

Juha Ranto

Valaistusmittaukset ja valaistuslaboratorio-tilojen suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

19.5.2016

Tekijä Otsikko	Juha Ranto Valaistusmittaukset ja valaistuslaboratoriotilojen suunnittelu
Sivumäärä Aika	57 sivua + 23 liitettä 19.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	Lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Insinööriyössä on perehdytty valaistuslaboratoriotilaan ja valon mittaamiseen standardiolosuhteissa. Työn keskeisenä tarkoituksena on ollut tuottaa opas valaistuslaboratorioille.</p> <p>Valaistustekniikka kehittyä hurjaa vauhtia, energiatehokkuuden rinnalle on tullut hyvin tärkeä valon ominaisuus - valon laatu. Valon laatu lisää turvallisuutta sekä kohentaa ihmisten mielialaa arkipäiväisessä elämässä. Tässä insinööriyössä käydään läpi valon eri ominaisuuksia, valon mittaamiseen liittyviä laitteita, mittauksiin liittyviä standardeja sekä mittauksiin liittyviä tiloja. Valoa on tärkeää mitata oikein, jotta mittaukset ovat käytännöllisiä, toistettavia sekä verrattavia muualla tehtyjen valaistusmittauksien kanssa. Lukija tulee saamaan hyvän pohjatiedon, kuinka valaistukseen liittyvät mittaukset valaistuslaboratoriotiloissa tulee tehdä.</p> <p>Työn lähdetietoina on käytetty valaistukseen liittyvää kirjallisuutta sekä tunnetuimpien valaistusalan yritysten dokumentteja. Suomen Valoteknillisen Järjestön järjestämien Valoakatemian luentojen luentomateriaaleja on myös työssä käytetty. Käytännön kokemusta valaistuslaboratoriotiloista sekä valon mittaamisesta insinööriyön tekijällä on Metropolia Ammattikorkeakoulun Albertinkadun toimipisteestä.</p> <p>Insinööriyö luo lukijalle kokonaiskuvan valon mittaamisesta sekä valaistuslaboratorion sisällöstä auttaen hahmottamaan niihin liittyviä vaatimuksia.</p>	
Avainsanat	valaistus, valo, mittalaite, mittaustila, laboratorio, standardi, dali

Author Title	Juha Ranto Measurement of Light and Planning Lighting Laboratory Facilities
Number of Pages Date	57 pages + 23 appendices 19 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor	Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to provide an accessible guide to measure light in a laboratory environment. The study was carried out as a thesis for Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. This study functions as a reference for an upcoming lighting laboratory for Metropolia's Myyrmäki campus, where lighting laboratory of Metropolia's Albertinkatu campus will be moving in 2017.</p> <p>Lighting technology is developing with a furious pace. Alongside with energy efficiency, there is nowadays another very important feature of light and it is quality of light. The quality of light increases safety and improves people's mood in everyday life. This thesis goes through various features of light, lighting measurement devices, standards related to measurement and measurement environments. It is important to measure light in a correct way, so measurements can be repeated and compared with measurements done in other laboratories. Reader will gain a good knowledge of how different types of illumination measurements in a laboratory environment should be done.</p> <p>As reference sources, literature concerning lighting, as well as documents from companies in the lighting industry were used. Academy of Light lectures organized by Illuminating Engineering Society of Finland from where a lot of information was obtained, were attended. Author of this thesis also have practical experience with measuring light and has been working in the lighting laboratory environment on Metropolia's Albertinkatu campus.</p> <p>The result of this study provides a user-friendly guide for measuring light in a lighting laboratory environment, helping to understand the extent of the requirements.</p>	
Keywords	lighting, light, measuring equipment, laboratory, standard

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Valaistuslaboratorio oppilaitoksissa	2
3	Mitattavia valon ominaisuuksia	2
3.1	Näkyvän valon spektri	2
3.2	Valovoima	4
3.3	Valovirta	6
3.4	Luminanssi	6
3.5	Valaistusvoimakkuus	8
3.6	Värintoistoindeksi CRI sekä värintoiston arvioinnin menetelmä TM-30	9
3.7	Väriämpötila	11
3.7.1	Värivastattu valon väriämpötila	12
3.7.2	MacAdamin ellipsi ja SDCM-ellipsi	13
3.7.3	Delta uv	15
3.8	S/P-suhde	16
4	Testiolosuhteet valonlähteille	18
4.1	Testihuone	18
4.2	Mittausympäristön ilmatila	19
4.3	Virhemarginaali	19
4.4	Standardisoiminen	19
5	Mittalaitteet	21
5.1	Optisen säteilyn ilmaisinteknologia	21
5.1.1	Fotodiodi	21
5.1.2	Valomonistinputki	22
5.2	Spektrometri	23
5.2.1	Spektrianalysaattori	23
5.2.2	Spektrofotometri	24
5.3	Valaistusvoimakkuusmittari, kenttämittauslaitteet	25
5.3.1	Värivalaistusvoimakkuusmittari	27
5.3.2	CRI-valaistusmittari	27
5.3.3	Spektripohjainen valaistusvoimakkuusmittari	28

5.3.4	Luminanssi- sekä väriluminanssimittari	29
5.3.5	Väriluminanssimittari tarkkaan mittaamiseen	30
5.3.6	Kvanttava luminanssimittari	31
5.3.7	Lighting Passport-älyspektrometri	32
5.4	Goniotometri	33
5.5	Integroiva pallo, Ulbrichtin pallo	36
6	Valaistuslaboratoriotilojen suunnittelu	37
6.1	Metropolia Ammattikorkeakoulun Albertinkadun toimipiste	37
6.1.1	Albertinkadun valaistuslaboratorio	37
6.1.2	DALI-järjestelmä Albertinkadun valaistuslaboratoriotilassa	40
6.1.3	Albertinkadulla tehtävät käytävämittaukset	40
6.1.4	Albertinkadun koevalaistushuone	41
6.2	Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäkeen tuleva toimipiste	44
6.2.1	Myyrmäen valaistuslaboratorion yleistila	44
6.2.2	Myyrmäen goniotometrihuone	45
6.2.3	Myyrmäen koevalaistushuone	47
6.2.4	Valaistuslaboratorion turvajärjestelmä	48
6.2.5	Myyrmäen toimipisteen mittalaitteet	48
6.3	Myyrmäkeen asennettava DALI-valaistuksenohjausjärjestelmä	49
6.3.1	DALI-järjestelmän toiminta	49
6.3.2	Myyrmäen valaistuslaboratorion DALI-järjestelmän ohjaus ja käyttöliittymät	51
7	Käytännön kokemuksia muuttoprojektissa	51
8	Yhteenveto	52
	Lähteet	53
	Liitteet	
	Liite 1. Valaistusvoimakkuusmittarien T-10A:n ja T-10MA:n tekniset tiedot	
	Liite 2. Värivalaistusvoimakkuusmittarin CL-200A-tekniset tiedot	
	Liite 3. CRI-valaistusmittarin CL-70F-tekniset tiedot	
	Liite 4. Spektripohjaisen valaistusvoimakkuusmittari CL-500-tekniset tiedot	
	Liite 5. Luminanssimittarien LS-150 ja LS-160:n sekä väriluminanssimittarien CS-150 ja CS-160:n tekniset tiedot	
	Liite 6. Väriluminanssimittarin CS-200-tekniset tiedot	
	Liite 7. Kvanttavan luminanssimittarin kameran Canon 70M-tekniset tiedot	
	Liite 8. Lighting Passport Flagship Pro-mittalaitteen tekniset tiedot	

- Liite 9. Goniofotometrin RiGO801 – 1500-tekniset tiedot
- Liite 10. Kaukokenttägoniofotometrin LSG-2000-tekniset tiedot
- Liite 11. GS-IS-integroivan pallon eri mallien tekniset tiedot
- Liite 12. DAS-2100-spektrianalysaattorin tekniset tiedot
- Liite 13. Albertinkadun DALI-järjestelmän sähköpiirustus sekä kuva ohjauspaneelistä
- Liite 14. Yhden DALI-systeemin, aliverkon, standardiarvot
- Liite 15. Valaisimien ryhmiä sekä valonsäätöä DALI-järjestelmässä Myyrmäen valaistuslaboratoriotilassa
- Liite 16. Standardeihin liittyviä lähteitä

Lyhenteet

CIE	International Commission on Illumination (ransk. Commission Internationale de l'Éclairage). Kansainvälinen järjestö, joka on erikoistunut tutkimaan ja jakamaan tietoa näkemisestä, valaistuksesta ja väreistä.
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America tai lyhyemmin IES. CIE:tä vastaava järjestö, joka toimii Pohjois-Amerikassa.
SFS	Suomen standardisoimisliitto.
ISO	International Organization for Standardization. Kansainvälinen standardisoimisliitto.
CEN	European Committee for Standardization. Euroopan standardisoimisjärjestö.
IEC	International Electrotechnical Commission. Kansainvälinen sähköteknillinen standardisoimiskomissio.
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardisation. Euroopan sähköteknillinen standardisoimisjärjestö.
SESKO	Suomen sähköteknillinen standardisoimisyhdistys.
JIS	Japanese Industrial Standard. Japanin teollinen standardi.
JISC	Japanese Industrial Standardization Committee. Japanin teollinen standardisoimiskomissio.
DIN	German Institute for Standardization (saks. Deutsches Institut Für Normung. Saksan standardisoimisliitto.
ANSI	American National Standards Institution. Amerikan standardoimisinstituutio.

SI	International System of Units (ransk. <i>Système international d'unités</i>). Kansainvälinen yksikköjärjestelmä.
BIPM	International Bureau of Weights and Measures (ransk. <i>Bureau international des poids et mesures</i>). Kansainvälinen paino- ja mittatoimisto. Päättää SI-järjestelmään liittyvistä asioista.
LED	Light-Emitting Diode. Puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirtaa.
CRI	Colour Rendering Index. CIE:n värintoistoindeksistandardi.
D65	CIE Standard Illuminant referring 6 500 kelvin daylight. CIE:n standardisoima 6 500 kelvinin päivänvaloa vastaava päivänvalolamppu.
TM-30	Technical Memorandum 30. Värintoiston arvioinnin menetelmä.
SDCM	Standard Deviation Colour Matching. Keskihajonnan värivastaavuus.
S/P-suhde	Skotooppisen ja fotooppisen näkemisen välinen aallonpituusalueiden suhde.
$V(\lambda)$	Spektrinen valoteho fotooppisen näkemisen alueella.
$V'(\lambda)$	Spektrinen valoteho skotooppisen näkemisen alueella.
Duv	Delta uv. Määritelmä, kuinka kaukana värivastattu väriämpötila sijaitsee Planckin käyrältä.
CCF	Color Correction Factor. Värinkorjauskerroin.
PMT	Photomultiplier. Valomonistinputki
CCT	Correlated Color Temperature. Värivastaava väriämpötila.
DALI	Digital Addressable Lighting Interface. Digitaalinen valaistuksenohjausjärjestelmä.

SDMC Standard Deviation Color Match. Keskihajonta värin mukaan.

DSLR Digital Single-lens reflex camera. Digitaalinen refleksikamera.

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä perehdytään valaistuslaboratorion mittauslaitteistoihin, mittaustiloihin sekä mittauksissa huomioon otettaviin standardeihin. Lisäksi otetaan kantaa rakenteilla olevan valaistuslaboratorion suunnitelmaan. Työn tavoitteena on tuottaa helppo apuväline valaistuslaboratorioille. Työ tehtiin tutkimusprojektina Metropolia Ammattikorkeakoululle.

Insinööriyössä käydään läpi valaistuslaboratorion sisältöä: minkälaiset tulisi tilojen olla, minkälaisia mittalaitteita olisi hyvä käyttää, mitä ominaisuuksia laitteilla mitataan sekä mitä asioita tulisi ottaa huomioon mittauksia tehdessä. Työssä opastetaan yleisiä huomioon otettavia kansainvälisiä mittauksiin ja mittauslaitteistoihin liittyviä standardeja. Työssä käydään lopuksi läpi tutkimusprojektina Myyrmäkeen tulevan valaistuslaboratorion suunnitelmaa. Myyrmäen valaistuslaboratoriotilat tulevat näillä näkymin valmistumaan vuonna 2017.

2 Valaistuslaboratorio oppilaitoksissa

Valaistuslaboratorion tavoitteena oppilaitoksissa on saada tulevat insinöörit tiedostamaan valon eri ominaisuuksia mittaamalla ja havainnoimalla tuloksia laadukkailla mittalaitteilla, sekä saatujen tuloksien kautta tutkia valon vaikutusta jokapäiväisessä elämässä. Ihmissilmä ei ole tarpeeksi kyvykäs erottelemaan valon eri laatuja, joten tarvitsemme mittalaitteita valon laadun havainnoimiseen. Kun opiskelijat pääsevät kokemaan laboratorio-olosuhteissa valaistuksen mittaamista, huomaavat he konkreettisesti valon laadun merkityksen ja kehittyvät valaistuksen asiantuntijoina.

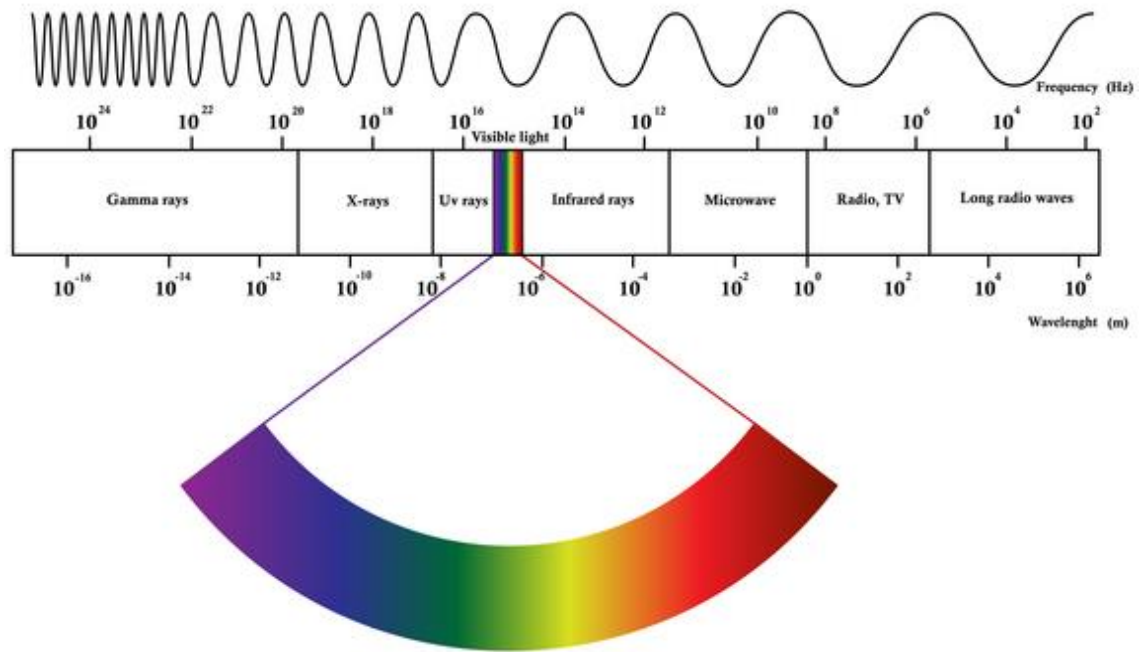
Metropolia Ammattikorkeakoulu pyrkii tekemään paljon yhteistyötä yritysten kanssa, josta niin yritykset, opiskelijat kuin oppilaitoskin hyötyvät. Yritykset saavat edullisesti haluamiaan mittauksia suoritettua joko opiskelijoiden tai oppilaitoksen laboratorioinsinöörien avulla ja opiskelijat saavat projekteista kokemusta. Yritykset ja oppilaat pääsevät tutustumaan yhteistyössä toisiinsa, mikä on molemmille osapuolille hyödyllistä. Myös oppilaitos hyötyy yhteistyöstä yritysten kanssa taloudellisesti.

3 Mitattavia valon ominaisuuksia

Valo ei ole pelkästään ihmissilmän erottamaa säteilyä. Optista säteilyä on yli ihmissilmien rajojen ja sitä pystytään mittaamaan asianmukaisilla mittalaitteilla käyttäen peilejä, linsskejä, suodattimia, diffraktiohiloja ja prismoja. Ultravioletti- ja infrapunasäteily kuuluvat näkyvän valon lisäksi optisen säteilyn piiriin. Valaistuslaboratorioissa tutkitaan koko optisen säteilyn skaalaa, mutta suurimmaksi osaksi näkyvän valon aallonpituuksia. [1.]

3.1 Näkyvän valon spektri

Valo on hyvin pieni osa sähkömagneettisesta säteilystä. Ihmissilmä pystyy erottamaan aallonpituuksilla 380 - 780 nm valoa, joka jakautuu eri aallonpituuksilla värieroihin eli spektriiksi. [1.]



Kuva 1. Sähkömagneettisen säteilyn graafinen käyrä, jossa ovat ihmissilmälle näkyvät aallonpituudet suurennettu spektriksi. [2.]

Näkyvää valoa lyhyemmillä aallonpituuksilla, eli 100 - 380 nm:n aallonpituuksilla, on ultraviolettisäteilyn alue ja vastaavasti pidemmillä, n. 780 – 1000 nm:n aallonpituuksilla, on infrapunasäteilyn alue. Näitä kolmea osaa sähkömagneettisen säteilyn spektristä kutsutaan optiseksi säteilyksi. Kaikki kolme vaikuttavat ihmiseen osuessaan ihmisen kehoon. Infrapunasäteilyä kutsutaan myös lämpösäteilyksi, sillä säteilyn pystyy tuntemaan iholla. Ultraviolettisäteilyä ei pysty keholla yhtä helposti aistimaan, vaikka silläkin on vaikutusta kehoon. Ultraviolettisäteilyä pystyy havainnoimaan mittalaitteilla. [1.]

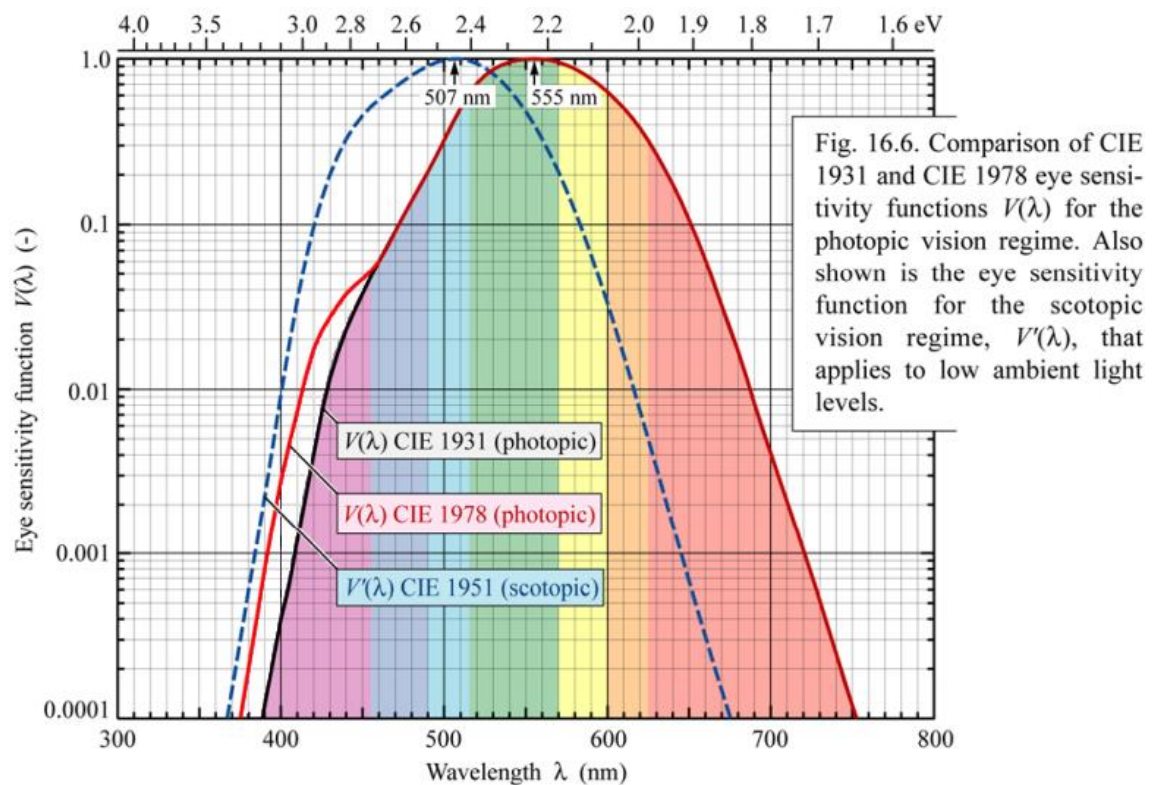
Ihmissilmä pystyy erottamaan valonlähteestä sen tuottaman aallonpituuksien summan, mutta silmällä on mahdotonta erotella tulevan valon eri aallonpituuksia. Yhdestä valon aallonpituudesta, eli monokromaattisesta valosta, pystyy havaitsemaan sen aallonpituuden, eli värin, mutta kun lisää eri värien aallonpituuksia, alkaa valon aallonpituuksien summa nopeasti muuntumaan silmälle erottamattomaan muotoon. Spektrometrillä (kappale 5.2) voidaan mitata tarkasti tulevan valon spektri. [1; 3.]

3.2 Valovoima

Valovoima kuvaa valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevää valon intensiteettiä. Valovoiman yksikkö on kandela (cd). Kandelan vanha määritelmä oli kynttilän liekin valovoima, joka on karkeasti 1 cd. Nykyisin kandela kuuluu SI-järjestelmän perussuureisiin ja on määritelty seuraavasti:

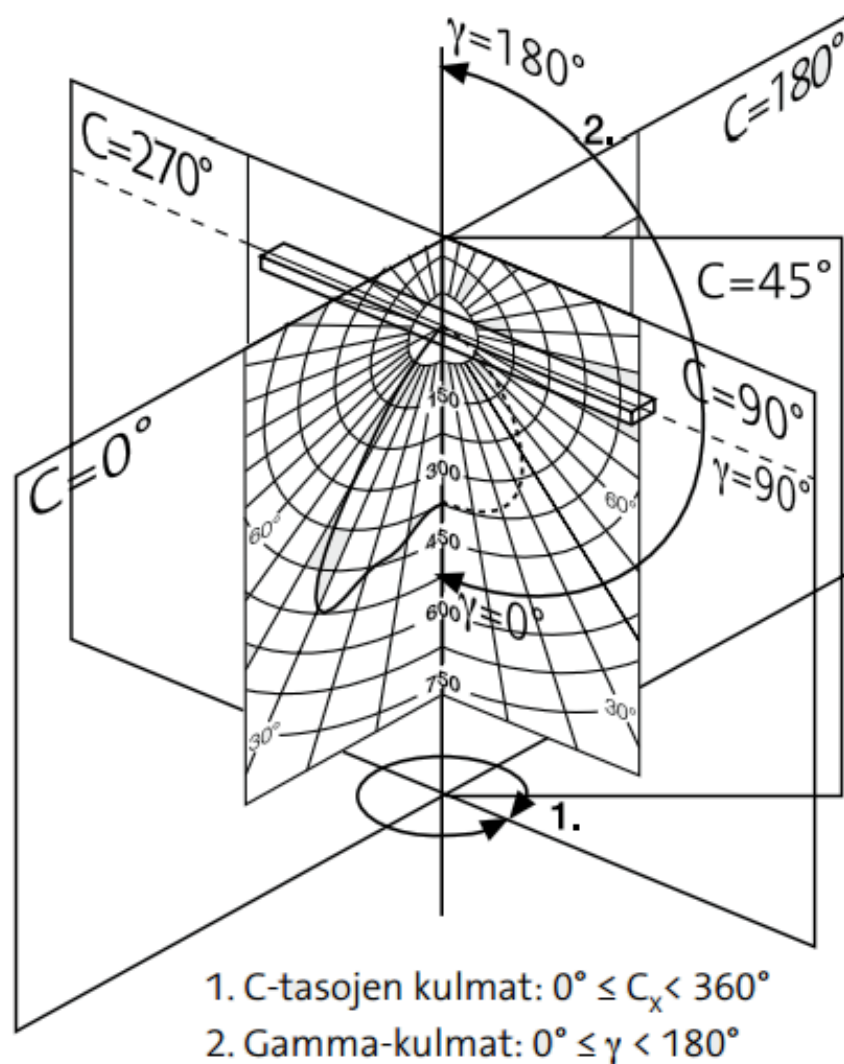
”Kandela on sellaisen säteilylähteen valovoima, joka tiettyyn suuntaan lähettää monokromaattista säteilyä taajuudella 540 THz:n, ja jonka säteilyteho tähän suuntaan on 1/638 wattia steradiaania kohti.” [1.]

Kandelan määritelmän 540 THz:n taajuus vastaa 555 nm:n aallonpituutta, mikä asettuu ihmissilmän suhteellisen spektriherkkyyskäyrän (kuva 2) huippukohtaan fotooppisessa näkemisessä. Valovoima voidaan mitata valaistusvoimakkuusmittarilla (kappale 5.3.1).

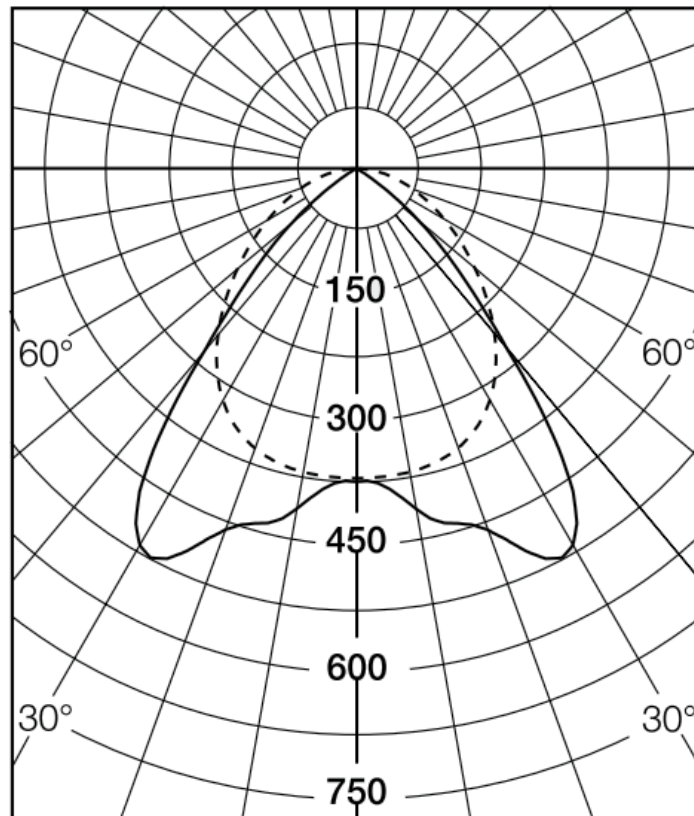


Kuva 2. Kuvassa tummennettu alue on CIE 1931 ihmissilmän suhteellinen spektriherkkyysstandardi ja siitä muokattuja versioita CIE 1951 sekä CIE 1978 käytetään joissain tapauksissa erityismaininnan kanssa. [4.]

Valovoima ilmoitetaan tavallisesti valaisimen, tai valonlähteen, valonjakokäyrän avulla napakoordinaatistossa, joka ilmoittaa valaisimen valovoiman eri suuntiin yhdessä tai kahdessa tasossa (kuvat 3 ja 4). Koordinaatistossa katkoviivalla merkattu alue kuvaa valonlähteen pituusakselin suuntaista tasoa kun ehjän viivan alue kuvaa pituusakseliin nähden poikittaista tasoa. Y-akselilla on suhteellisen valovoiman asteikko kandela per tuhat luumenta (cd/klm). Todellinen valovoima saadaan, kun suhteellinen arvo kerrotaan valaisimen valonlähteen valovirralla. Valonlähteen valonjakokäyrän mittaaminen pystytään toteuttamaan parhaiten goniofotometrillä (kappale 5.4). [5.]



Kuva 3. Valonjakokäyrä. [5.]



Kuva 4. Erään 28 watin ja 2 600 luumenen T5-loisteputkivalaisimen valonjakokäyrä. Käyrältä pystyy laskemaan (1) lampun antavan suoraan alas n. 975 kandela. [5.]

$$I = 2\,600\text{ lm} \cdot \frac{375\text{ cd}^*}{1\,000\text{ lm}} = 975\text{ cd} \quad (1)$$

(*) = käyrältä luettu arvo

3.3 Valovirta

Valovirta kertoo valonlähteen antaman näkyvän valon kokonaisvalonmäärän. Valonlähteen tuottama säteilyteho painotetaan ihmissilmän spektriherkkyysstandardilla (kuva 2). Valovirran yksikkö on luumen (lm). Valovirran voi mitata integroivassa pallossa (kappale 5.5). [1.]

3.4 Luminanssi

Ihminen aistii valon luminansseina pinnoilta ja pintojen luminanssierot mahdollistavat tehokkaan näkemisen. Mitä suurempi luminanssi pinnassa on, sitä kirkkaammalta pinta näyttää. Luminanssi määräytyy pinnan heijastusominaisuuksien ja

valaistusvoimakkuuden perusteella sekä myös valon suunta ja heijastuskulma vaikuttavat pinnalta koettuun kirkkauteen varsinkin, jos pinta on kiiltävä. Luminanssin suomenkielinen vastine on valotiheys, mutta luminanssi terminä on suomenkielessä yleisessä käytössä. Luminanssin voi mitata esimerkiksi luminanssimittarilla (kappaleet 5.3.5 ja 5.3.6) ja kuvantavalla luminanssimittarilla (kappale 5.3.7). [6.]

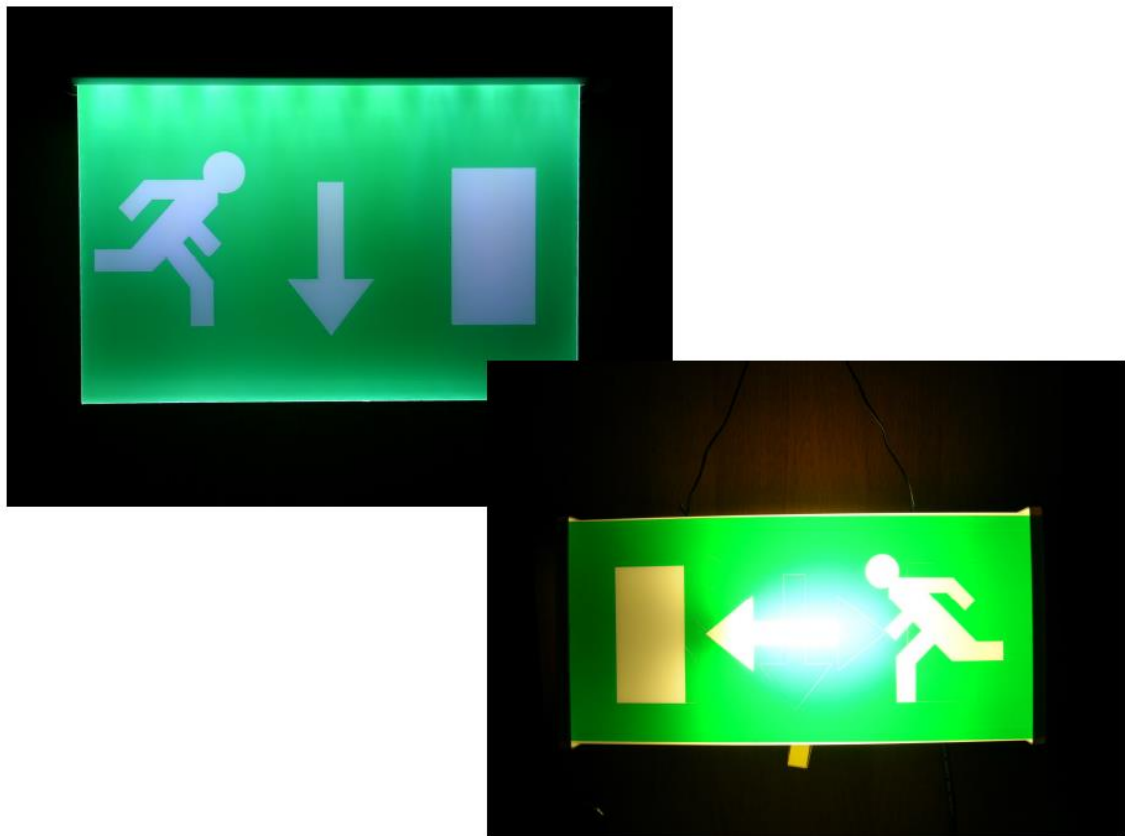
Luminanssin yksikkö on kandela neliömetrille cd/m^2 ja sen yleinen kaava on

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \alpha}$$

I on pinnalle tuleva valovirta

A on pinta-ala, johon valovirta kohdistuu

$\cos \alpha$ on pinnan normaalin ja valonsäteen välinen kulma.



Kuva 5. Poistumistiekylyttien luminanssierot. [6.]

Kuvassa 5 näkyy esimerkiksi, kuinka luminanssi on jakautunut eri tavalla kahdessa eri poistumistiekylytissä. Ylemmässä kyltissä luminanssierot ovat tasaisemmat kuin alemmassa, joten ylempi kyltti on mukavampi silmälle. Alemmassa kyltissä keskellä on niin suuri luminanssi, että vihreän pinnan havaitsee lähes valkoisena.

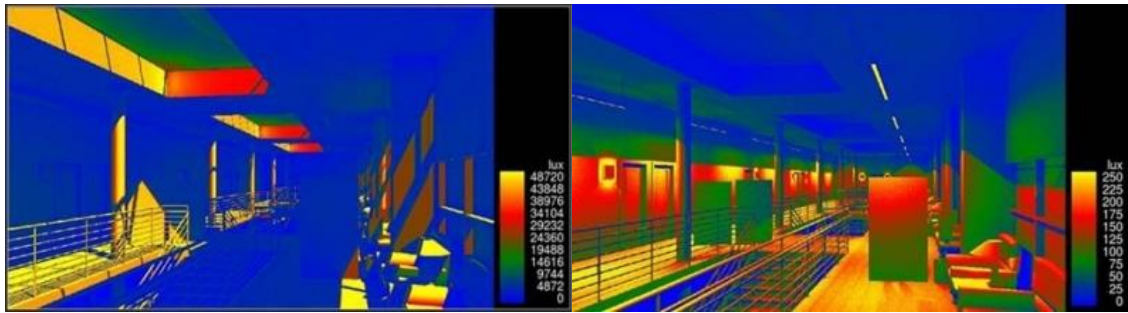
3.5 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus kertoo, kuinka paljon valaistavaan pintaan tulee valovirtaa. Se kuvaa, kuinka hyvät valaistusolosuhteet tilassa on. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luumenia neliömetrille (lm/m^2) eli luksi (lx). Yhdysvalloissa valaistusvoimakkuus lasketaan luumenia neliöjalkaa kohden (lm/ft^2), jonka yksikkö on footcandle. 100 luksia vastaa noin 9,3 footcandle-yksikköä. Molemmat arvot, luksi sekä footcandle, voidaan mitata valaistusvoimakkuusmittarilla (kappale 5.3.1). [7; 8.]

Taulukko 1. Suositeltavia valaistusvoimakkuuksia eri tiloissa. [9.]

Suosittelava valaistusvoimakkuus (lx)	Tila tai työskentelyolosuhde	Esimerkkejä
20 - 30 - 50	ulkotyöalueiden yleisvalaistusvoimakkuus	
50 - 75 - 200	tilat, joita ei käytetä jatkuvasti työskenneltäessä	eteiset, aulat, käytävät, varastot
200 - 300 - 500	yksinkertaiset näkötehtävät	paperikonesalit, maalaamot, karkea penkkityö
300 - 500 - 700	kohtuullista tarkkuutta vaativat näkötehtävät	toimistot, luokahuoneet, laboratoriot
500 - 750 - 1000	tarkkuutta vaativat näkötehtävät	pankkien asiakaspalvelu, avotoimistot, melko tarkka kone- ja penkkityö, tarkka piirustustyö
750 - 1000 - 2000	erittäin suurta tarkkuutta vaativat näkötehtävät	värintarkastus, värinmäärittely, tarkka kone- ja penkkityö, tarkka piirustustyö
1000 - 2000 - 3000	pitkäaikaiset erittäin vaativat näkötehtävät	mikroelektronikka, käsikaiverrus, mikroskopointi

Kuvantavalla menetelmällä (kappale 5.3.7) pystyy havaitsemaan pintojen valaistusvoimakkuuksia graafisesti. Valaistuksen voimakkuuserot erottuvat kuvantavassa menetelmässä toisistaan eri väreillä (kuva 6), joten otetusta kuvasta voi analysoida hyvin tilan valaistusta. [10.]



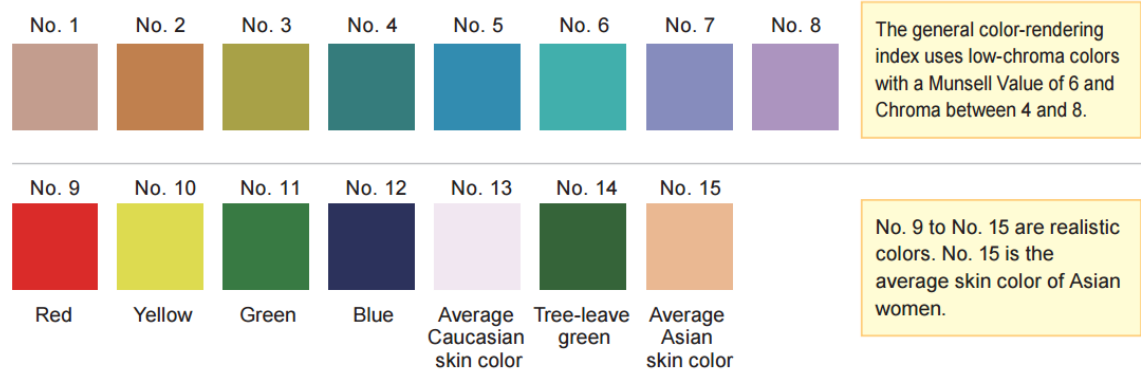
Kuva 6. Valaistusvoimakkuutta pystyy hyvin havainnoimaan erilaisilla kuvantavilla menetelmillä ohjelmistojen avulla. [10.]

3.6 CRI-värintoistoindeksi ja värintoiston arvioinnin menetelmä TM-30

CRI-värintoistoindeksillä mitataan valonlähteen kykyä toistaa määrättyjä testivärejä (kuva 7) suhteessa annettuun vertailuvalonlähteeseen. CIE:n yleistä värintoistoindeksiä kutsutaan nimellä CRI, tai myös R_a -indeksi, johon kuuluu kahdeksan standardisoitua Munsellin värinäytettä (R1 - R8). Laajennetussa standardittomassa mallissa, eli R_i -indeksissä (R1 - R15), on seitsemän lisäväriä (R9 - R15). Indeksissä vertaillaan matemaattisesti värien toistumista mitattavan valonlähteen ja standardoidun vertailuvalonlähteen välillä. CRI:n yksikkö on lukema välillä 0 - 100, joka saadaan vertailuvalonlähteen ja mitattavan valonlähteen verrannollisuudesta. Arvo 100 vastaa täysin samanlaista värintoistoa vertailuvalonlähteen kanssa ja arvolla 0 värit eivät toistu lainkaan, eli värit näkyvät mustavalkoisena, monokromaattisena.

Vertailuvalonlähteenä on alle 5 000 kelvinin värilämpötilan arvoilla Planckin säteilijä, eli musta hehkuva metallikappale. Hehkulamppu noudattaa määritelmää ja sen R_a -indeksin arvo on täydet 100. Kun mitataan värilämpötilaltaan yli 5 000 kelvinin valonlähdeä, käytetään vertailuvalonlähteenä standardisoitua D65-päivänvaloa. Värintoistoindeksin voi mitata esimerkiksi värivalaistusvoimakkuusmittarilla (kappale 5.3.2), CRI-valaistusmittarilla (kappale 5.3.3) tai spektripohjaisella valaistusvoimakkuusmittarilla (kappale 5.3.4). [11; 12; 13.]

Test - color samples



General color-rendering index (R_a)

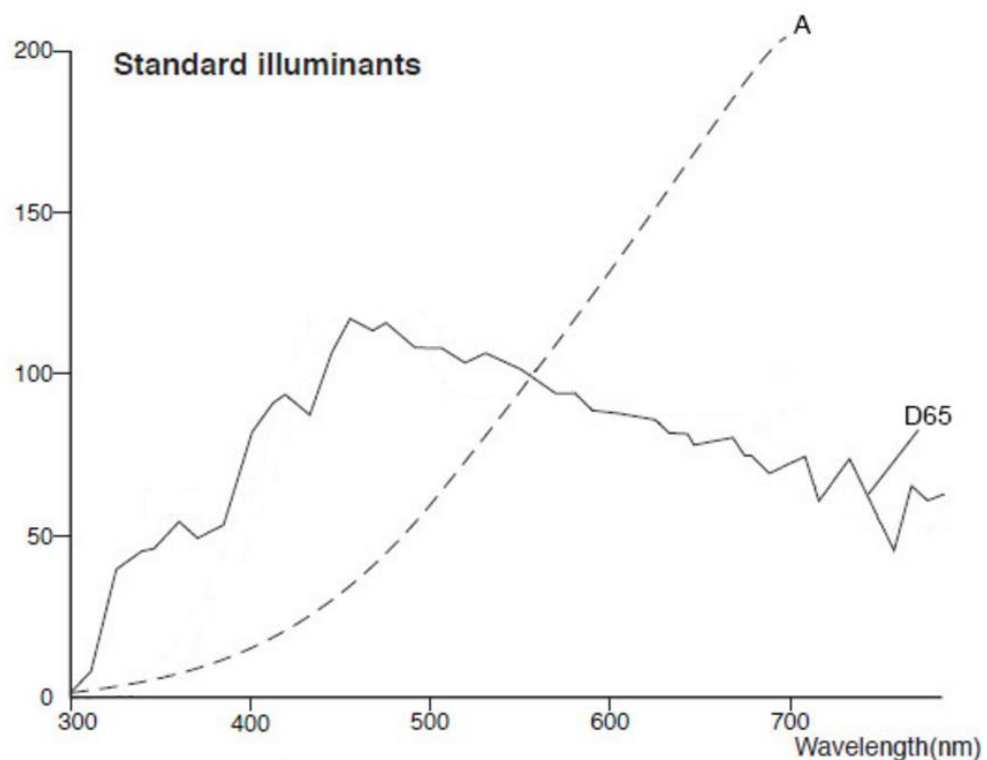
The average of the color-rendering indexes for test colors No. 1 to 8.

Special color-rendering indexes (R_i)

The individual color-rendering index for test colors No. 1 to 15 (The index for each individual color is evaluated.)

Kuva 7. Värintoistoindeksin värit R1 - R8 sekä lisävärit R9 - R15. [12.]

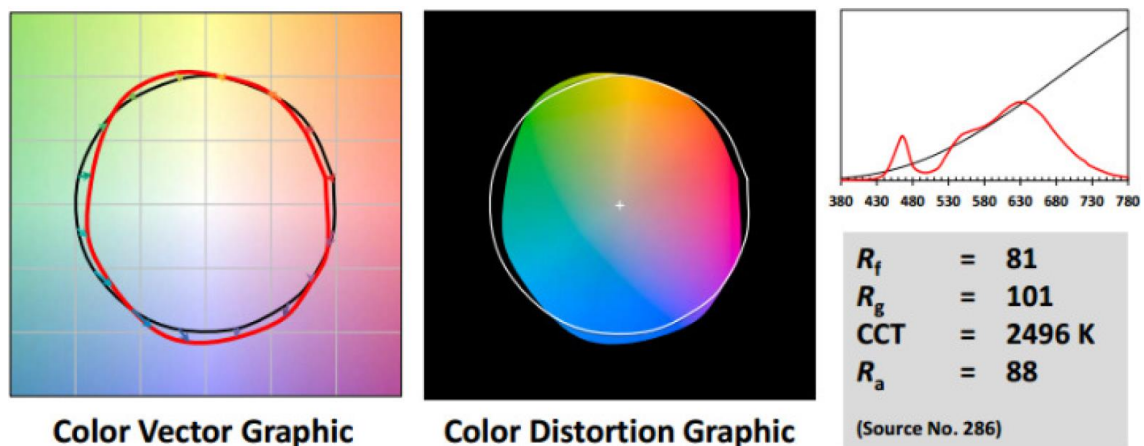
Laajennetun mallin R9 - R15 lisävärejä käytetään arvioidessa mm. elintarvikkeiden, vaatteiden, ihon, sisustusmateriaalien, taideteosten, sairaaltilojen ja ensihoitoyksiköiden värintoistoa. [13.]



Kuva 8. Standardisoidun D65-päivänvalon ja Planckin säteilijän (A) - esimerkiksi hehkulampun - spektrikäyrät. [14.]

TM-30-värintoiston arvioinnin menetelmä

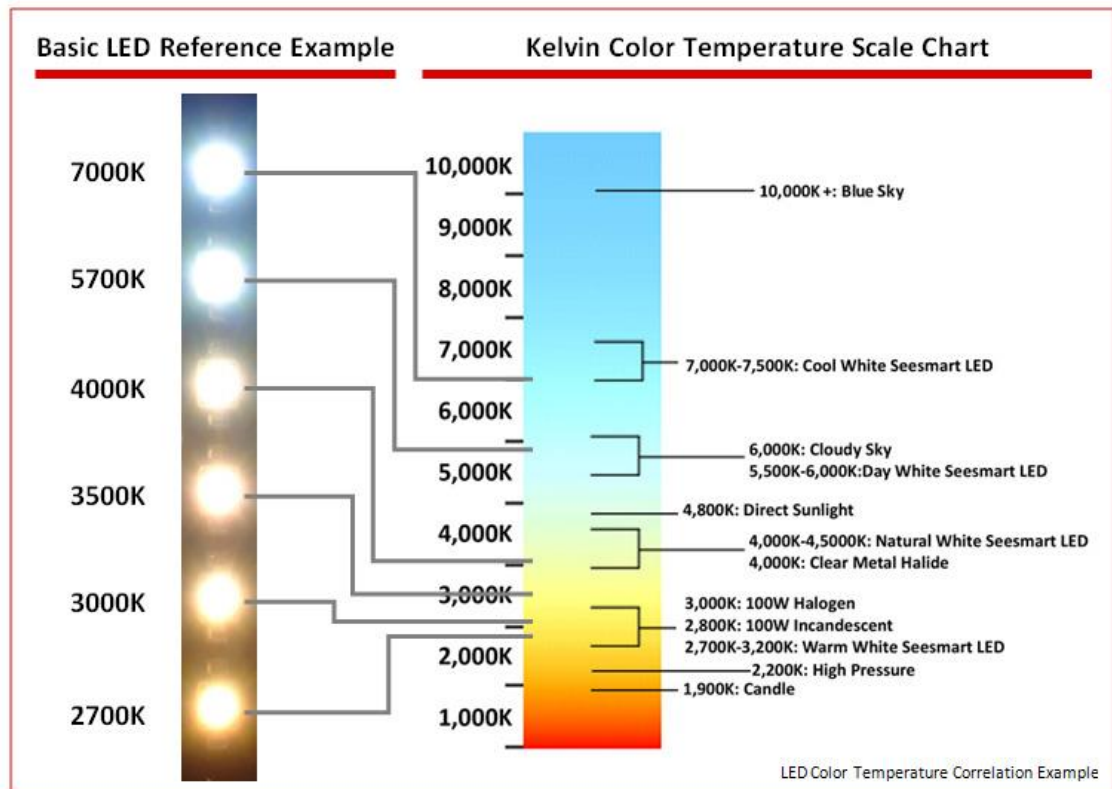
TM-30 on Pohjois-Amerikan valoteknillisen seuran IESNAn ehdottama uusi värintoiston arvioinnin menetelmä. TM-30 menetelmässä on vertailtavia värejä valittu harkitusti 99 kappaletta kattaen koko väriavaruuden riittävällä tarkkuudella. Valitut värit ovat sisätiloissa esiintyviä, eivätkä ole epäherkkiä erilaisen spektrin vaihteluille. Menetelmässä on käytössä kaksi eri arvoa: Fidelity index, eli väripuhtaus, jossa verrataan värien toistumista vertailuvalonlähteeseen verrattuna sekä Gamut index, eli värikirjo, jossa mitataan, kuinka laajasti eri värit toistuvat. [15.]



Kuva 9. Esimerkki TM-30 mittausmenetelmän grafiikasta. [15.]

3.7 Väriämpötila

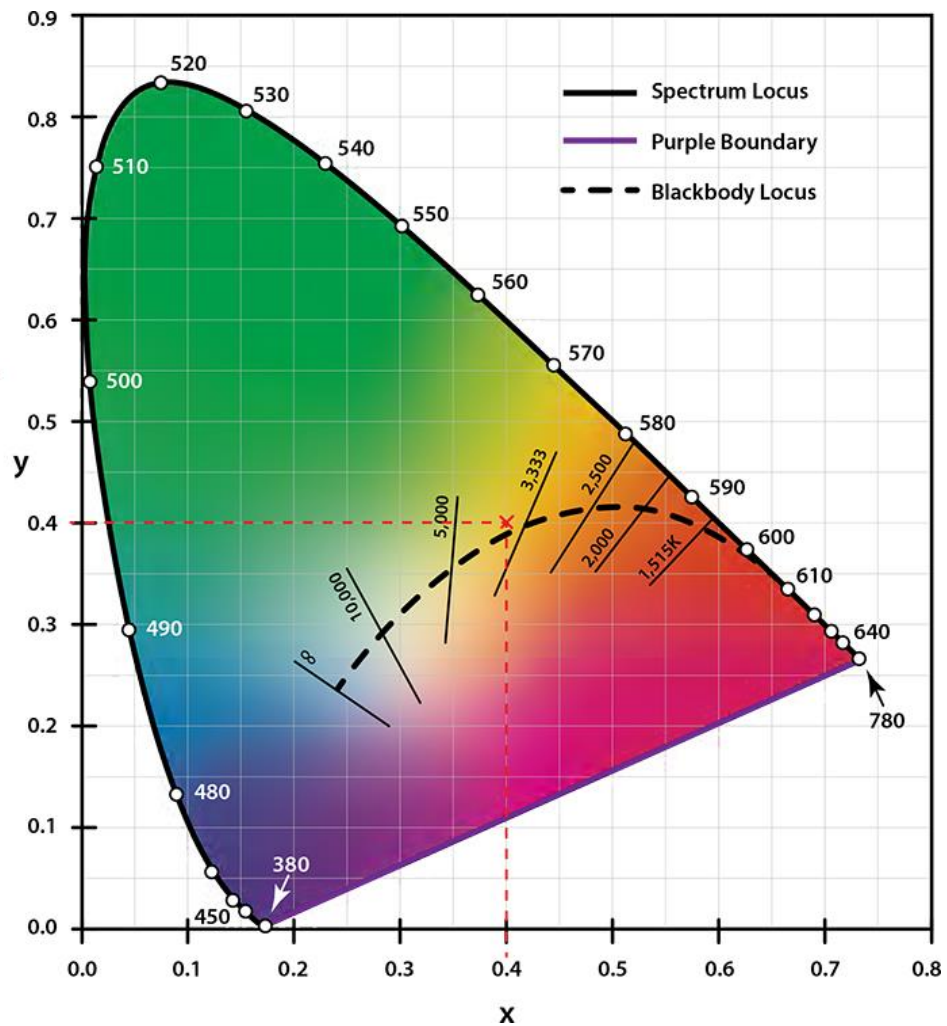
Valonlähteen väriämpötilan mittayksikkö on kelvin (K). Kelvin-asteikko noudattaa Planckin säteilijän käyrää, eli mustan metallikappaleen säteilyämpötilaa. Esimerkiksi hehkulampun tuottama väriämpötila on sama kuin lampun sisällä palavan hehkulangan lämpötila, eli 2 700 kelviniä. Muille kuin termisille säteilijöille - esimerkiksi loiste- ja purkauslampuille sekä ledeille - käytetään korreloitua väriämpötilaa (luku 3.6.1). Kuvassa 10 näkyy eri väriämpötiloista värivastattuja esimerkkejä. Väriämpötilan voi mitata esimerkiksi värivalaistusvoimakkuusmittarilla (kappale 5.3.2), CRI-valaistusmittarilla (kappale 5.3.3) tai spektripohjaisella valaistusvoimakkuusmittarilla (kappale 5.3.4). [11; 16.]



Kuva 10. Värilämpötila-asteikko ja vasemmalla on ledilamppuja värivastattu eri värilämpötiloihin. [17.]

3.7.1 Värivastattu valon värilämpötila

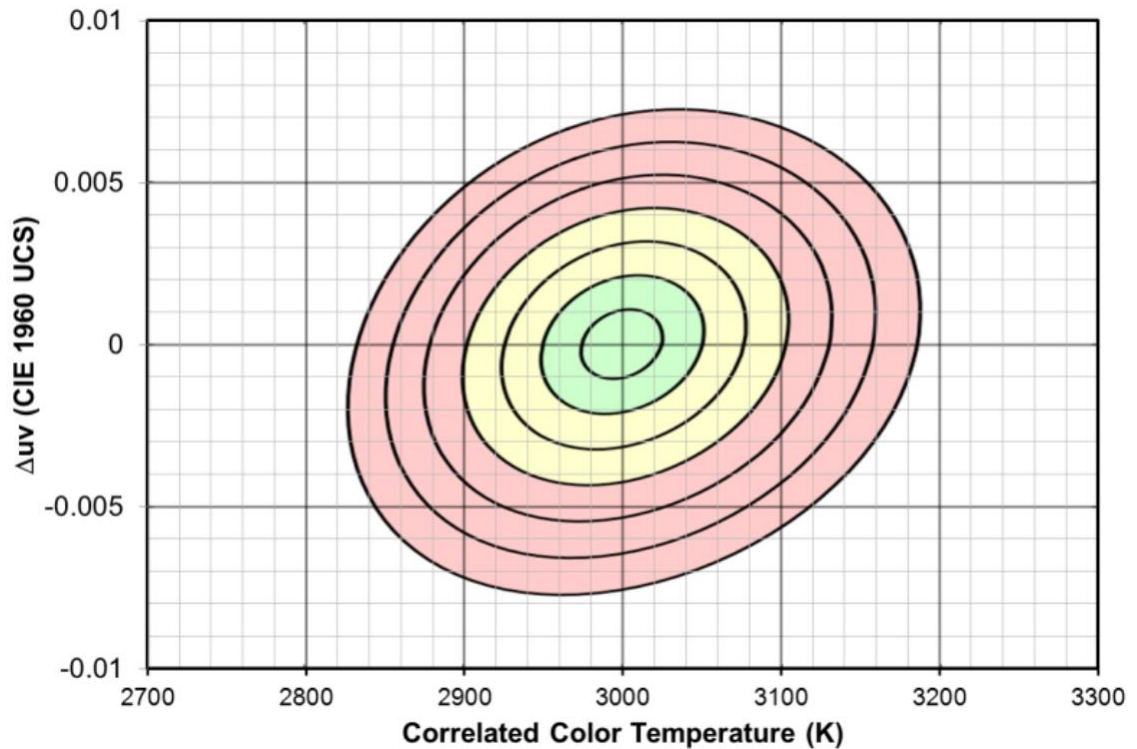
Kuva 11 esittää värilämpötilan värivastaavuuden laskentaa CIE 1931-väriavaruudessa. Värivastaamisesta käytetään myös lyhennettä CCT. Planckin säteilijän käyrä näyttää mustan hehkuvan rautakappaleen, eli valkoisen valon, värilämpötilan kelvin-asteina suhteutettuna CIE 1931-väriavaruuteen. Mitattavan valonlähteen värikylläisyys mitataan ja saatu koordinaatti katsotaan värikoordinaatistosta x- ja y-akseleilta. Planckin säteilijän käyrää leikkaavien akselien mukaisesti luetaan värikoordinaatin värivastaavuus käyrältä ja värilämpötila määräytyy kohdassa, jossa akseli leikkaa Planckin säteilijän käyrän. [16.]



Kuva 11. CIE 1931-väriavaruuskartta, johon on sijoitettu Planckin säteilijän käyrä. [18.]

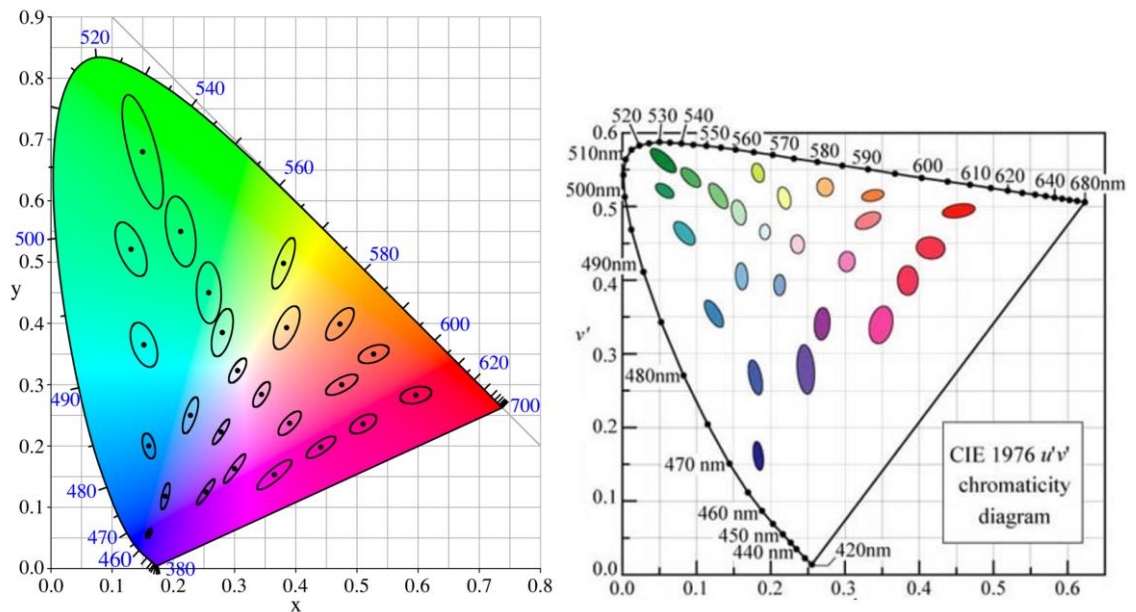
3.7.2 MacAdamin ellipsi ja SDCM-ellipsi

Ledien lähettämä valon värilaatu, eli kuinka lähellä toisiaan ovat eri ledien lähettämät valon väripisteet, ilmoitetaan parhaiten MacAdamin ellipseillä (kuva 12) CIE 1931- tai 1976-värikoordinaatiston avulla. MacAdamin ellipsejä kutsutaan myös SDCM-ellipseiksi. MacAdamin ellipseillä värilaatua arvioidaan asteikolla nolasta kymmeneen. CIE 1976-väriavaruus (kuva 13) soveltuu ellipsien tarkasteluun paremmin kuin standardina käytettävä CIE 1931. Syynä tähän on CIE 1931-väriavaruuden epätasajakoisuus - varsinkin vihreillä aallonpituuksilla - verrattuna CIE 1976-väriavaruuteen. MacAdamin ellipsit kuvaavat todennäköisyyttä, millä ihminen voi havaita värieroaavaisuuden. MacAdamin ellipsejä voidaan mitata mm. spektripohjaisella valaistusvoimakkuusmittarilla (Luku 5.3.4). [16.]



Kuva 12. MacAdamin ellipsejä. [19.]

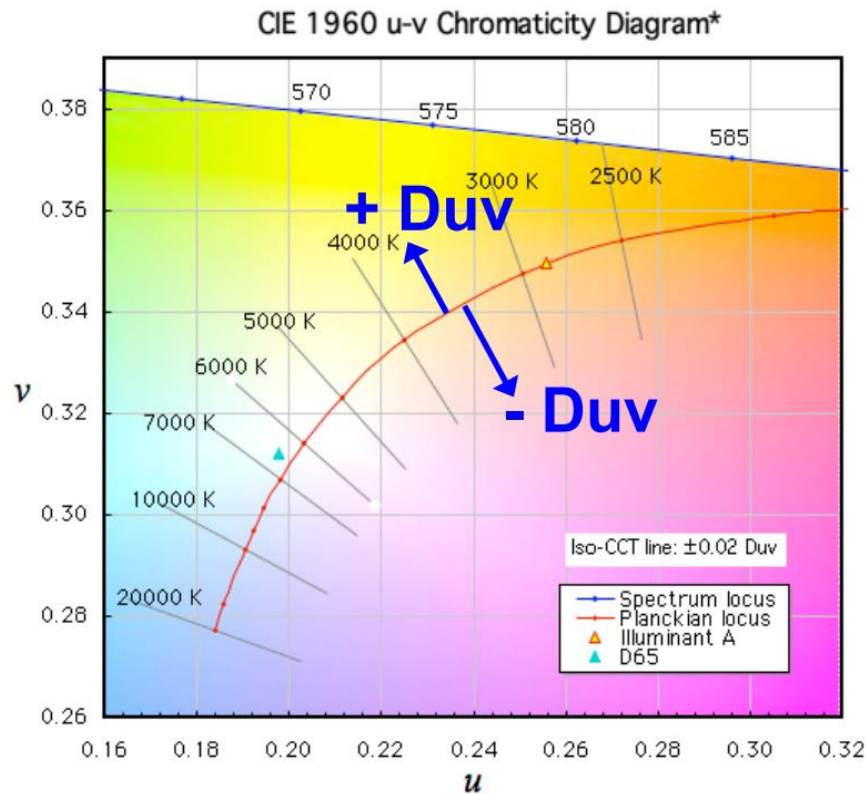
Kuvassa 11 tarkastelukohdaksi on valittu CIE-väriavaruudesta joltain väriavaruudelta väriltä 3 000 kelvinin väriämpötilapiste. Ihmisten havaitsema värien erottelukyky riippuu täysin yksilöstä, toiset huomaavat värieroavaisuudet paremmin kuin toiset. Vihreä alue on kahden ellipsin kokoinen alue, joka edustaa tilanne, jossa ihminen hyvin vaikeasti havaitsee värieroavaisuuksia. Keltainen alue edustaa tilannetta, jolloin ihminen voi havaita värieroavaisuuksia, mutta se ei ole kovin yleistä. Punainen alue edustaa tilannetta, jolloin ihmiset alkavat enemmän havaitsemaan värieroavaisuuksia. Mitä kauemmaksi siirrytään tarkastelupisteestä, sitä todennäköisemmin ihminen havaitsee värieroavaisuutta.



Kuva 13. CIE 1931- ja CIE 1976-väriavaruudet, joihin on sijoitettu valon aallonpituuksia mukailleen samankokoisia MacAdamin ellipsejä. Ellipsit ovat suurennetussa koossa tuoden esille CIE 1931-väriavaruuden epätasajakoisuuden. [20.]

3.7.3 Delta uv

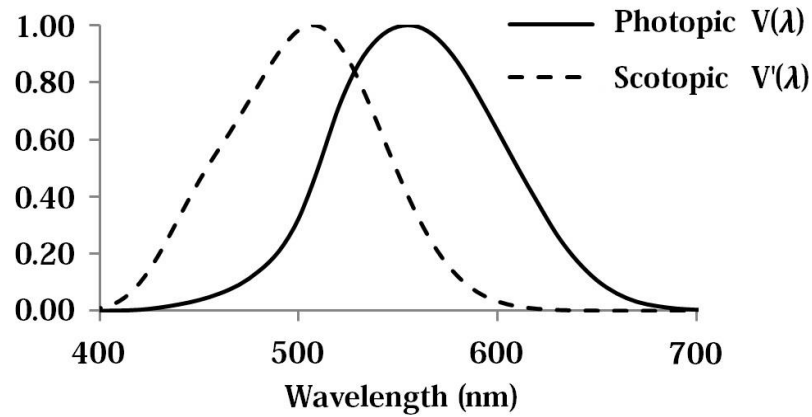
Delta uv, eli Duv, on Pohjois-Amerikassa käytettävä menetelmä. Duv on käytössä kun määritellään kuinka kaukana väriavastattu väriämpötila sijaitsee Planckin käyrältä. Arvo on sitä suurempi, mitä kauempana väriavastattu väriämpötilapiste sijaitsee käyrältä. (+) arvo saadaan, kun liikutaan y-akselilla Planckin käyrältä vihreän värin suuntaan ja (-) arvo saadaan liikuttaessa y-akselilla Planckin käyrältä pinkin värin suuntaan (kuva 14). [21; 22.]



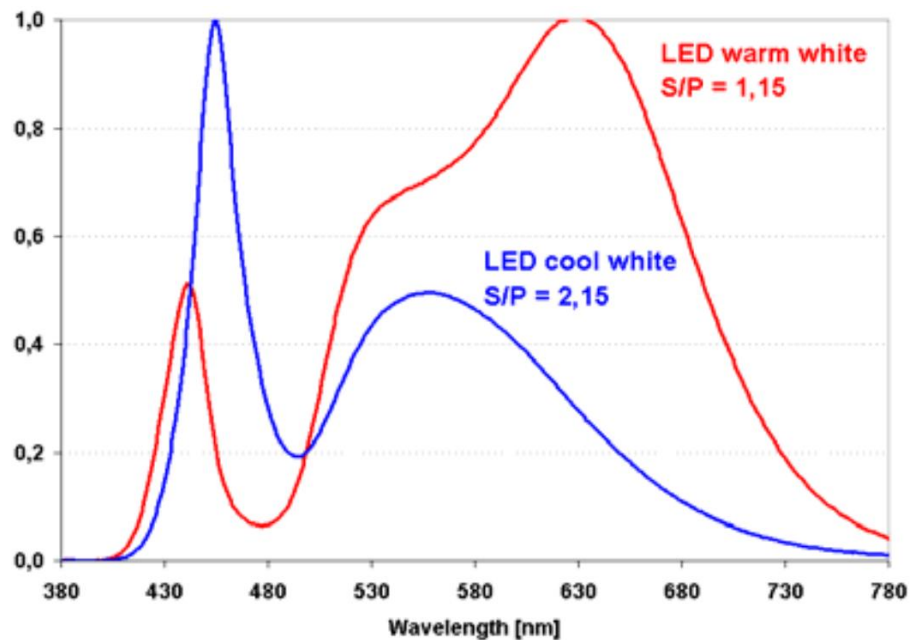
Kuva 14. Duv-arvon akseli CIE 1960-väriavaruudessa. [22.]

3.8 S/P-suhde

Valonlähteiden S/P-suhde kertoo, kuinka tehokas valonlähde on mesooppisessa mitoituksessa, eli valon lyhyemmillä aallonpituuksilla. Käytännössä tämä tarkoittaa, kuinka hyvä valonlähde on hämärään aikaan, jolloin silmien sauvasolut ovat tappisoluja aktiivisempia näkemisen suhteen. CIE 1931-väriavaruus on luotu silmien tappisolujen, eli päivänäkemisen mukaan, jonka vuoksi S/P-suhde olisi ulkovalaisimista hyvä mitata. S/P-suhteen voi mitata esimerkiksi spektripohjaisella valaistusvoimakkuusmittarilla (kappale 5.3.3). [23.]



Kuva 15. Ihmissilmän fotooppisen ja skotooppisen näkemisen valon aallonpituuksien spektrinen vastaanottokyky. Kuvaa voi verrata ihmissilmän spektriherkkyyssäyrään (kuva 2). [23.]



Kuva 16. Kylmän sinisen ja lämpimän valkoisen ledin spektrikäyrät S/P-suhteineen. [24.]

Taulukko 2. Suuntaa antavia valonlähteiden S/P-suhteita. [23.]

Valonlähde	Tyypillinen S/P-suhde
Pienpainenaatrium	0,2
Suurpainenaatrium	0,4 - 0,6
LED, lämmin valkoinen	1,2
Monimetalli, lämmin valkoinen	1,2
Halogeeni valonheittämiin	1,4
LED, kylmä valkoinen	2,0
Monimetalli, päivänvalo	2,1

4 Testiolosuhteet valonlähteille

4.1 Testihuone

Testihuoneen mittaustila, jossa valaistusmittaukset suoritetaan, tulisi olla hajavalolta ehkäisty. Esimerkiksi mustilla valoa läpäisemättömillä verhoilla voi hajavaloa peittää. Pinnoilta heijastuvan valon vaikutusta voi vähentää peittämällä pinnat mattamustalla materiaalilla. Mattamustan pinnan heijastuskerroin on n. 0,4. EN 13032-1 standardin mukaan valaistusmittalaitteen päähän saa kohdistua hajavaloa mattamustilta pinnoilta vähintään kahden heijastuksen kautta. Hajavalon vaikutus on tällöin riittävän minimaalinen. Jos heijastumiselta ei pysty välttymään, täytyy heijastavat pinnat peittää heijastamattomalla materiaalilla esimerkiksi mustalla matolla. Mittalaitteen valonlukijan takatausta tulee olla myös mattamusta. Mattamusta pinta koskee mittaustilan kaikkia - paitsi mitattavan valonlähteen - pintoja; niin seiniä, kattoa, lattiaa sekä mahdollisia laitteita. [1.]



Kuva 17. Valonmittaustilan pinnat ovat mattamustat. [20.]

4.2 Mittausympäristön ilmatila

EN 13032-1 sekä EN 13032-4 standardien mukaan mittaukset tulisi suorittaa $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$:n lämpötilassa mitattaessa loistelamppuja sekä ledilamppuja. Muita valonlähteitä voi mitata 20 °C :n ja 27 °C :een välillä, mutta lämpötilanmuutos mittauksissa ei saa ylittää $\pm 3\text{ °C}$:ta. Lämpötila mitataan korkeintaan 1,5 metrin etäisyydeltä valonlähteestä, lukuun ottamatta ledilamppua, jota mitataan LED-moduulin vierestä tai lämpötilan mittaukselle osoitetusta pisteestä. Valonlähteitä mitattaessa tulee niiden ensin saavuttaa terminen tasapainotila, jotta mittaukset ovat käytännöllisiä. Esimerkiksi ledilamppuja mitattaessa tulisi valonlähteen olla päällä vähintään 30 minuuttia - 2 tuntia, jotta jäähtyselementti on pysäyttänyt valonlähteen lämpötilan muutoksen, eli laitteen terminen tila on vakaa. [1.]

EN 13032-1 standardin mukaan mittausten aikana ilmavirran nopeus ei saa ylittää arvoa $0,2\text{ m/s}$. Suurempi ilmavirta alkaa vaikuttamaan valonlähteen sekä sitä ympäröivän tilan lämpötilaan. Goniofotometriä käytettäessä on otettava huomioon, ettei mitattava lamppu ole mittaushetkellä liikkeessä. Ilmankosteutta mittaustilassa ei ole määriteltä, mutta sen on suositeltavaa vastaavan toimistotilojen ilmankosteutta. [1; 26.]

4.3 Virhemarginaali

Valaistusmittauksissa on lähes mahdotonta saada täysin samat mittausarvot kuin toisaalla tehdyissä mittauksissa, mutta virheen minimoimiseen pystyy vaikuttamaan. Mittauksissa syntyvää virhettä voi tuottaa mm. vertailuvalonlähteen virheellisyys, lämpötilan muutos mittausten välillä, ilmanvirtaus, pölyn kertyminen pinnoille, mittauslaitteen kalibrointi, sähkötekniilliset ja fysikaaliset eroavaisuudet komponenteissa. On hyvä, jos mittauksien virhemarginaali pysyy alle 10% :n sisällä. [1; 27.]

4.4 Standardisoiminen

Mittausten tarkkuutta ylläpidetään laboratorio-oloissa noudattamalla standardimenettelytapoja sekä käyttämällä mittauslaitteistoja, jotka ovat läpäisseet standardit. Menettelytapoja mittauksille luodaan ja julkaistaan standardoimisjärjestöjen

ja -liittojen toimesta yhteiseksi perustaksi. Näin ollen mittauksia voidaan verrata keskenään, vaikka mittaukset olisi suoritettu toisaalla. Jos standardiolosuhteista poiketaan, tulee siitä mainita perusteluineen mittauspöytäkirjaan. [28.]

Suomeen vaikuttavia valaistukseen liittyviä standardeja julkaisevat eurooppalaiset standardoimisjärjestöt CEN ja CENELEC, joiden toiminnassa ja päätöksissä on mukana Euroopan jokaisen maan omat standardoimisjärjestöt. Suomen standardoimisjärjestöinä toimivat SFS sekä SESKO, jotka jakavat standardit Suomessa käytettäviksi. Muutoksia eurooppalaisiin standardeihin saattavat SFS sekä SESKO hieman tehdä, mutta Euroopan sisällä kaikki maat noudattavat pääosin CEN:n ja CENELEC:n julkaisemia standardeja. Eurooppalaisiin standardoimisjärjestöihin vaikuttavat maailmanlaajuisten standardoimisjärjestöjen ISO:n, IEC:n sekä valaistuskomissio CIE:n päätökset, mutta kaikkia standardeja heiltä eivät CEN ja CENELEC hyväksy omiin standardeihinsa. Jos jokin mittaus halutaan suorittaa esimerkiksi Suomessa ja mittauksia halutaan verrata Japanissa suoritettuun mittaukseen, on tässä tapauksessa otettava huomioon Japanissa käytettävän teollisen standardin JIS:n määräykset. [28.]

Valaistuslaboratorion yleisistä virallisista vaatimuksista löytyy lisää tietoa ISO:n sekä IEC:n oppaasta: "ISO/IEC Guide 25, General Requirements and the Competence of Calibration and Testing Laboratories". [1.]

Taulukko 3. Tärkeimpiä standardoimisjärjestöjä.

<u>Lyhenne</u>	<u>Järjestön koko nimi</u>
CIE	Kansainvälinen valaistuskomissio, jolla standardisoimisvaltuudet
ISO	Maailmanlaajuinen standardisoimisjärjestö
IEC	Maailmanlaajuinen sähköteknilinen standardisoimisjärjestö
CEN	Euroopan standardisoimisjärjestö
CENELEC	Euroopan sähköteknilinen standardisoimisjärjestö
SFS	Suomen standardisoimisjärjestö
SESKO	Suomen sähköteknilinen standardisoimisjärjestö
JISC	Japanin teollinen standardisoimiskomissio
DIN	Saksan standardisoimisjärjestö
ANSI	Amerikan standardisoimisjärjestö

5 Mittalaitteet

Laboratorioissa tehtyjen mittausten tulisi olla standardimenettelytapojen mukaisia, jotta ne olisivat verrattavissa muiden laboratorioiden mittauksien kanssa. Oppilaitosten laboratoriot eivät yleensä ole standardisoituja, mutta yrittävät olla lähellä standardeja. Mittauksia suorittaessa, tulisi kirjata mittausten olosuhteet, mittalaitteet, mittausarvot sekä mahdolliset virhekertoimet mittauspöytäkirjaan, josta ne olisi helposti luettavissa. ISO 9000-standardista: 4.11.2b: *identify all inspection, measuring, and test equipment that can affect product quality, and calibrate and adjust them at prescribed intervals, or prior to use, against certified equipment having a known valid relationship to internationally or nationally recognized standards. Where no such standards exist, the basis for calibration shall be documented.*

5.1 Optisen säteilyn ilmaisinteknologia

Kaksi yleistä valonilmaisinta näkyvälle valolle ovat fotodiodi sekä valomonistinputki. Molemmilla tekniikoilla pystyy tunnistamaan näkyvän valon lisäksi myös IR- sekä UV-säteilyä riippuen tuotteen laadusta.

5.1.1 Fotodiodi

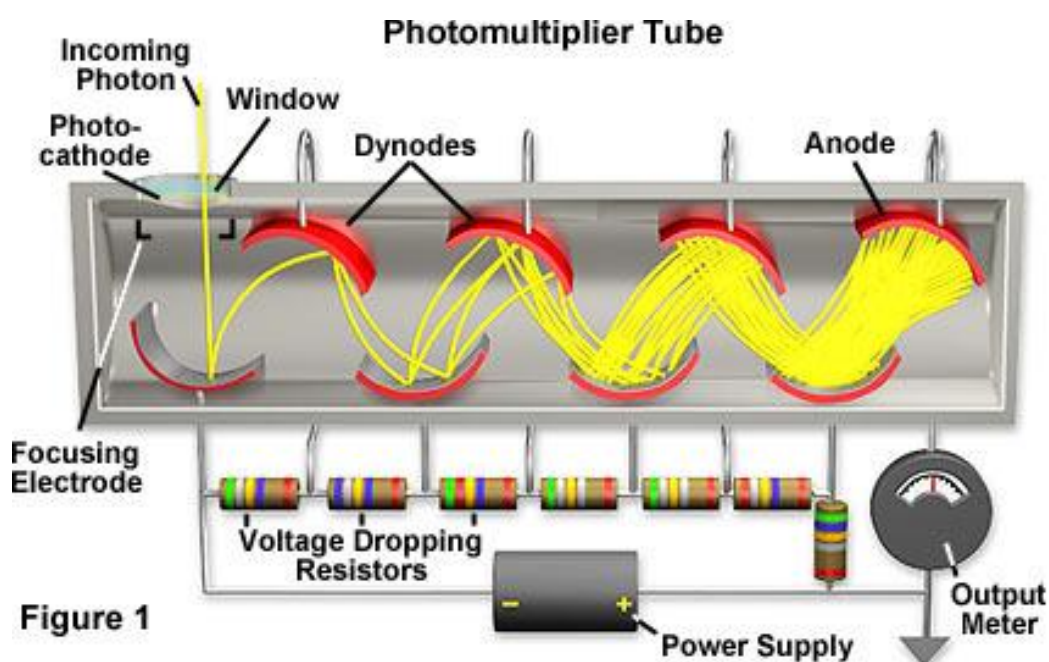
Fotodiodit ovat yleisimpiä fotometriassa sekä radiometriassa käytössä olevia valonilmaisimia. Ne ovat lineaarisia sekä vakaita, eli eivät väsy kuten vanhemmat seleenisolupohjaiset. Fotodiodit syrjäyttivät aikaisemmin yleisessä käytössä olleet seleenisolut, jotka väsyvät ajansaatossa ja lopulta kuolevat. Fotodiodit perustuvat puolijohde-pn-liitoksiin, jotka reagoivat ulkoisiin ärsykkeisiin kuten valoon. Toisin kuin ledeissä, fotonit absorboituvat fotodiodissa pn-liitokseen. [1.]



Kuva 18. S2386-5K-fotodiodi. [29.]

5.1.2 Valomonistinputki

Valomonistinputki, eli PMT, on usein käytössä, kun mittauksilta vaaditaan suurta tarkkuutta. Kuvasta 17 näkee valomonistinputken toiminnan, missä fotokatodiin osuvat fotonit muuntuvat elektroneiksi ja osuvat dynodille. Jokaista dynodiin osunutta elektronia kohti irtoaa useita uusia elektroneja. Kun dynodeja on peräkkäin useampia, vahvistuu alkuperäinen heikko elektronien virta moninkertaiseksi. Tämä tekee valomonistinputkesta tarkan. [1.]



Kuva 19. Valomonistinputken toiminta. [30.]

5.2 Spektrometri

5.2.1 Spektrianalysaattori

Spektrianalysaattori analysoi digitaalisen spektrisen tiedon - esimerkiksi integroivan pallon (kappale 5.5) toimiessa anturina - ja tuo pallon keräämän tiedon luettavaan muotoon esimerkiksi tietokoneelle. DAS-2100-spektrianalysaattori pystyy lukemaan 350 - 1050 nm:n aallonpituuksia ja on käytössä Albertinkadulla Metropolia Ammattikorkeakoululla. Spektrianalysaattorilla voi laskea myös mm. valoa läpäisevien materiaalien spektrin integroivan pallon avulla, jolloin valonlähteenä käytetään usein halogeenivalonheitintä (kuva 21). DAS-2100-spektrianalysaattorin tekniset tiedot löytyvät liitteestä 12. [31.]



Kuva 20. DAS-2100-spektrianalysaattori. [31.]

Mitattaessa spektrianalysaattorilla eri materiaalien läpäisyspektrejä integroivan pallon avulla, tarvitaan mittauksiin sopiva valonlähde, esimerkiksi kuvan 36 halogeenivalonheitin, jolla voi läpäistä valoa materiaalin läpi.

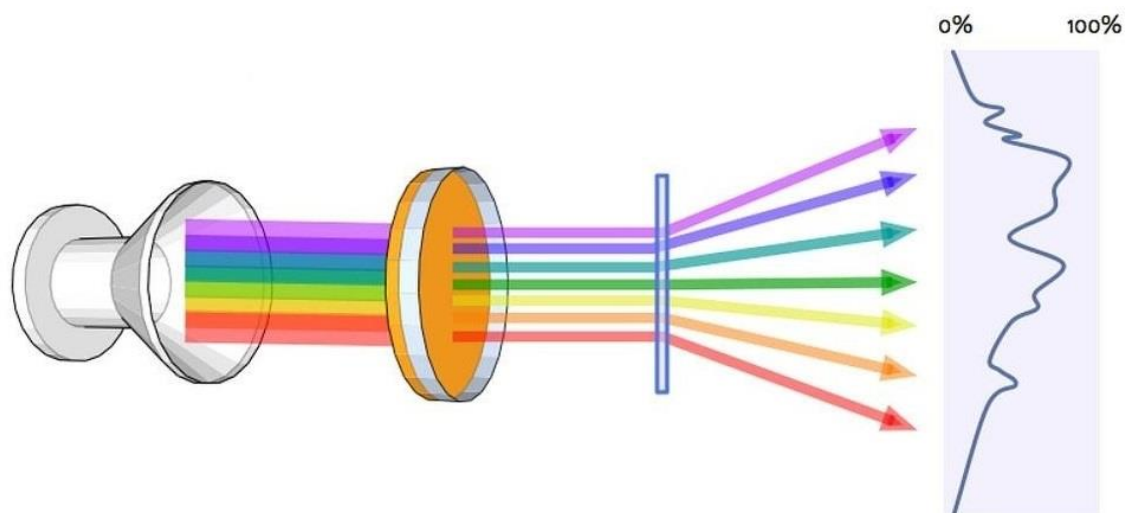


Kuva 21. KI-125 Koehler Illuminator-halogeenivalonheitin. [34.]

KI-125 Koehler Illuminator-halogenivalonheittimen valaistusvoimakkuus on säädettävissä 100 ja 20 000 luksin välillä. Heittimen valonlähde on 3 000 kelvinin halogeenilamppu.

5.2.2 Spektrofotometri

Spektrofotometriin syötettävä valo läpäisee prisman tai prismoja, jotka hajottavat valon eri aallonpituuksiin, eli spektriin. Laitteessa oleva ilmaisim vastaanottaa spektrin ja muuntaa vastaanottamansa tiedon digitaaliseen muotoon tietokoneohjelmistolle. Ohjelmistolta pystyy lukemaan mitatun valon tietoja tarkemmin. Specbos 1211-LAN-spektrometrin tekniset tiedot löytyvät liitteestä 9 sivulta 3.



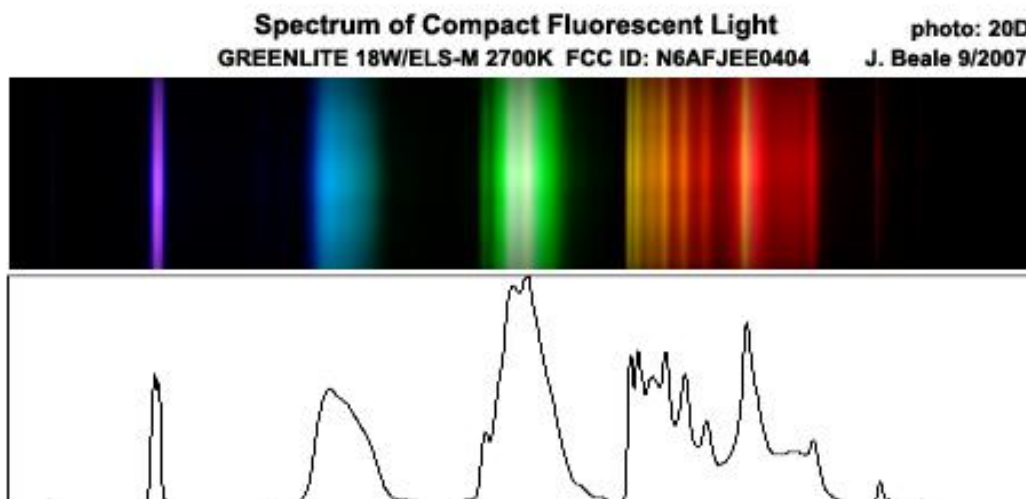
1. A broad-spectrum light (halogen, incandescent) is shone through a sample

2. Some colors are absorbed more than others depending on its composition

3. Diffraction grating splits light into colors so they can be measured separately

4. A webcam measures each color and graphs their intensities. This is compared to known samples.

Kuva 22. Spektrofotometrin toimintaperiaate. [32.]



Kuva 23. Greenlite ELS-M-lampun valon koostumus spektrometrin lukemana. [33.]

Kuvassa 23 eri aallonpituuksien intensiteettitasot näkyvät alaosiossa käyränä. Valon summa voi näyttää silmille samalta kuin toinen valo, mutta valon koostumukset voivat olla hyvin erilaiset.

5.3 Kenttämittauslaitteet

5.3.1 Valaistusvoimakkuusmittari

Valaistusvoimakkuusmittari (kuva 24) koostuu valokennosta, värikorjaussuotimesta, kosinikorjaimesta sekä valovirtamittarista. Riippuen mittarin osista voidaan laitetta kutsua valaistusvoimakkuusmittariksi, luksimittariksi, valovoimamittariksi, valovirtamittariksi tai luminanssimittariksi. Valokennon spektrinen vastaanottokyky on mukailtu CIE 1931 suhteellisen ihmissilmän spektriherkkyyssäyrän (kuva 2) mukaan. Valaistusvoimakkuusmittarilla voi mitata valonlähteen säteilyarvoja tietyistä pisteistä. Esimerkiksi työtasojen ja työpisteiden valaistusvoimakkuuksia (kappale 3.2) mitataan asettamalla mittari mitattavalle pinnalle, jossa työtä tehdään. [36; 37.]



Kuva 24. Valaistusvoimakkuusmittarit T-10A ja T-10MA. [12.]

T-10MA valaistusvoimakkuusmittariin on mahdollista kytkeä sarjaan monia valokennoja (kuva 25), jotta voi laskea suuremman alueen valaistusarvon. T-10A:n ja T-10MA:n tekniset tiedot löytyvät liitteestä 1. [12.]



Kuva 25. Valaistusvoimakkuusmittari T-10MA kytkettynä kennojen kanssa sarjaan. [12.]

5.3.2 Värivalaistusvoimakkuusmittari

Värivalaistusvoimakkuusmittari (kuva 26), toiselta nimeltä väriluksimittari, mittaa valaistus-voimakkuusarvojen lisäksi myös xy-värikoordinaatit (kappale 2.7.1). Yleensä mittalaitteen lisäksi tarvitaan värikoordinaatisto, josta pystyy katsomaan mittalaitteen näyttämä värilämpötila. Chroma Meter CL-200-värivalaistusvoimakkuusmittarin tekniset tiedot löytyvät liitteestä 2. [12.]



Kuva 26. CL-200 värivalaistusvoimakkuusmittari. [12.]

5.3.3 CRI-valaistusmittari

CRI-valaistusmittarilla (kuva 27) voidaan mitata monia valon arvoja kuten esimerkiksi spektrisen tehitiheyden (kappale 3.1), hallitsevan aallonpituuden (kappale 3.1), huippuaallonpituuden (kappale 3.1), värintoistoindeksin (kappale 3.6), värilämpötilan (kappale 3.7), kolmiväriarvon (kappale 3.7.1), kromaattisuuden (kappale 3.7.1), ja värieroavaisuuden (kappale 3.7.1). VL-70F on kätevä pieni monipuolinen kenttämittauslaite. Mittalaitteen tekniset tiedot löytyvät liitteestä 3. [12.]



Kuva 27. CL-70F CRI-valaistusmittari. [12.]

5.3.4 Spektripohjainen valaistusvoimakkuusmittari

Spektripohjaisella valaistusvoimakkuusmittarilla (kuva 28) voi mitata mm. valon spektrin (kappale 3.1), hallitsevan aallonpituuden (kappale 3.1), valaistusvoimakkuuden (kappale 3.2), värintoistoindeksin (kappale 3.6), värilämpötilan (kappale 3.7), värikoordinaatit (kappale 3.7.1), värieron valittuun kohteeseen nähden (kappale 3.7.1) sekä S/P-suhteen (kappale 3.8). Mukana tulee CL-s10w-ohjelmisto, joka sisältää mm. MacAdamin ellipsien (kappale 3.7.2) mittaamisen. Mittalaitteen tekniset tiedot löytyvät liitteestä 4. [12.]



Kuva 28. Spektripohjainen valaistusvoimakkuusmittari Konica Minolta CL-500. [12.]

5.3.5 Luminanssi- sekä väriluminanssimittari

Luminanssimittari (kuva 29) on periaatteeltaan samanlainen kuin valaistusvoimakkuusmittari. Oleellisin ero on siinä, että valaistusvoimakkuusmittari mittaa kaiken tasopinnalle tulevan säteilyn, kun taas luminanssimittarin mittausspektori on rajattu hyvin kapeaksi. Valokennon spektrin vastanottokyky on mukailtu CIE:n suhteelliseen ihmissilmän spektriherkkyyssstandardiin (kuva 2). Luminanssimittarilla mitataan pinnan luminanssia (kappale 3.4) eri etäisyyksiltä. Väriluminanssimittari mittaa samalla myös kohteen värikoordinaatit. LS-150 luminanssimittarin ja CS-150 väriluminanssimittarin tekniset tiedot löytyvät liitteestä 5. [12.]



Kuva 29. LS-150 luminanssimittari sekä CS-150 väriluminanssimittari ovat ulkomuodoltaan identtiset [12.]



Kuva 30. Lähilinssejä CS/LS-100/110 väriluminanssi- ja luminanssimittareihin. [12.]

Lähilinssien avulla luminanssimittarilla voi mitata luminanssin pienestä kohteesta esimerkiksi tekstiltä paperilla.

5.3.6 Värluminanssimittari tarkkaan mittaamiseen

Tarkempaan luminanssin mittaamiseen, tai värin mittaamiseen, on hyvä käyttää hyvin tarkkaa mittaria jalustan kanssa. Tähän tarkoitukseen on hyvä esimerkiksi värluminanssimittari CS-200 (kuva 31). Mittalaitteella voidaan säätää tarkasti kuinka pienestä pisteestä luminanssi halutaan mitata. Albertinkadun toimipisteessä pidemmän matkan mittaukset on suoritettu kellaritasolla olevalla käytävällä (kuva 43). Mittalaitteen tekniset tiedot löytyvät liitteestä 6. [12.]



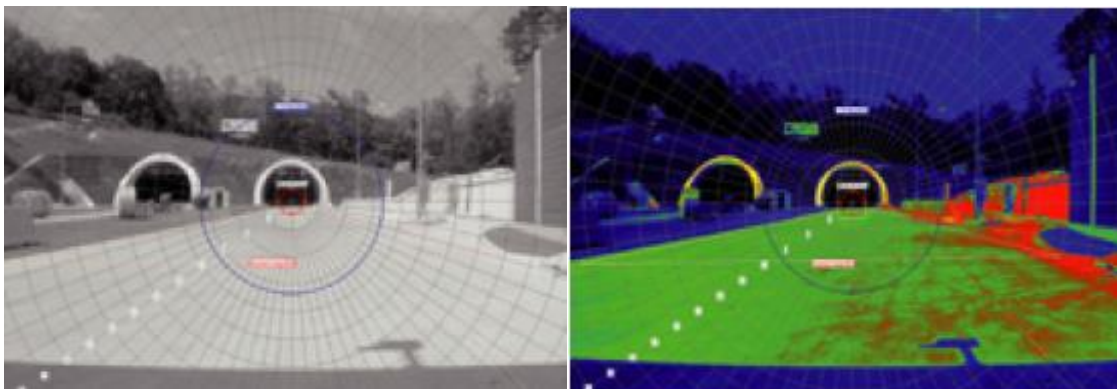
Kuva 31. CS-200-värluminanssimittarin voi asentaa esimerkiksi jalustaan kiinni. [12.]

5.3.7 Kuvantava luminanssimittari



Kuva 32. Canon 70D-digitaalinen refleksikamera, jonka lisäksi tarvitaan LMK LabSoft-ohjelma, jotta kamera toimii kuvantavana luminanssimittarina. [37.]

Kuvantavan luminanssimittarin toiminta perustuu kameran kennon aistimaan pintojen lähettämään valovoimaan, kuten luminanssimittarikin, mutta suurelta alalta. Kameralla otetaan kuva, ja kuvasta voidaan jälkeinpäin tarkastella eri pisteiden luminansseja (kuva 33). Luminanssierot eivät tosin voi olla liian suuria, sillä kuten tavallisissa valokuvissa, kuvat voivat yli- tai alivalottua. Yli- ja alivalottumista voidaan ehkäistä käyttämällä tilanteisiin sopivia linsejä, esimerkiksi kirkaassa tilassa tummennettua linssiä tai ottamalla jalustalla tuetulla kameralla kuvasarja erilaisille valaistusarvoille.



Kuva 33. Canon 70D-refleksikameralla otettuja kuvia. [38.]

Kuvantavaksi luminanssimittariksi sopivia kameramalleja sekä niihin sopivia ohjelmia on saatavilla useita. Canon 70D-kameran tekniset tiedot löytyvät liitteestä 7.

5.3.8 Lighting Passport-älyspektrometri

Lighting Passport (kuva 34) on spektripohjainen älyspektrometri, joka vaatii toimiakseen Android- tai iOS-käyttöjärjestelmällä toimivan älylaitteen. Älyspektrometrin mukana tulevalla sovellus asennetaan älylaitteeseen, jolloin voidaan ottaa Bluetooth tai USB-yhteys mittalaitteeseen. Lighting Passport pystyy mittaamaan valon arvoja monissa erilaisissa laskentamalleissa. Esimerkiksi sillä pystyy laskemaan valon värin arvoja CIE 1931- sekä CIE 1976-väriavaruuksissa, värintoistoindeksin CRI- sekä TM-30-arvoilla, MacAdamin SDMC-arvon, tunnistaa tilasta lämpötilan sekä suhteellisen kosteuden, erottaa valon välkyntää taajuuksilla 5 - 200 Hz, mittaa S/P-suhteen sekä monia muita arvoja, jotka löytyvät liitteestä 5. Mittalaitteella voi myös mitata arvoja reaaliajassa 6 ms:n ollessa laitteen pienin integrointiaika. Mittauksille pystyy asettamaan raja-arvoja, esimerkiksi CCT-arvon voi asettaa tulemaan näkyviin vain 5 000 - 7 000 kelvinin välillä. Mittalaitteessa on usean otoksen toiminto, jolla voi kätevästi mitata esimerkiksi yhtä valonlähdettä eri kulmista ja vertailla mittausten arvoja keskenään. [39; 40.]



Kuva 34. Asensetek Lighting Passport sellaisenaan, asennettuna USB-yhteydellä älypuhelimkeen sekä tablettiin. [39.]

Lighting Passport voi olla asetettuna esimerkiksi pöydälle ja älypuhelimella voidaan ottaa kauempaa Bluetooth-yhteys mittalaitteeseen ja siten vastaanottaa mittaustuloksia. Mittalaitteen tekniset tiedot löytyvät liitteestä 8. [39.]

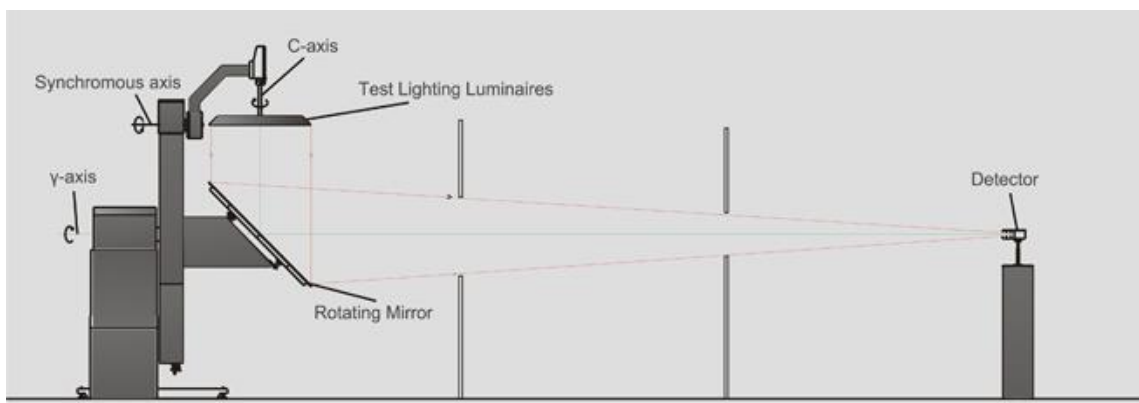
5.4 Goniofotometri

Goniofotometrejä on lähikenttä- sekä kaukokenttämittauksiin. Nimensä mukaisesti kaukokenttämittaavat goniofotometrit vaativat enemmän tilaa mittauksille kuin lähikenttägoniofotometrit (kuva 35).



Kuva 35. Lähikenttägoniofotometri RiGO801 ja kaukokenttägoniofotometri LSG-2000. [41; 42.]

Kaukokenttägoniofotometrillä lampun tai valaisimen lähettämän valon mittaaminen perustuu ohjattavaan peiliin ja kameravastaanottimeen. Peiliä liikutellaan ja suuntaillaan siten, että mitattavan lampun tai valaisimen valo kulkeutuu peilin kautta kameravastaanottimelle, joka sijaitsee 5,0 - 30,0 metrin päässä. Hajavaloa suodatetaan pois raollisilla väliseinillä. Peilien avulla valon kulkemaa välimatkaa voi pidentää (vertaa kuvia 36 ja 37).

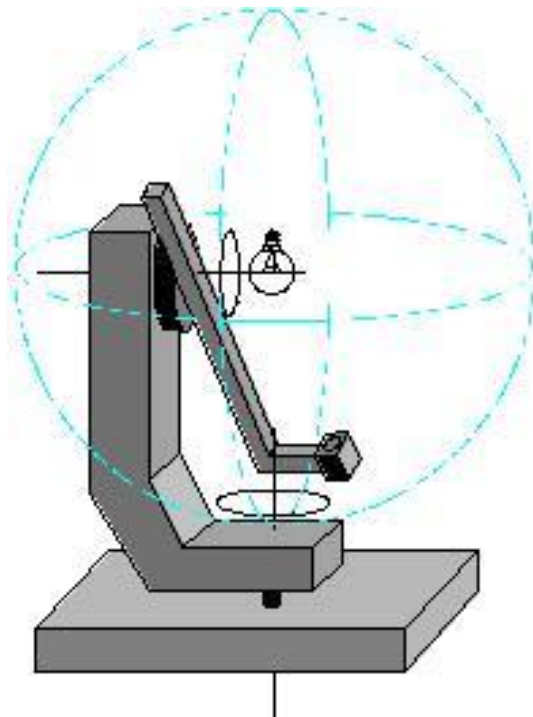


Kuva 36. LSG-2000B-kaukokenttägoniofotometri, raollisia väliseiniä sekä vastaanotin. [42.]



Kuva 37. Peilien avulla voidaan säästää tilaa kaukokenttägoniofotometriä käytettäessä. [44.]

Lähikenttämittaavat goniofotometrit mittaavat valonlähdettä xyz-koordinaatistossa kuvan 38 mukaisesti kuvantavan luminanssimittarin avulla, joka tallentaa arvoja eri mittauspisteistä. Mittausarvot siirtyvät digitaalisena goniofotometrin keskusyksikköön, jossa laskentatoimenpiteet suoritetaan.



Kuva 38. Lähikenttägoniofotometrin toimintaperiaate. Keskellä on mitattava lamppu, jonka ympärillä kuvantava luminanssikamera pyörii sinisen kuvion mukaisesti ja mittaa tuloksia eri pisteistä pysähtyen jokaisella mittaushetkellä paikoilleen. [45.]

Goniofotometrillä pystyy mittaamaan valolähteen valonjakokäyrän (kappale 3.2), kokonaisvalovirran (kappale 3.3) sekä spektrikartan (kappale 3.7.1). Goniofotometrejä löytyy monia erilaisia ja erikokoisia. RiGO801 - 1500-mallin tekniset tiedot löytyvät liitteestä 9 ja LSG-2000-mallin tekniset tiedot löytyvät liitteestä 10. [43; 46; 47.]

5.5 Integroiva pallo, Ulbrichtin pallo

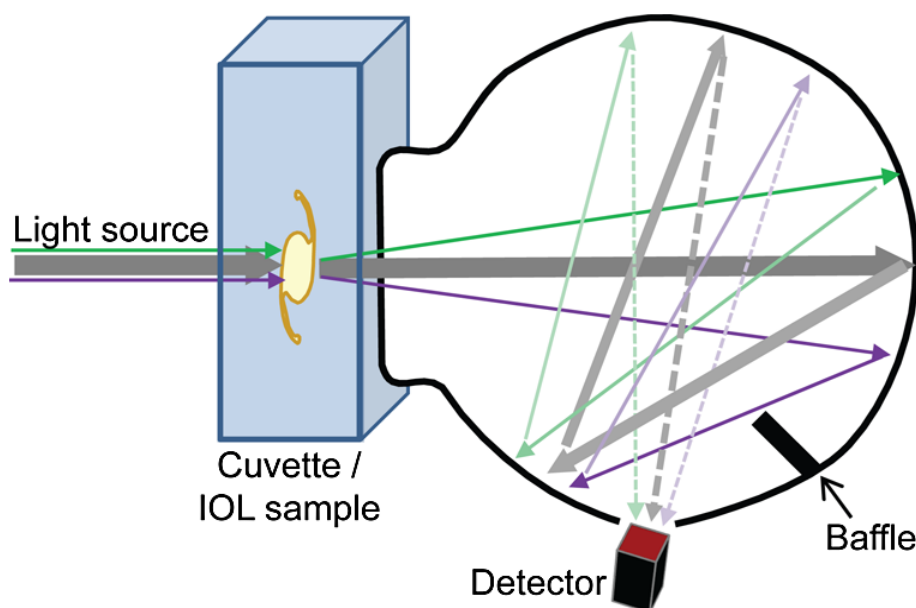
Integroivalla pallolla (kuva 39) voi mitata valonlähteen kokonaisvalovirtaa (kappale 3.3). Kytkemällä palloon erilaisia analysaattoreita, voi integroivalla pallolla mitata lisäksi valon spektrijakaumaa, värikoordinaatteja sekä värilämpötilaa. Integroivan pallon sisälle johdettu valo heijastuu pallon valkoisella sisäpinnalla tasaisesti kauttaaltaan. Ulbrichtin pallo mahdollistaa siis tarkan mittauksen toteuttamisen suljetussa ympäristössä. Tosin riippuen valonlähteestä, osa sisällä heijastelevasta valosta voi absorboitua valaisimen tai lampun osiin, jolloin integroivan pallon sisälle asennetaan apuvalo, jolla voi kompensoida valonlähteen kiinnitysosien absorboimaa valon määrää. [48.]



Kuva 39. GS-IS60 Integroiva pallo. [48.]

Integroivia palloja löytyy eri kokoisia. On suuria palloja, halkaisijaltaan 3,0 metriä, joilla voidaan mitata suuria valaisimia ja on myös pieniä, halkaisijaltaan 25,0 millimetriä, joilla voidaan laskea esimerkiksi eri materiaalien läpäisy-spektrejä. Isoissa palloissa mitattava

valonlähde asetetaan pallon sisälle kun pienellä pallolla mitattaessa valonlähde on usein pallon ulkopuolella. Esimerkiksi eri materiaalien läpäisy-spektrijä mitataan usein pienillä palloilla syöttämällä valoa mitattavan materiaalin läpi palloon sisälle (kuva 40). Tällöin mittaukseen tarvitaan integroivan pallon lisäksi spektrianalysaattori sekä valonheitin (kappale 5.2.1). GS-IS-integroivan pallon tekniset tiedot löytyvät liitteestä 11. [48.]



Kuva 40. Integroivaan palloon syötetään valoa materiaalin lävitse. [49.]

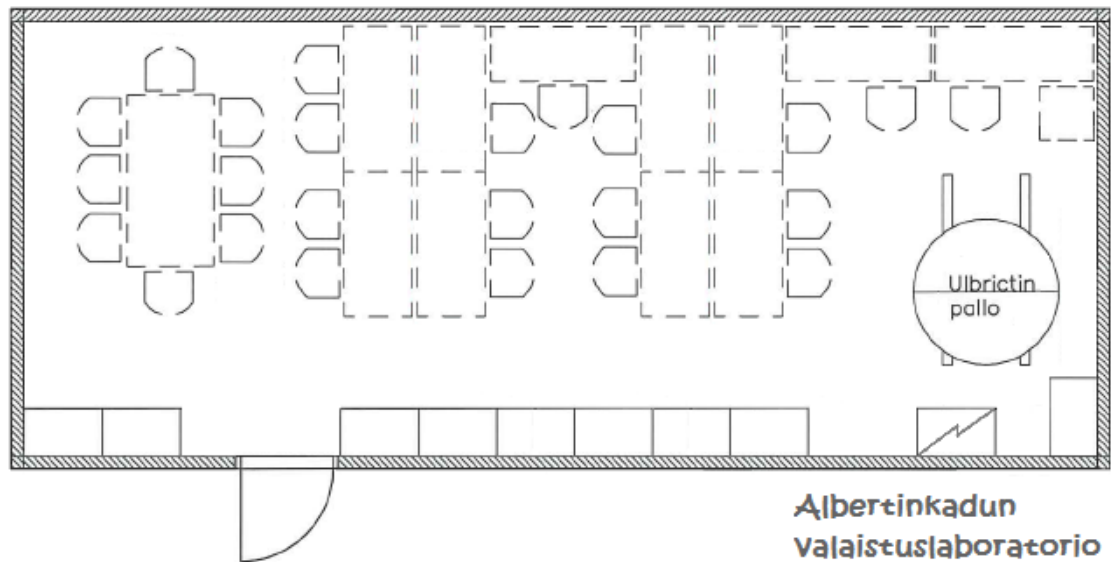
6 Valaistuslaboratoriotilojen suunnittelu

6.1 Metropolia Ammattikorkeakoulun Albertinkadun toimipiste

6.1.1 Albertinkadun valaistuslaboratorio

Albertinkadun valaistuslaboratorio (kuva 41) on ikkunaton luokkahuone kellaritasolla. Laboratorion keskiosion suuremmat pöydät ovat Teklabin sähköpöytiä, joissa mahtuu hyvin työskentelemään samanaikaisesti yksi neljän henkilön ryhmä sekä kolme kolmen henkilön ryhmää, kuten pohjapiirustuksen tuolien määrästä näkee. Sähköpöytien välissä on tietokoneelle varattu pöytä. Tietokone on käytössä mittalaitteiden tuloksien katselemiseen. Sisään tullessa valaistuslaboratorioon tilan vasemmalla puolella on neuvottelupöytä ja oikealla puolella päädyssä on Ulbrichtin pallo, joka on halkaisijaltaan 1,5 metriä (kuva 43). Avonaisena integroiva pallo vie tilaa noin 2,5 metriä, joten tilaa on

jätetty integroivan pallon läheiseen ympäristöön. Ulbrichtin palloon syötetään stabiloitua jännitettä mittausten aikana. Seinän vierustalla olevissa kaapeissa säilytetään käsikäyttöisiä mittareita, valonheittimiä, poistumistiekylttejä, erilaisia valaisimia, referenssikuristimia, ohjekirjoja sekä muita laboratoriolle tarpeellisia tavaroita.



Kuva 41. Albertinkadun valaistuslaboratorion pohjapiirustus.



Kuva 42. Albertinkadun valaistuslaboratorion sähköpöydällä on DAS-2100-spektrianalysaattori, KI-125 Koehler-valonlähde sekä kaksi integroivaa palloa.



Kuva 43. Albertinkadun valaistuslaboratorion integroiva pallo.

Valaistuslaboratorion sähkökaapissa on jännitestabilisaattori sekä himmennin (kuva 44). Jännitestabilisaattori suojaa herkkiä mittalaitteita verkkojännitteen lyhytaikaisilta ali- ja ylijännitteiltä. Mittaustulokset pysyvät tasaisen jännitteen vuoksi myös vertailukelpoisina. Himmentimellä, eli säädettävällä vastuksella, voidaan säätää Metropolia Ammattikorkeakoulun julkisivun suurpainenatriumvalaisimien valaistusta.



Kuva 44. Albertinkadun valaistuslaboratorion jännitestabilisaattori ja himmennin.

6.1.2 DALI-järjestelmä Albertinkadun valaistuslaboratoriotilassa

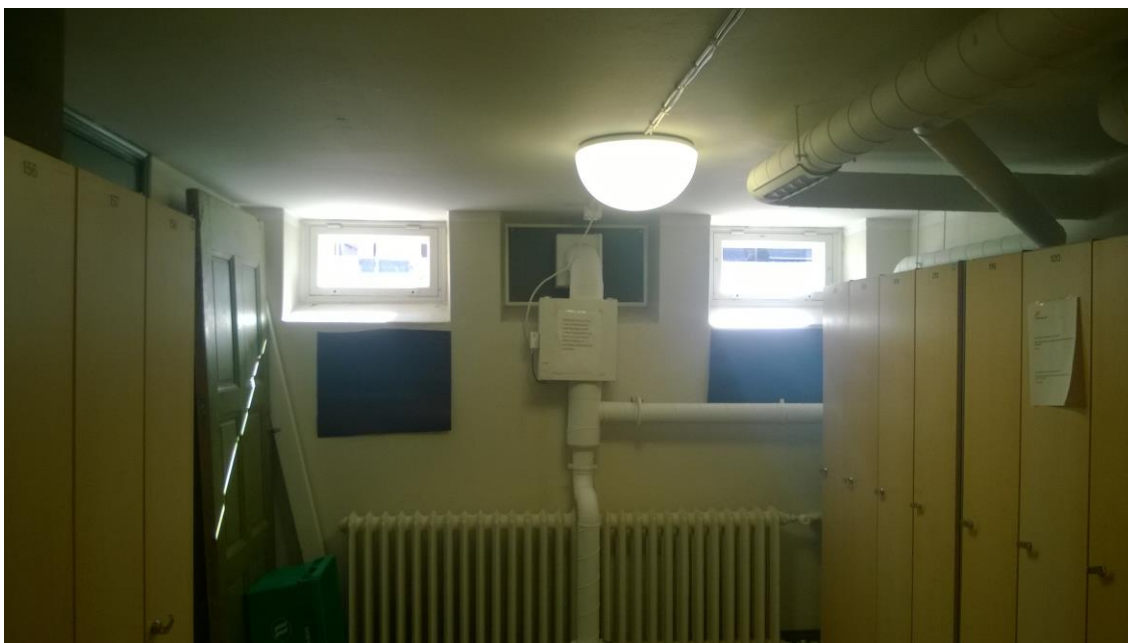
Valaistuslaboratorion yleisvalaistus on kytkettynä DALI-ohjausjärjestelmään, eli digitaaliseen valaistuksenohjausjärjestelmään. Albertinkadulla DALI-järjestelmän ohjaamiseen käytetään kahta 8-painikkeista ohjauspaneelia, joista toinen sijaitsee oven vieressä seinällä ja toinen integroivan pallon vieressä seinällä. Järjestelmään on ohjelmoitu kahdeksan erilaista asetusta valaisimille: täysi valaistus koko laboratorioon, työpisteiltä valot pois, neuvottelutilan valaistus himmennetty, mainoslevyjen valot pois, Ulbrichtin pallon läheisyydelle täysi valaistus, Ulbrichtin pallon läheisyydelle mittaustilasto, ei ohjausta ollenkaan ja valot pois. Albertinkadun DALI-järjestelmän sähköpiirustus sekä kuva ohjauspaneelista löytyy liitteestä 13. DALI-järjestelmästä on tarkemmin tietoa kappaleessa 6.3. [50.]

6.1.3 Albertinkadulla tehtävät käytävämittaukset

Valaistuslaboratoriotilan vieressä sijaitsee pitkä käytävä, jonka ikkunat voidaan peittää mittauksia varten. Käytävällä voidaan mitata esimerkiksi jalustalla olevalla luminanssimittarilla tarkkoja pisteluminanssimittauksia poistumistiekylteistä.



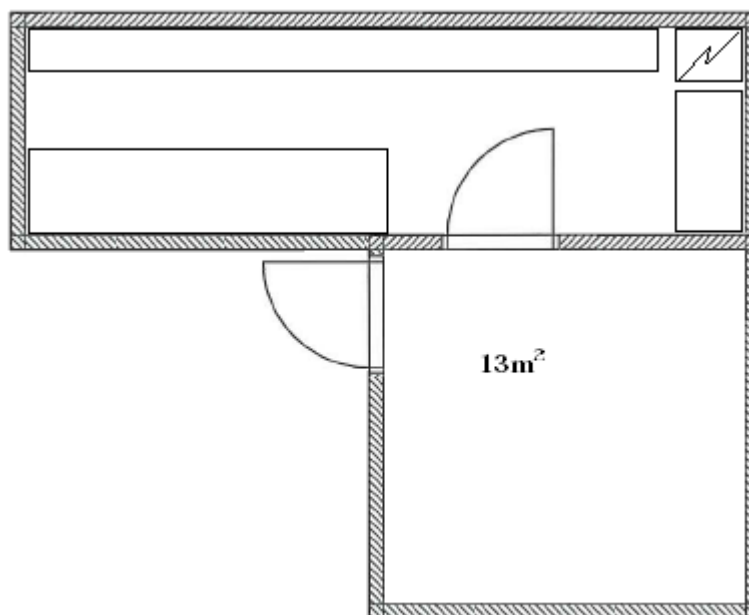
Kuva 45. Albertinkadun valaistuslaboratorion vieressä sijaitseva pitkä käytävä.



Kuva 46. Käytävän ikkunat voi peittää mustalla kartonkipaperilla.

6.1.4 Albertinkadun koevalaistushuone

Koevalaistushuone (kuva 47) sijaitsee koulun 4. kerroksessa. Koevalaistushuone on muodoltaan neliömäinen $3,6 \cdot 3,6$ metrin huone, jonka korkeus on 3,5 metriä. Tilan lattia on mustaa kumia ja seinät sekä katto on maalattu mattamustaksi. Huoneessa suoritettiin vuonna 1999 energiatehokkaiden avotoimistojen valaistusratkaisukilpailu, jonka vuoksi seinät ja ovet peitettiin peileillä 0,7 metrin korkeudelta lattiasta kattoon saakka. Peiliseinäisellä huoneella simuloitiin avotoimistoa, johon on sijoitettu suuri määrä identtisiä työpisteitä. Peilejä ei ole asennuksen jälkeen poistettu, joten peilit päätettiin peittää mustalla kartonkipaperilla. Musta kartonkipaperi ei ole materiaalina vaikuttanut mittaustuloksiin oppilaitoskäytössä verrattuna aikaisempaan mustaan seinään. Tilassa on välikatto (kuvat 48, 49 ja 50), johon voi asentaa valaisimia. Välikattoa voi liikuttaa korkeussuunnassa kolmella vinssillä. Välikatto on pinta-alaltaan hieman pienempi kuin huoneen pinta-ala, joten kokonsa vuoksi välikatto on jaettu kolmeen osioon, jotta vinssien käyttö on mahdollista. Korkeussuunnassa liikuttaminen mahdollistaa helpon valaisimien ja lamppujen vaihdon sekä eri mittaustilanteiden luomisen. Koevalaistushuoneesta pääsee varastotilaan, jossa sijaitsee jännitestabilisaattori sekä on säilytystilaa valaisimille. Valaisimille tarvitaan paljon varastotilaa, sillä valaisimet ovat herkkiä ja usein suuria. Myös esimerkiksi loisteputket ovat tilaa vieviä. Jännitestabilisaattori tuo stabiloitua jännitettä koevalaistushuoneen valaisimille.

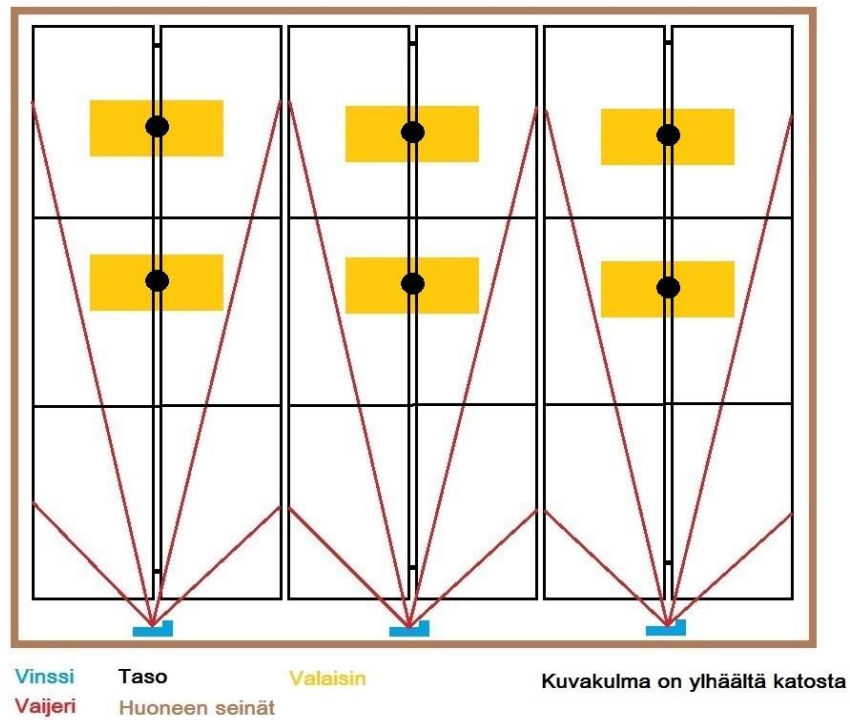


Koevalaistushuone ja varastotila

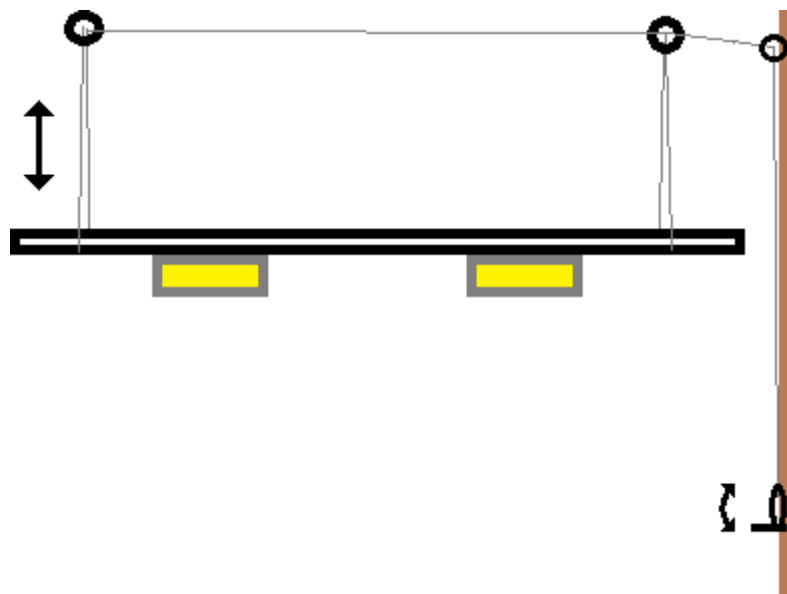
Kuva 47. Albertinkadun koevalaistushuoneen ja varastotilan pohjapiirustus.



Kuva 48. Albertinkadun koevalaistushuoneen liikuteltava välikatto, johon on kiinnitetty valaisimia.



Kuva 49. Albertinkadun vinssijärjestelmän toiminta yläpuolelta esitettynä. Välitasoä liikutetaan kolmen vinssin avulla.

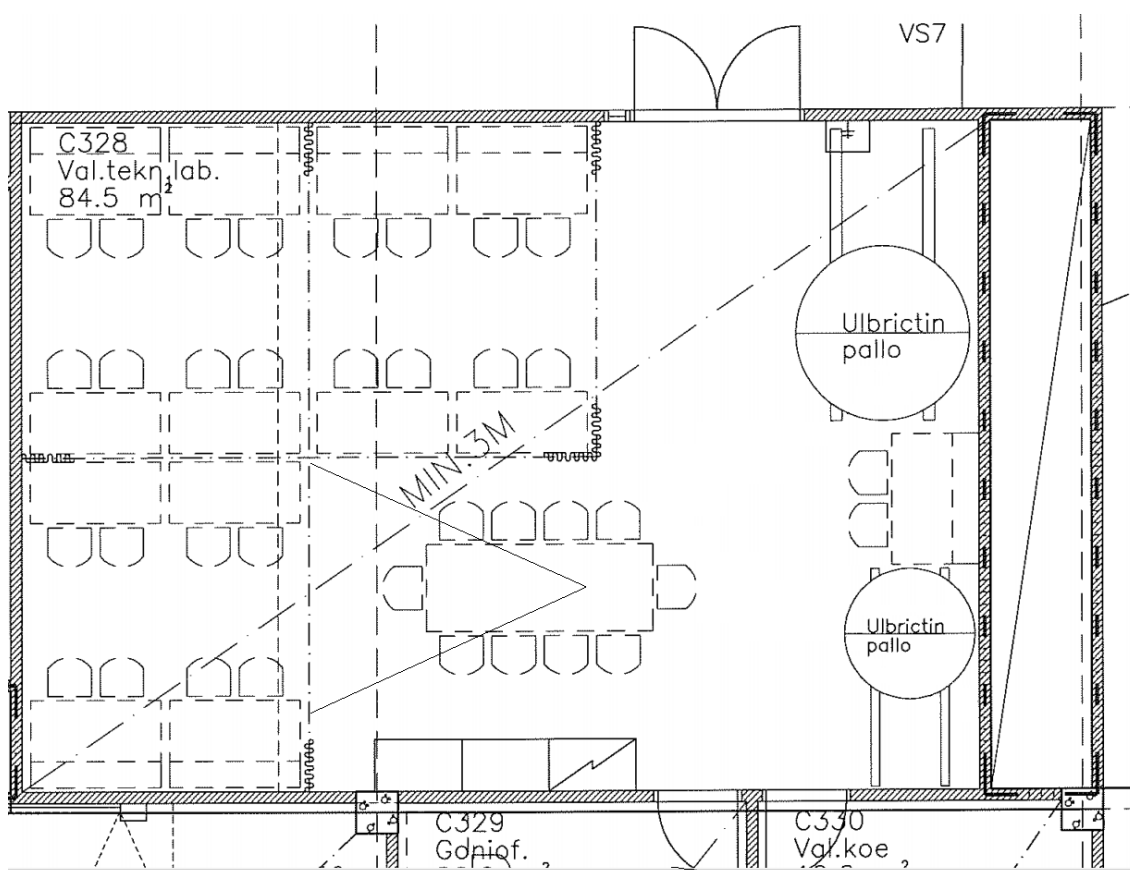


Kuva 50. Albertinkadun vinssijärjestelmän toiminta sivulta esitettynä.

6.2 Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäkeen tuleva toimipiste

6.2.1 Myyrmäen valaistuslaboratorion yleistila

Myyrmäen valaistuslaboratorio (kuva 51) on ikkunaton luokkatila, joka sijaitsee koulun toisessa kerroksessa. Tilassa sijaitsee kolme kahdeksan hengen työtilaa, jotka voidaan pimittää pimennysverhoihin kattoon asennettujen kiskojen avulla. Jokaisessa työtilassa on kaksi Teklab-sähköpöytää, eli yhteensä valaistuslaboratoriossa on kuusi sähköpöytää. Tilasta löytyy kaksi integroivaa palloa, joiden väliin on varattu pöytä tietokoneelle. Tietokoneeseen on kytkettyä spektrometri, jota käytetään mm. mitattaessa integroivilla palloilla. Integroivat pallot saavat stabiloitua jännitettä.



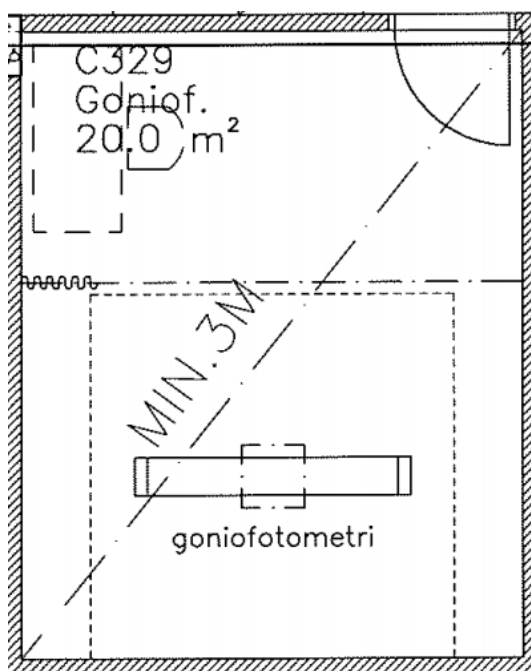
Kuva 51. Myyrmäen valaistuslaboratorion yleistilan pohjapiirustus.

Tilassa on sähkökaappi, jossa sijaitsevat Albertinkadulta peräisin olevat himmennin sekä jännitestabilisaattori. Jännitestabilisaattori tuo stabiloitua jännitettä integroiville palloille. Tilassa on myös muutama ylimääräinen stabiloitu pistoke tulevaisuuden varalle. Keskellä sijaitsevalle sähköpöydälle tuodaan sähkö katon kautta esimerkiksi asentamalla kevytrakenteinen tolppa sähköpöydän viereen. Jokaiselle sähköpöydälle

on oma RJ45-pistoke, jotta jokaisella sähköpöydällä on mahdollisuus langalliseen internet-yhteyteen tietokonetta käytettäessä. Neuvottelupöydän yläpuolella katossa on muutamia tavallisia sähköpistokkeita, muutama RJ45-pistoke, yksi 16 A:n 400 V:n pistoke sekä asennuspaikka videotykkille. Valkokangas on sijoitettu kuvassa videotykin osoittamaan suuntaan pimennysverhon viereen. Tilan seinillä on 32 A:n 400 V:n kolmivaihepistorasia jokaiselle sähköpöydälle normaalien pistorasioiden lisäksi. Tilasta löytyy oven vierestä yksi ylimääräinen 32 A:n ja yksi 16 A:n 400 V:n pistoke tulevaisuuden varalle. Valaistuslaboratoriossa on erikseen ohjattava valaistus DALI-valaistuksenohjausjärjestelmällä (kappale 6.3), joka mahdollistaa säädettävän yleisvalaistuksen moniin eri mittaustilanteisiin. Valaistuslaboratoriosta pääsee kulkemaan goniofotometrihuoneeseen (kappale 6.2.2) sekä koevalaistushuoneeseen (kappale 6.2.3).

6.2.2 Myyrmäen goniofotometrihuone

Goniofotometri on omassa 20,0 m² täysin pimennetyssä ikkunattomassa huoneessa. Huoneen pinnat ovat tummat sekä heijastamattomat, mikä koskee myös katossa olevien valaisimen pintoja eritoten goniofotometrin verhoillussa tilassa. Lattialle voi olla asetettuna tumma heijastamaton kumi- tai muovimatto. Goniofotometrit vaativat paljon tilaa myös korkeudelta ja huoneella on korkeutta 3,5 m. Tilassa on työpiste tietokoneelle, joka on eroteltuna goniofotometristä pimennetyllä verholla. On hyvin tärkeää, ettei goniofotometriin tule hajavaloa mittausten aikana. Tilassa on goniofotometrille varattu stabiloitu 16 A:n kolmivaihepistorasia ja sen lisäksi tavallisten pistorasioiden ja RJ45:n lisäksi yksi 32 A:n kolmivaihepistorasia tulevaisuuden varalle.



Kuva 52. Goniofotometrihuoneen pohjapiirustus.

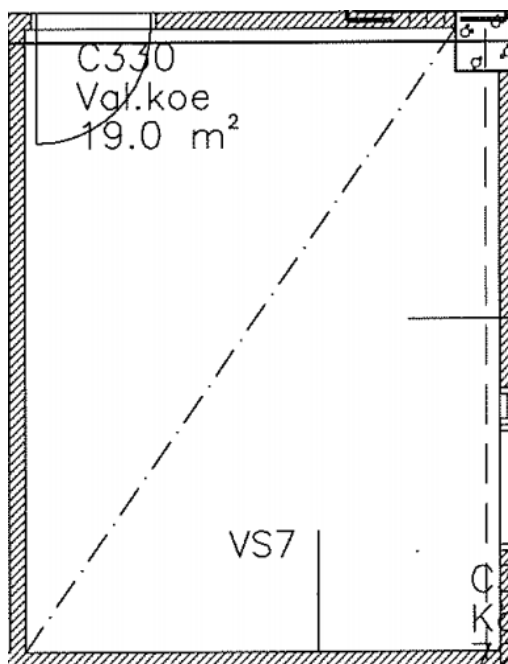
Myyrmäkeen on alustavasti valittu goniofotometriksi RiGO801 - 1500 (kappale 5.4 ja liite 9), joka on kolmesta RiGO801-mallista pienin versio. Se on pinta-alaltaan $2,7 \cdot 2,7$ metriä ja korkeudeltaan noin 3,3 metriä. Suurempi versio RiGO801-malleista ei huoneessa mahtuisi olemaan. Olisi hyvä jättää tilaa goniofotomerin ja seinän väliin mielellään 2,0 - 3,0 metriä vähentääkseen hajavalon vaikutusta seiniltä, mutta tässä huoneessa se ei ole mahdollista. Tällöin on huolehdittava seinän heijastuskertoimen olevan mahdollisimman pieni, jolloin ei virhearvoja pääse syntymään. Mattamustan pinnan heijastussuhde on 0,4 ja vähintään tähän on pyrittävä seinien suhteen. Goniofotometrihuoneeseen ei saa aiheutua ylimääräistä tärinää.

Goniofotometrin asentaminen

Goniofotometri kiinnitetään joko kattoon tai seiniin, tai molempiin, noin $0,5 \cdot 0,5$ metriä leveillä asennuslevyillä, jotka tasapainottavat goniofotometriä - ne eivät kannattele laitteen painoa. Goniofotometrin jalka pultataan lattiaan kiinni. Goniofotometrin fotometriä tulee sijoittaa siten, että se näkee vain mitattavan lampun tai valaisimen, jolloin fotometriä ei heijastu ylimääräistä valoa muualta kuin mitattavasta valonlähteestä. Verhoihin peitetyn goniofotometritilan tulee olla tumma ja heijastamaton kauttaaltaan. Loput huoneesta voi olla vaaleampaa, kunhan valoa ei tule verhojen sisälle goniofotometritilaan. RiGO801 goniofotometri tarvitsee virraksi 16 A ja jännitteeksi 230 V. Goniofotometri stabiloi itse saamansa jännitteen.

6.2.3 Myyrmäen koevalaistushuone

Tila on täysin pimennetty ikkunaton $19,0 \text{ m}^2$:n huone, jonka korkeus on 3,5 m. Huoneen pinnat ovat tummat sekä heijastamattomat, mikä koskee myös katossa olevien valaisimien pintoja. Lattialle voi asettaa tumman heijastamattoman kumi- tai muovimaton. Pintojen heijastamattomuus on tärkeää tilassa tehtävien mittausten kannalta.



Kuva 53. Myyrmäen koevalaistushuoneen pohjapiirustus.

Kattoon tulee erillinen korkeussuunnassa liikuteltava välikatto, johon asennetaan liitännät valaisimille. Välikatto tehdään valaisinkiskosta (kuva 54), valaisimet saavat katon kautta stabiloitua jännitettä. Kiskot maalataan mattamustiksi.



Kuva 54. Osuus xyrv-valaisinkiskoa. [52.]

Valaisinkiskotaso koostuu osista, jolloin siitä saa tilaan sopivan kokoisen. Välitaso on kooltaan noin 5,0 · 3,8 metriä, eli hieman huoneen pinta-alaa pienempi. Tasoon asennetaan ripustimet ja valaisinpistokkeet, joihin voi kiinnittää ja irrottaa valaisimia. Valaisinkiskotaso kiinnitetään kattoon kiinni monesta eri pisteestä vaijereilla, jotka ovat yhteydessä sähkökäyttöiseen vinssiin tai vaihtoehtoisesti moneen eri vinssiin. Vinssillä voidaan ohjata kaukokäyttöisesti vinssiä, jolla voi liikuttaa välikattoa tasaisesti korkeussuunnassa. Välikatto tulee saada niin alas, että valaisimien ja lamppujen vaihto onnistuu helposti maatasolta. Kattoon asennetaan neljä jännitestabiloitua pistoketta, joista välitasossa olevat valaisimet saavat virtansa.

6.2.4 Valaistuslaboratorion turvajärjestelmä

Valaistuslaboratorion tiloissa on omissa sähköinen lukitus ja kulunvalvonta, kuulutusjärjestelmä, automaattinen osoitteellinen paloilmoitusjärjestelmä, hätä-seis-painike sähköpöydille ja henkilöhälytys tietokoneelta. Hätä-seis-painike sähköpöydille löytyy myös sähkökaapista.

6.2.5 Myyrmäen toimipisteen mittalaitteet

Myyrmäkeen tulee siirtymään Albertinkadulla olevat mittalaitteet ja ne ovat sisällytetyt kappaleen 5 mittalaitteisiin, osa tosin vanhempina versioina. Uutena mittalaitteena

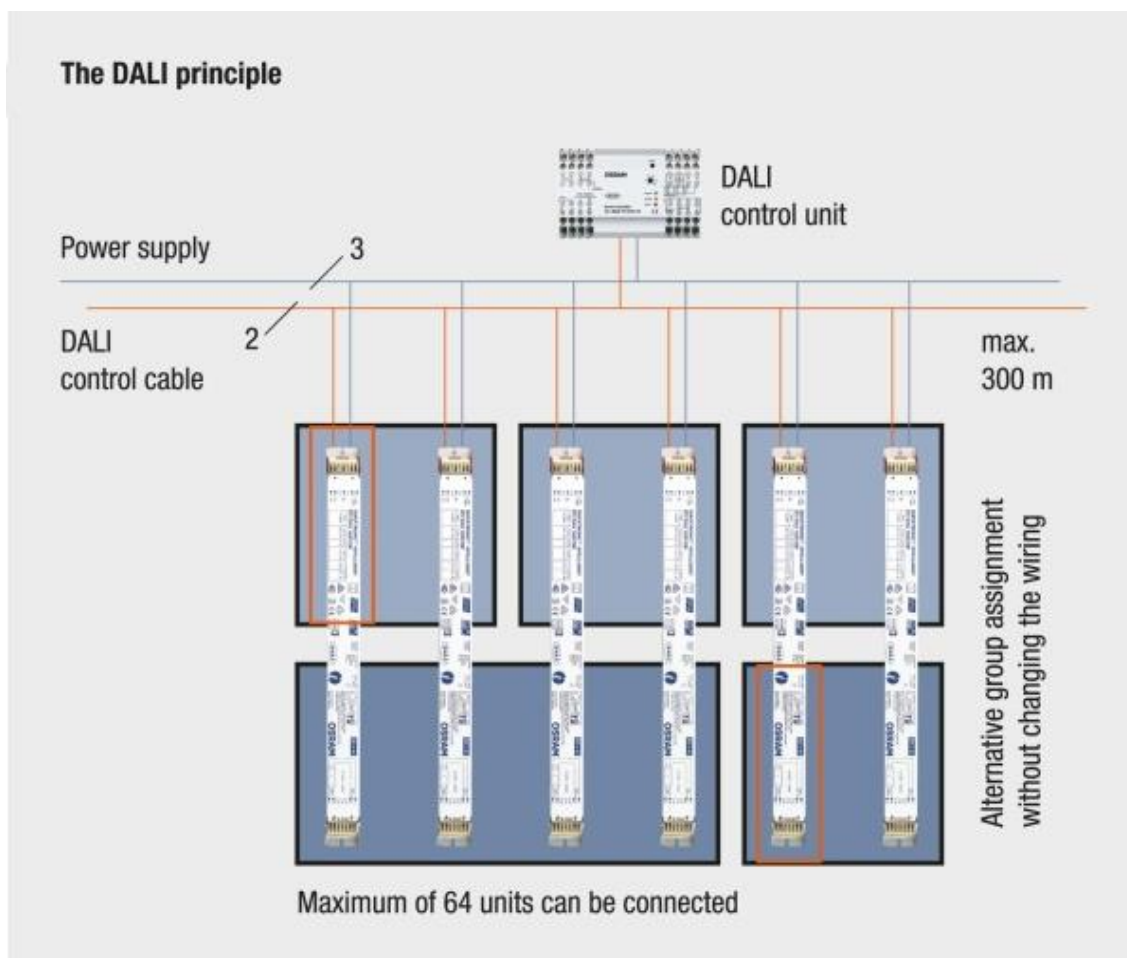
muuton yhteydessä tulee näillä näkymin olemaan RiGO801 – 1500-lähikenttägoniofotometri (kappale 5.4). Toiseksi uudeksi mittalaitteeksi suosittelisin Lighting Passportia (kappale 5.3.8). Se toisi hyvän lisän Myyrmäen mittauslaitteiden valikoimaan, sillä se on eri teknologiaa kuin muut tilassa olevat mittalaitteet.

6.3 Myyrmäkeen asennettava DALI-valaistuksenohjausjärjestelmä

6.3.1 DALI-järjestelmän toiminta

DALI on digitaalisen valaistusohjausjärjestelmän yleinen standardi, jolle on tarkkaan määritelty arvot (liite 14). DALI-järjestelmässä voidaan ohjata jokaista valaisinta ja muuta DALI-järjestelmän osaa yhdellä ohjauskaapelilla, joka on yhteydessä ohjausyksikköön. Jokaisella DALI-liitälaitteella on oma osoitteensa, joten yksittäisien valaisimien ohjaaminen on mahdollista DALI-ohjausyksikön kautta, esimerkiksi seinällä olevasta ohjauspaneelistä tai tietokoneella olevasta ohjelmistosta. [50; 51.]

DALI-järjestelmän toiminta perustuu siihen, että järjestelmän jokainen valaisin sisältää ohjattavan liitälaitteen, joihin ohjauskaapeli liitetään DALI-johdinparilla. Järjestelmään kuuluu myös muita osia, jotka kuluttavat DALI-järjestelmän virtaa, kuten ohjauspaneelit sekä sensorit. Järjestelmälle ei tarvita erillistä keskusyksikköä, vaan kaikki tarvittava tieto tallennetaan liitälaitteisiin. Jokaiseen liitälaitteeseen tallennetaan yksiköllinen osoite, ryhmätunnus tai -tunnukset, valaistustilanteen asetusarvot, häivytyssajat sekä valaistusarvo syttymishetkellä. DALI-järjestelmän käyttöönottamiseksi tarvitaan usein ohjelmointia. [50; 51.]



Kuva 55. DALI-järjestelmän toimintaperiaate. [53.]

Myyrmäen valaistuslaboratoriotiloihin asennetaan DALI-reititinjärjestelmä, joka eroaa tavallisesta DALI-järjestelmästä muokattavuuden ja monipuolisuutensa ansiosta. DALI-järjestelmän reitittimeksi tulee DIGIDIM-910, joka tukee kaikkiaan 128:aa DALI-laitetta ja jonka DALI-virransyöttö on yhteensä 500 mA, mutta virransyöttö on jaettu kahdelle DALI-aliverkolle 250 mA:ksi. Valaistuslaboratorion yleistilaan tulee yksi, esimerkiksi DIGIDIM-311-läsnäolosensori, joka toimii samalla DALI-järjestelmän kauko-ohjaimen IR-vastaanottimena. Tilaan tulevilla DIGIDIM-ohjauspaneelilla on myös omat IR-vastaanottimet, mutta yhdellä DALI-järjestelmällä on hyvä olla vain yksi IR-vastaanotin aktiivisena. DALI-järjestelmä on demokraattinen, eli järjestelmässä ei ole Master-yksikköä tai vastaavaa hierarkiaa, jolloin kauko-ohjaimen IR-käsky monelta eri IR-vastaanottimelta voi aiheuttaa järjestelmään häiriöitä. Yleistilaan tulee myös DIGIDIM-490-verhomoottoriohjain, jonka avulla tilan valkokangasta sekä goniofotometritilan pimennysverhoja voi sähköisesti ohjata. Tarvittaessa voi hankkia toisenkin verhomoottoriohjaimen työtilojen verhoille, mutta en näe tätä käytännössä

hyödylliseksi. Myyrmäen valaistuslaboratorion valaisimien ryhmittelystä sekä valonsäädöstä lisää liitteessä 15. [50; 51.]

6.3.2 Myyrmäen valaistuslaboratorion DALI-järjestelmän ohjaus ja käyttöliittymät

Myyrmäen valaistuslaboratorion jokaiseen huoneeseen asennetaan oma näppäinpaneeli - yleistilaan kaksi - joista valaistuslaboratorion tilojen valaistusta voi ohjata. Järjestelmää voi ohjata myös kauko-ohjaimella sekä tietokoneeseen asennetun ilmaisen TouchStudio-ohjelman avulla. TouchStudio on Helvarin kehittänyt ohjelma, jolla voi ohjata DALI-reititinjärjestelmää tietokoneelta tai tabletilta käsin. Ohjelma on ilmainen, joka toimii Windows-käyttöjärjestelmässä ja on ladattavissa Helvarin kotisivuilta. TouchStudiolla otetaan Ethernet-yhteys yhteys DALI-reititinjärjestelmään, jonka jälkeen järjestelmää voi ohjelmalla ohjata ja ohjelmoida. Ohjelmalla voi ohjelmoida valaistuslaboratorion tilan valaistustilanteet täysin uusiksi ja olisi myös opetuskäyttöön hyvä apuväline. TouchStudion käyttöliittymä on graafisesti muokattavissa, joten käyttöliittymän voi tehdä valaistuslaboratoriotilalle sopivaksi. [54; 55.]

7 Käytännön kokemukset muuttoprojektista insinööriyötä kirjoittaessa

Tapio Kallasjoki sai tarkistettavaksi Myyrmäen Metropolian toimipisteen rakennusprojektin arkkitehdiltä Markku Hietamaalta valaistuslaboratoriotiloja koskevat pohjapiirustukset sekä tilakortit. Teimme Tapion kanssa yhdessä tarvittavia muutoksia tilakortteihin sekä pohjapiirustukseen ja lähetimme päivitettyt tiedot Markulle takaisin. Muutoksien jälkeen olin muutaman kuukauden päästä yhteydessä Myyrmäen rakennusprojektin sähkösuunnittelijaan Minna Pänkäläiseen ja hänen kanssaan kävimme valaistuslaboratoriotiloja koskevia sähköpiirustuksia läpi. Arkkitehdille lähettämiin tilakortteihin emme aivan kaikkea tietoa laboratoriotiloista pystyneet Tapion kanssa kirjoittamaan, joten oli hyvä käydä tarkistamassa, onko sähköpiirustuksissa valaistuslaboratorion sisältöä koskevia ongelmia. Muutenkin oli hyvä käydä keskustelemassa valaistuslaboratorion tilankäytöstä ja tilaan liittyvistä ajatuksista. Toin sähköpiirustukset myös Tapio Kallasjoen sekä Maarit Ahosteen katseltavaksi ja teimme niihin muutamia korjausehdotuksia. Olen tyytyväinen, että olen päässyt vaikuttamaan tulevan Myyrmäen valaistuslaboratorion projektiin.

8 Yhteenveto

Myyrmäen toimipisteen valaistuslaboratoriotilat tulevat olemaan siellä opiskeleville hyvä oppimisympäristö. Tiloissa tulee olemaan kaikki tarvittava tekniikka valon mittaamiseen sekä valaistuksen ohjaamiseen liittyen, että oppilas tulee saamaan valaistuksesta todella hyvän pohjatiedon. Tiloissa voi myös suorittaa yrityksiensä kanssa yhteistyötä mittaamalla esimerkiksi valaisimia.

Opin insinööriyötä tehdessä valtavasti valon laadusta sekä valon mittaamisesta oikeilla menetelmillä ja oikeissa olosuhteissa. Myös laboratoriotilojen materiaalit, tilankäyttäminen, laitteistot, järjestelmät ja ympäristöt tulivat tutuiksi. Valon laadun merkitys on kasvanut lähivuosina jatkuvasti eikä sitä ole koskaan arvostettu yleisesti yhtä paljoa kuin nyt. Tulevaisuudessa sitä tullaan arvostamaan vieläkin enemmän kun ymmärretään paremmin valon positiiviset vaikutukset ihmiseen. Valo on myös siitä mielenkiintoinen, ettei sille ole absoluuttisesti parasta lopputilannetta missään tilanteessa, mutta voi kuitenkin pyrkiä mahdollisimman hyvään ratkaisuun. Mitattaessa valoa oikeilla menetelmillä, pystytään saavuttamaan jatkuvassa valaistustekniikan kehityksessä mahdollisimman hyviä valaistusratkaisuja. Elämme valaistuksen murrosaikaa.

Lähteet

- 1 IESNA. 2000. The IESNA Lighting Handbook, ninth edition.
- 2 What Is Electromagnetic Radiation? Verkkodokumentti.
<<http://www.livescience.com/38169-electromagnetism.html>>. Luettu 6.4.2016.
- 3 Pekanheimo, Ilkka. 2012. Kodin valaistusopas.
- 4 Human eye sensitivity and photometric quantities. Verkkodokumentti.
<<https://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/Sample-Chapter.pdf>>. Luettu 10.4.2016.
- 5 Fagerhult Oy. Valaistussuunnittelijan käsikirja. Verkkodokumentti.
<http://np.netpublicator.com/np/n30265811/tekniskinfo_fi_09.pdf> Luettu 7.4.2016.
- 6 Nimikkeitä ja termistöä. Verkkodokumentti. <<http://www.licon-at.fi/p2012/termistoa.html>>. Luettu 18.3.2016.
- 7 Tapio Kallasjoki luentomateriaali. Kevät 2013.
- 8 What today's consumers need to know about lumens. Verkkodokumentti.
<<http://www.theledlight.com/lumens.html>>. Luettu 23.1.2016.
- 9 Suomen Valoteknillinen Seura. <<http://www.valosto.com/>>. Luettu 20.12.2015.
- 10 Lähde: Measuring Light Levels. Verkkodokumentti.
<<http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/measuring-light-levels>>
Luettu: 22.4.2016
- 11 Onninen Oy. Valaistuskirja 2016-2017. Verkkodokumentti.
<<http://live.grano.fi/ejulkaisu/valaistuskirja/#p=1>> Luettu 20.4.2016
- 12 Konica Minolta Light Meters Catalogue. Verkkodokumentti.
http://www.konicaminolta.com/instruments/download/catalog/light/pdf/lightmeter_catalog_eng.pdf. Luettu 4.4.2016
- 13 Onko värintoistoindeksi CRI tärkeä lukema ja mitä se kertoo? Verkkodokumentti.
<<http://valokas.fi/fi/cri>>. Luettu 10.1.2016.
- 14 Understanding Standard Illuminants in Color Measurement. Verkkodokumentti.
<<http://sensing.konicaminolta.us/2013/11/understanding-standard-illuminants-in-color-measurement/>>. Luettu 10.1.2016.

- 15 Tapio Kallasjoki, Valoakatemia luentomateriaali. Kevät 2016.
- 16 Valaistuksen kokonaisvaikutelma ja valon väri. Verkkodokumentti. <<http://www.fagerhult.com/fi/Valaistustietoutta/LED/Valaistuksen-kokonaisvaikutelma-ja-valon-vari/>>. Luettu 10.1.2016.
- 17 How To Choose the Right LED Lighting Product Color Temperature. Verkkodokumentti. <<http://www.seesmartled.com/images/general/led-color-temperature.jpg>>. Luettu 2.2.2016.
- 18 Correlated Color Temperature (CCT). Verkkodokumentti. <<http://www.eyelighting.com/resources/lighting-technology-education/general-lighting-basics/correlated-color-temperature/>>. Luettu 20.1.2016.
- 19 Getting Colour Right: Improved Visual Matching with LED Light Sources. Verkkodokumentti. <<http://www.xicato.com/sites/default/files/documents/Getting%20Color%20Right,%20PLDC%202011.pdf>>. Luettu 27.4.2016.
- 20 The coverage of real surface colors by RGB color spaces and wide gamut displays. Verkkodokumentti. <http://www.tftcentral.co.uk/articles/content/pointers_gamut.htm>. Luettu 12.4.2016.
- 21 ANSI evaluates revisions to SSL chromaticity standard (MAGAZINE). Verkkodokumentti. <<http://www.ledsmagazine.com/articles/2011/07/ansi-evaluates-revisions-to-ssl-chromaticity-standard-magazine.html>>. Luettu 28.4.2016
- 22 Calculation of CCT and Duv and Practical Conversion Formulae Verkkodokumentti. <http://www.cormusa.org/uploads/CORM_2011_Calculation_of_CCT_and_Duv_and_Practical_Conversion_Formulae.PDF>. Luettu 11.4.2016.
- 23 Understanding Mesopic Photometry. Verkkodokumentti. <<http://agi32.com/blog/tag/sp-ratio/>>. Luettu 12.4.2016.
- 24 Aalto-yliopisto. Mesooppinen valaistusmitoitus. Verkkodokumentti. <<http://www.valopaa.com/file.php?fid=284>>. Luettu 8.4.2016.
- 25 Professional LED High bay lighting manufacturer. Verkkodokumentti. <<http://www.okled.com/blog/professional-led-high-bay-lighting-manufacturer/>>. Luettu 11.4.2016.
- 26 Techno Team. RiGO 801 Laboratory Requirements. Verkkodokumentti. <http://www.technoteam.de/apool/tnt/content/e5183/e5185/e5431/e5943/RiGO801-laboratory_requirements_en_eng.pdf> Luettu: 14.1.2016

- 27 Eino Tetri, Aalto-yliopisto, Valoakatemia luento. Kevät 2016.
- 28 Juha Vesa, SESKO, Valoakatemia luento. Kevät 2016.
- 29 Hamatsu. Si Photodiode Datasheet. Verkkodokumentti. <<https://www.hamamatsu.com/us/en/product/category/3100/4001/4103/S2386-5K/index.html>>. Luettu 10.4.2016.
- 30 Photomultiplier Tubes. Verkkodokumentti. <<http://www.olympusmicro.com/primer/digitalimaging/concepts/photomultipliers.html>>. Luettu 10.4.2016.
- 31 Labsphere. Diode Array Spectrometers. Verkkodokumentti. <http://host.web-print-design.com/labsphere/products/integrating_sphere_system_controls/diode_array_spectr.htm>. Luettu 9.11.2015.
- 32 Discover the Hidden Colors in Everyday Objects With This DIY Video Spectrometer. Verkkodokumentti. <<http://science.wonderhowto.com/how-to/discover-hidden-colors-everyday-objects-with-diy-video-spectrometer-0138905/>>. Luettu 9.11.2015.
- 33 Spectrum of Fluorescent Light. Verkkodokumentti. <<http://www.bealecorner.org/best/measure/cf-spectrum/>>. Luettu 11.2.2016.
- 34 Labsphere. KI-125 Koehler Illuminator. Verkkodokumentti. <http://host.web-print-design.com/labsphere/products/integrating_sphere_light_sources/koehler_illuminator.htm>. Luettu 9.11.2015.
- 35 Photometers and Photometric Sensors. Verkkodokumentti. <<http://www.gamma-sci.com/products/photometer/>>. Luettu 18.12.2015.
- 36 Työterveyslaitos. Valaistuksen mittaaminen ja arviointi. Verkkodokumentti. <http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/valaistuksen_mittaaminen/sivut/default.aspx>. Luettu 28.12.2015..
- 37 LMK mobile advanced. Verkkodokumentti. <http://www.technoteam.de/product_overview/lmk/products/lmk_mobile_advanced/index_eng.html>. Luettu 9.3.2016.
- 38 Techno Team. LMK Camera Photometer. Verkkodokumentti. <http://www.technoteam.de/apool/tnt/content/e5183/e5432/e5733/e6645/lmk_ma_web_en_eng.pdf> Luettu: 13.4.2016.

- 39 Lighting Passport Flagship Pro tekniset tiedot. Verkkodokumentti. <http://media.wix.com/ugd/b77a55_f6181a6f65374b259ee022d8138c73f1.pdf>. Luettu: 22.4.2016.
- 40 Via Tech, Valoakatemian luento. Kevät 2016.
- 41 Techno Team. Goniophotometer RiGO 801 General Specification. <http://www.technoteam.de/apool/tnt/content/e5183/e5185/e5431/e5914/Specification_RiGO801_1500_1800_2000_eng.pdf> Luettu: 14.1.2016.
- 42 Moving Mirror Goniospectroradiometer. Verkkodokumentti. <<http://t1.mcp.cn/oshpgngo/643064/moving-mirror-goniospectroradiometer.pdf>>. Luettu 8.3.2016.
- 43 LSG-2000. Verkkodokumentti. <<http://www.ledphotometer.com/product/goniophotometer-with-rotating-mirror.html>>. Luettu 26.12.2015.
- 44 GMS-2200 Goniophotometer with Pursuit Mirror. Verkkodokumentti. <<http://www.light-color.com/ProDetail.aspx?Prol=83>>. Luettu 27.02.2016.
- 45 Goniophotometer Movement. Verkkodokumentti. <<http://www.npl.co.uk/content/conmediafile/530>>. Luettu 26.12.2015.
- 46 RiGO 801. Verkkodokumentti. <http://www.technoteam.de/product_overview/goniophotometer/index_eng.html>. Luettu 26.12.2015.
- 47 GO-2000 Goniophotometer. Verkkodokumentti. <<http://www.everfine.net/productinfo.php?pid=75&fid=8>>. Luettu 26.12.2015.
- 48 Integrating Sphere Systems. Verkkodokumentti. <http://www.gamma-sci.com/products/integrating_spheres/>. Luettu 22.2.2016.
- 49 Measuring ultraviolet-visible light transmission of intraocular lenses: double-beam mode versus integrating-sphere mode. Verkkodokumentti. <<http://biomedicaloptics.spiedigitallibrary.org/article.aspx?articleid=1372934>>. Luettu 25.1.2016.
- 50 DALI-manual 2001. Verkkodokumentti. http://www.dali-ag.org/c/manual_gb.pdf Luettu 10.4.2016.
- 51 DALI – ammattimaisiin valaistusjärjestelmiin. Verkkodokumentti. <http://www.osram.fi/osram_fi/uutiset--tiedot/valonsaetaetoerjestelmae/teknologiat/dali/index.jsp>. Luettu 22.3.2016.

- 52 Systemal Presto kaapelihyllyt ja valaisinkiskot. Verkkodokumentti.
<http://www.netrauta.fi/attachments/products/slo/S-1441203/systemal_presto.pdf>. Luettu 22.1.2016.
- 53 DALI – a professional interface for all lighting components. Verkkodokumentti.
<http://www.osram.com/osram_com/news-and-knowledge/light-management-systems/technologies/dali/index.jsp?mkturl=dali>. Luettu 15.1.2016.
- 54 Modulaariset paneelit. Verkkodokumentti.
<http://www.helvar.fi/sites/default/files/product_datasheets/Helvar_13xx_Digidim_Modulaariset_paneelit_Datalehti_iss02_FI.pdf>. Luettu 28.4.2016
- 55 uSee Interface (8800). verkkodokumentti.
<http://www.helvar.fi/sites/default/files/product_datasheets/8800_uSee_datasheet_iss03.pdf>. Luettu 28.4.2016.

Valaistusvoimakkuusmittarien T-10A:n ja T-10MA:n tekniset tiedot [12.]

Main Specifications of T-10A

Model	Illuminance Meter T-10A (Standard receptor head)	Illuminance Meter T-10MA (Mini receptor head)	Illuminance Meter T-10W _S A (Waterproof mini receptor head)	Illuminance Meter T-10W _L A (Waterproof mini receptor head)
Type	Multi-function digital illuminance meter with detachable receptor head (Multi-point measurements of 2 to 30 points is possible)			
Illuminance meter class	Conforms to requirements for Class AA of JIS C 1609-1: 2006 "Illuminance meters Part 1: General measuring instruments" Conforms to DIN 5032 Part 7 Class B		Conforms to requirements for special Illuminance meters of JIS C 1609-1: 2006 *	
Receptor	Silicon photocell			
Relative spectral response	Within 6% (f_1) of the CIE spectral luminous efficiency $V(\lambda)$			
Cosine response (f_2)	Within 3%		Within 10%	
Measuring range	Auto range (5 manual ranges at the time of analog output)			
Measuring function	Illuminance (lx), illuminance difference (lx), illuminance ratio (%), integrated illuminance (lx·h), integration time (h), average illuminance (lx).			
Measuring range	Illuminance	0.01 to 299,900 lx; 0.001 to 29,990 fcd		1.00 to 299,900 lx; 0.1 to 29,990 fcd **
	Integrated illuminance	0.01 to 999,900 x 10 ³ lx·h 0.001 to 99,990 x 10 ³ fcd·h / 0.001 to 9999 h		
User calibration function	CCF (Color Correction Factor) setting function: Measurement value x 0.500 to 2.000			
Linearity	±2% ±1 digit of displayed value			
Temperature/humidity drift	Within ±3%			
Digital output	USB			
Analog output	1 mV/digit, 3 V at maximum reading; Output impedance: 10 K Ω ; 90% response time: 28 ms			
Display	3 or 4 Significant-digit LCD with backlight illumination (Automatic illumination)			
Power source	2 AA-size batteries / AC adapter AC-A308 (optional; for 1 to 10 receptors) or AC adapter AC-A311 (optional; for 1 to 30 receptors)			
Battery life	72 hours or longer (when alkaline batteries are used) in continuous measurement			
Operating temperature/humidity range	-10 to 40°C, relative humidity 85% or less (at 35°C) with no condensation		5 to 40°C, relative humidity of 85% or less (at 35°C) with no condensation	
Storage temperature / humidity range	-20 to 55°C, relative humidity 85% or less (at 35°C) with no condensation		0 to 55°C, relative humidity of 85% or less (at 35°C) with no condensation	
Dimensions	69 x 174 x 35 mm	Main body: 69 x 161.5 x 30 mm Receptor: \varnothing 16.5 x 13.8 mm		
Cord length	–	1 m	5 m	10 m
Weight (without battery)	200 g (7.0 oz.)	205 g	260 g (Receptor head only: 120 g)	340 g (Receptor head only: 200 g)

* Conforms to requirements for Class AA of JIS C 1609-1: 2006 for all items except cosine response (f_2).

**2 Although measurements below 1.00 lx are possible, they may not be stable due to the effects of electrical noise.

<Notes regarding mini receptors and waterproof mini receptors>

*Do not touch the cable during measurements. Doing so may result in unstable measurement values.

*Secure the cable during measurements. Failure to do so may result in unstable measurement values.

Värivalaistusvoimakkuusmittarin CL-200A-tekniset tiedot [12.]

Main specifications of Chroma Meter CL-200A

Model	Chroma Meter CL-200A
Luminance meter class	Conforms to requirements for Class AA of JIS C 1609-1: 2006 "Illuminance meters Part 1: General measuring instruments"
Relative spectral response	Closely matches CIE Standard Observer curves $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, and $z(\lambda)$ Within 6% (fi') of the CIE spectral luminous efficiency $V(\lambda)$
Cosine response (f_2)	E_V : Within 3%
Receptor	Silicon photocell
Measuring function	Tristimulus values: XYZ Chromaticity: E_{Vxy} ; $E_{Vu'v'}$; E_V , Dominant wavelength, Excitation purity Correlated color temperature: $E_V T_{CP} \Delta uv$; T_{CP} (JIS method; available only with CL-S10w) Color difference: $\Delta(XYZ)$, $\Delta(E_{Vxy})$, $\Delta(E_{Vu'v'})$, $\Delta E_V \Delta u'v'$ (Target: 1)
Other function	User calibration function, Data hold function, Multi-point measurement (2 to 30 points)
Measuring range	0.1 to 99,990 lx, 0.01 to 9,999 fcd (Chromaticity: 5 lx, 0.5 fcd or above) in four automatically selected ranges (lx or fcd is switchable)
Accuracy*	E_V (Linearity): $\pm 2\% \pm 1$ digit of displayed value xy : ± 0.002
Repeatability*	E_V : $0.5\% + 1$ digit (2σ), xy : ± 0.0005
Temperature drift	E_V : $\pm 3\% \pm 1$ digit of displayed value, xy : ± 0.003
Humidity drift	E_V : $\pm 3\% \pm 1$ digit of displayed value, xy : ± 0.003
Response time	0.5 sec. (continuous measurement)
Computer interface	USB
Printer output	RS-232C
Display	4-significant-digit LCD with back-light illumination
Operating temperature/humidity range	-10 to 40°C, relative humidity 85% or less (at 35°C) with no condensation
Storage temperature / humidity range	-20 to 55°C, relative humidity 85% or less (at 35°C) with no condensation
Power source	2 AA-size batteries / AC adapter AC-308 (optional; for 1 to 10 receptors) or AC adapter AC-311 (optional; for 1 to 30 receptors)
Battery life	72 hours or longer (When alkaline batteries are used) in continuous measurement
Dimensions	69x174x35mm (2-6/16x6-14/16x1-7/13in.)
Weight	215g (7.6 oz.) not including batteries

* 800 lx, Standard Illuminant A measured

Main specifications of Data Management Software CL-S10w

Type	Add-in for Excel® * Excel is required to use this add-in.
Operating environment	One of the following environments with Excel® installed: Windows® XP Professional 32 bit SP3, 64 bit SP2 + Excel® 2003 (English, Japanese, or Simplified Chinese) Windows® 7 Professional 32 bit, 64 bit + Excel® 2010 (English, Japanese, or Simplified Chinese) Windows® 8 Pro 32 bit, 64bit + Excel® 2010 or Excel® 2013 (English, Japanese, or Simplified Chinese) * For details on system requirements for above versions of Windows® and/or Excel®, refer to their respective specifications. * Languages in parenthesis () are the OS language. * Not compatible with 64-bit versions of Excel®.
Compatible instruments	CL-200A, CL-200*, CL-500A * Some functions not usable with CL-200.

CRI-valaistusmittarin CL-70F-tekniset tiedot [12.]

Main Specifications of CL-70F

Model	CRI Illuminance Meter CL-70F
Illuminance meter class	Conforms to requirements for Class A of JIS C1609-1 : 2006 "Illuminance meters Part1:General measuring instruments; Conforms to DIN 5032 Part 7 Class C
Sensor	CMOS linear image sensor
Spectral wavelength range	380 nm ~ 780 nm
Output wavelength pitch	1 nm
Measuring range	Constant light: 1 to 200,000 lx; 1,563 to 100,000 K (Chromaticity display requires 5 lx or more) Flash light: 20 to 20,500 lx·s; 2,500 to 100,000 K
Accuracy (Standard Illuminant A) (*1, 2)	E_v : $\pm 5\% \pm 1$ digit of displayed value xy : ± 0.003 (at 800 lx)
Repeatability (Standard Illuminant A) (*1)	E_v : 30 to 200,000 lx: 1%+1 digit; 1 to 30 lx: 5%+1 digit (*3) xy : 500 to 200,000 lx: 0.001 (*4) xy : 100 to 500 lx: 0.002 (*4) xy : 30 to 100 lx: 0.004 (*4) xy : 5 to 30 lx: 0.008 (*4)
Visible-region relative spectral response characteristics (f1')	Within 9%
Cosine correction characteristics (f2)	Within 6%
Temperature drift (f _T)	E_v : $\pm 5\%$ xy : ± 0.006
Humidity drift (f _H)	E_v : $\pm 3\%$ xy : ± 0.006
Power	2 AA-size batteries (Alkaline batteries or manganese dry cells); USB bus power
Response time	Constant light (Maximum): 15 sec Constant light (Minimum): 0.5 sec Flash light: 1 ~ 1/500 sec (in 1-step intervals) (*5)
Color indication modes	Correlated color temperature T_{cp} , Difference from blackbody Δuv , XYZ, xy , $u'v'$, Dominant wavelength λ_d , Excitation purity P_e , Spectral irradiance, E_v , CRI (Ra, Ri), Peak wavelength λ_p , exposure value
Other functions	Data memory: 999 data; Preset function; Auto power off function
Display languages	English, Japanese, Chinese (Simplified)
Interface	USB 2.0 Mini B
Operation temperature/humidity range	-10 to 40°C , relative humidity of 85% or less (at 35°C) with no condensation
Storage temperature/humidity range	-10 to 45°C , relative humidity of 85% or less (at 35°C) with no condensation
Size	73 (W)× 183 (H) × 27 (D) mm (Not including projecting buttons) D (max): 40 mm
Weight (without battery)	230 g

(*1) Measurement mode: Constant light (range L), Exposure time : AUTO

(*2) Linear for E_v (*3) 10 times measurement (2 σ) /Ave(*4) 10 times measurement (2 σ)

(*5) Shutter speed

Spektripohjaisen valaistusvoimakkuusmittarin CL-500-tekniiset tiedot [12.]

Model	Illuminance Spectrophotometer CL-500A
Illuminance meter class	Conforms to requirements for Class AA of JIS C 1609-1: 2006 "Illuminance meters Part 1: General measuring instruments" *1 Conforms to DIN 5032 Part 7 Class B
Spectral wavelength range	360 to 780 nm
Output wavelength pitch	1 nm
Spectral bandwidth	Approx. 10 nm (half bandwidth)
Wavelength precision	± 0.3 nm (Median wavelengths of 435.8 nm, 546.1 nm, and 585.3 nm *2 as specified in JIS Z 6724) *3
Measuring range	0.1 to 100,000 lx (chromaticity display requires 5 lx or more)
Accuracy *4,5 (Standard Illuminant A)	Ev (Illuminance) : $\pm 2\% \pm 1$ digit of displayed value xy: ± 0.0015 (10 to 100,000 lx) xy: ± 0.002 (5 to 10 lx)
Repeatability (2 σ) (Standard Illuminant A)	Ev: 0.5% + 1 digit xy: 0.0005 (500 to 100,000 lx) xy: 0.001 (100 to 500 lx) xy: 0.002 (30 to 100 lx) xy: 0.004 (5 to 30 lx)
Relative spectral response characteristic (f1')	Within 1.5% of spectral luminous efficiency V (A)
Cosine response (f2)	Ev: Within 3%
Temperature drift (fT)	Ev: $\pm 3\%$ of displayed value; xy: ± 0.003
Humidity drift (fH)	Ev: $\pm 3\%$ of displayed value; xy: ± 0.003
Measurement time	Super Fast mode: Approx. 0.2 sec. (when connected to computer); Fast mode: Approx. 0.5 sec.; Slow mode: Approx. 2.5 sec.; Automatic exposure time setting (high accuracy) mode: Approx. 0.5 to 27 sec.
Display modes	XYZ; X ₁₀ Y ₁₀ Z ₁₀ ; E _{xy} ; E _{uv} ' ⁵ ; E _v ; Dominant wavelength; Excitation purity; Correlated color temperature, Δu ; General color-rendering index (R _a); Special color-rendering indexes (R _i (i=1~15)); Spectral graph; Peak wavelength; Δ (XYZ); Δ (X ₁₀ Y ₁₀ Z ₁₀); Δ (E _{xy}); Δ (E _{uv} ' ⁵); Rank display
Other functions	Data memory: 100 data; User calibration function (when connected to computer); Continuous measurement (when connected to computer); Auto off function
Display languages	English, Japanese, Chinese (Simplified)
Interface	USB 2.0
Power	Rechargeable internal lithium-ion battery (Operating time per charge: Approx. 6 hours when new); AC adapter; USB power bus
Operating temperature/humidity range	-10 to 40°C, relative humidity of 85% or less (at 35°C) with no condensation
Storage temperature/humidity range	-10 to 45°C, relative humidity of 85% or less (at 35°C) with no condensation
Dimensions (W × D × H)	70 × 165 × 83 mm
Weight	350g

*1 For Section 7.6.3 Response Time, when measurement speed mode is set to FAST mode.

*2 For 585.3 nm, evaluation performed using substitute wavelength of 587.5 nm.

*3 Based on Konica Minolta test standards (change in temperature of 2°C or less after zero calibration).

*4 Automatic exposure time setting (high accuracy) mode

*5 Linear for Ev (Illuminance)

Luminanssimittarien LS-150 ja LS-160:n sekä väriluminanssimittarien CS-150 ja CS-160:n tekniset tiedot [12.]

Main Specifications

Model	LS-150	LS-160
Measuring angle	1°	1 / 3°
Optical system	SLR viewing system, f = 85 mm F2.8	
Angle of view	9° (with diopter adjustment)	
Relative spectral responsivity	Closely matches spectral luminous efficiency (V (λ))	
Applicable standard	DIN 5032-7 Class B compliant	(N/A)
Minimum measuring area (diameter)	14.4 mm (1.3 mm when close-up lens is used)	4.5 mm (0.4 mm when close-up lens is used)
Minimum measuring distance (From the measuring distance reference plane)	1,012 mm (213 mm when close-up lens is used)	
Measurement mode	Instantaneous value, maximum/minimum value, luminance difference (Δ)/luminance ratio (%)	
Measurement time	AUTO: 0.7 to 4.3 seconds Manual: 0.7 to 7.1 seconds	
Luminance unit	cd/m ² or fL	
Luminance range	0.001 to 999,900 cd/m ²	0.01 to 9,999,000 cd/m ²
Accuracy*1	±2% ± 2 digits (1 cd/m ² or less) ±2% ± 1 digit (1 cd/m ² or more)	±2% ± 2 digits (10 cd/m ² or less) ±2% ± 1 digit (10 cd/m ² or more)
Repeatability*1	0.2% + 1 digit	0.2% + 1 digit
Calibration standard	Konica Minolta standard/user-specified standard switchable	
User calibration channels	10 channels	
Data memory	1,000 data	
External display (Number of significant digits)	4 digits	
Internal display (Number of significant digits)	4 digits	
Interface	USB2.0	
Power	AA-size batteries (x2), USB bus power, or optional AC adapter	
Current consumption	When viewfinder display is lit: 70 mA average	
Operation temperature/humidity range	0 to 40°C, relative humidity of 85% or less (at 35°C)	
Storage temperature/humidity range	0 to 45°C, relative humidity of 85% or less (at 35°C)	
Size	71x214x154 mm	
Weight	850 g (without batteries)	
Standard accessories	Lens Cap Eyepiece ND Filter Eyepiece Cap AA-size batteries (x2) Hard Case CS-A12 Wrist Strap CS-A13 USB Adapter T-A15 Data Management Software CS-S20	
Optional accessories	Close-Up Lens No. 153/135/122/110 CCD Camera Adapter CS-A14 Illuminance Adapter CS-A15 AC Adapter AC-A305J/L/M	

* 1 Standard Illuminant A; Standard measurement distance; Measurement time setting: Auto

Main Specifications

Model	CS-150	CS-160
Measuring angle	1°	1/3°
Optical system	SLR viewing system, f = 85 mm F2.8	
Angle of view	9° (with diopter adjustment)	
Relative spectral responsivity	Closely matches CIE 1931 color matching function ($\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$)	
Minimum measuring area(diameter)	14.4 mm (1.3 mm when close-up lens is used)	4.5 mm (0.4 mm when close-up lens is used)
Minimum measuring distance (From the measuring distance reference plane)	1,012 mm (213 mm when close-up lens is used)	
Color notations	(Absolute value) L_v , x , y (Y , x , y), L_v , u' , v' , L_v , T_{cp} , duv , XYZ, L_v , $\lambda\lambda_d$, P_e	
Measurement mode	(Luminance) Instantaneous value, maximum/minimum value, luminance difference (Δ)/luminance ratio (%) (Chromaticity) Instantaneous value, chromaticity difference (Δ)	
Measurement time	Auto: 0.7 to 4.3 seconds Manual: 0.7 to 7.1 seconds	
Luminance unit	cd/m ² or fL	
Luminance range	0.01 to 999,900 cd/m ²	0.1 to 9,999,000 cd/m ²
Accuracy*1	(Luminance) $\pm 2\% \pm 1$ digit (Chromaticity) ± 0.004 (50 cd/m ² or more)	(Luminance) $\pm 2\% \pm 1$ digit (Chromaticity) ± 0.004 (50 cd/m ² or more)
Repeatability*1	(Luminance) 0.2% + 1 digit (Chromaticity) 0.001 (10 cd/m ² or more) (Chromaticity) 0.002 (5 cd/m ² or more)	(Luminance) 0.2% + 1 digit (Chromaticity) 0.001 (100 cd/m ² or more) (Chromaticity) 0.002 (50 cd/m ² or more)
Calibration standard	Konica Minolta standard/user-specified standard switchable	
User calibration channels	10 channels	
Data memory	1,000 data	
External display (Number of significant digits)	(Luminance) 4 digits (Max.) (Chromaticity) 4 digits	
Internal display (Number of significant digits)	(Luminance) 4 digits (Max.)	
Interface	USB2.0	
Power	AA-size batteries (x2), USB bus power, or optional AC adapter	
Current consumption	When viewfinder display is lit: 70 mA average	
Operation temperature/humidity range	0 to 40°C, relative humidity of 85% or less (at 35°C)	
Storage temperature/humidity range	0 to 45°C, relative humidity of 85% or less (at 35°C)	
Size	71x214x154 mm	
Weight	850 g (without batteries)	
Standard accessories	Lens Cap, Eyepiece ND Filter Eyepiece Cap AA-size batteries (x2) Hard Case CS-A12 Wrist Strap CS-A13 USB Cable T-A15 Data Management Software CS-S20	
Optional accessories	Close-Up Lens No. 153/135/122/110 CCD Camera Adapter CS-A14 Illuminance Adapter CS-A15 White Calibration Plate (for 45-0) CS-A20 AC Adapter AC-A305J/L/M	

*1 Standard Illuminant A; Standard measurement distance; Measurement time setting: Auto

Värluminanssimittarin CS-200-tekniset tiedot [12.]

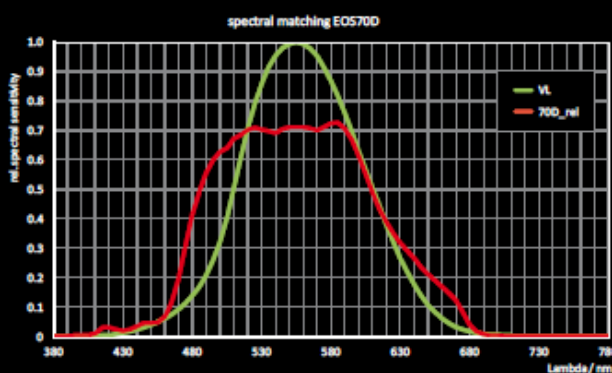
Specifications

Model	Chroma Meter CS-200		
Measurement range	0.01 - 200,000cd/m ² (Measuring angle 1°)		
	0.01 - 5,000,000cd/m ² (Measuring angle 0.2°)		
	0.01 - 20,000,000cd/m ² (Measuring angle 0.1°)		
Accuracy (Measuring angle 1°) *1	150 cd/m ²	L _v ±2 % ±1digit	xy ±0.002
(Standard Illuminant A; Temperature: 23°C±2°C, Relative humidity: 65% max.)	0.01-0.5 cd/m ²	L _v ±0.02 cd/m ² ±1digit	---
	0.5-1 cd/m ²	L _v ±0.02 cd/m ² ±1digit	xy ±0.007
	1-10 cd/m ²	L _v ±2 % ±1digit	xy ±0.004
	10-200,000 cd/m ²	L _v ±2 % ±1digit	xy ±0.003
	Light source at 5000 cd/m ² + color filter (R, G, B)		xy ±0.006
Repeatability (Measuring angle 1°) *2	0.01-1 cd/m ²	L _v 0.01 cd/m ² +1digit	--- (2σ/AUTO)
(Standard Illuminant A)	1-2 cd/m ²	L _v 0.5 % +1digit	xy 0.002 (2σ/AUTO)
	2-4 cd/m ²	L _v 0.5 % +1digit	xy 0.001 (2σ/AUTO)
	4-8 cd/m ²	L _v 0.5 % +1digit	xy 0.0005 (2σ/AUTO)
	8-200,000 cd/m ²	L _v 0.1 % +1digit	xy 0.0004 (2σ/AUTO)
Measurement time	AUTO (Automatically set between approx. 1s and 60s) LTD.AUTO (Automatically set to approx. 1s or 3s) Super-FAST (approx. 0.5 sec/meas.) FAST (approx. 1 sec/meas.) SLOW (approx. 3 sec/meas.) Super-SLOW (approx. 12 sec/meas.)		
Measurement method	Spectral method, Grating + linear photo diode array		
Measuring angle	1°, 0.2°, 0.1° (selectable)		
Minimum measuring area	0.5 mm 0.1 mm (close up lens)		
Minimum measuring distance	296 mm (Distance from front edge of metal lens barrel)		
Observer	2° or 10° Standard Observer		
Color space	L _v xy, L _v u'v', L _v TΔuv, XYZ, dominant wavelength		
Measurement synchronization setting range	Vertical synchronization frequency : 40.00 to 200.00 Hz		
Interface	USB 1.1		
Power	AC Adapter or 4 AA-Size Batteries		
Battery performance	Approx. 3 hours (continuous measurement / Fast mode / AA-size alkaline cells)		
Size (W x H x D)	95 x 127 x 334 mm		
Weight	1.8 kg (without battery)		
Operation temperature/humidity range	0°C to 40°C, relative humidity 85% or less (at 35°C) with no condensation		
Storage temperature/humidity range	0°C to 45°C, relative humidity 85% or less (at 35°C) with no condensation		

*1 23°C ±2°C L_v = 0.01-10 cd/m², SLOW, average of 30 measurements
L_v = 10 cd/m² and higher, SLOW, average of 10 measurements

*2 At 0.2° measuring angle, the amount of received light is approx. 1/25 of that for 1°. Therefore, the repeatability becomes the same as that for 1° with 25 times lower luminance.
At 0.1° measuring angle, the amount of received light is approx. 1/100 of that for 1°. Therefore, the repeatability becomes the same as that for 1° with 100 times lower luminance.

Kuvantavan luminanssimittarin kameran Canon 70M-tekniset tiedot [37.]

Sensor / Resolution	CMOS Canon APS-C with 5566(H) x 3706(V)																														
File format	14 Bit RAW - data as uncompressed Bayer structure																														
PC-Interface	CR2 image file transfer via USB 2.0 to the PC																														
Luminance image resolution	2748(H) x 1834(V)																														
Dynamic resolution	Single measurement: 1:4000 High-Dyn measurement: 1:32000 (1/1250 s < t _i < 8 s)																														
Selection of measuring range	selecting aperture value, exposure time and ISO speed																														
Measuring distance	> ca. 280mm																														
Focus	automatic focus / manual focus																														
Aperture values	F4 - F11 (calibrated for luminance measurements) in 1/3 steps																														
Focal length	17mm - 50mm stepless																														
Viewing angle	focal length 17mm: 65°(H) x 45°(V) focal length 50mm: 28°(H) x 19°(V)																														
Exposure time	30s - 1/1000s																														
Light sensitivity (typical full scale)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>aperture</th> <th>4</th> <th>4</th> <th>11</th> </tr> <tr> <th>ISO</th> <th>100</th> <th>1600</th> <th>100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>t_i = 0.001 s</td> <td>12 kcd/m²</td> <td>750 cd/m²</td> <td>90 kcd/m²</td> </tr> <tr> <td>t_i = 3.0 s</td> <td>4 cd/m²</td> <td>0.2 cd/m²</td> <td>30 cd/m²</td> </tr> </tbody> </table>	aperture	4	4	11	ISO	100	1600	100	t _i = 0.001 s	12 kcd/m ²	750 cd/m ²	90 kcd/m ²	t _i = 3.0 s	4 cd/m ²	0.2 cd/m ²	30 cd/m ²														
aperture	4	4	11																												
ISO	100	1600	100																												
t _i = 0.001 s	12 kcd/m ²	750 cd/m ²	90 kcd/m ²																												
t _i = 3.0 s	4 cd/m ²	0.2 cd/m ²	30 cd/m ²																												
V(λ)-matching	numerical transformation from R,G,B – sensor data  <p>spectral matching EOS70D</p> <p>Legend: V_L (green), 700_{rel} (red)</p>																														
Integral spectral mismatch in % for several lamp types / spectra	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Halogen metal discharge lamps</td> <td>2-9%</td> </tr> <tr> <td>High pressure sodium discharge lamp</td> <td>7-13%</td> </tr> <tr> <td>Fluorescent lamp</td> <td>8-10%</td> </tr> <tr> <td>LED white</td> <td>5-12%</td> </tr> </tbody> </table>	Halogen metal discharge lamps	2-9%	High pressure sodium discharge lamp	7-13%	Fluorescent lamp	8-10%	LED white	5-12%																						
Halogen metal discharge lamps	2-9%																														
High pressure sodium discharge lamp	7-13%																														
Fluorescent lamp	8-10%																														
LED white	5-12%																														
Calibration uncertainty ΔL in %	ΔL = 2.5% (standard illuminant A)																														
Repeatability ΔL in %	ΔL = 0.5 ... 2%																														
Uniformity ΔL in %	ΔL ± 2% (f ₂₂ ≤ 4%)																														
Measuring uncertainty ΔL in % (standard illuminant A)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIAv</th> <th>4</th> <th>5.6</th> <th>8</th> <th>11</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 ms</td> <td>6.6</td> <td>7.0</td> <td>7.2</td> <td>7.8</td> </tr> <tr> <td>2.5 ms</td> <td>5.0</td> <td>5.3</td> <td>5.5</td> <td>6.2</td> </tr> <tr> <td>25 ms</td> <td>4.8</td> <td>5.2</td> <td>5.4</td> <td>6.0</td> </tr> <tr> <td>0.25 s</td> <td>4.8</td> <td>5.2</td> <td>5.4</td> <td>6.0</td> </tr> <tr> <td>2.5 s</td> <td>4.8</td> <td>5.2</td> <td>5.4</td> <td>6.0</td> </tr> </tbody> </table>	TIAv	4	5.6	8	11	1 ms	6.6	7.0	7.2	7.8	2.5 ms	5.0	5.3	5.5	6.2	25 ms	4.8	5.2	5.4	6.0	0.25 s	4.8	5.2	5.4	6.0	2.5 s	4.8	5.2	5.4	6.0
TIAv	4	5.6	8	11																											
1 ms	6.6	7.0	7.2	7.8																											
2.5 ms	5.0	5.3	5.5	6.2																											
25 ms	4.8	5.2	5.4	6.0																											
0.25 s	4.8	5.2	5.4	6.0																											
2.5 s	4.8	5.2	5.4	6.0																											
Memory	SDHC card memory chip 16GB (ca. 21MB per image)																														
Operating system	Windows 10/8/7																														
Software	LMK LabSoft (monochrome luminance analysis software)																														

Lighting Passport Flagship Pro-mittalaitteen tekniset tiedot [39.]

Lighting Passport Flagship Pro

Mallinumero: VL LPFP



Tuotteen ominaisuudet:

- ▶ Maailman ensimmäinen älyspektrometri
- ▶ Kevyt ja monikäyttöinen
- ▶ Langaton tiedonkeruu
- ▶ Tarkat ja monipuoliset mittaustulokset
- ▶ Älylaiteyhteensopivuus (Apple, Android)
- ▶ Saatavana myös PC ohjelmisto

Käyttökohteet:

- ▶ Rakennusteollisuus
- ▶ Teollisuuden prosessit
- ▶ Maatalous
- ▶ Media- ja viihdeteollisuus



Tekniset tiedot

Valaisimen mitat (L x K x S)	68.5mm x 56mm x 17mm
Paino	76.5g
Aallonpituusalue	380 - 780nm
Mittausalue	Mitattava: 5 - 50,000lux / Luotettava kromaattisuus: 50 - 50,000lux
Lähtöaallonpituus	1nm
Optinen tarkkuus (FWHM)	8nm
Toistettavuus (2σ)	x,y: <0.001
Tarkkuus (@1,000lux standardi valonlähde)	x,y ±0.002 / CCT ±2% / Valaistusvoimakkuus ±3%
Integrointiaika	6ms - 16s
Toimintalämpötila / Kosteusalue	0°C ~ +35°C, suhteellinen kosteus alle 80% ilman kondensaatiota
Varastointilämpötila / Kosteusalue	-10°C ~ +45°C, suhteellinen kosteus 85% tai vähemmän (@ 35°C) ilman kondensaatiota
Tarvikkeet	Adapteri, laturi (lisävarusteena: suojakassi ja jalusta)
Ohjausjärjestelmä	iOS (iPhone 4S/uudempi) / Android (Android 4.4.2/uudempi BLE BT4.0 tuella)
Näyttö	N/A. Käyttö älylaitteen kautta
Kielet	englanti, saksa, ranska, venäjä, italia, kiina, japani, suomi (2016/07)
Kalibrointi ja akun vaihto	Ainoastaan maahantuojan kautta
Flagship ominaisuus	iPod Touch 5 metallikuoressa

Pro ominaisuudet

Välkyntätunnistin (±5% tarkkuus): välkyntätaajuus (5-200Hz), välkyntäprosentti, välkyntäindeksi / lämpötilan ja suhteellisen kosteuden tunnistus / parannettu akun kesto ja akun lataustilan hälytys / USB ja Bluetooth yhteys (PC SDK:n kautta) / tarkkuustila / PC ohjaus (käytettäessä PC mittausta) / tulosten jakaminen sosiaalisessa mediassa

Goniofotometrin RiGO801 – 1500-tekniset tiedot [41.]

Goniofotometrin kehikon, mittauskennon sekä spektrometrin tekniset tiedot.

Goniometer RiGO801 - 1500

Specifications

Size of measuring object:	≤ 1500 mm (luminous area)
Space required:	$L \times W \times H = \leq 2900 \times 2900 \times 3300$ mm ³
Travel path:	$\varphi = 0^\circ \dots 360^\circ$ $\delta = 8.5^\circ \dots 351.5^\circ$ (hanging test object support) $\delta = -171.5^\circ \dots 171.5^\circ$ (upstanding test object support)
Installation	The goniometer mechanic needs a stable upper fixing point. For this purpose a fixing plate is supplied with the goniometer that has to be mounted to an upper construction connected to the ceiling or/and side walls. This construction is part of the customer. The foot of the goniometer needs to be bolted to the floor.

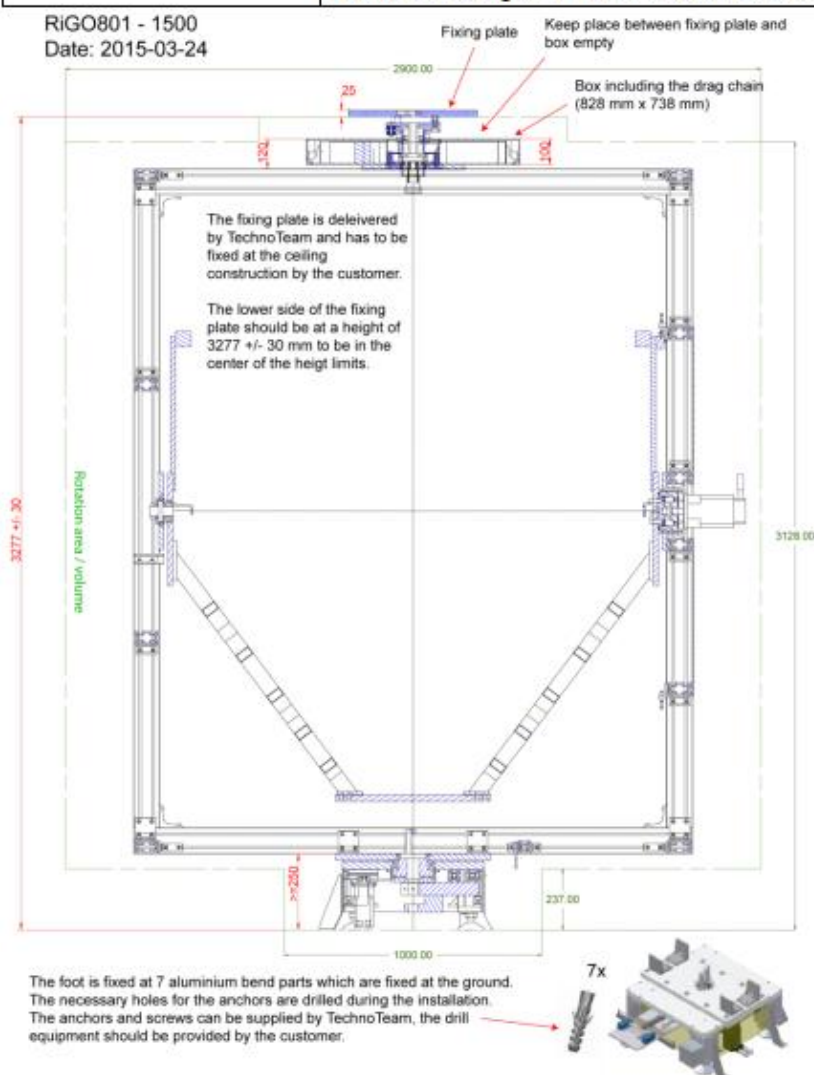


Figure 4: Drawing showing the height range of the fixing plate



Figure 14: LMK98 - 4

Specifications:

Type	Kappa DX 4
Sensor	CCD Sony ICX 285 AL (2/3")
Full Resolution (effective pixel)	1390 (H) x 1040 (V)
Binning resolution in RiGO801 mode (effective pixel)	695 (H) x 519 (V)
Video signal	12 bit digital, progressive scan, data transfer with CameraLink interface (max. 20m PC-cable)
Video signal in RiGO801 mode (digital binning)	13 bit digital, progressive scan, data transfer with CameraLink interface (max. 20m PC-cable)
Dynamic (luminance-measurement)	Single picture measurement: 1:1100 (~ 61 dB) Multi picture measurement: 1:3600 (~71 dB) High Dynamic measurement: 1:10000000 (~ 140 dB)
Measurement values	Luminance: L (cd/m ²) Further measuring quantities can optionally be defined via scaling factors
V(λ) adaption	V(λ) – full filter-adapted, f1' typical < 3.5 %
Measuring range	Setting the luminance measuring ranges by choosing the integration time from 100 μs... 15 s Accuracy rating depending on lens (aperture number = k), e.g.:
	1ms ~ 1800 cd/m ² & 3s ~ 0.6 cd/m ² (k = min.) 1ms ~ 60000 cd/m ² & 3s ~ appr. 20 cd/m ² (k = max.) Higher luminances can be achieved using optional neutral density filters.
Calibration uncertainty ²	fix focused lenses ΔL [< 2%]
Repeatability ³	ΔL [< 0.1%]
Measuring accuracy	ΔL [< 3% (for standard illuminant A)]
Uniformity	ΔL [< 2%]

Spectrometer JETI Specbos 1211-LAN



Figure 18: Spectrometer Specbos 1211-LAN

Short specifications

Optical Parameters	
Spectral range:	350 nm - 1000 nm
Optical bandwidth:	4.5 nm
Wavelength resolution:	1 nm
Digital electronic resolution:	16 Bit ADC (15 Bit used)
Measuring values:	<ul style="list-style-type: none"> • Spectral radiance • Total luminance/ total radiance • Total illuminance/ total irradiance • Chromaticity coordinates $x, y; u', v'$ • Correlated Color Temperature, color purity • Color Rendering Index, RGB • Circadian metrics, Photosynthetically Active Radiation
Measuring ranges and accuracy	
Measuring range luminance:	0.1 - 2500 cd/m ² (higher values with optional filter)
Measuring range illuminance	2 - 10 000 lx
Luminance accuracy	± 2 % @ 1000 cd/m ² and 2856 K
Luminance reproducibility	± 1 %
Chromaticity accuracy	± 0.002 x, y @ 2856 K
Color reproducibility	± 0.0005 x, y
CCT reproducibility	± 20 K @ 2856 K
Wavelength accuracy	± 0.5 nm
Other technical data	
Interface:	Ethernet
Dimensions	180 mm * 82 mm * 53 mm
Dispersive element	Imaging grating (flat field)

Kaukokenttägoniometriin LSG-2000-tekniset tiedot [42.]

4. Specifications

- 1) The tested luminaries rotates around the mirror with an angle of $(\gamma)\pm 180^\circ$ (or 0-360°) and the tested luminaries rotates around itself with an angle of $(C)\pm 180^\circ$ (or 0-360°)
- 2) The accuracy of angle: 0.0016° Resolution of angle: 0.01°
- 3) Luminosity Testing Range: Illuminance 0.001lx~99,999lx; Light Intensity 1.0cd~ 10^7 cd(detector)
- 4) Accuracy of photometry: CIE Class A or Class L (option)
- 5) Testing Accuracy: 2%(Under Standard lamp); Stray Light: less than 0.1%
- 6) English version software can run in WinXP or Win7

Model Number	LSG-2000B (Big Size)	LSG-2000 (Standard Size)	LSG-2000S (Small Size)
Measure Non-Flood Lamp	Φ1600*800mm, 50kg	Φ1400*500mm, 40kg	Φ1000*460mm, 30kg
Measure Flood Lamp	600*600mm, 50kg	600*600mm, 40kg	400*400mm, 30kg
Measure Power(W)	600V/10A, AC/DC	600V/10A, AC/DC	600V/10A, AC/DC

GS-IS-integroivan pallon eri mallien tekniset tiedot [48.]

Integrating Sphere Selection Chart

Model	Diameter	Coating	Internal Baffles
GS-IS1	1 inch / 25 mm	PTFE or Barium-Sulfate	No
GS-IS1.5	1.5 inch / 38 mm	PTFE or Barium-Sulfate	No
GS-IS4	4 inch / 100 mm	PTFE or Barium-Sulfate	Yes
GS-IS6	6 inch / 150 mm	PTFE or Barium-Sulfate	Yes
GS-IS8	8 inch / 200 mm	PTFE or Barium-Sulfate	Yes
GS-IS12	12 inch / 300 mm	Barium-Sulfate	Yes
GS-IS12-TLS-H	12 inch / 300 mm	Barium-Sulfate	Yes
GS-IS20	20 inch / 500 mm	Barium-Sulfate	Yes
GS-IS40	40 inch / 1000 mm	Barium-Sulfate	Yes
GS-IS60	60 inch / 1500 mm	Barium-Sulfate	Yes
GS-IS80	80 inch / 2000 mm	Barium-Sulfate	Yes
Standard Port Locations			
2 port	0° and North Pole or 0° and 90°		
3 port	0°, 90° and North Pole		
4 port	0°, 90°, 270° and North Pole		
5 port	0°, 90°, 180°, 270° and North Pole		

Multi-Purpose Integrating Sphere
Selection Chart

Model Number	Diameter(in)	Coating	Entrance/Exit	90°	North Pole	180°
GS-IS-010-MP-3P-B	1	Barium Sulfate	0.25	0.25	0.25	
GS-IS-010-MP-3P-T	1	Teflon(PTFE)	0.25	0.25	0.25	
GS-IS-010-MP-4P-B	1	Barium Sulfate	0.25	0.25	0.25	0.25
GS-IS-010-MP-4P-T	1	Teflon (PTFE)	0.25	0.25	0.25	0.25
GS-IS-020-MP-3P-B	2	Barium Sulfate	1	0.5	0.5	
GS-IS-020-MP-3P-T	2	Teflon(PTFE)	1	0.5	0.5	
GS-IS-020-MP-4P-B	2	Barium Sulfate	1	0.5	0.5	0.5
GS-IS-020-MP-4P-T	2	Teflon(PTFE)	1	0.5	0.5	0.5
GS-IS-040-MP-3P-B	4	Barium Sulfate	1.5	1	1	
GS-IS-040-MP-3P-T	4	Teflon(PTFE)	1.5	1	1	
GS-IS-040-MP-4P-B	4	Barium Sulfate	1.5	1	1	1
GS-IS-040-MP-4P-T	4	Teflon(PTFE)	1.5	1	1	1
GS-IS-060-MP-3P-B	6	Barium Sulfate	2.5	1	1	
GS-IS-060-MP-3P-T	6	Teflon(PTFE)	2.5	1	1	
GS-IS-060-MP-4P-B	6	Barium Sulfate	2.5	1	1	1
GS-IS-060-MP-4P-T	6	Teflon(PTFE)	2.5	1	1	1

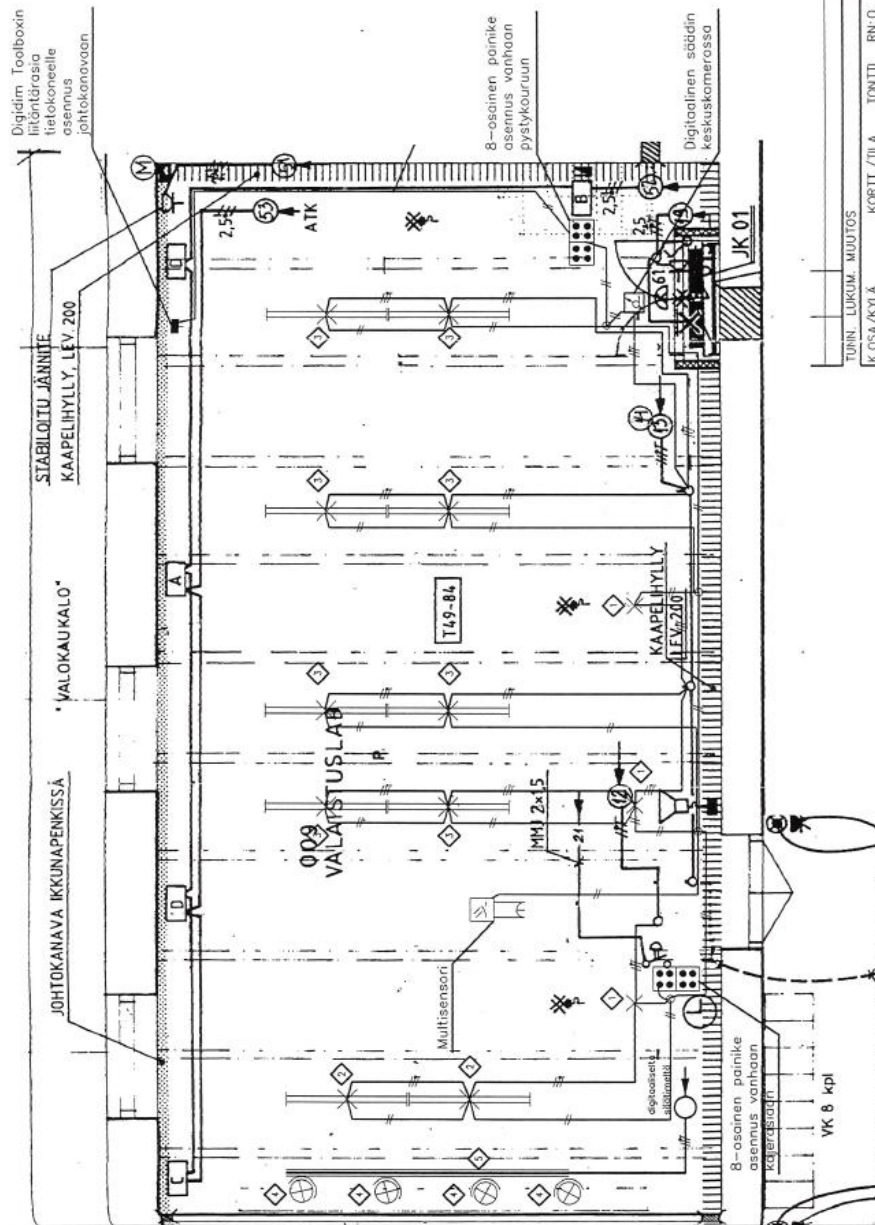
DAS-2100-spektrianalysoittorin tekniset tiedot [31.]

Pahoittelut alla olevan taulukon virheellisistä symboleista. Taulukko on otettu Labspheren virallisilta internetsivuilta, eikä vanhasta DAS-2100-spektrianalysoittorista löytynyt parempaa teknisten tietojen lähdettä.

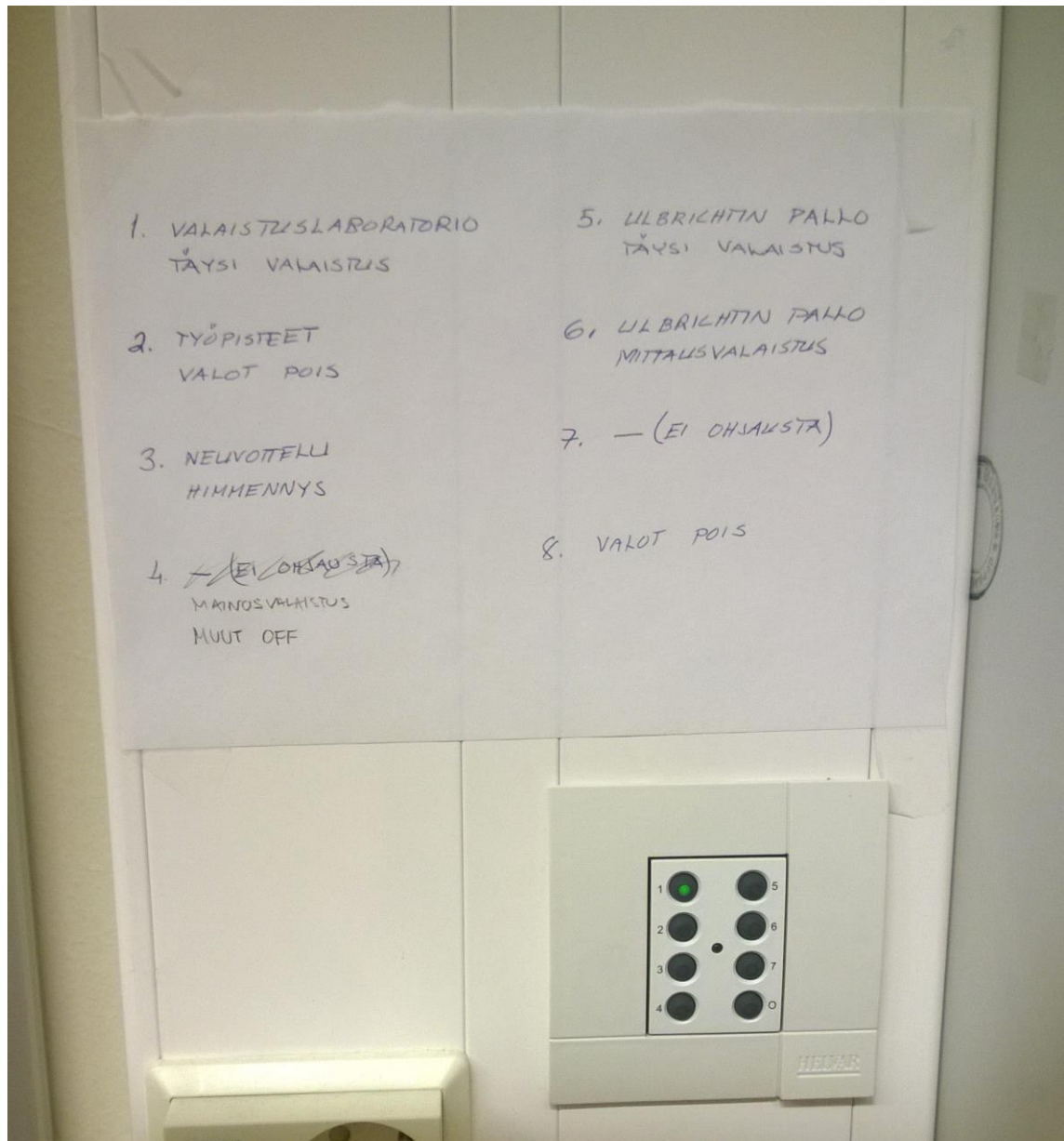
SPECIFICATIONS AND ORDERING INFORMATION

PART NUMBER	DAS-1100	DAS-2100
Spectral Range:	390-760 nm	350-1050 nm
Spectral Resolution:	2 nm	2 nm
Wavelength Accuracy:	<0.5 nm	<0.5 nm
Number of Pixels:	1024	2048
Concave Holographic Gratings:	One (1)	Two (2)
Detector:	TE-cooled	TE-cooled
TE Temperature Fluctuation:	±0.05°C	±0.05°C
TE Temperature Drift:	±1°C	±1°C
Exposure Time (min-max):	100 ms - 60 s	100 ms - 60 s
A/D Converter:	16 bits	16 bits
Fiber Optic Bundle Diameter:	0.8 mm	1.0 mm
Fiber Optic Numerical Aperture:	0.22	0.22
Fiber Optic Connector:	SMA	SMA
Fiber Optic Cable Length (min):	3 feet	3 feet
Electrical Interface:	DB-9 Connector	DB-9 Connector
Operating Environment:	0°C - 50°C; 0% - 70% Relative humidity @ 35°C	0°C - 50°C; 0% - 70% Relative humidity @ 35°C
Computer Interface:	RS-232C	RS-232C
Auto range/Auto dark:	Included	Included
Dimensions (inches) (WxDxH):	16.73 x 16 x 5.2	16.73 x 16 x 5.2
Weight:	20 lbs (9.09 kg)	23 lbs (10.45 kg)

Albertinkadun DALI-järjestelmän sähköpiirustus sekä ohjauspaneeli



TYÖN LUKUM. MUUTOS	KORTTI / TILA	TONTTI	RK:0	NIMM. PVM
K.054/KYLÄ	VALAISTUS SANEERAUS SÄHKÖPIIRUSTUS			MK:
HELSINGIN AMMATTIKORKEAKOULU				
ALBERTINKATU 40-42				
VALAISTUSLABORATORIO B009				
00180 HELSINKI				
PIIRT.	SLUNN. MHS	TYÖN N:O	PIIRUSTUKSEN N:O	MUUTOS
P.WL. B.5.02	TARK.		SÄH	



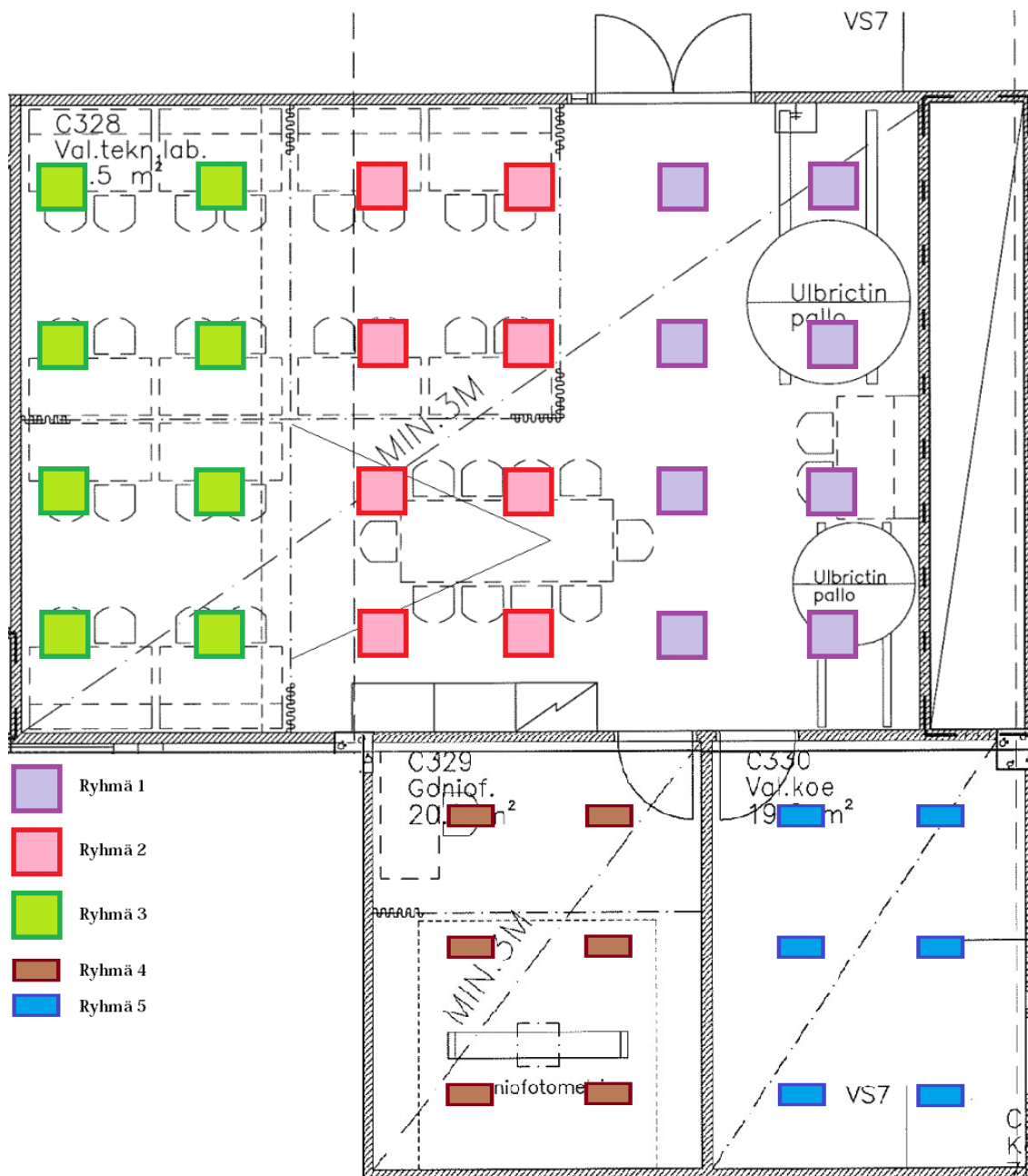
Yhden DALI-systeemin, aliverkon, standardiarvot

DALI-reitittimiä, -toistimia tai -virtalähteitä voi olla yhdessä DALI-järjestelmässä monia, jotka kasvattavat järjestelmän suuruutta. Standardi koskee DALI-järjestelmässä olevia DALI-aliverkkoja.

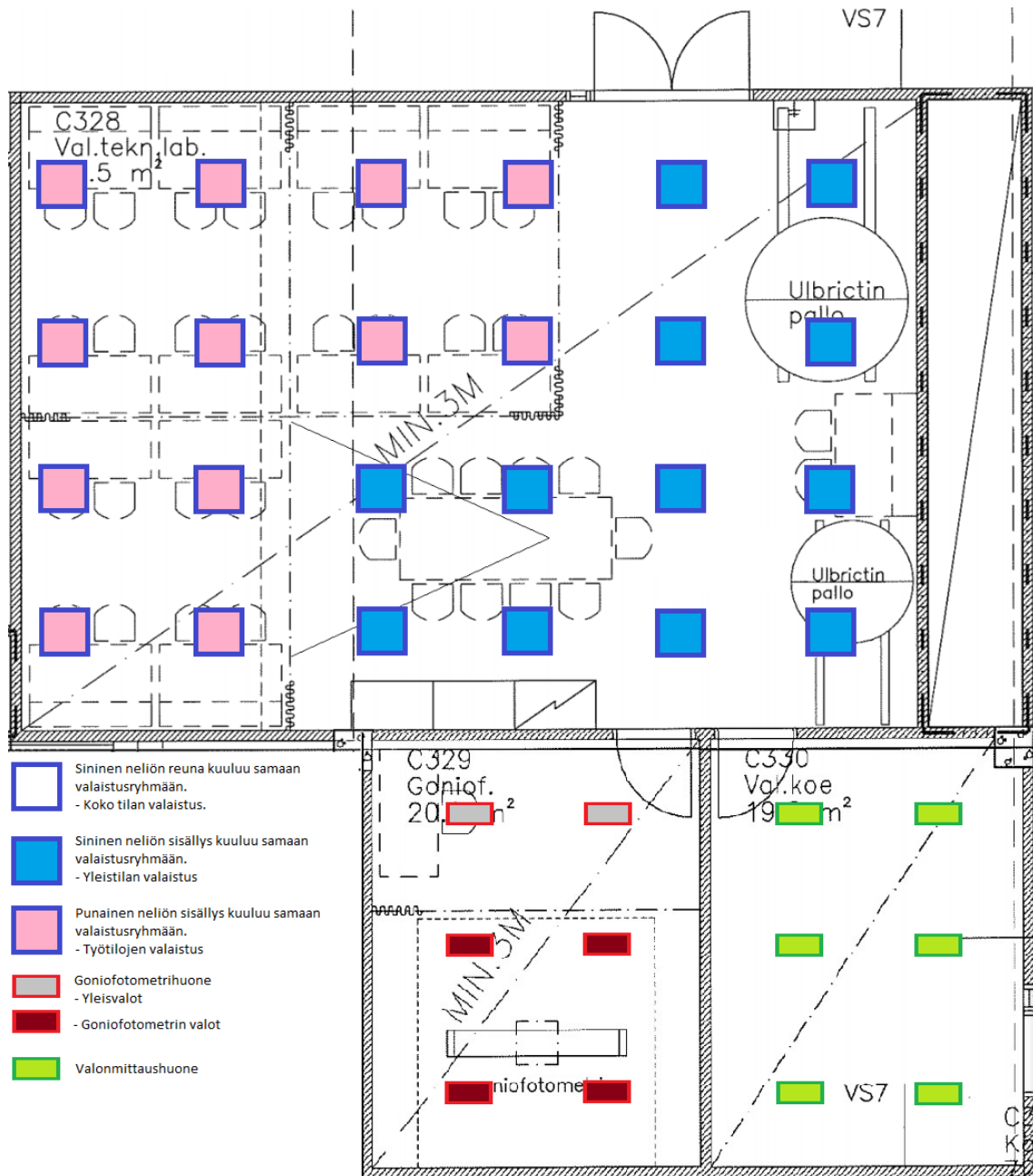
Laitteiden maksimaalinen määrä yhdessä systeemissä	64
Valaistusryhmien määrä yhdessä järjestelmässä	16
Datasiirtonopeus	1200 bittiä/sekunnissa
Datasiirto menetelmä	Manchester (bi-phase)
Alempi jännitetaso	Nimellisarvo 0 V Lähetävä yksikkö -4,5 V - 4,5 V Vastaanottava yksikkö -6,5 V - 6,5 V
Ylempi jännitetaso	Nimellisarvo 16 V Lähetävä yksikkö 11,5 V - 20,5 V Vastaanottava yksikkö 9,5 V - 22,5 V
Maksimaalinen jännitteenalenema ohjauspiirissä	2 V
Maksimaalinen ohjauskaapelin pituus	300 metriä
DALI järjestelmän enimmäisvirta	250 mA
Yhden liitälaitteen virran rajoitus	2 mA
Valotasojen määrä	255 + OFF (8 bit)
Bittiaika	833,3 µs

Valaisimien ryhmiä sekä valonsäätöä DALI-järjestelmässä Myyrmäen valaistuslaboratoriotilassa

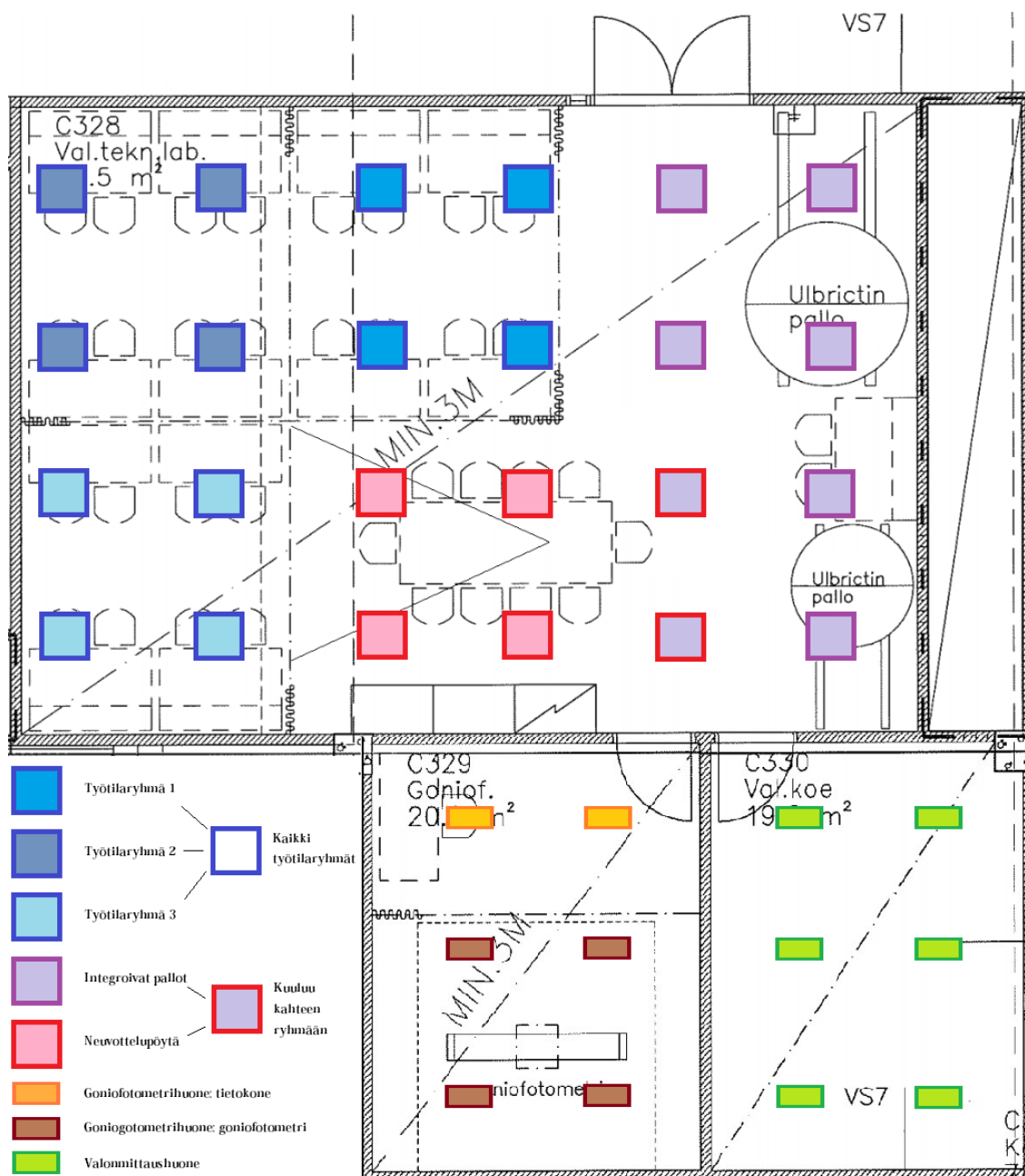
Esimerkkejä valaisimien (kuvassa olevat neliöt) perusrühmityksistä, hieman monipuolisemmista ryhmyksistä sekä valaisimien valotason säätöä videotykkiä käytettäessä.



Kuvassa on perusrühmitys valaistuslaboratoriotilan valaisimille, jota seuraavissa kuvissa on muokattu monipuolisemmaksi. Valoasetuksia ryhmien sisällä voi olla monia eri tilanteisiin sopivia.



Kuvassa on monipuolisemmin ryhmitelty valaistusryhmät. Valaistuslaboratorion yleistilan valaistus voi yhdellä napilla valaista kokonaan ja tarvittaessa sammuttaa esimerkiksi työtilojen valaisimet. Goniofotometrihuoneessa voi ennen mittauksia sammuttaa goniofotometriä häiritsevät verhotilan valaisimet. Kuvassa suurin osa valaisimista kuuluu kahteen ryhmään.



Sama ryhmittely kuin edellisessä kuvassa, mutta jokaisella työryhmällä on käytössään myös oman työalueensa valaisimet ja integroiville palloille sekä neuvottelupöydälle on myös omat valaisinryhmänsä. Suurin osa valaisimista kuuluu kahteen ryhmään ja työtilojen valaisimet kuuluvat kolmeen eri ryhmään.



Kuvassa on videotykin käyttöön säädetty valaisimien valotasoa. Suurin osa valaisimista on sammutettuna, ainoastaan katsomolle ja ovelle on säädetty hieman taustavaloa. Tällainen tilanne voidaan tallentaa järjestelmään ja sen voi kutsua yhdellä napin painalluksella.

Standardeihin liittyviä lähteitä

CIE - www.cie.co.at/

ISO Standardization – <http://www.iso.org/iso/home.htm>

IEC - <http://www.iec.ch/>

CENELEC - <http://www.cenelec.eu>

CEN – <https://www.cen.eu/>

Sesko ry - <http://www.sesko.fi/portal/fi/>

SFS - <http://www.sfs.fi/>

JISC – <https://www.jisc.go.jp/eng/>

DIN – www.din.de/en/about-standards/din-standards

ZVEI - <http://www.zvei.de>

VDE - <http://www.vde.de>

Dali organization - <http://www.dali-ag.org>

The Connected Lighting Alliance - <http://www.theconnectedlightingalliance.org/home/>

Zhaqa - <http://www.zhagastandard.org/>