



Toimistotilojen valaistusteknisten ratkaisuiden energiatehokkuus

Juha-Pekka Törmälä

Opinnäytetyö
Toukokuu 2010
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan
suuntautumisvaihtoehto
Tampereen ammattikorkeakoulu

Tekijä(t)	Juha-Pekka Törmälä
Työn nimi	Toimistotilojen valaistusteknisten ratkaisuiden energiatehokkuus
Sivumäärä	41 sivua + 2 liitesivua
Työn valmistumiskausi ja vuosi	05/2010
Työn ohjaaja	tekniikan lisensiaatti Pirkko Harsia
Työn tilaaja	SESKO ry

Tiivistelmä

Työssä selvitettiin valaistusteknisten ratkaisuiden merkitystä toimistotilojen energiatehokkuuden parantamisessa.

SESKO ry:n tiloissa, Helsingin Lauttasaassa, suoritettiin perusparannuksia vuonna 2008 ja samassa yhteydessä uusittiin toimiston valaistusjärjestelmä. Toimistotiloihin asennettiin päivänvalonohjaus- sekä liiketunnistusjärjestelmä siten, että valojen ohjaus toimii tavallisesti tilanneohjauksen avulla.

Työssä haluttiin selvittää ennen kaikkea, paljonko energiankulutusta voidaan pienentää vaihtamalla perinteinen kytkimillä toteutettu ohjaustapa uuteen liiketunnistukseen perustuvaan ohjaustapaan. Samalla haluttiin vertailla, kuinka hyvin standardin SFS-EN 15193 antamat vertailuarvot vastaavat todellisuutta.

Koska toimistotiloissa ei ollut erillismittausta käytettävissä ennen vuotta 2008, energiankulutusta vertailtiin laskemalla teoreettiset kulutusarvot vanhalle järjestelmälle. Uuden järjestelmän todellinen kulutus voitiin lukea suoraan mittarista, joka asennettiin remontoinnin yhteydessä. Standardin vertailuarvojen ja todellisen kulutuksen vertailua tehtiin käyttämällä hyväksi Dialux-ohjelmiston laskentatoimintoa, joka perustuu SFS-EN 15193 -standardin määrittelemiin vertailuarvoihin.

Tuloksista kävi ilmi, kuinka suuren hyödyn voi saada aikaan, kun uusii valaistusjärjestelmän nykyaikaiseksi ja energiatehokkaaksi. Tämän kokoluokan toimistotiloissa voidaan saavuttaa jo noin 30 - 40 %:n energiansäästö nykyaikaisilla valaistusratkaisuilla.

Tulevaisuuden haasteeksi jää selvittää, miten valaistustekniikan kehittyessä voitaisiin säästää vielä enemmän energiankulutuksessa.

Writer(s)	Juha-Pekka Törmälä
Thesis	The energy efficiency of lighting solutions in office spaces
Pages	41 pages + 2 annexes
Month and Year of Completion	05/2010
Thesis Supervisor	principal lecturer Pirkko Harsia
Co-operating Company	SESKO ry

Abstract

The study was about finding out the role of lighting solutions when improving the energy efficiency in office spaces.

In the year 2008, there was some renovation done at SESKO ry, Helsinki. The lighting system of the office was renewed at the same time. A daylight control unit and a motion sensor based system were installed so that the control of the lights would mainly work automatically.

All in all the work was about finding out how much it would be possible to reduce the energy consumption by changing the classical, switch based lighting system into a new motion sensor based way of controlling lights. At the same time, the actual measurement figures were compared to the figures of the standard SFS-EN 15193 to find out, how well the figures coincide.

Because there was no separate energy consumption measurement available before year 2008, the energy consumption figures for the old system were counted by using the theoretical consumption values. The real consumption figures of the new system were available straight from the meter which was installed during the renovation. The comparison between the consumption figures of the old and the new system was made by using a program called Dialux.

The results show that by modernizing the lighting system, it is possible to reduce energy consumption in medium size office spaces up to 30 or 40 %.

It remains as a challenge of the future to find out how it would be possible to save even more energy as the lighting technology develops.

Keywords energy efficiency, office spaces, lighting

Esipuhe

Työ oli jo lähtökohtaisesti erittäin haastava, koska sähkövoimatekniikkaan erikoistuneena, kiinteistösähköistyksen ja valaistukseen liittyvät asiat eivät olleet ennalta tuttuja. Työ osoittautui kuitenkin jo heti alusta lähtien varsin mielenkiintoiseksi, koska aiheesta ei ollut olemassa varsinaista käytännön kokemusta tässä mittakaavassa.

Työn valmistuttua oli varsin yllättävää huomata, kuinka paljon energiankulutukseen voidaan vaikuttaa valitsemalla energiatehokas ja nykyaikainen valaistusjärjestelmä.

Haluan kiittää SESKO ry:n koko henkilökuntaa tuesta, jota olette tarjonneet työn tekemiseen ja erityisesti haluan kiittää työn ohjaajia diplomi-insinööri Tapani Nurmea sekä insinööri Eero Sorria asiantuntemuksesta liittyen toimiston järjestelmien asennus- sekä käyttötoimintoihin.

Lisäksi haluan kiittää KT-Interior Oy:n insinööri Markku Varsilaa, joka auttoi asiantuntemuksellaan toimistotilojen valaisinmallinnuksessa.

Haluan kiittää myös vanhempiani ja siskoani tuesta, joka on mahdollistanut tutkinnon suorittamisen ja opinnäytetyön teon.

Tampereella 2.5.2010

Juha-Pekka Törmälä

Sisällysluettelo

1 Johdanto	7
2 Valaistuksen energiankulutus ja säästäminen	8
2.1 Energiankulutus	8
2.2 Energian säästäminen	8
3 Toimistotilan valaistus	15
3.1 Valaistuksen tavoitteet	15
3.2 Toimistotilojen valaistustekniset vaatimukset	16
3.3 Valaisimien sijoittelu	16
3.4 Näyttöpäätetyöpaikkojen valaistus	17
3.5 Laskentamenetelmät	18
3.5.1 Laskenta valaisimien kokonaistehon avulla	18
3.5.2 Laskenta LENI-periaatteella	19
4 Esimerkkikohde	20
4.1 Taustaa	20
4.2 Vaatimusten toteutuminen	21
4.3 Mittaustekniikka	22
5 Tulokset	26
5.1 Vanhan järjestelmän energiankulutus	26
5.2 Uusitun valaistuksen laskennallinen energiankulutus ilman ohjausjärjestelmää ..	27
5.2.1 Taukuhuone	28
5.2.2 Työhuone	29
5.2.3 Saniteettitilat sekä serverihuone	30
5.2.4 Toimiston käytävä	31
5.2.5 Neuvotteluhuone 1	33
5.2.6 Neuvotteluhuone 2	35
5.3 Uuden valaistusjärjestelmän mitattu energiankulutus	37
5.4 LENI-laskennan mukainen energiankulutus uudelle järjestelmälle	37
6 Johtopäätökset	39
Lähteet	41
Liitteet	42

Lyhenneluettelo

f	Valovirta [lm]
h	Käyttöhyötysuhde
P	Teho [W]
W_{kok}	Kokonaisenergiankulutus vuodessa [kWh]
P_{kok}	Laskettavan tilan valaisimien yhteenlaskettu kokonaisteho [W]
$t_{h/vuorokausi}$	Arvioitu laskettavan tilan käyttöaika vuorokaudessa [h]
E [lx]	Valaistusvoimakkuus, Luksi, (lm/m ²)
LRC	Lighting Research Center, joka toimii Rensselaer yliopiston alaisuudessa tutkimuslaitoksena valaistukseen ja energiankulutukseen liittyvissä asioissa
E_m	Valaistusvoimakkuuden huoltoarvo [lx], jonka alle valaistustaso ei saa pudota asennuksen eliniän aikana.
UGR _L	Kiusahäikäisyindeksi
R_a	Värintoistoindeksi [%], joka ilmaisee valon kyvyn toistaa valaistavan tilan värejä luonnollisina
EuP	Direktiivi energiaa käyttävien tuotteiden ekologiselle suunnittelulle asetettavien vaatimusten puitteista (2005/32/EY)

1 Johdanto

Opinnäytetyössä käsitellään toimistotilojen valaistusteknisten ratkaisuiden energiatehokkuutta. Erityisesti tutkitaan SESKO ry:n toimistotiloihin asennettua valaistusta, josta saatiin ensikäden tietoa tilanneohjauksella toteutetun valaistusjärjestelmän todellisesta kulutuksesta Suomen olosuhteissa.

Samassa yhteydessä tutkittiin, kuinka tarkasti standardin SFS-EN 15193 antamat vertailuarvot pitävät paikkansa Suomen olosuhteissa.

Opinnäytetyössä selvitetään aluksi teoreettiselta pohjalta energiankulutukseen ja energiansäästämiseen liittyviä tekijöitä, jonka jälkeen käsitellään valaistusvaatimuksia toimistotiloissa.

Tämän jälkeen käsitellään erilaisia laskentamenetelmiä, joilla voidaan arvioida toimistotilojen energiankulutusta.

Tämän jälkeen käsitellään SESKO ry:n tapausta ja perehdytään toimiston vanhan ja uuden valaistusjärjestelmän kulutusarvioihin ja toteutustekniikoihin.

Lopuksi esitellään saadut tulokset mittauksien ja laskentamenetelmien pohjalta ja esitetään työn pohjalta tehdyt johtopäätökset.

2 Valaistuksen energiankulutus ja säästäminen

2.1 Energiankulutus

Rakennusten sähkönkulutuksesta koko maailmassa kuluu 20–30 % valaistukseen. Eurooppalaisella tasolla tarkasteltuna valaistuksen osuus rakennusten energiankulutuksesta on toimistorakennuksissa noin puolet, kouluissa 10–15 %, sairaaloissa 20–30 % ja asuinrakennuksissa noin 10 %. EU on sitoutunut vuoteen 2020 mennessä pienentämään kasvihuonekaasujen päästöjä 20 % vuoden 1990 tasoon verrattuna. Noin 90 % valaistusjärjestelmän ympäristövaikutuksista syntyy käytön aikana. [Varsila, Fagerhult Oy 2008]

Uusimman valonlähde- ja valaisintekniikan avulla valaistuksen energiankäyttö voidaan helposti puolittaa ja energiankulutusta voidaan pienentää vielä tästäkin käyttämällä uusia valonohjausjärjestelmiä. [Varsila, Fagerhult Oy 2008]

2.2 Energian säästäminen

Valaistusvoimakkuus vaikuttaa suoraan energiankulutukseen

Koska energiankulutus on suoraan verrannollinen valaistusvoimakkuuteen, kannattaa erilaisia valaistusvaatimuksia käsittävät toiminnot sijoittaa erilleen tai eri tiloihin. Näin tiloja ei valaista turhaan. [Varsila, Fagerhult Oy 2008]

Valaistuksen sijoittelu työalueelle

Standardin EN 12464-1 mukaisesti valaistusvaatimusten tulee toteutua työalueella sekä sen välittömässä lähiympäristössä. On tärkeää huomata, että myös muualla toimistotiloissa on valaistusvaatimuksia. Esimerkiksi kokoustilat ja arkistotilat vaativat tietyn valaistusvoimakkuuden kuvan 3.1 mukaisesti.

Valaistuksen optimointi työalueelle on energiataloudellista ja tiloja ei valaista turhaan. Mitoituksen edellytyksenä on, että työalueen sijainti on tiedossa. Muutoin vaatimusten tulee toteutua koko tilassa, mikä lisää suoraan valaistuksen energiankulutusta.

Myös asennuskorkeus vaikuttaa käänteisen neliölain vuoksi energiankulutukseen: jos valaisimen ja työalueen välinen etäisyys kaksinkertaistuu, tarvitaan nelinkertainen määrä valoa saman valaistusvoimakkuuden saavuttamiseksi. [Varsila, Fagerhult Oy 2008]

Valotehokkaat valonlähteet

Lamppujen energiatehokkuusluokat määrittellään Euroopan Yhteisöjen Komission direktiivissä 98/11/EY. Selventävä ote energiatehokkuusluokan määrittämisestä löytyy liitteestä 2. [Euroopan Yhteisöjen Komission direktiivi 98/11/EY,1998]

Lamppujen valotehokkuudessa on merkittäviä eroja. Sisätiloissa energiataloudellisimpia valonlähteitä ovat TLD-suoraloistelamput. Seuraavaksi tulevat monimetalli- ja sitten pienloistelamput, joiden valotehokkuus riippuu voimakkaasti sekä lampputyypistä että sen tehosta.

Uusimmat pienloistelamput yltyvät jo energiatehokkuusluokkaan A (liite 2) ja ne parantavat esimerkiksi downlight-valaisinten energiatehokkuutta tehon ja lamppumäärän mukaan 10–40 %. Parhaat markkinoilla olevat LEDit lähestyvät valotehokkuudessa samaa tasoa pienloistelamppujen kanssa, mutta yksikkövalovirrat ovat vielä edelleen pieniä.

EU tulee lähivuosina poistamaan energiatehokkuudeltaan heikoimmat valonlähteet markkinoilta EuP-direktiivin toimeenpanomääräyksillä, joten valaistussuunnittelussa on myös aiheellista valmistautua tuleviin muutoksiin. [Varsila, Fagerhult Oy 2008]

Lampputyypin vaikutus alenemakertoimen kautta energiankulutukseen

Valaistusvaatimusten tulee toteutua myös silloin, kun lamppujen valovirta on vanhenemisen myötä pienentynyt. Lamppujen valovirranalenemasta johtuva valaistusvoimakkuuden pieneneminen otetaan valaistussuunnittelussa huomioon alenemakertoimella. Mitä pienempi alenemakerroin on, sitä suurempi on valaistusasennuksen ylimitoitus. Suorilla loistelampuilla valovirranalenema on pienempää kuin pienloistelampuilla. [Varsila, Fagerhult Oy 2008]

Valaistushuollon vaikutus energiankulutukseen

Valaistusvaatimusten tulee toteutua myös silloin, kun lamput ja valaisimet ovat likaantuneita koko käyttöajan, huoltoon asti. Lamppujen ja valaisimien likaantumisesta johtuva valaistusvoimakkuuden pieneneminen otetaan valaistussuunnittelussa huomioon alenemakertoimella.

Alenemakerroin riippuu tilan puhtaudesta ja valaisimien säännöllisestä puhdistamisesta. Nykyisillä loistelampuilla lampunvaihtoväli on niin pitkä, että valaisimet ja lamput kannattaa puhdistaa vuosittain. Näin suunnittelussa voidaan käyttää suurempaa alenemakerrointa eli pienempää ylimitoitusta. [Varsila, Fagerhult Oy 2008]

Valaisimien hyötysuhde ja valaistushyötysuhde

Valaisimen käyttöhyötysuhde kertoo, kuinka paljon valoa valaisimesta saadaan normaalissa huoneenlämpötilassa. Valaisimien hyötysuhde vaihtelee varsin laajoissa rajoissa, mihin vaikuttavat häikäisysuoja ja optiikka. Isotehoisilla lampuilla hyötysuhde ja energiatehokkuus ovat yleensä parempia kuin pienitehoisilla. Tämä johtuu osittain suurempitehoisten lamppujen paremmasta valotehokkuudesta ja siitä, että liitäntälaittehäviöiden suuruus ei juuri riipu lampputehosta. [Varsila, Fagerhult Oy 2008]

Yksilamppuisilla valaisimilla hyötysuhde on parempi kuin kaksilamppuisilla, jos lamput sijaitsevat saman häikäisysuojakennon/ heijastimen sisällä. Mitä pienempi tila on kyseessä, sitä suurempi on heijastuneen valon osuus työtasolle päätyvästä valovirrasta. Pienessä tilassa valaistushyötysuhde on siis heikompi. Työalueelle optimoitu valaistus on vähemmän riippuvainen tilan ominaisuuksista kuin yleisvalaistus. [Varsila, Fagerhult Oy 2008]

Liitäntälaitetekniikka

Elektroninen liitäntälaitte pienentää valaisimen liitäntälaittehäviöitä suuruusluokkaa 5–10 W/lamppu verrattuna vanhempaan kuristintekniikkaan. Mitä pienempitehoisesta valaisimesta on kyse, sitä suurempi suhteellinen säästö elektroniikalla voidaan saavuttaa. Vanhoissa kuristinvalaisimissa liitäntälaittehäviöitä kasvattaa myös se, että kuristimet on mitoitettu 220 V jännitteelle. Nykyinen verkkojännite tarkoittaa tällaisilla valaisimilla noin 5 % ylijännitettä, joka nostaa lampun palamisvirtaa lähes 15 %. Valaisimen todellinen teho on noin 20 % suurempi kuin nimellisteho ja energiankulutus saman verran suurempi. [Varsila, Fagerhult Oy 2008]

Tarkastellaan esimerkiksi kahta Philips Pacific -sarjan loistevalaisimen liitäntälaitteen vaikutusta valotehokkuuteen. Valaisimien tiedot on esitelty taulukoissa 2.1 ja 2.2. Molemmat valaisimet sisältävät 2 x 58 W:n loisteputket. Ensimmäisessä (taulukko 2.1) on kuristin ja toisessa (taulukko 2.2) on elektroninen liitäntälaitte. [Luentomateriaali, Harsia, 2010]

Taulukko 2.1 Kuristimella varustetun valaisimen tiedot

Philips Pacific TCW596 2xTL-D58W/840 CON R	
Valaisimen valovirta	10400 lm
Valaisimen teho	133 W
Valaisimen käyttöhyötysuhde	0,58

Taulukko 2.2 Elektronisella liitäntälaitteella varustetun valaisimien tiedot

Philips Pacific TCW596 2xTL-D58W/840 HF R	
Valaisimen valovirta	10400 lm
Valaisimen teho	110 W
Valaisimen käyttöhyötysuhde	0,58

Mahdollisimman hyvän valotehokkuuden saavuttamiseksi, valaisimen tulee tuottaa mahdollisimman paljon valoa suhteessa sen ottamaan tehoon. Kun lasketaan molempien valaisimien valotehokkuudet hyödyntämällä kaavaa 1, nähdään kuinka elektroninen liitäntälaitte parantaa valaisimen valotehokkuutta selvästi verrattuna pelkkään kuristimeen.

Valotehokkuus taulukon 2.1 valaisimelle

$$\text{Valotehokkuus} = \frac{f \cdot h}{P} = \frac{10400 \text{ lm} \cdot 0,58}{133 \text{ W}} = 45,35 \text{ lm/W} \quad (1)$$

Valotehokkuus taulukon 2.2 valaisimelle

$$\text{Valotehokkuus} = \frac{f \cdot h}{P} = \frac{10400 \text{ lm} \cdot 0,58}{110 \text{ W}} = 54,58 \text{ lm/W} \quad (2)$$

Kaavoissa 1 ja 2,

f = Valovirta [lm]

h = Käyttöhyötysuhde

P = Valaisimen teho [W]

Valotehokkuus paranee huomattavasti, kun valaisimeen liitetään elektroninen liitäntälaitte, koska tämä mahdollistaa pienemmän tehon ottamisen verkosta ja näin ollen siis pienentää energiankulutusta.

Vertailtaessa T5 -ja T8-lamppujen tekniikkaa, voidaan hyödyntää Lighting Research Center:n (LRC) tekemää vertailua T5 -ja T8-lamppujen välillä. Vertailua hankaloittaa hieman se, että lampuista ei valmisteta tällä hetkellä saman tehoisia versioita. LRC:n tekemässä vertailussa osoitetaan, kuinka T5-tekniikalla saadaan parempi valotehokkuus aikaisiksi kuin T8-tekniikalla. Vertailussa 35 W T5-lampulle ilmoitetaan valotehokkuudeksi 104 lm/W, kun taas 32 W T8-lampulle ilmoitetaan valotehokkuudeksi 92 lm/W. [Lighting Research Center, 2002]

Erilaisia valaistuksen ohjaustapoja

Valaistusta voidaan ohjata monella eri tavalla, riippuen käyttötarkoituksesta ja halutusta lopputuloksesta.

Isoissa teollisuushalleissa on perinteisesti käytössä yhtäaikainen ohjaus kaikille hallin valoille siten, että yhdellä ohjauksella sytytetään kaikki hallin valot. Myös avokonttori-tyyppiset toimistotilat ovat varsin usein yhden kytkimen takana.

Kun halutaan saavuttaa jonkin verran ohjattavuutta valaistukseen ja samalla hieman energiansäästöä, voidaan esimerkiksi perustoimistotilojen valaistus toteuttaa huonekohtaisilla ohjausjärjestelmillä. Perinteisesti tämä on toteutettu siten, että huoneen oven vieressä on kytkin huoneen valoille ja työntekijä on itse vastuussa valojen syyttämistä ja sammuttamisesta kulkiessaan huoneeseensa ja sieltä pois.

Tämä ratkaisu on ollut käytössä vuosikymmeniä ja toimii erittäin hyvin silloin, kun työntekijät ovat tunnollisia ja jaksavat ja huomaavat sammuttaa valot aina huoneesta poistuessaan. On kuitenkin varsin tavallista, että tällaisella perinteisellä tavalla toteutetuissa toimistoissa työntekijä sytyttää valot aamulla työpaikalle tullessaan ja sammuttaa ne illalla pois lähtiessään, mikäli muistaa.

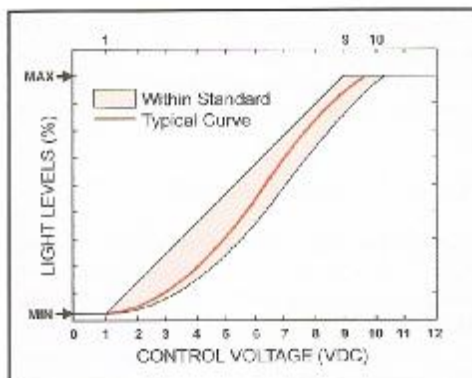
Huomattavaa energiansäästöä saadaan aikaan, kun valaistusjärjestelmään asennetaan ohjainlaitteet, liikkeentunnistusjärjestelmä sekä päivänvalon tunnistusjärjestelmä. Liiketunnistusjärjestelmän suurena etuna voidaan pitää sitä, että työntekijän ei tarvitse huolehtia valojen ohjauksesta mitenkään ellei halua itse säätää esimerkiksi himmennuksen tasoa. Liiketunnistusjärjestelmä kytkee valot pois päältä määritetyn ajan kuluttua automaattisesti, jos havainnointikenttään ei tule liikettä sillä välin.

Päivänvaloon liittyvä tunnistusjärjestelmä taas himmentää valoja ja laskee näin käytettävää energiamäärää sen mukaisesti, paljonko työpisteessä on käytettävissä luonnonvaloa.

Ohjattujen valojärjestelmien suosio kasvaa, erityisesti toimistotiloissa, koska vähitellen järjestelmän todellinen kustannustehokkuus alkaa selvitä loppukäyttäjille. Parhaimmillaan puhutaan jopa 40–60 % vuosisäästöistä energiankulutuksessa, kuten esimerkkitapaus kohdassa 5 osoittaa.

Valaistuksen ohjauksessa, jossa käytetään elektronisia liitäntälaitteita, tulee kuitenkin ottaa huomioon myös se, että varsinainen ohjauslaite synnyttää tehohäviötä. Jos valojen ohjaus on toteutettu jännitteen ohjauksella, niin kuvan 2.1 mukaisesti 10 V vastaa 100 %:a valaistustehoa ja taas 1 V vastaa 0 %:a. Tästä syntyy ohjauksesta johtuva tehohäviö.

Vaikka nimellinen ohjausjännite on 0–10 V, niin todellisuudessa ohjaus tapahtuu 1–10 V välissä, jotta mahdolliset häiriöt sähköverkossa eivät häiritse ohjauslaitteen toimintaa. Tämä johtaa automaattisesti tehohäviöihin liitäntälaitteella. [Lighting control, Simpson, 2003]



Kuva 2.1 IEC 60929 mukainen kuvaaja 1-10 V ohjausjännitteelle

Päivänvalon hyödyntäminen

Mitä isompi ikkunapinta-ala ja mitä korkeammalla ikkunan yläreuna on lattiasta, sitä enemmän ja pidemmälle tilaan saadaan päivänvaloa. Nykyaikaisilla ohjauksilla tämä valo voidaan käyttää hyödyksi ja pienentää vastaavasti keinovalaistuksen käyttöaikaa ja tehoa. [Varsila, Fagerhult Oy 2008]

3 Toimistotilan valaistus

3.1 Valaistuksen tavoitteet

Valaistusratkaisulla pyritään luomaan turvallinen ja viihtyisä työympäristö.

Valaistuksen voimakkuutta säätämällä pystytään joissain määrin vaikuttamaan ihmisten tuottavuuteen sekä turvallisuuden tunteeseen työpaikalla. [Lighting control, Simpson, 2003]

Valaistusratkaisuilla voidaan vaikuttaa huomattavasti myös energiatehokkuuteen.

Läsnäolotunnistimien käyttö on lisääntynyt huomattavasti tekniikan kehittyessä ja ilmastonmuutoksen myötä. Perinteisillä valaisinratkaisuilla toteutetuilla toimistotiloilla on paineita saada energiankulutustaan pienemmäksi. [Sähköala-lehti, numero 1 - 2/2009]

3.2 Toimistotilojen valaistustekniset vaatimukset

Toimistotilojen tulee täyttää kuvan 3.1 mukaiset arvot, jotta työnteolle on mahdollisimman hyvät ja turvalliset olosuhteet.

Toimistot	\bar{E}_m lx	UGR _L	R _a	Huomautukset
Tila, tehtävä tai toiminta		-	-	
Arkistointi, kopiointi, jne.	300	19	80	
Kirjoittaminen, konekirjoitus, lukeminen, tietojenkäsittely	500	19	80	Näyttöpäätetyö: ks. 4.11.
Tekninen piirtäminen	750	16	80	
CAD-työasemat	500	19	80	Näyttöpäätetyö: ks. 4.11.
Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä.
Vastaanottotiski	300	22	80	
Arkistot	200	25	80	

Kuva 3.1 Toimistotilan valaistustekniset raja-arvot SFS-EN 12464-1 mukaan.

Kuvassa 3.1,

E_m = Valaistusvoimakkuuden huoltoarvo, jonka alle määrätyn alueen valaistusvoimakkuus ei saa laskea

UGR_L= Sisätilojen valaistusasennuksien aiheuttama kiusahäikäisyindeksi

R_a= Värintoistoindeksi, joka mittaa valonlähteen kykyä toistaa tiettyjä testivärejä suhteessa annettuun vertailuvakiovalonlähteeseen määrättyssä värilämpötilassa

3.3 Valaisimien sijoittelu

Valaisimet tulee sijoittaa työympäristöön siten, että ne eivät aiheuta turvallisuudelle vaaraa työtehtävien suorituksessa. Lisäksi tulee huomioida erittäin tärkeänä seikkana valaistusvoimakkuus. Turvallisuus on kuitenkin tärkein asia ja valaistusvoimakkuutta säätämällä voidaan luoda turvalliset työolosuhteet.

Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuden tulee olla kuvan 3.2 mukaisessa suhteessa työalueen valaistusvoimakkuuteen ja sen tulee saada aikaan tasapainoinen luminanssijakauma näkökentässä. Suuret valaistusvoimakkuuden vaihtelut työalueen ympäristössä saattavat aiheuttaa näköväsymystä ja epämukavuuden tunnetta.

Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus voi olla alhaisempi kuin työalueella, mutta se ei saa alittaa kuvassa 3.2 esitettyjä arvoja. [SFS-EN 12464-1]

[Valaistussuunnittelijan käsikirja, Fagerhult Oy]

Työalueen valaistusvoimakkuus lx	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus lx
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	$E_{\text{työalue}}$
Tasaisuus: ≥ 0,7	Tasaisuus: ≥ 0,5

Kuva 3.2 Työalueen ja välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuudet sekä niiden tasaisuus

3.4 Näyttöpäätetyöpaikkojen valaistus

Näyttöpäätetyöpaikkojen valaistuksen tulee soveltua kaikille työpaikalla suoritettaville tehtäville, joita ovat esim. lukeminen näyttöltä, painetun tekstin lukeminen, kirjoittaminen käsin ja näppäimistön käyttö.

Näytöllä ja joissakin olosuhteissa näppäimistöllä saattaa esiintyä heijastumia, jotka aiheuttavat esto- ja kiusahäikäisyä. Siksi on välttämätöntä valita ja sijoittaa valaisimet niin, että kirkkaat heijastumat vältetään.

Suunnittelijan tulee määrittää alueet, joille valaisimia ei tule asentaa, valita valaisimet sekä suunnitella asennuspaikat niin, että häiritseviä heijastumia ei esiinny. [SFS-EN 12464-1]

3.5 Laskentamenetelmät

3.5.1 Laskenta valaisimien kokonaistehon avulla

Laskettaessa SESKO ry:n toimistotilan vuotuista kokonaisenergiankulutusta, otettiin laskennassa huomioon alentavana kriteerinä vain läsnäolo-ohjaus. Tällöin lähtöarvoina käytettiin ilmoitettuja valaisimien kokonaistehoja. Läsnäolo-ohjaukseen liittyvä alentava kriteeri huomioitiin vain läsnäoloarviossa, jossa arvioitiin yksittäisen työhuoneen tai muun tilan käyttöaika vuorokaudessa.

Teoreettisia energiankulutusrvoja laskettaessa on laskelmissa huomioitu seuraavat tekijät:

- Toimiston valaisimia käytetään arkisin tietty tuntimäärä.
- Toimiston katsotaan olevan tyhjillään viikonloppuisin sekä yleisinä juhlapyhinä.
- Laskennassa käytetään vuositasa kuvaamaan kerrointa 250 vuorokautta. Kertoimessa otetaan huomioon viisipäiväinen työviikko sekä yleiset juhlapyhät, joita esiintyy kalenterivuodesta riippuen noin 10 vuorokautta vuodessa.
- Automaattiseen sytytys- ja sammutuspiiriin kuuluvat toimistossa käytävä, työhuoneet, kopio- ja serverihuone sekä WC:t.
- Jokaiselle huonetyypille on arvioitu erikseen vuorokautinen käyttöaika.
- Karkausvuosia ei huomioida.

Vuotuista energiankulutusta voidaan arvioida ja laskea seuraavalla kaavalla

$$W_{kok} = P_{kok} \cdot t_{h/vuorokausi} \cdot 250 \text{ vrk} \quad (3)$$

Kaavassa 3,

W_{kok} = Kokonaisenergiankulutus vuodessa

P_{kok} = Laskettavan tilan valaisimien yhteenlaskettu kokonaisteho [W]

$t_{h/vuorokausi}$ = Arvioitu laskettavan tilan käyttöaika vuorokaudessa [h]

3.5.2 Laskenta LENI-periaatteella

Standardi EN 15193 ”Energy performance of buildings – Energy requirements for lighting” määrittää standardoidun laskentamenetelmän kiinteän valaistuksen energiankäytölle erilaisissa rakennuksissa. Rakennuksen valaistuksen energiatehokkuus arvioidaan indeksillä, joka ilmoitetaan muodossa kWh/m²/vuosi (LENI). LENI-luku lasketaan koko rakennukselle ja sitä voidaan käyttää valaistukseen käytetyn energian vertailulukuna. Tällöin samaan käyttötarkoitukseen tarkoitettujen rakennusten energiankulutuksen vertailu on helppoa. [Fagerhult Oy, 2010]

Taulukko 3.1 Ote standardista SFS-EN 15193, jossa annetaan vertailuarvot LENI-luvulle toimistotiloissa.

		No cte illuminance		Cte illuminance	
		LENI	LENI	LENI	LENI
	Quality class	Limiting value		Limiting value	
		Manual	Auto	Manual	Auto
		kWh/m ² /vuosi		kWh/m ² /vuosi	
Office	*	42,1	35,3	38,3	32,2
	**	54,6	45,5	49,6	41,4
	***	67,1	55,8	60,8	50,6

Kuten taulukosta 3.1 voidaan nähdä, standardi SFS-EN 15193 antaa parhaaksi vertailuarvoksi 32,2 kWh/(m² x vuosi). Jotta toimistotilaa voidaan pitää energiatehokkaana, tulee sen alittaa kyseinen arvo laskennallisen käyttöajan mukaan. Standardissa toimistotilan laskennalliset käyttöajat ovat 2250 käyttötuntia vuodessa.

Valaistussuunnittelussa käytetään toisinaan hyvänä arvona lukua 15 kWh/m²/vuosi, joka on erittäin kunnianhimoinen tavoite, mutta saavutettavissa. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa D5, rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta (RMK D5), annetaan toimistorakennukselle ominaissähköenergiankulutusarvoksi 30 kWh/m²/vuosi. [Varsila, Fagerhult Oy, 2008] [D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2007]

Tästä voidaan päätellä, kuinka laajasti esimerkiksi toimistotilan energiatehokkuusluokitusta voidaan arvioida. Tämän vuoksi, arvot ovat suosituksia ja niitä voidaan käyttää vain vertailtaessa samanlaisia tiloja keskenään.

4 Esimerkkikohde

4.1 Taustaa

SESKO ry:n toimitiloissa tehtiin kesällä 2008 perusparannus, jonka yhteydessä mm. valaistusratkaisut uusittiin kokonaan. Valaistus toteutettiin valaistusjärjestelmiä toimittavan Fagerhult Oy:n suunnitelman pohjalta.

Toimiston vanhassa valaistusratkaisussa on ollut käytössä 1980-luvun ajanmukainen valaistus. Keskellä työhuonetta olivat 2 x 58 W loistevalaisimet sekä työpöydän yläpuolella 1 x 58 W loistevalaisin. Valaisimia ohjattiin kytkimillä, jolloin henkilökunnalle jäi vastuu valojen sammuttamisesta työpäivän päätteeksi.

Uusitus valaistusratkaisussa on mukana liike- ja päivänvalo-ohjausjärjestelmä, jonka vaikutusta energiankulutukseen halutaan erityisesti selvittää.



Kuva 4.1 SESKO ry:n toimistotilojen pohjapiirustus havainnollistavalla sisustusratkaisulla

4.2 Vaatimusten toteutuminen

Valaistukselle annetaan vaatimukset standardissa SFS-EN 12464-1, kuten kohdassa 3.2 on todettu. SESKO ry:llä toteutetuissa mittauksissa pyrittiin toteamaan lux-mittaria käyttämällä, että työhuoneen valaistus on riittävä ja täyttää työpisteelle asetetut ehdot valaistusvoimakkuudesta.

SESKO ry:llä on työhuoneissa käytössä valaisimet, joissa on päivänvalon tunnistus- sekä liiketunnistusjärjestelmä. Lisäksi käyttäjän on mahdollista itse säätää valoa tarvittaessa.

Neuvotteluhuoneissa on käytössä tilanneohjaus, johon on ohjelmoitu kolme erilaista ohjaustilannetta. Tilanne 1:ssä on pyritty luomaan perusvalaistus, jota käytetään kokousta aloitettaessa ja silloin, kun valkokangasta ei käytetä. Tilanne 2:ssa neuvottelupöydän pinta on valaistu papereiden lukemista varten ja samalla valkokankaan valaistusta on alennettu, jotta sen näkeminen ei häiriintyisi. Ongelmaksi tässä tilanteessa muodostuu hieman liian rajut luminanssierot, jota monet pitävät häiritsevänä. Tilanne 3 on sekoitus tilanteista 1 ja 2, jolloin huoneessa on perusvalaistus, mutta valkokankaan puolen valaistustasoa on alennettu heijastuksien ehkäisemiseksi.

Lisäksi kaikissa tilanteissa valaistuksen yleistaso voidaan säätää portaattomasti kirkkaammaksi tai himmeämmäksi siten, että valaisimien keskinäiset voimakkuussuhteet säilyvät. [SESKO ry:n henkilökunnan haastattelut, 2010]

4.3 Mittaustekniikka

Jotta mittaustapahtuma antaisi mahdollisimman todenmukaisen kuvan todellisesta elämästä, tulee mittaustekniikkaan kiinnittää suurta huomiota.

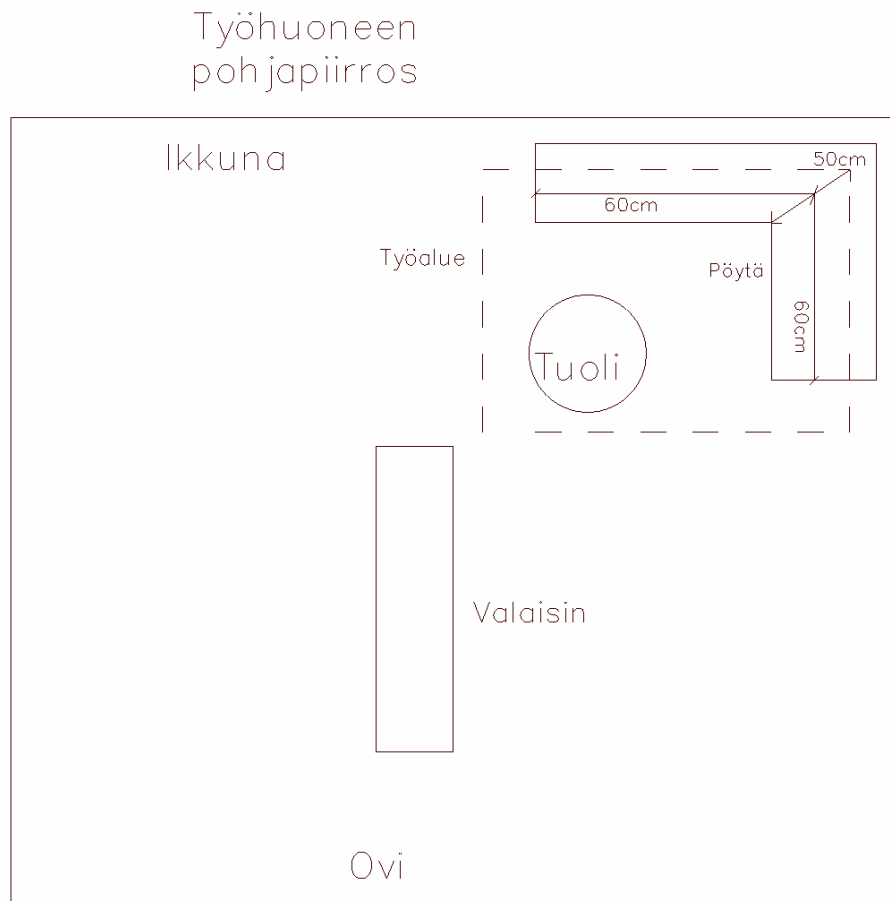
Mittaukset suoritettiin työhuoneessa (kuva 4.2), jonka ikkunat ovat kohti etelää, perussuunnan ollessa n. 190 °, kun magneettinen pohjoinen on nolla astetta.



Kuva 4.2 Työhuone

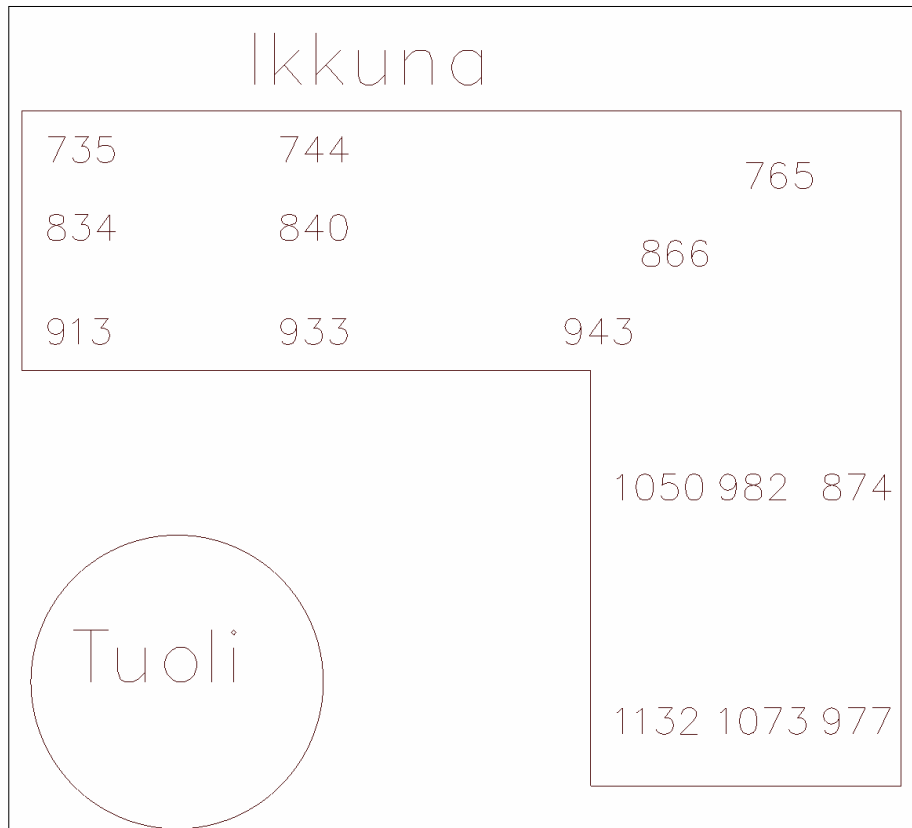
Ennen mittausten aloittamista tulee varmistua mittarin kunnosta. Mittarista tarkastetaan paristot sekä mittapään puhtaus. Lisäksi tulee varmistua, että mittari on kalibroitu. [Varsila, KT-Interior, 2010]

Valojen tulee antaa lämmetä vähintään yksi tunti ennen mittausta. Mittaukset on suoritettu työalueella, joka on hahmoteltu kuvassa 4.3. Työalue on jaettu lohkoihin, jotka käsittävät noin 25 x 25 cm:n kokoisia alueita. [Varsila, KT-Interior, 2010]

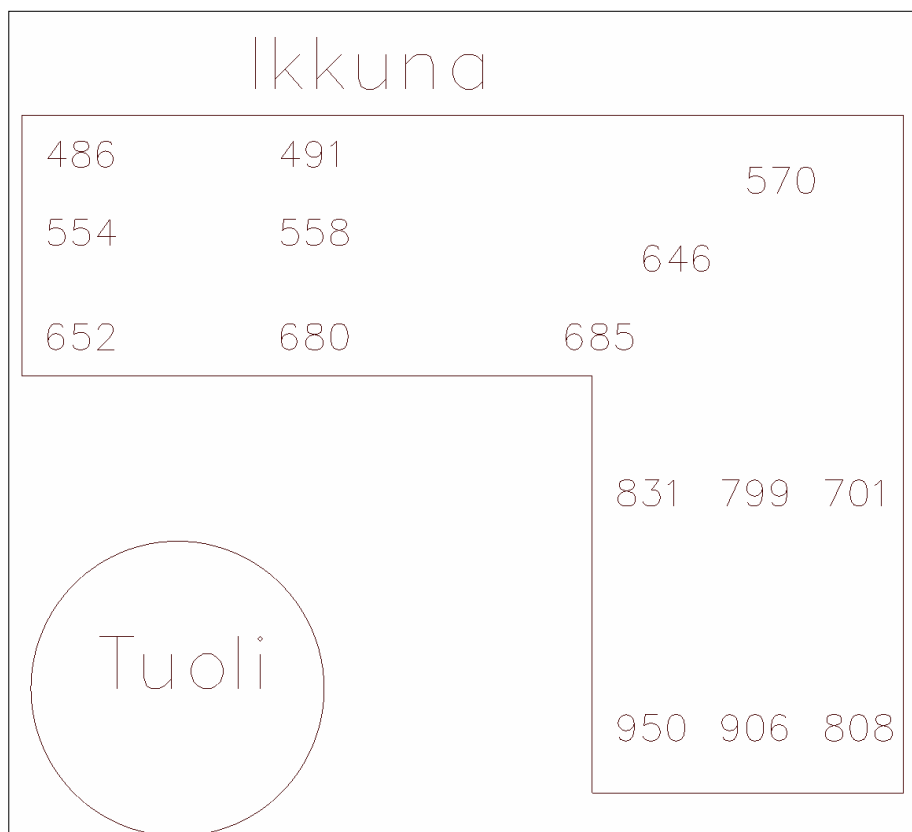


Kuva 4.3 Periaatekuva työhuoneesta (ei mittakaavassa)

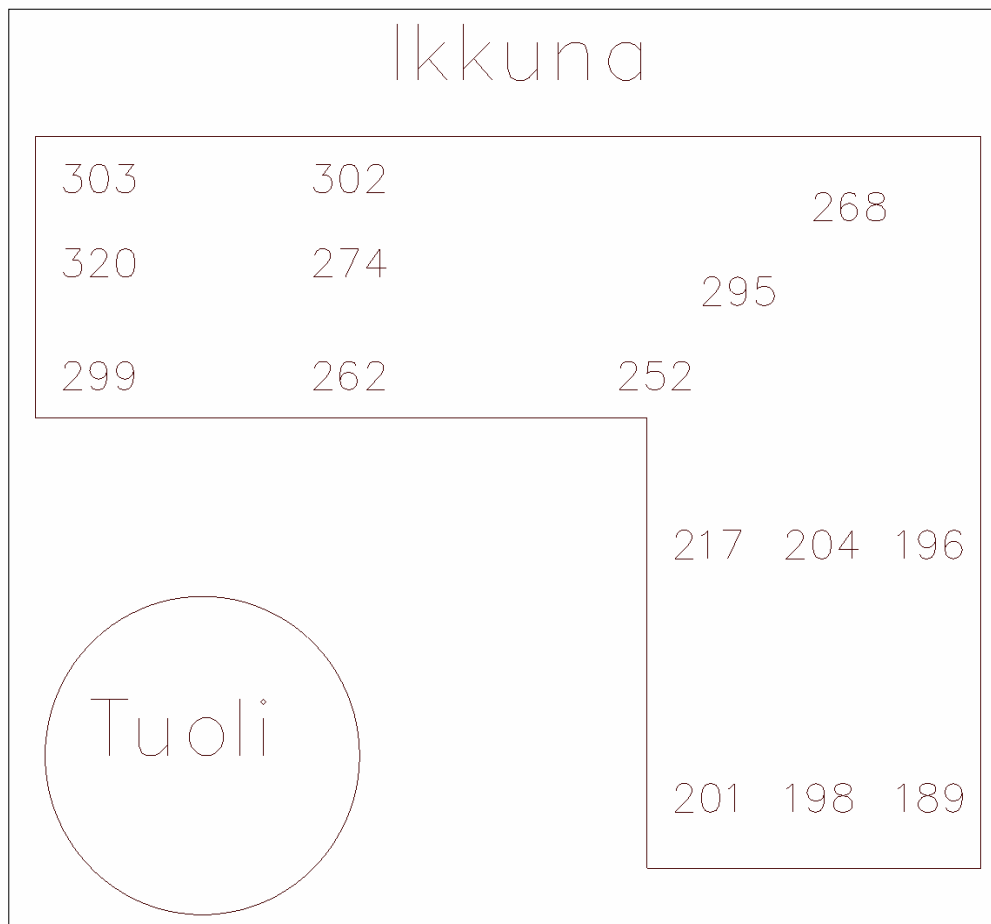
Seuraavassa on esitelty mittauksista saadut arvot paikkatietoineen. Kaikki mittauslukemat ovat lux-arvoja.



Kuva 4.4 Mittausarvot, kun ikkunan edessä olevat sälekaihtimet olivat auki.



Kuva 4.5 Mittaustulokset, kun sälekaihtimet olivat kiinni



Kuva 4.6 Mittaustulokset päivänvalolle, kun valot olivat sammutettuina ja sälekaihtimet kiinni

Kuten mittaustuloksista voidaan päätellä, työalueella vaadittu valaistusvoimakkuus täyttyy riittävältä osin hyvin. Poikkeamaa syntyy kauimmaisissa mittauspisteissä työalueen ulkoreunalla, mutta tällöinkin arvot pysyvät hyvin lähellä vaadittua 500 lx:n arvoa. Valaistuksen tasaisuutta tarkasteltaessa voidaan todeta, että arvot pysyvät pääsääntöisesti 100 lx:n sisällä lähellä ikkunan puoleista sivua. Arvot kasvavat nopeasti, kun lähestytään työhuoneen keskiosaa, koska valaisin sijaitsee lähes keskellä huonetta. Standardi SFS-EN 12464-1 asettaa kuitenkin työalueella tasaisuudelle arvon 0,7 (kuva 3.2). Tarkasteltaessa kuvan 4.5 mittaustuloksia saadaan työalueen erilaidoilta otetuista mittaustuloksista tasaisuuden pienimmäksi arvoksi 0,51, joten näiltä osin valaistus ei täytä standardin määrittelemiä vähimmäisarvoja. Valaisin sijoittelua tulisi tarkastella kenties enemmän, jotta tasaisuus vaatimukset voitaisiin täyttää.

5 Tulokset

5.1 Vanhan järjestelmän energiankulutus

Vanhan järjestelmän energiankulutusta voidaan arvioida käyttämällä kaavaa (3) ja kertoimien määrittelyyn käytetään kohdan 3.5.1 mukaisia ehtoja. Vanhan järjestelmän energiankulutus on esitetty taulukossa 5.1.

Taulukko 5.1 Vanhan järjestelmän laskentatulokset energiankulutuksesta

Tila	Käyttöaika [h/vrk]	Valaisimen teho huoneessa [W]	Energiankulutus [kWh/vuosi]	Valaisimien määrä toimistossa
Taukuhuone	8	36	288	4
Työhuone	8	116	3944	17
	8	58	1972	17
Saniteetitilat	2	18	36	4
Käytävä	10	36	1530	17
Neuvotteluhuone 1	4	58	290	5
Tilanne 2	4	58	174	3
Neuvotteluhuone 2	3	58	261	6
Tilanne 2	3	58	130	3
Yht.			8625	

Kuten taulukosta 5.1 nähdään, SESKO ry:llä käytössä ollut järjestelmä kulutti energiaa noin 8600 kWh vuodessa. Tästä määrästä, yli puolet on työhuoneiden valaistuksen kuluttamaa energiaa.

5.2 Uusitun valaistuksen laskennallinen energiankulutus ilman ohjausjärjestelmää

Laskentatulokset kohdista 5.2.1 – 5.2.6. on esitetty taulukossa 5.2. Taulukon arvot on laskettu kaavan (3) mukaisesti. Mikäli uudessa järjestelmässä ei olisi ohjausta mukana, nousisi uuden järjestelmän energiankulutus suuremmaksi kuin vanhan järjestelmän, kuten taulukko 5.2 osoittaa. Uuden järjestelmän valaisimien tehokkuutta on pitänyt nostaa, jotta valaistuslaadukkuutta on pystytty parantamaan ja pitämään vähintään vaaditulla tasolla.

Taulukko 5.2 Valaisimien kokonaistehojen mukaiset lasketut arvot sekä kokonaiskulutus

Tila	Käyttöaika [h/vrk]	Valaisimien yhteenlaskettu teho huoneessa [W]	Energiankulutus [kWh/vuosi]
Taukuhuone	8	396	792
Työhuone	8	172	5848
Saniteetitilat & serverihuone	2	62	31
Käytävä	10	372	930
Neuvotteluhuone 1			
Tilanne 1	4	820	820
Tilanne 2	4	490	490
Neuvotteluhuone 2			
Tilanne 1	3	750	562
Tilanne 2	3	560	420
Yht.			9893

5.2.1 Taukuhuone



Kuva 5.1 Taukuhuoneen valaistus

Taukuhuoneen katossa on 6 kappaletta Fagerhultin valaisimia. Yhden valaisimen ilmoitettu liitäntäteho on 66 W, joten yhteenlaskettu liitäntäteho on tällöin 396 W.

Taukuhuoneen keskimääräinen käyttöaika vuorokaudessa muodostuu arviosta, jossa otetaan huomioon, että taukuhuoneessa on täysin manuaalinen kytkinratkaisu valojen päälle- ja poiskytkennässä. Lisäksi Sesko ry:llä on käytössä liukuva työaika siten, että

yleisesti ottaen aamulla työntekijät saapuvat työpaikalle aikavälillä kello 7 - 9 ja poistuvat vastaavasti aikavälillä kello 15 - 17.

Käyttöajan muodostumiseen vaikuttavina tekijöinä voidaan pitää myös sitä, että osa työntekijöistä syö lounasta taukotilassa yleisesti kello 11 - 12 välillä. Lisäksi noin kello 14 on kahvitauko, joka on työkuormituksesta riippuen liukuva välillä 13.45 - 14.30.

Näillä määritelmillä päädytään seuraavanlaiseen vuosikulutukseen taukokuoneen osalta soveltamalla kaavaa (4).

$$\begin{aligned} W_{kok} &= P_{kok} \cdot t_{h/vuorokausi} \cdot 250 \text{ vrk} \\ W_{kok} &= 396 \text{ W} \cdot 8 \frac{\text{h}}{\text{vrk}} \cdot 250 \text{ vrk} = 792 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (4)$$

5.2.2 Työhuone



Kuva 5.2 Työhuone

Useimmissa työhuoneissa on yksi Fagerhultin valaisin. Poikkeuksen tekevät kolme huonetilaa, jotka voi nähdä liitteestä 1. Näissä tiloissa on kaksi kattopintaan asennettua valaisinta. Valaisimessa on kaksi 80 W:n loisteputkea, joiden ilmoitettu yhteenlaskettu liitäntäteho on 172 W. Työhuoneissa valaisimia on yhteensä 17 kappaletta.

Työhuoneen keskimääräinen käyttöaika vuorokaudessa muodostuu arviosta, jossa otetaan huomioon, että työhuoneessa on liikkeentunnistin, joka sytyttää ja sammuttaa valot automaattisesti huoneeseen astuttaessa tai 15 minuuttia sieltä poistumisen jälkeen. Työntekijöiden keskimääräinen työaika on 8 tuntia vuorokaudessa.

Ylitöistä sekä vastaavasti työajan lyhennyksistä johtuvat poikkeamat keskimääräisessä käyttöajassa sisältyvät arvioituun käyttöaikaan.

Työntekijöiden vuosilomia ei otettu huomioon tarkasteltaessa työhuoneen keskimääräistä käyttöaika tässä yhteydessä.

5.2.3 Saniteetitilat sekä serverihuone

WC-tiloissa sijaitsee katossa 18 W:n valaisin ja peilien sivuilla 2 kpl 13 W:n peilivalaisimia. Serverihuoneessa sijaitsee katossa loisteputkivalaisin, jossa on sijoitettuna 2 x 35 W:n lamput.

Kaikissa näissä tiloissa on liikkeentunnistin, joka sytyttää ja sammuttaa valot automaattisesti.

Saniteetti- ja serverihuonetta käytetään vähän, joten niistä ei juuri valaistuskustannuksia tule. Näin ollen niiden keskimääräinen käyttöaika jää kohtuullisen alhaiseksi ja kyseisten tilojen aiheuttamat energiakustannukset jäävät jokseenkin marginaalisiksi.

5.2.4 Toimiston käytävä



Kuva 5.3 Toimiston käytävä kuvattuna lännen suuntaan

Toimiston käytävällä sijaitsee 12 kappaletta Fagerhultin loisteputkivalaisimia, joihin voidaan sijoittaa 2 x 14 W:n loisteputket. Yhden valaisimen ilmoitettu liitäntäteho on 31 W, joten yhteenlaskettu liitäntäteho on 372 W.

Valaisimet on sijoitettu kattoon siten, että niiden väli on 240 cm. Näin sijoitettuna valaisimet tarjoavat mahdollisimman tasaisen valaistuksen läpi käytävän.

Käytävän valojen keskimääräistä käyttöaika arvioitaessa on huomioitu, että valaistus kuuluu liiketunnistimilla ohjattuun automaattiseen sytytys – ja sammutuspiiriin.

Lisäksi on huomioitu, että toimistolla käytetään liukuvaa työaika ja käytävä voi olla päivisin myös himmennettynä hetkittäin, kun ei ole liikettä.



Kuva 5.4 Toimiston käytävä kuvattuna idän suuntaan

5.2.5 Neuvotteluhuone 1

Neuvotteluhuone 1 (Vihreä) sisältää tietokoneella ohjelmoitavan kytkimen, joten eri valaistusratkaisuja voi rakentaa periaatteessa äärettömän määrän. Seuraavassa on esitettyä kaksi erilaista valaistusratkaisua. Valaistustilanteessa 1 neuvotteluhuoneen valaistusaste on huipussaan kuin myös ottoteho verkosta. Valaistustilanteessa 2 on esitelty normaalivalaistus esimerkiksi neuvottelutilanteessa, jolloin tarkoituksena on valaista neuvottelupöytää siinä määrin, että tarvittavia papereita on miellyttävä lukea.

Laskennassa on otettu huomioon, että neuvotteluhuoneet 1 ja 2 eivät ole jatkuvassa käytössä päivittäin, joten käyttöajan määrittäminen on varsin hankalaa. Vaihtelua esiintyy hyvin runsaasti esimerkiksi siten, että neuvotteluhuone on tyhjänä useamman päivän ja saattaa olla ankarassa käytössä taas vastaavasti useamman päivän. Lisäksi on huomioitu eri valaistusvaihtoehtojen esiintymistiheys. [Henkilökunnan haastattelut, SESKO ry, 2010]

5.2.5.1 Valaistustilanne 1



Kuva 5.5 Neuvotteluhuone 1, valaistustilanne 1

Valaistustilanteessa 1 valovoimakkuus on suurimmillaan noin 1520 lx. Silloin ilmoitettu yhteenlaskettu teho valaisimilla on 820 W.

Tilanne nro 1 on kohtuullisen teoreettinen tilanne, koska valoisuusaste on niin suuri, että tila ei ole mieluinen neuvottelu- tai työntekopaikka.

5.2.5.2 Valaistustilanne 2



Kuva 5.6 Neuvotteluhuone 1, valaistustilanne 2

Valaistustilanteessa 2 on pyritty ratkaisuun, jossa neuvottelupöytä on valaistu riittävästi, jotta mahdollisia dokumentteja on helppo lukea ja silmät eivät rasitu liiasta tai liian vähäisestä valaistuksesta.

Valaistustilanteessa 2 valaistusvoimakkuus on noin 386 lx, jolloin silmä ei rasitu liikaa. Silloin valaisinten yhteenlaskettu teho on 490 W.

5.2.6 Neuvotteluhuone 2

Neuvotteluhuoneessa 2 (Sininen) on tietokoneella ohjelmoitava kytkin, joten eri valaistusratkaisuja voi parhaimmillaan rakentaa satoja erilaisia. Neuvotteluhuone 2:ssa on kuitenkin vähemmän valaisimia ja se on suhteessa myös pienempi kuin neuvotteluhuone 1, joten sopivia valaistusvaihtoehtoja on vain muutamia. Neuvotteluhuone 2:sta ei käytetä niin paljoa kuin 1:stä.

5.2.6.1 Valaistustilanne 1



Kuva 5.7 Neuvotteluhuone 2. valaistustilanne 1

Tilanteessa 1 neuvotteluhuone 2:sen kaikki valot palavat, jolloin ne tuottavat noin 1000 lx ja yhteenlaskettu teho on 750 W.

Koska tätä valaistustilannetta käytetään jokseenkin harvoin, jää sen käyttöaste laskennassa myös kohtuullisen alhaiseksi.

5.2.6.2 Valaistustilanne 2



Kuva 5.8 Neuvotteluhuone 2, valaistustilanne 2

Tilanteessa 2 neuvotteluhuoneessa on sytytettyä vain 10 kattovalaisinta, joiden yhteenlaskettu teho on 560 W. Valaistustilanne 2 on varsin yleinen ratkaisu, jos kysymyksessä on niin kutsuttu paperikokous, jolloin videotykin kautta ei tarvitse välittää tietoa juuri nimeksikään.

Neuvotteluhuone 2:sta ei käytetä niin paljoa kuin 1:stä, mikä otetaan laskelmissa huomioon.

5.3 Uuden valaistusjärjestelmän mitattu energiankulutus

Peruskorjauksen yhteydessä SESKO ry:n toimistotiloihin asennettiin erillismittari mittaamaan toteutunutta energiankulutusta. Mittari on luettu kerran kuukaudessa alkaen 30.4.2009 ja näin on saatu lähes vuoden jaksolta kuukausittainen kulutetun sähkön määrä.

Mitatun sähkönkulutuksen mukaan toimistotilat kuluttivat 30.4.2009 - 1.4.2010 energiaa 5886 kWh. Kuukausittainen kulutusjakauma on esitetty taulukossa 5.3 kohdassa 5.4. [Sorri & Nurmi, SESKO ry, 2010]

Mitatun sähkönkulutuksen ollessa noin 5800 kWh vuodessa, saadaan toimiston LENI-luvuksi noin 16 kWh/m²/vuosi.

5.4 LENI-laskennan mukainen energiankulutus uudelle järjestelmälle

Dialux-laskentaohjelmistolla tehty energia-arviolaskenta antaa kuvan 5.9 mukaisesti toimiston vuosikulutusarvioksi noin 6500 kWh ja LENI-luvuksi 17,57 kWh/(a x m²).

Tulokset
Kokonaisenergia Valaisu: 6568.96 kWh/a LENI: 17.57 kWh/(a · m ²)
Kokonaisenergia Työalue: 6130.06 kWh/a Kokonaisenergia Loisielmiö (Kokonainen): 438.90 kWh/a Kokonaisenergia Loisielmiö (Valmiustila): 438.90 kWh/a Kokonaisenergia Loisielmiö (Hätävalaistuksen lataaminen): 0.00 kWh/a Kokonaispinta-ala: 373.82 m ²

Kuva 5.9 Dialux-ohjelmiston antamat laskentatulokset

Tuloksista huomataan, että Dialuxin antamat laskenta-arvot ovat kohtuullisen lähellä toteutunutta kulutusta ja näin ollen voidaan todeta, että standardin SFS-EN 15193 määrittelemät arvot esimerkiksi Suomen olosuhteisiin ovat hyvin lähellä todellista, toteutunutta kulutusta. Arvojen lievä poikkeaminen toisistaan johtuu pääasiassa kahdesta syystä.

Ensinnäkin eri tilojen käyttötunnit perustuvat arvioon ja toiseksi standardin SFS-EN 15193 arvot, joita laskentaohjelmisto käyttää, ovat keskiarvoja. Tästä syystä esimerkiksi eri vuosina vaihtelevat ilmasto-olosuhteet kuten auringon paiste ja sadepäivät vaihtelevat jonkin verran ja näin vaikuttavat suoraan käytettävän energian määrään.

Seuraavassa on esitettyä sekä laskentaohjelmiston arvio energiankulutuksen kuukausijakaumasta että todellinen kulutus kuukausittain.

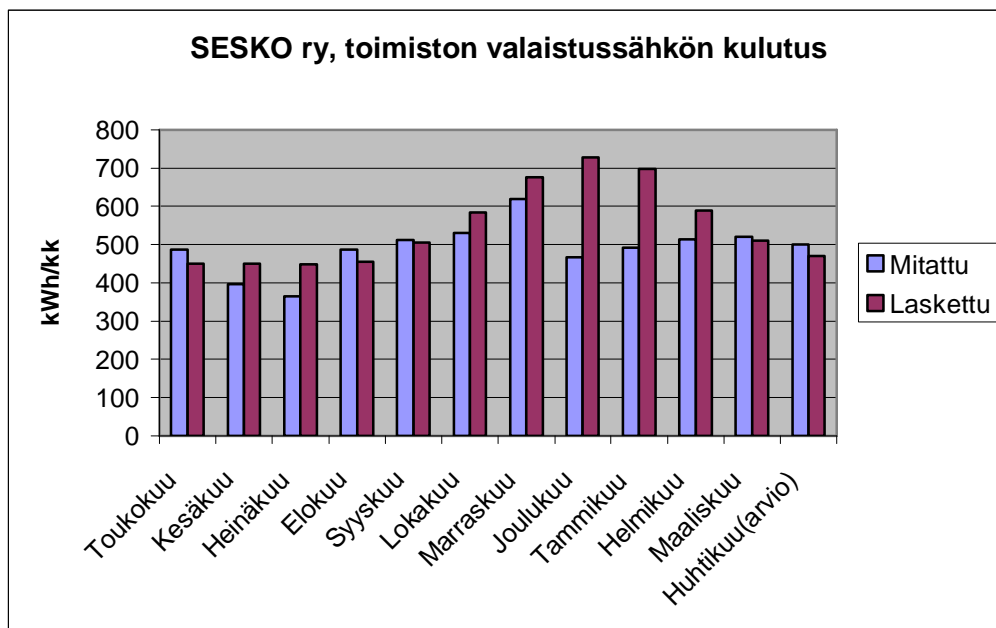
Kuukausitulokset							
Kuukausi	Valaisu		Työalue		Loisilmio		
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	
Tammik.	697.88	1.87	661.30	1.77	36.57		0.10
Helmik.	598.30	1.60	561.73	1.50	36.57		0.10
Maalisk.	509.79	1.36	473.21	1.27	36.57		0.10
Huhtik.	469.98	1.26	433.41	1.16	36.57		0.10
Toukok.	450.06	1.20	413.49	1.11	36.57		0.10
Kesäk.	450.06	1.20	413.49	1.11	36.57		0.10
Heinäk.	447.91	1.20	411.33	1.10	36.57		0.10
Elok.	454.51	1.22	417.94	1.12	36.57		0.10
Syysk.	505.40	1.35	468.82	1.25	36.57		0.10
Lokak.	582.83	1.56	546.25	1.46	36.57		0.10
Marrask.	675.77	1.81	639.20	1.71	36.57		0.10
Jouluk.	726.63	1.94	690.05	1.85	36.57		0.10

Kuva 5.10 Dialux-ohjelmiston antamat laskentatulokset kuukausijakaumalle

Taulukko 5.3 Toimiston todellinen vuosikulutus kuukausittain esitettyä

	Kuukausi kulutus [kWh]	Mittarilukema
Huhtikuu		
Toukokuu	487	62664
Kesäkuu	396	63151
Heinäkuu	364	63547
Elokuu	487	63911
Syyskuu	512	64398
Lokakuu	530	64910
Marraskuu	618	65440
Joulukuu	467	66058
Tammikuu	491	66525
Helmikuu	514	67016
Maaliskuu	520	67530
Huhtikuu (arvio)	500	68050
Yhteensä	5886	

Tarkasteltaessa esimerkiksi joulukuun ja tammikuun kulutusta suhteessa arvioon, huomataan, että kaavion 5.1 mukaisesti joulukuun ja tammikuun toteutuneet kulutukset eivät vastaa arvioita. Tähän syynä on se, että joulukuun viimeinen viikko sisältää paljon juhlapäiviä ja SESKO ry:n lomarytmi on usein sellainen, että useimmat työntekijät pitävät lomaa vielä tammikuun ensimmäisenkin viikon ajan. Mutta on erittäin positiivista huomata, että muiden kuukausien kohdalla Dialuxin antama arvio kuukausikulutuksesta on varsin lähellä toteutunutta kulutusta.



Kaavio 5.1 Toimiston laskettu ja mitattu sähkönkulutus

6 Johtopäätökset

Kun verrataan vanhan järjestelmän kuluttamaa noin 8600 kWh:a ja nykyisen järjestelmän vajaan 6000 kWh:n kulutusta, voidaan todeta, että energiankulutus on saatu pudotettua noin 30 % tehostamalla valaistusratkaisua. Tässä tapauksessa otettiin käyttöön tilanneohjausjärjestelmät, jolloin automatiikka huolehtii valojen syyttämisestä ja sammuttamisesta itsenäisesti.

Tutkittaessa eri lähteiden antamia vertailuarvoja hyvälle LENI-luvulle, nähdään, että arviot hyvästä energiatehokkuusarvosta poikkeavat toisistaan.

Verrattaessa SESKO ry:n toimistotilojen LENI-lukua 16 kWh/m²/vuosi näihin vertailuarvoihin, voidaan todeta, että toimistotilan valaistus on energiatehokas nykykäytäntöjen mukaisesti. Tulevaisuuden haasteena voidaan kuitenkin pitää uusien energiatehokkaiden ratkaisuiden etsimistä, jotta energiatehokkuutta voitaisiin parantaa entisestään.

Dialux-ohjelmiston antamat laskentatulokset ovat luonnollisesti suuntaa antavia, mutta loppujen lopuksi erittäin lähellä toteutunutta kulutusta. Työn yhtenä tehtävänä oli selvittää, kuinka hyvin ohjelmiston soveltamat standardin SFS-EN 15193 arvot pätevät Suomen olosuhteissa. Tuloksista voidaan päätellä, että laskenta-arviot ovat riittävän lähellä todellista kulutusta, jotta tulevaisuudessa voidaan käyttää esimerkiksi Dialuxin laskentatuloksia arvioitaessa suunnittelukohteen vuosikulutusta.

Valaistuksen laatu on henkilökunnan haastatteluiden perusteella säilynyt hyvällä tasolla, tosin sillä poikkeuksella, että liikkeentunnistusjärjestelmä aiheuttaa valojen sammumista ajoittain, jos työntekijä pysyy kohtuullisen liikkumatta esimerkiksi tehdessään töitä tietokoneen ääressä.

Lähteet

Painetut lähteet

- 1 Simpson, Robert S., Lighting Control – Technology and Applications. Focal Press 2003.
- 2 Sähköala-lehti, numero 1-2/2009. Sähköinfo Oy.
- 3 SFS-EN 12464-1. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. Suomen standardisoimisliitto ry 2003.
- 4 SFS-EN 15193. Rakennusten energiatehokkuus. Valaistuksen energiatehokkuus. Suomen standardisoimisliitto ry 2008.

Painamattomat lähteet

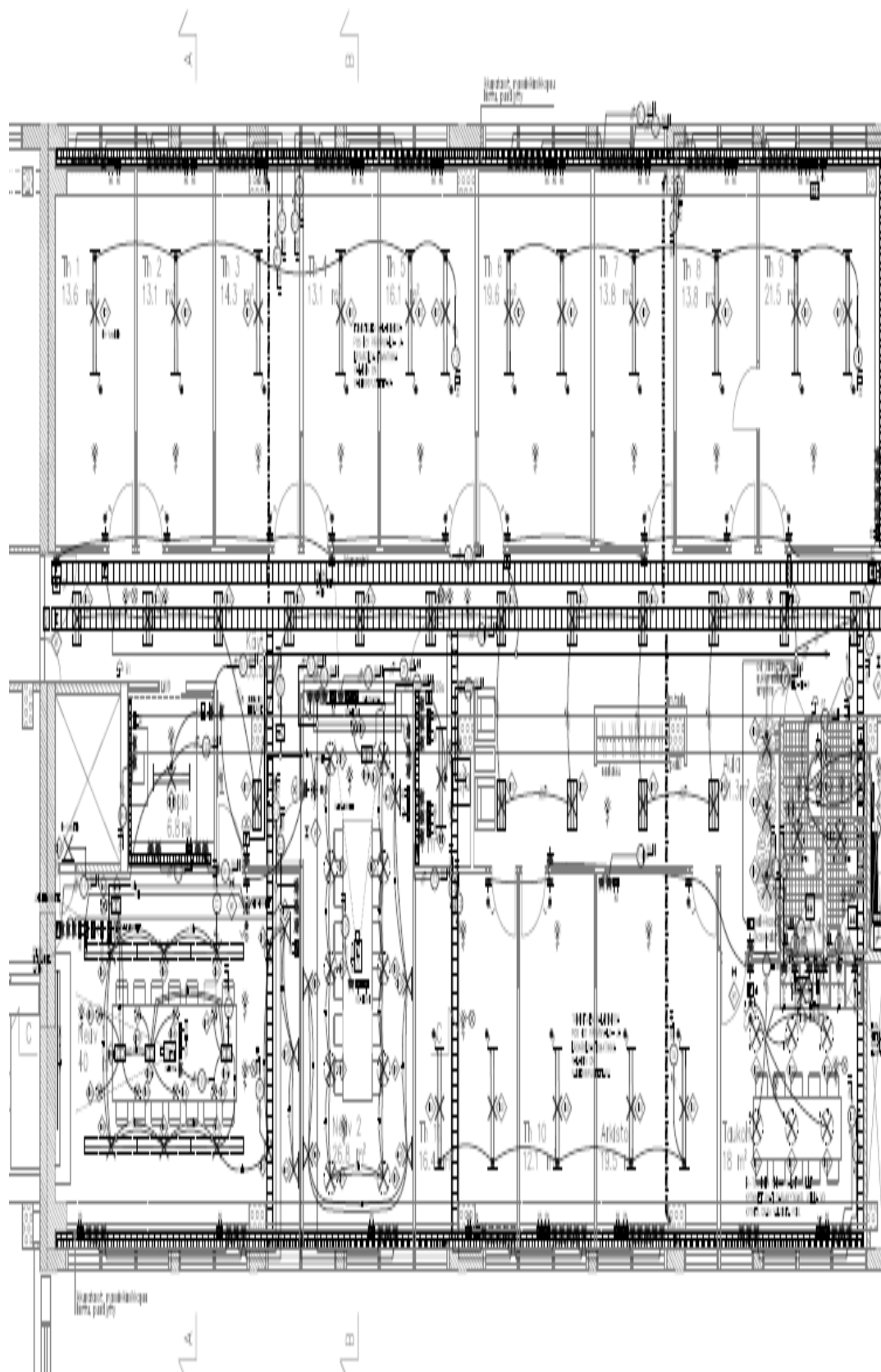
- 5 Varsila, Markku. Valaistussuunnittelija. Valaistus osana rakennusten energiatehokkuutta. PDF. Fagerhult Oy, 2008.
- 6 Varsila, Markku. Mittaustekniikan perusteet. KT-Interior, 2010.
- 7 Fagerhult Oy. Valaistussuunnittelijan käsikirja. PDF. [viitattu 12.2.2010]
- 8 Harsia, Pirkko. Luentomateriaali. TAMK. 2010.
- 9 Henkilökunnan haastattelut. SESKO ry. 2010.
- 10 Nurmi, Tapani – Sorri, Eero. Sähkölaitteiden mittaustiedot. SESKO ry. 2010.

Sähköiset lähteet

- 11 Euroopan Yhteisöjen Komission direktiivi 98/11/EY. PDF. [viitattu 27.4.2010]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1998:071:0001:0008:FI:PDF>
- 12 Lighting Research Center , [www-sivu], [viitattu 23.4.2010], Saatavissa: <http://www.lrc.rpi.edu/programs/NLPIP/lightingAnswers/LAT5/pc1a.asp>
- 13 D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö, Asunto -ja rakentamisosasto. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2007. PDF. [viitattu 27.4.2010]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>

Liitteet

Liite 1



LIITE IV

Lampun energiatehokkuusluokka määritetään seuraavasti:

Lamput luokitellaan luokkaan A, kun:

- Loistelamput ilman sisäistä virranrajoitinta
(joihin tarvitaan kuristin ja/tai muu liitäntälaitte sähköverkkoon liittämiseksi)

$$W \leq 0,15 \sqrt{\Phi} + 0,0097 \Phi$$

- Muut lamput

$$W \leq 0,24 \sqrt{\Phi} + 0,0103 \Phi$$

Φ ilmaisee lampun valovirran luumencina ja
W ilmaisee lampun tehon watteina.

Jos lamppua ei luokitella luokkaan A, vertailuteho W_R lasketaan seuraavasti:

$$W_R = 0,88 \sqrt{\Phi} + 0,049 \Phi, \text{ kun } \Phi > 34 \text{ luumenia}$$

$$0,2 \Phi \quad \text{kun } \Phi \leq 34 \text{ luumenia}$$

Φ ilmaisee lampun valovirran luumencina.

Energiatehokkuusindeksi E_I lasketaan seuraavasti:

$$E_I = \frac{W}{W_R}$$

W ilmaisee lampun tehon watteina.

Energiatehokkuusluokat määritellään seuraavan taulukon mukaisesti:

Energiatehokkuusluokka	Energiatehokkuusindeksi E_I
B	$E_I < 60 \%$
C	$60 \% \leq E_I < 80 \%$
D	$80 \% \leq E_I < 95 \%$
E	$95 \% \leq E_I < 110 \%$
F	$110 \% \leq E_I < 130 \%$
G	$E_I \geq 130 \%$