

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Isto Poutiainen

SISÄVALAISTUSSUUREIDEN NÄKEMINEN, LASKEMINEN JA MITTAUS  
ASUNNOISSA

Opinnäytetyö  
Maaliskuu 2015



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Tammikuu 2014**  
**Sähkötekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80220 JOENSUU  
p. (013) 260 6800

Tekijä(t)  
Isto Poutiainen

Nimeke  
Sisävalaistussuureiden näkeminen, laskeminen ja mittaus asunnoissa

Toimeksiantaja  
Karelia-amk

**Tiivistelmä**

Tässä kirjallisuustutkimuksessa perehdyttiin valaistussuunnitteluun keskeisten suureiden avulla. Tarkoituksena oli opetella perusteoriaa. Suureista kerrotaan, miten ne lasketaan ja mitä suureita niistä lasketaan edelleen sekä miten suure nähdään, mitataan ja mitä muita suunnittelutekijöitä niihin liittyy.

Lähtökohtana tutkimuksessa tärkeimpänä asiana pidettiin valaistuslaskennan tuloksia. Tulokset koostuvat fotometriian suureista sekä näihin liittyvistä indekseistä ja käsitteistä, joiden mukaan tutkimuksen rakenne tehtiin. Näin suureet yritetään tehdä tutuiksi erilaisine käyttötarkoituksineen ja esimerkkeineen.

Kirjallisuudessa perusfysiikan jälkeen tutkittavana on näkeminen, päivänvalo, valaistuksen ja värin laskenta ja mittaukset, jotka on parhaan mukaan jaoteltu sopiviin lukuihin suureiden mukaan. Tuloksena on tiivistettyä tietoa fotometriasta, jonka pohjalta voi jatkaa ihmettelyä lamppujen, valaisimien, suunnitteluohjelmien, valaistuksien, mittauksien tai kodin sisustuksen kanssa.

Kieli  
suomi

Sivuja 55

**Asiasanat**

fotometria, sisävalaistuslaskenta, valaistusmittaus, näkeminen



**THESIS**  
**January 2014**  
**Degree Programme in Electrical Engineering**

Karjalankatu 3  
FI 80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. +358 (13) 260 6800

Author(s)  
Isto Poutiainen

Title  
Eyesight, calculation and measurement of domestic indoor lighting quantities

Commissioned by  
KUAS

Abstract

In this thesis lighting design was familiarized with by basic quantities. The purpose was to learn the basic theory. The quantities are explained, how they are calculated and what quantities are calculated from them. Furthermore, it is explained how the quantities are seen, measured and what other design factors are associated with them.

The literary research started from the premise that calculation results were the most important issue. The results consist of photometric quantities and index numbers with concepts related to them that make up structure of this study. This way the quantities are made more well-known with various purpose of use and other examples.

After basic physics in literature the topics are eye sight, daylight, calculation and measurement of illumination and color that are categorized to chapters. Most topics, like reflection, are related to all quantities of photometry, but here they are handled only as required. The outcome of this study is summarized information of photometry that prepares for marvel at lamps, luminaries, light planning software, illuminations, measurements or interior design.

Language

Finnish

Pages 55

Keywords

photometry, calculation of indoor lighting, measurement of lighting, eyesight

# Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Tietoperusta.....	6
3	Tutkimus.....	7
4	Valovirta.....	8
4.1	Valon luonne.....	8
4.2	Silmän spektriherkkyys.....	9
4.3	Heijastuminen, absorboituminen ja läpäisy.....	10
4.4	Valovirran näkeminen.....	11
4.5	Valovirran mittaaminen.....	12
5	Hyötysuhteet.....	13
6	Valovoima.....	15
6.1	Lambertin laki.....	15
6.2	Valovoiman mittaaminen.....	16
7	Luminanssi.....	17
7.1	Luminanssin näkeminen.....	18
7.2	Suora estohäikäisy.....	19
7.3	Suora kiusahäikäisy UGR-indeksillä.....	20
7.4	Luminanssikontrasti.....	22
7.5	Luminanssin mittaaminen.....	23
8	Valaistusvoimakkuus.....	24
8.1	Valaistusvoimakkuuden näkeminen.....	24
8.2	Kohtisuoravalaistusvoimakkuus tasoa vasten.....	26
8.3	Asennusten valaistusvoimakkuuslaskenta ja -mittaukset.....	27
8.4	Muodonanto.....	31
8.5	Heijastuskertoimet ja valaistusvoimakkuus.....	34
8.6	Valaistuslaskentamenetelmiä.....	35
8.7	Valaistushuolto.....	37
9	Väriäkö.....	38
9.1	Värien näkeminen.....	38
9.2	Kolmiväriteoria.....	39
9.3	Väriämpötila.....	44
9.4	Väritoistoindeksit.....	46
9.5	Kappaleen väri.....	46
10	Johtopäätökset.....	48
11	Pohdinta.....	51

# 1 Johdanto

Tutkimuksessa perehdyttiin sisävalaistussuunnitteluun kirjallisuuden perusteoksen ja tätä tukevien lähteiden avulla. Aihe koostui näkemisestä, päivänvalosta, valaistuksen ja värin laskemisesta sekä mittauksesta. Nämä otsikoitiin lopulta fotometrian suureiden mukaan. Opinnäytetyön tehtävä oli ensisijaisesti opetella asuntojen sisätilojen valaistussuunnittelun teoriaperustaa, jossa pyrittiin vastaamaan mitä siitä pitäisi ymmärtää ja millä perusteilla sitä pitäisi tehdä. Kerättyä tietoa oli tarkoitus pystyä soveltamaan valaistussuunnittelussa tai valaistusmittauksessa sekä valaisimien sijoittelussa, valinnassa tai suunnittelussa. Menetelmänä koottiin eräänlaista ohjetta tai tiivistettyä aineistoa valaistuslaskennan suureiden ja niistä johdettujen käsitteistä. Enimmäkseen työ siis kartoitti ja luokitteli tietoa aiheesta.

Näkemisen tulisi olla mukavaa, tehokasta ja turvallista, joihin vaikuttavat luminanssijakauma, valaistusvoimakkuus, valon suunta, valon vaihtelevuus, valon väri, värintoisto, häikäisy ja välkyntä [6, s. 14]. Asennuksista voidaan mitata valaistusvoimakkuudet, pintojen luminanssit, huonepintojen heijastussuhteet, suoran kiusahäikäisyn suuruus, valon värisävy ja värintoistominaisuudet, varjonmuodostus, päivänvalosuhteen osuus, lamppujen vaihtoväli, valaisimien puhdistusväli ja valaistusparannustarpeet. Tarkoituksena on tarkistaa suositusten ja määräysten mukaisuus tai vertailla eri laatuksia ja taloudellisia ratkaisuja. Mittauksissa on syytä merkitä niihin vaikuttavat tekijät, jolloin tulokset voidaan redusoida vastaamaan normaalia käyttötilannetta. Suunnitelma tehdään kokeuksella ja laskemalla tarkistetaan haluttu tulos, joka varmennetaan mittaamalla [1, s. 161, 123-124].

## 2 Tietoperusta

Sähköinfon julkaisussa vuodelta 1996 Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto / Ahponen Veikko jne. käsitteet ja valon merkitys näkemisessä vaikuttivat pätevältä vielä nykyäänkin. Lukujen jälkeen luetellut viitteet tai lisäkirjallisuudet kertoivat suomalaisesta kirjallisuudesta jopa 60 vuoden takaa. Laskentamenetelmiä ennen tietokoneita ei liene ollut syytä opetella tarkkaan, mutta nekin kertoivat tarinan laskemisen monimutkaisuudesta, vaikka siitä varmaan oli yritetty tehdä mahdollisimman yksinkertainen prosessi. Kaipaamaan jäin selkeämpiä sanallisia kuvauksia suureista ja niiden syvempää kuvausta esimerkkitapauksilla tai kuvilla, vaikka olikin ehkä tutkimuksellisesti hyväksi selata asioita muualta lukemisen ohessa.

Suomen valoteknillinen seura oli julkaissut jo 20-vuotiasta Valo-lehteä, joka on suunnattu kaikille valaistusalalla toimiville ja on luettavissa vuodesta 2006 asti ilmaiseksi sähköisenä. Artikkeleiden kirjoittajat olivat osaavia ja artikkelit mukavia lukea, mikä oli odotettu vastapaino haastavamman aineiston lukemiseen.

Kansainvälinen valaistuskomissio CIE, kansainvälinen standardisoimisjärjestö ISO, Euroopan standardisoimisjärjestö CEN ja Suomen Standardisoimisliitto SFS ry ovat valaistuksen ja värin standardien takana. Asunnon valaistuksesta ei ollut virallisia tai tuoreita ohjeita ja siksi voitiin soveltaa enimmäkseen työkohteiden valaistusstandardia EN 12464-1. [22, s. 24].

Englanninkielisestä Wikipediasta hahmotti hyvin asiayhteyksiä, moniin kuvioihin oli helppo viitata ja se tuki tiedon hankkimista muista lähteistä. Artikkeleiden viitteissä oli myös joitakin hyviä ilmaisia verkkolähteitä.

Valaistussuunnittelu liittyy mm. sisustussuunnitteluun, arkkitehtuuriin, tuotesuunnitteluun, liiketalouteen ja taiteeseen; missä tekniikat rakentamisesta, valaistuksesta ja sähköstä tarjoavat toteutuksen. Valaistussuunnitelman asuntoon voi tehdä myös sisustussuunnittelija. Arkkitehtuuri määrittää rakennuksen tiloineen ympäristöön, jota valaistuksen on edistettävä. Arkkitehti ja sisustussuunnittelija voivat antaa omat vaatimuksensa valaistus- tai

sähkösuunnittelijalle. Olipa suunniteltava tuote itse suunnitelma tai sellaisessa käytettävä lamppu, on niiden tarvittavat tekniset ominaisuudet valittava käyttötarkoitukseen. Tuote on myytävä ja se onnistuu osoittamalla hyvien suunnitteluperiaatteiden tuoma laadullinen lisäarvo kohteeseen edullisilla käyttökustannuksilla. Taidetta on valaistuksen tuoma henkilökohtainen tunne- ja ajatteluvaikutus, joka oletuksena halutaan miellyttäväksi. Erilaiset tekniset ohjeet, standardit ja määräykset auttavat, että lopputulos on kelvollinen ja turvallinen.

Valaistusaiheita aiemmissä opinnäytetöissä olivat olleet mm:

- Lamput ja valaisimet
- Valonohjausjärjestelmät ja valon säätäminen
- Verkkovaikutukset
- Mittaukset
- Urakkalaskenta

### **3 Tutkimus**

Halusin ottaa aiheeksi jotakin kokonaan uutta ja erilaista opiskeluihini ja työharjoitteluihini liittyen. Opinnoissa valaistusta sivuttiin usealla kurssilla ja työharjoitteluissa, mutta aiheen ydinosaminen oli pirstaleina. Suurin tavoite oli laajentaa haettavia työtehtäviä ja saada viimeinen valttikortti kertomalla mihin olisi hieman erikoistunut. Uusissa töissä laitteet, ohjelmat ja työprosessit tulisivat varmaankin tutuiksi. Niinpä tässä tutkimuksessa yritetään käydä läpi perusteoriaa, joka valaistukseen liittyvien työtehtävien alkuun pääsemisessä voisi olla tarpeen.

Keskeisiä valaistussuureita ovat esimerkiksi lampuissa ilmoitettavat arvot. Ne auttavat kuluttajia parantamaan valaistusta, kun niillä voi selkeästi verrata uutta investointia vanhaan. Valaistussuunnittelijalla ovat raja-arvot tarkkaa ja tehokasta näkemistä varten erilaisiin töihin ja tiloihin muiden suunnitteluperusteiden kanssa. Omakotitaloissa valaistussuunnitelman tekee monesti vasta sähkösuunnittelija. Asiakkaalla olisi ajan säästämiseksi hyvä olla selvillä viimeistään silloin oma suunnitelma tai laadulliset periaatteet, jotta osaisi edes valita millais-

ta laitetaan. Laadukas valaistus pitäisi tosin suunnitella jo arkkitehtipiirustusten valmistuttua muun sisustuksen kanssa.

Aineistoksi pyrittiin keräämään laadukasta aineistoa, jolla on ammatillista merkitystä ja kirjoittajat asiantuntijoita. Analyysissa yritettiin aineistosta pohtia keskeisiä asioita. Tietoa etsittiin ja rakennettiin, josta yritettiin keksiä käytännön tutkimusongelmia. Tekniikassa saattaisi olla tutkimusongelmia saada tuote kiinnostamaan ja edulliseksi kuluttajille. Kodeissakin on työpöytiä, niin miksei valaisisi niitä standardin tai muutoin asian mukaisella tavalla. Tästä yritettiin ensi sijassa kerätä käyttökelpoista tietoa ja toiseksi jopa ymmärtää hieman miksi niin on.

## 4 Valovirta

### 4.1 Valon luonne

Valo on sähkömagneettista säteilyä havaittajakohtaisesti hieman vaihdellen aallonpituusvälillä 400 - 760 nm. Valaistustekniikassa aaltoliiketeoriasta riittää tavallisen, polaroidun ja koherentin valon havainnollistaminen. Tavallinen valo on useilla taajuuksilla ja kaikissa etenemissuunnan ympäröivissä tasoissa värähtelevää aaltoliikettä. Polaroitu värähtelee vain yhdessä tasossa. Koherentti puolestaan on värähtelyä yhdessä tasossa ja yhdellä taajuudella. Valon nopeuden  $c$ , taajuuden  $f$  ja aallonpituuden  $\lambda$  kesken on kaava 1. [1, s. 13-14; 2, s. 86].

$$c = f\lambda \quad (1)$$

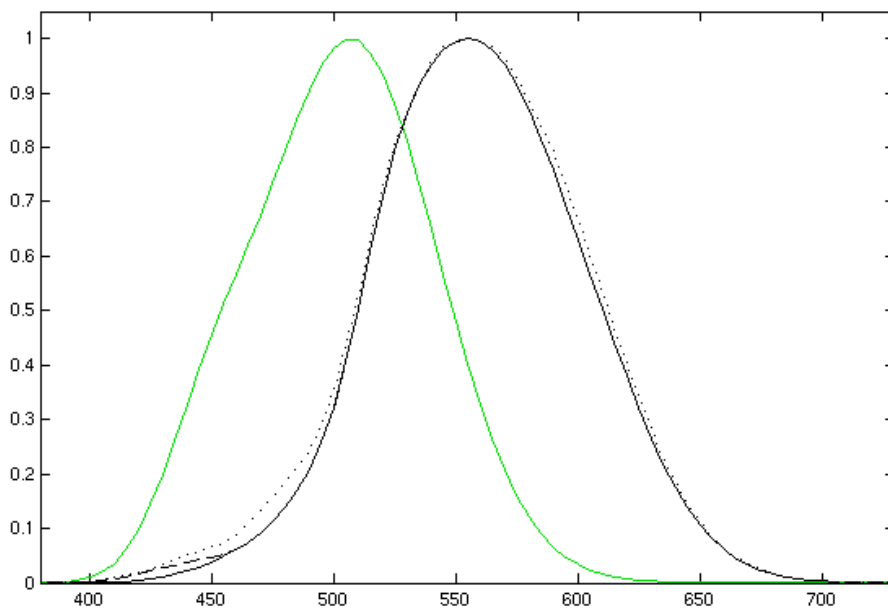
Valoa synnytetäessä lämmöstä, sähköstä tai ultraviolettivalosta tarvitaan sähkömagneettisen aaltoteorian lisäksi kvanttiteoriaa, jossa valo on fotonien kerrannaisia ja siksi spektri epäjatkuva. Kvantin energian  $q$ , Planckin vakion  $h$  on  $6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Js}^2$  ja taajuuden  $f$  kesken on kaava 2. [1, s. 15; 2, s. 349-360].

$$q = hf \quad (2)$$

Spektrijakaumakäyrällä esitetään säteilyteho aallonpituutta kohti. Se kertoo, miten kappale säteilee. Spektrometreissa ja spektrofotometreissa käytetään hiloja ja prismoja, että voidaan mitata säteilytehoja aallonpituuskaistoilla. [1, s. 15-19, 95]. Fotometrian suureissa otetaan huomioon silmän herkkyys valon eri aallonpituuksilla [2, s. 254]. Fotometrian suureet ja yksiköt ovat johdettu radiometrian vastaavista painottamalla silmän spektriherkkyttä ja siksi niitä on syytä verrata keskenään.

## 4.2 Silmän spektriherkkyys

Voimakkaassa valaistuksessa nähdään vain tappisolulla ja saadaan väri- sekä valoisuusaistimuksia. Kuviossa 1 valoisuusaistimusta kuvataan silmän spektriherkkydellä  $V(\lambda)$  eli monokromaattisen säteilyn suhteellisella valotehokkuudella aallonpituuden funktiona. Silmä on herkin keltavihreälle aallonpituudelle 555 nm. Heikossa valaistuksessa vain sauvasolujen avulla silmä on herkin sinivihreälle aallonpituudelle 507 nm. Tällöin nähtävä aallonpituusväli on siirtynyt lyhyemmille aallonpituuksille, jolloin sininen aistitaan herkemmin ja punainen huonommin. [1, s. 58-59].



Kuvio 1. Silmän spektriherkkyksiä aallonpituuden funktiona: CIE 1931  $V(\lambda)$  mustalla käyrällä; Judd-Vos 1978 katkoviivalla; Sharpe, Stockman, Jagla & Jägle 2005 pisteillä ja CIE 1951 hämäränäkö vihreällä [15].

Säteilytehon aallonpituuskohtainen spektritiheys  $\Phi_{e, \lambda}$  yksikkönä W/nm tietyllä aallonpituudella  $\lambda$  saadaan sillä kohdin olevasta säteilytehosta  $\Phi_e$  kaavalla 3. Kun spektritiheydet yhdistetään, saadaan säteilytehon spektrijakaumakäyrä  $\Phi_e(\lambda)$ . [1, s. 16].

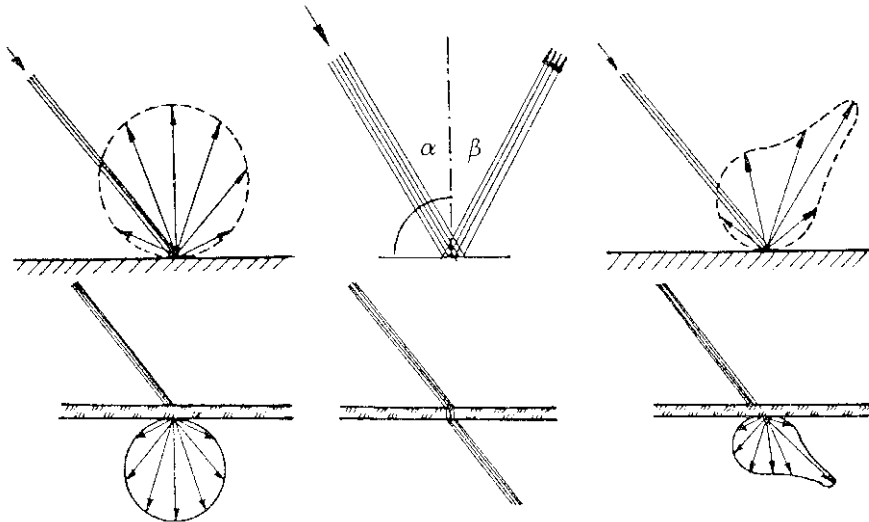
$$\Phi_{e, \lambda} = \frac{d\Phi_e}{d\lambda} = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta\lambda} \quad (3)$$

Valovirta  $\Phi$  yksikkönä lm on aistitun valon teho ja voidaan laskea säteilytehon spektritiheydestä aallonpituuskohtaisilla silmän spektriherkkyykskertoimilla  $V(\lambda)$  eli suhteellisilla valotehokkuuskertoimilla tappinäkemisessä, kun suurin monokromaattisen säteilyn valotehokkuus  $K_m$  on 683 lm/W. Jatkuvasta spektritiheyskäyrästä voidaan merkitä kaava 4. [1, s. 16-19].

$$\Phi = 683 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} V(\lambda) \Phi_{e, \lambda} d\lambda \quad (4)$$

### 4.3 Heijastuminen, absorboituminen ja läpäisy

Aineeseen osunut kokonaisvalovirta  $\Phi$  heijastuu  $\rho\Phi$ , absorboituu  $\alpha\Phi$  ja läpäisee  $\tau\Phi$  suhdeluvuilla, joiden summa on aina yksi ja jotka riippuvat myös aallonpituudesta. Kuviossa 2 Lambertin lain mukainen täydellinen hajaheijastuminen tai -läpäisy ja täydellinen suuntaheijastuminen tai -taittuminen ovat teoreettisia ääripäät, niin todellinen ilmiö on summa haja- ja suuntaosista. [1, s. 30-33; 2, s. 262].

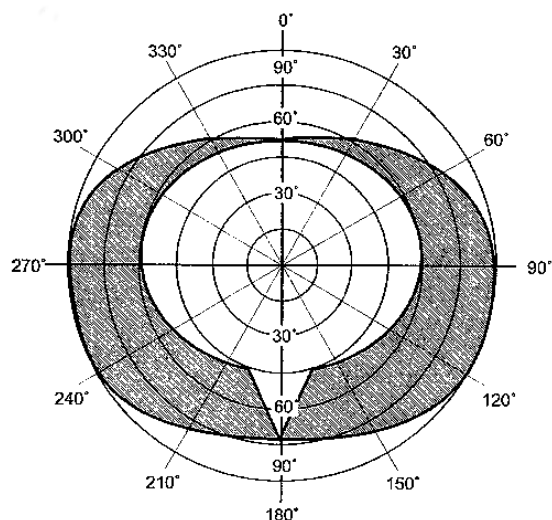


Kuvio 2. Ylärivillä ovat haja-, suunta- ja sekaheijastuminen sekä alarivillä haja-, suunta- ja sekaläpäisy [1, s. 31].

#### 4.4 Valovirran näkeminen

Verkkokalvolle tulevaa valovirtaa säätelee linssin edessä oleva värikalvo, jossa pupilli on muuttuva aukko. Silmän optiikan taittovoima on 59 - 70 diopteria, jolla katsotaan kauas ja lähelle. Noin 75 % taittovoimasta johtuu linssin edessä olevista kammiovedestä ja sarveiskalvosta. Verkkokalvon 150 miljoonasta valoherkästä solusta tapit toimivat voimakkaassa ja sauvat heikossa valaistuksessa. Tappeja on vain 6-7 miljoonaa. [1, s. 55-56].

Keltatäplä muodostaa noin  $3^\circ$  näkökartion, jossa soluja on tiheässä ja keskellä pelkkiä tappeja. Vain siinä muodostuu tarkka kuva ja sillä kohdalla silmä hakeutuu katsomaan. Sokea täplä on  $6^\circ$  näkökartio  $15^\circ$  sivussa akselista, mistä ei ole yleensä haittaa silmän liikkumisen vuoksi. Näköhavainto syntyy vasta aivoissa, joissa kaikenlainen tieto muistissa vaikuttaa nähdyn tulkintaan. Kuviossa 3 Näkökenttä on vaakasuunnassa molemmilla silmillä katsottuna noin  $190^\circ$ , vaakatason alapuolelle  $70 - 80^\circ$  ja yläpuolelle  $50 - 60^\circ$ . [1, s. 57-58].



Kuvio 3. Näkökenttä, josta valkoinen on molempien silmien alue ja viivoitettu saman puolen yhden silmän alue [1, s. 57].

Vaihtaminen lähi ja kaukokatselun välillä vie noin 0,7 s ja kestää hämärässä kahdesta kolmeen kertaa pidempään. Paras stereonäkö on alle 20:ssä metrissä ja toisaalta yli 1,3 km:n syvyyserojen havaitseminen ei ole enää mahdollista. [1, s. 59-63].

#### 4.5 Valovirran mittaaminen

Valoa voidaan mitata visuaalisesti ja valosähköisesti. Valosähköiset mittauslaitteet muuttavat ilmaisimeen saapuvan säteilytehon sähköisesti mitattavaksi. Suorassa mittauksessa valoa verrataan mittanormaaliin tai sillä kalibroituun mittariin. Suhteellisessa mittauksessa puolestaan haluttua ominaisuutta verrataan toisen valonlähteen vastaavaan ominaisuuteen. Usein valoa vaimennetaan sektorilevyllä tai valoläpäisysuotimilla, joiden sopivuudet ja ominaisuudet on otettava laskennallisesti huomioon. Visuaaliset mittarit eivät ole kovin tarkkoja. Yleisimmin mitta-elimenä on puolijohdekomponentti kuten valokenno tai -vastus. [1, s. 83-85].

Valokenno on virtalähde, josta mitataan virtaa mahdollisimman pienellä impedanssilla lineaarisuuden takaamiseksi. Kennoille voi olla annettu kertoimia erityyppisille valoille. Valokennon antama virta voi pienentyä valaisuajan kans-

sa. Valon heijastumisen takia syntyy kosinivirhettä, joka voidaan korjata hajaläpäisevällä levyllä. Lämpötila vaikuttaa suuriin vastuksiin. Kennon kapasitanssin takia suuritaajuinen valo ei saa aikaan vastaavaa virtaa. Mittaustuloksiin vaikuttavia tekijöitä ovat henkilökunta, sähkönsyöttö, systemaattiset virheet ja lamppukohtaiset tekijät. [1, s. 86-88, 101-102].

Valonlähteen kokonaisvalovirta voidaan mitata integroivalla pallolla, jossa valonjakokäyrä eliminoidaan mittaamalla vain pallon hajaheijastavasta sisäpinnasta kennoon heijastunut valo. [1, s. 94-95, 102]. LED-valaisimissa valmistaja voi ilmoittaa vain nettovalovirran, jolloin valaisimen hyötysuhteena käytetään 100 %. Tällöin vaihdettaessa LED-moduulia erilaiseen on kysyttävä ohjeita valmistajalta. Valovirran pieneneminen käyttöiän mukaan riippuu lamppulajista. [1, s. 271; 3, s. 41].

## 5 Hyötysuhteet

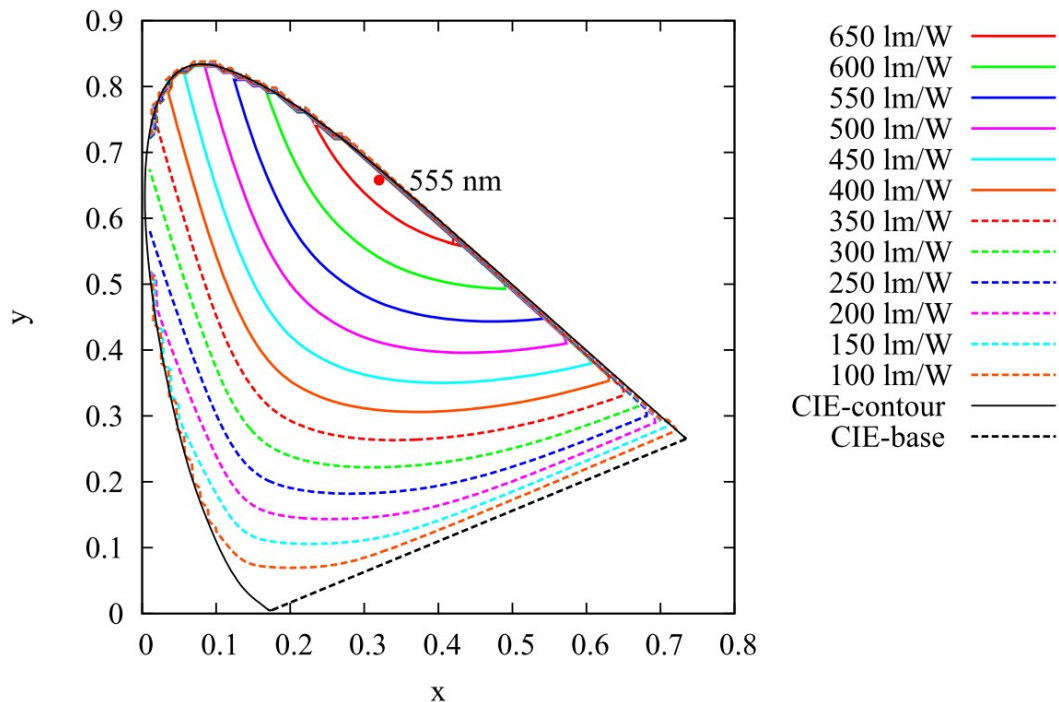
Valotehokkuus  $\eta$  yksikkönä  $\text{lm/W}$  on valonhyötysuhde ja lasketaan kaavalla 5 valon lähteen antamasta valovirrasta  $\Phi$  jakamalla otetulla sähköteholla  $P$  [2, s. 256].

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (5)$$

Esim. hehkulampan valotehokkuus on alle  $20 \text{ lm/W}$ , loistelamppujen  $60 - 80 \text{ lm/W}$  ja ledien teoreettinen maksimi  $400 \text{ lm/W}$ . Nykyisin valotehokkuus lampuissa ja valaisimissa on käytännössä parhaimmillaan yli  $100 \text{ lm/W}$ , vaikka yli  $200 \text{ lm/W}$  on ollut messuilla esittelyssä. Valotehokkuusvaatimuksia säädetään Erp-direktiivin pohjalta. Käytännöllisen valkean ledin raja on yhden arvion mukaan  $250 \text{ lm/W}$ . Suoran auringon säteilyn valotehokkuus on n.  $100 \text{ lm/W}$  ja sinisen taivaan n.  $150 \text{ lm/W}$ . Tyypillisiä lamppujen valotehokkuuksia on taulukossa 1 ja kuviossa 4 monokromaattisen säteilyn valotehokkuuksia. [1, s. 212; 2, s. 256; 3, s. 16-17; 18 s. 8; 16, s. 5].

Taulukko 1. Lamppujen tyypillisiä valotehokkuuksia [17].

	Valotehokkuus
	lm/W
Hehkulamppu	11
Halogeenilamppu 230 V	15
Halogeenilamppu 12 V	18
Pienloistelamppu	40
Valkea LED	75
Yksikantainen loistelamppu	65
Kaksikantainen loistelamppu	90
Elohopealamppu	50
Monimetallilamppu	100
Suurpainenatriumlamppu	125
Pienpainenatriumlamppu	< 200



Kuvio 4. Suurimat monokromaattisen säteilijän valotehokkuuskäyrät voidaan esittää värikoordinaatistossa. Silmä on herkin aallonpituudella 555 nm, jolla saadaan suurin valotehokkuus 683 lm/W. [16, s. 5].

Käyttöhyötysuhde on valaisimen antama valovirta tai valaistusvoimakkuus jaettuna siinä käytettyyn paljaan lampun vastaavaan arvoon ja voidaan mitata integroivassa pallossa tai laskea valonjakokäyristä. [1, s. 108].

## 6 Valovoima

Radiometrian vastaava suure on säteilyintensiteetti  $I_e$  yksikkönä W/sr. Fotometrian suure on valovoima  $I$  yksikkönä cd, joka on aistitun valon teho avaruuskulmassa  $\omega$ . Pistemäisen valon lähteen valovoima saadaan kaavalla 6. Valaistuslaskennassa valaisimia käsitellään pistemäisinä. Tästä aiheutuva virhe pysyy pienenä, jos laskentaetäisyys on moninkertainen valaisimen suurimpaan mittaamiseen. Kertaluvulla 5 virhe on korkeintaan 5 % ja kertaluvulla 1 jo noin 25 %. [1, s. 19, 21; 2, s. 254-255].

$$I = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta\omega} = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad (6)$$

Koko avaruus vastaa avaruuskulmaa  $4\pi$  steradiaania pallonpinta-alasta  $4\pi r^2$  johdettuna. Kaavassa 7 avaruuskulma  $\omega$  on pinta-ala  $A$  pallosta, jonka säde on  $r$ . [1, s. 19; 2 s. 254-255].

$$\omega = \frac{A}{r^2} * 1 \text{ sr} \quad (7)$$

Kandela on paino- ja mittakonferenssin mukaan monokromaattisen säteilijän tiettyyn suuntaan taajuudella 540 THz oleva valovoima, jonka intensiteetti on 1/683 W/sr. Yhden peruskynnyksen valovoima on noin 1 cd sivusuuntaan. [2, s. 255; 1, s. 25].

### 6.1 Lambertin laki

Lambertin lain mukaan kuvion 2 ensimmäisissä kuvioissa ja kuviossa 5 täysin hajauttavien pintojen valovoiman jakopinta on pinta-alkiota sivuava pallo, jossa pinnan normaalin suuntainen valovoima  $I_0$  heikkenee siitä poikkeavaan kosini-funktion kulmaan  $\theta$  kaavan 8 mukaisesti [1, s. 28; 2, s. 260].

$$I_\theta = I_0 \cos \theta \quad (8)$$

Hajaheijastavia pintoja ovat mm. himmeällä mattamaalilla maalattu pinta ja karkea betoni. Tasajakoisesti säteileville kappaleille voidaan johtaa suurin valovoima valovirran kaavasta 9. [1, s. 28-29].

$$\Phi = \int_0^{\alpha_1} I(\alpha) d\omega = 2\pi * sr \int_0^{\alpha_1} I(\alpha) \sin \alpha d\alpha \quad (9)$$

Pistemäiselle tasopinnalle laskettaessa avaruuskulma on puoliavaruus ja sen pyörähdyskulma  $\alpha_1$  on  $\pi/2$ . Kuviossa 5 valovoima on nolla tason suuntaisesti ja saa suurimman arvonsa  $I_{max}$  kohtisuoraan tasoa vasten kaavasta 10. [1, s. 29-30].

$$I_{max} = \frac{\Phi}{\pi * sr} \quad (10)$$

## 6.2 Valovoiman mittaaminen

Mittauksia kuten lampun valovoima tiettyyn suuntaan voi tehdä fotometripenkissä, johon kaiken saa helposti kiinni. Kulmafotometrissä valon suuntaa voi helposti ja mitattavasti muuttaa. Näitä on erilaisia valonjakomittauksiin ja polarisaatio ym. mittauksia varten. [1, s. 90-91].

Valon lähteiden valonjakopinta ilmoitetaan valonjakokäyrinä. Koska valovoiman mittaaminen perustuu pistemäiseen valonlähteeseen ja etäisyyden neliöön, niin kennon ja mittarin välisestä etäisyydestä on huolehdittava eri tavoin tai käytettävä yhdensuuntaisen valon läpäisevää ritilää. Valonjakomittauksissa valovoima ilmoitetaan tavallisesti kandeloina valittavan lampun valovirran kilolumenia kohti. Valonjakokäyriä esitetään CIE:n mukaisessa C- $\gamma$ -järjestelmässä. [1, s. 92-94, 105].

## 7 Luminanssi

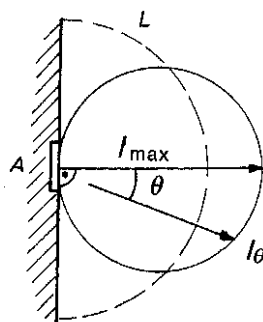
Radiometrian vastaava suure on radianssi  $L_e$  yksikkönä  $W/(m^2sr)$ , joka on säteilyteho säteilyltä pinta-alalta tiettyyn avaruuskulmaan. Luminanssi  $L$  yksikkönä  $cd/m^2$  ja edelleen  $lm/(m^2sr)$  kuvaa pinnan kirkkautta ja on aistittu valon teho pinnasta projisoituneesta pinta-alasta tiettyyn suuntaan. Valoa itsesäteilevän pinnan luminanssi  $L$  tiettyyn suuntaan saadaan valaisimen valonjakokäyristä ja kohtisuorasta pinta-alasta  $A_{\perp}$  kaavalla 11. [1, s. 23, 188; 2, s. 260].

$$L = \frac{I}{A_{\perp}} \quad (11)$$

Luminanssi yleisen kaavan 12 mukaan on äärettömän pienen pinta-alkion suuntaan  $\theta$  säteilemä, läpäisemä tai vastaanottama valovirta  $\Phi$  suhteessa valovirran avaruuskulmaan  $\omega$  ja pinta-alkion tähän suuntaan kohtisuoraan tasoon projisoimaan pinta-alaan  $A$  [1, s. 23].

$$L = \frac{d\Phi}{dA \cos\theta d\omega} \quad (12)$$

Valoa heijastavan pinnan luminanssi riippuu valon tulokulmasta ja katsomiskulmasta, ellei pinta ole täysin hajaheijastava. Hajaheijastavan pinnan luminanssi on kaikkiin suuntiin sama, jolloin tekijöitä ovat pinnan heijastussuhde, valaistusvoimakkuus ja puoliavaruus. [1, s. 189].



Kuvio 5. Täysin hajaheijastavan pinnan luminanssi ja suunnasta riippuva valovirta [1, s. 29].

Kuviossa 5 täysin hajaheijastavan pinnan luminanssi saadaan kaavalla 13 sille kohdistuneesta valaistusvoimakkuudesta  $E$  heijastuskertoimen  $\rho$  avulla. Suuresta hajaheijastavasta pinnasta kuten seinästä voidaan mitata suoraan heijastuva valaistusvoimakkuus  $\rho E$  etäisyydeltä 5 - 15 cm, jossa arvo on suurin. [1, s. 28-33, 142, 189; 2, s. 260-261].

$$L = \frac{\rho E}{\pi * sr} \quad (13)$$

## 7.1 Luminanssin näkeminen

Karkeasti ottaen ihmisen kokiessa pinnan kirkkauden kaksinkertaistuneen luminanssi on kymmenkertaistunut. Pienin havaittavissa oleva luminanssi laajasta kohteesta pitkään katsoessa on  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup> ja suurimmillaan silmä pystyy sopeutumaan yli  $10^5$  cd/m<sup>2</sup> luminanssiin, josta 0,01 - 10 cd/m<sup>2</sup> on sauva ja tappinäkemisen yhteisalue. Sopeutumisaika hämärään nopean n. 0,1 s alun jälkeen kestää 40 min ja valoisaan päin paljon nopeammin. [1, s. 24-25, 59-62].

Havainnon tekemiseen yksityiskohdan ja taustan välillä täytyy olla vähimmäiskontrasti valoisuudessa tai värissä, yksityiskohdan vähimmäiskoko ja -luminanssi, sopeutumisluminanssi sekä aikaa havainnointiin. Näöntarkkuudella ilmaistaan kuinka läheiset yksityiskohdat kyetään havaitsemaan erillisinä. Kohteen ja katsesuunnan välinen 5° kulma pudottaa näöntarkkuuden puoleen. Näöntarkkuus saavuttaa huippunsa yli 100 cd/m<sup>2</sup> sopeutumisluminanssilla, joka vaatii yli 1000 lx vaaleaa valaistusta. Näöntarkkuus on sitä parempi, mitä tasaisemmin luminanssi on jakautunut näkökenttään. [1, s. 65-67].

Välkyntätaajuus, jolla peräkkäiset kuvat näyttävät samalta on hämärässä alle 10 Hz. Luminanssin ja valokentän koon kasvaessa tämä taajuus lähenee 60 Hz. Välkyntä voi aiheuttaa päänsärkyä ja saada liikkeen näyttämään hitaammalta tai pysähtyneeltä. [1, s. 63; 6, s. 30].

Tasainen luminanssijakauma saadaan valaistuksen ja pintojen heijastusominaisuuksien avulla. Se parantaa näöntarkkuutta, kontrastiherkkyyttä,

etäisyysnäköä, silmien liikettä ja muuta näköaistin toimintaa. Epätasaisuuksista suuret luminanssit häikäisevät ja suuret luminanssikontrastit aiheuttavat näköväsymistä jatkuvan silmien sopeutumisen takia sekä vastaavasti pienet luminanssit ja kontrastit tylsistyttävät. [6, s. 14, 16].

Häikäisyssä näkökentän luminanssijakauma on sopimaton tai muuttuu. Estohäikäisyssä valonsäteet hajautuvat silmässä ja muodostavat harsoluminanssin. Kiusahäikäisy on suurista luminansseista tai luminanssieroista johtuva yksilöllinen epämukavuus. Valolähteissä se riippuu lähteen luminanssista, alasta, sijainnista näkökentässä, muodosta ja ympäristön luminanssista sekä luminanssijakaumasta. Häikäisy on varmaa  $10^4$  cd/m<sup>2</sup> luminanssilla, joka syntyy esim. voimakkaassa auringonpaisteessa vaaleassa ympäristössä. [1, s. 71-73].

Kirkkaan taivaan luminanssi on kirkkaimmillaan auringon lähellä, sitten lähellä horisonttia ja pienimmillään aurinkoa vastakkaisessa suunnassa taivasta. Täysin pilvisen taivaan luminanssi taas on suurin taivaan laella ja pienenee kohti horisonttia, kun auringon sijainnilla ei ole merkitystä. [1, s. 208]. Ikkunan läheisyyden ja huoneen sisäosan välinen luminanssisuhde on helposti kymmeniä kertoja. Suoran auringon valon pääseminen sisälle ei yleensä auta näkemistä. Taivas näkökentässä aiheuttaa häikäisyä. Puolet auringon säteilytehosta on näkyvän säteilyn alueella. Ikkunoissa on hyvä käyttää häikäisy- ja aurinkosuojausta. Ikkunahäikäisyyn ei ole standardimenetelmää [6, s. 24; 1, s. 244-245]. Keinovaloilla pienennetään päivänvalon aiheuttamia luminanssieroja jopa niin, ettei taivas ikkunasta häikäise. Tällöin ikkunoiden läheisyydestä valot on hyvä olla sammutettavissa ja pimein kolmasosa ikkunaseinällisestä huoneesta valaistavissa pelkällä keinovalolla. [1, s. 255].

## **7.2 Suora estohäikäisy**

Suora estohäikäisy on näkemistä heikentävä ja johtuu valaisimen valoisien pintojen suorasta näkymisestä, johon vaikuttaa valaisimen valovoima silmiä kohti, asennuskorkeus, sijoitus ja suuntaus sekä taustan luminanssi. Jos kiusahäikäisyyn UGR arvot alitetaan, estohäikäisy ei ole yleensä haittaa. Tievalaistuksissa

käytetty yksinkertainen estohäikäisyn aste  $D$  riippuu harsoluminanssista  $L_v$  ja taustaluminanssista  $L_b$  kaavan 14 mukaisesti. [1, s. 144, 181; 6, s. 24].

$$D = \frac{L_v}{L_v + L_b} \quad (14)$$

Sopeutumisluminanssi on harso- ja taustaluminanssien summa. Estohäikäisyn aste  $D$  ei saisi olla yli 0,05 - 0,1. Laskelmissa  $L_b$  on 2 - 5° näkökartion keskiluminanssi. Jos tausta on täysin hajaheijastava, voidaan  $L_b$  laskea silmäkorkeudelta mitatusta pystysuorasta valaistusvoimakkuudesta  $E_v$  kaavalla 15. [1, s. 182-183; 6, s. 22, 24].

$$L_b = \frac{E_v}{\pi} \quad (15)$$

Valo hajautuu silmässä aiheuttaen harsoluminanssia, joka heikentää nähdyn kuvan kontrasteja. Harsoluminanssi  $L_v$  lasketaan Stiles-Holladay-yhtälöstä kaavalla 16, jossa  $E_{silma}$  on valaisimen valaistusvoimakkuus katsesuunnasta kohtisuoralla tasolla sekä  $\theta$  katsesuunnan ja valaisimen suunnan välinen kulma. [1, s. 144-145, 181-182].

$$L_v = 10 \frac{E_{silma}}{\theta^2} \quad (16)$$

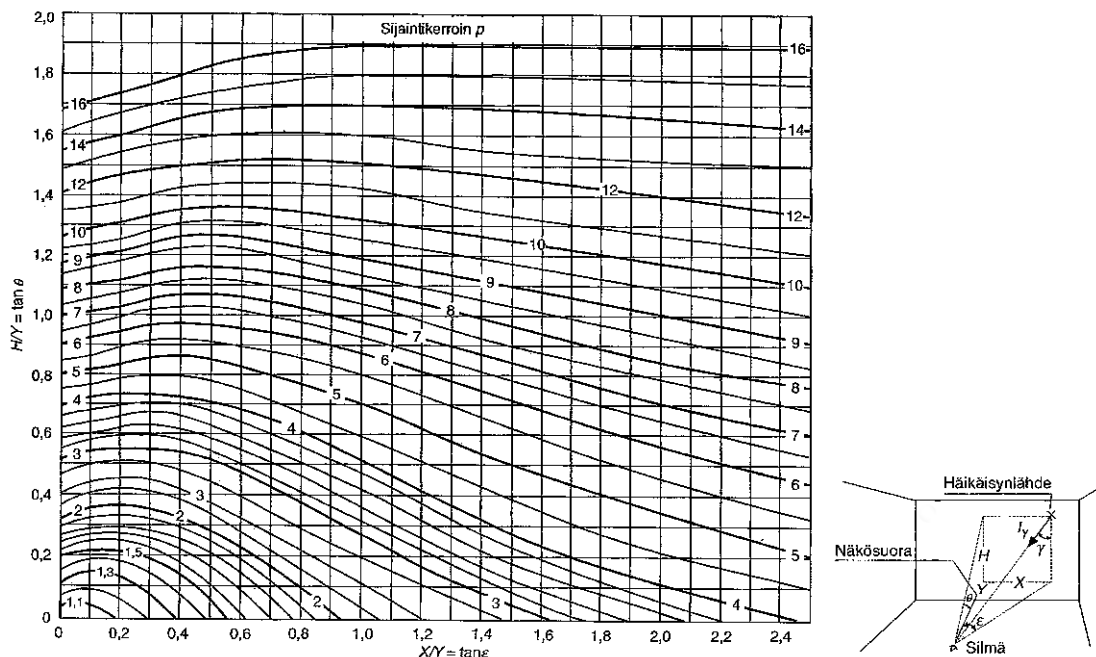
Vanhoilla ihmisillä estohäikäisyä aiheuttava harsoluminanssi voi kolminkertaistua nuoriin verrattuna. Luminanssimittareihin on lisälaitteita, jotka kokoavat valonlähteistä valonsäteet Stiles-Holladayn yhtälön mukaisesti. Mittauksia tehdään pääkatsesuuntiin normaaleissa katsomisolosuhteissa. [1, s. 65, 144-145, 181-182].

### 7.3 Suora kiusahäikäisy UGR-indeksillä

Suora kiusahäikäisy on epämiellyttävää häikäisyä ja aiheutuu samoin kuin estohäikäisy. Sisävalaistuksessa käytetty  $UGR$ -indeksi lasketaan kaavalla 17 valaisimien projektiopintojen yhteenlasketusta keskiluminanssista  $L_s$  tarkastelu-

suuntaan, valaisimen näkyvästä avaruuskulmasta  $\omega$ , ympäristön keskitaustaluminanssista  $L_B$  ja Guthin sijaintikerroimesta  $p$ .  $UGR$ -arvot ovat samankaltaisia vanhempaan IES-häikäisyideksiin, joissa molemmissa vaatimuksina ovat taustaluminanssin tasaisuus alle  $500 \text{ cd/m}^2$  luminanssilla, valaisimen projektiopinnan tasainen alle  $10\,000 \text{ cd/m}^2$  luminanssi alle  $0,05 \text{ sr}$  avaruuskulmassa ja kaikkien valaisimien alle  $0,5 \text{ sr}$  summa-avaruuskulma. Kolmen yksikön muutos voidaan havaita ja häikäisy on pahempi suuremmalla arvolla. Kuviossa 6 sijaintikerroin on verrannollinen valaisimen sijainnin poikkeamaan katsesuunnasta. Standardin mukaan  $UGR$  arvot eivät saa ylittyä ja valaisinvalmistajan täytyy ilmoittaa ne. Dialux 4:ssä voi laittaa katsojan työpisteeseen  $UGR$ :n laske-  
miseksi. [1, s. 186-188; 3 s. 43; 6, s. 24, 70].

$$UGR = 8 \log_{10} \left( \frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L_s^2 \omega}{p^2} \right) \quad (17)$$



Kuvio 6. Guthin sijaintikerroin näkösuoran  $Y$ , häikäisylähteen korkeus  $H$  ja leveys  $X$  näkösuorasta avulla [1, s. 186].

## 7.4 Luminanssikontrasti

Sopeutumisesta johtuen silmä havaitsee helposti kontrasti- eli luminanssieroja absoluuttisen luminanssin arvioimisen sijaan. Jo 10 %:n luminanssikontrasti on merkittävämpi kuin suurin värikontrasti. Kontrastiherkkyuden optimisopeutumisluminanssialue on 100 - 5000 cd/m<sup>2</sup>. Luminanssikontrasti  $K$  saadaan kohteen luminanssista  $L_o$  ja taustaluminanssista  $L_b$  kaavalla 18. [1, s. 68-69, 190].

$$K = \frac{L_o - L_b}{L_b} \quad (18)$$

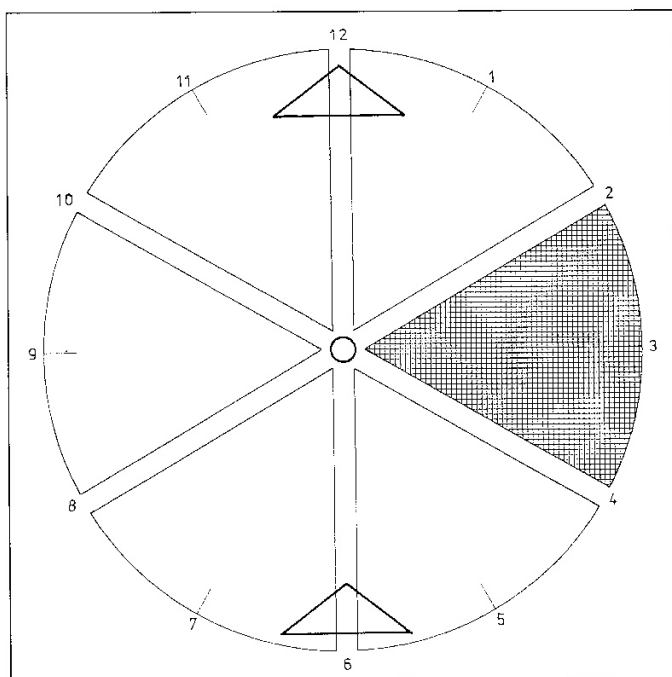
Näkökohteen kontrasteja heikentää kiiltokuvastuminen. Kontrastin käänteisarvo on kontrastiherkkyys ja yleensä käytetään suhteellista kontrastiherkkyyttä RCS, joka on saatu kontrastiherkkyys suhteessa suurella valaistusvoimakkuudella saavutettavaan kontrastiherkkyteen. Kontrastintoistosuhde CFR on näkökohteen mitattu kontrasti suhteessa mattapintaisessa valaistuksessa mitattuun kontrastiin. CRF on kontrastiherkkyuden ja luminanssin välinen riippuvuus, jota kiiltokuvastuminen haittaa eli pienentää tai parantaa eli kasvattaa. Kokonaan epäsuorassa valaistuksessa CRF saa arvon yksi. Koska käytännössä CRF on hankala määrittää, niin käytetään standardikohteen kontrastintoistosuhdetta CRFR standardipintataulukoista. Epäsuorahäikäisy ja kiiltokuvastuminen voidaan arvioida silmämääräisesti normaalissa työasennossa kiiltävällä testilevyllä näkökohteessa. Samalla on hyvä etsiä näkökentästä kaltevia ja kaarevia pintoja, joista valo voi heijastua silmiin. [1, s. 148-149, 190-194].

Tietokoneiden näytöille syntyy usein heijastuksia, jolloin täytyy määritellä haittaa aiheuttavat ja hyvät asennus paikat. Standardissa EN-ISO-9241-307 on vaatimuksia näyttöjen ominaisuuksille. Valaistusstandardi jakaa näytöt normaali- ja suuriluminanssisiin ryhmiin 200 cd/m<sup>2</sup> raja-arvolla. Toisena tekijänä on näytöltä esitettävä normaali ja korkeampien vaatimusten informaatio. Näin korkeintaan 15° pystytasosta kallistetulta näyttöpäätteeltä kuvastuvan valaisimen yli 65° luotilinjasta oleva luminanssi voi olla korkeintaan 1000 - 3000 cd/m<sup>2</sup>. Heijastuksia voi vähentää näytön pintakäsittelyllä, suojalasilla tai kallistamisella. [6, s. 30, 32].

Häikäisyä rajoitetaan suojilla ja varjostimilla ikkunoissa ja valaisimissa. Minimihäikäisy kulma on vaakasuunnan ja lampun valaiseman vaakasuuntaisimman suunnan välinen kulma, jota suurennetaan valaisimen luminanssin kasvaessa. Harsoheijastumista ja heijastushäikäisyä voi vähentää valonlähteiden ja työpisteiden sijoittamisella, mattapinnoilla, luminanssin rajoittamisella sekä vaaleilla katoilla ja seinillä. Valoa tasahajottavien valaisimien lisäksi on optisia kalvoja ja levyjä, joilla pistemäistä valonjakoa ja pintaluminanssia voi muokata. Pistemäinen valo on helpompi ohjata myös linsseillä ja heijastimilla. [3, s. 18; 6, s. 26].

## 7.5 Luminanssin mittaaminen

Visuaalisesti voi helposti arvioida nollaluminanssieron tunnettuun valonlähteeseen. Valon päätulosuunta ja hajavallo voidaan mitata kääntelemällä valaistusvoimakkuusmittaria tai arvioimalla kuvion 7 lailla. [1, s. 83, 150-153].



Kuvio 7. Valon tulosuunta, varjon suunta ja voimakkuus sekä epäsuoran häikäisyn ja kiiltokuvastumisen vaara voidaan arvioida pystyttämällä kynä työtasolle sektoriympyrän keskelle. [1, s. 153].

Luminanssimittari toimii samoin kuin luksimittari, mutta mittausseläktori on kapea ja valoa kokoa objektiivillä, jolla mittari voidaan suunnata. Valaistusvoimakkuus-

mittareihin voi olla luminanssinmittauslisälaite. Silmää vastaava mittauskartion kärkikulma on  $1 - 2^\circ$ . Mittausalue on suuri valonlähteen ja varjon välillä. Sisätiloissa mittaus tehdään silmän kodalta eri suuntiin. Mittauskohteita ovat näkökohde, sen ympäristö, pystypinnat silmän korkeudella, ikkunat yöllä ja päivällä, lattia ja katto eri kulmista sekä valaisimet eri kulmista. Mittaukset voidaan merkitä valokuvaan. Tuloksista lasketaan luminanssisuhteita, varsinkin jos erot näyttävät suurilta. [1, s. 90, 136-137].

## 8 Valaistusvoimakkuus

Radiometrian vastaava suure on säteilytiheys eli irradianssi  $E_e$  yksikkönä  $W/m^2$ . Valaistusvoimakkuus  $E$  yksikkönä lx ja edelleen  $lm/m^2$  kertoo kuinka suuri aistitun valon teho kohdistuu pinta-alaan  $A$  kaavan 19 mukaisesti. [2, s. 256; 1, s. 21].

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (19)$$

### 8.1 Valaistusvoimakkuuden näkeminen

Silmä sopeutuu luonnon valaistuksiin muutamista kymmenesosa lukseista auringon antamaan  $10^5$  lx asti. 60-vuotias tarvitsee 20 % enemmän valoa kuin 20-vuotias suoriutuakseen samalla lailla 1000 lx valaistuksessa ja valaistuksen heiketessä ero kasvaa. Näkötehokkuus tarkoittaa kuinka nopeasti ja luotettavasti kohde havaitaan. Vaikeusasteella tarkoitetaan tehtävän olosuhteita ja vaativuustasolla ihmisen toiminnan vaativuutta. Nämä lisäävät iän kanssa valaistusvoimakkuuden tarvetta. [1, s. 59-64, 69-71].

Ihmiset valitsevat mieluiten 1500 - 3000 lx valaistuksen, vaikka näkötehokkuuden kannalta riittäisi vähempikin. Silmien kautta valo säätelee käpylisäkkeen erittämää melatoniinia, joka vaikuttaa unen ja valveen vuorotteluun. Valoisuudesta elimistö tietää vuorokauden ja vuoden ajan. Jotkin sairaudet yleistyvät

suurimman valomäärän muutoksen aikaan. Kaamosmasennukseen ei vaikuta vielä työtilojen 500 lx, vaan valaistuksen täytyy olla yli 2500 lx. Yötyössä päivän valaistusvoimakkuutta vastaava valaistus valveuttaa ja tehostaa työtä. Varmuutta valon ratkaisevista positiivisista tekijöistä ei ole, mutta kokonaisuuden arvellaan merkitsevän. Valaistusvoimakkuuden lähentyessä 1000 luksia on todettu lisäävän työtehoa ja vähentävän virheitä, väsymystä sekä tapaturmia. Taulukossa 2 on esitetty luonnossa esiintyviä valaistusvoimakkuuksia. [1, s. 74-77; 19].

Taulukko 2. Valaistusvoimakkuuksia erilaisissa luonnon olosuhteissa [19].

0,0001 lx	Kuuton ja pilvinen yötaivas tähtien valossa
0,002 lx	Kuuton ja kirkas yötaivas
0,267 lx	Täysikuu
1 - 10 lx	Hämärä
100 - 1000 lx	Pilvinen päivä
10 000 - 25 000 lx	Suora päivän valo, mutta ei suoraa auringon valoa
130 000 lx	Suora auringon valo päänyläpuolelta

Päivänvalo koostuu suorasta auringon ja taivaan valosta sekä näiden ympäristöstä heijastuneesta valosta. Päivänvalon voimakkuus, spektri ja suunta vaihtelevat, mikä tuottaa vaihtelevan muodonannon ja luminanssijakauman. Tätä pidetään hyvänä ihmiselle. Vaihtelevuus pitää yllä vuorokausirytmiiä ja vaikuttaa mieleen, tunteisiin sekä vireyteen. Keinovalolla voi pyrkiä päivänvalon kaltaiseen valaistuksen muuttumiseen. Automaattisella keinovalon säädöllä valaistusvoimakkuus saadaan pysymään tasaisena päivin ja öin sekä säästetään sähköä ja lampuja. [1, s. 205, 259, 266; 6, s. 34].

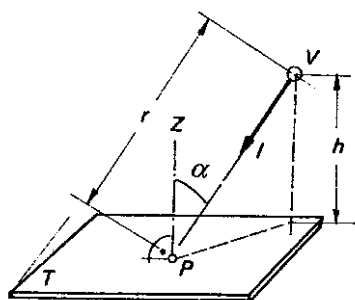
Valaistusvoimakkuus ulkona riippuu leveysasteesta, vuoden ja kellon ajasta sekä säätilasta. Päivänvalon valaistusvoimakkuuteen sisällä vaikuttavat suora taivaan valo sekä sen heijastumat ulkoa ja sisätiloista. Taivaan valoa estävät ja heijastavat ulkopuolinen maasto rakennuksine ja muine kappaleineen. Huoneen ominaisuuksia päivänvalovalaistukseen ovat sen mittasuhteet, pintojen heijastukset sekä ikkunoiden koko, muoto, sijainti ja valon läpäisevyys. [1, s. 209, 212-213].

Päivänvalosuhde kertoo, kuinka suuri valaistusvoimakkuus työtasolla on sisällä verrattuna ulkona vapaan taivaan alla olevaan. Täysin pilvisellä säällä suhde on

aina voimassa. Keskipäivänvalosuhte on n. 20 % seinäikkunoiden alasta suhteessa lattian alaan ja jopa n. 50 % käytettäessä vaakasuoria kattoikkunoita. Kapeiden ja korkeiden seinäikkunoiden sijoittaminen korkealle lisäävät päivänvalon määrää ja jakautumista syvemmälle huoneeseen. Lattian ja katon heijastussuhteet vaikuttavat eniten, kun suora taivaan valo heijastuu ensin lattian kautta ja varsinkin talvella maan kautta heijastunut valo katon kautta. Päivänvalon este ulkona voidaan ilmoittaa esteen huipusta ikkunan keskelle tulevan suoran ja vaakatason välisenä kulmana. Ikkunat ovat ihmiselle psykologinen ja biologinen asia. Päivän valo voidaan korvata keinovaloilla. [1, s. 213-216, 219, 222, 251].

## 8.2 Kohtisuoravalaistusvoimakkuus tasoa vasten

Kuvioon 8 kaavasta 19 voidaan johtaa neliö- ja kosinilain perusteella kaava 20 pistemäisen valonlähteen V kohtisuoraan tasolle T antamasta Z-P-suuntaisesta valaistusvoimakkuudesta  $E$  pisteeseen P, jossa tekijöinä ovat valonlähteen valovoima  $I$ , pinnan normaalin ja valovoiman välinen kulma  $\alpha$  sekä pinnan pisteen etäisyys  $r$  tai pinnan normaalin suuntainen korkeusero  $h$  valon lähteestä V. [1, s. 33-34; 2, s. 257].



Kuvio 8. Pistemäisen valonlähteen V valovoima  $I$  kohdistuu pinnan T pisteeseen P.

$$E = \frac{I \cos \alpha * 1 sr}{r^2} = \frac{I \cos^3 \alpha * 1 sr}{h^2} \quad (20)$$

Tällaisella pistemenetelmällä yksittäisistä valaisimista lasketaan yhteen pisteeseen syntynyt valaistusvoimakkuus. Valovoima luetaan valonjakokäyristä tai

tasa-arvodiagrammista, jotka on redusoitu yleensä kilolumenin valovirralla. Pisteen valaistusvoimakkuus on kaikkien siihen kohdistuneiden valaistusvoimakkuuksien summa. [1, s. 161-164].

### 8.3 Asennusten valaistusvoimakkuuslaskenta ja -mittaukset

Huoneen pohjapiirustus jaetaan ruudukoksi, jossa ruudun sivu on neljäsosasta puoleen valaisimen ja työtason välisestä etäisyydestä. [1, s. 127-128]. Standardi suosittelee ruudun pituuden  $p$  olevan 0,5 - 2 kertaa ruudun leveys  $d$  ja määrää enimmäiseron kaavalla 21. [6, s. 22].

$$p = 0,2 * 5^{\log_{10}(d)} \quad (21)$$

Huoneen mitoista pituus  $l$ , leveys  $w$ , valaisimien korkeus työtasolta  $h_m$  voidaan laskea huoneindeksi  $k$  kaavalla 22, jolla selviää mittauspisteiden lukumäärä taulukossa 3. Mittauspisteitä täytyy lisätä, jos ne sijaitsevat säännöllisesti valaisimiin verrattuna. [1, s. 127-128].

$$k = \frac{lw}{(l+w)h_m} \quad (22)$$

Taulukko 3. Mittauspisteiden määrä huoneindeksin mukaan, kun valaisinjakko on enintään 1,5 kertaa valaisimien korkeus työtasolta. [1, s. 128].

Huoneindeksi $k$	Mittauspisteiden lkm.
$k < 1$	4
$1 \leq k < 2$	9
$2 \leq k < 3$	16
$3 \leq k$	25

Tasaisuuden vuoksi valaisinvälille on saatava ainakin kolme pistettä. Laskentapisteiden suhteessa valaisinpisteisiin täytyy vaihdella tarkkuuden takia. Työpisteelle pitäisi saada mahdollisimman hyvä kontrasti, jolloin valon tulosuunta on paras kätisyyden vastakkaisella puolella. Valaisimen asennuskorkeus on optisen keskipisteen korkeus lattiasta. Optinen keskipiste on joko valaisevan kappaleen keskipiste tai valoaukon keskellä [3, s. 42].

Taulukko 4. Asunnon vähimmäisvalaistusvoimakkuussuosituksia (lx) [22 s. 25].

	Kodin Valo 2014	EN 12464-1	SVS 9-1986	RT 75-10183
<b>Keittiö</b>				
Yleisvalaistus	300	300	200	300
Työtasot	300 - 500	500	300	500
Ruokapöytä	500	200	200	300
Kaappien etupinta	200	200	-	-
<b>Pesuhuone</b>				
Yleisvalaistus	100	200	100	150
<b>WC</b>				
Yleisvalaistus	100	200	100	150
Peilivalaistus	300	-	200	300
<b>Lastenhuone</b>				
Yleisvalaistus	300	300	100	-
<b>Makuuhuone</b>				
Yleisvalaistus	100	-	100	80 - 150
Lukuvalaistus	500	500	750	500
Kaapit	200	200	-	-
Peilit	200	-	200	-
Kampauspöytä / meikkaus	300	500	-	-
<b>Työhuone</b>				
Yleisvalaistus	100	300	100	150
Työpiste	500	500	750	500 - 1000
<b>Kodinhoitohuone</b>				
Yleisvalaistus	300	300	300	150 - 300
Ompelutyö	750	750 - 1500	750	-
Vaatehuone / kaapit	200	200	-	150
<b>Olohuone</b>				
Yleisvalaistus	100 - 300	100	100	150
Lukeminen	500	500	750	500
Käsityöt	750	750	750	1000
<b>Eteinen</b>				
Yleisvalaistus	100	100	100	80 - 150
Kaapit	200	200	-	-
Peili	200	-	200	-
<b>Käytävät, portaat</b>				
Yleisvalaistus	100	100	100	-

Taulukossa 4 on vähimmäisvalaistusvoimakkuussuosituksia asuntoon Kodin Valo 2014 -lehden mukaan hahmoteltuna työkohteiden valaistusstandardista EN 12464-1 vuodelta 2003, Suomen Valoteknillisen Seuran SVS julkaisusta Sisävalaistus 9-1986 ja Rakennustietokortista RT75-10183 vuodelta 1982 [22, s. 24-25].

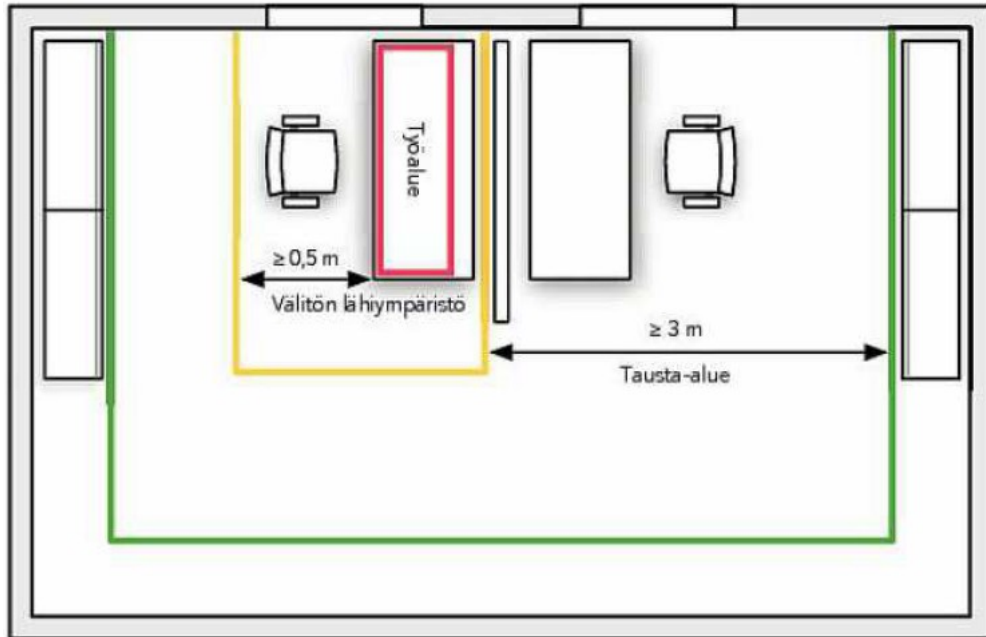
Valaistusvoimakkuuden vähimmäisarvoja määritellään standardissa EN 12646-1 työtehtävän ja vaativuuden mukaan työalueelle, sen välittömän lähiympäristöön ja taustalle. Työalueen tarkastelutasolla arvot on täytyttävä asennuksen iästä ja kunnosta riippumatta. Arvoja on suurennettava n. 1,5-kertaiseksi, kun luetellut tehtävän ominaisuudet tai työntekijän näkö tai työntekijä vaatii. Pienentää voi jakamalla 1,5, jos poikkeuksellisesti näkökohde on suuri, kontrasti hyvä tai työn kesto lyhyt. Asiakas voi haluta voimakkaamman valaistuksen, muutoin suunnittelija arvioi työn vaatimukset. Liiksi valaistut alueet hukkaavat energiaa. [3, s. 40].

Taulukossa 5 valaistusvoimakkuudet ovat johdettu siitä, että välittömässä lähiympäristössä luminanssi on kolmasosa työalueelta ja tausta-alueella kymmenesosa. Seinille ja katolle suljetuissa tiloissa on vähimmäisvalaistusvoimakkuusvaatimukset seinillä 50 lx ja katossa 30 lx sekä tietyissä tiloissa korotettuna 75 lx ja 50 lx. [3, s. 38-39; 6, s. 16, 18].

Taulukko 5. Valaistusvoimakkuuden vähimmäisvaatimukset työalueen ympäristössä [3, s. 39].

Työalue	Välitön lähiympäristö	Tausta-alue
>705 lx	500 lx	150 lx
500 lx	300 lx	100 lx
300 lx	200 lx	75 lx
200 lx	150 lx	50 lx
50-150 lx	= työalue	= $\frac{1}{3}$ * välitön lähiympäristö

Työalue on siinä missä näkötehtäviä tehdään, joka ei ole aina helppo määrittää. Alue voidaan päättää tilaajan kanssa tai ehkä töitä tehdään koko tilassa. Välitön lähiympäristö ylettyy yli puoli metriä työalueen etureunasta ja tausta-alue puolestaan yli kolme metriä lähiympäristön takareunasta kuvion 9 mukaan. [3, s. 39; 6, s. 20].



Kuvio 9. Välittömän lähiympäristön ja tausta-alueen mitat [3, s. 39].

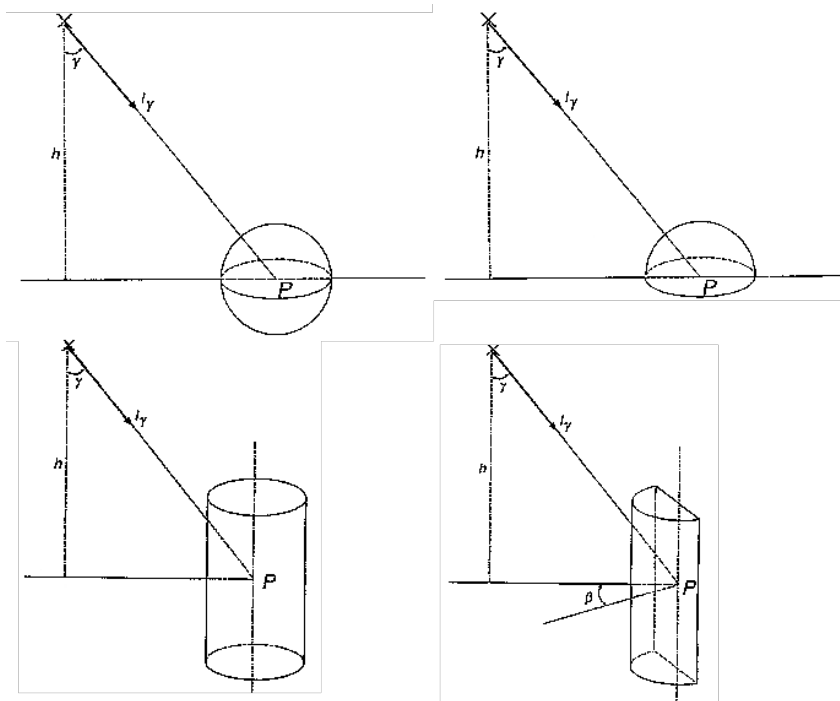
Valaistusvoimakkuuden tasaisuudelle on vaatimukset työtehtävien mukaan ja lähiympäristöön vähintään 0,40 ja tausta-alueelle 0,1. Yleisvalaisimilla valaisimien välissä olevassa työpisteessä voi olla 30 % pienempi voimakkuus kuin valaisimen alapuolella. Valaistusvoimakkuuden tasaisuus  $U_0$  lasketaan kaavalla 23 pienimmän valaistusvoimakkuuden  $E_{min}$  suhteesta keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen  $E_m$ . [1, s. 128; 3, s. 40; 6, s. 22].

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_m} \quad (23)$$

Valaistusvoimakkuusmittari on yksinkertaisimmillaan valokenno ja mikroampeerimittari, joka on kalibroitu näyttämään suoraan lukseja. Mittari havaitsee puoliavaruudesta tulevan valon. Spektriominaisuuksiltaan erilaisten lamppujen takia on käytettävä värikorjaussuodinta. Kosinikorjainta vaaditaan, koska valon tulokulma muuttuu mittauspisteestä toiseen. Valaistusvoimakkuus on ensi sijassa mitattava alueella, jossa toiminta tapahtuu. Asennuksia on verrattava suunnittelussa käytettyyn ruudukkoon ja mittauksissa on käytettävä samoja pisteitä. Valaistuksen tasaisuutta arvioitaessa valaistusvoimakkuuden ääriarvot  $E_{min}$  ja  $E_{max}$  voivat jäädä mittauspisteiden väliin, ja ne voidaan hakea erikseen mittaria siirtämällä. Tasaisuuden voi laskea myös suhteella  $E_{min}/E_{max}$ . [1, s. 89-90, 125, 128-129; 6, s. 70].

## 8.4 Muodonanto

Liian suunnattu valaistus tekee liian teräviä varjoja ja useasta suunnasta tuleva valaistus varjostaa sekavasti useaan suuntaan, kun taas liian tasaisessa valossa muotoja ei puolestaan hahmota. Varjo syntyy valon suunnasta ja sen suhteesta hajavaloon. Varjot helpottavat muotojen hahmottamista ja syntyvät valon päätulosuunnasta verrattuna ympäröivään valoon. Muotojen hahmotukseen riittää yleensä tieto erilaisista valaistusvoimakkuuksista pystytasoilla. Kuviossa 10 yksittäiselle pistemäiselle valaisimelle yhteen pisteeseen P erilaiset valaistusvoimakkuudet  $E$  voidaan laskea valovoimasta  $I_\gamma$ , korkeudesta  $h$  sekä korkeuden ja valovoiman välisestä kulmasta  $\gamma$ . [1, s. 149, 196-200; 6, s. 28].



Kuvio 10. Ylärivillä pallo- ja puolipallo- sekä alarivillä sylinteri- ja puolisynteriva- laistusvoimakkuus [1, s. 199-200].

Kun tilassa ei tehdä näkötyötä, vaan tilan miellyttävä näkeminen ihmisine ja kohteineen on pääasia, voidaan käyttää kuvion 10 skalaari- eli pallovalaistusvoimakkuutta  $E_s$ , joka lasketaan kaavalla 24. Skalaarivalaistusvoimakkuus on kaikkien voimakkuuksien keskiarvo. [1, s. 150, 198].

$$E_s = \frac{I_\gamma}{4h^2} \cos^2 \gamma \quad (24)$$

Tasajakoisessa valaisinsijoittelussa valaistusvoimakkuusvektori suuntautuu alaspäin. Valaistusvoimakkuusvektorin  $\bar{E}$  suhteella skalaarivalaistusvoimakkuuteen  $E_s$  voidaan arvioida kolmiulotteisten kohteiden hahmottamista sisätiloissa, joista tarkemmin taulukossa 6. Näistä laskettava vektoriskalaarisuhde voidaan laskea myös heijastussuhteiden, huoneindeksin, valonjaon ja valonjakauman avulla. Mittaukseen tarvitaan valaistusvoimakkuus tilaulottuvuuksien suuntiin, joista suhde  $\bar{E}/E$  voidaan laskea kaavoilla 25 ja 26. [1, s. 22, 150-151, 196].

$$|\bar{E}| = \sqrt{(E_{ylös} - E_{alas})^2 + (E_{oikea} - E_{vasen})^2 + (E_{etu} - E_{taka})^2} \quad (25)$$

$$E_s = \frac{E_{ylös} + E_{alas} + E_{oikea} + E_{vasen} + E_{etu} + E_{taka}}{6} \quad (26)$$

Taulukko 6. Varjonmuodostuksen asteet [1, s. 151].

Vektoriskalaarisuhde ja varjon voimakkuus	Valaistustulos	Valaisutavat
3,0 Hyvin voimakas	Kontrastit ovat voimakkaat ja yksityiskohdat varjossa eivät erotu.	Kohdevalaistus tai suora auringon valo.
2,5 Voimakas	Voimakkaasti suunnattu valaistus sopii näyttelyihin, muttei ihmispiirteisiin.	Valonjako on kapea ja lattia tumma tai ikkunat ovat yhdellä seinällä ja huonepinnat tummia.
2,0 Kohtalaisen voimakas	Ihmisten piirteet näkyvät miellyttävästi muodollisessa tai etäisessä kanssakäymisessä.	Valonjako on kapea ja lattia vaaleahko tai valonjako on leveä ja lattia tumma tai ikkunat ovat yhdellä seinällä ja huonepinnat ovat vaaleat.
1,5 Kohtalaisen heikko	Ihmisten piirteet näkyvät miellyttävästi vapaassa tai läheisessä kanssakäymisessä.	Valonjako on leveä ja lattia vaalea tai ikkunat ovat vastakkaisilla seinillä.
1,0 Heikko	Kontrastit ovat hillityt ja valaistus pehmeä.	Valokatto tai epäsuora-valaistus. Huonepinnat ovat vaaleita.
0,5 Hyvin heikko	Latteassa ja varjottomassa valaistuksessa valon suunta ei ole erotettavissa.	Valokatto tai epäsuora-valaistus. Huonepinnat ovat vaaleita.

Lattialla olevien kappaleiden hahmottamisen arvostelemiseen sopii kuvion 10 puolipallovalaistusvoimakkuus  $E_{hs}$ , joka lasketaan kaavalla 27 [1, s. 199].

$$E_{hs} = \frac{I_y}{4h^2} (\cos^2 \gamma + \cos^3 \gamma) \quad (27)$$

Keskimääräinen pystytasojen valaistusvoimakkuus on kuvion 10 sylinterivalaistusvoimakkuus  $E_c$ , joka lasketaan kaavalla 28. Tätä voidaan verrata vaakatasolle tulevaan kohtisuoraan valaistusvoimakkuuteen  $E_h$  suhteella  $E_c/E_h$ , jonka arvoilla välillä 0,3 - 3,0 saadaan hyvä muodon hahmotus. [1, s. 200; 6, s. 26]. Sylinterivalaistusvoimakkuus täytyy olla vähintään 50 lx 1,2 m korkeudella istuvalle henkilölle ja 1,6m korkeudella seisovalle. Visuaalista kommunikaatiota vaativissa tiloissa alaraja on 150 lx. Tasaisuuden  $U_0$  täytyy olla yli 0,1. [3, s. 39; 6, s. 26].

$$E_c = \frac{I_y}{\pi h^2} \cos^2 \gamma \sin \gamma \quad (28)$$

Ulkona kasvojen korkeudella ihmisten tunnistamiseksi muodonantoa arvostellaan kuvion 10 puolisynterivalaistusvoimakkuudella  $E_{sc}$ , joka saadaan kaavasta 29. Tällöin tarvitaan em. valaistusvoimakkuuksiin verrattuna vielä muiden teki-  
joiden lisäksi kulma  $\beta$ , johon puolisynterinin normaali osoittaa vaakasuuntaisesta valovoimasta. Pystytason valaistusvoimakkuutta voi verrata puolisynterivalaistusvoimakkuuteen muodonannon arvostelemiseksi. [1, s. 200-201].

$$E_{sc} = \frac{I_y}{\pi h^2} (1 + \cos \beta) \cos^2 \gamma \sin \gamma \quad (29)$$

Puolisynterivalaistusvoimakkuus  $E_{sc}$  voidaan mitata siihen tarkoitetulla yleensä puolisynterinin muotoisella kennolla tai laskea pystytasojen valaistusvoimakkuuksien  $E_{etu}$ ,  $E_{taka}$ ,  $E_{oikea}$  ja  $E_{vasen}$  mittauksista kaavalla 30 [1, s. 152].

$$E_{sc} \approx 0,57 E_{etu} - 0,07 E_{taka} + 0,25 E_{oikea} + 0,25 E_{vasen} \quad (30)$$

## 8.5 Heijastuskertoimet ja valaistusvoimakkuus

Mitä tummemmat värit pienemmässä tilassa sitä enemmän valovirtaa ja valaistusvoimakkuutta hukkuu pieniin heijastuskertoimiin ja silmät rasittuvat, joten tummaa on harkittava. Standardin EN-12464-1 mukaan sisäpinnoille sopivat heijastuskertoimet ovat katolle 0,7 - 0,9; seinälle 0,5 - 0,8, lattialle 0,2 - 0,4 sekä kalusteet ja koneet jne. 0,2 - 0,7. Jos kertoimia ei tiedetä, on paras arvio em. pienimmät arvot. [3, s. 41; 6, s. 16].

Valoa läpäisemättömän pallon sisäpinta valaistuna keskipisteestään heijastuskertoimella 0,5 tuplaa kokonaisvalaistusvoimakkuuden suoraan valaistusvoimakkuuteen verrattuna, kun pinnan valaisee suora valaistusvoimakkuus  $E_s$  ja kaikki heijastukset  $E_h$ . Energian häviämättömyydestä saadaan kaava 31. [1, s.38].

$$E_h = \frac{\rho}{1-\rho} * E_s \quad (31)$$

Valaistusvoimakkuus voi pienentyä 20 - 30 % kalusteiden takia. Kalusteet voidaan ottaa laskentaan mukaan, jos varjot ovat merkittävät ja halutaan tarkka tulos tai visualisointikuva. Merkittäviä kalusteita ovat vain yli työtason korkeudelle yltävät, kun sitä matalammat yleensä heijastavat paremmin kuin lattia.

Integroivan pallon avulla voidaan mitata materiaalille suunnatun valon heijastus- ja läpäisysuhde, suunnatun valon hajaheijastus- ja läpäisysuhde, suuntaläpäisy- ja suuntaheijastussuhde sekä hajavalon heijastus- ja läpäisysuhde. Näissä mittauksissa palloon tuodaan aukosta suunnattu tai hajavallo. Sitten mitataan valaistusvoimakkuudet aukoista, joissa on näyte, vertailumateriaali ja tyhjä aukko. Suhteet saadaan laskettua kertomalla vertailupinnan tiedetty suhde valaistusvoimakkuusmittauksista lasketuilla suhteilla. [1, s. 108-112].

Hajaheijastavan pinnan heijastussuhde  $\rho$  lasketaan kaavalla 32 ja saadaan mitaamalla valaistusvoimakkuus pintaan päin  $E_p$  ja pinnasta pois päin  $E$ . Heijastussuhteen voi mitata myös värisävy- ja tummuusastekartalla, jossa on reikiä. [1, s. 143].

$$\rho = \frac{E_{\rho}}{E} \quad (32)$$

## 8.6 Valaistuslaskentamenetelmiä

Graafisessa menetelmässä isoluxidiagrammit piirretään päällekkäin valaistavan alueen kanssa ja summataan valaistusvoimakkuudet. ”NB-menetelmällä voidaan laskea huoneen keskivalaistusvoimakkuus, valita valaisinvälin suhde asennuskorkeuteen tasaisen valaistusvoimakkuuden aikaan saamiseksi ja määrittää häikäisyindeksi” [1, s. 167]. Suunnittelussa usein selvitetään valaisinten määrä vaaditun keskimääräisen valaistusvoimakkuuden saavuttamiseksi. Laskennassa tarvitaan huoneen mitat, heijastussuhteet ja valaisimen NB-luettelotiedot. Huoneindeksillä haetaan valaistushyötysuhde, jolla saadaan tarvittava valaisinmäärä ja tarkistetaan valaisin väli. Huomioon otettavia asioita ovat valaisimen seinän läheisyys, ripustus, heijastussuhteet, valaistusvoimakkuuden tasaisuus ja häikäisy, johon vaikuttavat taustaluminanssi ja valaisinkorkeus silmän tasolta sekä lamppujen kokonaisvalovirta. [1, s. 164-180].

Laskenta-alueeksi kannattaa valita vain tarpeellinen ala, jossa työskennellään tai liikutaan. Suurikokoisissa symmetrisissä tiloissa riittää laskea reilun valaisimen verran yli neljäsosa tilasta kuvitteellisilla seinillä, joiden heijastuskerroin on 0,99. Standardin vaatimukset pätevät riippumatta valaistuksen iästä ja kunnosta. Lähtöarvot on tarkistettava ja tuloksia verrattava tavoitteeseen. Tuloksiin ilmoitetaan vain merkitsevät numerot. Kun valaistusvoimakkuusero on havaittavissa 1,5-kertaisena, pienet heitot eivät haittaa ja heitot lähtötiedoissa saavat olla suuria. Ylimiöitus ei haittaa useasti väljän valaisinhuollon takia, mutta kuluttaa turhaan energiaa. Näköolosuhteista ei saa kuitenkaan tinkiä energian kulutuksen alentamiseksi. Energiaa säästyy päivänvalon, ohjauksen ja valaistushuollon avulla. Energiavaatimukset ovat standardissa EN 15193, jossa määritetään valaistuksen energiatehokkuutta kuvaava LENI-indeksi. [3, s. 40, 43; 6, s. 32, 34].

Ekvivalentti vertailuvalaistusvoimakkuus ERI yksikkönä lx antaa vertailuvalaistusolosuhteissa näkökohteelle saman näkyvyyden kuin valaistusasennuksen valaistusvoimakkuus kerrottuna kontrastintoistosuhteella CFR. ERI suhde todelliseen valaistusvoimakkuuteen on valaistuksen tehokkuustekijä LEF. [1, s. 194-195].

Valaistuksen alenemakertoimilla MF kompensoidaan likaantumisesta ja vanhenemisesta johtuva valovirran ja valaistusvoimakkuuden heikentyminen. Alenemakertoimen valinta on esitetty julkaisussa CIE97:2005, jossa kertoimet riippuvat mm. lampputyypistä ja likaisuudesta. Kokonaisalenema voidaan mitata yhdestä pisteestä 2 - 3 vuoden ajalta ja päivittää huolto-ohjelmaan. Kylmä pienentää loisteputkien ja kasvattaa ledien valovirtaa. Päivänvalon kanssa ikkunoiden alenema olisi myös laskettava mukaan. [1, s. 165-166; 3, s. 42; 6, s. 32].

Dialux on laajasti käytetty valosuunnitteluohjelma ja uudessa versiossa EVO on käytetty uusia ideoita parantamaan suunnittelua. Suunnittelu ohjelmassa jakautuu eri moodeihin. Moodeissa on omat työkalut, joihin sisältyy monimutkaiset asetukset ja erikoismoodit. Ensimmäinen on rakentaminen, jossa piirretään suunnitelma dwg-tiedostosta kuvaksi. Tässä piirretään 3D-virtuaalitila aina huoneesta jopa kaupunkiympäristöön asti piha-alueineen, missä kuluu suurin aika. Toisessa moodissa valo valaisimet valitaan ja sijoitetaan. Käytettävistä valaisimista täytyy olla valomittaustiedot. Ohjelmassa on helposti valittavissa Dialuxkumppanivalmistajat valaisimineen ja lamppuineen, joihin on käytössä hakukone. Valaisimien sijoitteluun on helpottavia työkaluja. Kolmantena on laskenta, jossa valaistus lasketaan kuvaan näkyväksi. Rakennus lasketaan ympäristönsä kanssa tarkasti hyväksyttävässä laskenta-ajassa. Laskentaperiaatteena on käytetty ns. "Photon Shootings"-periaatetta, jossa valo säteilytetään huoneen läpi. Läpinäkyvyys ja heijastus on otettu oikein huomioon. Läpinäkyvyys on läpinäkyvää jo rakennusvaiheessa. Laskenta tulokset nähdään klikkaamalla pintaa. Viimeisenä dokumentoinnissa valitaan, mitä tulostetaan ja missä muodossa. [5, s. 1].

## 8.7 Valaistushuolto

Likaantuminen absorboi valoa ja voi muuttaa valonjakoa. Likaantumisenopeus riippuu valaisimen rakenteesta ja tilan käytöstä. Ajan kanssa eri tekijät heikentävät materiaaleja niin, ettei puhdistukseen auta. [1, s. 273-275].

Lamppujen keskipitoaika riippuu lamppulajista ja polttoajasta. Lamppulajista riippuu, onko syytä katsoa loppuun palamisaikaa vai hyötypolttoikää. Lamppujen vaihtokustannukset koostuvat hankintahinnasta ja vaihtotyöstä pitoaikaa kohti. Erityyppisille lampuille tehdään polttoikämittauksia standardien mukaan. Kun tietty osuus lampuista palaa loppuun on odotettavissa, että suurin osa loppuista sammuu nopeasti. Hyötypolttoikä on käyttöaika, jolloin valaistusvoimakkuus on laskenut 30 % valovirran aleneman ja kuolleisuuden takia yhteensä. [1, s. 103, 272-275, 278-280].

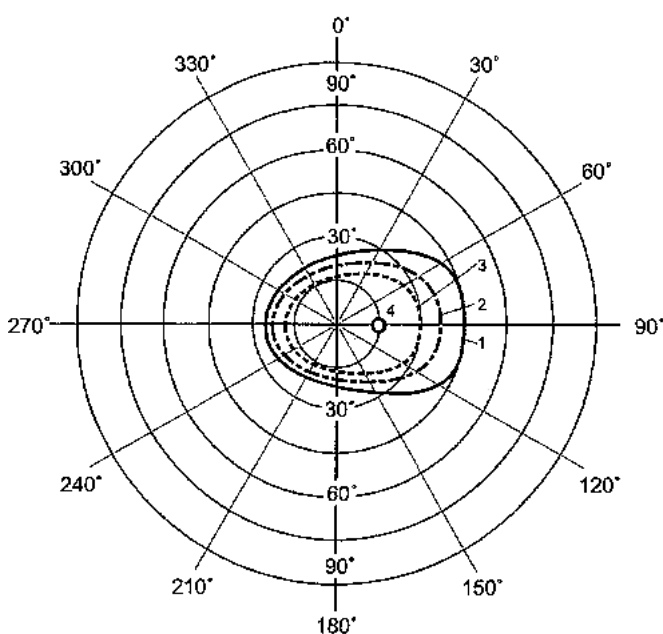
EN 12464-1 mukaan huoltosuunnitelmaan laitettavia asioita ovat valaistusvoimakkuuden ja asennuksen kunnan seuranta, vaihtovälit ja tavat, valaisinosien vaihto, vaihdettavien osien tekniset tiedot ja hankinta, puhdistuksen tiedot, työ määrä sekä apuvälineet. [1, s. 282-292; 3, s. 42].

Valaistuksen taloudellisuus erilaisten valoteknisten ominaisuuksien vaikutukselta ihmisen toimintaan on hankala laskea. Vaatimusten täytyttyä haetaan edullisin ratkaisu. Työoloihin vaatimuksia löytyy tosin niin paljon, että vaihtoehtoja on vähän. Taloudellinen puhdistus voidaan ajatella niin, että puhdistuskustannukset ovat valaistuksessa likaantumisen vuoksi menetettyjen kustannuksien suuruiset. Puhdistusaikaväli saadaan valaistusvoimakkuuden suhteellisen pienenemisen ajassa, kertapuhdistuskustannusten ja valaistuksen kustannusten ilman puhdistusta avulla. Kiinteitä kustannuksia ovat tarvikkeet ja työ. Muuttuvia ovat energia-, lamppu-, huolto- ja korjauskustannukset. [1, s. 280-282, 297-298].

## 9 Värinäkö

### 9.1 Värien näkeminen

Kuviossa 11 värinäkemisen kenttä on sokeantäplän ympärillä väristä riippuen suunnilleen  $30^\circ$  kartio. Värisopeutuminen pyrkii antamaan pitkään kestävien ja kohtuullisesti erimääräisten väriärsykkeiden summana värittömän. Monokromaattisessa valossa näöntarkkuutta ei heikennä silmän väripoikkeama. [1, s. 57-59, 67].



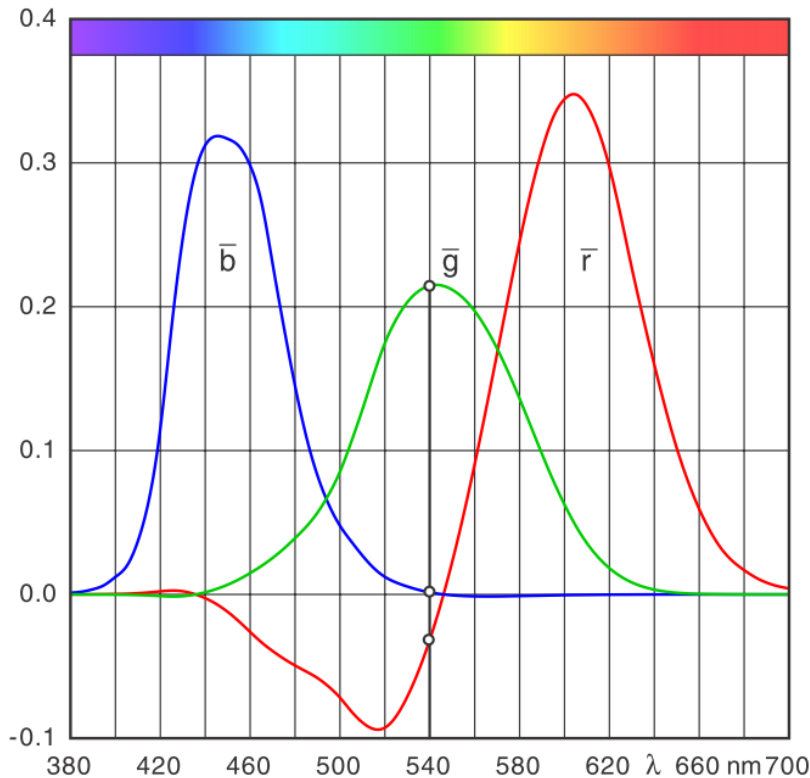
Kuvio 11. Oikean silmän näkökentän keltaisen ja sinisen raja on merkitty 1, punaisen raja 2, vihreän raja 3 sekä sokeatäplä 4 [1, s. 57].

Silmässä on  $10^8$  sauvasolua luminanssille ja  $6 \cdot 10^6$  tappisolua väreille, joista tiedon vie aivoihin  $10^6$  hermosolua. Spektrin tieto häviää, kun aivot saavat siitä vain kolmea tietoa. Tappinäkemiseen tarvitaan muutaman  $\text{cd}/\text{m}^2$  luminanssi. [11, s. 2-3]. Ikääntyessä linssi kellastuu, pupillin koko pienenee ja valon hajaantuminen silmässä kasvaa. Lyhytaaltainen violetti ja sininen saavuttaa verkkokalvon huonommin. Lähinäköetäisyys muuttuu 16-vuotiaan 8 cm:stä 60-vuotiaan 100 cm:riin, jolloin myös sopeutuminen ja sietäminen ovat heikompia. [1, s. 63-65].

## 9.2 Kolmiväriteoria

Väriaistimus voidaan saada samanlaisena kolmella millä tahansa erilaisella väriärsykekomponentilla keskenään sopivissa suhteissa, jos mitään näistä ei saada aikaan kahdella muulla. Kahden väriaistimuksen summa on samanlainen ärsyke, kuin niitä vastaavat kolmivärijärjestelmäkomponenttiärsykkeet yhdistetään. Valolähteiden sekoittaminen on yhdistävää värisekoitusta. Värikomponentit voidaan lisätä yhteen ja laskea niistä uudet koordinaatit. Heijastavien ja läpäisevien pintojen värisekoitus on erottavaa värin sekoitusta. Väriillisissä valoissa käytetään yleensä punaista R, vihreää G ja sinistä B. Vähentävässä värien sekoittamisessa kuten tulostamisessa taas yhdistetään keltaista Y, purppuranpunaista M ja turkoosia C. Puhtaan valkoinen W eli tasa-energiavalkoinen on väri, jossa säteilyteho valon aallonpituusvälillä on vakio. RGB-valonlähteitä voi täydentää valkoisella parantamaan värintoistokykyä. Valkoisen suhteen voidaan määrittää hallitseva aallonpituus, jota vastaava aistimusperäinen käsite on värisävy. Toiseksi voidaan määrittää ärsykepuhtaus, jonka subjektiivinen käsite samaan tapaan on värikylläisyys. [1, s. 40, 44-46; 3, s. 18; 2, s. 270-272].

CIE 1931 RGB värinsovitusfunktiot on johdettu Wright'in ja Guild'in kokeista vuosilta 1928 - 1931. Näissä 17 havaitsijaa vastasi 2° näkökentässä monokromaattisiin punaisten, vihreiden ja sinisten valojen sekoitukseen välillä n. 400 - 700 nm. Näistä funktiot kuvioon 12 ovat johdettu niin kuin kokeissa olisi käytetty monokromaattisia säteilyn aallonpituuksia punainen 700 nm, vihreä 546,1 nm ja sininen 435,8 nm; jotka ovat CIE perusvärit. [10, s. 3-4].



Kuvio 12. CIE 1931 RGB värinsovitusfunktiot  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$  ja  $\bar{b}(\lambda)$  [11, s. 4].

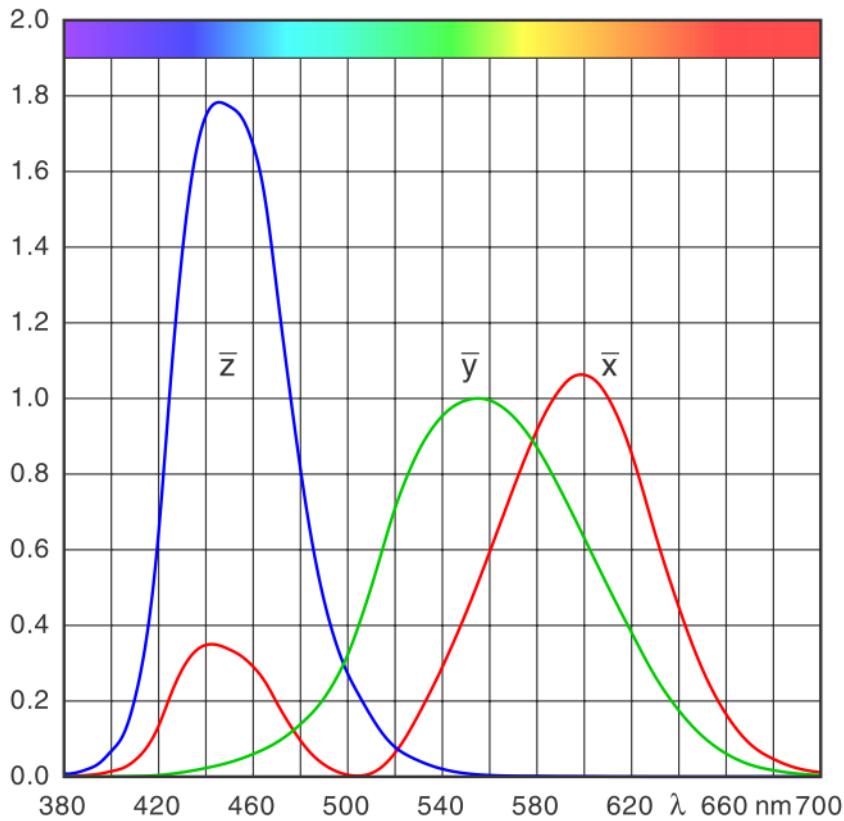
Kolmiväriteorian pohjalta on kehitetty CIE:n hyväksymä värinmittauksen standardijärjestelmä CIE 1931 XYZ värinmittaushavaintijalle. Se perustuu kuviossa 13 oleviin värinsovitusfunktioihin  $\bar{x}(\lambda)$  kaavalla 33,  $\bar{y}(\lambda)$  kaavalla 34 ja  $\bar{z}(\lambda)$  kaavalla 35, joissa  $n$  kaavalla 36 on normalisoiva vakio ja jotka vastaavat suunnilleen silmän tappisoluryhmän herkkyyksiä. Yhdistämällä kuviossa 12 merkittyjen pisteiden suhteissa rgb-värinsovitusfunktioita oli mahdollista mm. päästä negatiivisista arvoista eroon ja funktio  $\bar{y}(\lambda)$  identtiseksi silmän spektriherkkyyden  $V(\lambda)$  kanssa. [1, s. 41; 8; 10, s. 3-4].

$$\bar{x}(\lambda) = [0,49\bar{r}(\lambda)+0,31\bar{g}(\lambda)+0,2\bar{b}(\lambda)]n \quad (33)$$

$$\bar{y}(\lambda) = [0,17697\bar{r}(\lambda)+0,81240\bar{g}(\lambda)+0,01063\bar{b}(\lambda)]n \quad (34)$$

$$\bar{z}(\lambda) = [0,00\bar{r}(\lambda)+0,01\bar{g}(\lambda)+0,99\bar{b}(\lambda)]n \quad (35)$$

$$n = \frac{1,000+4,5907+0,0601}{0,17697+0,81240+0,01063} = 5,6508 \quad (36)$$



Kuvio 13. CIE 1931 XYZ värinsovitusfunktiot [11, s. 7].

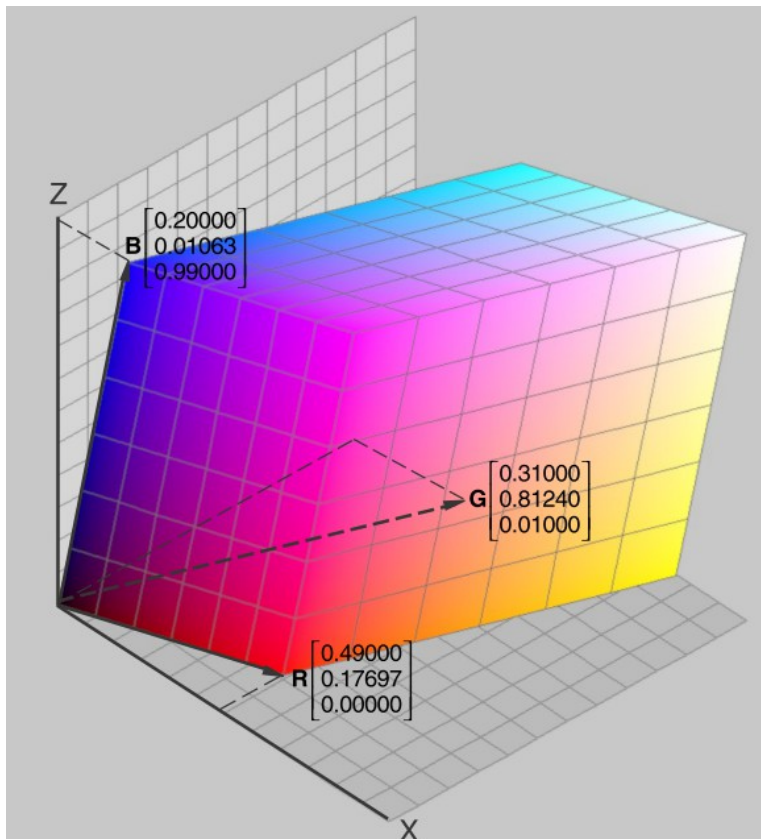
Kun tiedetään valoa vastaavan säteilytehon suhteellinen spektrijakaumakäyrä  $\varphi_{e\lambda}$ , voidaan laskea värikomponentit  $X$  kaavalla 37 ja  $Z$  kaavalla 39, joilla ei ole fyysikaalista vastinetta, sekä kokonaisluminanssia edustava  $Y$  kaavalla 38. [1, s. 41; 8]. ISO 11664-3 standardissa värikomponentit ovat esitetty toisin säteilytehon ja monokromaattisen säteilyn suurimman valotehokkuuden avulla. [14, s. 3-4].

$$X = \int_{380}^{780} \bar{x}(\lambda) \varphi_{e\lambda} d\lambda \quad (37)$$

$$Y = \int_{380}^{780} \bar{y}(\lambda) \varphi_{e\lambda} d\lambda \quad (38)$$

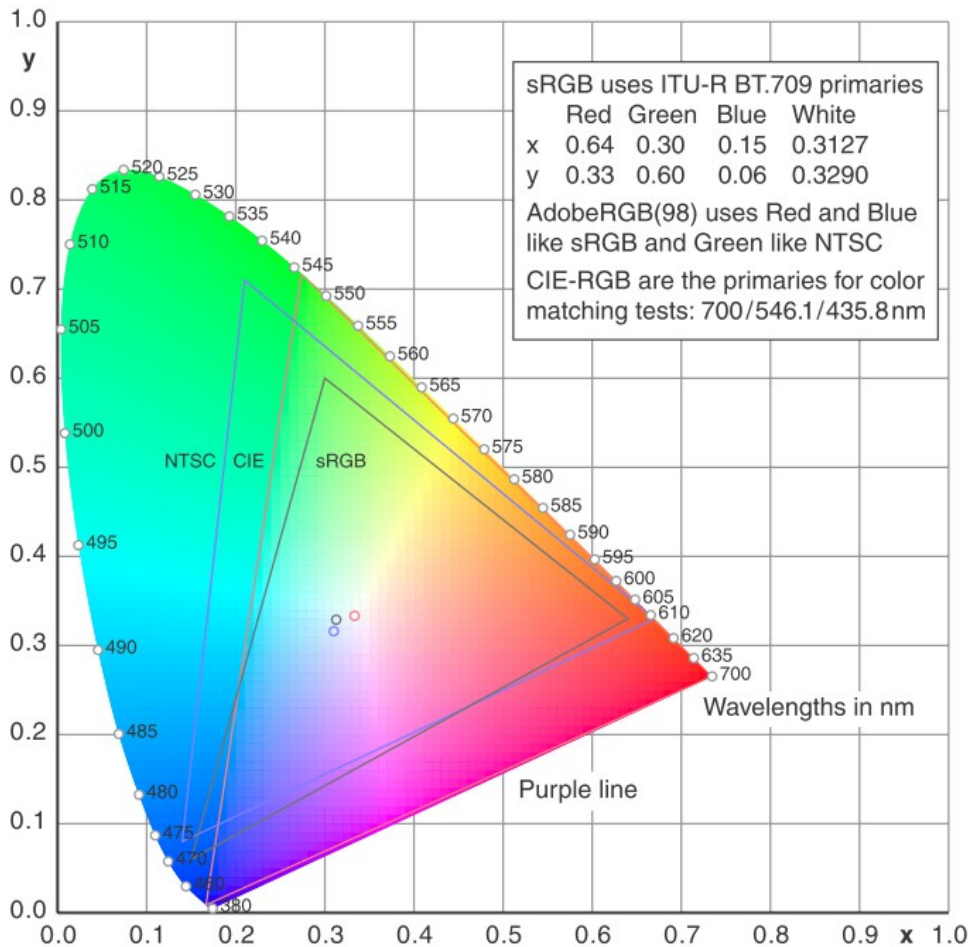
$$Z = \int_{380}^{780} \bar{z}(\lambda) \varphi_{e\lambda} d\lambda \quad (39)$$

Värikomponentit voidaan esittää kuviossa 14 kolmiulotteisessa CIE 1931 XYZ väriavaruudessa, joka sisältää kaikki havaittavat värit ja on perustana värimuunnoksille. [11, s. 2, 5].



Kuvio 14. XYZ-värikoordinaattijärjestelmä CIE-perusvärivektoreilla R, G ja B [11, s. 5].

CIE 1931 XYZ väriavaruudesta on projisoitu kuvioon 15 CIE 1931 xyY-värisävydiagrammi, jossa on esitetty väriavaruuksia valkoisine pisteineen ja pääväreineen. CIE avaruuden kulmat ulottuvat monokromaattisten perusvärien ansioista reunoille asti. sRGB:n ulkopuolelle jäävää alue ei näy oikein tavallisissa näytöissä tai tulostimissa ja sen sisältämienkin värien oikeellisuuteen on kiinnitettävä huomiota. [11, s. 2; 12].



Kuvio 15. CIE 1931 xyY-värisävydiagrammi, jossa väriavaruuksia pääväreineen ja valkoisine pisteineen [11, s. 2].

Värikoordinaatit  $x$ ,  $y$  ja  $z$  ovat säteilytehoon verrannollisia värikomponenttien suhteita. Värikoordinaateilla  $x$  kaavalla 40 ja  $y$  kaavalla 41 voidaan katsoa väri väridiagrammista, joka ei riipu valonlähteen säteilytehosta, sekä laskea kolmas koordinaatti  $z$  kaavalla 42. [1, s. 41; 8].

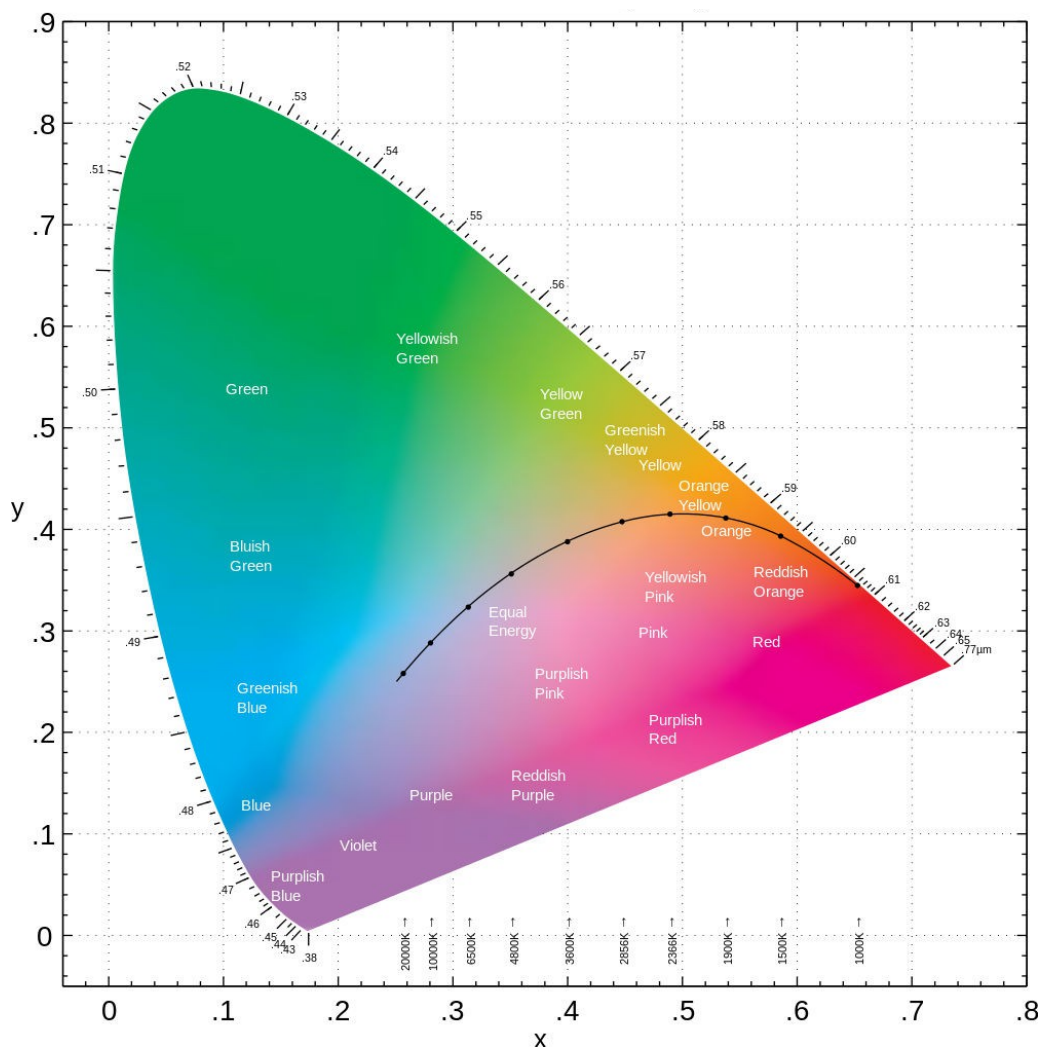
$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad (40)$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (41)$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1-x-y \quad (42)$$

### 9.3 Värilämpötila

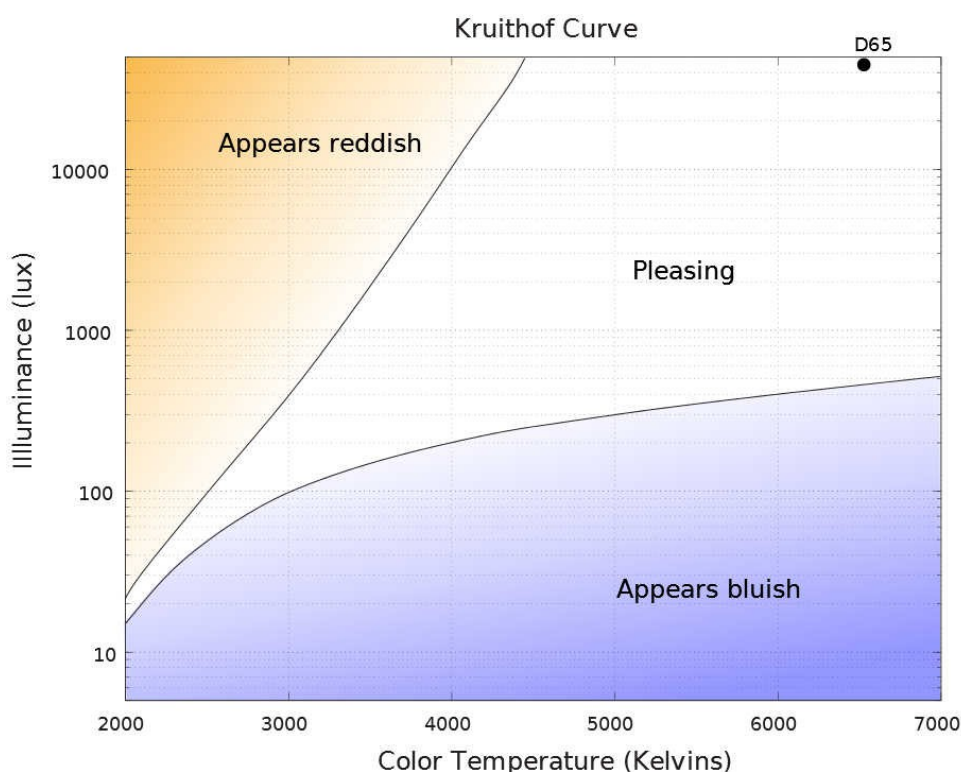
Musta kappale eli Planckin säteilijä säteilee lämpötilansa mukaan siihen kohdistuvasta säteilystä riippumatta. Hehkulanka-aineet ovat tämän kaltaisia, jolloin niiden väri voidaan ilmoittaa värilämpötilana. [1, s. 46-47]. Kuviossa 16 on esitetty värilämpötilakäyrä väridiagrammissa Munsellin värisävyjen kanssa.



Kuvio 16. CIE xyY-väriavaruus keskiverrolla värikylläisyydellä ja kirkkaudella, johon on merkitty Munsellin värisävyt ja Planck'in säteilijän värikäyrä luetelluilla värilämpötiloilla [8].

Valaistusvoimakkuus ja värilämpö säätelevät keskushermostoa, jolloin työ ja lepotiloihin tarvitaan erilaiset valaistukset. Jokaisella värilämpötilalla on valaistusvoimakkuusalue, jossa valaistus koetaan mielekkäänä Kruithofin käyrien mukaan. [1, s. 75]. Kuviossa 17 D65 on CIE standardiesimerkki valonlähteestä,

joka vastaa pohjoista päivänvaloa ja on monen RGB-väriavaruuden valkoinen piste. [7; 13].



Kuvio 17. Kruithofin käyrät. Valaistus miellyttää rajakäyrien välissä [7].

Valaisimissa voi käyttää värilämpötilaltaan erilaisia LEDejä, joista voidaan säätää sopiva valaistus. Valaistusstandardin mukainen värivaikutelma on lämmin alle 3300 K, kylmä yli 5300 K ja neutraali sillä välillä. Auringon värilämpötila yli 30° horisontista on 5500 K ja pienenee auringon laskiessa. Kirkas sininen taivas voi olla 10 000 K ja pilvinen 4500 - 7000 K. [1, s. 206; 3, s. 18; 6, s. 28].

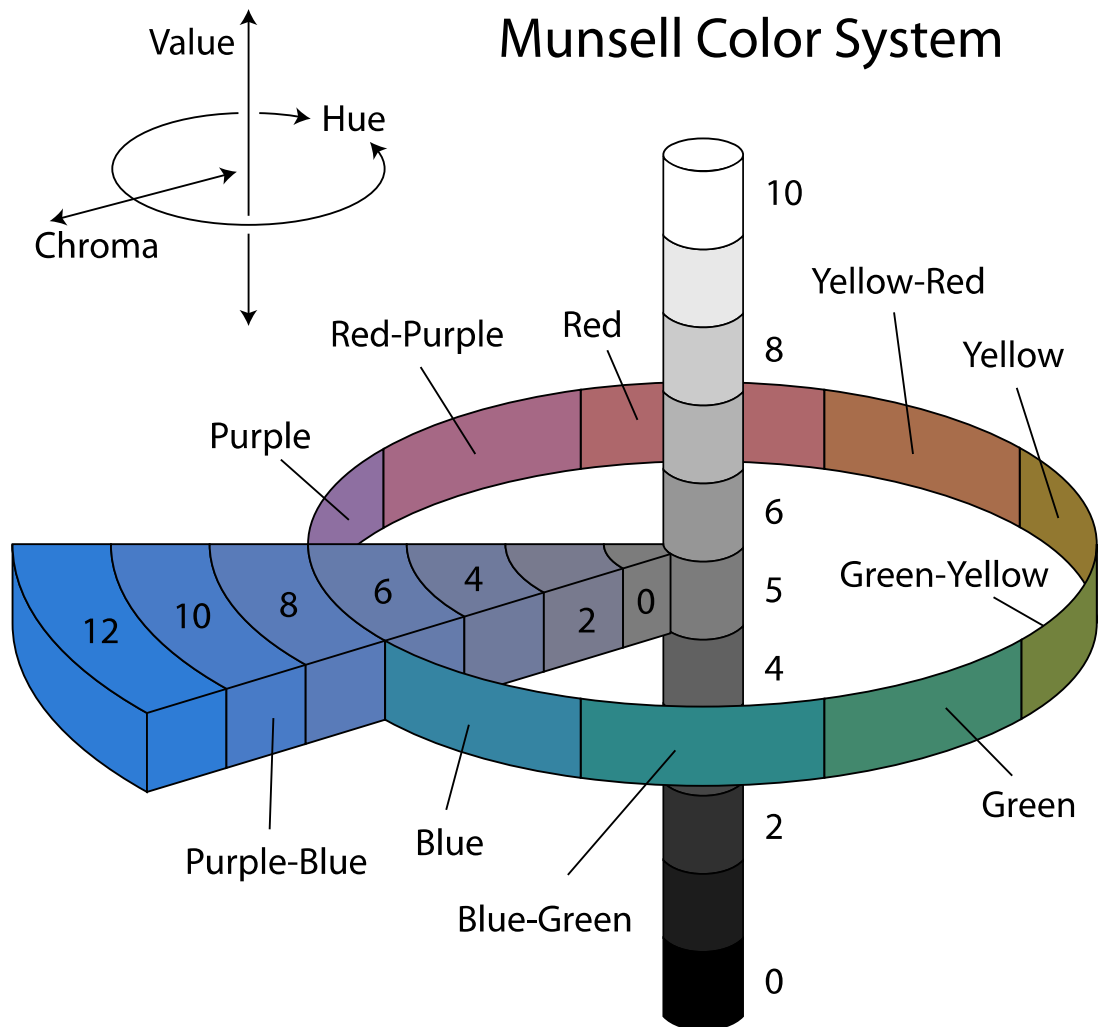
Värilämpötila voidaan mitata käyttöolosuhteissa, mutta värintoistoindeksin selvitys on vaikeaa. Yleensä valaisimista katsotaan luetteloista valmistajan mittaamat laboratorioarvot ja verrataan niitä käyttökohteen vaatimuksiin. Väriä muuttavat valot tai kylläiset pintojen värit saavat huoneen värintoiston poikkeamaan valonlähteelle ilmoitetuista, jolloin voidaan käyttää testiväripintoja. Mukavuuteen vaikuttavat värimieltymykset. [1, s. 153-154].

## 9.4 Väritoistoindeksit

Valonlähteen värikoordinaatit ja värilämpötila eivät kerro miltä ympäristön värit näyttävät tässä valossa. Erilaisilla spektreillä saatua väritoistoa voidaan ilmaista väritoistoindeksillä. Apuna on CIE 1976  $L^*u^*v^*$  väriavaruuden  $u'$ ,  $v'$  uniform chromaticity scale UCS diagrammi, joka saadaan  $x$ ,  $y$  diagrammista koordinaattimuunnoksella. Siinä tarkoituksena on, että samat etäisyydet vastaisivat samoja eroja väriärsykyissä. Ainoana mittauksena tarvitaan valon spektri ja loput saadaan taulukoilla ja tietokoneella. Ensin määritetään värilämpötila, jonka perusteella valitaan taulukoitu vertailuvalonlähde. Sitten lasketaan testiväripintojen taulukoitujen spektristen heijastussuhteiden avulla heijastuneet väripisteet tasajakoiseen väridiagrammiin tutkittavasta ja vertailuvalonlähteestä. Lopuksi molemmilla valonlähteillä määritetään heijastuneiden väripisteiden siirtymät, joista voidaan laskea halutut indeksit. Indeksejä ovat erikoisindeksit  $R_i$ , yksi kukin testiväriä kohti; yleisindeksi  $R_a$  aritmeettisena keskiarvona erikoisindekseistä; värinarvostusindeksi  $P_a$ , jota määrittäessä testiväreihin on lisätty erityiset heijastuspinnat ihon, ruohon ja voin väristä; sekä CDI, joka kuvaa kuinka helposti lähes samanlaiset pintavärit pystytään erottamaan toisistaan. [1, s. 47-49; 20, s. 1].  $R_a$  ilmoittaa kuinka kaukana värintoisto on sitä lähinnä olevan luonnollisen valonlähteen spektristä ja sen suurin arvo on 100. Standardin mukaisten turvavärien täytyy toistua aina oikein. Lamppujen valmistajan täytyy ilmoittaa  $R_a$  ja värilämpötila. [1, s. 50; 6, s. 30, 70].

## 9.5 Kappaleen väri

Väri voidaan määrittää kuvion 18 Munsellin värikappaleen avulla, jossa ulottuvuuksina ovat värisävy, vaaleus ja kylläisyys. Heijastussuhteet eri väreille voidaan ilmoittaa värikartassa. Pinnan heijastussuhde voidaan mitata silmämääräisesti rei'itetyllä Munsellin värikartalla, jossa on heijastussuhteet. Värien spektriset heijastussuhdekäyrät on standardoitu. [1, s. 50-51].



Kuvio 18. Munsellin värikappale. Hue on värisävy, value on vaaleus ja chroma on värikylläisyys. [9].

Spektriradiometrillä voi mitata säteilytehon tai -energian aallonpituuskohtaisesti ja spektrifotometrillä kahden säteilysuuren suhdetta aallonpituuskohtaisesti. Valaistustekniikkaa varten on spektrifotometrejä, jotka mittaavat suoraan kappaleen spektrien läpäisy- tai heijastussuhteen tai aineen spektrien emittanssin. Spektrimittaus on riippumaton materiaalien väristandardeista ja normaalihavaintsijoiden värinäkemisessä olevista eroista. Spektrimittauksista voi laskea värinmittauksen suuret standardi- ja koordinaattimenetelmin. [1, s. 95].

## 10 Johtopäätökset

Koska monet ilmiöt kuten heijastuminen liittyvät kaikkiin fotometrian suureisiin, niin tieto niistä hajaantui suureiden alle. Ilmiöistä löytyi tietoa kirjallisuudessa omina kokonaisuuksina ja tämä tutkimus erilaisella kokoonpanolla antanee eväitä tutkia näitä ilmiötä jatkossa. Laskettavat suureet kuvasin, niin kuin ne olin lähteiden perusteella ymmärtänyt. Yksityiskohtia ei tarkastella kovin syvällisesti, vaan yritetään lopulta ymmärtää kokonaisuutta. Ymmärtääkseen asioita, niitä täytyy yksinkertaistaa. Suuri määrä kaavoja ei tosin tunnu yksinkertaiselta, mutta toisaalta ne ovat tärkeimmät yksityiskohdat. Kaavoja voisi analysoida enemmänkin, mutta paras oli selvittää vain niiden käytännöllisyyttä. Ehkä raaimillaan selvisi vain, mitä voi mitata ja laskea.

Suureiden tarkkaan ymmärtämiseen tarvittiin differentiaali- ja integraalilaskentaa, mitä fysiikan tulokset ovat kokeellisena ja eksaktina luonnontieteenä. Jos todella olisi halunnut hahmottaa suureiden keskinäiset merkitykset, niin olisi voinut mallintaa muutaman näkemistilanteen Dialuxissa ja vertailla näitä keskenään. Opinnäytteessä viitattu tieto näkemisestä oli kokeiden avulla saatua, joista oli pyritty saamaan eksakteja määritelmiä. Näillä pitäisi sitten pystyä suunnittelemaan hyvä valaistus, joka ei ilmeisesti tarvitse olla turhan tarkkaa asunnoissa. Sillä jäljestäpäin sitä voi muuttaa mieleisekseen, kuten muutakin sisustusta.

Lampun sähkötehosta saadaan valotehokkuudella valovirta. Valaisin puolestaan käyttöhyötysuhteellaan kohdentaa valovirran pienempään avaruuskulmaan suurentaen sinne suuntautuvan valovoiman jaon. Suunnassaan huonepinnalle osuva valovoima on heikentänyt valaistusvoimakkuuden etäisyyden neliöön verrannollisesti. Kohtisuoravalistusvoimakkuus on heikentynyt pinnan normaalista valon tulokulman kosiniin. Erisuuntaisten valaistusvoimakkuuksien seurauksena hahmotetaan muodot varjojen avulla. Kappaleen pinta-alalta lähtee valovirta avaruuskulmaan muodostaen luminanssin. Pintojen luminanssit määräytyvät valaistuksen tasaisuuden sekä pintojen ominaisuuksien mukaan. Tilan luminanssijakaumasta saadaan näköhavainto. Luminanssi- tai värierosta syntyvän

kontrastin avulla erotetaan yksityiskohdat, jota haittaa häikäisy. Valon lähteen tai pinnan väri muodostuu jatkuvasta tasaenergiaskpektristä poikkeamisesta, joka näkökyvyn mukaan aistitaan. Valolla on lähin värilämpötila ja jos sillä ei nähdä eri värisiä pintoja erilaisina, niin sen värintoistokyky ja spektri voisi olla parempi.

Valovirran voisi ajatella nähtävän valon tehon jakaumana näkökentässä, josta voisi laskea silmiin tulevan kokonaisvalovirran. Pistemmäiset valonlähteet voisivat säteillä silmiin valovoimajakauman, joka olisi silmiin osuvan avaruuskulman valovirtajakauma. Siitä voisi ilmoittaa lampun tai koko näkökentän silmiin antaman keskivalovoiman. Luminanssi oli nähtävä kirkkausjakauma, josta voisi taas ilmoittaa keskiarvon. Valaistusvoimakkuus silmässä ilmoittaisi, kuinka silmän piste on valaistu tai silmä keskimäärin. Näkökentän keskeltä valon spektristä kolmen tiedon jakaumalla yhteensä ilmoittaisi nähtävä värijakauma. Näkökentän todellinen jakauma riippui millä soluilla aistittiin, mikä riippui kuinka valoisassa katsottiin. Näiden tuloksena nähdään varmaankin yhdenlainen näkökentän jakauma. Näemme ehkä monia erillisiä jakaumia yhtä aikaa päällekkäin, mutta niiden erottelu toisistaan ei mahda olla helppoa tai lähellekkään tarkkaa muuten kuin teoriassa ja mittaamalla.

Näköhavainnossa ja sitä haittaavassa häikäisyssä laskettiin luminansseista muodostuvia suureita. Näkökohteen ja häikäisylähteen sijainti näkökentässä on tärkeää. Häikäisystä on kehitetty erilaisia indeksejä sisälle ja ulos, mikä kertoi ettei asia ole yksiselitteinen. Jos ei tarvitse näkötyötä tehdä ja vain oleilee, niin häikäisyn voi varmaan kokea myös kauniina. Aamuisin häikäisy herättää nopeasti, kun sopeutuminen on nopeaa valoisampaan.

Valaistusvoimakkuussuositukset asuntoon ovat 100 - 500 lx, joka on Kruithofin käyrien mukainen valkoinen alue värilämpötilalla 3000 K. 50 - 100 lx valaistukseen sopii 2500 K. 200 - 10 000 luksia onnistuu 4000 kelvinillä ja yli 500 lx valaistuksessa värilämpötila voisi olla jo 6500 K. Ehkä valaistuslaskijat käyttävät kapeampia käyriä ja voi olla myös syytä saada tilan pimein ja valoisin kohta sopivalle värilämpötilalle. EN 12646-1 standardissa värilämpötila on määrätty vain joihinkin 500 lx ja yli oleviin valaistuksiin, kun käyrien mukaan tarkempana pitäisi olla pienempien valaistusvoimakkuuksien kanssa. Yhtenä syynä lienee värin toisto, sillä matala värilämpötila on väri, jossa on vähemmän valovirtaa lyhyillä

aallonpituuksilla. Standardin valaistusvaatimuksia selatessa vaikutti tärkeämpänä asiana olevan valaistusvoimakkuuden tasaisuus, joka saa 100 luksissa olla 0,4 ja kasvaa 500 luksissa jopa arvoon 0,7. Lisäksi lähiympäristössä pitäisi päästä alle 0,4 ja taustalla jopa alle 0,1. UGR-häikäisyindeksi saisi käytävillä olla korkeintaan 25, oleskelutiloissa ja tavanomaisissa töissä alle 22 sekä tarkemmissa töissä jopa alle 19. Kun työkohteiden valaistuksessa käsitellään vain valonlähteiden värintoistoa värilämpötilassa, niin kuinkahan paljon työtilan pintoja uskaltaa värjätä? Jos silmä sopeutuu näkemään värillisen ympäristönsä valkoisena, niin joutuisiko tarkastelemaan spektrisiä heijastussuhteita vai kuinka hyvin pärjää värimittarilla ja tristimulusarvoilla? Täyden spektrin valaisimien tarpeellisuutta olisi tehnyt mieli lähteä selvittämään verrattuna tavallisiin yhtä kirkkaisiin valoihin. Onko kalliin valon lumevaikutus merkittävää ja kestävää?

Eri varjonmuodostuksen asteiden käyttötarkoituksia olivat taidenäyttelyt, sosiaaliset tilanteet ja tasainen valaistus. Olisi varmaan hienoa voida kytkeä vaikkapa olohuoneeseen valaistus tilanteen mukaan. Spotit kohdennettaisiin tauluille, patsaille tai kasveille, melko suunnattu valo sopisi illanviettoon ja tasainen työskentelyyn. Olisiko mahdollista tehdä valaisin, jossa on suunnattava spotti, koristekynttilälamppu ja plafondi? Voisi sijoittaa muutamat tällaiset olohuoneeseen kauko-ohjattavilla rgbw-lampuilla, niin saisi kätevää muunneltavuutta.

Dialux Evo ilmaisena ja entistä nätimmän näköisenä tuo valaistussuunnittelun lähemmäs tilaajaa tai kuluttajaa. Jokainen voi opetella tekemään suunnitelman, jonka voi käydä parantamassa asiantuntijalla toteutuskuntoon. Tämä on varmaan valaisinvalmistajien etu sillä laatuvalaisimet taitavat Suomessa olla tukkuliikkeissä kuluttajilta hieman piilossa. UGR-indeksin laskeminen puuttui Dialux Evo:sta vielä tutkimushetkellä. Indeksillä on hankalasti laskettava, eikä ilmeisesti kovin pätevä. Jo Guthin sijaintikertoimessa on laskemista kerrakseen eikä tässä ole tarvittu näkösuoran alapuolista häikäisyä [4, s. 3-4].

Värintoistossa tärkeintä lienee tarkastella suoran valon avulla eriväristen materiaalien erottamista. Kuitenkin tutustuminen vaikkapa rakennusalalla käytettäviin RAL-väripintoihin voisi olla epäsuoranvalon tutkimiseen hyvää jatkoa.  $R_a$ -indeksin laskeminen olisi vaatinut enemmän perehtymistä WUV-väriavaruuteen ja oman nippunsa kaavoja. Väriä käsiteltiin vain sen verran, että on perillä näkemi-

sestä ja että pääsisi jatkossa muun sisustussuunnittelun jäljille. Näkökentässä on siis neljän osittain päällekkäisen tiedon jakauma. Sitä ei jääty selvittämään, miten se soluista aivoihin etenee. Värikontrastin merkittävyys oli parhaimmillaan kymmenesosa luminanssikontrastista, mikä puoltaa keskittymistä värisävyn sijaan valaistusvoimakkuuteen valkoisessa valossa. Värikylläisen värin tosin erottanee selkeästi, kun valo alkaa riittää tappisolulla aistimiseen. Päivänvalo oli värivaikutelmaltaan enimmäkseen kylmä. Kun ihminen on työskennellyt päivällä, niin luulisi tämän alueen edistävän työskentelyä, vai olisiko tässäkin valaistusvoimakkuus merkittävämpi? Värivaikutelmaltaan lämpöisessä luulisi olevan hyvä herätä tai ehkä enemmän rentoutua ja käydä nukkumaan. Olisiko matalan värilämpötilan valot päivälläkin mukavia, jos ei tarvitsisi saada mitään työstä aikaan vai sujuisiko työläskin rennosti? Miten käy värintoistolle, kun värilämpötilakäyrältä poiketaan paljon? Pidemmän päälle värien summa nähtiin valkoisena. Pinnoista korostuu siihen tulevan valon väri, ellei se absorboidu ja loista kenties muina väreinä. Värit nähdään vain keskellä silmään ja silloin tarkastellaan jotakin, jonka laadusta saadaan käsitystä. Kuormittaako liika värien käyttö, jollei halua kokea aktiivista värielämystä? Mihin tarkoituksiin yksiaallonpituusvalot kelpaavat?

## 11 Pohdinta

Työssä tarkasteltiin valaistussuunnittelua suureiden avulla, joiden näkemiseen, fysiikkaan, laskemiseen ja mittaamiseen keskityttiin. Tästä saa kuvaa mihin suureita tarvitaan valaistussuunnittelussa ja millaisia perusteita niistä saadaan valaistussuunnittelulle. Toteutin työn lukemalla ja viittailemalla lähteisiin, jolloin työhön saatiin alun perin lähteiden mukainen rakenne. Tällaisessa työssä oli paljon toistoa ja mm. näkemisestä lukeminen hukkui monien heikossa muistissa olevien fotometriin yksiköiden vilinä. Tämä tuntui olevan vaikein asia ja rakenne suureiden mukaan tuntui järkevältä, mikä antaa työlle näkökulman. Näkökulma lienee ainut uusi tai paremminkin erilainen asia mitä työ antaa omanlaisena ohjeenaan valaistussuunnitteluun.

Tutkimuksessa opin kattavasti perusteoriaa. Tutkimus kesti kauan, sillä asioiden sisäistäminen ja tiivistäminen oli paljon rankempaa kuin olin ajatellut. Kaavoja jäi usein tutkiskelemaan ja miettimään liikaa. Tiedon kasvaessa mahdollisen käytännön työn sai jättää pois ja kaiken ollessa melkein valmista tuntui vasta pystyvänsä tekemään jotain konkreettista. Työn huipentuma oli saada tiivistettyä tärkeimmät asiat seminaariin, jolloin sain järjesteltyä oppimani asiat. Mielekkäintä oli saada kuvaa kuinka näemme.

Kirjallisuustutkimuksen eettisyys ja luotettavuus liittyy lähteisiin ja niihin viittamiseen. Valon poikittainen aaltoliike on tiedetty jo 1820-luvulta [2, s. 174]. Tutkimuksia näkemisestä on tehty pitkän aikaa ja laitteet ovat ohessa kehittyneet. Standardit ovat alansa asiantuntijoiden laatimia [21, s. 2-3]. Englanninkielistä Wikipediaa käytin kuvien lähteenä ja tekstiä jo kerätyn tiedon tukemiseen. Vanhahkosta päälähteestäni [1] valaistuslaskennassa oli siirrytty raskaasta taulukkolaskennasta tietokonemallintamiseen. Laskemista ei enää ole tarvinnut osata suorittaa, vaan riittänee ohjelmilla laskettujen tulosten ymmärtäminen. Vaikka lähteet eivät olleet aivan alkuperäisiä, niin suurin virhemahdollisuus lienee omassa tulkinnassani haastavammasta aiheesta kuin alun perin kuvittelin. Yksi haaste oli englanninkieliset lähteet, joissa toisaalta suureiden nimet ja ehkä alkuperäisellä kielellä tehdyt kuvaukset auttoivat ymmärtämään niitä.

Työn aikana teorian lisäksi asian keventämiseksi ihmettelin kaupoissa lamppuja ja valaisimia, oman huoneen valaistusta Dialux-ohjelmalla sekä halvan valaistusmittarin toimintaa. Valmistuttuani haen varmemmin mielin myös niihin töihin, jossa tutkimusaikanani oppimaani voisi tarvita. Koulussa tutustui vain yksinkertaiseen laskemiseen, joissa oikea vastaus oli helposti tarkistettavissa. Todellisuus on tuloksia ihmeellisempi. Vasta tutustuessani käytännönsovelluksiin huomasin, että monet ihmisiin liittyvät laskennat olivat suuntaa antavia. Kun fysiikka on eksaktia ja ihmiset eivät, niin ei tekniikankaan tarvitse olla. Työtehtävissäkin voisi miettiä, mikä on tarpeeksi tarkkaa ja helppoa ihmisille. Kaikkea ei tarvitse tehdä hienosti ja tarkasti.

Jatkotutkimuksia olisivat erilaiset laskelmat käsin ja ohjelmilla, asennukset sekä niiden mittaukset ja kyselyt. Teoriassa tuli värin osalta ensimmäisenä mieleen,

miten eri värisävyisiä pintoja voisi ottaa huomioon laskennassa? Dialuxissa on luultavasti 8-bittinen sRGB väriavaruus. Tietokoneen näyttö olisi kalibroitava näyttämään tämä oikein ja tulostin tulostamaan. Käytettävän pinnan voisi mitata jo suunnittelu vaiheessa. Kuinka tarkkaa tämä olisi kännykällä tai digikameralla? Google play kaupassa on ladattavissa väri- ja luksimittariorjelmia, niin olisiko näistä työkaluksi? Ehkä kännykkään voisi kytkeä erillisiä mittareita. Laadullinen tutkimus ei osaa vastata syy-seuraus-suhteeseen ja siksi aiheeseen liittyen voisikin tutkia valaistuksen tuntemusta kotona viihtymiseen ja valaistuksen määrään. Kohderyhmänä voisi olla vaikkapa uusi omakotitaloalue, jossa kiinnostusta saattaisi riittää. Ehkäpä joku haluaisi korjata valaistusta, jos on sen huonoksi kokenut vai kuinka hyvin moisia puutteita kykenee kokemaan?

Riittävä valaistus ei ole asunnoissa pakollista, mutta energiansäästön vuoksi mm. lamppujen valotehokkuutta parannellaan. Yhteiskunta yrittänee turvata hyvinvointia vähäisellä energian tuotannolla ympäristöä kuormittamatta ja kuluttajan asunnossaan valaistuksella aikaansaama hyvinvointi jäänee suurimaksi osaksi omaksi päätökseksi.

## Lähteet

1. Ahponen, V. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. Valaistustekniikka sarja osa 1. Espoo. 1996. 301 s. ISBN 952-9756-23-2.
2. Peltonen, H. Insinöörin (amk) fysiikka osa II. Saarijärvi. 2007. 478 s. ISBN 978-952-5191-19-6.
3. Suomen Valoteknillinen Seura ry. Valo-lehti. [Verkkolehti]. 2014. Vol. 1. S. 16-18, 38-43. ISSN 1237-3907. Saatavissa: <http://www.prointerior.fi/catalogue/mediapartner.php?magazineID=58>
4. Ma Zhi, Zhang Wei, Li Hui. The Glare Evaluation Method For Civil Airplane Flight Deck. School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University. 28th International Congress Of The Aeronautical Sciences. 2012. 6s. Saatavissa: [http://www.icas.org/ICAS\\_ARCHIVE/ICAS2012/PAPERS/775.PDF](http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2012/PAPERS/775.PDF)
5. Dieter Polle. DIALux evo 1. [Verkkoartikkeli]. S. 1-2. [Viitattu 15.9.2014]. Saatavissa: [http://www.dial.de/DIAL/fileadmin/download/presseinfo/DIALux\\_evo\\_1\\_en.pdf](http://www.dial.de/DIAL/fileadmin/download/presseinfo/DIALux_evo_1_en.pdf)
6. SFS-EN 12464-1:2011. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. Helsinki. 2010. 94s.
7. Wikipedia. Kruithof Curve. [Viitattu 11.10.2014]. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Kruithof\\_curve](http://en.wikipedia.org/wiki/Kruithof_curve)
8. Wikipedia. CIE 1931 color space. [Viitattu 11.10.2014]. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/CIE\\_1931\\_color\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space)
9. Wikipedia. Munsell color system. [Viitattu 11.10.2014]. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Munsell\\_color\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Munsell_color_system)
10. SFS-EN ISO 11664-1:2011. Colorimetry. Part 1: CIE standard colorimetric observers (ISO 11664-1:2007). Helsinki. 2011. 29s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.
11. Hoffmann, G. CIE Color Space. 2014. 30s. Saatavissa: <http://docs-hoffmann.de/ciexyz29082000.pdf>.
12. Steer, W, A. Introduction to colour science. [Viitattu 22.10.2014]. Saatavissa: <http://www.techmind.org/colour/rogues.html>
13. Wikipedia. RGB color space. [Viitattu 22.10.2014]. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/RGB\\_color\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_space)
14. SFS-EN ISO 11664-3:2013. Colorimetry. Part 3: CIE tristimulus values (ISO 11664-3:2012). Helsinki. 2013. 10s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.
15. Wikipedia. Luminous flux. [Viitattu 25.10.2014]. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Luminous\\_flux](http://en.wikipedia.org/wiki/Luminous_flux)
16. Tannous, C. Light production metrics of radiation sources. Vol. 35:4. 2013. S. 7. Saatavissa: <http://arxiv.org/pdf/1311.3504v1.pdf>
17. Sähköturvallisuuden edistämiskeskus STEK ry. Valonlähteiden vertailua. [Viitattu 25.10.2014]. Saatavissa: [http://www.stek.fi/sahkon\\_kaytto\\_kotona/valonlahteet\\_lamput/fi\\_FI/valonlahteiden\\_vertailua/](http://www.stek.fi/sahkon_kaytto_kotona/valonlahteet_lamput/fi_FI/valonlahteiden_vertailua/)
18. Thomas W. Murphy, Jr. Maximum Spectral Luminous Efficacy of White Light. 2013. 8 s. Saatavissa: <http://arxiv.org/pdf/1309.7039v1.pdf>

19. Schlyter, P. Radiometry and photometry in astronomy. [Viitattu 25.10.2014]. Saatavissa: <http://stjarnhimlen.se/comp/radfaq.html#10>
20. SFS-EN ISO 11664-5:2011. Colorimetry. Part 5: CIE 1976 L\*u\*v\* Colour space and u", v" uniform chromaticity scale diagram (ISO 11664-5:2009). Helsinki. 2011. 8s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.
21. SFS. Osallistu ja vaikuta – standardisointityön opas asiantuntijalle. Helsinki. 2013. 30 s. Saatavissa: [http://www.sfs.fi/files/65/Osallistu\\_ja\\_vaikuta\\_NET\\_6-2013.pdf](http://www.sfs.fi/files/65/Osallistu_ja_vaikuta_NET_6-2013.pdf)
22. Suomen Valoteknillinen Seura ry. Kodin Valo 2014. 36 s. ISSN 1237-3907. Saatavissa: <http://www.prointerior.fi/catalogue/mediapartner.php?magazineID=59>