

AALTO-YLIOPISTO

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Elektroniikan, tietoliikenneteen ja automaation tiedekunta

Elektroniikan laitos  
Valaistusyksikkö

Marko Stenman

Toimistorakennusten sähkösuunnittelu LEED-ympäristöluokituksen kannalta

Diplomityö, joka on jätetty tarkistettavaksi diplomi-  
insinöörin tutkintoa varten Espoossa 6.4.2010

Työn valvoja Professori Liisa Halonen

Työn ohjaaja DI Benjam Lytz

Tekijä: Marko Stenman

Työn nimi: Sivumäärä: 59  
Toimistorakennusten sähkösuunnittelu  
LEED-ympäristöluokituksen kannalta  
Päivämäärä: 6.4.2010

Elektroniikan laitos/Valaistusyksikkö

Professuuri: S-118

Työn valvoja: Professori Liisa Halonen

Työn ohjaaja: DI Benjam Lytz

Tiivistelmäteksti:

LEED-ympäristöluokitus (Leadership in Energy and Environmental Design) on uusi rakennusten luokitusjärjestelmä, joka ottaa rakennuksen ympäristöystävällisyyden huomioon usella eri alalla. Luokitus painottaa energiatehokkuutta. Tämä diplomityö käsittelee luokituksen vaikutuksia sähkö- ja valaistussuunnitteluun.

Valaistussuunnittelun osalta luokitus painottaa valosaasteen vähentämistä ja käyttäjäkohtaisia valaistuksensäätömahdollisuuksia. Työssä on esitelty käytännön vaikutuksia rakennuksien ulkovalaistukseen. Mittaus- ja varmennusjärjestelmä vaikuttaa sähkösuunnitteluun. Järjestelmä vaatii rakennukseen tarkan sähkön alamittausjärjestelmän. Työn teoriaosassa esitellään myös Lintulahdenvuoren toimistorakennusta, joka on Pohjoismaiden ensimmäinen LEED-esisertifioitu rakennus. Rakennuksessa on käytetty uutta talotekniikkaa.

Diplomityön käytännön osuus kattaa virtakiskojakelujärjestelmän ja sähkön alamittausjärjestelmän suunnittelun sekä vakiovalonsäätimellä toteutetun valaistusohjauksen toiminnan tutkimisen. Työssä myös tutkittiin Pöyry Building Services Oy:n sähkösuunnittelijoiden LEED-luokituksen tuntemista ja sen vaikutuksia suunnitteluun.

Diplomityössä tutkittiin Lintulahdenvuoren toimistorakennuksen yksittäisen toimistohuoneen valaistuksen ohjausta sekä käyttäjien yleistä tyytyväisyyttä automaattisesti ohjattuun valaistukseen. Tyytyväisyyden tutkiminen toteutettiin kyselyllä. Diplomityötä varten haastateltiin myös Skanska Oy:n Lintulahdenvuoren sähköisestä talotekniikasta vastannutta projektipäällikköä.

Uudet valaistusratkaisut sekä sähkön alamittausjärjestelmät tulevat tulevaisuudessa alentamaan energiankulutusta. Näitä ratkaisuja tulisikin suosia nyt ja tulevaisuudessa.

Avainsanat: LEED, ASHRAE, USGBC, Energian säästö,

Author: Marko Stenman

Name of the work:  
Electrical planning of office buildings  
according to LEED rating system  
Date: 6.4.2010

Number of pages: 59

Department of Electronics/Lighting Unit

Professorship: S-118

Supervisor: Professor Liisa Halonen

Instructor: M.Sc. Benjam Lytz

Abstract text:

LEED rating system (Leadership in Energy and Environmental Design) is a new rating system for buildings which takes environmental matters into account. Rating system emphasizes energy efficiency. This master's thesis studies its effects on electrical planning and lighting design.

Lighting design should take into account the management of light pollution reduction. It should also provide individual lighting controls for almost all users. This study presents practical effects on outdoor lighting. Measurement and verification system also affects electrical design. System requires electronic metering network for tenant submetering. Theory section covers new electrical solutions in Lintulahdenvuori office building, which is the first Nordic LEED presertified building.

Master's thesis explorative part studies busbar based distribution of electricity and there is planned tenant submetering system. There is also studied constant illuminance based lighting controlling system. This work also studies how well Pöyry Building Services Oy's planners know LEED rating system and its effects on planning.

The lighting solution in one of Lintulahdenvuori office building's office room was studied and workers overall satisfaction in automatically controlled lighting system. Overall satisfaction was studied by an inquiry. The electrical building services project manager from Skanska Oy was also interviewed.

These new lighting solutions and electrical submetering systems are the key in lowering energy consumption and these should be used now and in the future.

Keywords: LEED, ASHRAE, USGBC, energy savings

## **Alkulause**

Haluan kiittää kaikkia työssä auttaneita henkilöitä saamastani tuesta sekä materiaaleista. Työn ohjaaja antoi suuntaviitteitä työlleni sekä opasti materiaalin hankinnassa.

Haluan erityisesti kiittää työtovereitani Kari Kuivalaa, Jussi Toivosta, Jukka Särkistä ja Ari Piiraista, jotka auttoivat LEED-materiaalin keräämisessä sekä ymmärtämisessä ja opastamisesta sähkösuunnitteluun. Haluan erityisesti kiittää Juha Långströmiä tiedon hankinnasta sekä teknisestä tuesta. Haluan myös kiittää Timo Rintalaa, Tuomas Suur-Uskia ja Pekka Mairinojaa LEED-opastuksesta. Haluan kiittää myös kaikkia diplomityöhön osallistuneita henkilöitä.

Haluan kiittää myös Coor Service Managementin Esa Lehtoa ja Pertti Kaukorantaa mahdollisuudesta päästä tekemään mittauksi Lintulahdenvuoren toimistorakennuksessa. Haluan myös kiittää Skanska Talotekniikan projektipäällikköä Vesa Virkkiä sekä teknistä asiantuntijaa Timo Lehtistä haastattelusta. Haluan myös kiittää kaikkia valaistuksen tyytyväisyyskyselyyn vastanneita.

Haluan myös kiittää Anne Niemelää diplomityön oikoluvusta ja henkisestä tuesta.

Espoossa huhtikuun 6. päivänä 2010

Marko Stenman

# Sisällysluettelo

Alkulause .....	4
Sisällysluettelo .....	5
Kuva- ja taulukkoluettelot .....	7
Symboli- ja lyhenneluettelo .....	8
1 Johdanto .....	9
1.1 Työn pääpiirteet ja tavoitteet .....	9
1.2 LEED-ympäristöluokitussertifiointi .....	9
1.3 Pöyry Building Services Oy .....	10
2 Leadership in Energy and Environmental Design .....	11
2.1 LEED pähkinäkuoressa .....	11
2.2 Minimivaatimukset .....	12
3 LEED sähkösuunnittelun ja valaistussuunnittelun kannalta .....	15
3.1 LEEDin painotukset sähkösuunnittelussa .....	15
3.1.1 Mittaus ja varmentaminen .....	15
3.2 LEEDin painotukset valaistussuunnittelussa .....	16
3.2.1 Valosaasteen vähentäminen .....	16
3.2.2 Käyttäjakohtaiset säädöt - valaistus .....	17
3.3 Lintulahdenvuoren toimistorakennus .....	19
4 Omavarainen energiantuotanto ja vihreä sähkö .....	22
4.1 Omavarainen kohteessa tuotettu energia .....	22
4.2 Vihreä sähkö .....	22
5 LEED-projektien tarkastelua .....	24
5.1 Tutkimuksia ja näkemyksiä .....	24
5.1.1 LEED-luokituksen hinnan arviointi .....	24
5.1.2 LEED-luokituksen energiatehokkuuden arviointi .....	25
5.2 Tulevaisuuden näkymiä Suomessa .....	26
5.3 LEED-luokituksen käyttö ja tunnettavuus Building Services Oy:n sähköosastolla .....	27
6 Mittaus ja varmennus .....	29
6.1 Järjestelmän yleiskuvaus .....	29
6.2 Perinteinen sähkönjakelu toimistorakennuksessa .....	30
6.3 Virtakiskojakelujärjestelmä .....	31
6.3.1 Keskittehojakelu .....	31
6.3.2 Toimistokerroksien virranjakelu .....	32
6.3.3 Alamittausjärjestelmä .....	35
7 Valaistussuunnittelu .....	37
7.1 Valaistuksen tarkastelu .....	37
7.2 Vakiovalonsäädön toiminta toimistohuoneessa .....	38
7.3 Tyytyväisiskyselyn analysointi .....	41
7.4 Valaistuksen suunnittelu ja ohjelmoinnin tarkastelu .....	41
8 Yhteenveto .....	43
Lähdeluettelo .....	45
9 Liitteet .....	47
Liite 1. LEED projektien luokituskriteerit .....	47
Liite 2. Kysymykset Lintulahdenvuoren toimistorakennuksen käyttäjille .....	49
Liite 3. Kysymykset Skanska Oy:n projektipäälliköille .....	50
Liite 4. Kysymykset Pöyry Building Services Oy:n työntekijöille .....	51
Liite 5. Valaistusmittaukset Lintulahdenvuoren toimistorakennuksessa .....	52
Liite 6. Delta Ohm HD2102.2 mittalaitteen lux anturin tekniset tiedot .....	53
Liite 7. Dialux valaistussimulointi .....	54

Liite 8. Virtakisko.....	55
Liite 9. Läsnaöloilmaisimen tekniset tiedot.....	56
Liite 10. Tyytyväisyyskyselyn tulokset.....	57

## Kuva- ja taulukkoluettelot

Taulukko 1. LEED-NC-luokituksen pistemäärät (U.S. Green Building Council 2005) (U.S. Green Building Council 2009).....	11
Taulukko 2. LEED-luokituksen kategoriat ja pistemäärät sekä aihealueet (U.S. Green Building Council 2009). .....	12
Taulukko 3. Valaistustehojen maksimiarvot valosaasteen vähentämisessä (U.S. Green Building Council 2009). .....	16
Taulukko 4. Uusiutuvan energian osuus rakennuksessa ja siitä saatavat pisteet (U.S. Green Building Council 2009).....	22
Taulukko 5. Päivänvalon valaistusvoimakkuudet huoneessa, luksia / prosenttia ulkona olevasta voimakkuudesta 12500 lx.....	39
Kuva 1. Lintulahdenvuoren toimistorakennus. ....	19
Kuva 2. Jakelukotelo kaapelihyllylle asennettuna. (Nousiainen 2009).....	20
Kuva 3. Virtakiskojakelu sekä EnstoNet-kaapelointia (Nousiainen 2009). ....	20
Kuva 4. Mitatut energiansäästöt verrattuna simuloituihin (Mark Frankel 2008). ....	25
Kuva 5. Vihreän rakentamisen sopivat lisäkustannukset (Anttila 2008).....	26
Kuva 6. Ympäristöluokitusjärjestelmien tunnettavuus (Anttila 2008).....	27
Kuva 7. Perinteinen nousujohtokaavio toimistorakennuksissa.....	30
Kuva 8. Canalis KS-virtakisko 100–1000A (Schneider Electric 2009).....	31
Kuva 9. KS-virtakiskon syöttöyksikkö (Schneider Electric 2009). ....	32
Kuva 10. KS-virtakiskon virranotin (Schneider Electric 2009).....	32
Kuva 11. Toimistokerroksien KBB-virtakisko (Schneider Electric 2009).....	33
Kuva 12. Virransyöttöyksikkö, 25A ja 40A (Schneider Electric 2009).....	34
Kuva 13. KBB-virtakiskon virranotin (Schneider Electric 2009).....	34
Kuva 14. Virtakiskojakelujärjestelmän yleiskuvaus. ....	35
Kuva 15. PM9C virtamittari (Schneider Electric Industries SAS 2009).....	36
Kuva 16. Yhdyskätävät (Schneider Electric Industries SAS 2009). ....	36
Kuva 17. Toimistohuoneen valaisimet sekä paloilmaisin ja läsnäolosensori. ....	37
Kuva 18. Valaistusvoimakkuusmittauksien tulokset.....	39
Kuva 19. Valaistusvoimakkuuden simuloitut arvot, luksia. ....	40
Kuva 20. Lintulahdenvuoren toimistorakennuksen pohjapiirustus.....	40

## Symboli- ja lyhenneluettelo

ASHRAE	The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CBECS	Commercial Buildings Energy Consumption Survey
CFC	Chlorine-Fluorine-Carbon
DALI	Digital Addressable Lighting Interface
LEED	Leadership in Environmental and Energy Design
lm	Lumen
LVI	Lämpö, Vesi ja Ilma
lx	Luksi
IPMVP	International Performance Measurement and Verification Protocol
M&V	Mittaus ja Varmennus
PIR	Passive Infrared
USGBC	United States Green Building Council
LEED-lyhenteet:	
SS	Sustainable Sites
WE	Water Efficiency
EA	Energy & Atmosphere
MR	Materials & Resources
IEQ	Indoor Environmental Quality
ID	Innovation In Design



# 1 Johdanto

## 1.1 Työn pääpiirteet ja tavoitteet

Tämän diplomityön tarkoituksena on esitellä LEED-ympäristöluokitus (Leadership in Energy and Environmental Design) sekä sen vaikutukset toimisto- ja liikerakennusten suunnitteluun. Työ tehdään Pöyry Building Services Oy:ta varten ja tarkoituksena on selvittää, mitä hyötyjä LEEDistä on yritykselle ja miten se vaikuttaa suunnittelutapoihin. Ympäristöluokituksen vaikutukset ja vaatimukset käydään läpi työn teoriaosassa (kappaleet 1–5). Lisäksi diplomityössä tutkitaan maailmalla tehtyjen luokitusten vaikutuksia energiansäästöön.

Työn käytännön osuudessa tutkitaan uusia valaistusratkaisuja ja suunnitellaan toimistorakennuksen virtakiskojakelujärjestelmä, joka on yleistymässä energiatehokkaassa toimistorakentamisessa. Jakelujärjestelmä mahdollistaa entistä tarkemman sähkönkulutuksen alamittauksen, mikä on yksi LEED-ympäristöluokituksen vaatimuksista. Valaistusosiossa tutkitaan vakiovalonsäätimen toimintaa. Suurimmaksi osaksi työ perustuu kuitenkin työntekijöiden haastatteluihin, jotka koskevat luokituksen lisävaatimuksia suunnitteluun sekä uusien valaistusratkaisujen suunnitteluperusteita ja toteutuneen valaistusratkaisun tyytyväisyyttä.

## 1.2 LEED-ympäristöluokitussertifiointi

Tämän kappaleen tarkoituksena on tarkastella LEED-ympäristöluokituksen (Leadership in Energy and Environmental Design) käyttöä toimistorakennusten ympäristöystävällisessä suunnittelussa. Työ keskittyy LEED-NC 2009 (New Construction) luokitukseen, joka on tarkoitettu uusien toimisto- ja viristorakennusten suunnittelun tueksi. Koska LEED-käsikirjaa ei ole lokalisoitu vielä Suomeen, termeistä käytetään niiden englanninkielisiä nimiä sekaannuksen välttämiseksi.

Nykyään tiukentuneilla ympäristövaatimuksilla sekä EU:n asettamalla energiapalveludirektiivillä (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/32/EY), joka vaatii yhdeksän prosentin energiansäästöä vuoteen 2016 (EU 2006) mennessä, on ollut lisäävä vaikutus erilaisia ympäristöluokituksia kohtaan. Tästä syystä myös LEED-ympäristöluokitus on saanut lisää huomiota. Toimitilojen rakentajat ja vuokraajat ovat alkaneet lisätä ja vaatia uusien toimitilojen energiatehokkaampaa suunnittelua. Myös energian hintojen tasainen nouseminen, energiaverotus ja päästökaupat vaikuttavat lisäävästi erilaisten luokitusten suosioon. Ympäristötietoiset yritykset haluavat myös saada toiminnalleen positiivisen imagon. LEED-luokitusjärjestelmä arvioi laajasti ympäristömyönteisyyttä kohteen sijainnista materiaalivalintoihin aina energiankulutukseen asti.

LEED-ympäristöluokitus on nousemassa maailmanlaajuisesti tunnetuimmaksi rakennusten luokittelujärjestelmäksi. Suomessa sijaitsee Pohjoismaiden ensimmäinen LEED-esisertifioinnin saanut toimistorakennus Kiinteistö Oy Lintulahdenvuori (Nousiainen 2009). Kyseisen toimistorakennuksen sertifiointi on tehty vanhemman LEED-NC 2.2 luokituksen mukaan. LEED-luokituksen suurimpina valtteina ovat sen kansainvälinen tunnettavuus ja vertailukohdat. Luokituksen saaminen edellyttää

projektin rekisteröimistä USGBC:n (United States Green Building Council) rekisteriin ja tarkan englanninkielisen dokumentaation toimittamista projektista.

LEED-projekteissa suunnittelijat joutuvat tekemään entistä enemmän ja tiiviimpää yhteistyötä, jotta luokituksen kriteerit täyttyvät ja energiatehokkuus paranee. LEED-luokitus aiheuttaa sähkösuunnittelijoille entistä tarkempaa paneutumista etenkin sähkönkulutuksen seurantaan sekä valaistuksen ohjaukseen ja valosaasteen minimoimiseen.

### **1.3 Pöyry Building Services Oy**

Pöyry Building Services Oy on yritys, joka tarjoaa talotekniikan suunnittelupalveluita LVI- ja sähkösuunnittelun alalla (Pöyry Finland 2010). Pöyry tarjoaa talotekniikan palveluita monenlaisiin kohteisiin, kuten liike-, teollisuus- ja julkisiin rakennuskohteisiin sekä infrarakennuskohteisiin.

## 2 Leadership in Energy and Environmental Design

### 2.1 LEED pähkinäkuoressa

Rakennukset vaikuttavat pohjimmiltaan ihmisten elämään ja planeettamme vointiin, sanotaan LEED-luokituksen johdannossa (U.S. Green Building Council 2009). Yhdysvalloissa rakennukset kuluttavat yhden kolmanneksen koko valtion energiankulutuksesta sekä kaksi kolmannesta sähkönkulutuksesta (U.S. Green Building Council 2005). Rakennukset kuluttavat huomattavat määrät vettä ja muuttavat maa-alueita käyttökelvottomiksi. LEED-luokituksen käyttäminen suunnittelun apuna auttaa ottamaan huomioon edellä mainitut seikat ja ympäristöystävällisemmän suunnittelun. LEED-ympäristöluokitus on United States Green Building Councilin (USGBC) kehittämä luokitusjärjestelmä, joka on jaettu kuuteen alakategoriaan. Näissä kategorioissa otetaan eri asioita huomioon aina rakennuksen sijaintipaikasta ja siihen liittyvistä ympäristönäkökulmista vesitehokkuuteen, energiatehokkuuteen, materiaalien käyttöön, sisäilmanlaatuun sekä innovatiivisiin ratkaisuihin. LEED-luokituksessa rakennuksille annetaan pisteitä eri kategorioissa niiden ympäristöystävällisyydestä. Sertifioinnin edellytyksenä on seitsemän perusedellytystä sekä minimissään 40 pistettä sadasta, joka on maksimipistemäärä. Rakennuksen tulee myös täyttää ASHRAE-energiämääräysten minimitaso ja saada kolmannen osapuolen varmennus.

LEED-NC 2009 -luokitus otettiin käyttöön vuonna 2009. Sitä ennen käytettiin luokituksen versiota 2.2 (U.S. Green Building Council 2005), jossa minimipistemäärä on 26 pistettä 69 pisteestä. Luokituksen mukaan rakennukset jaetaan neljään eri tasoon, joihin oikeuttavat pisteet on lueteltu taulukossa 1. Sähkö- ja valaistussuunnitteluun vaikuttavat energiatehokkuusarvot ovat samat molemmissa versioissa.

**Taulukko 1. LEED-NC-luokituksen pistemäärät (U.S. Green Building Council 2005) (U.S. Green Building Council 2009).**

Luokitus	Sertifioitu	Hopea	Kulta	Platina
LEED 2.2	26-32	33-38	39-51	52-69
LEED 2009	40-49	50-59	60-79	80-100

**Taulukko 2. LEED-luokituksen kategoriat ja pistemäärät sekä aihealueet (U.S. Green Building Council 2009).**

Aihe englanniksi	Aihe	Pisteet	Sisältö
Sustainable Sites (SS)	Kestävä tonttiympäristö ja lähiympäristö	26	Tontin valinta, yhdyskuntarakenteeseen kytkeytyminen, vaihtoehtoiset kulkuyhteydet, pilaantuneen maan kunnostaminen, valosaasteen vähentäminen
Water efficiency (WE)	Vedenkäytön hallinta ja tehostaminen	10	Kasteluveden vähentäminen, mustien vesien vähentäminen, vedenkäytön vähentäminen
Energy & Atmosphere (EA)	Energiankäytön hallinta ja tehostaminen	35	Energiatehokkuus, energiankäytön tehostaminen, tontilla tuotettu uusiutuva energia, mittaus ja varmentaminen, vihreä sähkö
Materials & Resources	Materiaalien käytön tehostaminen	14	Käytönaikainen jätehuolto, vanhojen rakenteiden säilyttäminen, rakennusaikaisen jätteen hallinta, materiaalien uudelleenkäyttö, kierrätetyn aineen osuus rakennusmateriaaleissa, paikalliset rakennusmateriaalit, nopeasti uusiutuvat materiaalit
Indoor Environmental Quality (IEQ)	Sisäympäristön laatutekijät	15	Sisäilman vähimmäislaatu, ilmanvaihdon kasvattaminen, käyttäjäkohtaiset säädöt, lämpöolosuhteet, päivänvalon hyödyntäminen
Innovation In Design (ID)	Suunnittelun innovaatiot	6	Poikkeuksellinen suoritus
Regional priority	Alueellinen prioriteetti	4	Alueellinen prioriteetti

LEED-ympäristöluokituksen kuusi eri kategoriala ja niiden maksimipisteet on esitetty taulukossa 2. Englanninkielisiä lyhenteitä ja numeroa, esimerkiksi EA 5.1, käytetään ilmaisemaan mihin LEED-luokituksen pisteeseen viitataan.

Liitteessä 1 on listattu kaikki luokituksen vaatimukset sekä pisteytysjärjestelmä. LEED-ympäristöluokituksen saamista varten rakennuksen ympäristöystävälliset suunnitteluratkaisut tulee dokumentoida tarkkaan, jotta rakennukselle voidaan suorittaa tarkastus, joka oikeuttaa LEED-sertifiointiin.

## **2.2 Minimivaatimukset**

Liitteessä 1 on esitelty LEED-projektien vaatimukset sekä minimivaatimukset, jotka on merkitty prerequisite-merkinnällä. Nämä ovat pakollisia kaikissa projekteissa, joille haetaan LEED-luokitusta ja niistä ei saa pisteitä.

Pakolliset vaatimukset:

1. Sustainable Sites prerequisite 1: Construction Activity Pollution Prevention
2. Energy and Atmosphere prerequisite 1: Fundamental Commissioning of the Building Energy Systems
3. Energy and Atmosphere prerequisite 2: Minimum Energy Performance
4. Energy and Atmosphere prerequisite 3: Fundamental Refrigerant Management
5. Materials & Resources prerequisite 1: Storage & Collection of Recyclables
6. Internal Environmental Quality prerequisite 1: Minimum IAQ Performance
7. Internal Environmental Quality prerequisite 2: Environmental Tobacco Smoke (ETS) Control

sekä samat suomeksi:

1. Kestävän tonttiympäristön vaatimus 1: Työnaikaisen saastuttamisen vähentäminen
2. Energiankäytön hallinan vaatimus 1: Rakennuksen energialaitteistojen toimintakuntoon saattaminen
3. Energiankäytön hallinan vaatimus 2: Minimienegiatehokkuusvaatimus
4. Energiankäytön hallinan vaatimus 3: Jäähdytysjärjestelmien perusominaisuudet
5. Materiaalien käytön tehostamisen vaatimus 1: Kierrätyksen mahdollistaminen
6. Sisäympäristön laatutekijöiden vaatimus 1: Minimivaatimukset sisäilman laadulle
7. Sisäympäristön laatutekijöiden vaatimus 2: Tupakansavun kontrolloiminen

Ensimmäisen vaatimuksen tarkoituksena on vähentää rakentamisen aikaista saastumista kontrolloimalla maaperän eroosiota, vesistön sedimentoitumista ja pölyn syntymistä. Projektissa tulee määrittellä eroosion ja sedimentaation hallitsemisohjelma, joka koskee kaikkia rakennusaktiviteetteja. Ohjelmassa tulee määrittellä, miten siinä estetään maaperän vähenemistä sadeveden ja tuulen mukana, sedimentaation syntymistä sekä pölyn ja hiukkasten ilman saastuttamista.

Toisen vaatimuksen tarkoituksena on varmistaa, että rakennuksen energiaan liittyvät laitteistot on asennettu, kalibroitu ja että ne toimivat rakennuksen omistajan projektin määrittelyn mukaan. Vaatimuksena on, että projektiin määritetään käyttöönotosta vastaava henkilö, joka johtaa ja valvoo käyttöönoton aktiviteetteja.

Kolmas vaatimus määrittelee, että rakennukselle määritetään minimi energiatehokkuustaso. Rakennuksen LVI, valaistus ja muiden järjestelmien energiatehokkuus tulee maksimoida, ASHRAE 90.1 -standardissa (ASHRAE 2004) on määritelty tarkemmin vaadittavat minimienergiatehokkuudet. Jotta projekti voi saavuttaa LEEDin vaatimuksen, rakennuksen energiatehokkuudesta tulee tehdä tietokonemallinnus.

Neljännessä vaatimuksessa kerrotaan, että jäähdytysjärjestelmissä käytettyjen lämmönsiirtoaineiden tulee olla CFC-vapaita (Chlorine-Fluorine-Carbon).

Viides vaatimus määrittelee, että rakennuksessa tulee olla helposti löytyvä kierrätysalue, joka palvelee koko rakennusta. Kierrätysalueelta tulee löytyä keräys- ja varastointipiste vaarattomille materiaaleille kuten paperille, pahville, lasille, muoveille ja metalleille.

Kuudes vaatimus asettaa vaatimukset rakennuksen sisäilmanlaadulle. Tarkemmat vaatimukset löytyvät myös ASHRAE 90.1-standardista.

Seitsemäs vaatimus määrittelee, että rakennuksen asukkaiden tulee altistua mahdollisimman vähän tupakansavulle. Vaatimuksen voi toteuttaa joko kieltämällä tupakoinnin koko rakennuksessa tai järjestelmällä tupakointitilat vähintään 20 metrin päähän sisäänkäynneistä sekä ilmanottoaukoista ja ikkunoista. Vaatimuksen voi myös toteuttaa tupakointihuoneilla, jotka täyttävät tarkat vaatimukset ilmanlaadun suhteen. Näiden huoneiden ulosvirtaava ilma ei saa sekoittua missään vaiheessa sisäilmaan, vaan se tulee ohjata suoraan ulos.

## **3 LEED sähkösuunnittelun ja valaistussuunnittelun kannalta**

LEED vaikuttaa sähkösuunnitteluun vain pienessä osassa vaatimuksia. Tärkeimmät pisteet koskevat seuraavia alueita: Kestävä tonttiympäristö 8: valosaaste; Energiankäytön hallinta 5: mittaus ja varmentaminen; Sisäympäristön laatutekijät 6.1: Käyttäjakohtaiset säädöt – valaistus.

### **3.1 LEEDin painotukset sähkösuunnittelussa**

#### **3.1.1 Mittaus ja varmentaminen**

Mittauksella ja varmentamisella tarkoitetaan sitä, että kiinteistössä pyritään järjestämään sähkön alamittaukset siten, että kiinteistösähkön osuus saadaan mitattua (U.S. Green Building Council 2009). Rakennukseen tulee asentaa tarvittavat mittauslaitteet, jotta energiankäyttöä voidaan verrata simuloituun tapaukseen. Lähtökohtana on paljastaa mahdolliset suunnittelun ja toteutuksen epäjohtonmukaisuudet. Mittausten aloitusajankohta tulisi valita siten, että kiinteistö on saavuttanut jo riittävän käyttöasteen. Mittauksen ja varmennuksen voi tehdä suunnittelusta vastaava suunnittelija tai kolmas osapuoli. Mittaus- ja varmennuspisteestä Energiankäytön hallinta 5 saadaan toteutettaessa kolme pistettä.

Optimaalisen energiankäytön hyödyt tulevat ilmi pitkän aikavälin sisällä. Yleensä jo pienikin energiansäästö voi tuoda vuosien saatossa mittavat säästöt. Yleensä nämä pitkän aikavälin säästöt ovat menneet hukkaan huollosta vastaavien henkilöiden vaihtuessa sekä laitteistojen ikääntyessä ja vuokralaisten vaihtuessa. Sen takia on tärkeää, että mittaus- ja varmennustoimintoja toimeenpannaan, jotta saadaan ylläpidettyä rakennuksen optimaalista energiankäyttöä. Mittaus- ja varmennustoimenpiteiden tarkoituksena onkin mahdollistaa rakennuksen omistajille työkalut epäedullisten järjestelmien paikantamiseen ja optimointiin.

Mittaus- ja varmennusjärjestelmän toteuttaminen aiheuttaa projektille lisäkustannuksia. Kulut syntyvät lisääntyneistä mittareiden määrästä, ohjausjärjestelmistä sekä sähkönkulutuksen valvonnasta ja käsittelystä. Jos projekteissa käytetään hienostuneita digitaalisia ohjausjärjestelmiä, ne voivat mahdollistaa M&V (Mittaus ja Varmennus)-järjestelmän aiheuttamatta huomattavia kuluja. Suuremmat projektit useine ilmanvaihtolaitteineen vaativat useampia mittauspisteitä ja -laitteita kuin pienemmät projektit, joten niissä tulee tarkastella mahdollisia energiansäästöjä M&V-laitteiden aiheuttamiin lisäkustannuksiin.

Dokumentointivaatimuksina pisteen saamiseksi tulee toimittaa kiinteistösähkön alamittausten järjestelmäkuvaus sekä selostus kaikista kohteen erityispiirteistä ja laskelmista, jotka saattavat vaikuttaa pisteen saamiseen.

## 3.2 LEEDin painotukset valaistussuunnittelussa

Valaistussuunnittelun vaatimukset pohjautuvat suoraan ASHRAE 90.1 -standardiin. Suunnitteluoppaan mukaan (U.S. Green Building Council 2009) tärkeimmät painotusalueet ovat valosaasteen vähentäminen ja käyttäjäkohtaisten valaistussäätimien määrän lisääminen.

### 3.2.1 Valosaasteen vähentäminen

Vaatimuksen tarkoituksena on minimoida valon kulkeutuminen rakennuksesta ja tontilta sekä vähentää valosaastetta taivaalle ja vähentää yölliselle luonnolle aiheutuvaa räsitettä (U.S. Green Building Council 2009). Sisävalaistus on suunniteltava siten, että valaisimet, jotka valaisevat rakennuksen ulkopuolelle voidaan himmentää vähintään 50-prosenttisesti klo 23 ja 05 välillä. Käyttö tänä aikana voidaan tehdä lisäaikakytkimin. Vaatimus ei koske turvavalaistusta.

Ulkovalaistus tulee suunnitella siten, että ulkoalueiden keskimääräinen valaistusteho on taulukossa 3 esiteltyjen raja-arvojen alapuolella:

**Taulukko 3. Valaistustehojen maksimiarvot valosaasteen vähentämisessä (U.S. Green Building Council 2009).**

Alue	Valaistusteho W/m <sup>2</sup>
Kävelytiet ja aukiot	1,7
Portaat	8,6
Katetut alueet	10
Sisäänkäynnit: Pääovet	78
Sisäänkäynnit: Muut	52
Julkisivut	1,7 tai 13

Nämä vaatimukset koskevat kaupallista, teollista ja tiheästi asutettua aluetta. Lisäksi vaatimuksena on, että valaistusvoimakkuus öiseen aikaan tontin rajalla on korkeintaan 2,1 lx sekä tontin rajasta 4,5 metrin päässä maksimissaan 0,1 lx. Ulkovalaistuksessa tulee ottaa huomioon esim. kauppojen aukioaloajat sekä olosuhteet, jolloin valaistusta tarvitaan.

Arkkitehtuuristen valaisimien ja maisemointivalaisimien käyttöä tulisi vähentää kohteissa. Lisäksi maksimissaan 5% valonlähteen valovirrasta saa osoittaa taivaalle. Jos valaistusta tarvitaan kuitenkin lisäämään turvallisuuden tunnetta tai valaistusta tarvitaan vartiointia ja tunnistusta varten, valaisimet tulisi mieluummin suunnata alaspäin kuin ylöspäin.

Valaisimien valinnassa ja ulkovalaistuksen suunnittelussa tulee harkita seuraavien toimenpiteiden käyttöä:

- Valaistusalueet tulee määrittää ja priorisoida
- Valaistusvaatimusten täyttämiseen tulee käyttää mahdollisimman vähäistä valaisinmäärää sekä samoja valaisintyyppisiä
- Tulee käyttää hyödyksi tietokonepohjaista valaistuksenmallinnusta



Pisteen saavuttamiseksi vaadittava dokumentaatio käsittää seuraavien tietojen dokumentointia:

Valaistussuunnitelmat, jotka sisältävät tiedot valaisintyypeistä sekä niiden sijainnista rakennuksessa

Varmistus siitä, että automaatti sammuttaa valot työskentelyaikojen ulkopuolella tai automaattiset varjostimet kaikkiin kohtiin, joista valo voi näkyä ulos

Kohteissa, joissa on ulkovalaistus, tulee dokumentoida seuraavat asiat:

- taulukko valaistustehoista ( $W/m^2$ ), jossa näkyy valaisinten sijainnit sekä niiden valaisema ala ja valaistusteho ( $W/m^2$ )
- valaistusaikataulut ulko- että sisävalaistukselle
- valosaasteen vaikutuksista tontin ulkopuolelle tulee toimittaa esim. tonttikartta, josta selviää valaistusvoimakkuus tontin rajalla

Lisäksi energianhallinta asettaa valaistukselle seuraavat vaatimukset:

- Valaistuksen tulee olla ohjattavissa aikaohjelmalla, liiketunnistimella tai ajastimella
- Riippuen tilan koosta valaistusta tulee voida ohjata yhdellä kytkimellä

Tilan ollessa suurimmillaan  $930 m^2$  tulee voida ohjata  $230 m^2$  kokoisia alueita ja alueen ollessa suurempi kuin  $930 m^2$ , yhdellä kytkimellä tulee voida ohjata korkeintaan  $930 m^2$  kokoista aluetta. Myös myymälöiden esittelyvalaistus tulee varustaa kytkimellä. Yli  $100W$  tehoisten valaisimien tehokkuuden tulee olla vähintään  $60 lm/W$ . Poistumiskylttien tulee olla korkeintaan  $5W$  tehoisia. Ulkovalaistuksen tulee olla varustettu hämäräkytkimellä ja se on voitava sammuttaa myös yöllä, kun sille ei ole tarvetta.

### **3.2.2 Käyttäjakohtaiset säädöt - valaistus**

Valaistussuunnittelun tarkoituksena on luoda valaistus, joka takaa jopa yksittäisen käyttäjän mahdollisuuden valaistuksenohjaukseen (U.S. Green Building Council 2009). Tarkoituksena on luoda työryhmäkohtaisesti tai henkilökohtaisesti korkealaatuinen säätöjärjestelmä, joka takaa tuottavuuden, mukavuuden ja hyvän olon tunteen työskentelijoille.

Käyttäjakohtaiset säädöt – valaistus-pisteen (IEQ Piste 6.1) saavuttamiseksi tulee vähintään 90% käyttäjistä olla mahdollisuus omakohtaiseen valaistuksen säätöön, joka sopii parhaiten kunkin työntekijän omiin vaatimuksiin. Lisäksi myös usean käyttäjän tiloissa tulee olla säädettävä valaistus, jotta työryhmät voivat saavuttaa parhaat valaistusolot. Pisteen tarkoituksena on kannustaa valaistuksen suunnitteluun ottaen samalla huomioon energian käytön.

LEED-oppaan (U.S. Green Building Council 2009) perinteisissä rakennuksissa on liian usein käytetty vain kiinteää valaistusvoimakkuutta, jolloin ei ole otettu huomioon tila- ja tehtäväkohtaisia valaistusvoimakkuusarvoja. Oppaan mukaan tulisi suosia tiettyä yleistä valaistustasoa, jota tulisi täydentää tehtäväkohtaisella lisävalaistuksella.

Suunnittelun alkuvaiheessa tulee ottaa huomioon asiakkaan tarpeet valaistusvoimakkuuksien suhteen ja selvittää, mitä työtehtäviä tehdään missäkin tilassa. Suunniteltaessa yleisvalaistusta ja työkohtaista valaistusratkaisua tilaan tulisi saada mahdollisimman tasainen valaistus, jotta suuren kontrastin alueet eivät antaisi kuvaa alentuneesta valaistusvoimakkuudesta. Päivänvalon ja vakiovalonsäätimien käyttöä tulisi suosia, koska ne samalla vähentävät energiankulutusta. Tärkeää on myös kartoittaa, tarvisevatko valaistus- tai säätöjärjestelmät kalibrointia tai käyttöönottotestejä ennen vuokralaisten tuloa.

Oppaan mukaan läsnäolosensorit, päivänvalosensorit sekä muut valaistuksenohjausjärjestelmät eivät välttämättä toimi hyvin jos niiden eteen on sijoitettu toimistokalusteita. Käyttöönoton jälkeen tulee varmistua siitä että 90% käyttäjistä on mahdollisuus valaistuksensäätöön.

Varmennettaessa pisteen vaatimuksia tulee laskea yksittäisten henkilöiden käyttämät työasemat, yksityiset työhuoneet, avotoimistotyöpisteet, vastaanottotiskit ja muut vastaavat tilat, jotka vaativat valaistuksenohjausta. Näissä pisteissä tulee olla työtehtäviin vaatimuksen täyttävä valaistus tai yleisvalaistusta täydentävä valaisin, jota on mahdollista säätää. Minimissään siinä on oltava virtakytkin. LEEDin mukaan näiden valaisimien ei tarvitse olla kiinteästi johdotettuja.

Monen käyttäjän jakamissa tiloissa tulee olla riittävät säätimet, jotta tarvittavat valaistustasot voidaan saavuttaa. LEED luokitus ei suoraan määrittele vaatimuksia kyseisille säätimille, mutta säätimet tulisi suunnitella muuntojoustavuutta silmälläpitäen. Neuvotteluhuoneet on yleensä merkitty varauksin, jotta ne voidaan myöhemmin muuntaa toimistotiloiksi tai toisinpäin. Päivänvaloa hyödynnettäessä molemmissa tapauksissa tulee huomioida myös häikäisyn minimoiminen, valaistuksensäätö sekä tarvittaessa huoneen pimennys.

Tarkempi valaistussuunnittelu ja valaistuksenohjauksen rakentaminen tulee alkujaan kalliimmaksi, mutta sen tuomat säästöt vuosien varrella yleensä maksavat itsensä takaisin. Myös alhaisempi lämpökuorma alentaa kustannuksia. Hyvän suunnittelun lisäksi on myös tärkeää opastaa vuokralaisia ohjausjärjestelmien käytössä. Läsnaolotunnistimien ja yksittäisten säädinten avulla kokonaisenergiakulut pienenevät.

Pisteen saavuttamiseksi vaadittava dokumentaatio käsittää seuraavien tietojen dokumentointia:

- Yksittäisten työasemien ohjausta varten tulee toimittaa lista kyseisten työasemien määrästä sekä valaistuksenohjauskytkinten määrästä
- Lisäksi tarvitaan lista yhteiskäytössä olevista työtiloista sekä selostus siitä miten näiden tilojen valaistuksenohjaus on suoritettu

### 3.3 Lintulahdenvuoren toimistorakennus



**Kuva 1.** Lintulahdenvuoren toimistorakennus.

Lintulahdenvuoren toimistotalo on ensimmäinen pohjoismainen rakennus, joka on LEED-ympäristöluokituksen mukaan esisertifioitu (Nousiainen 2009). Hankkeeseen on valittu erityisesti energiatehokkaita ratkaisuja ja osa ratkaisuista on jouduttu räätälöimään kyseistä projektia varten. ”Sähkönjakelu ja valaistuksen ohjaus on toteutettu ratkaisulla, joka edustaa alan viimeisintä osaamista” (Nousiainen 2009). Toimistorakennuksen rakennuttaja Skanska Commercial Development Finland Oy:n projektipäällikkö Antti Nousiainen kertoo Skanskan panostaneen kohteessa kestäväan kehitykseen sekä erityisesti energiansäästöön. Tämän lisäksi Skanska Oy haluaa tarjota asiakkailleen ”kilpailukykyiset, nykyaikaiset ja vuokratiluksiltaan edulliset toimitilat” (Nousiainen 2009).

Lintulahdenvuoren toimistorakennuksen suunnittelussa on otettu huomioon pitkä elinkaari, muunneltavuus ja energiatehokkuus. Suunnittelussa panostettiin myös siihen, että kaikki kustannukset ovat helposti mitattavissa ja raportoitavissa. Näin vuokralaiset pystyvät itse seuraamaan ja vaikuttamaan kulutukseensa. Nousiainen vakuuttaa LEED-sertifioinnin olevan paras mittari määrittämään ympäristötehokkuutta, koska se mittaa hankkeiden ympäristövaikutuksia monipuolisemmin kuin muut standardit. Rakennus saa lopullisen sertifioinnin valmistumisensa ja käyttöönottonsa jälkeen.

Kiinteistön sähkönsuunnittelu oli alun perin tarkoitus tehdä käyttäen perinteisiä ratkaisuja, mutta projektin edetessä huomattiin, että muunneltavuus vaati uudenlaisia ratkaisuja. Kohteen toimistokerroksien sähkönjakelu toteutettiin virtakiskojakeluna ja toimistokerroksissa ei ole enää perinteisiä ryhmäkeskuksia ollenkaan. Valaistuksenohjaus on toteutettu käyttäen Enston KNX-automaatiojärjestelmää. Sähkönsyöttö on toteutettu pääkeskuksesta tulevilla nousuilla, jotka haarautuvat toimistokerroksissa virtakiskoihin. Toimistotiloissa virtakiskot on ryhmitelty normaaleihin syöttöihin ja atk-laitteita palveleviin syöttöihin. Virtakiskoista sähkönjakelu siirtyy jakelukoteloiden kautta käyttöpisteisiin. Jakelukotelot kiinnitetään

johtoteille ja ne sisältävät KNX-komponentit, automaattit sekä vikavirtasuojakytkimet. Koteloissa ja kaapeleissa on käytetty EnstoNet-pistoliittimiä. Ratkaisu mahdollistaa perusjakelun nopean rakentamisen johtoteiden rakentamisen jälkeen. Osia koko järjestelmästä suunniteltiin pelkästään kyseistä kohdetta varten. Kuvassa 2 näkyy kaapelihyllylle asennettu jakelukotelo.



**Kuva 2. Jakelukotelo kaapelihyllylle asennettuna. (Nousiainen 2009).**

Toimistotalon valaistuksenohjaus perustuu osoitteelliseen Dali-pohjaiseen järjestelmään, jossa ohjaus tapahtuu KNX-Dali gateway:llä. Jakelukotelot sisältävät valaistukselle tarkoitettuja KNX-väyläkomponentteja ja valaisimiksi valittiin Dali-liitäntäväylän sisältävät laitteet. Ohjaus tapahtuu joko painikkein tai läsnäolotunnistimien avulla ja osoitteellisuus mahdollistaa monipuoliset ohjaustavat ja energiansäästämisen. Kyseisessä kohteessa tärkeää oli myös vakiovalonsäätö ja päivänvalon hyödyn maksimoiminen. Läsnäolotunnistimia hyödynnetään myös ilmastoinnin ohjauksessa ja näin saadaan säästettyä yhä enemmän energiaa. LEED-luokituksen kannalta tärkeää on se, että jokaisella virtakiskolla on oma mittauksensa, jolloin käyttäjät pystyvät seuraamaan omaa kulutustaan.



**Kuva 3. Virtakiskojakelu sekä EnstoNet-kaapelointia (Nousiainen 2009).**

Muuntojoustavuuden takaamiseksi suurin osa johdotuksista on tehty EnstoNet-liittimiä käyttäen. Joustavuutta lisää myös se, että johtoteitä ja kaapeleita on korvattu virtakiskoilla, jolloin kaapeloinnit on helppo purkaa ja käyttää uudestaan. Valaisimien johdotusta varten Ensto muokkasi uuden liitännäsiemallin, jolloin valaisimien johdotus voitiin vetää normaalista poiketen ontelopalkkien sisällä lähelle valaisimen sijoituspaikkaa. Kestävää kehitystä ja paloturvallisuutta ajatellen kaapeloinnit on tehty halogeenittomilla kaapeleilla.

Skanska Commercial Development Finland Oy:n ympäristökoordinaattori Mia Andelin (Anttila 2008) kertoo ympäristöstä huolehtimisen olevan tärkeä osa Skanskan toimintaa. Andelin sanoo myös LEEDin sopivan Skanskan toimintaan hyvin, koska se on laaja sertifiointijärjestelmä, joka ottaa energiatehokkuuden lisäksi myös muut ympäristövaikutukset huomioon. Lisäksi LEEDin kansainvälisyys mahdollistaa järjestelmän käyttämisen muissa maissa, joissa yritys operoi. LEEDin hyödyiksi lasketaan se, että Lintulahdenvuoren kiinteistössä on vastaavia kiinteistöjä pienemmät ylläpitokustannukset. ”LEED-esisertifiointi on tukenut kohteen positiivisen imagon rakentamista ja markkinointia” summaa Andelin (Anttila 2008). Kohteen käyttäjät ovat ilmaisseet kiinnostuksensa LEEDiä kohtaan ja ympäristötietoiset asiakkaat voivat olla näin varmoja rakennuksen ympäristöystävällisyydestä.

## 4 Omavarainen energiantuotanto ja vihreä sähkö

### 4.1 Omavarainen kohteessa tuotettu energia

Omavaraisen energiantuotannon lisääminen toimistorakennusten yhteyteen on yksi LEEDin kestävän kehityksen alueista (U.S. Green Building Council 2009). Pisteenergiankäytön hallinta 2 tarkoituksena on innostaa ja rohkaista uusiutuvien energialähteiden käyttöä ympäristöhaittojen vähentämiseksi. Piste tarjoaa maksimissaan seitsemän pistettä riippuen omavaraisuuden asteesta, kuten taulukosta 4 ilmenee. Rakennuksen vaatimaa energiantarvetta voidaan arvioida käyttäen hyväksi EA 1 (Fundamental Commissioning of the Building Energy Systems) -kohdassa laskettua vuosittaista energiankulutusta tai sitten Department Of Energy (DOE) Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS) tietokannasta löytyvää arviota sähkönkulutuksesta.

**Taulukko 4. Uusiutuvan energian osuus rakennuksessa ja siitä saatavat pisteet (U.S. Green Building Council 2009).**

Uusiutuvan energian osuus	Pisteet
1 %	1
3 %	2
5 %	3
7 %	4
9 %	5
11 %	6
13 %	7

Kohteessa olevien järjestelmien tulisi joko tuottaa sähköä ja/tai lämpöä, joka käytetään rakennuksessa. Kohteessa sähköä tuottavien laitteiden tulisi olla varustettuja siten, että ne voidaan liittää sähköverkkoon ja ylijäämätilanteessa ylimääräinen tuotettu energia voitaisiin syöttää sähköverkkoon.

Uusiutuvien energialähteiden käyttö saattaa vaikuttaa rakennuksen energiakustannuksiin varsinkin, jos huippukäyttötunnin sähkönhinta nousee korkeaksi. Myös laitteistojen hankintaa saatetaan tukea tariffein ja tuin, jolloin energian hinta alenee.

Pisteiden saavuttamiseksi vaadittava dokumentointi koostuu seuraavista osista:

- Selostuksessa tulee selittää, mitä uusiutuvia energialähteitä kohteessa sijaitsee
- Jokaisen energialähteen vuosittainen energiantuotto ja vaihtoehtoinen tuottotapa, kun uusiutuva lähde ei ole käytössä
- Rakennuksen energiantarve tulee selittää joko käyttäen simuloitua laskelmaa tai sitten CBECS:n taulukkoa

### 4.2 Vihreä sähkö

Vihreän sähkön käyttö kohteessa oikeuttaa krediitin EA 6 saamisen. Krediitin EA 6 tarkoituksena on rohkaista verkosta ostetun uusituvilla polttoaineilla tuotetun sähkön ostamista ja kehittämistä (U.S. Green Building Council 2009). Krediitti tarjoaa kaksi

pistettä, jos rakennuksen sähkönkulutuksesta vähintään 35 % katetaan vihreällä sähköllä ja minimissään kahden vuoden sopimuksella. Vihreällä sähköllä tarkoitetaan uusiutuvilla energianlähteillä tuotettua sähköenergiaa. Rakennuksen kokonaiskulutus määritetään samalla tavalla kuin kappaleessa 4.1.

## 5 LEED-projektien tarkastelua

### 5.1 Tutkimuksia ja näkemyksiä

#### 5.1.1 LEED-luokituksen hinnan arviointi

Raportissa ”What Does Green Really Cost” (Morris 2007) summataan yhteen rakennusten vihreydestä aiheutuvia kustannuksia ja pohditaan mielikuvia siitä, miksi vihreiden rakennusten oletetaan olevan rakennuskustannuksiltaan kalliimpia kuin perinteisten rakennusten. Morris toteaa raportissaan ”ihmiset, jotka ovat vihreydelle vastahakoisia turvautuvat mielellään anekdooteihin jopa 30 % lisähinnoista”, mutta nämä arviot eivät perustu mihinkään tutkimuksiin. Vaikka vihreydelle ei voida antaa yksikäsitteistä lisähintaa, tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että ympäristöystävälliset ratkaisut tuovat hyvin vähän tai eivät ollenkaan lisähintaa rakennuksiin.

Morrisin raportin mukaan kestävä materiaalit ja järjestelmät ovat yleistymässä ja niiden kysyntä kasvaa jatkuvasti omistajien ja vuokralaisten ympäristötietoisuuden kasvaessa. Innovatiiviset ratkaisut voivat tuoda lisää kuluja projektiin ja niiden kustannukset riippuvat monista eri tekijöistä rakennustyyppistä aina suunnittelijoiden pätevyyteen.

Raportti ”What Does Green Really Cost” toteaa LEED-luokituksen olevan yksi käytetyimmistä ympäristöluokitusjärjestelmistä Yhdysvalloissa ja sen suosioista kertoo sekin, että sille on lähiaikoina kehitetty useita kilpailevia luokituksia (Morris 2007). Nämä luokitukset pyrkivät parantamaan tai paikkaamaan LEED-luokituksen epätasapainoa ja puutteita. Suurimpia kritiikin kohteita LEED-luokituksessa on krediittien painotuksen puute, paperitöiden ja dokumentoinnin raskaus sekä tiettyjen asioiden huomiotta jättäminen.

Kaikki luokitusjärjestelmät painottavat eri tavalla eri osa-alueita ja jokainen niistä on omalta osaltaan riittävä järjestelmä kuvaamaan rakennuksien kestävää suunnittelua. Tärkeintä on se, että asiakkaat osaavat valita itselleen sopivimman luokitusjärjestelmän. Ei riitä, että asiakkaat vaativat ”projektin olevan vihreä”, vaan vihreysasiat tulisi ottaa huomioon jo aikaisessa suunnittelun vaiheessa. Erittäin olennaista on myös se, että rakennuksen eri järjestelmiä ei suunnitella osissa vaan panostetaan integroituun suunnitteluun, jolloin vältetään turhilta päällekkäisyyksiltä ja konflikteilta.

Ympäristöystävällisessä suunnittelussa korostuu suunnittelun ja rakentamisen jälkeinen aika. Käyttäjillä on suuri rooli energiatehokkuuden vaalimisessa. Suunnittelutiimien tulisi suunnitella kohteita loppukäyttäjien kanssa, koska he tulevat elämään suunniteltujen toimintojen kanssa. Liian vaikeat ohjausjärjestelmät tuottavat vaikeuksia käyttäjille ja joissain projekteissa nämä järjestelmät on ohitettu liian vaikeina käyttää. Näin menetetään järjestelmien tuoma energiansäästö.

Arvioitaessa vihreyden tuomaa lisähintaa hankkeelle käytetään yleensä puhdasta arviota, jossa on verrattu projektin alkuperäisiä kustannuksia toteutuneisiin kustannuksiin, jolloin budjetin ylittäneen osan ajatellaan olevan ”vihreyden hinta”. Tämän tarkastelun vikana on se, että budjetit toteutuvat todella harvoin ja ne ovat yleensä alimitoitettuja, jolloin näyttää siltä, että vihreys toisi aina lisäkustannuksia. Keskimäärin lisäkustannukset ovat olleet tällä tutkimustavalla 1–2 % (Morris 2007).

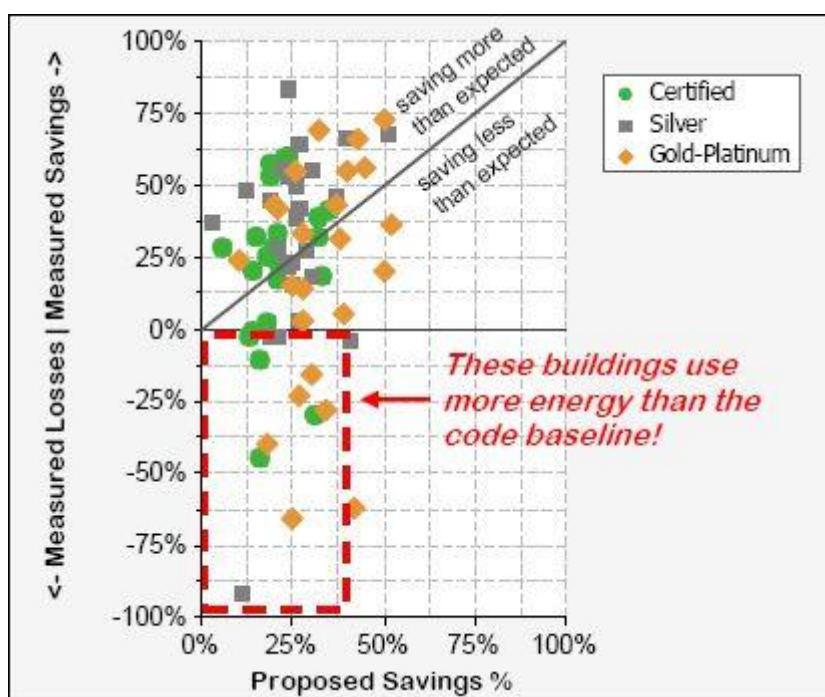


Vaihtoehtoisessa tarkastelussa voidaan tutkia jokaisen erillisen vihreän osa-alueen tuomia lisäkustannuksia. Tämänkin tarkastelun huonona puolena voidaan pitää sitä, että kaikkia näitä osa-alueita pidetään ”lisinä”, vaikkakin ne saattavat olla olennaisia osia koko rakennuksessa ja ne on vain toteutettu vihreämmin. Rakennuksessa voidaan käyttää myös kestävyyttä lisääviä materiaaleja, kuten nopeasti uusiutuvia puulajeja, ja näiden korkeampia kustannuksia voidaan tasoittaa tinkimällä muista kalliista pintamateriaaleista. On myös tärkeää tutkia, olisiko joitain energiansäästöominaisuuksia integroitu rakennukseen huolimatta siitä, pyritäänkö rakennuksessa minimienergiensäästöön vai ei.

Lisäerää tarkasteltaessa rakennuksille saadaan yleensä hieman korkeammat lisäkustannukset kuin koko rakennuksen vihreyttä tarkasteltaessa. Nämä lisähinnat vaihtelevat välillä 2–6 %. Peter Morris päättää raporttinsa toteamalla, ”ettei hankkeen vihreyden aiheuttamien lisäkustannusten tulisi vaikuttaa projektin aloittamiseen vaan enemmänkin tulisi pohtia, miten vihreyttä voitaisiin lisätä” (Morris 2007).

### 5.1.2 LEED-luokituksen energiatehokkuuden arviointi

Mark Frankelin ja Cathy Turnerin tutkimuksessa Energy Performance of LEED for New Construction Buildings (Frankel 2008) tarkasteltiin 121 LEED-luokituksen saaneen rakennuksen energiatehokkuutta. Tutkimuksen mukaan LEED-sertifioidut rakennukset ovat keskimäärin muita toimistorakennuksia energiatehokkaampia. ASHRAE 90.1 -standardiin kuuluvan määrityksen mukaan rakennuksille tulee määrittää perusenergiankulutus, johon energiansäästöjä voidaan verrata. Frankelin ja Turnerin mukaan siihen osallistuneiden hankkeiden energiansäästöt olivat 28 % verrattuna ASHRAE-standardin perusvaatimuksiin.



Kuva 4. Mitatut energiansäästöt verrattuna simuloituihin (Mark Frankel 2008).

Ohjelman laajuinen energiankäytön mallinnus näyttää olevan hyvä indikaattori rakennusten energiatehokkuudesta, mutta tutkimustuloksissa on kuitenkin paljon

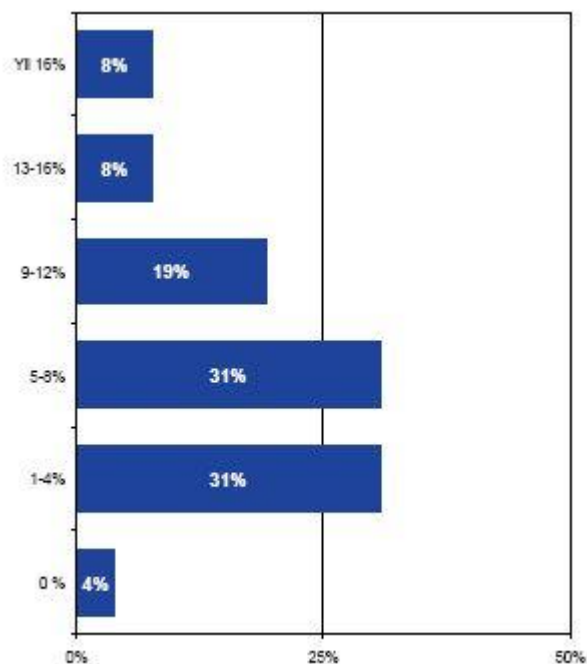
hajontaa. Jotkut rakennukset toimivat paremmin kuin on mallinnettu, mutta toiset rakennukset toimivat jopa paljon huonommin kuten kuvasta 4 käy ilmi. Tämä hajonta voi johtua puutteellisesta tai epätarkasta simuloinnista, erilaisista energiansäästölaiteiden- ja ohjelmien käyttötavoista, sekä myös kaikista tekijöistä, joita ei ole osattu ottaa huomioon mallinnusta tehdessä.

Tutkimuksessa huomioitiin myös eri pisteiden vaikutuksia energiansäästöön. Tutkimuksen mukaan yli 40 % kohteista saavutti kyseisen mittaus- ja varmennuskrediitin (kappale 3.1.1), vaikka ne olivat olleet yli vuoden verran toiminnassa. Vain kolme osallistujaa toimitti tietoja, joita järjestelmä oli kerännyt. Krediitin saavuttaminen edellyttää kalliita investointeja mittauslaitteistoon. Yleensä näitä tietoja ei käytetä hyväksi, joten näyttää siltä, että laitteistot hankitaankin vain krediitin saavuttamiseksi.

Tutkimuksen mukaan LEED-rakennukset saavuttavat keskimäärin 25–30 % energiansäästöt verrattuna kansalliseen keskiarvoon. Tästä huolimatta LEED-luokitusta tulisi kehittää eteenpäin ja ottaa oppia parhaiten menestyneistä rakennuksista sekä pohtia, miksi osa rakennuksista ylittää energiankulutusarvionsa. Myös mittaus- ja varmennuspisteen vaatimia laitteistoja tulisi käyttää hyödyksi rakennusten energiakäytön optimoinnissa.

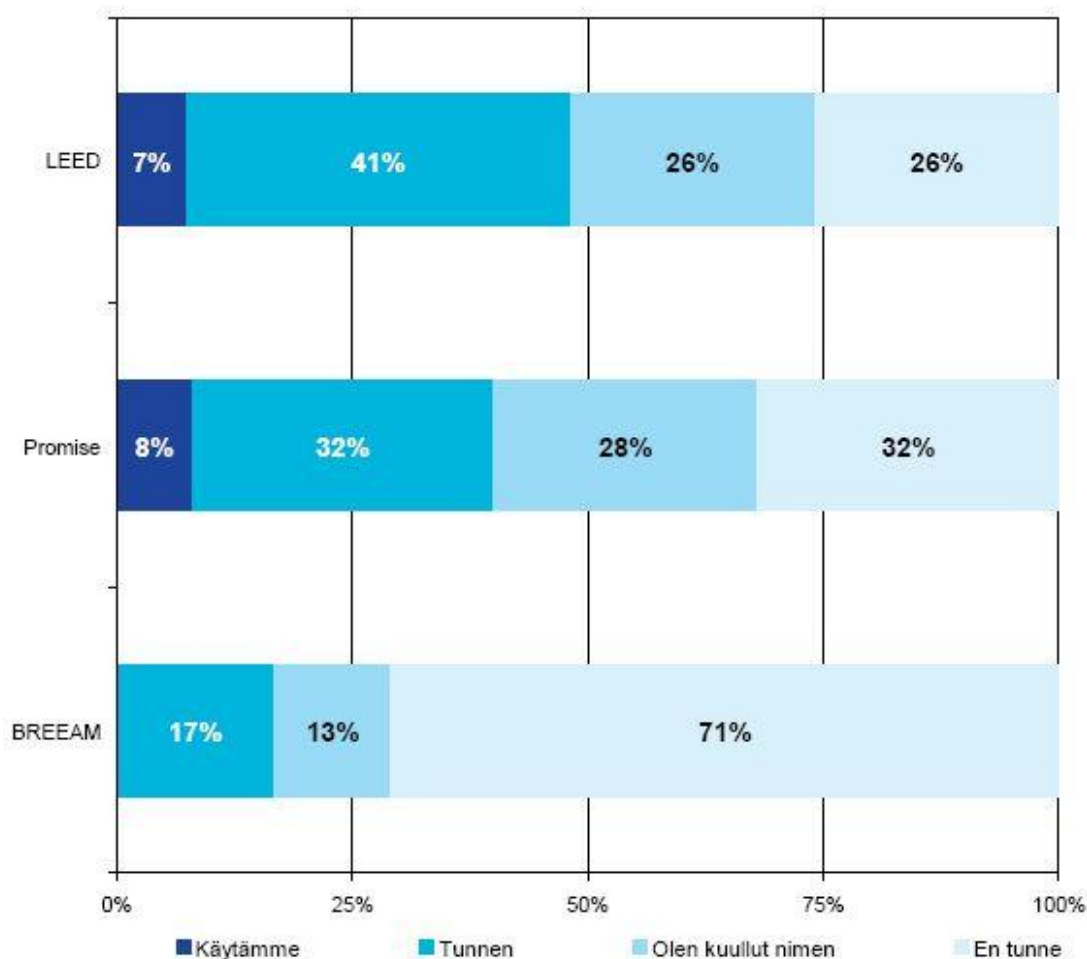
## 5.2 Tulevaisuuden näkymiä Suomessa

Pöyryn teettämässä tutkimuksessa (Pöyry Building Services Oy, 2008) tutkittiin Suomen suurimpia kiinteistöjenomistajia ja vuokralaisia sekä merkittävimpiä rakennus- ja kiinteistöalan toimijoita. Tutkimuksen mukaan vihreän rakentamisen sopivina investointikustannuksina pidettiin 1–4 % sekä 5–8 % lisäkustannuksia, kuten näkyy kuvasta 5.



Kuva 5. Vihreän rakentamisen sopivat lisäkustannukset (Anttila 2008).

Suomessa tällä hetkellä tunnetuin ympäristöluokitusjärjestelmä on LEED, mikä käy ilmi kuvasta 6. Tulokset ovat Pöry Building Services Oy:n teettämästä kyselystä, johon vastasi 27 taloteknisten järjestelmien ammattilaista.



Kuva 6. Ympäristöluokitusjärjestelmien tunnettavuus (Anttila 2008).

Suurimpina kannustimina vihreään rakentamiseen ovat energikustannusten nousu ja ihmisten halu toimia ympäristöä vaalien. Osalle vastaajista tärkeinä motiiveina olivat kyky erottua kilpailijoista ja mahdollisuus kehittää yrityksen imagoa.

### 5.3 LEED-luokituksen käyttö ja tunnettavuus Building Services Oy:n sähköosastolla

LEED-ympäristöluokituksen tunnettavuutta Pöry Building Services Oy:n sähköosaston sisällä tutkittiin haastattelemalla sähkö- ja valaistussuunnittelijoita. Haastattelussa käytettiin tukena liitteenä 4 olevaa lomaketta. Kyselyyn vastasi neljä henkilöä toimiston 40 työntekijästä, koska he olivat ainoat, joiden suunnitteluun kyseinen luokitusjärjestelmä on vaikuttanut.

Suunnittelijat olivat kuulleet ensimmäisen kerran luokittelujärjestelmästä vuoden 2008 syksyn ja 2009 kevään aikana. Vaikka luokituksen huomioon ottaminen tulevissa projekteissa tuleekin lisääntymään, luokituksesta ei ole annettu varsinaista koulutusta.

Kyselyssä selvisi, että kaikki pitivät ympäristötekijöitä tärkeinä ja kertoivat luokituksen vaikuttaneen heidän suunnitteluunsa kohteissa, joihin haetaan LEED-luokitusta. Luokitus on vaikuttanut eniten ulkovalaistuksen suunnittelussa sekä siinä, että on pyritty valitsemaan energiataloudellisia ja kestäviä tuotteita. Luokittelu on myös vaatinut joissain kohteissa standardeja alempia valaistustasoja, jotta on päästy luokituksen vaatimukseen. Luokituksen katsottiin aiheuttavan jonkin verran kompromisseja etenkin valaistussuunnittelussa, mutta toisaalta on hyvä, että turhasta julkisivu- ja pihavalaituksesta luovutaan. Yhden suunnittelijan mukaan LEED ei ota tarpeeksi hyvin paikallisia vaatimuksia huomioon, mitä onkin yleisesti kritisoitu.

Suunnittelijoiden mielestä LEED-luokituksessa oli hyviäkin puolia. Sen ansiosta vältetään valitsemasta kohteisiin aina halvimpia ja energiataloudellisesti huonoja ratkaisuja. Energian säästöt koettiin myös positiiviseksi asiaksi ja se, että luokitus pakottaa yritykset lisäämään kehitystyötä energiatehokkaampien ratkaisujen etsimiseen. Luokituksen eduksi laskettiin myös se, että nyt on olemassa yksi selkeä järjestelmä rakennuksien luokitteluun ja se, että ympäristötekijöitä tulee mietittyä enemmän jo ennen varsinaista suunnittelua.

Luokituksen huonoiksi puoliksi mainittiin suunnittelussa lisääntynyt työmäärä ja luokituksen vaatima runsas dokumentointi. Ympäristöystävälliset tuotteet maksavat enemmän ja yhden suunnittelijan mielestä rakennukset saattavat jopa muuttua tylsiksi, koska kaikesta ylimääräisestä luovutaan energiatehokkuuden maksimoimiseksi. Amerikkalaisen järjestelmän koettiin myös sopivan huonosti suoraan suomalaisiin oloihin.

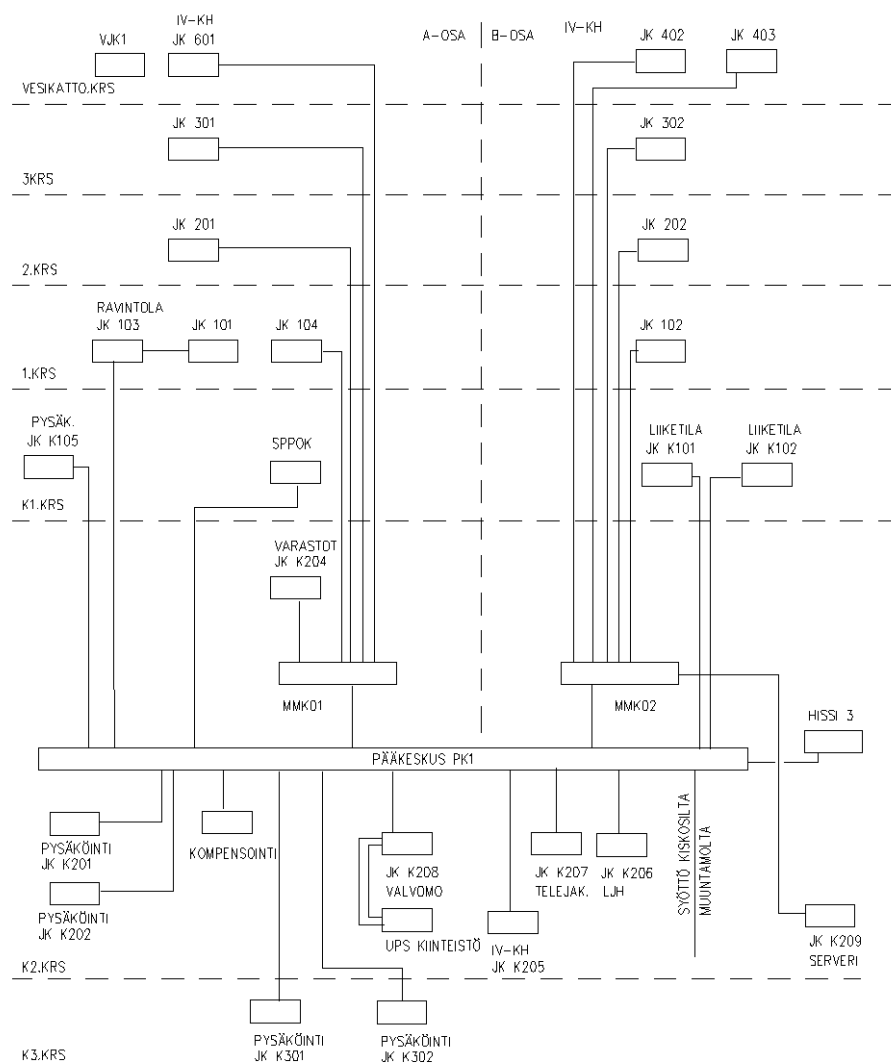
## **6 Mittaus ja varmennus**

### **6.1 Järjestelmän yleiskuvaus**

Tässä osiossa esitellään järjestelmä, joka täyttää LEED-luokituksen pisteen EA 5 alamittausosion vaatimukset. LEED-oppaan (U.S. Green Building Council 2009) mukaan alamittausjärjestelmän ideana on antaa vuokralaisille mahdollisuus mitata sähkönkulutusta, jotta he näkevät käytännössä energiansäästötoimenpiteiden vaikutukset. IPMVP:n (International Performance Measurement & Verification Protocol) (IPMVP 2003) mukaan M&V-järjestelmästä on kahdenlaista hyötyä. Se mahdollistaa aiemmin mainitun vuokralaisten alamittauksen. Järjestelmä kokonaisuudessaan mahdollistaa taloteknisten järjestelmien energiatehokkuuden tarkkailemisen ja mahdollisten ongelmakohtien paikantamisen.

## 6.2 Perinteinen sähköjakelu toimistorakennuksessa

Tässä osiossa esitellään perinteinen toimistorakennuksien pääjakeluperiaate.



**Kuva 7. Perinteinen nousujohtokaavio toimistorakennuksissa.**

Toimistorakennusten perinteinen sähköjakelu noudattaa yllä olevan kaavion (Kuva 7) mukaista periaatetta. Jakelujärjestelmä koostuu yleensä yhdestä tai useammasta pääkeskuksesta, joille tulee sähkösyöttö kiskosilta pitkin rakennuksen muuntamolta. Pääkeskuksesta on yleensä suorat syötöt kiinteistön jakokeskuksiin ja niiden energiankulutusmittarit ovat pääkeskuksessa.

Toimistorakennuksen vuokralaisten sähkösyöttö tapahtuu myös jakokeskusten kautta, joiden syöttö tulee monimittauskeskusten (MMK) kautta nousujohtoja pitkin. Näissä keskuksissa tapahtuu vuokralaisten energiankulutuksen mittaus.

## 6.3 Virtakiskojakelujärjestelmä

### 6.3.1 Keskittehojakelu

Virtakiskopohjaisessa sähkönjakelussa käytetään nousujohtojen sijasta yhtä tai useampaa virtakiskoa. Canaliksen KS-sarjan virtakiskot soveltuvat 100–1000 ampeerin virroille, joten ne sopivat hyvin nousujohdoiksi. Kuvassa 8 on esitetty kyseisen kiskon teknisiä tietoja. Lintulahdenvuoren toimistorakennuksen nousut on toteutettu yhdellä 800A ja yhdellä 630A virtakiskolla. Nousuvirtakiskot valitaan rakennuksen keskimääräisen neliötehon avulla. Laskennassa käytetään kokemusperäistä arvoa, joka on  $50 \text{ W/m}^2$  (Sähkötieto Ry 2001). Kerroksen maksimiteho saadaan kertomalla sen pinta-ala yllä mainitulla arvolla.

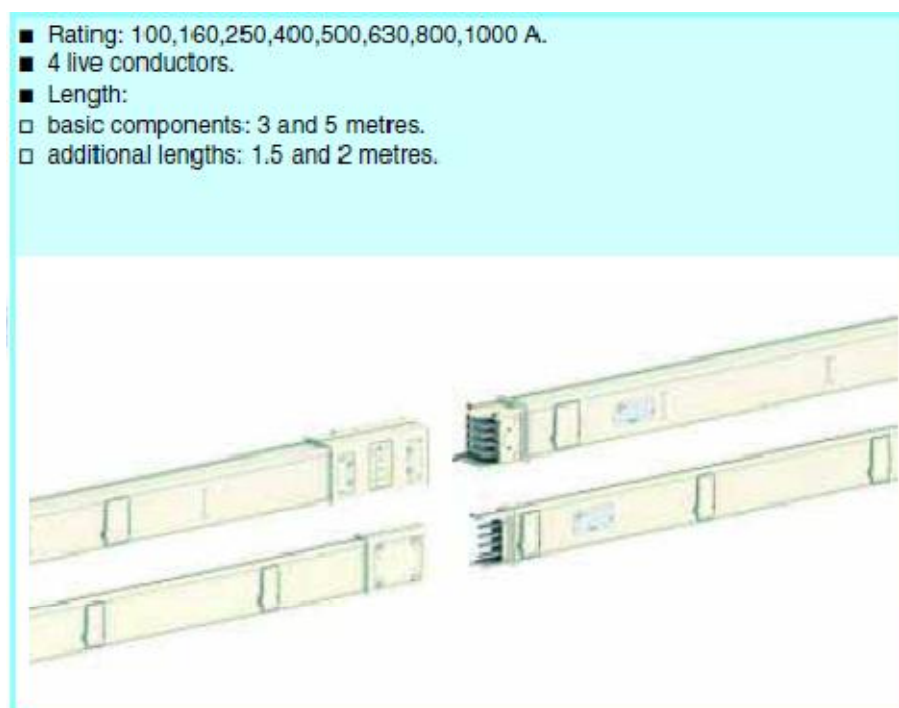
$$I = \frac{P}{U} \quad (1)$$

P = sähköteho (W)

U = Jännite (V)

I = Virta (A)

Nousuvirtakiskon nimellisvirta saadaan laskemalla kerroksittaiset virrantarpeet yhteen.



Kuva 8. Canalys KS-virtakisko 100–1000A (Schneider Electric 2009).

Kuvassa 9 on esitetty virtakiskon syöttöyksikkö. Pääkeskukselta tulee syöttö kaapelia pitkin virtakiskon alkupäähän. Kaapelin päässä on erillinen syöttöyksikkö, jolla kaapeli yhdistetään virtakiskoon.

- The feed units delivered with end covers, receive the cables supplying one end or any other point of Canalis KS trunking.



**Kuva 9. KS-virtakiskon syöttöyksikkö (Schneider Electric 2009).**

Kuvassa 10 on esitetty virtakiskon virranotin, jolla otetaan virtaa nousuvirtakiskolta kerroksien virtakiskoille.

- The tap-off units (with and without isolators) have ratings of 25 to 400 A.
- Protection is ensured with modular or Compact NS circuit breakers or fuses.



**Kuva 10. KS-virtakiskon virranotin (Schneider Electric 2009).**

### 6.3.2 Toimistokerroksien virranjakelu



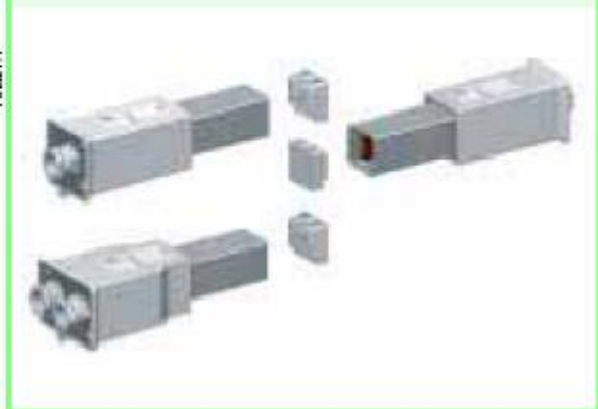
Toimistokerroksien virranjakelun periaate on hyvin samankaltainen nousujohtojen periaatteen kanssa. Kerroksien sähkönjakelu tehdään KBB-virtakiskoilla, joiden tuotokuva on alla (Kuva 11).



**Kuva 11. Toimistokerroksien KBB-virtakisko (Schneider Electric 2009).**

Toimistokerroksien virranjakeluun riittää hyvin 40 ampeerin virtakisko. Virtakiskossa on molemmin puolin puolen metrin välein pisteet, joihin voidaan sijoittaa virranotin. Virranottimet on esitelty kuvassa 13. Virtakiskon tarkempi tuotokuvaus on liitteenä 8. Toimistokohteisiin sopii hyvin kaksivirtapiirinen versio kiskosta. Edellä mainitussa kiskossa on molemmilla puolilla erillinen kolmivaiheinen piiri. Tämä mahdollistaa erilliset ATK- ja normaalijakelut (Liite 8).

- The feed units delivered with end covers, receive the cables supplying one end of Canalis KBB trunking.
- The end covers supplied with the feed units terminate the signal length and insure the IP level.



**Kuva 12. Virransyöttöyksikkö, 25A ja 40A (Schneider Electric 2009).**

Nousuvirtakiskon virranottimelta sähkönsyöttö tulee kahta MMJ 5x10-kaapelia pitkin kerroksen virtakiskolle. Kaapeli päättyy kuvan 12 syöttöyksikköön. Syöttöyksikkö kiinnittyy virtakiskoon.

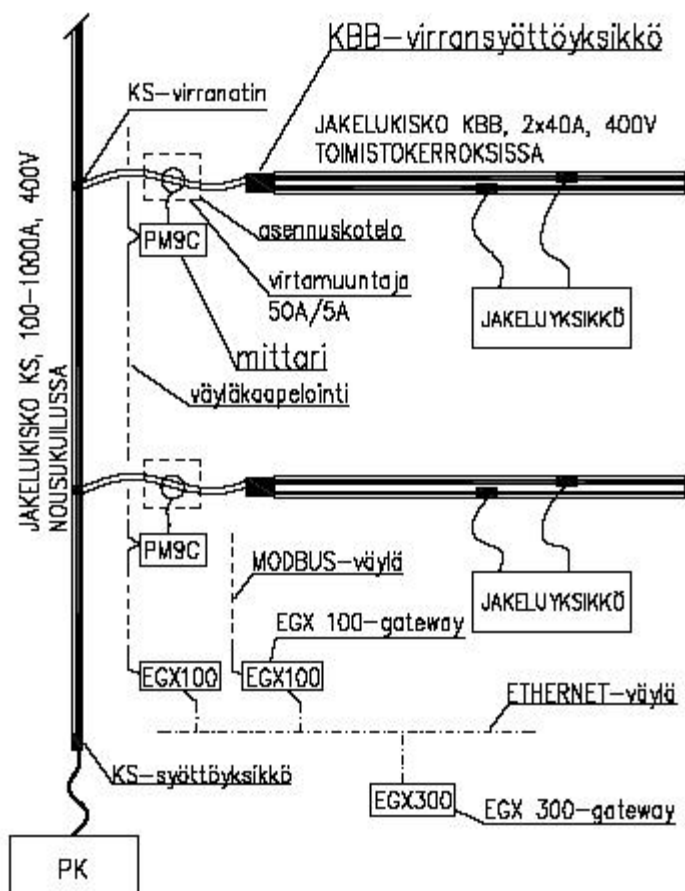
- The 10 and 16 A tap-off units, pre-wired or not, single-phase with fixed polarity or multi-phase with phase selection, can be used on the entire lighting range.



**Kuva 13. KBB-virtakiskon virranotin (Schneider Electric 2009).**

Toimistokerroksien sähkönjakelun viimeisin osa on jakelukotelo, joka on esitelty kappaleessa 3.3 (Kuva 2). Jakelukoteloiden sähkönsyöttö tulee otetaan virranottimella, joka on esitelty kuvassa 13. Jakelukotelo sisältää tarvittavat vikavirtasuojakytkimet.

### 6.3.3 Alamittausjärjestelmä



Kuva 14. Virtakiskojakelujärjestelmän yleiskuvaus.

Kuvassa 14 on esitetty virtakiskojakelujärjestelmän ja alamittausjärjestelmän yleiskuvaus. Järjestelmän ydin koostuu yhdestä tai useammasta KS-nousuvirtakiskosta (100–1000A), jotka saavat syötön pää- tai nousukeskukselta. Nousukiskosta menee syöttö kerroksien kohdalla kerroksien virtakiskoille. Nousukuilun lähettyville tulee asennuskotelot, joissa on 50A/5A virtamuuntajat. Virtamittari PM9C, joka on esitelty kuvassa 15, sijaitsee asennuskotelon ulkopuolella. Virtamittarit ovat yhteydessä toisiinsa modbus-väylän kautta. Väyläkaapelointi kiertää sarjassa virtamittarit ja päättyy Schneider Electricin valmistamaan EGX100-yhdyskäytävään. Yhdyskäytävä siirtää mittausinformaation ethernet-väylään.



**PM9 / PM9P / PM9C**

**Kuva 15. PM9C virtamittari (Schneider Electric Industries SAS 2009).**



**EGX100**

**EGX300**

**Kuva 16. Yhdyskäytävät (Schneider Electric Industries SAS 2009).**

Kuvassa 16 on esitelty Schneider Electricin valmistamat yhdyskäytävät. Yhdyskäytävään EGX100 pystytään liittämään suoraan 32 mittalaitetta modbus-väylän kautta. EGX300-yhdyskäytävään on mahdollista liittää suoraan 64 mittalaitetta ja siihen on voidaan liittää EGX100 yhdyskäytäviä ethernet-väylän kautta. EGX300-yhdyskäytävä mahdollistaa web-pohjaisen energiankulutuksen tarkkailun, eikä laitteen lisäksi tarvita muuta.

Kuvattu järjestelmä täyttää mittaus- ja varmennusjärjestelmän vuokralaisten alamittausosion vaatimukset.

## 7 Valaistussuunnittelu

Diplomityötä varten tehtiin valaistusmittauksia Lintulahdenvuoren toimistorakennuksessa. Mittaukset suoritettiin helmikuussa 2010 toimistorakennuksen kahdeksannen kerroksen työhuoneessa. Mittauksissa keskityttiin vakiovalonsäädön toimintaan ja sen lisäksi mitattiin huoneen päivänvalonsuhde.

Lintulahdenvuoren toimistorakennuksen työntekijöiden tyytyväisyyttä valaistusratkaisuihin tutkittiin haastattelemalla työntekijöitä lomakkeella, joka on liitteenä 2.

### 7.1 Valaistuksen tarkastelu

Lintulahdenvuoren toimistorakennuksen toimistohuoneiden ja avotoimistotilojen valaistuksenohjaus ja -säätö on toteutettu täysin käyttäen vakiovalonsäätöä. Käyttäjillä ei ole varsinaisesti suoraa kontrollia valaistukseen eikä valaistusvoimakkuuden säätöön. Kappaleessa 7.3 käsitellään työntekijöiden tyytyväisyyttä kyseiseen ratkaisuun.



**Kuva 17. Toimistohuoneen valaisimet sekä paloilmaisin ja läsnäolosensori.**

Vakiovalonsäätö perustuu työtilan valaistusvoimakkuuden jatkuvaan tarkkailuun ja säätöön. Yllä olevassa kuvassa (Kuva 17) näkyy katossa vasemmalla puolella paloilmaisin ja sen vieressä ABB:n valmistama Passive Infrared-läsnäolotunnistin (PIR), jonka tekniset tiedot löytyvät liitteestä 9.

## 7.2 Vakiovalonsäädön toiminta toimistohuoneessa

Tässä tarkastellaan Lintulahdenvuoren toimistorakennuksen valaistuksenohjausjärjestelmän toimintaa, rajoittuen yhteen toimistohuoneeseen, jossa valaistuksenohjaus on toteutettu läsnäolosensorin avulla. Huoneesta mitattiin keskimääräinen valaistusvoimakkuus. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto -oppaan mukaan (Ahponen 1996) mitattava huone jaetaan yhdeksään mittauspisteeseen. Näissä pisteissä valaistusvoimakkuus mitataan käyttäen Delta Ohm HD2102.2 valo- ja säteilymittaria, jossa anturina käytettiin LP 471 PHOT-valaistusvoimakkuusanturia. Anturin tekniset tiedot on esitelty liitteessä 6. Mittauspisteiden sijainti huoneen pohjapiirustuksessa näkyy liitteessä 5.

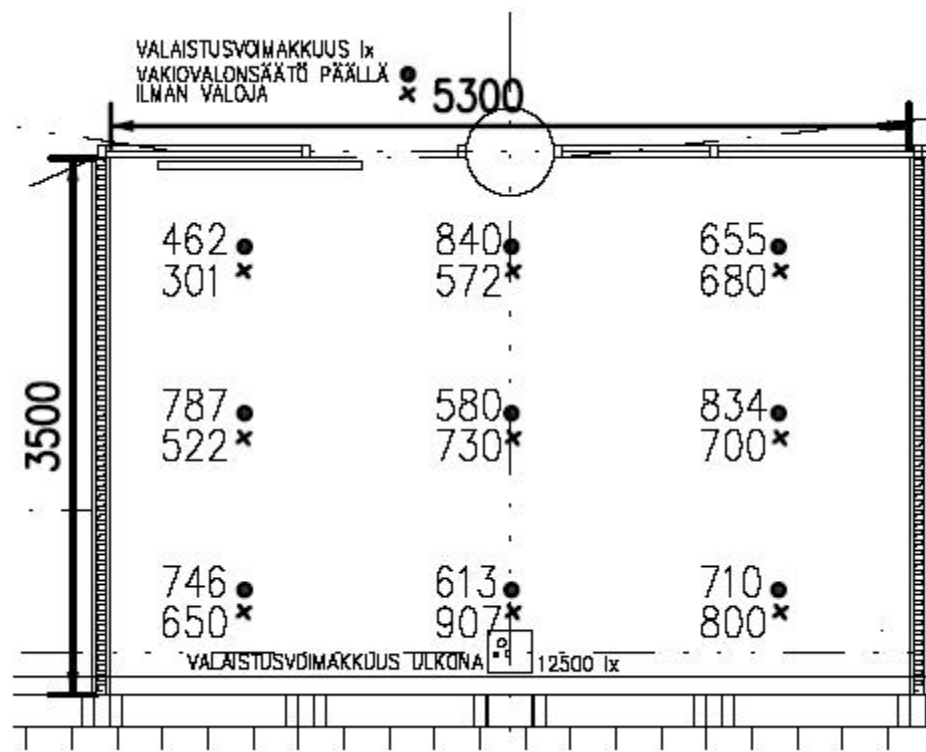
Mittausta varten huone jaettiin yhdeksään mittauspisteeseen. Mittauspisteiden riittävä lukumäärä saatiin seuraavalla yhtälöllä:

$$k = \frac{l \times w}{(l + w)h_m} \quad (2)$$

k huoneindeksi  
l huoneen pituus (m)  
w huoneen leveys (m)  
 $h_m$  valaisimien asennuskorkeus työtasolta mitattuna  
(Ahponen 1996)

Tutkittavan huoneen mitat on mainittu liitteessä 5 ja huoneen valaisimien asennuskorkeus on  $h_m = 1,75m$ . Huoneindeksiksi saatiin  $k=1,2$ . Näin ollen yhdeksän mittauspistettä riittää valaistusvoimakkuuden keskimääräiseen arviointiin Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto -oppaan mukaan (Ahponen 1996).

Valaistusta tarkasteltiin kahdessa tilanteessa. Ensimmäisessä tapauksessa huoneesta mitattiin päivänvalosuhte, jossa mitataan huoneen valaistusvoimakkuus ilman valoja sekä valaistusvoimakkuus ulkona suorassa auringonvalossa. Valaistusvoimakkuuden suhde sisällä jaettuna ulkona olevaan voimakkuuteen antaa päivänvalosuhteen. Toisessa tapauksessa mitattiin valaistusvoimakkuudet huoneessa, kun valaistus ja läsnäolotunnistusjärjestelmä olivat päällä. Mittauspöytäkirja on liitteenä 5. Kuvaan 18 on merkitty huoneesta mitatut valaistusvoimakkuudet.



Kuva 18. Valaistusvoimakkuusmittauksien tulokset.

Keskimääräinen valaistusvoimakkuus on keskiarvo mitatuista arvoista,  $E_{ka} = 692 \text{ lx}$ , joka riittää jo vaatimaan työskentelyyn.

Taulukko 5. Päivänvalon valaistusvoimakkuudet huoneessa, luksia / prosenttia ulkona olevasta voimakkuudesta 12500 lx.

301	572	680	2,41 %	4,58 %	5,44 %
522	730	700	4,18 %	5,84 %	5,60 %
650	907	800	5,20 %	7,26 %	6,40 %

Keskimääräinen valaistusvoimakkuus ulkona  $E_{ka,ulkona} = 651 \text{ lx}$

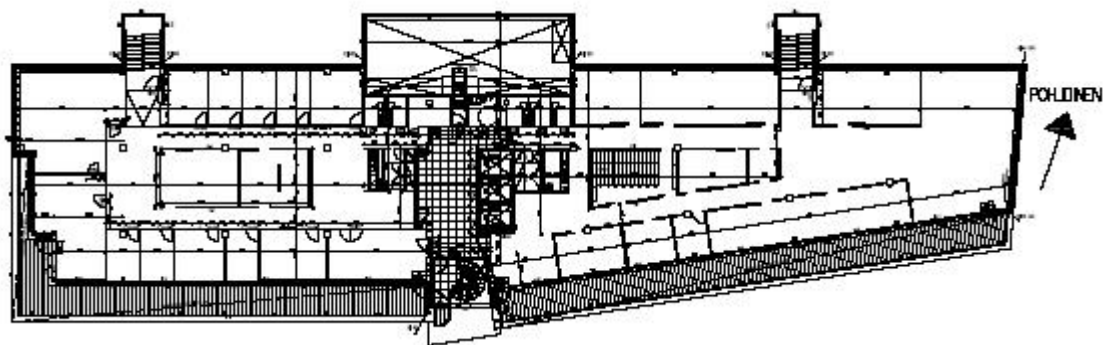
Taulukossa 5 on vasemmalla puolella ilmoitettu päivänvalon aiheuttama valaistusvoimakkuus työhuoneessa. Oikealla puolella on päivänvalonsuhde, joka on laskettu vertaamalla mittauspisteen valaistusvoimakkuutta ulkona vallitsevaan valaistusvoimakkuuteen, joka oli mittauspäivänä 12 500 luksia. Ulkona vallitseva valaistusvoimakkuus mitattiin kahdeksannen kerroksen terassilla, jolloin saatiin vertailukelpoinen arvo työhuoneen arvoihin verrattuna.

Toimistohuoneen valaistus säätyi jatkuvasti ulkoa tulevan valaistusvoimakkuuden mukaan, mutta mittaukset saatiin tehtyä aikana, jolloin auringonvalon voimakkuus pysyi vakiona. Mittaukset suoritettiin pilvisenä päivänä, mutta aurinko pilkisti hieman pilvien takaa mittausjakson aikana, mistä johtuu ulkona olevan valaistusvoimakkuuden suuri arvo, 12 500 luksia. Toimistohuoneen päivänvalonsuhde on suhteellisen tasainen kautta huoneen.

220	279	327	358	337	360	356	335	324	326	334	355	361	345	337	299	252	198
251	312	377	403	391	419	411	385	373	374	385	412	420	399	393	346	291	223
278	353	432	459	447	464	441	424	408	411	436	455	452	439	431	383	300	246
				505	522	488	461	452	460	486	519	499	492	462	408	312	
322	412	486	539	520	558	544	504	488	491	505	544	558	527	526	459	382	290
335	431	508	565	551	594	577	535	518	519	536	578	594	563	560	488	405	305
349	449	530	590	568	610	594	549	531	533	550	594	611	577	576	502	417	312
355	456	538	599	576	621	604	558	541	541	559	603	620	586	587	511	424	317
353	455	538	598	575	618	602	556	539	539	558	435	607	578	585	509	423	316
346	446	526	585	557	600	584	541	524	519	538	560	540	575	518	437	334	
331	426	502	558	538	578	563	522	505	502	518	543	520	554	499	421	322	
309	398	471	522	522	538	503	476	468	473	442	532	507	507	478	421	321	
		442		481	496	465	439	432	437	447	493	473	468	441	390	298	
249	318	374	412	398	428	419	393	380	381	393	422	431	408	405	356	299	229
229	288	336	371	358	385	380	358	348	349	358	380	388	369	363	322	272	212
199	245	286	313	304	325	323	306	298	299	306	323	328	313	306	274	233	185
170	209	242	263	256	275	273	262	254	255	260	273	277	266	259	233	199	160
146	176	204	220	214	229	230	222	215	216	221	230	232	224	217	197	169	138

**Kuva 19. Valaistusvoimakkuuden simuloidut arvot, luksia.**

Kuvassa 19 on esitetty DIALux-valaistussimulointiohjelmalla tehty simulointi samasta huoneesta, jossa mittaukset suoritettiin. Liitteessä 7 on esitetty saman simuloinnin isoluksi-käyrä. Simuloinnissa ei ole otettu huomioon päivänvalon vaikutusta. Verrattaessa simuloitua tilannetta (kuva 19) sekä mitattuja arvoja (kuva 18) huomataan, että auringonvalo muuttaa valaistusvoimakkuuden tasaisuutta. Aamupäivällä tilassa saattaa joutua käyttämään kaihtimia häikäisyn estämiseksi.



**Kuva 20. Lintulahdenvuoren toimistorakennuksen pohjapiirustus.**

Yllä olevassa kuvassa (Kuva 20) on esitelty Lintulahdenvuoren toimistorakennuksen pohjapiirustus. Kuvan perusteella voidaan nähdä helposti, että rakennuksen suunnittelussa on haettu mahdollisimman suurta päivänvalon hyödyntämispotentiaalia. Toimistokerroksissa lähes kaikki työpisteet ovat ikkunoiden vieressä. Kopiotilat ja muut tekniset tilat sijaitsevat rakennuksen keskellä.



### **7.3 Tyytyväiskyselyn analysointi**

Lintulahdenvuoren toimistorakennuksen käyttäjiltä kysyttiin heidän tyytyväisyyttään vakiovalonsäätimin ja läsnäolosensorein toteutettuun valaistusratkaisuun. Tyytyväisyyskysely toteutettiin lomakkeella, joka on liitteenä 2. Vastauksia saatiin yhteensä 24 kappaletta. Vastauksista on koottu liitteeseen 10 kooste yleisestä tyytyväisyydestä valaistusratkaisuihin.

Vastaajista täysin tyytymättömiä oli vain yksi kappale, melko tyytyväisiä oli kahdeksan kappaletta ja lähes täysin tyytyväisiä 15. Vastaajista kahdeksan toivoi, että heillä olisi mahdollisuus vaikuttaa oman työpisteen valaistuksen tasoon, muut olivat tyytyväisiä automatiikan luomaan valaistusvoimakkuuteen. Vakiovalonsäädön toimintaan, eli siihen miten hyvin valaistusvoimakkuudet ovat pysyneet vakiona, sekä viiveettömään toimintaan oli tyytyväisiä suurin osa vastaajista, 20 vastaajaa. Vain neljä vastaajaa oli tyytymättömiä vakiovalaistuksen toimintaan. Heidän mielestään valaistusvoimakkuus vaihteli välillä liian nopeasti, esimerkiksi silloin kun aurinko meni pilveen tai tuli pilven takaa pois.

Suurin osa vastaajista piti ympäristöystävällisyyttä tärkeänä ja vain kaksi vastaajaa koki, että valaistusergonomia menee täysin ympäristöystävällisyyden edelle. Vapaamuotoisista kommentteista käy ilmi, että osa vastaajista oli tyytyväisiä automatiikkaan ja siihen, ettei valaistusta tarvitse itse säätää eikä tarvitse muistaa sammuttaa valoja töistä lähtiessä. Osa vastaajista taas oli sitä mieltä, että valaistus jää välillä päälle liian pitkäksi aikaa, jopa useiksi tunneiksi, ja olisi hyvä jos valot voisi sammuttaa manuaalisesti tarvittaessa. Varsinkin silloin, kun auringonvaloa on riittävästi, tulisi olla mahdollisuus sammuttaa keinovalaistus kokonaan. Yksi vastaaja oli jopa sitä mieltä, että työpistekohtaiset katkaisijat olisivat parempi vaihtoehto kuin kaikki tai ei mitään -automaatiikka.

Vaikka vastaajat olivat suurimmaksi osaksi tyytyväisiä automatiikkaan, niin vaikuttaa siltä, että käyttäjät kaipaavat säätimiä ja täysin automaattiseen valaistukseen tottuminen vie aikansa. Henkilökohtaisten työhuoneiden valaistusta olisi hyvä saada säädettyä henkilökohtaisten mieltymysten mukaan. Kun työhuoneen työntekijä vaihtuu, uusi työntekijä ei ole välttämättä tyytyväinen valaistukseen ja valaistuksen uudelleenohjelmointi tulee kalliiksi.

Vastaajat olivat hyvin ympäristömyönteisiä ja lähes kaikki olivatkin sitä mieltä, että energiansäästö on tärkeää. Seuraavassa on vastaajien vapaamuotoisia kommentteja energiatehokkuuden tärkeydestä: ”On ihan kiva tietää työskentelevänsä ekologisesti suunnitellussa toimistossa ja ainakin valaistuksen osalta koen tämän positiivisena asiana.”, ”Tottakai jokainen säästetty kWh on säästetty euro ja säästetty hiilijalanjäljen syvyys” sekä ”Omani, lasteni ja maapallon kannalta toki hyvin tärkeää”.

### **7.4 Valaistuksen suunnittelu ja ohjelmoinnin tarkastelu**

Rakennuttajana toimineen Skanska Talotekniikan projektipäällikköä Vesa Virkkiä ja teknistä asiantuntijaa Timo Lehtistä haastateltiin liitteen 3. mukaisilla kysymyksillä. Haastatteluilla pyrittiin selvittämään valaistusratkaisujen suunnitteluperusteita. Haastattelussa käytiin läpi toimistokerroksien valaistuksen tavoitteita, toteutusta ja teknisiä ratkaisuja.

Pöyry Building Services Oy:n sähköosasto suunnitteli rakennuksen valaistusjärjestelmät, mutta laitteiston ohjelmointi tapahtui Skanska Oy:n toimesta. Toimistohuoneissa ja avotoimistoissa valaistusvoimakkuuden keskimääräiseksi tavoitearvoksi asetettiin 400 luksia ja maksimiksi 500 luksia. Kaikissa toimistotiloissa on huoneen katossa PIR-tunnistin (Passive Infrared), joka havaitsee liikkeen ja toimii samalla valoanturina. Tunnistin tarkkailee jatkuvasti valaistusvoimakkuutta katon tuntumassa. Koska huoneissa on käytetty tummia värejä, anturille asetettiin kattoon referenssivalaistusvoimakkuudeksi 140 luksia, joka vastaa työtasolla (90 cm korkeus) 500 luksia. Antureiden toimintaa testattiin ja säädettiin lähinnä yöllä, jotta antureille saatiin hyvät referenssiarvot.

Vakiovalonsäätimen kautta säädettynä valaisin reagoi huoneen valaistusvoimakkuuteen ja lisää sen perusteella keinovalon määrää. DALI-pohjainen valaistuksen säädin pystyy säätämään valaisimen valaistusvoimakkuuden nolasta täyteen voimakkuuteen 16 minuutissa. Läsnaolosensori sytyttää valaistuksen heti, kun se havaitsee tilassa liikettä. Valaisimien sammumisviive on säädetty 90 minuuttiin valonlähde-toimittajan suosituksesta. Lyhyempi viive nostaisi valaisimien syttymis- ja sammumiskertoja useampiin kertoihin päivässä. Läsnaolotietoa käytetään hyväksi myös ilmastoinnin ohjaamiseen. Ilmastoinnin tapauksessa sensori vaatii vähintään 15 sekunnin läsnäolon ennen kuin ilmastointi käynnistyy. Ilmastoinnin tarvitseman suuren energiankulutuksen takia järjestelmä ei käynnisty vain yhden henkilön oleskellessa tilassa. Ilmastoinnin pysäytys toimii nopeammin kuin valaistuksen sammutus. Sammuminen tapahtuu 10 minuutin kuluttua viimeisestä läsnäolohavainnosta.

Haastateltavien mielestä järjestelmän suurimmat energiansäästöt tulevat liikesensorien toiminnasta ja vakiovalonohjauksella saatavat säästöt ovat vain pieni osa säästöistä. Tulevaisuudessa tulisikin lisätä liikesensorein ohjattuja valaisimia ja jopa vähentää käytävillä olevien valaisimien määrää. Toimistokerroksissa on nykyään useita valaisimia turhaan päällä, varsinkin käytävillä. Läsnaolosensorien käyttäminen ei ole kuitenkaan täysin ongelmaton. Toimistohuoneiden oven jäädessä raolleen sensori saattaa reagoida käytävällä oleviin ihmisiin, jolloin sensori virheellisesti luulee huoneen olevan käytössä.

Yksittäisten työhuoneiden valaistuksenohjelmointi on mahdollista toteuttaa, mutta se vaatii aina kohteessa käymistä. Vaikka itse ohjelmointi on nopeaa ja onnistuu noin 15 minuutissa, kohteessa käymiseen kuluu kuitenkin tunnista kahteen tuntia. Ohjelmointiin tarvittavan ohjelman lisenssi aiheuttaa lisäkustannuksia ja se on kohdekohtainen. Teknisen asiantuntijan mukaan tulevaisuudessa järjestelmä pyritään toteuttamaan siten, että valaistuksen ohjelmointi voidaan tehdä etähallintaohjelman kautta.

## 8 Yhteenveto

LEED-ympäristöluokituksella tulee tutkielmien mukaan olemaan suuri vaikutus toimistorakennusten energiansäätöön ja vuokralaisten kulutustottumisiin. Tutkimusten valossa LEED-projekteista on saatu hyviä ja kannustavia tuloksia koskien rakennusten energiankäyttöä. Koska osassa rakennuksia energiankäyttö ei seuraakaan simuloitua tilannetta, simuloinnin tarkkuutta ja mahdollisia epäkohtia mittauksissa ja kulutuskäyttäytymisessä tulee miettiä. Mittaus- ja varmennusjärjestelmien hankkiminen tulee kalliiksi varsinkin isoissa projekteissa, ja näiden järjestelmien tuottamia tietoja tulisikin käyttää hyödyksi enemmän tulevaisuudessa. Lintulahdenvuoren toimistotalossa tämä edellytys on olemassa ja rakennuttajan mukaan niitä on tarkoitus käyttää juuri käyttäjien opastamiseen ja oman kulutuksen seuraamiseen.

LEED-luokitus ottaa huomioon poikkitieteellisesti lähes jokaisen rakentamiseen liittyvän osa-alueen ja se on hyvä mittari arvioitaessa hankkeiden kokonaisympäristöystävällisyyttä. Ympäristö- ja energiatehokkuusvaatimusten kiristyessä tarvitaan tehokkaita ajureita, jotta rakennuttajat ja suunnittelijat saadaan ottamaan huomioon entistä tarkemmin ympäristöasioita.

Sähkösuunnittelun kannalta LEED ei tarjoa kovinkaan paljon uutta asiaa, mutta se ottaa huomioon turhan valaisemisen ja hajavalon minimoimisen. Olennaisena asiana on myös valaistuksen ohjauksen tarkat määrittelyt, jolloin työntekijät voivat itse vaikuttaa oman työpisteensä valaistusvoimakkuuteen. LEED ei suoranaisesti vaadi uusien jakelujärjestelmien käyttämistä kohteissa, mutta esimerkiksi Lintulahdenvuoren projektissa uudentyypiset ratkaisut nopeuttivat asennusta ja mahdollistavat järjestelmien muunnettavuuden ja virtakiskokohtaisen sähkönkulutusmittauksen.

LEED-luokitus rohkaisee kohteissa omavaraiseen energiantuotantoon ja vihreän sähkön ostamiseen. Näillä vaatimuksilla tulee olemaan myös suuri rooli kyseisten energiamuotojen yleistymisessä.

Yleensä rakennusten vihreydelle on esitetty todella korkeita lisäkustannuksia, mutta tuoreiden tutkimusten valossa kulut ovat lähempänä 1–6 % projektien kokonaishinnoista. Markkinatutkimuksien mukaan LEED on Suomessa tällä hetkellä tunnetuin ja toiseksi käytetyin ympäristöluokitusjärjestelmä. Tästä huolimatta luokitus ei ole kuitenkaan kovin tunnettu sähkösuunnittelijoiden keskuudessa ja luokituksesta ja sen vaatimuksista tulisikin ohjeistaa suunnittelijoita. Pöyry Building Services Oy:n suunnittelijoiden mielestä luokitus lisää työmäärää, koska se vaatii suunnittelijoita ottamaan paremmin kantaa energiatehokkuuteen ja lisäksi dokumentoinnin määrä kasvaa.

LEED-ympäristöluokituksen painottama mittaus- ja varmennusjärjestelmä painottaa rakennuksen taloteknisten laitteiden tarkkaa mittausta ja toiminnavarmennusta. Järjestelmän alamittausosio vaatii, että rakennuksen vuokralaisten kuluttama sähköenergia voidaan mitata tarkasti. Tämä mahdollistaa vuokralaisten motivoimisen energiansäätöön, koska näin on mahdollista nähdä toteutuneet energiansäästötoimenpiteet käytännössä.

Vakiovalonsäätö ja läsnäolotunnistus tarjoavat hyvät mahdollisuudet energiansäätöön toimistorakennuksissa. Valonlähteiden ominaisuudet ja lamppujen vaihtoväli määräävät, kuinka usein niitä voidaan sytyttää tai sammuttaa. Lamppujen valinnassa tulisikin ottaa tällaisissa kohteissa huomioon läsnäolo- ja liikeohjauksen aiheuttama rasite.

Läsnäolotunnistus voi myös tuoda oikein käytettynä huimat säästöt ilmaston ohjauksessa.

Rakennusten luokitusjärjestelmät antavat rakennuttajille selkeän ja yhdenmukaisen tavan mainostaa rakennustensa energiatehokkuutta. Tämä rohkaisee rakennuttajia panostamaan energiansäästöön ja sitä kautta vähentämään hiilijalanjälkeä. Vaikka LEED-luokitusjärjestelmä vaikuttaa sähkösuunnitteluun vain muutamassa kohdassa, sähkösuunnittelijoiden rooli tulee korostumaan ympäristöystävällisessä suunnittelussa. Suunnittelutoimistojen ja suunnittelijoiden tulisikin rohkeasti ehdottaa uusia ja innovatiivisia ratkaisuja tulevaisuudessa.

## Lähdeluettelo

**Ahponen, Veikko & Kasurinen, Esko & Timonen, Tapani. 1996.** Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. Jyväskylä : Gummerus Kirjapaino Oy, 1996. Sähköinfo Oy. 301 sivua. ISBN: 9529756232

**ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004. 2004.** Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta. 186 sivua.

**Anttila, Miia & Huhta, Antti & Mairinoja, Pekka & Nousiainen, Mikko & Nurminen, Toni & Rintala, Timo & Rothe, Peggie & Ventovuori, Tomi & Vierinen, Anne-Maria. 2008** Kiinteistöt ja Ympäristö Suomessa. Markkinakatsaus 2008. Espoo. Pöyry Building Services Oy, 2008.

**EU. 2006.** Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/32/EY, annettu 5 päivänä huhtikuuta 2006 , energian loppukäytön tehokkuudesta ja energiapalveluista sekä neuvoston direktiivin 93/76/ETY kumoamisesta

**Frankel, Mark & Turner, Cathy. 2008.** Energy Performance of LEED for New Construction. Viitattu 1.3.2009.  
[http://www.newbuildings.org/sites/default/files/Energy\\_Performance\\_of\\_LEED-NC\\_Buildings-Final\\_3-4-08b.pdf](http://www.newbuildings.org/sites/default/files/Energy_Performance_of_LEED-NC_Buildings-Final_3-4-08b.pdf)

**IPMVP. 2003.** International Performance Measurement & Verification Protocol volume III, Concepts and Options for Determining Energy Savings in New Construction, viitattu maaliskuussa 2010. [www.evo-world.org](http://www.evo-world.org).

**Langdon, Davis. 2007.** Davis Langdon - Global construction consultants. Viitattu 1.4.2009.  
<http://www.davislangdon.com/upload/images/publications/USA/The%20Cost%20of%20Green%20Revisited.pdf>.

**Morris, Peter. 2007.** Davis Langdon - Global construction consultants. Viitattu 2.3.2009.  
<http://www.davislangdon.com/USA/Research/ResearchFinder/What-Does-Green-Really-Cost/>.

**Nousiainen, Antti. Bruun, Marja. 2009.** Pohjoismaiden ensimmäisessä LEED-ympäristöluokituksen mukaan esisertifioidussa toimistotalossa käytetään kehittyntä sähkötekniikkaa. Plaani 1 2009 Rakennuttaminen.sivut 8-15

**Pöyry Finland. 2010.** PÖYRY Finland - Rakentamisen palvelut - Talotekninen suunnittelu - Sähkö- ja tietojärjestelmä. Viitattu 15.2.2010.  
[http://www.poyry.fi/Toimialat\\_ja\\_palvelut/Rakentamisen\\_palvelut/Talotekninen\\_suunnittelu/Sahko\\_ja\\_tietojarjestelmat.html](http://www.poyry.fi/Toimialat_ja_palvelut/Rakentamisen_palvelut/Talotekninen_suunnittelu/Sahko_ja_tietojarjestelmat.html).

**Schneider Electric Industries SAS. 2009.** PowerLogic System Catalogue 2009.

**Schneider Electric. 2009.** Prefabricated busbar trunking from 20 to 1000A Canalis catalogue 2009.

**Sähkötieto Ry. 2001.** Rakennuksen sähköverkon liittymän mitoittaminen [ST 13.31]. Espoo. Sähköinfo Oy.

**U.S. Green Building Council. 2005.** LEED NC - Green Building Rating System For New Construction & Major Renovations Version 2.2. U.S. Green Building Council. 416 sivua. ISBN: 9781932444063

**U.S. Green Building Council. 2009.** LEED 2009 for New Construction and Major Renovations. U.S. Green Building Council. 674 sivua. ISBN: 978-1-932444-14-8

## **9 Liitteet**

### ***Liite 1. LEED projektien luokituskriteerit***

LEED-NC 2009 Point Rating

#### **Sustainable Sites 26 Possible Points**

- Prerequisite 1: Construction Activity Pollution Prevention
- Credit 1: Site Selection
- Credit 2: Development Density and Community Connectivity
- Credit 3: Brownfield Redevelopment
- Credit 4.1: Alternative Transportation—Public Transportation Access
- Credit 4.2: Alternative Transportation—Bicycle Storage and Changing Rooms
- Credit 4.3: Alternative Transportation—Low-Emitting and Fuel-Efficient Vehicles
- Credit 4.4: Alternative Transportation—Parking Capacity
- Credit 5.1: Site Development—Protect or Restore Habitat
- Credit 5.2: Site Development—Maximize Open Space
- Credit 6.1: Stormwater Design—Quantity Control
- Credit 6.2: Stormwater Design—Quality Control
- Credit 7.1: Heat Island Effect—Nonroof
- Credit 7.2: Heat Island Effect—Roof
- Credit 8: Light Pollution Reduction

#### **Water Efficiency 10 Possible Points**

- Prerequisite 1: Water Use Reduction
- Credit 1: Water Efficient Landscaping
- Credit 2: Innovative Wastewater Technologies
- Credit 3: Water Use Reduction

#### **Energy and Atmosphere 35 Possible Points**

- Prerequisite 1: Fundamental Commissioning of Building Energy Systems
- Prerequisite 2: Minimum Energy Performance
- Prerequisite 3: Fundamental Refrigerant Management
- Credit 1: Optimize Energy Performance
- Credit 2: On-site Renewable Energy
- Credit 3: Enhanced Commissioning
- Credit 4: Enhanced Refrigerant Management
- Credit 5: Measurement and Verification
- Credit 6: Green Power

#### **Materials and Resources 14 Possible Points**

- Prerequisite 1: Storage and Collection of Recyclables
- Credit 1.1: Building Reuse—Maintain Existing Walls, Floors and Roof
- Credit 1.2: Building Reuse—Maintain Existing Interior Nonstructural Elements
- Credit 2: Construction Waste Management
- Credit 3: Materials Reuse
- Credit 4: Recycled Content

- Credit 5: Regional Materials
- Credit 6: Rapidly Renewable Materials
- Credit 7: Certified Wood

### **Indoor Environmental Quality 15 Possible Points**

- Prerequisite 1: Minimum Indoor Air Quality Performance
- Prerequisite 2: Environmental Tobacco Smoke (ETS) Control
- Credit 1: Outdoor Air Delivery Monitoring
- Credit 2: Increased Ventilation
- Credit 3.1: Construction Indoor Air Quality Management Plan—During Construction
- Credit 3.2: Construction Indoor Air Quality Management Plan—Before Occupancy
- Credit 4.1: Low-Emitting Materials—Adhesives and Sealants
- Credit 4.2: Low-Emitting Materials—Paints and Coatings
- Credit 4.3: Low-Emitting Materials—Flooring Systems
- Credit 4.4: Low-Emitting Materials—Composite Wood and Agrifiber Products
- Credit 5: Indoor Chemical and Pollutant Source Control
- Credit 6.1: Controllability of Systems—Lighting
- Credit 6.2: Controllability of Systems—Thermal Comfort
- Credit 7.1: Thermal Comfort—Design
- Credit 7.2: Thermal Comfort—Verification
- Credit 8.1: Daylight and Views—Daylight
- Credit 8.2: Daylight and Views—Views

### **Innovation in Design 6 Possible Points (ID Credit 1 has 5 points, and ID Credit 2 has 1 point)**

- Credit 1: Innovation in Design
- Credit 2: LEED Accredited Professional

### **Regional Priority 4 Possible Points**

- Credit 1: Regional Priority

(U.S. Green Building Council, 2005)



## ***Liite 2. Kysymykset Lintulahdenvuoren toimistorakennuksen käyttäjille***

AALTO-YLIOPISTO

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Elektroniikan, tietoliikenneteen ja automaation tiedekunta

Haastattelulomake diplomityötä varten

Aihe: Toimistorakennusten sähkösuunnittelu LEED-ympäristöluokituksen kannalta

Nimi:

Yritys:

Työtehtävä:

Päivämäärä:

Kysymykset:

- 1. Oletteko tyytyväinen valaistusratkaisuun?**
- 2. Miten valaistusta voisi parantaa?**
- 3. Onko vakiovalonsäätö toiminut aukottomasti vai oletteko huomanneet esim. viivettä valaistuksen säädössä?**
- 4. Onko käyttäjällä tarpeeksi mahdollisuuksia vaikuttaa oman työpisteen valaistustasoon?**
- 5. Miten tärkeänä pidät energiatehokkuutta?**
- 6. Vapaamuotoisia kommentteja?**

## **Liite 3. Kysymykset Skanska Oy:n projektipäälliköille**

AALTO-YLIOPISTO

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Elektroniikan, tietoliikennetien ja automaation tiedekunta

Haastattelulomake diplomityötä varten

Aihe: Toimistorakennusten sähkösuunnittelu LEED-ympäristöluokituksen kannalta

Nimi:

Yritys:

Työtehtävä:

Päivämäärä:

Kysymykset koskien Lintulahdenvuoren toimistorakennuksen valaistusratkaisuja

### **1. Valaistuksen tavoitteet?**

### **2. Ohjausjärjestelmä, ohjelmointi**

### **3. Valaistusvoimakkuuksien tavoitearvot**

### **4. Vakiovalonsäätö**

- tarkentavia kysymyksiä. esim.
- onko avokonttoreissa ohjelmoitu huoneen keskelle korkeammat valaistusvoimakkuudet kuin ikkunoiden lähelle, kiinteä ohjelmointi vai osaako järjestelmä säätää yksittäisten valaisimien voimakkuuksia älykkäästi?
- 

### **5. Läsnaolotunnistus sekä liiketunnistus ja näiden vaikutus energiansäästöön**

### **6. Omat kokemukset järjestelmän toimivuudesta**

### **7. Vapaamuotoista kommentointia**

## ***Liite 4. Kysymykset Pöyry Building Services Oy:n työntekijöille***

AALTO-YLIOPISTO

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Elektroniikan, tietoliikennetien ja automaation tiedekunta

Haastattelulomake diplomityötä varten

Aihe: Toimistorakennusten sähkösuunnittelu LEED-ympäristöluokituksen kannalta

Nimi:

Yritys:

Työtehtävä:

Päivämäärä:

Kysymykset:

**1. Milloin kuulit ensimmäisen kerran LEED-luokituksesta?**

**2. Oletko mielestäsi saanut tarpeeksi koulutusta luokituksesta?**

**3. Pidätkö ympäristötekijöitä tärkeinä?**

**4. Miten LEED-luokitus on vaikuttanut suunnitteluun?**

**5. Mitä hyvää näet luokituksessa?**

1.

2.

3.

**6. Entä huonoa?**

1.

2.

3.

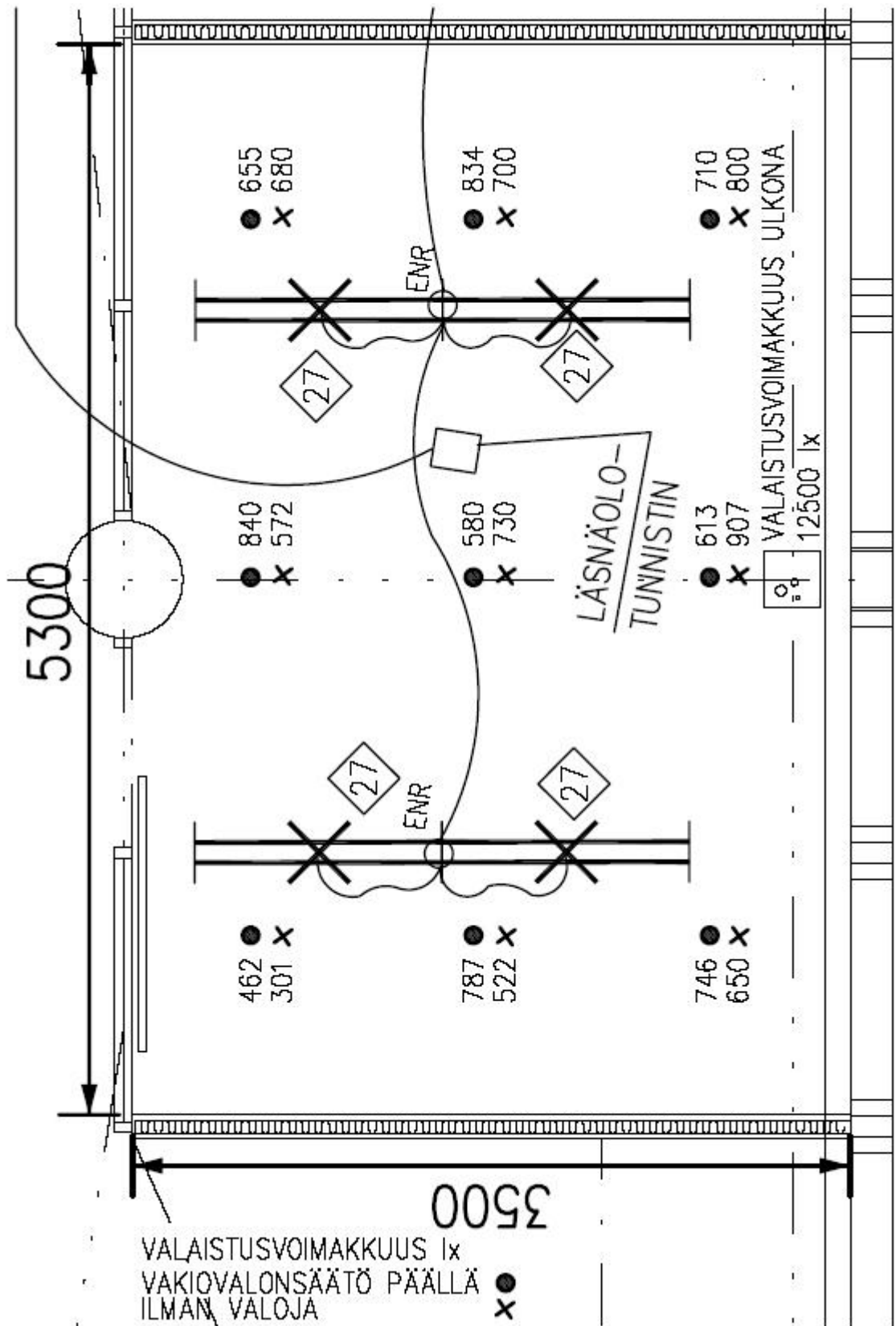
**7. Koetko, että luokitus aiheuttaa kompromisseja?**

**8. Minkä yleisarvosanan antaisit luokitukselle 1-5?**

**9. Vapaamuotoista kommentointia**

**Liite 5. Valaistusmittaukset toimistorakennuksessa**

**Lintulahdenuvuoren**



Pohjapiirustus on suhteessa 1:30

**Liite 6. Delta Ohm HD2102.2 mittalaitteen lux anturin tekniset tiedot**

ILLUMINANCE measurement probe LP 471 PHOT				
Measurement range (lux):	0.01...199.99	...1999.9	...19999	...199.99·10 <sup>3</sup>
Resolution (lux):	0.01	0.1	1	0.01·10 <sup>3</sup>
Spectral range:	in agreement with standard photopic curve V( $\lambda$ )			
Class	C			
Calibration uncertainty:	<4%			
f <sub>1</sub> (in agreement with photopic response V( $\lambda$ )):	<8%			
f <sub>2</sub> (response according to the cosine law):	<3%			
f <sub>3</sub> (linearity):	<1%			
f <sub>4</sub> (instrument reading error):	<0.5%			
f <sub>5</sub> (fatigue):	<0.5%			
$\alpha$ (temp. coefficient) f <sub>6</sub> (T)	<0.05%K			
Drift after 1 year:	<1%			
Functioning temperature:	0...50°C			
Reference Standards	CIE n.69 - UNI 11142			

## Liite 7. Dialux valaistussimulointi

Lintulahdenvuori, toimistohuone

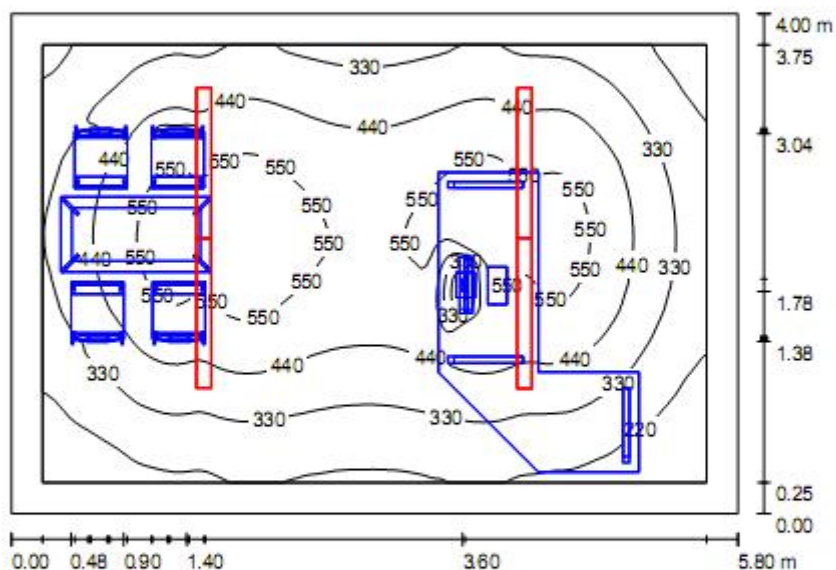
**DIALux**

05.02.2010

Pöyry Building Services Oy

Tekijä Marko Stanman  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

### Tila 1 / Yksisivuinen tulos



Tilan korkeus: 3.000 m, Asennuskorkeus: 2.600 m,  
Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux,  
Mittakaava 1:52

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	405	107	625	0.264
Lattia	20	235	43	455	0.183
Katto	70	191	43	935	0.225
Seinät (4)	50	118	50	218	/

#### Käyttötaso:

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

## Liite 8. Virtakisko

Catalogue numbers  
Dimensions

IP55

U<sub>e</sub> = 230...400 V

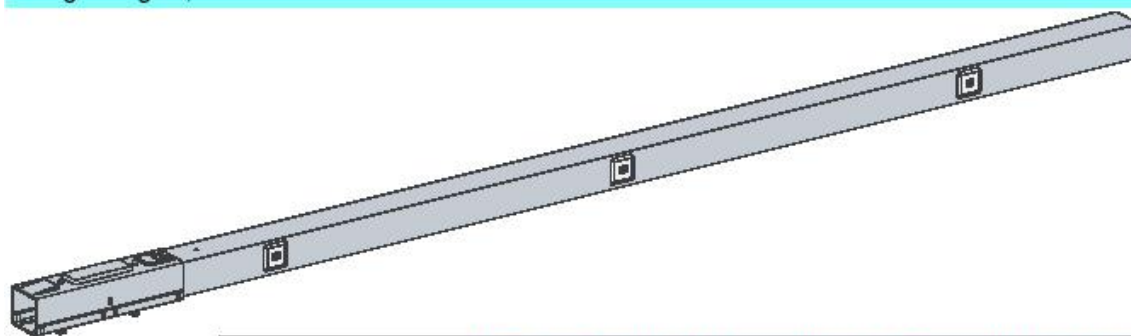
Galvanised or RAL 9010 white



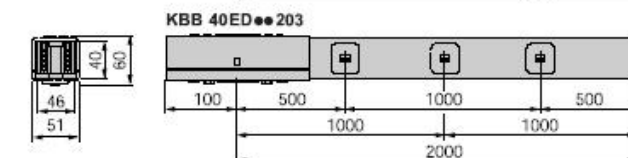
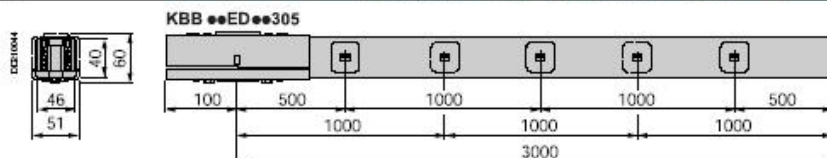
## Canalis KBB, 25 and 40 A, 2 circuits Busbar trunking for lighting and power socket distribution

Optional remote-control circuit (code T)  
Optional white-lacquered metal enclosure (code W)  
Optional isolated earth (code E)

### Straight lengths, two circuits



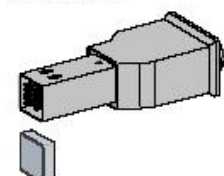
Type of busbar trunking	Length (m)	Number of tap-offs	Order in multiples of <sup>(3)</sup>	25 A rating	Weight	40 A rating	Weight	Option <sup>(1)</sup>		
				Cat. no.	(kg)	Cat. no.	(kg)	T	W	E
Standard straight length	3	0	6	KBB 25ED22300	2,400	KBB 40ED22300	2,700	-	-	-
		3+2	6	KBB 25ED22305	2,400	KBB 40ED22305	2,700	■	■	■
	2	2+1	6	KBB 40ED22203	1,700	KBB 40ED22203	1,700	■	■	■
		0	6	KBB 25ED42300	2,600	KBB 40ED42300	3,100	-	-	-
	3	3+2	6	KBB 25ED42305	2,600	KBB 40ED42305	3,100	-	■	-
		2+1	6	KBB 40ED44203	1,900	KBB 40ED44203	1,900	■	■	■
3	0	6	KBB 25ED44300	2,600	KBB 40ED44300	3,100	-	-	-	
	3+2	6	KBB 25ED44305	2,600	KBB 40ED44305	3,100	■	■	■	
2	2+1	6	KBB 40ED44203	1,900	KBB 40ED44203	1,900	■	■	■	
	Empty length	2	0	6	KBB 40EDA20	1,600	KBB 40EDA20	1,600	-	■



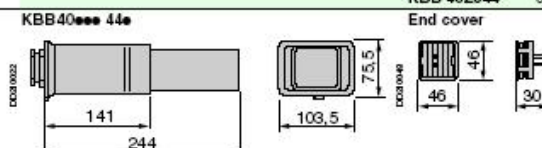
### Feed units (supplied with end cover)

Designation	Mounting	Cable connection		Options	Cat. no.	Weight (kg)	Option <sup>(1,2)</sup>		
		Terminals (mm <sup>2</sup> )	Cable gland Ø maxi (mm)				T	W	E
Feed unit	Left	6 to 10	PG 21, Ø 19	All	KBB 40ABG44	0,400	■	■	■
		6 to 10	PG 21, Ø 19	None	KBB 40ABG44	0,400	-	■	-
	Right	6 to 10	PG 21, Ø 19	E	KBB 40ABD44E	0,500	-	-	□
				T	KBB 40ZBD44T	0,500	□	■	-
Additional jointing unit					KBB 40ZJ44	0,640	■	■	■

KBB 40ABG44



KBB 40AD44



(1) ■ Options T and W may be combined. Add T, W or TW to the cat. no.

Example: KBB 40ABG44TW.

■ Option E may not be combined with options T and W. Add E to the cat. no.

Example: KBB 40ABG44E.

(2) □ Cat. no. for which the option is automatically included.

(3) Quantity may not be split.

## Liite 9. Läsnaöloilmaisimen tekniset tiedot

### TUOTEKORTTI

# 6131-74-102



Nimi:	<b>LÄSNÄOLOILMAISIN 360°, VALKOINEN</b> Läsnaöloilmaisim 360°, valkoinen
Tyyppi:	6131-74-102
EAN:	4011395067116
Snro:	3575410
Kuvaus:	Asennetaan väyläliityntäyksikköön 6120U-102 tai kytkinyksikköön 6110U-101 tai säädinyksikköön 6114U. Ilmaisinta voidaan käyttää läsnäoloilmaisun lisäksi ilmastoinnin ohjaukseen ja esim. hälytysjärjestelmään. Ilmaisim sisältää myös valoisuusanturin, joka on säädettävissä potentiometrillä tai parametreillä (5 – 1000 lx sammutusviive 10s – 30 min).
Pakkaus:	1/1
Yksikkö:	KPL



#### Tekniset tiedot

Jännitelähdön kuormitettavuus:	24 V DC
Koteloitiluokka:	IP20
Kuljetuslämpötila (°C):	-25 ... +70
Kytentäaika:	10 s ... 32 min (Light), 1 min ... 60 min (HVAC)
Käyttölämpötila (°C):	-5 ... +45
Mitat (mm), halkaisija x korkeus:	110 x 51
Paino (kg):	0,1
Standardi:	EIB-sertifioitu
Säätöalue (lux):	5 ... 1000
Valvonta-alue:	Ø 6,0 m ( asennuskorkeus 2,5 m )
Varastointilämpötila (°C):	-25 ... +55
Väri:	Valkoinen



## Liite 10. Tyytyväisyyskyselyn tulokset

vastaaja	tyytymätön	melko tyytyväinen	hyvin tyytyväinen
1		x	
2			x
3		x	
4		x	
5			x
6	x		
7			x
8		x	
9		x	
10			x
11			x
12			x
13			x
14			x
15			x
16		x	
17		x	
18			x
19			x
20		x	
21			x
22			x
23			x
24			x

vastaaja	toivoo lisää säätömahdollisuuksia	Vakiovalonsäätö toiminut hyvin	Ympäristöystävällisyys	vapaamuotoiset kommentit
1	x	-	x	
2		x	x	
3		-	x	tyytyväinen automatiikkaan
4	x	x	x	
5	x	x	x	ei tiedä miten voisi säätää valaistusta
6	x	x		ergonomia energiatehokkuuden edelle ja toivoo epäsuoraa valaistusta
7	x	x	x	automatiikka ok, ei tiedä miten voisi vaikuttaa valaistukseen
8		-	x	valaistus syttyy ja sammuu liian herkästi, ergonomia tehokkuuden edelle
9	x	x	x	
10		x		pitää tärkeänä ettei energiatehokkuus mene ergonomia edelle
11		x	x	Tyytyväinen, koska ei tarvitse säätää
12		x	x	Ei ole huomannut tarvetta valaistuksen säätömahdollisuudelle
13		-	x	pitää ottaa huomioon tehokkuuden/kustannusten suhde, vakiovalonsäätö liian herkkä
14		x	x	Ergonomia kuitenkin tärkeämpi
15		x	x	Ei tiedä missä säätimet ovat
16		x	x	toivoo mahdollisuutta omaan säätämiseen
17	x	x	x	Toivoo mahdollisuutta valojen sammuuttamiseen
18		x	x	Osassa tiloissa valot turhan pitkään päällä, wc-tiloissa valot sammuvat liiankin nopeasti
19		x	x	Toivoo lisää liiketunnistimia
20	x	x	x	Toivoo että valaistus olisi säädetty

				henkilökohtaisten mieltymysten mukaan
21		x	x	Osassa tiloissa valot turhan pitkään päällä, wc-tiloissa valot sammuvat liiankin nopeasti. Ei tarpeita lisäsäätömahdollisuuksilla
22		x	x	
23		x	x	Ei tiedä miten voi säätää, käyttää lisävalaisinta, joka pitää muistaa erikseen sammuttaa
24		x	x	Pitää positiivisena sitä että saa työskennellä ekologisessa toimistorakennuksessa