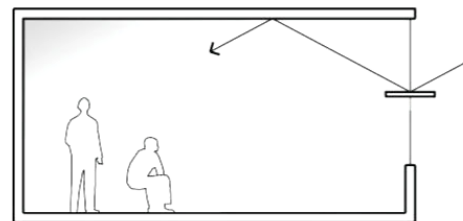
is a passive strategy using natural lighting to illuminate interior spaces. The benefits from daylighting range from improved aesthetic qualities, including better color balance and connection to the outdoors, to increased energy efficiency. Adding an active component can enhance the effectiveness of these strategies shown.



SIDE LIGHTING

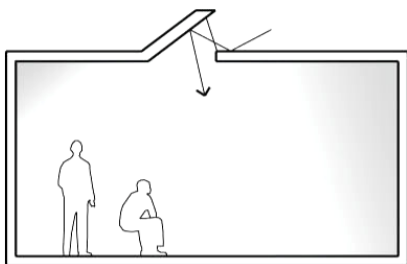


OVERHANG

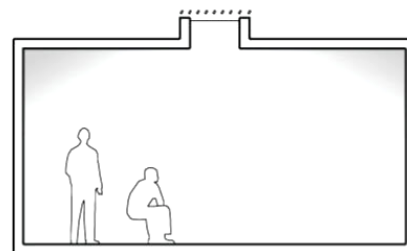


LIGHT SHELF

TOP LIGHTING

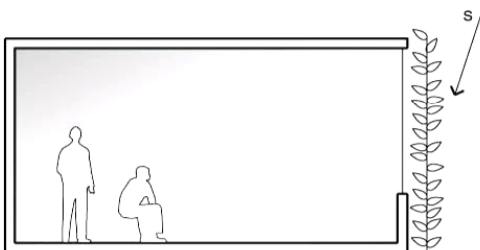


REFLECTED LIGHT

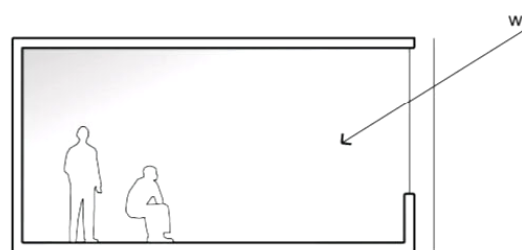


DIFFUSED LIGHT

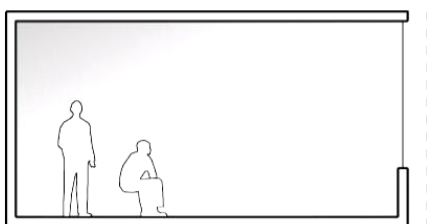
ANTI-GLARE



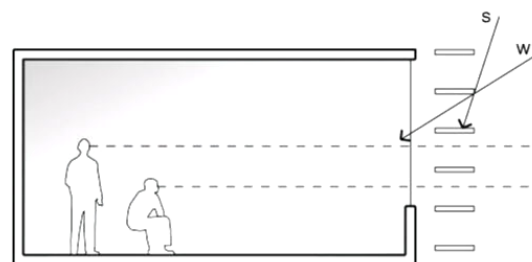
SUMMER VEGETATION, leaves block summer light



WINTER VEGETATION, bare branches allow winter light



SCREEN, diffuses light and views



LOUVERS, blocks summer light and allows winter light while maintaining views