

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Sähkötekniikan osasto

Jaakko Hietala

**IKÄÄNTYMISEN VAIKUTUS VALAISINTEN
ENERGIATEHOKKUUTEEN**

Diplomityö

Tarkastaja: DI Tapani Nurmi
Ohjaaja: DI Markku Varsila
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Osastoneuvoston kokouksessa
12. toukokuuta 2004

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Sähkötekniikan osasto/ Tehoelektroniikan laitos

Hietala, Jaakko: Ikääntymisen vaikutus valaisinten energiatehokkuuteen

Diplomityö, 69 s.

Työn tarkastaja: DI Tapani Nurmi

Työn ohjaaja: DI Markku Varsila

Rahoittaja: Fagerhult Oy

Joulukuu 2005

Hakusanat: energiatehokkuus, valaistus, ikääntyminen, valaisinhuolto, alenemakerroin

Työn tarkoituksena oli tutkia ja vertailla vanhojen sisävalaisimien teknisten ominaisuuksien eroja nykypäivän valaisintekniikkaan verrattuna. Työssä pyrittiin erityisesti selvittämään, miten valaisimien ja lamppujen valoteknisten ominaisuuksien kehitys, valaisimien huolto sekä muuttuneet vaatimukset vaikuttavat valaistussaneerauksen kannattavuuteen. Työssä keskityttiin ainoastaan sisätilojen loistelamppuvalaisimiin.

Eri aikakausien loistevalaisimille tehtiin valotekniset mittaukset ja tuloksia verrattiin tämän päivän vastaaviin valaisimiin. Tutkimuksessa oli kolme kohdetta kahdessa erillisessä kiinteistössä. Tutkimuskohteet valittiin siten, että ne edustivat 70-, 80- ja 90-lukujen tyypillisiä valaistusratkaisuja. Kohteissa tehtiin valotekniset mittaukset paikan päällä ennen valaisimien huoltoa ja tilan pintojen puhdistusta. Perusteellisen huollon jälkeen tehtiin vastaavat mittaukset uudelleen. Tutkimuksen toinen osio keskittyi valaisimien valoteknisiin mittauksiin laboratorio-olosuhteissa. Kummastakin kohteesta valaisimia otettiin tarkempaan tutkimukseen Fagerhultin valaistuslaboratorioon. Valaisimet tutkittiin ensin huoltamattomina ja sen jälkeen mittaukset uusittiin valaisimien perusteellisen huollon jälkeen. Valaisimista mitattiin valonjako, hyötysuhde, teho ja tehokerroin. Valaisimien komponenttien kunto arvioitiin silmämääräisesti.

Saatuja tuloksia verrattiin nykytekniikalla toteutettuihin vastaavaan käyttötarkoitukseen suunniteltuihin valaisimiin. Näin pyrittiin selvittämään uusien ja vanhojen valaisinten energiatehokkuuserot sekä se, mitkä tekijät vaikuttavat merkittävimmin eroihin. Samalla pyrittiin selvittämään myös valaistushuollon vaikutus valaistusvoimakkuuteen ja energiatehokkuuteen.

Tutkimustulosten valossa on helppo nähdä seuraavia yleisiä suuntia. Kaikkein merkittävin yksittäinen tekijä, jolla on vaikutusta kokonaisuuden kannalta, on lamppujen oikea-aikainen vaihtaminen. Laboratoriomittauksissa kävi selkeästi esille, että valaisimien optiikan vanheneminen tai likaantuminen ei merkittävästi muuta valonjako-ominaisuuksia. Valaisimen käyttöhyötysuhde kuitenkin pienenee heijastimien likaantumisen takia huomattavasti. Huolellisesti suunnitellulla ryhmävaihdolla saavutettaisiin valaistusvoimakkuustasoissa huomattava parannus ja näin uusasennukset voitaisiin mitoittaa lähteväksi matalammalta tasolta sekä saavuttaa merkittävää energiansäästöä. Uuden tekniikan omaavilla valaisimilla päästään parempiin energiatehokkuuslukuihin ja voidaan käyttää pienempää alenemakerrointa. Valaistuksen ylimitoittaminen varmuuden vuoksi on aina energian kulutusta lisäävää.

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Department of Electrical Engineering/ Institute of Power Electronics

Hietala, Jaakko: Effects of Aging on the Energy Efficiency of Luminaires

Master of Science thesis: 67 pages

Supervisor: M.Sc Tapani Nurmi

Instructor: M.Sc Markku Varsila

Financial support: Fagerhult Oy

January 2005

Key words: energy efficiency, lighting, aging, light maintenance, maintenance factory

The aim of the thesis was to measure and compare the differences between old and contemporary indoor luminaires from the point of view of their technical characteristics. In particular, the goal was to find out how the technological advances, maintenance of the lighting fixtures and the changed standards and requirements affect the profitability of lighting renovation.

Light measurements were done for luminaires from three different decades, and the results were compared to similar present-day luminaires. The empirical cases represented typical office and class room solutions of the 1970s, 1980s and 1990s. The measurements were conducted in situ, in two different locales, prior and after the maintenance of the luminaires and cleaning of all the surfaces of the rooms in question. The second part of the research took place in Fagerhult's lighting laboratory. Some luminaires from both locales were selected for closer scrutiny. They were measured both before and after comprehensive maintenance. Light distributions, LOR, power and power factor were measured, and the overall condition of the sample luminaires was assessed visually.

In order to find out the differences in energy efficiency between old and contemporary luminaires and to study which factors most centrally affect these differences, the effect of maintenance on illuminance and energy efficiency was researched. The results were compared to luminaires designed for similar use with modern technology.

In the light of the results, one can easily discern some general trends. The most significant factor affecting the overall situation is the correct timing of changing the fluorescent lamps. The laboratory measurements clearly showed that aging or contamination of the optical reflectors do not have a significant effect on the light distribution of the luminaire but its LOR is severely affected by contamination. A carefully planned group change would bring noticeable improvement on illuminance levels; new installations could then be calculated on a lower start-up level, resulting in significant energy savings. Luminaires with new technology achieve better energy efficiency figures, and a lower maintenance factor can be used. Excessive installations of lighting above the standard for the sake of certainty always add to energy consumption.

Alkusanat

Haluan kiittää työnantajaani Fagerhult Oy:tä mahdollisuudesta tehdä tämä diplomityö. Työn tarkastajana on toiminut DI Tapani Nurmi tehoelektroniikan laitokselta, jolle osoitan kiitokset mielenkiinnosta työtä kohtaan, monista neuvoista ja sinnikkyydestä työn loppuun saattamiseksi. Työn ohjaajaa DI Markku Varsilaa haluan kiittää saamastani aiheesta ja lukuisista hyvistä neuvoista, kommentteista sekä ohjeista. Lisäksi haluan kiittää niitä kaikkia henkilöitä, jotka ovat auttaneet tavalla tai toisella tähän työhön liittyvissä asioissa.

Erityisesti haluan kiittää vaimoani Kaisaa tuesta ja ymmärryksestä tällä kivikkoisella tiellä. Olkoon tämä työ osoituksena kolmelle pojalleni Laurille, Henrille ja Ilarille siitä, että kaikki on mahdollista mikäli tahtoa riittää.

Tampereella 5.12.2005

Jaakko Hietala

TERMIT JA SYMBOLIT

CELMA	<i>Federation of National Manufacturers Associations for Luminaires and Electrotechnical Components for Luminaires in the European Union.</i> Valaisinalan eurooppalainen toimialajärjestö, jota edustaa Suomessa Teknologiateollisuus ry:n valaisinvalmitajien toimialaryhmä (AFLE).
CEN	<i>European Committee for Standardization.</i> Keskeinen eurooppalainen standardoimisjärjestö, jota Suomessa edustaa Suomen Standardisoimisliitto r.y. (SFS)
CENELEC	<i>European Committee for Electrotechnical Standardization.</i> Eurooppalainen sähköalan standardisoimisjärjestö.
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage. Kansainvälinen valaistuskomitea
LOR	<i>Light output ratio.</i> Valaisimen käyttöhyötysuhde
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS. Standardisoinnin keskusjärjestö Suomessa.
SVS	Suomen Valoteknillinen Seura ry
UGR	<i>Unified Glare Rating.</i> CIE:n häikäisyindeksi.
A	pinta-ala, m ²
E	valaistusvoimakkuus, lx
I	valovoima, cd
IL	lamppuvirta, A
h _m	työtason ja valaisimen välinen etäisyys, m
k	huoneindeksi
l	huoneen pituus, m
L	luminanssi, cd/m ²
P _L	lampputeho, W
U _L	lamppujännite, V
U _N	kuristimen nimellisjännite, V
V(λ)	silmän suhteellinen herkkyyssäily, päivänäkemisessä
V'(λ)	silmän suhteellinen herkkyyssäily, hämäränäkemisessä
η	valotehokkuus

ϕ	valovirta, lm
ϕ_t	mitattavan lampun valovirta, lm
ϕ_r	normaalilampun valovirta, lm
ω	avaruuskulma, sr
ρ	heijastussuhde
τ	läpäisysuhde
w	huoneen leveys, m

SISÄLLYSLUETTELO

Alkusanat.....	4
TERMIT JA SYMBOLIT	5
SISÄLLYSLUETTELO	7
1. Johdanto	9
1.1. Tutkimuksen tausta.....	9
1.2. Tavoitteet ja rajaukset	10
2. Valaistustekniikan teoreettisia perusteita.....	12
2.1. Valon luonne	12
2.2. Valaistusvoimakkuus.....	13
2.3. Valovirta.....	14
2.4. Valovoima	15
2.5. Luminanssi ja heijastussuhde	16
2.6. Häikäisy.....	17
3. Suositukset, määräykset ja toimintaympäristö.....	18
3.1. Näköergonomiset vaatimukset	18
3.2. Valaistussuositukset ja standardit.....	21
3.3. Liitäntälaitteiden energiatehokkuus	24
3.4. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi EU 2002-91.....	25
3.5. Muuta määräyksiä ja suosituksia.....	27
4. Keskeiset mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät	28
4.1. Valonlähteen ominaisuudet	28
4.2. Huonepintojen heijastussuhteet.....	31
4.3. Muita mittauksiin vaikuttavia tekijöitä.....	32
5. Tutkimuksen aineisto ja menetelmät.....	33
5.1. Yleistä mittausten toteutuksesta	33
5.2. Kohteiden esittely.....	33
5.2.1. Itäkeskuksen yläaste ja lukio, Helsinki	33
5.2.2. Torikadun toimistohuone, Oulu	34
5.3. Valaistusvoimakkuus- ja heijastussuhdemittaukset	35
5.3.1. Käytetyt mittalaitteet	35
5.3.2. Huonepintojen heijastussuhteen määrittäminen.....	36

5.3.3.	Valaistusvoimakkuusmittaukset.....	38
5.3.4.	Simuloinnit valaistuslaskentaohjelmalla	43
5.3.5.	Luminanssimittaukset.....	45
5.4.	Valonjakomittaukset valaistuslaboratoriossa	48
5.4.1.	Mittalaitteisto.....	48
5.4.2.	Suoritettut mittaukset.....	49
5.5.	Valovirtamittaukset Ulbrichtin pallossa.....	50
5.5.1.	Mittalaitteisto.....	50
5.5.2.	Suoritettut mittaukset.....	51
6.	Tutkimuksen tulokset.....	53
6.1.	Johdanto.....	53
6.2.	Case Itäkeskuksen lukio, luokka 168	54
6.2.1.	Valoteknisten arvojen muuttuminen	54
6.2.2.	Valovirtojen aleneminen	55
6.2.3.	Vaikutukset energiankulutukseen.....	56
6.3.	Case itäkeskuksen lukio, luokka 169	57
6.3.1.	Valoteknisten arvojen muuttuminen	57
6.3.2.	Lamppujen valovirtojen aleneminen likaantumisen johdosta	58
6.3.3.	Vaikutukset energiankulutukseen.....	59
6.4.	Case Torikatu, toimistohuone.....	60
6.4.1.	Valoteknisten arvojen muuttuminen	60
6.4.2.	Vaikutukset energiankulutukseen.....	61
6.5.	Vaikutukset valaisimien käyttöhyötysuhteeseen ja valonjakoon	62
7.	Yhteenveto	65
	LÄHTEET	66

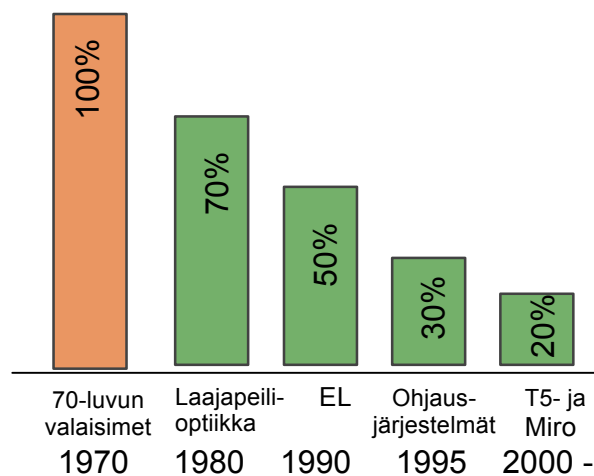
1. Johdanto

1.1. Tutkimuksen tausta

Huomattava osa Suomen loistelamppuvalaisinasennuksista on kymmeniä vuosia vanhoja. Valaisimien, loistelamppujen ja liitäntälaitteiden kehitys on kuitenkin mennyt eteenpäin. Energiankulutus on laskenut ja hyötysuhde parantunut. Lisäksi nykyiset työtehtävät asettavat valaisinten optiikalle aiempaa suurempia vaatimuksia. Jatkossa myös EU:n direktiivit tulevat asettamaan omat vaatimuksensa valaistusasennusten energiatehokkuudelle.

Euroopan Union on myös laatinut direktiivejä auttamaan Kioton ilmastopimuksen tavoitteiden saavuttamisessa. Liitäntälaitteiden energiatehokkuusdirektiivi 2000/55/EY määrittelee niiden sallitun energiakulutuksen. Direktiivi kieltää suurihäviöisten liitäntälaitteiden käytön uusien valaisimien tuotannossa vaiheittain.

Valaisinten kehitys on ollut huomattavan voimakasta viime vuosikymmeninä. Uusi tekniikka on pienentänyt valaisimien energiankulutusta ja myös parantanut niiden optiikkaa. Tämä on ollut osaltaan välttämätöntä työympäristön muuttumisen ja tietotekniikan yleistymisen takia. Kuvassa 1 on esitetty teknisen kehityksen vaikutus valaisinten energiankulutukseen.



Kuva 1. Valaisinten energiatehokkuuden kehittyminen. [VAR]

Erilaiset lamelliritilävalaisimet olivat yleisiä 70- luvulla. Laajapeilioptiikka kehittyi 80- luvulla ja paransi valaisimien hyötysuhdetta. Elektroniikka(EL) ja valaistuksenohjausjärjestelmät yleistyivät 90- luvulla parantaen edelleen valaisimien energiatehokkuutta. 2000- luvulle tultaessa on alkanut T5- loistelamppu valtaamaan markkinoita. Se on alunperinkin suunniteltu pelkästään elektroniselle liitäntälaitteelle ja on teknisesti mahdollistanut entistä energiatehokkaampien valaisimien valmistuksen. Myöskin heijastinmateriaaleissa on tapahtunut suurta kehitystä. Esimerkiksi Miro- alumiinin heijastussuhde on 10% parempi kuin eloksoidun alumiinin.

1.2. Tavoitteet ja rajaukset

Työn tarkoituksena oli tutkia ja vertailla vanhojen sisävalaisimien teknisten ominaisuuksien eroja nykypäivän valaisintekniikkaan verrattuna. Työssä pyrittiin erityisesti selvittämään, miten valoteknisten ominaisuuksien kehitys sekä muuttunut työympäristö vaikuttavat valaistussaneerauksen kannattavuuteen. Taloudellisten ja ekologisten näkökulmien lisäksi työssä otettiin huomioon näköergonomiset seikat sekä työympäristön viihtyisyys- ja tuottavuustekijät. Työssä keskityttiin ainoastaan sisätilojen loistelamppuvalaisimiin.

Tutkimuksessa oli kolme tutkimuskohdetta, kaksi koululuokkaa ja yksi toimistotila. Tutkimuskohteet valittiin siten, että ne edustivat 70-, 80- ja 90-lukujen tyypillisiä valaistusratkaisuja. Kohteissa tehtiin valotekniset mittaukset paikan päällä ennen valaisimien huoltoa. Valaisimien huollon jälkeen tehtiin vastaavat mittaukset uudelleen. Tutkimuksen toinen osio keskittyi valaisimien valoteknisiin mittauksiin laboratorioolosuhteissa. Kummastakin kohteesta kolme valaisinta otettiin tarkempiin tutkimuksiin Fagerhultin valaistuslaboratorioon Haboon Ruotsissa. Valaisimet mitattiin ensin huoltamattomina ja sen jälkeen mittaukset uusittiin valaisimien perusteellisen huollon jälkeen. Valaisimista mitattiin valonjako, hyötysuhde, teho ja tehokerroin. Valaisimien komponenttien kunto arvioitiin silmämääräisesti.

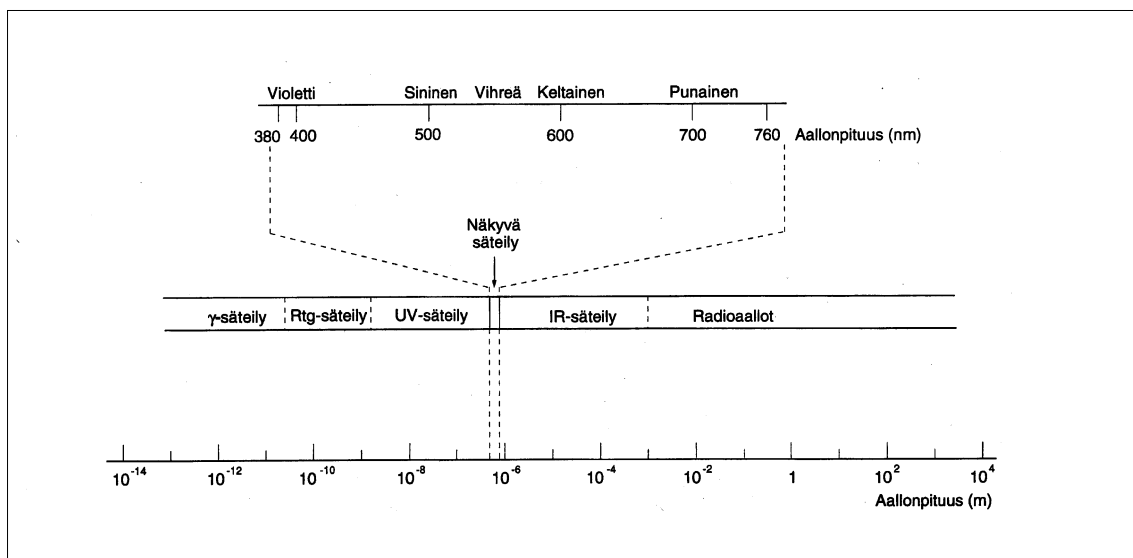
Saatuja tuloksia verrattiin nykytekniikalla toteutettuihin vastaavaan käyttötarkoitukseen suunniteltuihin valaisimiin. Näin pyrittiin selvittämään uusien ja vanhojen valaisinten energiatehokkuuserot sekä se, mitkä tekijät vaikuttivat merkittävimmin eroihin. Samalla pyrittiin selvittämään myös valaistushuollon vaikutus valaistusvoimakkuuteen ja energiatehokkuuteen. Tutkimuksessa kiinnitettiin erityistä huomiota valaistusvaatimusten muutoksiin ja niiden valaisintekniikalle asettamiin vaatimuksiin. Tutkimuksessa selvitettiin valaisimien aikanaan ilmoitettujen valoteknisten tietojen erot verrattuna mittaustuloksiin.

2. Valaistustekniikan teoreettisia perusteita

2.1. Valon luonne

“Ilman valoa olisi pimeää. Ilman valoa ei olisi värejä. Ilman valoa ei olisi meitä ihmisiä. Ilman valoa ei olisi elämää.” [Näyttelyopas, Tiedekeskus Tietomaa]

Kuten ylläolevasta lainauksesta näkee, valolla on hyvin monta luonnetta. Seuraavassa valoitetaan asiaa fysikaalisena ilmiönä. Valo on fysikaalisessa mielessä näkyvää säteilyenergiaa eli valo on energiaa ja se siirtyy säteilemällä. Valo on myös sähkömagneettista säteilyä. Sähkömagneettisella säteilyllä on spektrialueita, jotka ovat valaistustekniikassa kiinnostavia. Valolla tarkoitetaan tietyn spektrialueen sähkömagneettista säteilyä jonka ihmissilmä erottaa. Valo asettuu aallonpituuksille 380-760 nanometriä (*nm*). Valon spektri jakautuu kuuteen perusväriin, jotka ovat rajoiltaan sekoittuneet keskenään. Ihmissilmä erottaa parhaiten keltavihreää valoa. Siitä syystä aistimme esim. risteysalueiden keltaisen pienpainenatriumlampun valon voimakkaana. Emme kuitenkaan näe kaikkia värejä koska valonlähteen spektrijakaumasta puuttuvat lähes kokonaan muut aallonpituudet . Nähdäksemme kaikkia värejä mahdollisimman hyvin valon spektrin pitääkin sisältää kaikkia alueen aallonpituuksia. [SUO96] Kuvassa 2 on esitetty sähkömagneettisen säteilyn aallonpituusalueet.



Kuva 2. Sähkömagneettisen säteilyn spektri ja sen näkyvä osa. [SUO96]

Valaistuksessa ja sitä kautta ihmisten kokemassa valossa on kuitenkin kyse valonlähteen, valaisinten optiikan, pintojen heijastussuhteiden ja näköergonomian muodostamasta kokonaisuudesta. Valon ja valaistuksen laatua arviotaessa näitä asioita ei voi irrottaa erillisiksi osiksi, vaan asiaa on tarkasteltava kokonaisuutena.

2.2. Valaistusvoimakkuus

Käytetyin valaistustekniikan suure on valaistusvoimakkuus. Suurin osa standardeista ja ohjeista perustuu tähän. Valonlähteen säteilemällä tuottama valovirta osuu lopulta johonkin pintaan. Pintaan osuessaan se heijastuu, absorboituu tai se läpäisee pinnan. Sitä valovirran tiheyttä, joka saapuu pinnalle kutsutaan valaistusvoimakkuudeksi. Valaistusvoimakkuudelle E voidaan kirjoittaa kaava 1, jossa Φ on pinnalle tuleva valovirta ja A pinnan ala. [HAL92]

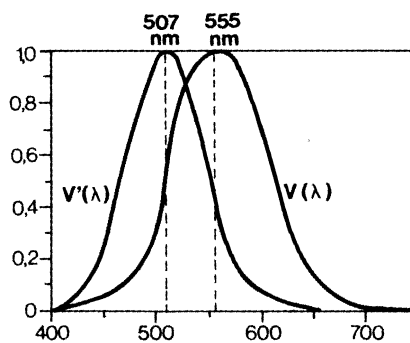
$$E = \frac{\Phi}{A} \tag{1}$$

kaavasta saadaan valaistusvoimakkuuden yksikkö lumentana neliömetrille (lm/m²) eli luksiksi (lx).

Ihminen pystyy subjektiivisesti havainnoimaan ainoastaan yli 1,5 kertaisia muutoksia valaistusvoimakkuudessa. Valaistusstandardin valaistusvoimakkuuden vaatimustasot onkin rakennettu noudattamaan tiettyä sarjaa (20-30-50-75-100-150-200-300-500-750-1000-1500-2000-3000-5000), jossa oleviin valaistustason muutoksiin silmä kykenee reagoimaan.

2.3. Valovirta

Valovirran yksikkö on SI-järjestelmässä lumen (lm). Valovirta on yksinkertaistettuna silmän spektriherkkyydellä painotettu valonlähteen säteilyteho. Käytännössä valovirta on suure, jolla ilmoitetaan valonlähteiden valontuotto. Silmän herkkyys ei kuitenkaan ole sama kaikilla aallonpituuksilla. Kuvassa 3 on esitetty kaksi silmän suhteellista herkkyyskäyrää, jossa $V(\lambda)$ esittää päivänäkemis- ja $V'(\lambda)$ hämäränäkemiskäyrää. Silmän herkkyys on päivänäkemisessä suurin keltavihreällä aallonpituudella (555 nm), jolloin spektriherkkyyskäyrän arvoksi on päivänäkemisessä valittu 1. Silmän herkkyys on kuitenkin pienempi muilla aallonpituuksilla ja silloin tarvitaan suurempi säteilyteho saman valoaistimuksen tuottamiseksi. Pitää kuitenkin muistaa, että kaikkien ihmisten herkkyysluvut eivät välttämättä noudata samaa spektriherkkyyskäyrää [HAL92]. Siihen miten tilanne havaitaan vaikuttaa suuresti havainnoitsijan henkilökohtaiset ominaisuudet esim. ikä.



Kuva 3. Silmän suhteellinen herkkyyskäyrä aallonpituuden funktiona [STA03]

2.4. Valovoima

Valovirta ja valaistusvoimakkuus eivät kuvaa riittävän tarkasti valaisimen ominaisuuksia, vaan valolle tarvitaan suunta. Valovoima on siis suure, jolla ilmaistaan valolle suunta. Se on myös SI-järjestelmän perussuure, jonka avulla kaikki muut suureet on johdettu. Keskimääräinen valovoima (I) kohteen suunnassa saadaan laskettua kaavasta 2. [HAL92]

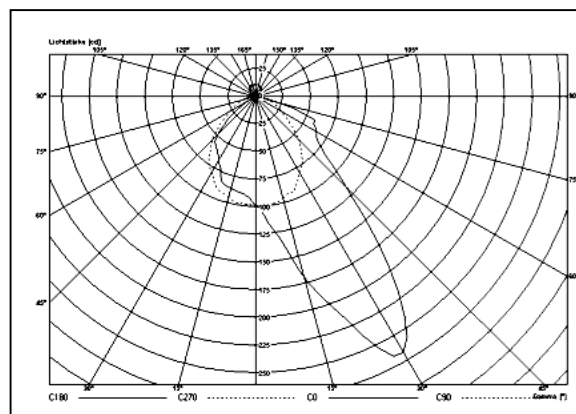
$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (2)$$

missä tiettyyn avaruuskulmaan (ω) säteilee valovirta (Φ). Avaruuskulma voidaan vastaavasti laskea kaavasta 3.

$$\omega = \frac{A}{r^2} \quad (3)$$

missä (A) on valonlähde keskipisteenä piirretystä r -säteisestä pallosta avaruuskulmakartion leikkaaman kalotin pinta-ala. [STA03]

Käytännössä valovoima usein ilmoitetaan valonjakokäyrien avulla. Yleensä valonjakokäyrät piirretään lampun 1000 luumenin valovirtaa kohti, jolloin eri valaisimien valonjakoa voidaan verrata suoraan toisiinsa. Kuvassa 4 on esitetty erään tutkittavana olleen valaisimen valonjakokäyrä polaarikoordinaatistossa.



Kuva 4. Polaarikoordinaatistoon piirretty valonjakokäyrä.

2.5. Luminanssi ja heijastussuhde

Valovoima, valovirta tai valaistusvoimakkuus ei vielä kerro mitään siitä miten voimakkaasti valo aistitaan. Edellä kuvattuja suureita ei varsinaisesti pysty näkemään. Kappaleeseen osuvasta valovirrasta osa läpäisee kappaleen ja osa heijastuu takaisin. Luminanssi kuvaa sitä osuutta joka heijastuu takaisin. Osa kappaleen pinnalle tulevasta kokonaisvalovirrasta Φ heijastuu takaisin ($\rho\Phi$), absorboituu ($\alpha\Phi$) ja läpäisee ($\tau\Phi$). Kaikkien näiden osatekijöiden summa on yksittäistapauksissa energianhäviöttömyyden lain takia yksi. Heijastumissuhde ilmoittaa siis prosentteina, kuinka suuri osa kokonaisvalovirrasta heijastuu kappaleesta takaisin. Se ei kuitenkaan ole vakio, vaan riippuu valon tulosuunnasta ja spektrijakaumasta. [SUO96]

Täysin hajasäteilevällä pinnalla luminanssi on sama kaikkiin suuntiin. Käytännössä usein monet pinnat voidaan olettaa lähes täysin hajasäteileviksi. Sellaisia ovat mm. loistelampun pinta ja himmeillä mattamaaleilla maaleilla maalatut pinnat. Mikäli tiedetään valaistusvoimakkuus E ja pinta-ala on A , niin voidaan laskea valovirta $\Phi=AE$ ja heijastunut valovirta $\Phi_h=\rho AE$. Kosinilain mukaisesti valovirta jakautuu kaikkiin suuntiin ja näin saadaan luminanssille (L) kaava 4. [STA03]

$$L = \frac{\rho E}{\pi} \tag{4}$$

missä (ρ) on hajaheijastumissuhde. Käytännössä luminanssi (L) kertoo kohteen pinnan pintakirkkauden. Se onkin ainoa suoranaisesti nähtävä suure valaistustekniikassa, silmä aistii luminanssin. Luminanssin yksikkö on kandela neliömetrille (cd/m^2). Ympäristön ja näkökohteen luminanssi onkin tärkeä tekijä pyrittäessä hyvään näkemisen tulokseen. Luminanssijakauma määrää myös silmien sopeutumistason. Sopeutumistaso vaikuttaa vastaavasti näkö tarkkuuteen, kontrastiherkkyyteen ja näköaistin toimintojen tehokkuuteen.

2.6. Häikäisy

Vanhoissa valaistusasennuksissa suurimmat ongelmat monesti syntyvät häikäisystä. Häikäisyä syntyy, kun luminanssijakauma- tai taso on näkökentässä sopimaton. Myös kontrastien ollessa liian voimakkaita muodostuu häikäisy ongelmalliseksi. Häikäisy on ohimenevää, kun silmä ei vielä ole sopeutunut suurempaan luminanssiin. Tällainen tilanne syntyy esimerkiksi ajettaessa pimeästä tunnelista ulos päivänvaloon. Häikäisy on jatkuvaa, jos luminanssierot ovat liian suuria valaistustilanteeseen jo sopeutuneelle silmälle.

Tilannetta, jossa häikäisyn aiheuttaa näkökentässä oleva valaiseva kappale, kutsutaan suoraksi häikäisyksi. Suoraa häikäisyä voi esiintyä kiusa- ja estohäikäisynä. Estohäikäisy on häikäisymuoto joka estää tai heikentää näkemistä. Häikäisyn muoto, joka aiheuttaa epämukavuutta on kiusahäikäisyä. Kiusahäikäisy on aina subjektiivista eli katsojan yksilöllisistä ominaisuuksista riippuvaa. Epäsuorasta häikäisystä puhuttaessa tarkoitetaan tilannetta, jolloin valo kohdistuu silmiin tilan pinnoilta eikä suoraan valaisimesta tai valonlähteestä. [SUO96] Uudessa standardissa arvioidaan kiusahäikäisyä UGR_L -taulukkomenetelmän mukaisesti. CIE:n julkaisun 117/1995 UGR-luku on käytännössä sama kuin tähän saakka käytetty IES-häikäisyindeksi. Siltä osin käytäntö häikäisyn arvioimiseksi ei ole muuttunut. Nykyiset laskentaohjelmat myös laskevat ja ottavat huomioon häikäisytekijät.

3. Suositukset, määräykset ja toimintaympäristö

3.1. Näköergonomiset vaatimukset

Työympäristö toimistoissa sekä kouluissa on muuttunut merkittävästi tutkimuksen kohteena olevien valaisimien asennusajoista. Aikaisemmin toimisto ja koulutiloissa ei ollut juuri lainkaan tietokoneita. Nykyisessä informaatioyhteiskunnassa tilanne on aivan toinen. Tässä tutkimuksessa kaksi kohdetta kolmesta liittyi kouluympäristöön. Tarkastelenkin hieman tarkemmin luokkahuonetilojen valaistusergonomisista vaatimuksia. Toisaalta ne ovat monin osin sovellettavissa toimistotiloihin, sillä tilat lähenevät käyttötarkoitukseltaan koko ajan toisiaan.

Jönköpingin yliopisto on yhteistyössä ruotsalaisen valaisinvalmistajan Fagerhultin kanssa tehnyt tutkimuksen ”Preferred Luminance Ratios in Working Areas”. Tutkimuksen tarkoituksena oli löytää luokkahuone- ja avotoimistotiloihin näkömukavuutta ajatellen mahdollisimman sopiva luminanssijakauma. Tutkimuksessa käytettiin erikoisrakenteista valaisinta, jonka ylä- ja alavalon suhdetta voitiin muuttaa. Valaisin oli varustettu valaistusstandardin EN12464-1 vaatimukset täyttävällä pienluminanssiritilällä. Kokeessa 40 hengen testiryhmä suoritti erilaisia näkötehtäviä ja sai säätää valaisimen valonjakosuhdetta mieleisekseen. Valaistusvoimakkuus pidettiin koko ajan työtasolla samana (500 lx). Tutkimuksen tuloksena saatiin optimaaliseksi valonjakosuhteeksi 44% alas ja 56 % ylös. [VAR] Tutkimuksen tulokset luuminanssijakauman osalta on esitetty taulukossa 1.

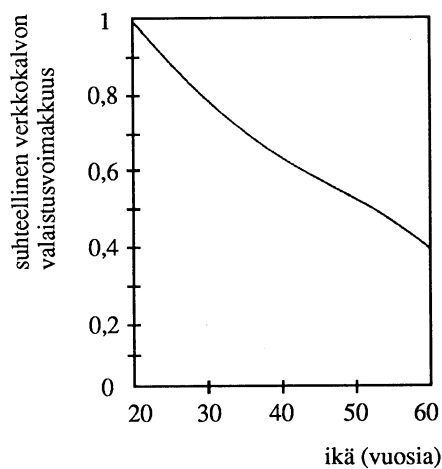
Taulukko 1. Tutkimuksen tulokset luminanssisuhteiden osalta [VAR]

Katto, keskimääräinen luminanssi	8 : 1	12 : 1
Seinät, keskimääräinen luminanssi	13 : 1	20 : 1
Katto+seinät, keskiarvo	11 : 1	17 : 1
Luminanssisuhde Valaisin (45°) suhteessa ympäristöön (valonjaolla 44/56)	Valaisin Keskimääräinen luminanssi	Valaisin Maksimi- luminanssi

Tutkimuksessa huomattiin, että valaisimen valoaukon luminanssin kasvua kompensoitiin ylävalon osuutta lisäämällä. Työskentelyalueen ja sen taustalla olevan seinän luminanssisuhde oli noin 2:1. Vasataavasti valaisimen valoaukon ja seinäpinnan keskimääräisten luminanssien suhteeksi muodostui oli 13-20:1 ja valoaukon ja kattopinnan suhteeksi 8-12:1. Tarkastelutilanteessa häikäisysoajakulma oli 45°.

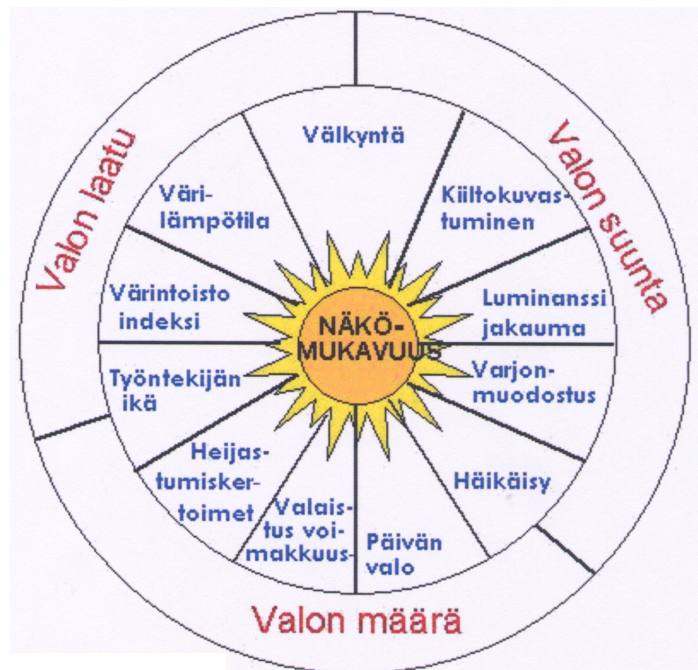
Riitävän tasainen luminanssijakauma on välttämätöntä luokkahuoneissa, koska suuret luminanssierot näkökentässä rasittavat silmiä. Luokkahuoneissa käytetään myös paljon seinäpintoja opetukseen, joka on otettava huomioon pystypintojen valaistustasoja määritettäessä. Perinteinen vihreä taulu on hyvä kontrastin kannalta mutta ongelmallinen luminanssisuhteiden osalta. Nykyiset valkoiset tussitaulut ovat luminanssisuhteiden osalta paljon parempia.

Ihmisen ikääntyessä valonmäärän tarve lisääntyy huomattavasti. Ikääntymisen vaikutus valaistusvoimakkuustasoja mitoitettaessa on otettava huomioon. Luokkahuoneet suunnitellaan nykyisin usein monikäyttöisiksi. Päiväkäytössä voi olla tiukka luokkamuoto ja iltaisin ryhmätyöskentelyä. Tiloissa voi päivisin olla pieniä lapsia ja iltaisin eläkeläisiä. Verkkokalvon valaistusvoimakkuus on 60- vuotiaalla keskimäärin 40% 20-vuotiaan arvosta (kuva 5). Valon tarpeessa on myös hyvin suuria yksilöllisiä eroja ja ne pitää ottaa suunnittelussa huomioon.



Kuva 5. Valon tarpeen muutos iän myötä. [HAL92]

Näkömukavuus perustuu hallittuun kokonaisuuteen, jossa otetaan huomioon valon suunta, laatu ja määrä. Kaikki kokonaisuuteen liittyvät osat pitää ottaa huomioon päästäkseen hyvään lopputulokseen. Valaistusvoimakkuuden pitää olla riittävä ja määräykset täyttävä. Pitää huolehtia oikeasta kontrastiherkyydestä. On varmistettava valon oikea tulosuunta, jolloin ei tule haitallisia heijastuksia eikä varjonmuodostusta. Valonlähteiden on sijaittava näkökentän ulkopuolella. Luminanssijakauman on oltava riittävän tasainen, josta on taulukossa 1 esitetty eräitä hyviä suhteita. Valaistuksen tulee olla tasainen ja värinvalinto-ominaisuuksien tehtävien ja standardien vaatimalla tasolla. On muistettava, että valonlähteen välkyntä häiritsee alitajuisesti, ja siksi on suositeltavaa käyttää elektronisia liitännälaitteita. Ihmisten viihtyvyyden kannalta on hyvä, mikäli työtilaan tulee aina myös päivänvalo. Kaikista näistä huomioitavista asioista voidaan piirtää näköergonomiaympyrä (kuva 6), joka auttaa hyvin hahmottamaan kokonaisuutta. [VAR]



Kuva 6. Näköergonomiaympyrä [VAR]

3.2. Valaistussuositukset ja standardit

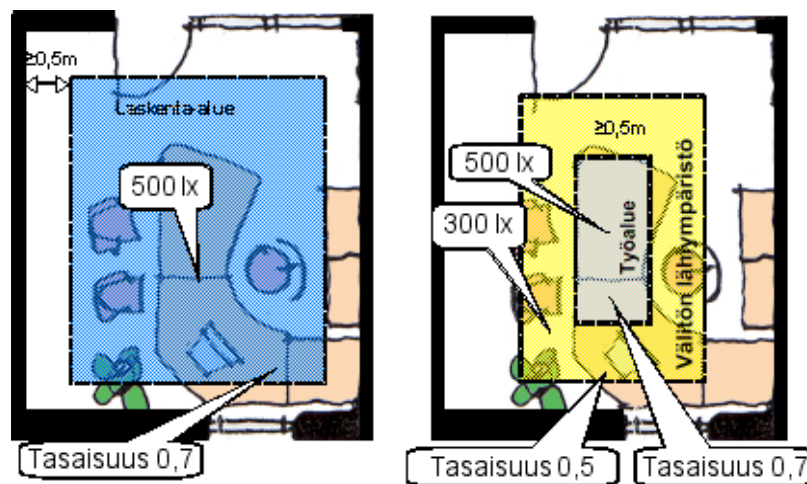
Valaistusvoimakkuussuositukset ovat Suomessa aiemmin pohjautuneet Suomen Valoteknillisen Seuran valaistussuosituksiin. Suositukset on koottu yhdeksi kirjaksi "Valaistussuositukset, sisävalaistus" SVS 9-1986. Perustana näissä suomalaisissa suosituksissa ovat olleet kansainvälisen valaistuskomission CIE:n esittämät periaatteet sovellettuna suomalaisiin olosuhteisiin. Valaistussuosituksia on kuitenkin kansainvälisellä tasolla yhtenäistetty ja valaistussuunnittelukin on siirtynyt euroaikaan. Nykyisin on voimassa yhteiseurooppalainen standardi SFS-EN12464-1:2002 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus, joka on luonteeltaan velvoittava. Se perustuu sisältönsä puolesta kansainväliseen uuteen CIE:n standardiin CIE S008/E-2001 "Lighting of indoor Work Places".

Standardointi euroopassa jakautuu kahteen eri organisaatioon. Laiteteknisestä standardisoinnista huolehtii CENELEC ja valaistussovelluksia koskevien standardien laatimisesta huolehtii standardisointijärjestö CEN. Tavoitteena on, että Euroopan yhtenäisillä markkinoilla on yhtenäinen valaistusalan käytäntö.

Suurin ero aikaisempiin Suomen Valoteknillisen Seuran suosituksiin on työalueen käsitteen määritelmässä. Aikaisemmissakin suosituksissa painotettiin työalueen merkitystä, mutta käytäntö painottui tilakohtaiseen suunnitteluun. Tähän vaikutti osaltaan "käsini" laskennan vaikeus ja rakennushallituksen neliötehomääräykset. Rakennushallitusta ei enää ole vaan se on pilkottu osiin eri liikelaitoksiksi. Näin ollen ei myöskään enää ole tilakohtaisia neliötehomääräyksiä.

Työpisteiden sijaintia ei usein ole tiedetty etukäteen. Sama vaikeus on luonnollisesti edelleen ja silloin pitää työalue käsittää laajemmaksi suunnittelun yhteydessä. Toimistotiloissa työalueen määrittäminen on suhteellisen helppoa. Luokkahuonetiloissa on usein kuitenkin järkevää ajatella koko huone yhdeksi työalueeksi.

Kuvassa 7 on esitetty erot vanhan ja uuden käytännön välillä. Samassa kuvassa näkyy myös tasaisuusvaatimusten muuttuminen. Työskentelyalueella vaaditaan korkeampi tasaisuus ja valaistusvoimakkuustaso kuin välittömässä lähiympäristössä. Uusi standardi noudattaa samaa sarjaa jonka silmä subjektiivisesti pystyy erottelmaan (20-30-50-75-100-150-200-300-500-750-1000-1500-2000-3000-5000), kuin vanhat suosituksetkin. Pienimmäksi arvoksi on valittu 20 lx, jolloin voidaan normaaleissa valaistusolosuhteissa kasvonpiirteet juuri ja juuri tunnistaa. [SUO03]



Kuva 7. Työaluekäsitteen erot uuden ja vanhan käytännön välillä. [VAR]

Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuden ja tasaisuuden pitää olla tasapainossa työalueeseen nähden ja saada aikaan tasapainoinen luminanssijakauma näkökentässä. Valaistusvoimakkuus lähiympäristössä voi olla alhaisempi kuin työalueella, mutta se ei saa alittaa taulukon 2 arvoja. [SUO03]

Taulukko 2. Työalueen ja välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuudet sekä niiden tasaisuus [SUO03]

Työalueen valaistusvoimakkuus (lx)	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus (lx)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	E työalue (sama kuin työalueella)
Tasaisuus: ≥ 0,7	Tasaisuus: ≥ 0,5

Standardi määrittelee myös valonlähteiden värinvalon vähimmäisvaatimukset. Sen mukaan lamppuja joiden yleinen värinvalonindeksi on huonompi kuin 80 ei tule käyttää tiloissa, joissa työskennellään tai oleskellaan pitkäaikaisesti. Ainoastaan raskaassa teollisuudessa, missä käytetään yleisesti purkauslamppuvalaisimia, sallitaan tästä poikkeus.

Valaistusvoimakkuusarvot on standardissa annettu huoltoarvoina, jotka tulee toteutua aina. Ne ovat siis keskimääräisen valaistusvoimakkuuden minimiarvoja sillä hetkellä, kun valaistushuolto tehdään. Vanhoissa suosituksissa oli määritelty alenemakertoimia eri tilanteissa. Uusi standardi lähtee siitä, että suunnittelija määrittelee huoltosuunnitelman ja sen pohjalta määrittellään tapauskohtaisesti alenemakerroin. Standardi antaa siis enemmän vapauksia mutta toisaalta myös vastuuta suunnittelulle.

Uusissa kohteissa ja myös saneerauksissa joudutaan ottamaan huomioon uusiutuneet standardit. Enää eivät ole voimassa Suomen Valoteknillisen Seuran suositukset. Taulukossa 3 on esitetty standardin vaatimukset tutkimuksen kohteena olevissa tiloissa. Vertailun vuoksi viereen on kerätty aikaisemmat Valoteknillisen seuran suositukset. On huomattava, että aiemmat suositukset antoivat luvan poiketa ylös tai alaspäin valaistusvoimakkuusarvoissa. Uusi standardi antaa huomattavasti vähemmän mahdollisuuksia poikkeamiseen portaittain. Vaadittua valaistusvoimakkuutta tulee suurentaa näkötehtävän ollessa kriittinen tai työntekijän näkökyvyn ollessa tavallista heikompi. Myös kontrastien ollessa alhaisia, näkökohteet poikkeuksellisen pieniä tai tehtävä on pitkäkestoinen on poikkeaminen ylöspäin mahdollista. Valaistusvoimakkuuden arvoa voidaan myös pienentää, kun näkökohde on poikkeuksellisen suuri tai tilassa työskennellään poikkeuksellisen lyhyen aikaa. [SUO03]

Taulukko 3 Eri suositusten vaatimukset tutkimuksen kohteissa. [SUO03 ja SUO86]

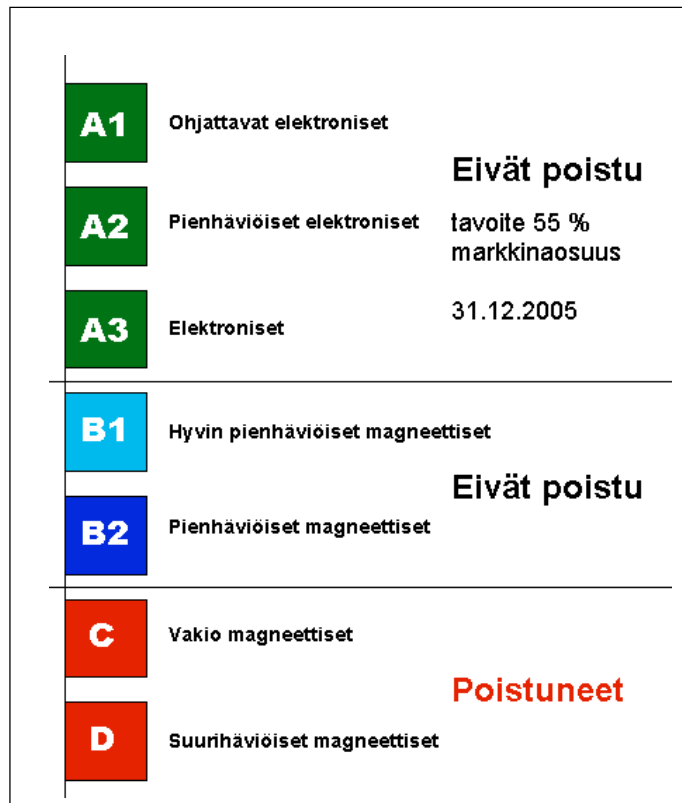
	Opetustilat	EN 12465-1 Em/UGR/Ra	SVS 9-1986 Em/IES/Ra
6.2.1	Luokkahuoneet	300 lx/19/80	200-500 lx/16/40-90
6.2.2	Luokkahuoneet/ aikuiset	500 lx/19/80	300-750 lx/16/40-90
	Toimistot		
3.2	Kirjoittaminen, näyttöpäätetyö	500 lx/19/80	500-1000 lx/13/40-90

Taulukosta 3 huomataan, luokkahuoneen tapauksessa suositukset ovat samantyyppiset kuin ennenkin. Ainoastaan värinvalon suhteen oli aikaisemmin enemmän vapauksia. Toimistotilojen valaistusvoimakkuus vaatimukset olivat aikaisemmin suurempia. Toimistohuoneen osalta voidaan myös päätellä, että aikaisemmin oli tiukemmat häikäisyindeksirajat. Tämä selittyy näyttöpäätteiden kehittymisellä. Nykyiset näytöt ovat huomattavasti vähemmän alttiita kiiltokuvastumiselle. Valaistusstandardi määritteleeekin luminanssirajat erityyppisille näytöille.

3.3. Liitännälaitteiden energiatehokkuus

Vuonna 2000 EU:n alueella myytiin 105 000 000 miljoonaa magneettista kuristinta, joka on 71 % koko liitännälaitemarkkinoista. Liitännälaitedirektiivin tavoitteena on, että elektronistenliitännälaitteiden osuus nousee 55 % markkinoista vuoden 2005 loppuun mennessä. Pohjoismaissa tavoite on saavutettavissa mutta etelä euroopan maissa se jäänee toteutumatta. Pohjoismaiden markkinat ovat kuitenkin kokonaisuuden kannalta liian pienet jotta ne auttaisivat kokonaistavoitteeseen pääsemisessä. [CEL00]

Liitännälaitteiden energiatehokkuusdirektiivi tulee vaikuttamaan asteittain koko valaisinalaan merkittävästi. Osa määräyksistä on jo astunut voimaan ja lähitulevaisuudessa ne kiristyvät merkittävästi. Marraskuussa 2005 astui voimaan vaihe 2, joka kieltää luokkaa C olevat liitännälaitteet. Tämän vaiheen jälkeen valmistetaan euroopassa ainoastaan pienhäviöisiä kuristimia sekä elektronisia liitännälaitteita. CELMA on luokitellut liitännälaitteet 7 eri luokkaan energiankulutuksen mukaan. Luokitus on esitetty seuraavalla sivulla kuvassa 8. [EUR00]]



Kuva 8. Liitäntälaitteiden luokittelu energiatehokkuuden mukaan [CEL00]

Vaikka direktiivi koskeekin ainoastaan uusia valmistettavia valaisimia, sillä on laajempaa merkitystä. Asia tulee eteen saneerauskohteissa, joissa mahdollisesti mietitään valaisinten uusimisen kannattavuutta. Aikaisemmin on voinut vaihtaa vanhojen valaisinten tilalle uudet vastaavanlaisilla suurihäviöisillä kuristimilla varustetut. Näin toimien sähkönkulutuksen säästöt ovat monesti olleet hyvinkin kyseenalaisia ja vanhat valaisimet on jätetty vaihtamatta kustannussyistä. Uuden direktiivin toiden vaiheen astuessa voimaan on vanhojen suurihäviöisten kuristimien käyttö EU alueella kielletty. Silloin valaisimien vaihdon perusteet muuttuvat.

3.4. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi EU 2002-91

EU:n määrittelemän rakennusten energiatehokkuusdirektiivin pitäisi astua voimaan vuoden 2006 alussa. Direktiivi on eräs keskeisimpiä keinoja päästä Kioton ilmastopimuksen edellyttämälle tasolle. Kioton ilmastokokouksessa hyväksyttiin vuonna 1997 teollisuusmaita sitova pöytäkirja kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi. Sopimus asettaa teollisuusmaiden yhteiseksi tavoitteeksi päästöjen vähentämisen

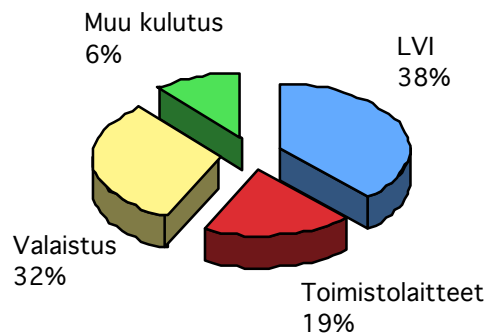
vuoden 1990 tasolle vuosituhaten vaihteeseen mennessä. Vaativin 8%:n vähennysvelvoite on asetettu Euroopan Unionille, jonka päästöjä tarkkaillaan kokonaisuutena. Vuonna 1998 Euroopan Unioni sopi sisäisistä vähennysvelvoitteista. Joiden mukaan Suomen tulee palauttaa Kioton ilmastopöytäkirjassa määriteltyjen kasvihuonekaasujen päästöt vuoden 1990 tasolle. [YMP]

Suomessa päästötavoitteet on kirjattu Valtioneuvoston ilmastostrategiaan. Ilmastostrategiassa osa toimenpiteistä kohdistuu myös rakennusten energiankulutukseen. Rakennusten energiankulutuksen pienentämiseen pyritään energiastandardeja kiristämällä. Tämän johdosta taloteknisiltä järjestelmiltä vaaditaan entistä enemmän ominaisuuksia ja niiden energiankulutusvaatimuksia kiristetään. Valaistus on talotekniikan merkittävä osa-alue joten sen energiankulutukselle asetetaan vaatimuksia. Euroopan Unionissa on laadittu myös rakennusten energiatehokkuusdirektiivi 2002/91/EY, jonka pitäisi astua voimaan vuoden 2006 alussa. Tähän aikatauluun on kuitenkin tulossa kansallisia siirtymäjaksoja. Direktiivin tarkoitus on edistää rakennusten energiatehokkuuden parantamista. [EUR02]

Energiadirektiivi toimeenpannaan kansallisella tasolla, jolloin voidaan ottaa huomioon ilmastolliset vaatimukset. Direktiivin astuttua voimaan tulee rakennettavilla, myytävillä ja joissain tapauksissa myös peruskorjattavilla rakennuksilla olla energiatehokkuustodistus.

Sähköenergiankulutus on toimisto- ja liikerakentamisessa viimevuosikymmeninä kasvanut voimakkaasti, noin 20% 80- ja 90- luvulla. Valaistuksen osuus maamme sähköenergian kulutuksesta on noin 15%. Vaikka se on kokonaisenergian kulutuksesta vain muutama prosentti, silti säästöpotentiaali valaistuksen alueella liikkuu kymmenissä prosenteissa. Samalla kun LVI- laitteiden aiheuttama kulutus on nousussa mahdollistaa uusi valaistustekniikka merkittäviä säästöjä. Eniten energiaa kuluttavia ovatkin valaistus, lämmitys, lämmin vesi ja jäähdytys. Myöskin lisääntyvä teknologia vaatii sähköenergiaa ja vanhoissa kiinteistöissä saattaa sähköverkon kapasiteetin rajat tulla vastaan. Yksi keino siirtää koko verkon saneerausta on vapauttaa kapasiteettia valaistuksesta. Nykyiset luokkahuonetilat ovat hyvin toimiston kaltaisia talotekniikan osalta, joten kuva 9 kuvaa sähkönkulutuksenjakaumaa riittävän tarkasti myös

kouluympäristössä. Energiatehokkuusmielessä valaistuksen saneerauksen kannattavuus tulee varmasti korostumaan tulevaisuudessa. [SUO01]



Kuva 9. Toimistorakennuksen sähkönkulutusjakauma [SUO01]

3.5. Muuta määräyksiä ja suosituksia

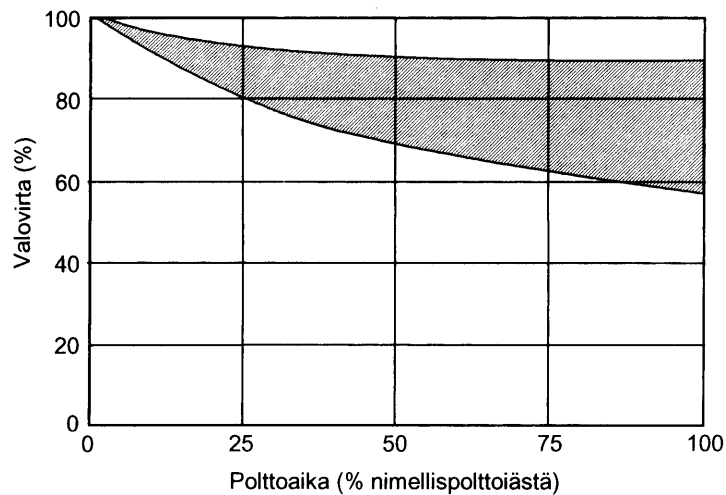
Valaistuksen suunnittelua ja rakentamista ohjaa myös joukko muita määräyksiä ja suosituksia. Rakennuttajilla ja työsuojeluviranomaisilla on omia neliötehovaatimuksiaan. Vastuu elektroniikkatuotteiden kierrätyksestä on siirtynyt tuottajille, muutos perustuu sähkö- ja elektroniikkaromudirektiiviin 2003/108/EY, joka koskee myös käytöstä poistettuja lamppeja ja valaisimia. Ympäristöasiat korostuvat nykyisin ja sisältyvät monesti myös yritysten toimintastrategioihin.

4. Keskeiset mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät

4.1. Valonlähteen ominaisuudet

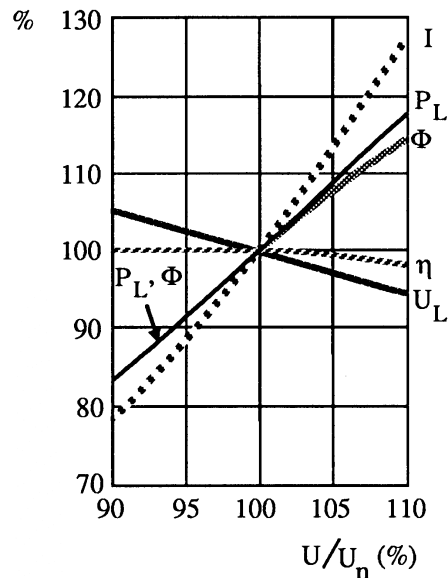
Valaistusvoimakkuuden alenemiseen vaikuttavia tekijöitä ovat lamppujen valovirran aleneminen, valaisimien sekä lamppujen likaantuminen, optiikan vanheneminen, liitäntälaitteen vanheneminen ja huonepintojen likaantuminen ja vanheneminen.

Vertailtaessa valaisimen vanhenemisen vaikutuksia uusasennuksiin on otettava huomioon lampun valovirran-alenema ja lamppujen ominaisuuksien muutokset kokonaisvalaistusvoimakkuuteen. Loistelamppujen valovirta alenee ensimmäisen 100 tunnin aikana voimakkaasti, joten luetteloarvot ilmoitetaan 100 polttotunnin jälkeen. Mittausten luotettavuuden takaamiseksi uusia mittauslamppuja vanhennettiin 100-150 tuntia ja valaistussaneerauksen jälkeiset mittaukset tehtiin vasta sen jälkeen. Kuvassa 10 on esitetty loistelampulle tyypillinen valovirran alenema.



Kuva 10. Loistelampun valovirran alenema polttoajan aikana [SUO98]

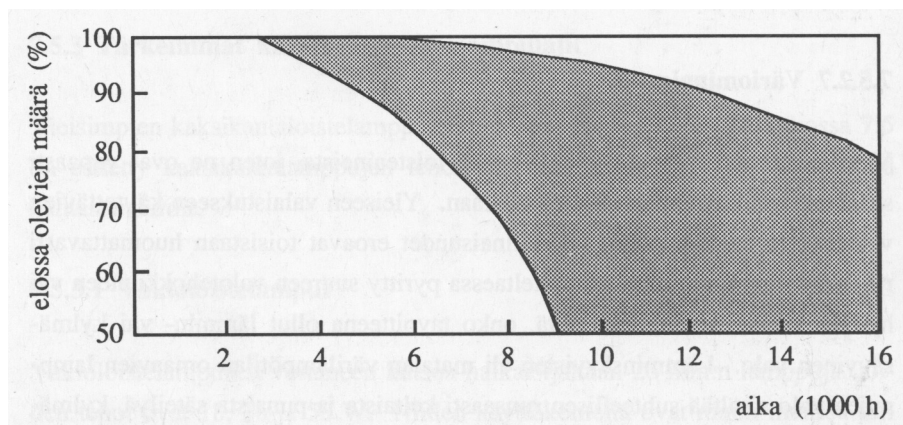
Nopeuteen, millä loistelampun valovirta alenee, vaikuttavat käytetty loisteaine, kupulasin materiaali, epäpuhtauksien määrä sekä polttojakson pituus. [SUO96] Tutkimuskohteissa vanhojen loistelamppujen polttojakson pituus oli ollut normikäytön rajoissa, jolloin normaalista poikkeavaa valovirran alenemaa ei tapahdu. Valot on laitettu päälle koulu- tai työpäivän alussa ja sammutettu päivän päätteeksi. Loistelamppujen valo- ja sähkötekniset arvot riippuvat lisäksi suhteellisen voimakkaasti käyttöjännitteestä perinteisiä kuristimia käytettäessä. Kuvassa 11 on esitetty nimellisjännitteen muutoksista johtuvia suhteellisia arvoja ominaisuuksissa. Loistelamppujen elinikä ja kuolleisuus vaihtelee myös voimakkaasti lampputyypistä ja valmistajasta johtuen.



Kuva 11. Loistelampun arvojen muuttuminen käyttöjännitteen muuttuessa. I on lamppuvirta, P_L on lampun teho, Φ on valovirta, η on valotehokkuus ja U_L on lampun jännite [HAL92]

Kaaviossa käyttöjännite (U_n) 100% on kuristimen nimellisjännite ja nähdään, että jännitteen kasvaessa teho kasvaa valovirtaa enemmän, joten valotehokkuus pienenee.

Tyypillinen T8-loistelampun valotehokkuus on 93 lm/W. Vastaavasti uudella T5-loistelampulla päästään valotehokkuusarvoon 104 lm/W, kun esim. halogeenilampun valotehokkuus on 19 lm/W. Lisäksi on huomattava, että T5-loistelamppu toimii ainoastaan elektronisella liitännälaitteella, jolloin myös valonlaatu on parempi. Loistelamppujen elinikää arvioitaessa on myös syytä muistaa käsite kuolleisuus. Se tarkoittaa kuinka paljon loistelampuista on toiminnassa niiden saavuttaessa nimellispolttoian. Kuvassa 12 on esitetty tyypillinen kuolleisuuskäyrä. Kuolleisuuskäyrästä nähdään, että loistelampun saavuttaessa nimellispolttoian, keskimäärin ainoastaan 50 % on toimivia. Kuolleisuuskäyrissä on myös suuria vaihteluita loistelampputyypin ja valmistajien kesken.

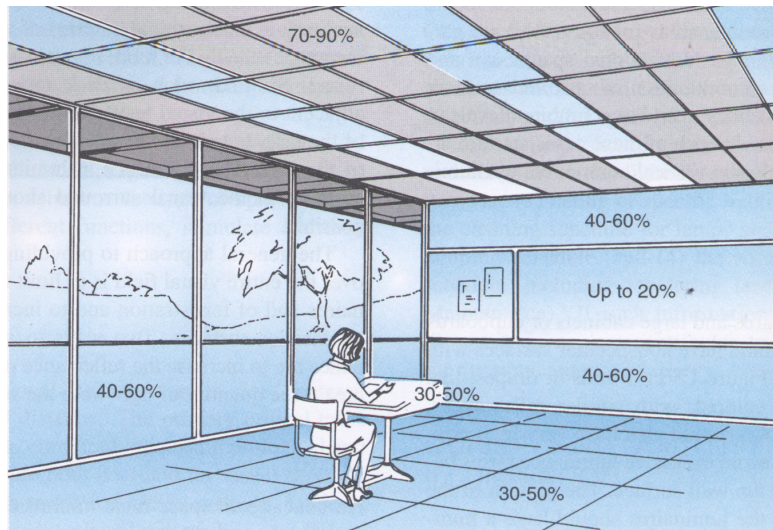


Kuva 12. Loistelamppujen tyypillinen kuolleisuuskäyrä [HAL92]

4.2. Huonepintojen heijastussuhteet

Huonepintojen heijastussuhteilla ja pintojen värillä on merkitystä mittaustulosten kannalta. Varsinkin seinäpintojen likaantuminen vaikuttaa voimakkaasti valaistusvoimakkuuteen. Heijastussuhde ilmoittaa prosentteina, kuinka paljon pinnalle saapuvasta valosta heijastuu takaisin, ja riippuu valon tulokulmasta sekä spektristä ja pinnan väristä. Heijastussuhde riippuu myös valaistustavasta ja pienissä tiloissa heijastumissuhteella on selvästi suurempi merkitys kuin avotiloissa.

Huonepintojen ja kalusteiden väriyksellä on siis suuri merkitys tilan valaistusvoimakkuustasoihin. Usein tiloja saneerattaessa myös pintojen väritystä muutetaan, mikä vaikuttaa vastaavasti valaistusvoimakkuuteen normaalissa käyttötilanteessa. Tutkittavissa kohteissa huonepintojen likaantuminen oli havaittavissa ja sen voidaan olettaa vaikuttavan jonkinverran tuloksiin. Kuvassa 13 on esitetty eräitä suositusarvoja luokkahuonetilan heijastussuhde arvoiksi.



Kuva 13. Suositeltavia heijastussuhteita luokkahuone ympäristössä. [IES00]

4.3. Muita mittauksiin vaikuttavia tekijöitä

Olosuhteiden pitää olla mahdollisimman samanlaiset kuin normaalikäytössä tulosten luotettavuuden takaamiseksi. Päivänvalon vaikutus eliminoitiin suorittamalla mittaukset pimeään aikaan. Kohteissa ei myöskään esiintynyt liikaa ulkoa tulevaa hajavaloa. Tutkimustilanteessa mitattiin verkkojännite, ympäristön lämpötila ja huolehdittiin, että ilmastointi oli päällä jokaisella mittauskerralla.

5. Tutkimuksen aineisto ja menetelmät

5.1. Yleistä mittausten toteutuksesta

Tutkimuksessa oli kolme erillistä tutkimuskohdetta. Tutkimuskohteet valittiin siten, että ne edustivat eri aikakausien tyypillisiä valaistusratkaisuja. Kohteissa tehtiin valotekniset mittaukset paikan päällä ennen valaisimien huoltoa. Valaisimien huollon jälkeen tehtiin vastaavat mittaukset uudelleen. Näin saatiin vertailukelpoiset tulokset, joiden perusteella voitiin arvioida valaisinhuollon merkitystä valaistusvoimakkuustasoihin. Tutkimuksen toinen osio keskittyi valaisimien valoteknisiin mittauksiin laboratorioolosuhteissa. Kummastakin kohteesta kolme valaisinta otettiin tarkempiin tutkimuksiin Fagerhultin valaistuslaboratorioon. Valaisimet tutkittiin ensin huoltamattomina ja sen jälkeen mittaukset uusittiin valaisimien perusteellisen huollon jälkeen. Valaisimista mitattiin valonjako, hyötysuhde, teho ja tehokerroin. Valaisimien komponenttien kunto arvioitiin silmämääräisesti.

5.2. Kohteiden esittely

5.2.1. Itäkeskuksen yläaste ja lukio, Helsinki

Helsingissä mittaukset suoritettiin vanhassa 60-luvun lopulla rakennetussa koulukiinteistössä. Kiinteistö edustaa vanhantyyppistä luokkahuonevalaistusta tyypillisimmillään. Koulukiinteistön luokkahuoneet olivat hyvin tyypillisiä aikakautensa luomuksia. Ne edustivat perinteistä suoraviivaista luokkamuotoa pulpettiriveineen. Koululla on vuosien saatossa osittain saneerattu luokkahuoneita, esimerkiksi ilmastointi on uusittu ja samalla rakennettu alaslaskettu katto. Valaistushuolto on suoritettu vaihtelevalla tavalla. Pääsääntöisesti lamppuja on vaihdettu aina niiden palaessa loppuun. Valaisimien optiikan osalta on puhdistettu lähinnä tauluvalaisimet aina kesäisin. Itäkeskuksesta valittiin mittauksen kohteeksi kaksi eri aikakausia edustavaa luokkahuonetta. Toinen niistä edustaa 70-luvun alun teknistä osaamista ja toinen luokkahuoneista on tyypillinen 90-luvun alun edustaja. Kohteista on yleiskuvia liitteessä 3.

Luokassa 168 oli asennettuna 12 kpl valaisimia tyyppiltään Orno 247-N 2x40W. Valaisimet oli varustettu perinteisillä kuristimilla tyyppiltään Helvar L40G. Valaisimet on valmistettu todennäköisesti 1970-luvun alussa tai ihan 60-luvun lopulla. Valaisimet oli varustettu alumiiniheijastimilla ja valkoisilla lamelliritilöillä. Valaisimet olivat ikäänsä nähden kohtalaisen hyvässä kunnossa. Muutamissa valaisimissa lampunpitimet olivat haurastuneet, mikä on sinänsä tyyppillistä vanhoille valaisimille. Putkenpitimiä suurempi ongelma näytti olevan lamelliritilöiden vääntyminen ja heijastinten pinnoitteen patinoituminen. Luokassa oli lisäksi 3 kappaletta 1x58 W:n tauluvalaisimia tyyppiltään "Hiltunen A.". Tarkempaa tyyppiä ei onnistuttu selvittämään. Liitäntälaitteena oli kuristin tyyppiä Helvar L80K. Valaisin oli varustettu kiiltoeloksoidulla symmetrisellä heijastimella, joka oli suunnattu vinosti tauluapintaa kohti.

Luokassa 169 oli asennettuna 12 kpl valaisimia tyyppiltään Glamox DLT 236 RT300 2x36. Liitäntälaitteena oli perinteinen kuristin tyyppiltään Glamox EC 40. Glamoxin valaisimet oli asennettu saneerauksen yhteydessä 90-luvun alussa. Ne siis edustivat uudempaa tekniikkaa ja oli varustettu pienluminanssiritilällä. Valaisimet olivat aika uusia ja niiden kunto oli moitteeton. Luokan tauluvalaisimet olivat tyyppiltään Idman 6050-158 1x58W ja kuristemana Helvar L65A. Tauluvalaisin oli varustettu kiiltoeloksoidulla epäsymmetrisellä heijastimella.

5.2.2. Torikadun toimistohuone, Oulu

Oulussa mittauksien kohteena oli toimistohuone 80-luvulta. Kohteen kunnossapito oli niin ikään satunnaista ja tyyppillistä samantyyppisille rakennuksille. Lamppuja on vaihdettu aina tarpeen mukaan niiden palaessa loppuun. Tutkittavissa huonetiloissa oli optiikat todennäköisesti puhdistettu joitakin vuosia aikaisemmin. Tarkempaa kunnossapitotietoa ei ole ollut saatavilla. Toimistohuoneeseen oli asennettu ikkunaseinälle yksi epäsymmetrisellä valonjaolla varustettu valaisin tyyppiltään SLO 593 1x65W. Oven puolelle asennettu valaisin oli tyyppiltään SLO 594 1x65W ja oli varustettu symmetrisellä valonjaolla. Kumpikin valaisimista oli varustettu perinteisellä liitäntälaitteella tyyppiltään Helvar L65A. Molemmissa valaisimissa oli alumiiniheijastin ja valkoinen lamelliritilä. Valaisimet olivat ikäänsä nähden hyvässä kunnossa,

ainoastaan lampunpitimissä oli havaittavissa jäykkyyttä. Huoltomiehen kertoman mukaan useissa toimistohuoneissa oli ollut ongelmia lampunpitimien kanssa aina lampun vaihtojen yhteydessä. Kohteesta on yleiskuva liitteessä 3.

5.3. Valaistusvoimakkuus- ja heijastussuhdemittaukset

5.3.1. Käytetyt mittalaitteet

Valaistusmittauksissa käytettiin hyvälaatuisia kenttämittauksiin soveltuvia mittalaitteita. Valaistusvoimakkuus- ja heijastussuhdemittauksissa käytetty mittalaite oli Minolta Illuminance Meter T-1, johon oli liitetty 100 cm pitkällä liitosjohdolla valaistusvoimakkuusanturi. Mittaustilanteessa valaistusvoimakkuusmittarin anturi kiinnitettiin kamerajalustaan, jolloin varmistettiin oikea korkeus ja vaakataso. Mittaustilanteessa huolehdittiin myös, että mittaaja ei itse varjostanut valaistusvoimakkuusanturia.

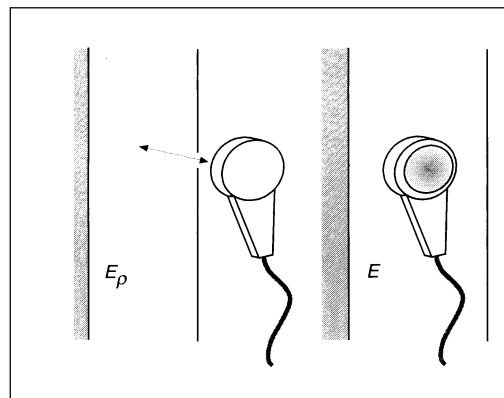
Mitattavissa tiloissa pyrittiin mahdollisimman todenmukaiseen käyttötilanteeseen ja pyrittiin järjestämään mittaustilanteet sen mukaan. Olosuhteiden muutokset vaikuttavat myös voimakkaasti mittaustuloksiin, joten oli huolehdittava olosuhteiden pysymisestä mahdollisimman samankaltaisina. Ilmanvaihto pidettiin päällä myös illalla suoritetuissa mittauksissa. Mitattavien tilojen jännite saattaa myös muuttua mittaustilanteen aikana jännitevaihteluiden takia. Tämän varmistamiseksi mitattiin tiloissa jännite ennen ja jälkeen mittauksen Chauvin Arnoux C.A 811 kenttäkäyttöön soveltuvalla mittarilla. Lämpötilan pysyminen riittävän vakaana mittaustulosten luotettavuuden takamiseksi varmistettiin normaalilla kotikäyttöön tarkoitetulla lämpömittarilla. Lämpömittari oli päällä koko mittauksen ajan ja siinä oli muisti minimi- ja maksimiarvoille.

Luminanssimittauksissa käytetty mittalaite oli Minolta Luminance Meter 1/3. Käsivaraisesti toteutetut luminanssimittaukset ovat tässä tutkimuksessa suuntaa antavia ja mittauksen tulokset suhteellisia, joten mahdollisilla mittausrvirheillä ei ole lopputuloksen kannalta suurta merkitystä.

5.3.2. Huonepintojen heijastussuhteen määrittäminen

Tilojen heijastussuhteet mitattiin, jotta saatiin selvitettyä miten puhdistus vaikuttaa niihin. Heijastussuhteet voidaan määrittellä hyvinkin tarkasti laboratoriokokein. Kenttäolosuhteissa heijastussuhteiden määrittäminen on huomattavasti vaikeampaa ja tietty epätarkkuus on hyväksyttävä. Tutkittavissa kohteissa huoneiden pinnat olivat riittävän hajaheijastavia, jolloin heijastussuhde voitiin selvittää valaistusvoimakkuusmittarin avulla. Menetelmää käytettäessä myös mitattavien pintojen pitää olla laajoja, jotta päästään riittävän tarkkaan lopputulokseen.

Heijastussuhde mitattiin valaistusvoimakkuusmittarin avulla. Menetelmän periaatepiirros on esitetty kuvassa 14. Menetelmässä mitataan valaistusvoimakkuus valokenno suunnattuna pintaan päin (E_p) ja valaistusvoimakkuus kennon ollessa käännettynä pinnasta poispäin (E). Näin saatujen lukemien suhde on heijastussuhde (ρ).



Kuva 14. Heijastussuhteen mittaaminen valaistusvoimakkuusmittarilla. [SUO96]

Mittauksissa luksimittarinanturi oli asennettu kamerajalustaan ja sen avulla saatiin etäisyys seinästä pidettyä vakiona. Mittaukset suoritettiin pilvisenä päivänä niin, että huoneen valot oli sammutettuna. Näin minimoitiin suoran valon osuus valokennolle ja pinnoista saatiin mahdollisimman hajaheijastavia. Mittauksia suoritettaessa varottiin myös, ettei mittaja itse varjostanut mittausta. Mittauspisteitä oli 2–3 jokaisella seinällä ja lattiapinnoilla 5–6. Näistä mittaustuloksista laskettiin heijastussuhteet jokaiselle mittauspisteelle.

Heijastussuhdetta arvioitiin myös silmämääräisesti, jotta voitiin verrata saatuja mittaustuloksia silmämääräiseen arvioon. Vertailua suoritettaessa huomattiin silmämääräisesti suoritettun arvon olevan yllättävän lähellä valaistusvoimakkuusmittarilla suoritettua mitattua arvoa. Katon osalta valaistusvoimakkuusmittarin avulla ei mittausta saatu suoritettua, vaan heijastussuhde arvioitiin pelkästään värikartan avulla. Kartta asetettiin pinnalle ja kartasta katsottiin mahdollisimman sopiva väri sekä tummuus- tai vaaleusaste. Näiden kahden menetelmän avulla luotiin kuva tilan pintojen heijastusominaisuuksista. Kalusteiden osuutta heijastussuhteen määrittelyssä ei otettu huomioon.

Heijastussuhteet mitattiin tutkittavassa tilassa kahtena peräkkäisenä päivänä. Mittausten välissä seinä- ja lattiapinnoille tehtiin perusteellinen siivous. Lattiapinnat puhdistettiin lattianhoitokoneen avulla ja seinäpinnat pestiin käsin. Kattopintaa ei huokoisen materiaalin takia pystytty puhdistamaan. Heijastussuhde mittausten tulosten keskiarvot on esitetty taulukoissa 4, 5 ja 6.

Taulukko 4. Pintojen heijastussuhteita.. Luokka 168.

Mitattava pinta	ρ (ennen huoltoa)	ρ (huollon jälkeen)
Lattia, erittäin kulunut sininen	0,2	0,2
Seinä, valkoinen	0,6	0,7
Seinä, ruskea iso ilmoitustaulu	0,4	0,4
Katto, harmaa ja likainen villalevykatto	0,5-0,6	0,5-0,6

Taulukko 5. Pintojen heijastussuhteita.. Luokka 169.

Mitattava pinta	ρ (ennen huoltoa)	ρ (huollon jälkeen)
Lattia, vihreä n. 10v. vanha	0,3	0,3
Seinä, valkoinen	0,7	0,7
Seinä, ruskea iso ilmoitustaulu	0,4	0,4
Katto, villalevykatto	0,5-0,6	0,5-0,6

Taulukko 6. Pintojen heijastussuhteita. Torikatu, huone 239.

Mitattava pinta	ρ (ennen huoltoa)	ρ (huollon jälkeen)
Lattia,	0,14	0,15
Seinä, valkoinen	0,6	0,65
Katto, valkoinen ruiskumaalattu	0,7	0,7

Perusteellisella puhdistuksella näyttäisi tutkimuksen valossa olevan vain vähäinen merkitys pintojen heijastussuhdearvoihin. Ainoastaan luokassa 168 ja torikadun toimistohuoneessa valkoiset pinnat olivat niin likaisia, että puhdistus vaikutti heijastussuhde tuloksiin.

5.3.3. Valaistusvoimakkuusmittaukset

Valaistusvoimakkuusmittauksia tehtiin kahdessa eri luokkahuoneessa ja yhdessä toimistossa. Luokkahuoneet olivat pohjapiirrokseltaan ja kalustukseltaan samankaltaisia. Tutkimuksessa pyrittiin mahdollisimman todellisuutta vastaavaan tilanteeseen. Mittaukset suoritettiin pimeään aikaan sälekaihtimet suljettuina, jolloin suljettiin pois ulkoa mahdollisesti tuleva hajavallo. Samoin varmistauduttiin, että ilmastointi oli päällä mittausten ajan. Huonekalut jätettiin niiden omille paikoille ja mittauskorkeutena käytettiin todellista työskentelytasoa. Tutkittavina olevissa koululuokissa ja toimistohuoneessa työtason korkeus oli pöydän pintataso.

Mittauksissa tila jaettiin neliön tai suorakaiteen muotoisiin yhtäsuuriin ruutuihin. Neliöiden sivujen pituudet valittiin huoneen koon mukaan 0,5 – 1m. Pituudet voivat kuitenkin olla enintään 1/4 – 1/2 valaisimien ja työtason välisestä etäisyydestä. Mittauspisteiden lukumäärän selvittämiseksi tarvittava huoneindeksi k saadaan kaavasta 5.

$$k = \frac{lw}{(l+w)h_m} \quad (5)$$

missä l on huoneen pituus (m), w huoneen leveys (m) ja h_m valaisimen asennuskorkeus mittaustasolta (m). Mittauspisteet eivät saa sijaita säännöllisesti valaisimiin nähden mittaustulosten luotettavuuden takia. Tällaisissa tapauksissa mittauspisteiden lukumäärää on lisättävä. Taulukossa 7 on esitetty mittauspisteiden vähimmäismäärät. [SUO96]

Taulukko 7. Mittauspisteiden vähimmäislukumäärä. Valaisinjakko enintään 1,5 kertaa asennuskorkeus mittaustasolta mitattuna. [SUO96]

Huoneindeksi	Mittauspisteiden lukumäärä
$K < 1$	4
$1 \leq k < 2$	9
$2 \leq k < 3$	16
$3 \leq k$	25

Tutkittavasta tilasta piirrettiin millimetripaperille pohjapiirros, johon merkittiin ruudut ja kiinteät kalusteet. Ruudukon kooksi saatiin luokkahuoneiden osalta 1,0m x1,0m. Valaistusvoimakkuus mitattiin jokaisen ruudun keskipisteessä työtasolla. Työtason korkeus mitattiin tutkittavissa kohteissa todellisen tilanteen mukaan. Valaistusvoimakkuusmittari kiinnitettiin huolellisesti kiinteään jalustaan mittausten luotettavuuden takaamiseksi. Valaistusvoimakkuusmittarin valoanturi oli 100 cm:n pituisen liitosjohdon päässä, jolloin mittarin lukemat voitiin ottaa ylös ilman että mittaaja varjosti itse valoanturia.

Mittauspöytäkirjaan kirjattiin ylös tuloksiin vaikuttavat verkkojännite, ympäristön lämpötila ja kellonaika. Ensimmäisen mittauksen jälkeen myös tilan lattia- ja seinäpinnat puhdistettiin perusteellisesti. Valaisimiin vaihdettiin uudet lamput, joita oli esipoltettu 100-150 h. Myös valaisimien sytyttimet vaihdettiin uusiin. Valaisimen heijastin ja häikäisysoja puhdistettiin tarkoituksen mukaisilla puhdistusaineilla. Valaistusvoimakkuusmittaukset toistettiin edellisessä luvussa kuvatulla tavalla suurin piirtein samaan aikaan päivästä. Mittaustulokset on esitetty selvyuden vuoksi oheisissa pohjapiirrustuksissa. Näin saadaan huoltamattoman ja huolletun tilanteen mittaukset samaan yhteyteen, ne on esitetty kuvissa 15, 16 ja 17.

		471 630	559 731	589 768	529 691	389 521	301 409	
		320 465	314 414	363 512	302 429	320 433	308 398	180 225
489 700	501 747	482 627	578 851	462 659	521 692	553 715	297 362	
630 922	603 973	558 760	702 1110	562 895	631 917	680 930	350 466	
563 1000	604 1040	538 783	691 1180	566 1010	640 945	679 1000	361 548	
581 948	544 995	476 764	635 1110	555 942	600 874	643 979	340 561	
422 801	390 840	416 698	585 917	495 762	532 707	541 810	299 514	
264 526	254 560	294 486	394 599	351 521	359 469	346 525	224 384	

Mittaustulokset enen valaisinhuoltoa (lx)

Mittaustulokset huollon jälkeen (lx)

Kuva 15. Valaistusvoimakkuusmittausten tulokset. Luokkahuone 168.

		1280	1350	1280	943	486	287	
	512	1500	1530	1430	1060	551	339	
	645							
		618	739	693	694	645	431	
		693	765	757	801	718	483	
599	680	769	688	862	803	600		
665	785	863	765	970	906	667		
764	882	972	871	1090	1030	749		
855	984	1080	970	1170	1150	849		
818	911	1020	957	1150	1110	766	624	
906	1030	1140	1060	1250	1210	868	684	
751	874	961	894	1090	1030	735	704	
821	978	1060	1000	1180	1150	825	769	
586	645	760	736	878	833	590	489	
667	770	843	819	931	910	663	541	
353		478	454	531	529	393	315	
419		541	529	607	595	440		

Mittaustulokset enen valaisinhuoltoa (lx)

Mittaustulokset huollon jälkeen (lx)

Kuva 16. Valaistusvoimakkuusmittausten tulokset. Luokkahuone 169.

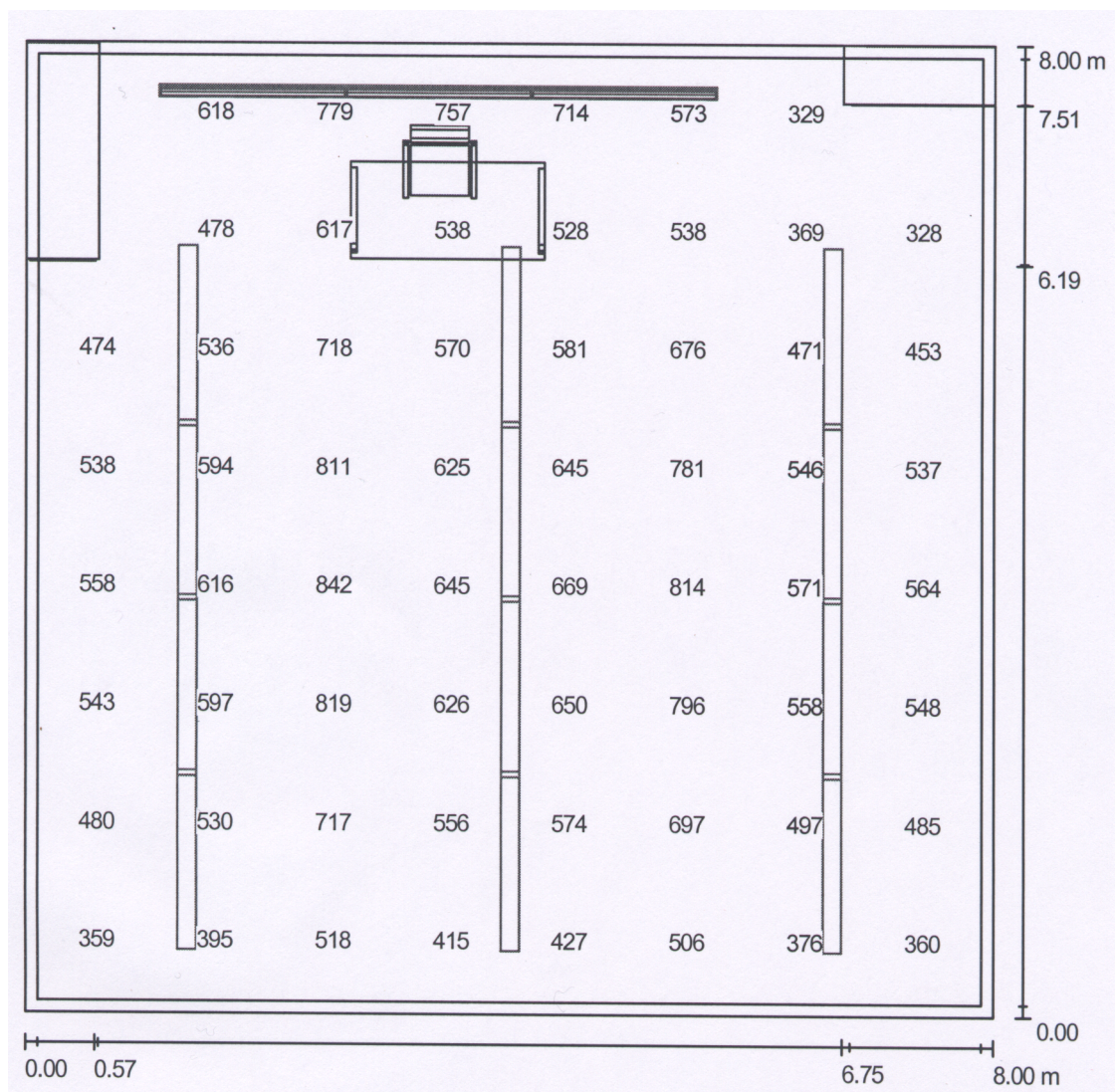
Mittaustulokset (x) huoltamaton huone
Mittaustulokset (x) lamput vaihdettu
Mittaustulokset (x) heijastimet ja huone pesty

	219	247	264	267	259		
	350	409	435	444	420		
	381	432	452	465	434		
	260	312	344	366	315	283	
	443	531	574	612	513	480	
	469	550	595	632	549	509	
	321	389	433	434	400	339	
	257	640	697	701	629	550	
	556	654	715	713	656	562	
	352	435	483	489	448	383	
	579	701	771	779	695	596	
	603	718	785	786	717	610	
	308	380	436	446	415	371	
	504	619	693	694	666	593	
	519	627	695	695	664	596	
	242	291	333	333	330	295	
	399	477	534	536	518	458	
	415	490	538	534	516	466	
	225	268	294	299	289	256	
	366	431	468	476	455	407	
	391	460	494	495	481	411	
	222	265	293	297	281	256	
	360	420	460	469	443	407	
	375	442	476	476	446	406	
	215	252	280	282	266	246	
	340	400	435	441	415	382	
	373	430	458	457	424	387	
	198	227	250	253	238	227	
	312	359	390	399	373	353	
	333	379	404	399	369	348	
	204	226	248	250	232		
	317	353	386	391	362		
	321	355	379	377	348		
		220	240	242	228		
		343	375	377	351		
		354	372	370	348		

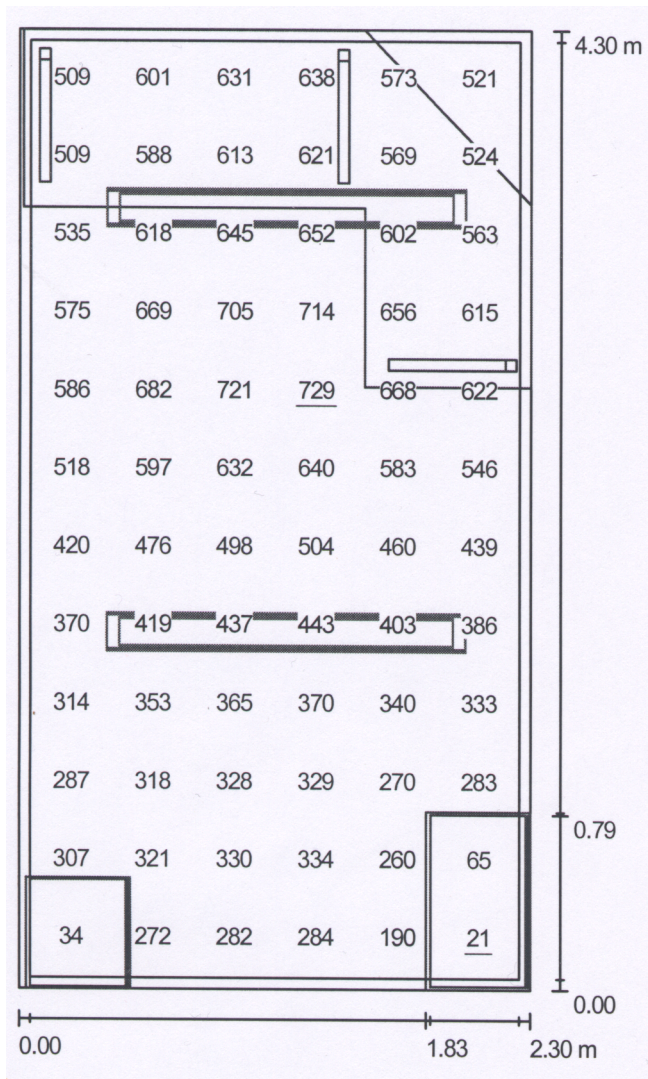
Kuva 17. Valaistusvoimakkuusmittausten tulokset. Toimistohuone, Torikatu.

5.3.4. Simuloinnit valaistuslaskentaohjelmalla

Tutkimuksessa simuloitiin myös Dialux-ohjelmalla tilanne, jossa valaisimet oli vaihdettu uusiin vastaavan tyyppisiin samaan käyttötarkoitukseen tarkoitettuihin. Valaistuslaskentaohjelmaan oli syötetty tutkimuksissa mitatut heijastussuhteet ja käytetty alenemakertoimena 0,8, jolloin saatiin vertailukelpoiset arvot mittaustulosten kanssa. Suunnittelun lähtökohtana oli valaistusstandardin vaatimukset. Laskentatulokset on esitetty taulukoissa 18 ja 19.



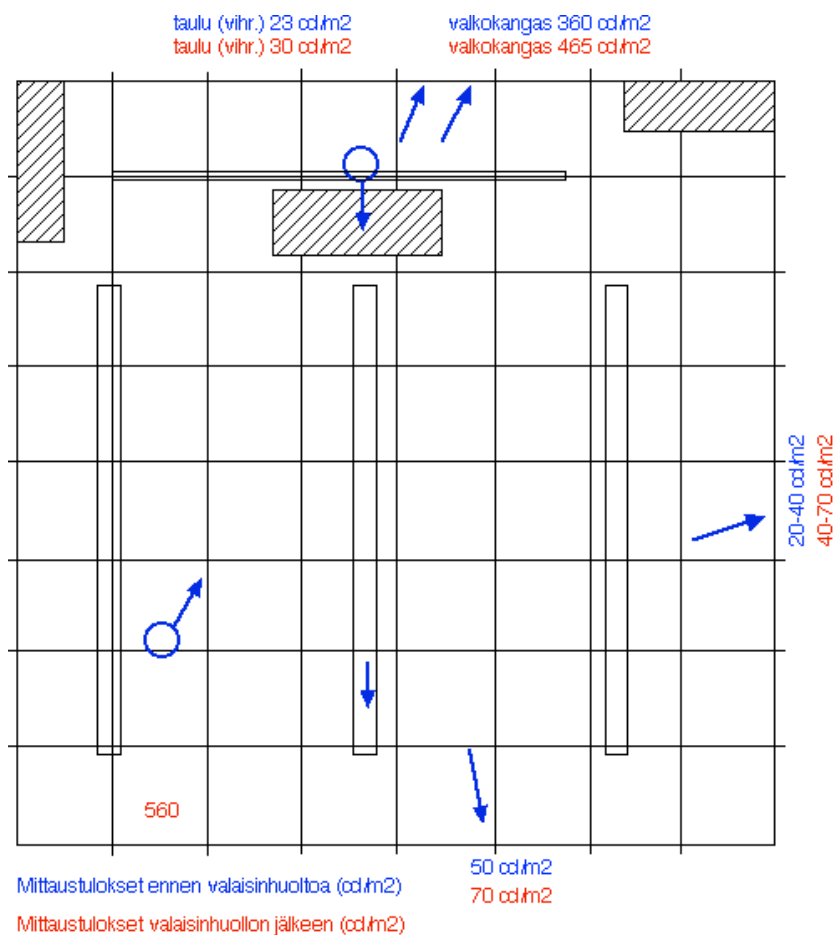
Kuva 18. Dialuxilla tehtyt valaistuslaskelmat. Itäkeskus, luokka 168 ja 169. Valaisimet Fagerhult CombiFive 1x35W.



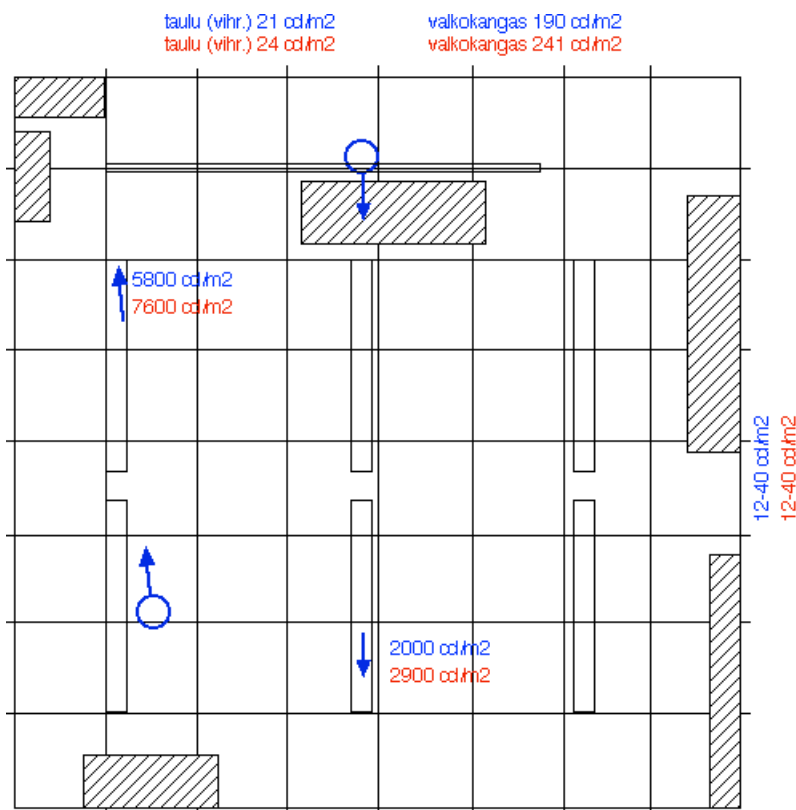
Kuva 19. Dialuxilla tehdyt valaistuslaskelmat. Toimistohuone 239. Valaisimet Fagerhult Ten Line Beta 2x35W ja 1x35W.

5.3.5. Luminanssimittaukset

Tutkittavana olleissa tiloissa suoritettiin myös luminanssimittauksia, jotta voitiin selvittää näköergonomian kannalta merkittäviä seikkoja. Mittausten tarkoitus oli olla lähinnä suuntaa antavia, eikä se ollut päätutkimuskohde. Luokahuoneissa mitattiin seinäpintojen keskimääräisiä luminansseja käsivaraisesti luminanssimittarilla. Samoin etsittiin opettajan ja oppilaan keskeisistä näkökentistä ongelmallisia kohtia. Mittaustulokset on esitetty kuvissa 17 ja 18. Luminanssimittaukset suoritettiin opettajan ja yhden oppilaan keskeisestä näkökentästä.



Kuva 20. Luminanssimittausten tuloksia. Luokka 168.

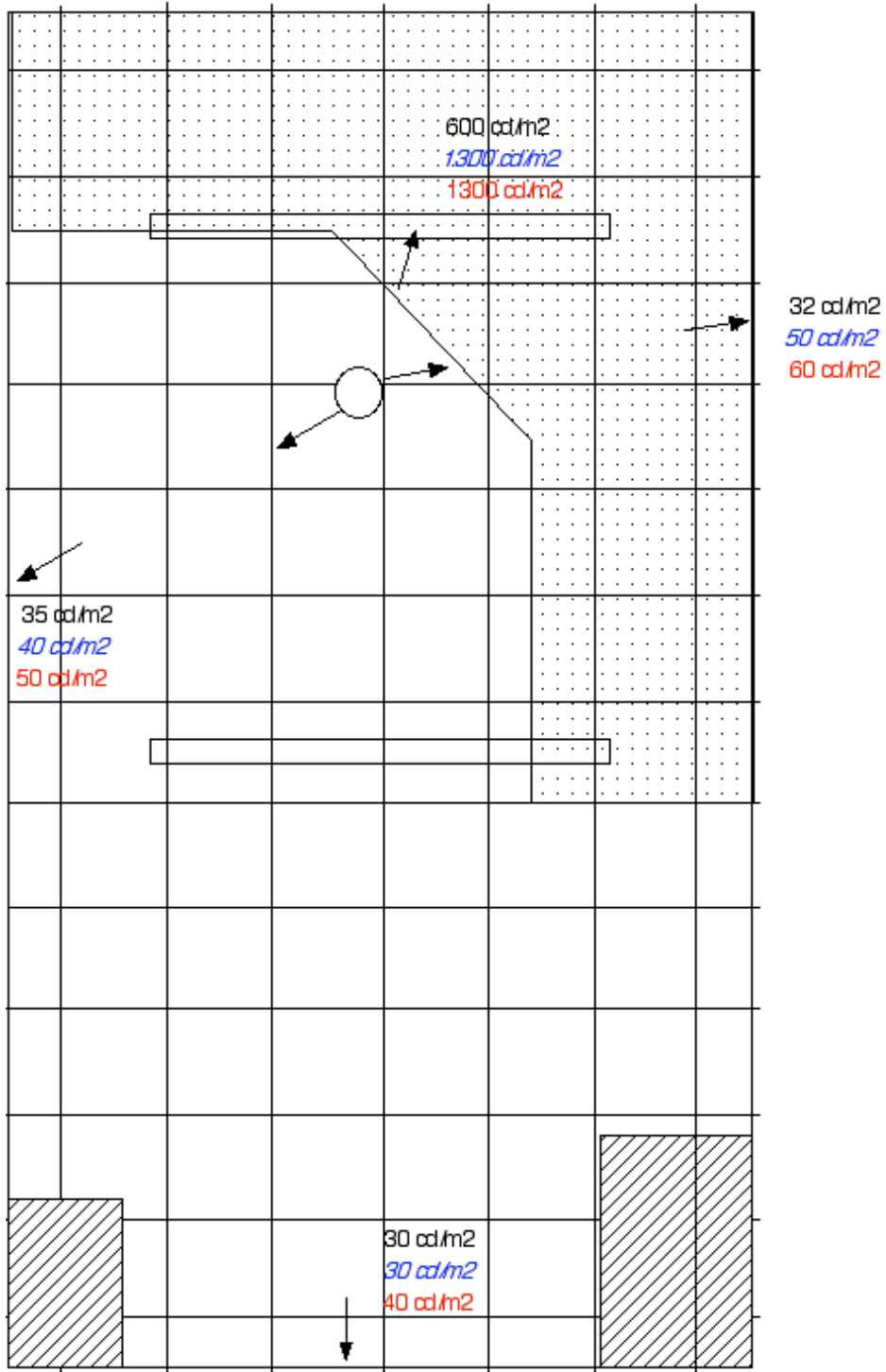


Mittaustulokset ennen valaisinhuoltoa (cd/m²)

Mittaustulokset valaisinhuollon jälkeen (cd/m²)

Kuva 21. Luminanssimittausten tuloksia. Luokka 169.

Mittaustulokset (lx) huoltamaton huone
Mittaustulokset (lx) lamput vaihdettu
Mittaustulokset (lx) heijastimet ja huone pesty

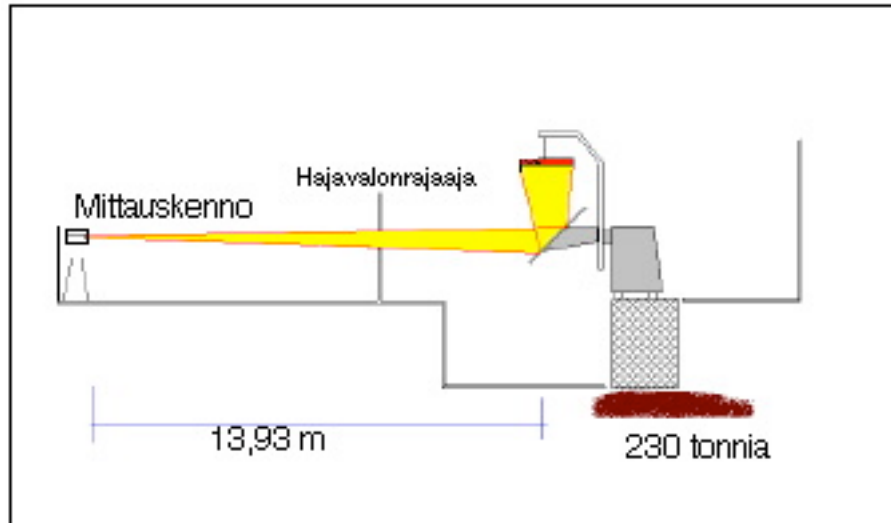


Kuva 22. Luminanssimittausten tuloksia. Torikatu, huone 239.

5.4. Valonjakomittaukset valaistusalaboratoriossa

5.4.1. Mittalaitteisto

Valonjakomittaukset suoritettiin Fagerhultin Habon tehtaan tutkimuslaboratoriossa. Laboratoriossa käytetään saksalaisen LMT:n kulmafotometriin perustuvaa mittalaitteistoa. Kulmafotometri on laite, jolla voidaan mitata valaisimen valovoiman avaruusgeometrinen jakauma eli valonjako [SUO96]. Valovoimien määrittäminen perustuu pistemäisen valonlähteen ja etäisyyden neliölain hyväksikäyttöön, jolloin valokennon etäisyyden valonlähteestä on oltava riittävä. Fagerhultin laitteisto koostuu varren päähän asetetusta peilistä, jota voidaan pyörittää tutkittavana olevan valaisimen ympäri. Lisäksi 13,93 m:n päähän peilin keskipisteestä on asennettu valokenno, johon tuleva suora valo on estetty. Mittaus tapahtuu täysin automaattisesti tietokoneen ohjaamana. Mittalaitteiston toimintaperiaate on esitetty kuvassa 15.



Kuva 23. Valonjako mittalaitteen toiminta periaate [VAR]

Tämäntyyppisellä mittalaitteistolla on etuna mitattavan valaisimen pysyminen koko mittauksen ajan oikeassa polttoasennossa, sillä polttoasennon muuttaminen muuttaa useilla lampputyypeillä lampun valovirtaa. Mittalaitteistossa valonlähde ja valaisin

voidaan asentaa oikeaan käyttöasentoonsa, ja näin vältetään väärästä asennosta johtuvat mittausrvirheet. Mittaustulokset saadaan C- γ -järjestelmän mukaisesti, pystytasojen väli on 5° ja γ -kulmien väli 2°. Lisäksi ohjelmisto laskee valonjakokäyristä valaisimen käyttöhyötysuhteen, valoaukon luminansseja, valaistushyötysuhdetaulukoita sekä erilaisia häikäisytaulukoita. Laitteisto mittaa tutkittavasta valaimesta myös jännitteen, tehon, virran ja tehokertoimen.

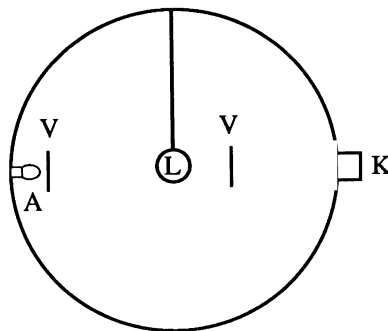
5.4.2. Suoritetut mittaukset

Tutkimuskohteissa suoritettujen valaistusvoimakkuusmittausten jälkeen valittiin samantyyppisestä tilasta samanlaiset valaisimet tarkempiin tutkimuksiin Fagerhultin valaistuslaboratorioon. Kummastakin tutkittavasta kohteesta valittiin kolme samanlaista valaisinta. Valaisimet irrotettiin varovasti ja pakattiin mahdollisimman irrotustilannetta vastaavassa kunnossa ja lähetettiin mitattavaksi valaistuslaboratorioon. Valonjakomittauksissa mitattiin tutkittavien valaisimien valonjako, hyötysuhde, teho ja tehokerroin. Laboratoriossa käytetty mittalaitteisto huolehti automaattisesti jännitteen stabiilisuudesta. Loistelamppujen annettiin esilämmitä 30–40 min, jolloin ne saavuttivat normaalit valovirta-arvonsa. Ensimmäinen mittaus suoritettiin vanhoilla valonlähteillä ja puhdistamattomana. Valaisimien heijastimille ja ritilöille suoritettiin perusteellinen puhdistus ja niihin vaihdettiin kalibroidut lamput ja liitäntälaitteet. Huollon jälkeen suoritettiin uusintamittaukset. Tutkittavana olleet vanhat valonlähteet lähetettiin takaisin Tampereen teknilliselle yliopistolle valovirtamittauksia varten. Saadut valovirta-arvot lähetettiin takaisin Fagerhultin valaisinlaboratorioon, jossa mittaustulokset skaalattiin uudelleen. Näin saatiin myös vanhoilla likaisilla valonlähteillä mitattujen valaisimien todelliset valaistushyötysuhteet selvitettyä. Mittauspöytäkirjoista on esimerkki liitteessä 1 ja 2.

5.5. Valovirtamittaukset Ulbrichtin pallossa

5.5.1. Mittalaitteisto

Valovirtamittaukset tehtiin Tampereen teknillisen yliopiston valolaboratorion integroivassa pallossa, jota kutsutaan keksijänsä mukaan Ulbrichtin palloksi. Integroiva pallo on hajaheijastavalla pinnoitteella sisäpinnaltaan valkoiseksi pinnoitettu, ja se heijastaa kaikkia näkyvän valon aallonpituuksia yhtä hyvin. Pallon sisäpinnan jokainen piste heijastaa pisteeseen tulleen valon jokaiseen muuhun pisteeseen äärettömän monta kertaa, jolloin pinnan jokaisen pisteen valaistusvoimakkuus muodostuu kahdesta komponentista, suoraan valonlähteestä tulevasta ja pallon muiden osien heijastamasta. Itse mittaus tapahtuu pallon sellaisesta pisteestä johon suora valo ei pääse, tämä on estetty varjostimella. Kuvassa 16 on kuvattu integroivan pallon toiminta periaate.[SUO96]



Kuva 24. Ulbrichtin pallon toimintaperiaate. [HAL92]

Valonlähde sijoitetaan integroivan pallon keskelle (L) ja valoanturi sijaitsee pallon reunalla (K). Suoran valon pääsy valoanturille on estetty varjostimella (V). Pallon sisään asennettavien valoa absorboivien laitteiden vaikutus voidaan ottaa huomioon lisälampulla (A).

Mitattavan lampun valovirta Φ_t saadaan laskettua kaavasta 6.

$$\phi_t = \frac{E_2}{E_1} \times \frac{E_3}{E_4} \times \phi_r \quad (6)$$

missä Φ_r on normaalilampun valovirta, E_2 on lukema tutkittavan lampun palaessa, E_1 on lukema normaalilampun palaessa, E_3 on apulampun lukema vertailulamppu pimeänä ja E_4 on apulampun lukema tutkittava lamppu pimeänä. Normaalilampulla tarkoitetaan lamppua, jonka valovirta tunnetaan tarkasti [HAL92].

5.5.2. Suoritetut mittaukset

Kummastakaan tutkittavana olleesta kohteesta ei löytynyt luotettavaa tietoa loistelamppujen polttotuntimääristä. Itäkeskuksessakin toisen luokkahuoneen loistelamput oli vaihdettu aina yksitellen ja tulos sen mukaisesti "kirjava". Ulbrichtin pallon avulla Tampereen teknillisen yliopiston valolaboratoriossa pyrittiin selvittämään loistelamppujen todelliset valovirrat. Kaikki lamput oli numeroitu, ja niiden tarkka sijainti tutkimuskohteessa tiedettiin.

Ulbrichtin pallon avulla mitattiin myös todelliset valovirrat Fagerhultin valaistuslaboratoriossa mitattujen valaisimien lampuille. Näin saimme jälkikäteen laskettua likaisten ja vanhat lamput sisältävien valaisimien valaisinhyötysuhteet. Jolloin pystyttiin arvioimaan lamppujen likaantumisen vaikutusta valaisimen hyötysuhteeseen.

Loistelamppujen valovirtamittaukset suoritettiin tässä tutkimuksessa mittausten nopeuttamiseksi suhteellista menetelmää käyttäen. Jokaisen erilaisen valaisintyyppin loistelamppujen osalta käytettiin mittauksissa niiden omia kuristimia ja stabilisaattorin avulla pidettiin jännite muuttumattomana. Mitattavat loistelamput ripustettiin yksitellen mahdollisimman keskelle palloa, huolehdittiin riittävästä esilämmitysajasta ja kirjattiin lukemat ylös.

Mittausten jälkeen asennettiin normaalilamppu palloon ja kirjattiin lukema ylös. Normaalilamppu on valonlähde, jonka valovirta tunnetaan tarkasti. Käytetty normaalilamppu oli kuitenkin eri muotoinen kuin mitatut loistelamput, jonka vaikutus tuloksiin piti selvittää. Mahdollinen virhe selvitettiin apulampun avulla. Ensimmäisessä mittauksessa otettiin lukema ylös apulampun palaessa ja mitattavan sammutetun loisteputken ollessa pallossa. Tämän jälkeen mittaus toistettiin niin, että apulamppu paloi ja sammutettu normaalilamppu oli asennettu palloon. Mittaustuloksissa oli yhden luksin ero, jolloin se ei ole mittausten kannalta merkityksellinen ja voidaan jättää huomioimatta tuloksia arvioitaessa. Normaalilampun lukemaksi saatiin 1817 ja tunnettu valovirta oli 2940 lm. Tämän tiedon avulla voitiin mitattujen loistelamppujen lukemat skaalata valovirta-arvoiksi.

6. Tutkimuksen tulokset

6.1. Johdanto

Tässä luvussa on esitetty tutkimuksessa saatuja tuloksia. Itäkeskuksen lukion luokkahuoneissa 168 ja 169 mitattiin valaistusvoimakkuudet ennen valaisimien ja tilan puhdistusta. Mittaukset toistettiin perusteellisen tilan pintojen ja valaisimien heijastimien sekä häikäisysojien puhdistuksen jälkeen.

Torikadun toimistohuoneessa suoritettiin kolme eri valaistusvoimakkuusmittausta: ensimmäinen ennen huoltoa, toinen lamppujen vaihdon jälkeen ja kolmas perusteellisen valaisimien sekä seinä- ja lattiapintojen puhdistuksen jälkeen.

Itäkeskuksen luokkahuoneiden valaisimien ensimmäinen valonjakomittaus suoritettiin valaisin ja lamppu likaisena. Valaisimen puhdistuksen jälkeen mittaus toistettiin kalibroiduilla lampuilla ja liitäntälaitteilla. Vanhan lampun todellinen valovirta selvitettiin Ulbrichtin pallon avulla ja näin voitiin laskea likaisenkin tilanteen todellinen valaisimen käyttöhyötysuhde. Torikadun toimistohuoneen osalta todellista valaisimen käyttöhyötysuhdetta ei selvitetty, valonjaon osalta mittaukset kuitenkin tehtiin edellä kuvatulla tavalla.

Itäkeskuksen luokkahuoneen 168 kaikkien lamppujen valovirrat mitattiin. Luokkahuoneessa 169 oli suoritettu lamppujen ryhmävaihto. Tilasta otettiinkin kolme satunnaisesti valittua lamppua valovirtamittauksiin, joista mitattiin tilanteet lamppu likaisena sekä puhdistettuna. Toimistohuoneen osalta mitattiin vanhojen lamppujen valovirrat likaisina. Uusista esipoltetuista loistelampuista valittiin satunnaisesti kolme kappaletta, joista mitattiin todellinen valovirta.

Tuloksissa on myös esitetty vertailuarvoina uusimmalla tekniikalla valmistetun vastaaviin tiloihin tarkoitettujen valaisimien tuloksia. Valotekniset ominaisuudet on kerätty luettelotiedoista ja valaistusvoimakkuudet sekä luminanssit on laskettu Dialux valaistuseläntäohjelmalla.

Mittaustulokset on extrapoloitu valaisimien hyötypolttokäyttäytymiseen vastaavaan tilanteeseen. Loistelampun hyötypolttokäytön ja valaisimen likaantumisen yhteisvaikutuksen on oletettu alentavan valaistusvoimakkuuksia 20%.

Dialux- laskennassa on ollut alenemakertoimena 0,8, joka on tyypillinen alenema kyseisissä käyttötiloissa hyötypolttokäytön aikana. Taulukoissa suluissa olevat lukemat ovat mitauslukemia ilman extrapolointia.

6.2. Case Itäkeskuksen lukio, luokka 168

6.2.1. Valoteknisten arvojen muuttuminen

Itäkeskuksen lukion luokkahuone 168 oli tyypillinen 70- luvun vaihteen luokka, jossa valaisimien huolto on tehty vain tarpeen mukaan. Taulukossa 8 on esitetty mittausten tuloksista laskettuja valoteknisiä arvoja. Taulukkoon 8 on lisätty myös Dialuxilla lasketut vertailuarvot tilanteessa, että valaistus uusittaisiin kokonaan. Luokkahuoneen lamppujen valovirran alenema oli keskimäärin 20,4%, jolloin se on oletettu vastaavan hyötypolttokäyttäytymiseen. Näin on saatu vertailukelpoiset tulokset arvioitavaksi.

Taulukko 8. Valoteknisten arvojen muuttuminen huollon vaikutuksesta extrapoloituina lamppujen hyötypolttokäyttäytymiseen. Suluissa ilmoitettu todelliset mitatut arvot.

	ennen huoltoa	huollon jälkeen	uusi valaisin
E minimi	180 lx	180 (225) lx	328 lx
E maksimi	702 lx	888 (1110) lx	842 lx
E keskiarvo	471 lx	574 (717) lx	574 lx
Tasaisuus/ Emin/Eka	0,38	0,31 (0,31)	0,57
Taulupinnan luminanssi (oppilas)	23 cd/m ²	30 cd/m ²	40 cd/m ²
Valkokankaan luminanssi (oppilas)	130 cd/m ²	200 cd/m ²	100 cd/m ²

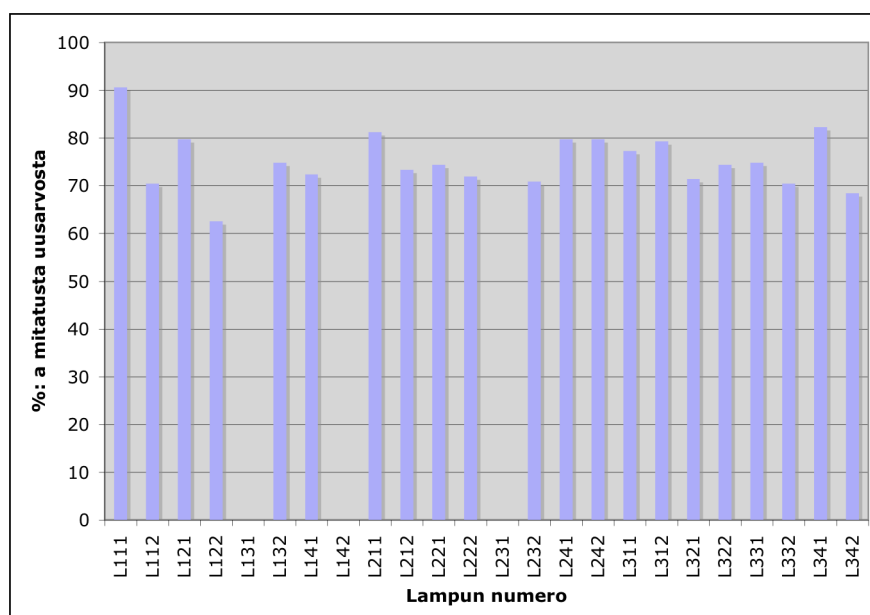
Tuloksista nähdään, että keskimääräinen valaistusvoimakkuus kasvoi 22% valaisinhuollon vaikutuksesta. Samoin nähdään myös, että minimiarvo pysyi ennallaan kun vastaavasti maksimi kasvoi 26 %. Tasaisuuden kannalta tämä ei ole hyvä eli valaisimien huolto huonontaa tilannetta. Tämä johtuu todennäköisesti valaisimen kapeasta valonjaosta. Valaisimen heijastin hajottaa valoa leveämmälle pölyisenä ja likaisena kuin puhdistuksen jälkeen.

Standardin vaatimuksiin verrattaessa keskimääräinen valaistusvoimakkuus on ennen huoltoa lähes vaaditut 500 lx. Huollon jälkeen keskimääräinen valaistusvoimakkuus ylittää standardin vaatimukset. Luminanssien osalta huolto ei merkittävästi muuttanut tilannetta ja luminanssisuhde valkokankaan ja taulupinnan välillä pysyi jokseenkin samana.

6.2.2. Valovirtojen aleneminen

Tutkittavasta tilasta otettiin vanhat lamput talteen Tampereen Teknillisellä yliopistolla tehtäviä valovirtamittauksia varten. Mittaukset suoritettiin valaistuslaboratoriossa Ulbrichtin pallon avulla. Huomattavaa on, että luokkahuoneen loistelamppuja oli vaihdettu aina yksitellen niiden palaessa loppuun ja varsinaista ryhmävaihtoa ei oltu suoritettu. Niinpä loistelamput olivat hyvinkin eri ikäisiä ja värisävyltään kirjavia. Luokkahuoneessa oli jopa vanhoja 36mm:n loistelamppuja, joita nykyisin käytetään lähinnä erikoistapauksissa, kuten ulkokäyttö. Keskimääräinen valovirran alenema oli 20,4 % mitatusta uusarvosta. Se vastaa normaalissa luokkahuonetilassa noin kolmen vuoden keskimääräistä polttoikää. Luokkahuoneessa oli kuitenkin hyvin suuria eroja eri valonlähteiden osalta, kuten taulukosta 9 näemme. Loistelampuista oli kolme kappaletta myös täysin pimeänä.

Taulukko 9. Valovirtojen mitatut arvot. Luokahuone 168.



6.2.3. Vaikutukset energiankulutukseen

Saaduista valaistusvoimakkuusmittausten tuloksista laskettiin tehotehiysarvot ja tehotehiys suhteutettuna valaistusvoimakkuustasoihin. Saadut tehotehiydet on koottu taulukkoon 10 ja uuden valaisimen vertailuarvoina on esitetty dialux- laskennan tulokset.

Taulukko 10. Energiankulutuksen muuttuminen extrapoloituna lamppujen hyötypolttokään. Suluissa ilmoitettu todelliset mitatut arvot.

	ennen huoltoa	huollon jälkeen	uusi valaisin
Tehotehiys/ W/m ²	18,1	18,1	9,14
Tehotehiys/ W/m ² /100 lx	3,9	3,2 (2,5)	1,6

Energiankulutus ei luonnollisesti muutu huollon vaikutuksesta, mutta mielenkiintoista on tarkastella sitä valaistusvoimakkuuteen suhteutettuna. Tutkimuksen tapauksessa valaisimien valaistusvoimakkuuteen suhteutettu energiankulutus pienenee 18 % valaisinhuollon vaikutuksesta ja valaisimien vaihdon tapauksessa 59 %. Tuloksista voi päätellä, että valaisinhuollon merkitys korostuu otettaessa huomioon muutokset saaduissa valaistusvoimakkuustasoissa.

6.3. Case itäkeskuksen lukio, luokka 169

6.3.1. Valoteknisten arvojen muuttuminen

Luokkahuone 169 oli saneerattu noin 15 vuotta sitten ja sen valaisimet edustivat selkeästi uudenpaa tekniikkaa kuin tutkimuksen toinen luokkahuone. Valaistusvoimakkuusmittausten pohjalta laskettiin keskeisiä valoteknisiä arvoja ja verrattiin niitä uuden valaistusstandardin vaatimukset täyttävän valaistuksen arvoihin. Tulokset on esitetty taulukossa 11. Luokkahuoneen 169 kohdalla on käytetty samoja vertailuarvoja kuin luokassa 168.

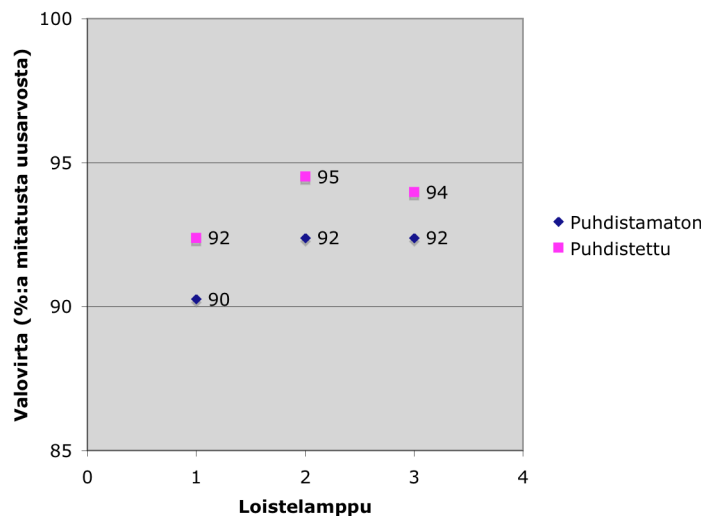
Taulukko 11. Valoteknisten arvojen muuttuminen huollon vaikutuksesta extrapoloituna lamppujen hyötypolitoikään. Suluissa ilmoitettu todelliset mitatut arvot.

	ennen huoltoa	huollon jälkeen	Uusi valaisin
E minimi	256 (287) lx	271 (339) lx	328 lx
E maksimi	1024 (1150) lx	1000 (1250) lx	842 lx
E keskiarvo	679 (763) lx	683 (854) lx	574 lx
Tasaisuus/ Emin/Eka	0,38	0,40	0,57 lx
Taulupinnan luminanssi (oppilas)	21 cd/m ²	24 cd/m ²	40 cd/m ²
Valkokankaan luminanssi (oppilas)	190 cd/m ²	241 cd/m ²	100 cd/m ²

Tuloksista nähdään, että keskimääräinen valaistusvoimakkuus ei käytännössä kasvanut valaistushuollon vaikutuksesta lainkaan. Valaistusstandardin vaatimukset täyttävään valaistusratkaisuun verrattuna keskimääräinen valaistusvoimakkuus on ennen huoltoa 26 % suurempi kuin vaaditut 500 lx. Huollon jälkeen keskimääräinen valaistusvoimakkuus ylittää standardin vaatimukset 27%:lla. Kyseisessä kohteessa on siis käytetty liian suurta alenemakeroa, millä on erittäin suuri merkitys energiankulutuksen kannalta. Valaistuksen tasaisuuden kannalta tilanne hieman parani perusteellisen huollon vaikutuksesta. Luminanssien osalta huollolla ei ollut suurta vaikutusta.

6.3.2. Lamppujen valovirtojen aleneminen likaantumisen johdosta

Luokkahuoneessa 169 on todennäköisesti suoritettu noin vuosi sitten ryhmävaihto. Loistelamput olivat samaa sarjaa tyypiltään Osram L36W/21 coolwhite. Valovirtojen aleneman oletettiin näin olevan hyvin samantyyppinen kaikilla loistelampuilla. Lamputa valittiinkin satunnaisesti kolme kappaletta tutkimuksiin, joissa luokkahuoneen vanhoista lamputa mitattiin likaantumisen vaikutus valovirran alenemiseen. Lamputa mitattiin Ullbrichtin pallon avulla valovirrat ensin puhdistamattomana ja puhdistuksen jälkeen mittaaminen uusittiin. Tulokset on kerätty kuvaan 25. Kuvassa oleva uusarvo on 100 tuntia vanhentuneen Philips Master TLD 36W/830 loistelampun valovirta. Valovirta on esitetty kolmen lampun keskiarvona. Mittaustuloksista nähdään, että likaantuminen on vaikuttanut n. 2-3 % lisää valovirran alenemiseen noin yhden vuoden aikana.



Kuva 25. Loistelamppujen valovirtojen ero likaantumisen johdosta

Loistelamppujen valovirran ero oli mittausten perusteella keskimäärin 9 % mitatusta uusarvosta. Mitattu uusarvo saatiin mittamalla kolme valaistusvoimakkuusmittauksissa ollutta loistelamppua tyypiltään Philips Master TLD 36W/830. Valovirran alenema on 9% silloin kun loistelamppu on palanut noin 2500 tuntia. Normaali koulukäytössä se vastaa noin yhden vuoden ajanjaksoa. Kyseisellä lamputyypillä hyötypolttoikä on noin 8000 tuntia.

6.3.3. Vaikutukset energiankulutukseen

Luokkahuoneen 169 valaisimet edustivat 90- luvun alun teknistä tasoa ja ne olivat optiikan osalta kehittyneempiä kuin luokassa 168. Niinpä niiden energiankulutus oli 46 % pienempi valaistusvoimakkuuteen suhteutettuna kuin 70- luvun valaisimet luokassa 168. Taulukossa 12 on esitetty huollon vaikutus ja vertailu tämän päivän tekniikalla varustettuihin valaisimiin.

Taulukko 12. Energiankulutuksen muuttuminen extrapoloituna lamppujen hyötypolttoikään. Suluissa ilmoitettu todelliset mitatut arvot.

	ennen huoltoa	huollon jälkeen	Uusi valaisin
Tehotiheys/ W/m ²	16,3	16,3	9,14
Tehotiheys/ W/m ² /100lx	2,4 (2,1)	2,4 (1,9)	1,6

Suhteutettuna saatuun valaistusvoimakkuuteen energiankulutus ei pienene valaisinhuollon vaikutuksesta. Uuteen valaisimeen vaihdettaessa valaistusvoimakkuuteen suhteutettu energiankulutus pienenee 33 %.

6.4. Case Torikatu, toimistohuone

6.4.1. Valoteknisten arvojen muuttuminen

Oulussa kohteena oli tyypillinen pieni toimistohuone virastotalossa. Kohteessa oli mahdollista tehdä hieman perusteellisemmat mittaukset. Tilan valaistusvoimakkuusmittauksissa otettiin huomioon erikseen lamppujen ja optiikan likaantumisen vaikutus. Taulukossa 13 on esitetty likaantumisen vaikutukset valaistusvoimakkuuteen koko tilassa ja taulukossa 14 keskeisellä työskentelyalueella. Tässä kohteessa ennen huoltoa olevat arvot tuloksissa on esitetty todellisina lukemina. Sitävastoin lampun vaihdon ja heijastimien pesun mittaustulokset on extrapoloitu lamppujen hyötypolttoikään.

Taulukko 13. Valoteknisten arvojen muuttuminen huollon vaikutuksesta koko tilassa extrapoloituna lamppujen hyötypolttoikään. Suluissa ilmoitettu todelliset mitatut arvot.

	ennen huoltoa	lamput vaihdettu	heijastimet pesty	Uusi valaisin
E minimi	(198) lx	250 (312) lx	257 (321) lx	272 lx
E maksimi	(489) lx	555 (694) lx	556 (695) lx	729 lx
E keskiarvo	(301) lx	386 (482) lx	395 (494) lx	488 lx
Tasaisuus/ Emin/Eka	0,66	0,65	0,65	0,56
Seinäpintojen luminanssi/ka	23 cd/m ²	40 cd/m ²	50 cd/m ²	50 cd/m ²

Taulukko 14. Valoteknisten arvojen muuttuminen huollon vaikutuksesta työskentelyalueella extrapoloituna lamppujen hyötypolttoikään. Suluissa ilmoitettu todelliset mitatut arvot.

	ennen huoltoa	lamput vaihdettu	heijastimet pesty	Uusi valaisin
E minimi	(219) lx	280 (350) lx	476 (381) lx	509 lx
E maksimi	(448) lx	561 (701) lx	896 (717) lx	668 lx
E keskiarvo	(323) lx	418 (522) lx	430 (538) lx	594 lx
Tasaisuus/ Emin/Eka	0,68	0,67	0,70	0,86
Seinäpintoje luminanssi/ka	23 cd/m ²	48 cd/m ²	56 cd/m ²	50 cd/m ²

Tuloksien valossa suurin vaikutus keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen on lampun vaihdolla, jonka vaikutus on koko tilassa 28 % ja keskeisellä työskentelyalueella 29 %. Heijastimen optiikan peseminen ei käytännössä paranna tilannetta kummassakaan tapauksessa. Kokonaan uusien valaisimien vaihto kasvatti keskimääräistä

valaistusvoimakkuutta 62 % koko tilassa ja 84 % keskeisellä työskentelyalueella. Valaistuksen tasaisuus huononi huollon vaikutuksesta koko tilassa ja parani työskentelyalueella. Seinäpintojen luminanssiarvoihin huollolla tai lampun vaihdolla ei ollut suurta merkitystä. Lampun valovirran alenemisen merkitys korostuu tässäkin kohteessa. Loistelamppujen valovirran ero oli 62% verrattaessa mitattuun uusarvoon. Mitattu uusarvo saatiin mittamalla kolme valaistusvoimakkuusmittauksissa ollutta loistelamppua tyypiltään Philips TLD-58W. Tuloksista voidaan päätellä, että kyseisen tilan heijastimet oli huollettu todennäköisesti lähivuosina. Valaistusvoimakkuuden keskiarvo on myöskin Suomen valoteknillisen Seuran suositusarvoja vähäisempi, jotka olivat voimassa valaisimien asennusajankohtana.

6.4.2. Vaikutukset energiankulutukseen

Toimistohuoneen osalta on erikseen esitetty taulukossa 15 tehottiheydet koko tilassa ja taulukossa 16 keskeisellä työskentelyalueella.

Taulukko 15. Energiankulutuksen muuttuminen koko tilan alueella. Suluissa ilmoitettu todelliset mitatut arvot.

	ennen huoltoa	lamput vaihdettu	heijastimet pesty	Uusi valaisin
Tehottiheys/ W/m ²	14,5	14,5	14,5	11,7
Tehottiheys/ W/m ² /100 lx	4,8	3,8 (3,0)	3,7 (2,9)	2,4

Tuloksista nähdään energiankulutuksen vähenevän 21 % suhteutettuna saatuun valaistusvoimakkuuteen lamppujen vaihdon vaikutuksesta. Heijastimien pesemisen vaikutus energian kulutuksen vähenemiseen suhteutettuna valaistusvoimakkuuteen ei käytännössä ollut merkityksellinen. Kokonaan uuden valaisimen vaihtamisen vaikutus on 35 %. Tuloksista nähdään, että loistelamppujen vaihtaminen vain tarpeen mukaan vaikuttaa erittäin suuresti energiankulutukseen ja valaistusvoimakkuuden keskiarvoon.

Taulukko 16. Energiankulutuksen muuttuminen suhteutettuna työskentelyalueen valaistusvoimakkuuteen. Suluissa ilmoitettu todelliset mitatut arvot.

	ennen huoltoa	lamput vaihdettu	heijastimet pesty	Uusi valaisin
Tehottiheys/ W/m ²	14,5	14,5	14,5	11,7
Tehottiheys/ W/m ² /lx	4,5	3,5 (2,8)	3,4 (2,7)	2,0

Tuloksista nähdään energiankulutuksen vähenevän 22 % suhteutettuna saatuun valaistusvoimakkuuteen lamppujen vaihdon vaikutuksesta. Heijastimien pesemisen vaikutus energian kulutuksen vähenemiseen suhteutettuna valaistusvoimakkuuteen ei käytännössä ollut merkityksellinen. Kokonaan uuden valaisimen vaihtamisen vaikutus on 59 %. Tuloksista nähdään, että energiankulutuksen kannalta työskentelyalueella saavutetaan suurempi säästö kuin tarkasteltaessa tilaa kokonaisuutena. Uusilla valaisimilla päästäänkin kohdistetumpaan valonjakoon ja sitä kautta voidaan saavuttaa lisäsäästöjä.

6.5. Vaikutukset valaisimien käyttöhyötysuhteeseen ja valonjakoon

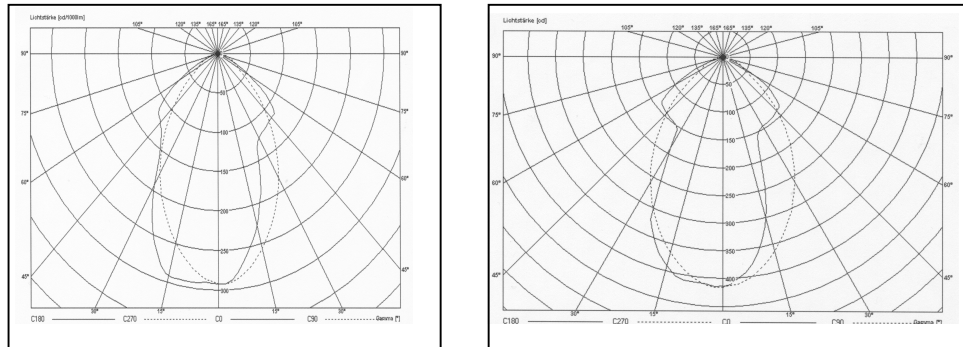
Valaisimien käyttöhyötysuhdetta ja valonjon muuttumista tutkittiin laboratorioolosuhteissa. Luokkahuoneen 168 valaisimen käyttöhyötysuhde parani 26 % valaisinhuollon vaikutuksesta, luokassa 169 parani valaisimien käyttöhyötysuhde 12%. Torikadun toimistohuoneesta ei ollut saatavana luotettavia valaisimien käyttöhyötysuhdemittauksia. Taulukossa 17 on vertailtu tutkittuja valaisimia uuteen vastaavaan tyyppiseen ja samaan käyttötarkoitukseen tarkoitettuun valaisimeen. Uuden valaisimen valaisinkäyttöhyötysuhde on saatu luettelotiedoista.

Taulukko 17. Valaisimien käyttöhyötysuhteen muutos valaisimien likaantuessa.

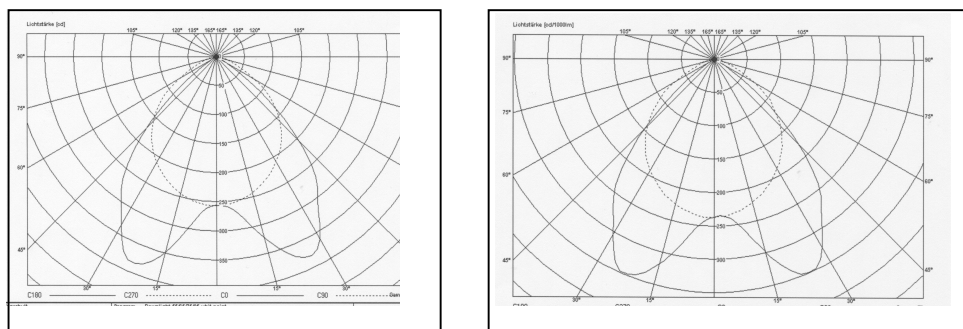
Vanhat tyypit	ennen huoltoa	huollon jälkeen
Orno 2x36 W	48,2 %	60,5 %
Glamox 2x36 W	63,3 %	70,7 %
Uudet tyypit		
CombiFive 1x35W	90,0 % (luetteloarvo)	
Ten Line Beta 1x35W	93,0 % (luetteloarvo)	
Ten Line Beta 2x35W	92,0 % (luetteloarvo)	

Tuloksista nähdään, että uudet T5- valaisimet ovat huomattavasti parempia hyötysuhteeltaan. Uudet T5- loistelamput ovatkin avanneet uusia mahdollisuuksia parantaa valaisinten energiatehokkuutta.

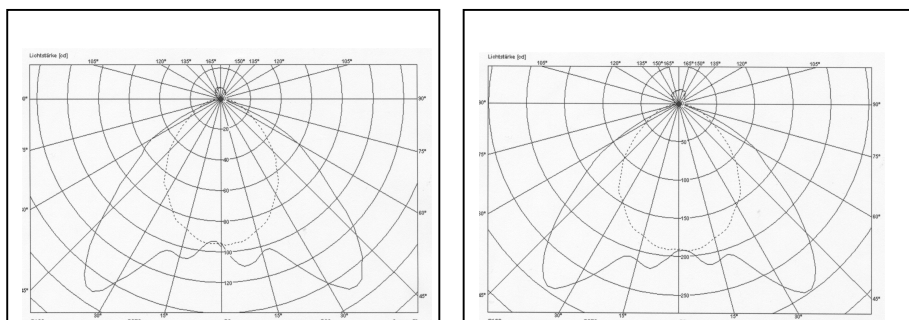
Likaantumisen vaikutusta valaisimien valonjakoon tutkittiin suorittamalla valonjakomittaukset Fagerhultin valaistuslaboratoriossa. Kuvissa 18-21 on esitetty valonjaossa tapahtuneita muutoksia valonjakomittausten perusteella.



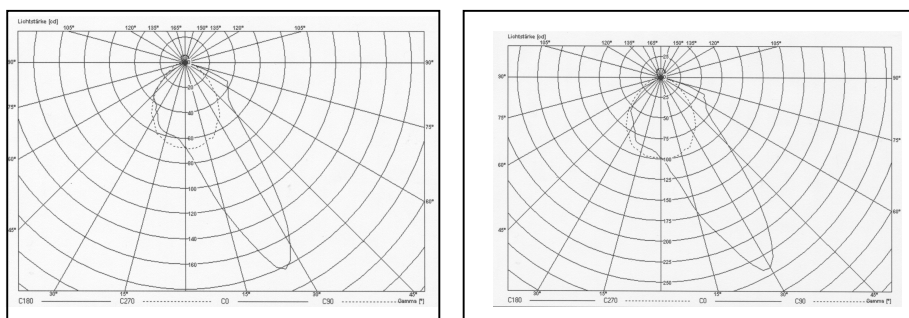
Kuva 18. Valaisimen valojoon muuttuminen likaantumisen vaikutuksesta. Luokka 168, Orno 2x36W.



Kuva 19. Valaisimen valojoon muuttuminen likaantumisen vaikutuksesta. Luokka 169, Glamox 2x36W.



Kuva 20. Valaisimen valojaon muuttuminen likaantumisen vaikutuksesta. Toimisto, SLO 1x58W sym.



Kuva 21. Valaisimen valojaon muuttuminen likaantumisen vaikutuksesta. Torikatu, SLO 1x58W epäs.

Kuten tuloksista nähdään likaantumisella ei ollut merkittävää vaikutusta valaisimien valonjakoon. Suurin merkitys yksittäisten valaisimien valonjakoon lienee heijastimien ja lamelliritilöiden vaurioitumisella, joka oli nähtävissä useissa tutkimuskohteiden valaisimissa.

7. Yhteenveto

Tutkimustulosten valossa on helppo nähdä seuraavia yleisiä suuntia. Kaikkein merkittävin yksittäinen tekijä, jolla on vaikutusta kokonaisuuden kannalta, on lamppujen oikea-aikainen vaihtaminen. Huolellisesti suunnitellulla ryhmävaihdolla saavutettaisiin valaistusvoimakkuustasoissa huomattava parannus ja näin uusasennukset voitaisiin mitoittaa lähteväksi matalammalta tasolta sekä saavuttaa merkittävää energiansäästöä. Valaistuksen ylimitoittaminen varmuuden vuoksi on aina energian kulutusta lisäävää. Tutkittavien kohteiden perusteella on nähtävissä, että näin on ennen yleisesti toimittu.

Laboratoriomittauksissa kävi selkeästi esille, että valaisimien optiikan vanheneminen tai likaantuminen ei merkittävästi muuta valaisimien valonjako-ominaisuuksia. Valaisimien käyttöhyötysuhteen kannalta valaisimen likaantumisella on sen sijaan suuri merkitys. Valaisimien heijastimien ja optiikan pesemisellä voidaan energiankulutusta pienentää. Toimisto- ja koulutilojen osalta on myös suuri merkitys työtapojen muuttumisella. Nykyinen tietoyhteiskunta asettaa uudenlaiset vaatimukset valaistukselle. On muistettava, että tästä tutkimuksesta ei voi tehdä yleisiä johtopäätöksiä. Saadut tulokset kohdistuvat tiettyihin esimerkkitapauksiin. Eri tiloilla on erilaiset valaistustekniset ja ergonomiset vaatimukset sekä huoltoohjelmat kirjavia ja määräykset eroavaisia.

Tuloksista kävi esille, että vanhimmassa 70- luvun luokkahuoneessa oli valaisimien huollon kannattavuus perusteltua. Asia selittyy heijastimien selvästi nähtävissä olevalla likaantumisella sekä valaisimen valonjaolla, joka oli vääryntyyppinen luokkahuonetiloihin. Muissa kohteissa heijastimet oli puhdistettu ja likaantumisen vaikutus ei ollut yhtäselkeästi nähtävissä. Valaisimien uusiminen oli sensijaan selkeästi energiatehokkuuden kannalta ajateltuna perusteltua kaikissa kohteissa.

Tämän työn puitteissa ei ollut ajallisesti mahdollista tutkia valaisimien optiikan ikääntymisen tarkempia vaikutuksia valoteknisiin ominaisuuksiin. Valaistuslaboratorion mittaustuloksista olisi selvitettävissä ikääntymisen vaikutus luminanssien ja häikäisysojauksen rajakulmiin. Valaisimien mittaustuloksista on myös olemassa ldt-tiedostot valaistuskalkulaatiota varten, jolloin tarkempi simulointi häikäisyn kannalta olisi mahdollista.

LÄHTEET

- [EUR00] Euroopan parlamentti ja neuvosto. *Direktiivi 2000/55/EY loistelamppujen energiatehokkuusvaatimuksista*. Direktiivi, 2000.
- [EUR02] Euroopan parlamentti ja neuvosto. *Direktiivi 2002/91/EY rakennusten energiatehokkuudesta*. Direktiivi 2002
- [CEL00] CELMA – Federation of National Manufacturers Associations for Luminaires and Electrotechnical Components for Luminaires in the European Union. *Guide for the application of Directive 2000/55/EC on energy efficiency requirements for ballasts for fluorescent lighting*.
- [IES00] IESNA – Illuminating Engineering Society of North America. *IESNA Lighting Handbook 9.painos*. 2000.
- [HAL92] Halonen, L. Lehtovaara, J. *Valaistustekniikka*. Otatieto Oy, 1992. 456 s.
- [SUO03] Suomen standardisoimisliitto SFS. *Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus*. Standardi, 2003. 61 s.
- [SUO86] Suomen Valoteknillinen Seura r.y., *Valaistussuositukset, sisävalaistus*. 1986.166 s.
- [SUO96] Suomen Valoteknillinen Seura r.y., Suomen Sähköurakoitsijaliitto r.y., *Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto*. 1 Valaistustekniikka-sarja 1, 1996. 301 s.
- [SUO98] Suomen Valoteknillinen Seura r.y., Suomen Sähköurakoitsijaliitto r.y., *Lamput ja valaisimet*. Valaistustekniikka-sarja 2, 1998. 336 s.
- [SUO01] Suomen talotekniikan kehitys Oy. *Talotekniikan elinkaaritarkastelut*. Talotekniikan käsikirja 1, 2001. 152 s.
- [VAR] Varsila Markku. *Luentomateriaalia eri vuosilta*. Fagerhult Oy
- [YMP] <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=5168&lan=FI>
Luettu 16.11.2005.
- [STA03] Starby, L. *En bok om belysning*. Fingraf Tryckeri, 2003. 489 s.

Liite1

Ote valonjakomittauksen pöytäkirjasta.

FAGERHULT PHOTOMETRIC RESULTS

Name:	Orno 2X36W A6 2		
Number:		Diameter:	0 mm
Report:		Length:	1215 mm
Test no.:	1	Width:	265 mm
Lamp type:	Philips TLD 36W/840	Height:	0 mm
No. of lamps:	2	Power:	67.86 W
Lamp flux:	3350 lm	Operator:	Fredrik Roos
Date:	2005-05-30 14:10:56	LOR:	60,0 %
Comment:	With white lamell louvre. Wide beam With calibrated lamps. Luminaire cleaned.		

Intensity [cd/klm] Orno 2X36W A6 2 / C0 to C355 in 5 - Gamma 0 to 90

G/C [cd]	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0
0.0	408.2	408.2	408.2	408.2	408.2	408.9	408.2	408.2	408.2
2.0	408.9	408.9	408.9	408.9	408.9	408.9	408.9	408.9	408.9
4.0	402.0	401.3	402.0	402.0	402.0	402.7	402.7	403.4	403.4
6.0	391.1	391.1	391.1	391.1	391.8	391.8	392.5	392.5	393.8
8.0	376.7	376.7	376.7	377.4	378.1	378.8	379.5	380.8	382.2
10.0	358.3	358.3	359.0	359.7	361.0	362.4	364.5	365.8	367.9
12.0	337.1	337.1	337.8	338.5	340.5	342.6	346.0	348.7	351.5
14.0	312.5	313.2	313.9	316.0	318.0	321.4	324.8	328.9	333.0
16.0	285.2	285.2	286.6	289.3	292.0	296.8	301.6	306.4	311.9
18.0	248.3	249.0	251.7	257.2	263.3	270.2	275.6	281.8	289.3
20.0	202.5	203.9	207.3	213.5	222.4	233.3	244.9	256.5	266.1
22.0	169.1	169.8	171.8	176.6	182.7	192.3	205.3	221.7	239.4
24.0	152.0	152.7	153.4	155.4	158.8	164.3	171.8	185.5	205.3
26.0	146.5	146.5	146.5	147.2	147.9	148.6	152.0	160.2	173.9
28.0	143.8	143.8	143.8	143.8	143.1	142.4	142.4	145.2	152.0
30.0	142.4	142.4	141.8	141.1	140.4	139.0	137.7	138.3	139.7
32.0	141.9	141.8	141.2	140.1	138.8	136.5	135.0	134.1	133.5
34.0	141.4	141.3	140.6	139.2	137.2	134.5	132.4	130.4	128.8
36.0	141.0	140.9	139.9	138.2	135.7	132.8	130.1	127.4	124.8
38.0	140.4	140.3	139.1	137.0	134.2	130.8	127.6	124.6	121.0
40.0	139.4	139.3	138.0	135.7	132.4	128.8	125.1	121.5	117.2
42.0	138.3	138.2	136.5	134.0	130.2	126.4	122.6	118.4	113.2
44.0	137.0	136.8	135.0	131.9	127.8	123.7	119.5	114.7	109.2
46.0	135.6	135.4	133.2	129.6	125.1	120.7	116.3	110.6	107.8
48.0	134.4	134.0	131.4	127.2	122.2	117.3	112.4	106.1	101.3
50.0	133.7	133.2	130.2	127.9	121.5	113.8	108.1	101.5	97.0
52.0	126.9	126.7	124.8	121.6	116.4	110.4	103.5	96.6	92.0
54.0	116.6	116.5	114.6	111.3	107.8	104.6	98.6	91.7	86.2
55.0	111.3	111.1	109.3	106.1	102.6	99.2	97.0	89.3	83.1
56.0	106.0	105.9	104.2	101.1	97.9	94.4	89.9	86.3	80.0
58.0	93.6	93.7	92.7	90.3	87.9	84.7	80.4	77.1	73.2
60.0	77.4	77.6	77.3	76.3	75.9	74.3	71.0	67.9	63.9
62.0	63.0	63.4	63.5	63.1	63.3	62.4	61.0	58.8	55.5
64.0	46.1	46.9	48.5	49.8	51.4	51.5	50.9	49.4	47.2
65.0	37.4	38.6	40.8	42.9	45.1	45.9	46.2	44.8	42.9
66.0	30.2	31.3	33.8	36.4	39.2	40.8	41.8	41.2	39.2

Fagerhults Belysning AB Sweden
E-mail: teknikcentrum@fagerhult.se

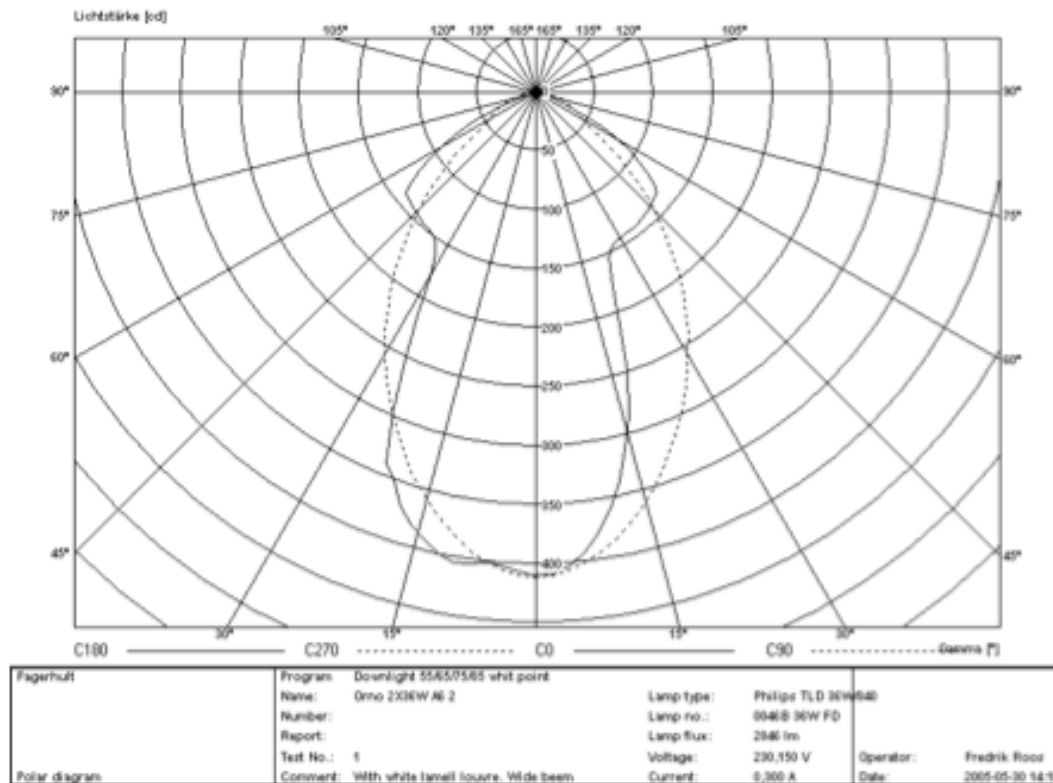
Phone (+46) 36 108505
Fax (+46) 36 108687

Liite 2
Ote valonjakomittauksen pöytäkirjasta.

FAGERHULT PHOTOMETRIC RESULTS

Name:	Orno 2X36W A6 2		
Number:		Diameter:	0 mm
Report:		Length:	1215 mm
Test no.:	1	Width:	265 mm
Lamp type:	Philips TLD 36W/840	Height:	0 mm
No. of lamps:	2	Power:	67.86 W
Lamp flux:	3350 lm	Operator:	Fredrik Roos
Date:	2005-05-30 14:10:56	LOR:	60.0 %
Comment:	With white lamell louvre. Wide beam With calibrated lamps. Luminaire cleaned.		

Polar diagram Orno 2X36W A6 2 / C0 to C355 in 5 - Gamma 0 to 90



Fagerhults Belysning AB Sweden
E-mail: teknikcentrum@fagerhult.se

Phone (+46) 36 108505
Fax (+46) 36 108687

Liite 3



Kuva 1. Luokkahuone 168, Itäkeskuksen lukio- ja yläaste, Helsinki



Kuva 2. Luokkahuone 169, Itäkeskuksen lukio- ja yläaste, Helsinki



Kuva 2 Toimistohuone. Torikatu, Oulu