



SAVONIA

VALITSE KOHDE. - VALITSE KOHDE.
VALITSE KOHDE.

LIIKEKIINTEISTÖN VALAISTUKSEN ARVIOINTI JA PARANTAMINEN

TEKIJÄ: Sampo Putkonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Sampo Putkonen	
Työn nimi Liikekiinteistön valaistuksen arviointi ja parantaminen	
Päiväys	10.4.2017
Sivumäärä/Liitteet	67
Ohjaaja(t) lehtori Heikki Laininen, lehtori Heikki Nevalainen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu	
Tiivistelmä	
<p>Opinnäytetyö on osa Savonia-ammattikorkeakoulun muotoilun koulutusohjelman Oravi-projektia, joka toteutettiin kesällä 2016. Projektissa suunniteltiin Oravissa sijaitsevalle myymälälle uusi ulkoasun. Myymälän lisäksi kiinteistöön kuuluvat mm. ravintola, keittiö, myymälä ja vastaanotto. Opinnäytetyön tarkoitus on arvioida kiinteistön valaistuksen nykytilaa ja käsitellä menetelmiä sen parantamiseksi. Työssä käsiteltiin myös valaistukseen liittyvät perussuureet ja määritelmät.</p> <p>Nykytilanteen hahmottamiseksi kiinteistössä suoritettiin valaistusvoimakkuuden mittaukset. Kunkin tilan mittaustuloksia verrattiin standardiin SFS-EN 12464-1:2011, joka käsittelee sisätilojen valaistusta. Opinnäytetyössä selvitettiin myös myymälän valaistuksen päivitystä loisteputkista LED-putkiin. LED-putkille suoritettiin elinkaarilaskenta ja niiden energiankulutusta verrattiin loisteputkien energiankulutukseen. Dialux Evo -ohjelman avulla tarkasteltiin, millaiset LED-putket myymälään pitäisi sijoittaa, jotta standardin määrittämiin valaistuksen arvoihin päästään.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selville LED-putkien takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuaikaa kuvataan sekä käyrinä että taulukoina. Myös LED-putkien tuottamat valaistusvoimakkuudet ja valaistusvoimakkuuden jakautuminen tilaan ilmeni Dialux Evolla suoritetusta laskennasta. Laskennan tulokset esitettiin erilaisina käyrinä myymäläpohjalle mallinnettuna.</p>	
Avainsanat Valaistus, LED, LED-putket, Valaistusvoimakkuus, Energiankulutus	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Sampo Putkonen			
Title of Thesis Evaluating and improving lighting in a business premise			
Date	10.4.2017	Pages/Appendices	67
Supervisor(s) Lecturer Heikki Laininen, Lecturer Heikki Nevalainen			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>This is a part of a Savonia University of Applied Sciences project, in which design students planned new outlook for store in a business premise. Premise that is subject of a thesis is located in Oravi and it includes variety of rooms including restaurant, kitchen, store and reception. Aim of thesis is to evaluate present state of indoor lighting and consider ways to improve it in a premise. Thesis also explains the basic quantities and definitions related to indoor lighting.</p> <p>To understand current state of lighting in premise illuminance measurement was conducted. Results of measurement were compared to standard SFS-EN 12464-1:2011 which applies to indoor lighting in workplaces. Thesis also examines possibility of upgrading fluorescent tubes into LED-tubes. Life cycle calculation was conducted for LED-tubes and results were compared to fluorescent tubes regarding energy consumption. With Dialux Evo software it was examined what kind of LED-tubes should be mounted to the store, so that illuminance required by standard is met.</p> <p>As a result in thesis, payback time for LED-tubes was found out. Payback time is presented with graphs and tables. Also illuminance produced with LED-tubes and distribution of illuminance is shown in calculations conducted with Dialux Evo. Results of calculation are demonstrated with various graphs placed upon floor plan of the store.</p>			
Keywords Lighting, LED, LED-tubes, Illuminance, Energy consumption			

ESIPUHE

Haluan kiittää opinnäytetyöni *Liikekiinteistön valaistuksen arviointi ja parantaminen* ohjaajia, lehtoreita Heikki Laininen ja Heikki Nevalainen avusta ja ohjauksesta työn aikana. Kiitos myös Oravi-projektiin osallistuneille opiskelijoille ja Oravi Saimaa Holidayn henkilökunnalle.

Mikkelissä 10.4.2017
Sampo Putkonen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	9
2	VALO.....	10
3	VALAISTUKSEN VAIKUTUS IHMISEEN	11
3.1	Vaikutus terveyteen ja hyvinvointiin	11
3.2	Tuottavuus	11
4	VALOTEKNISIÄ SUUREITA.....	13
4.1	Teho, sähköteho P (W)	13
4.2	Valovoima I (cd)	13
4.3	Valovirta Φ (lm).....	14
4.4	Luminanssi L (cd/m ²)	14
4.5	Valaistusvoimakkuus E (lx)	15
4.6	Heijastussuhde ρ	15
4.7	Valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus U_o (E_{min} / E_m).....	15
4.8	Häikäisy	16
4.9	Värintoistoindeksi Ra.....	17
4.10	Väriämpötila	17
5	LED-TEKNIikka.....	19
5.1	Yleistä LED-tekniikasta	19
5.2	Historia	19
5.3	Rakenne ja toimintaperiaate	19
5.4	Värintuotto	21
5.5	LEDin hyödyt	21
5.6	LEDien haittoja	22
6	STANDARDI SFS-EN 12464-1.....	23
6.1	Työalue.....	24
7	KOHTTEEN ARVIOINTI	26
7.1	Tutustuminen kohteeseen	26
7.2	Valaistusvoimakkuuden mittaamiseen vaikuttavat tekijä	26
7.3	Tenmars TM-209 LED light meter.....	27
7.4	Luminanssin mittaaminen	27
7.5	Heijastussuhteiden määrittäminen	28

7.6	Valaistusvoimakkuuden mittaaminen	29
8	VALAISTUSVOIMAKKUUDEN MITTAUSTULOKSET JA TULOSTEN ARVIOINTI.....	33
8.1	Biljardihuone	33
8.2	Myymälä	34
8.3	Keittiö	37
8.4	Ravintola.....	38
8.5	Yhteenveto.....	38
9	LUMINANSSIN JA HEIJASTUSSUHTEIDEN MÄÄRITYS	38
10	UUDEN VALAISTUKSEN SUUNNITTELU	40
10.1	Hyötysuhdemenetelmä.....	41
10.2	VBE-indeksi	43
10.3	AQ-indeksi.....	44
11	MYYMÄLÄN VALAISTUKSEN TOTEUTUS.....	46
11.1	Valaistusvoimakkuuden laskenta	47
11.2	Valaistusvoimakkuuden laskenta LED-valaisimille	48
12	ELINKAARILASKENTA MYYMÄLÄLLE	49
12.1	Nykyinen tilanne energiankulutuksen osalta.....	50
12.2	LED-valaistus.....	50
12.3	Laskenta LED-valaistukselle	51
12.4	Kuvaajat.....	52
13	DIALUX EVO	55
13.1	Dialux Evon käyttö opinnäytetyössä	55
13.2	Valaisimien valinta	56
13.3	Valaistusvoimakkuuden laskenta	57
13.4	UGR-indeksi.....	60
13.5	Tuotteiden korostus	61
14	YHTEENVETO.....	64
14.1	Kommentit	64
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT:	66

1 JOHDANTO

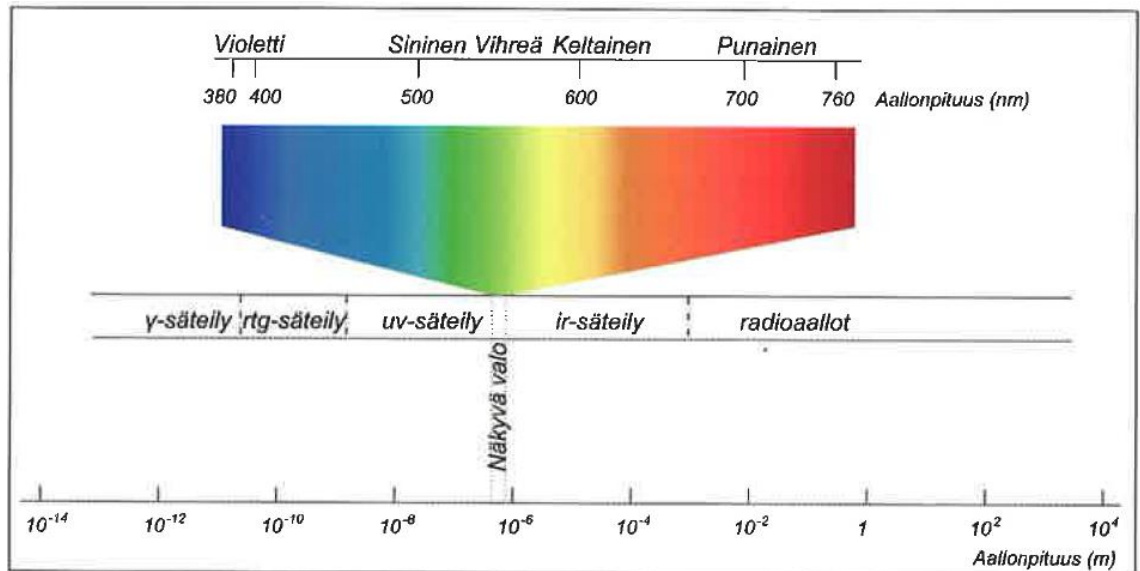
Opinnäytetyön tarkoitus on kartoittaa Varkauden ja Savonlinnan välissä sijaitsevan SaimaaHoliday Oravi -kanavakylän valaistuksen nykytilannetta ja tehdä suunnitelma kiinteistössä olevan myymälän valaistuksen parantamiseksi. Opinnäytetyön aihe on saatu Savonia-ammattikorkeakoulun muotoilupuolen opettajan ja Oravi-projektin vetäjän, lehtori Heikki Nevalaisen, mainittua opiskelijoidensa projektista johon kuului valaistuksen suunnittelu Oravissa sijaitsevaan liikekiinteistöön. Kävi ilmi että opinnäytetyö voitaisiin tehdä projektiin liittyen.

Kiinteistön omistaja on ollut kiinnostunut valaistuksen päivittämisestä LED-valaistukseen, joten uusi valaistussuunnitelma pohjautuu LED-valaisimien käyttöön. Tämän takia opinnäytetyö käsittelee myös LED-teknologiaa. Vanhaa valaistusta ja LEDejä on hyvä vertailla energiankulutuksen kannalta, jotta saadaan selville, kuinka paljon rahaa käyttäjä voisi säästää valaistuksen päivityksellä ja mikä on LED-valaistuksen takaisinmaksuaika.

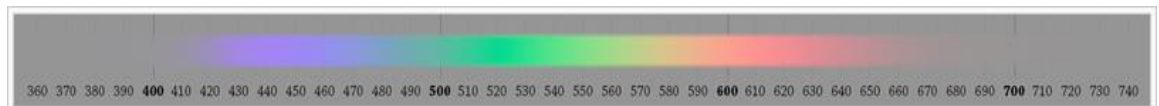
Opinnäytetyön toteutuksessa käytetään Dialux 6 Evo -ohjelmaa, jonka avulla kiinteistön tiloja mallinnetaan ja uusi valaistussuunnitelma tehdään.

2 VALO

Valo, jonka ihmissilmä näkee, on sähkömagneettista säteilyä aallonpituudella 380 - 780 nm. Näkyvä valo on hyvin pieni osa sähkömagneettista spektriä (kuva 1). Kuvassa 2 on esitetty näkyvän valon spektri erikseen harmaata taustaa vasten. (Tiensuu 2010, 7)



KUVA 1. Sähkömagneettinen spektri (Tiensuu 2010, 7)



KUVA 1. Näkyvän valon spektri (Tiensuu 2010, 7)

3 VALAISTUKSEN VAIKUTUS IHMISEEN

Koska opinnäytetyön kohde on kiinteistö, jossa ihmiset sekä lomailevat että tekevät töitä, on hyvä tarkastella valon vaikutusta ihmiseen.

3.1 Vaikutus terveyteen ja hyvinvointiin

Toimiva valaistus on monista syistä erittäin tärkeä, oli sitten kyse kodista, työpaikasta tai julkisista tiloista. Huonosti suunniteltu valaistus voi esimerkiksi aiheuttaa stressiä, huonovointisuutta ja vaikeuttaa rentoutumista. Työtiloihin suunniteltu riittämätön valaistus taas vaikeuttaa työskentelyä ja rasittaa työntekijää. (Fagerhult 2016; Työterveyslaitos 2016)

Valo vaikuttaa ihmisen hyvinvointiin paljon, koska se säätelee osaltaan tiettyjä ihmisen hormonaalisia toimintoja. Silmien kautta aistittu valo liittyy käpylisäkkeessä tapahtuvaan pimeähormonin eli melatoniin eritykseen: pimeässä melatoniinia erittyy enemmän kuin valoisassa. Hormonin erityksessä onkin yhteydessä ihmisen vuorokausirytmiiin. (Ahponen, Kasurinen ja Timonen 1996, 75)

Muutamat sairaudet, kuten masennus, tunnetusti yleistyvät keväällä ja syksyllä, jolloin valon määrä muuttuu huomattavasti. Valon määrän muutoksesta johtuvaa masennusta voidaan hoitaa esimerkiksi valoterapialla. Koska ihmisen keho ei reagoi kovinkaan herkästi valoon, pitää valoterapiassa käyttää moninkertaisia valaistusvoimakkuuksia suhteessa esimerkiksi työtilan normaaleihin valaistusvoimakkuuksiin. Esimerkiksi kaamosmasennusta on hoidettu valaistusvoimakkuuksilla, jotka vaihtelevat 2 500 ja 3 000 luksin välillä. Valoterapian hyödyt on pystytty todentamaan jo muutaman tunnin korotetulla valaistusvoimakkuuden määrällä. (Ahponen ym. 1996, 75)

Tällä hetkellä ei vielä tiedetä tarkkaan, mikä valon ominaisuus aiheuttaa terveyshyödyt ja muut positiiviset ilmiöt ihmisen jaksamisessa. Todennäköisesti nämä riippuvat valon määrästä, spektrijakaumasta sekä ultraviolett- ja lämpösäteilystä. (Ahponen ym. 1996, 76)

3.2 Tuottavuus

Työpaikan valaistusominaisuuksilla on myös monelta kannalta merkittävä vaikutus työtehokkuuteen ja suorituskykyyn. Hyvästä valaistuksesta on monia etuja. Työtilaa ja työnkulkua voidaan valvoa paremmin, yksityiskohtaiset työtehtävät on helpompi suorittaa ja välttää virheitä ja työkaluja käyttää varmemmin. (Ahponen ym. 1996, 76)

Huonossa valaistuksessa työskentely voi myös väsyttää työntekijän nopeammin, kuin työskentely hyvässä valaistuksessa. Myös selkä- ja niskalihakset voivat rasittua jos huonon valaistuksen takia joudutaan kumartelemaan jatkuvasti. (Ahponen ym. 1996, 76)

4 VALOTEKNISIÄ SUUREITA

Valaistusta suunniteltaessa pitää ottaa huomioon useita eri suureita, jotka vaikuttavat siihen, että valaistus on onnistunut ja täyttää standardit. Seuraavassa käsitellään tärkeimpiä valaistukseen liittyviä suureita.

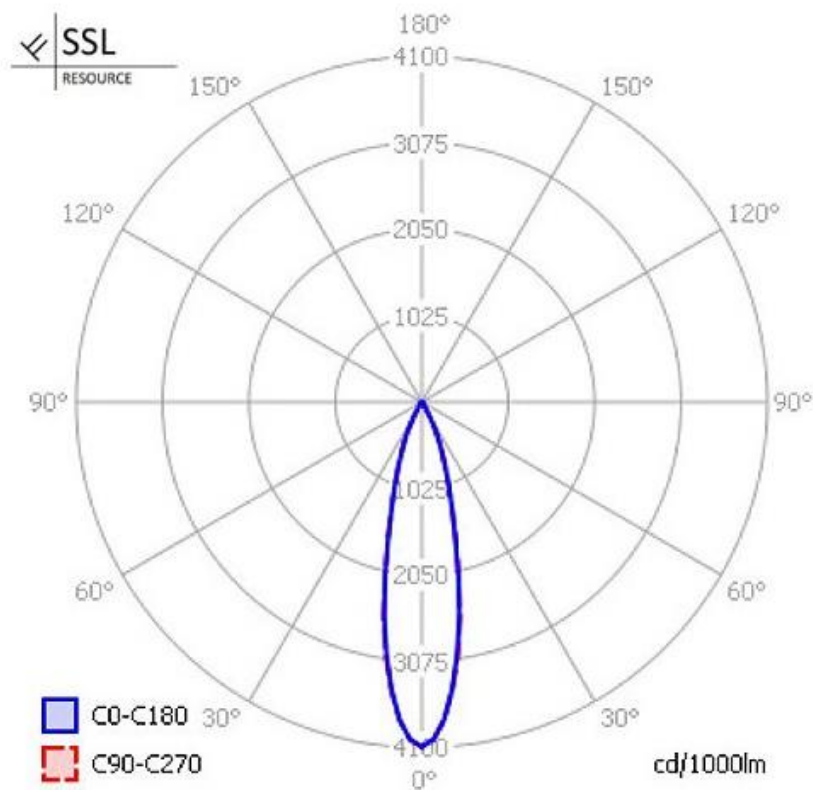
4.1 Teho, sähköteho P (W)

Sähköteho kertoo, kuinka paljon valaisin kuluttaa sähkötehoa watteina.

4.2 Valovoima I (cd)

Valovoima ilmaisee, miten paljon ja mihin suuntaan valaisimesta lähtee valoa. Valovoiman avulla voidaan havainnollistaa valaisimien valonjako-ominaisuuksia valonjakokäyrällä. Valonjakokäyrässä valovoima havainnollistetaan napakoordinaatistossa. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 460)

Kuvassa 3 näkyy 11 W LED-spottivalaisimen (kohdevalaisin) valonjakokäyrä. Kuvasta näkyy, että valaisimen valonjakokäyrä on kapea ja keilamainen, koska sitä käytetään tietyn kohteen valaisemiseen. Hehkulampun ja loisteputken valonjakokäyrä jakautuu useampaan suuntaan, koska niillä valaistetaan kohteita laajemmin.



CG03 valonjakokäyrä C0-180 ja C90-270 tasoilla.

KUVA 3. 11 W LED-spottivalaisimen valonjakokäyrä (Muudi)

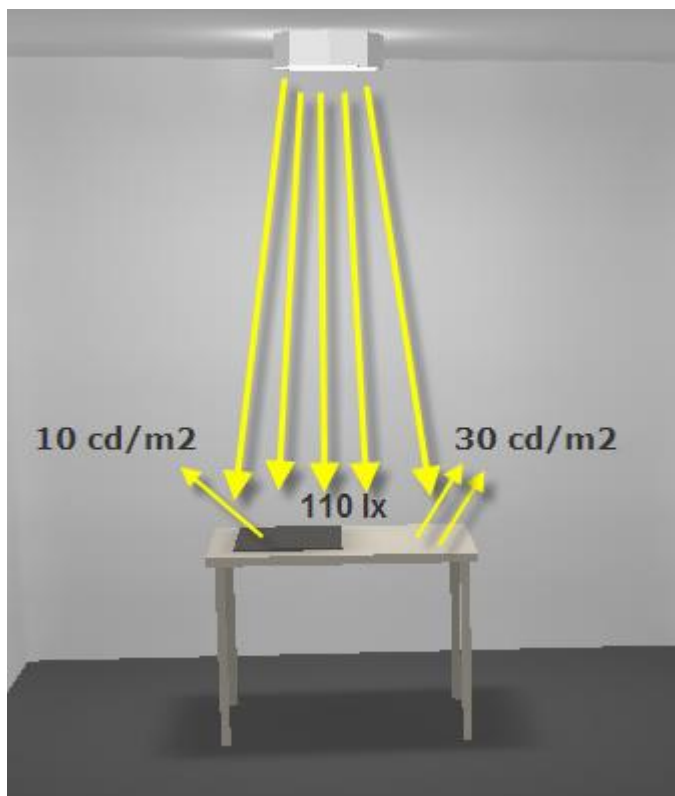
4.3 Valovirta Φ (lm)

Valovirta kuvaa valaisimen tuottamaa näkyvän säteilytehoa, silmän spektriherkkyydelle painotettuna. Valovirran yksikkö on lumen ja se siis kertoo, paljonko näkyvää valoa valaisimesta saadaan. Valovirtaa käytetään myös tarkasteltaessa valotehokkuutta, jonka yksikkö on lm/W. (Ensto 2016, Tiensuu 2010, 7)

4.4 Luminanssi L (cd/m^2)

Luminanssi eli valotiheys on kohteen pinnasta heijastunut valo. Luminanssin suuruuteen vaikuttavat valaistusvoimakkuus, pinnan ja materiaalin heijastusominaisuudet, valon suunta ja kulma jossa valo heijastuu. Suuria luminanssin muutoksia tulee välttää näkömukavuuden kannalta. (Tiensuu 2010, 7.)

Kuvassa 4 on havainnollistettu kahden erilaisen pinnan vaikutusta luminanssin arvoon. Sama määrä valovoimakkuutta heijastuu tummalta pinnalta selvästi heikommin kuin vaalealta.



KUVA 4. Pinnan vaikutus luminanssiin (Ensto)

Taulukossa 1 on kuvattu kahden erilaisen pinnan heijastusominaisuudet, luminanssit ja vastaavat valaistusvoimakkuus.

TAULUKKO 1. Pintojen luminanssi ja valaistusvoimakkuuden suhteita (Tiensuu 2010, 7)

Pinta ja sen heijastumissuhde	Pinnankirkkaus eli luminanssi	Vastaava valaistusvoimakkuus
Valkoinen 89%	21 cd/m ²	100 lx
Musta 8%	19 cd/m ²	1000 lx

4.5 Valaistusvoimakkuus E (lx)

Valaistusvoimakkuus kertoo kuinka paljon valovirtaa tulee kohtisuorasti tietylle pinta-alalle. Valaistusvoimakkuus se voidaan laskea kaavalla 1.

$$E = \frac{\Phi}{m^2} \quad (1)$$

Valaistusvoimakkuuden luksin arvosta nähdään miten hyvin tila on valaistu ja se onkin hyvin merkittävä tekijä, kun tutkitaan miten turvallisesti ja mukavasti näkötehtävä voidaan suorittaa. Erilaisille tiloille on määritelty vähimmäis luksin arvot sisävalaistusstandardissa SFS-EN 12464-1-2011. Taulukossa 2 on annettu esimerkkiarvoja erilaisille valaistuskohteille. (Tiensuu, 7)

TAULUKKO 2. Valaistusvoimakkuuksien arvoja eri kohteille (Tiensuu, 8)

Valaistusvoimakkuus	Kohde
0,1 lx	kuun valo
5–30 lx	ulkotyöalueiden yleisvalaistus
300 lx	isot tilat karkeaan työhön
500 lx	toimistohuoneet, luokkahuoneet
2000 lx	pilvinen päivä
40000 lx	auringonvalo kirkkaimmillaan

4.6 Heijastumissuhde ρ

Heijastumissuhde on suhde jolla valovirtaa tulee ja lähtee pinnalta. Esimerkiksi valkoisen pinnan heijastumissuhde on yli 0,9 ja mustan tienpinnan pienempi kuin 0,1. Kun näitä arvoja vertaillaan taulukkoon 1, näkee että ne pitävät melko hyvin paikkaansa. (Tiensuu 2010, 8.)

4.7 Valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus U_o (E_{min} / E_m)

Suure kertoo valaistusvoimakkuuden minimiarvon suhteessa valaistusvoimakkuuden keskimääräiseen arvoon. Valaistuksen olisi hyvä olla mahdollisimman tasainen, koska muuten se koetaan epämiellyttäväksi ja valaistusvoimakkuuden muutokset rasittavat silmiä.

Valaistuksen yleistasaisuus on yksi arvoja joille on annettu suositusarvot erilaisille tiloille valaistusstandardeissa. (Tiensuu 2010, 8.)

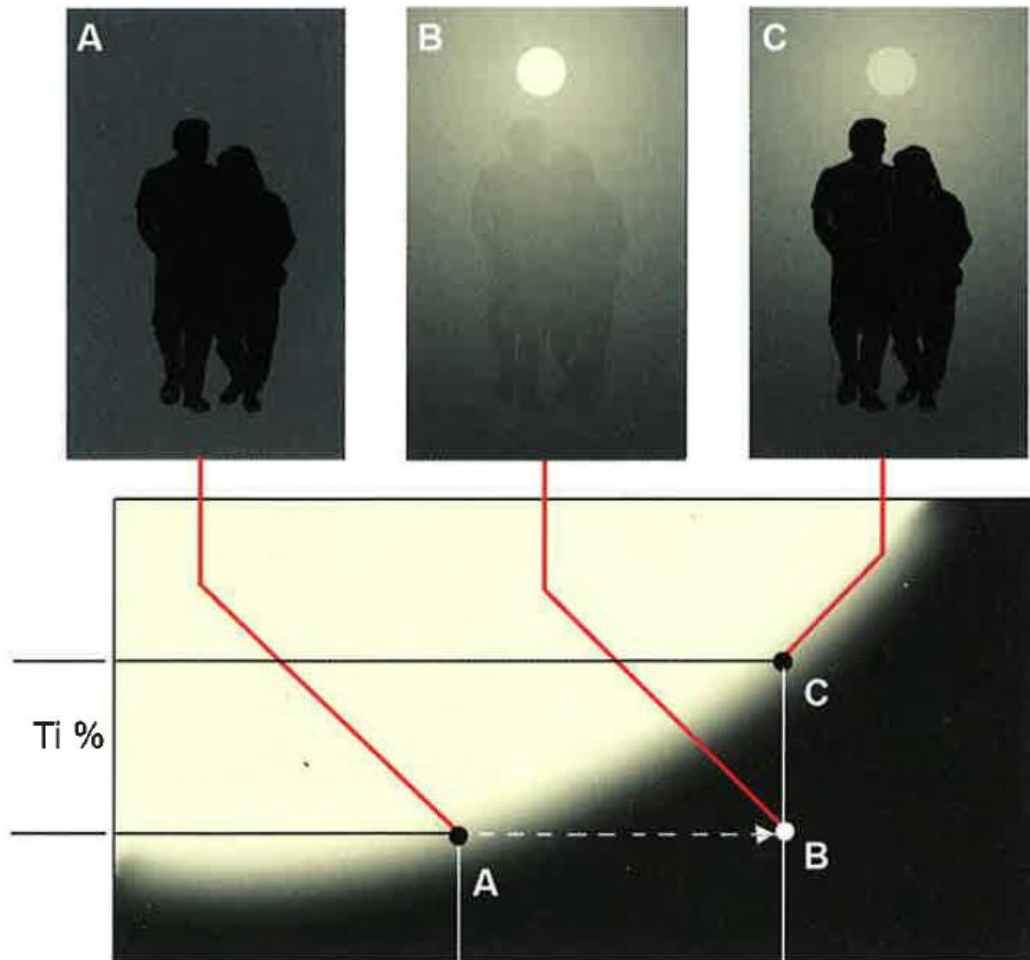
4.8 Häikäisy

Kirkkaat alueet näkökentässä aiheuttavat silmien kautta koettuna häikäisyn tunteen. Häikäisy voidaan jakaa kiusaushäikäisyyn ja estohäikäisyyn. Kiusaushäikäisy aiheuttaa epämiellyttävän tunteen, mutta se ei välttämättä estä näkemistä. Estohäikäisy taas heikentää näkemistä, mutta ei aiheutta välttämättä epämiellyttävää tuntemusta. (Tiensuu 2010, 6.)

Harsoheijastuminen tarkoittaa näkökohteen kiiltäviltä pinnoilta tulevaa valoa, joka häikäisee silmiä. Häikäisyä on tärkeä pyrkiä välttämään, koska siitä voi seurata virheitä, väsymystä ja onnettomuuksia. Häikäisyä aiheutuu yleensä liian voimakkaista valaisimista, jotka on suunnattu huonosti. Häikäisysoojilla, sekä valaisimien oikealla valinnalla ja sijoittamisella on suuri vaikutus siihen, ettei ikävää häikäisyä synny. (Tiensuu 2010, 8.)

Häikäisyä tarkasteltaessa voidaan käyttää termiä Threshold Increment (TI%), suomennettuna kynnysarvon kasvu. Tämä prosenttiarvo kertoo paljonko valaistusvoimakkuutta pitää kasvattaa häikäisemättömästä tilanteesta, suhteessa tilanteeseen jossa kohteeseen tulee häikäisevää valoa, niin että kohde havaitaan yhtä hyvin. (Tiensuu 2010, 8.)

Kuvassa 3 kohta A on tilanne, jossa kohteeseen ei tule häikäisevää valoa. Kohdassa B on lisätty häikäisevä valo, jolloin kohde on vaikeampi havaita. C kohdassa häikäisevä valo on kompensoitu lisäämällä valaistusta ja kohde havaitaan taas yhtä hyvin kuin A kohdassa. (Tiensuu 2010, 8.)



KUVA 2. Häikäisyä ja kohteen havaitsemisen vertailua (Tiensuu 2010, 6)

4.9 Värintoistoindeksi Ra

Valonlähteen kykyä toistaa värejä määritellään värintoistoindeksin avulla. Indeksien suurin arvo on 100, ja mitä suurempi arvo valaisimelle on määritetty, sitä paremmin se toistaa värejä. Tämä on tärkeä arvo, sillä se miten luonnollisena värit toistuvat vaikuttaa ihmisen hyvinvointiin ja mukavuuteen. (Tiensuu 2010, 7.)

4.10 Värilämpötila

Valaisimesta säteilevää näkyvän valon väriä voidaan kuvata ekvivalenttisen värilämpötilan T_{CP} avulla. Sen yksikkö on kelvin. Mitä suurempi kelvin-arvo on, sitä kylmempi ja sinisen sävyinen valo on. Matalat värilämpötilat ovat taas lämpimiä ja yleensä kellertäviä. Taulukossa 3 näkyy värivaikutelma suhteessa ekvivalenttiseen värilämpötilaan ja taulukossa 4 näkyy esimerkkejä erilaisten valonlähteiden värilämpötiloista. (Tiensuu 2010, 7; Lampputieto 2016)

TAULUKKO 3. Väriai-
kutelma suhteessa väriämpötilaan (Tiensuu 2010, 7)

Väriai- kutelma	Ekvivalenttinen väriämpötila T_{CP}
Lämmin	< 3 300 K
Neutraali	3 300...5 300 K
Kylmä	> 5 300 K

TAULUKKO 4. Eri valonlähteiden väriämpötiloja (Lampputieto 2016)

Hehkulamppu	2700 K
Halogeenilamppu	3000 K
Pienloistelamppu	2700-4000 K
Loistelamppu	2700-6500 K
LED-lamppu	3000-6500 K
Päivänvalo	5500 K

Kuvasta 6 nähdään visuaalisesti esitettynä kylmän ja lämpimän väriämpötilan ero 9 watin Valokas LEDillä. Vasen valokeila on kylmän valkoinen arvolta 6 000 kelviniä ja oikeanpuoleinen valokeila on lämpimän valkoinen arvolta 3 400 kelviniä. (Limic)



KUVA 3. Kylmän ja lämpimän väriämpötilan ero (Limic)

5 LED-TEKNIikka

5.1 Yleistä LED-tekniikasta

Vaikka LED tulee englannin kielen sanoista lighting emitting diode, joka tarkoittaa hohtodiodia, on LED-sanasta tullut tietyllä tapaa yleiskielen sana, joka koskee yleisesti kaikki LED-tekniikkaa käyttäviä valaisimia. LEDit ovat siis diodeja, jotka ovat puolijohdekomponentteja. Puolijohdeiksi sanotaan materiaaleja, jotka johtavat sähköä paremmin kuin eristeet mutta huonommin kuin metallit. (Fagerhult 2016; Puolijohdeet)

LEDiä pidetään tulevaisuuden valonlähteenä, sillä sen energiatehokkuus ja käyttöikä ovat huomattavasti paremmat kuin monien kilpailevien valaistusratkaisujen. Pitkään LED-valaisimia käytettiin pääasiassa silloin, kun valaisulta tarvittiin visuaalisuutta, esimerkiksi kohde- ja korostusvalaisuksessa, mutta nykyään LEDit ovat yleisvalaistuksen vaihtoehto. Yleisvalaistuksessa LEDien yleistymistä on jarruttanut korkea hinta ja se, että LEDit vaativat aina jonkintyyppisen liitäntälaitteen. (Ensto 2016, Fagerhult 2016)

5.2 Historia

Vuonna 1907 Henry Joseph Round huomasi laboratoriokokeissaan, että johdettaessa 10 voltin jännitettä piikarbidiin se säteili keltaisen sävyistä valoa. Samana vuonna venäläinen Oleg Vladimirovich Losev teki saman havainnon. (History of lighting)

Pitkään aikaan LED-tekniikka ei kuitenkaan kehittynyt, kunnes vuonna 1955 Rubin Braunstein huomasi tiettyjen yksinkertaisten puolijohdeiden säteilevän valoa, kun niihin johdettiin virtaa. 1960-luvun alussa patentoitiin sekä infrapunavaloa että näkyvää valoa säteilevät LEDit. Ensimmäisen näkyvää valoa säteilevän LEDin valo oli punainen. 70-luvulla keksittiin ensimmäiset keltaista ja sinistä valoa tuottavat LEDit ja korkean kirkkaustason LEDit. (History of lighting)

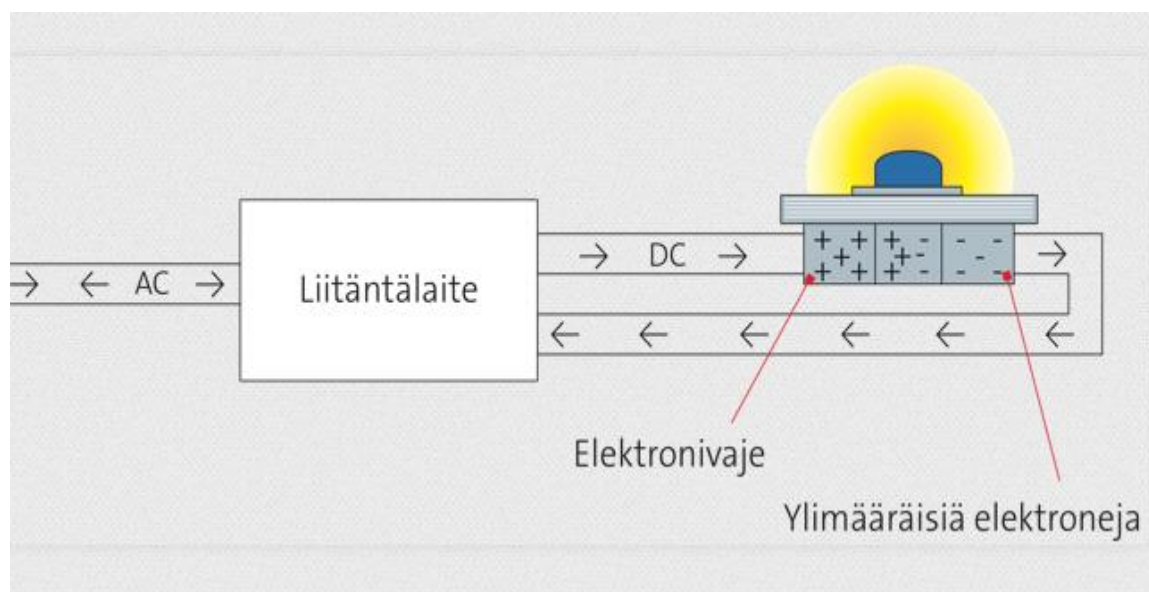
Korkean hintansa takia näkyvää valoa tuottavia LEDejä käytettiin merkkivaloina korkealaatuisissa laboratorioissa. Aluksi yhden LEDin hinta saattoi olla 200 dollaria, mutta Fairchild Semiconductors onnistui laskemaan hinnan 5 senttiin kehittämällä valmistustapoja. Tämä mahdollisti LEDin tulon myös tavallisen kuluttajan saataville. (History of lighting)

Tärkeä kehitysaskel 2000-luvulla oli ensimmäisen 100 Lumenia wattia kohti tuottavan LEDin keksiminen vuonna 2006. Vuonna 2010 kehiteltiin tietynvärisiä LEDejä, joiden Lumen wattia kohti arvo on 250. LEDien kehitys jatkuu edelleen, kun OLED-teknologia on merkittävä kehityssuunta. (Osram)

5.3 Rakenne ja toimintaperiaate

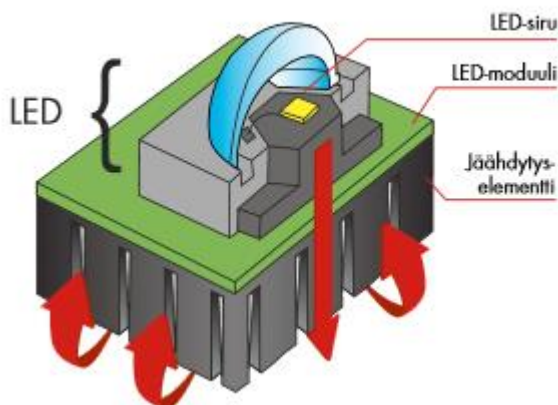
Kuvassa 7 näkyy LED-valaisimien toimintaperiaate. LEDit toimivat tasajännitteellä, joten niiden kanssa käytetään liitäntälaitetta, joka muuttaa vaihtojännitteen tasajännitteeksi. Liitäntälaitte voi olla erillinen tai se voi olla valaisimen yhteydessä. Ilmiötä, jossa aine emittoi valoa siihen johdettavassa sähkövirtaa, sanotaan elektrolumiinenssiksi. (Fagerhult, LED, Wikipedia elektro)

Valo syntyy elektronien pyrkimyksestä päästä tasapainotilaan. LEDissä n-johdealueella on liikaa elektroneja ja p-johdealueella liian vähän. Kun LEDiin kytketään tasavirtaa alkaa elektronien epätasapaino tasoittua kahden alueen elektronien törmätessä toisiinsa pn-liitoksella eli rajapinnalla. Elektronien törmäyksestä toisiinsa syntyy valoa. (Fagerhult, LED)



KUVA 4. LEDin toimintaperiaate (Fagerhult, LED)

Yksittäinen LED-siru on hyvin pieni, loistavalta pinta-alalta noin 1-2 mm². Tästä johtuen yhdestä LEDistä ei saada yleensä tarpeeksi valoa, joten useampia LEDejä asennetaan LED-moduuliin, joka sijoitetaan valaisimeen. Kuvassa 8 on havainnollistettu LEDin rakennetta. (Fagerhult, LED)



KUVA 5. LEDin rakennekuva (Fagerhult, LED)

5.4 Värintuotto

Valon väri eli spektri riippuu materiaalista, josta LED on valmistettu. Erilaisten värien muodostus tapahtuu LEDeillä yleensä kolmen perusvärin avulla: Punainen, vihreä ja sininen. Kun tämän värisillä LEDeillä muodostetaan väriä, sanotaan sitä RGB-ohjaukseksi. Näiden kolmen värin avulla voidaan luoda niitä sekoittamalla noin 65 000 eri väriä. Valkoinen väri luodaan yleensä lisäämällä siniseen LEDiin fosforipäälyste. Erilaisilla fosforikoostumuksilla voidaan luoda erilaisia värilämpötiloja valkoiselle värille. (Fagerhult)

5.5 LEDin hyödyt

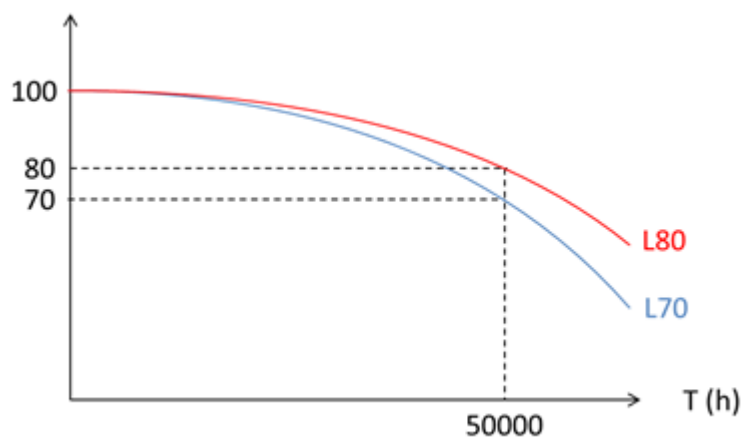
LEDeillä on useita ominaisuuksia jotka tekevät niistä erittäin hyvän valaisinvaihtoehdon. Alla näitä on listattu.

- hyvä valotehokkuus (lm/W)
- pitkä käyttöikä
- hyvä mekaaninen kestävyys
- ei säteile lämpöä
- helppo suunnattavuus ilman lisätarvikkeita
- edullisin ja tehokkain ratkaisu tuottaa värillistä valoa
- sytytyskertojen määrä ei vaikuta polttoikään
- pienikokoinen
- ympäristöystävällinen
- syttyy heti

(Ensto)

LED-valaisimilla on pitkä elinikä suhteessa tavallisiin valaisimiin, joiden käyttöikä vaihtelee noin 10 000 ja 20 000 tunnin välillä. LED-moduulin eliniäksi lasketaan aika jolloin sen valovirrasta on jäljellä 70-prosenttia ja sitä kuvaa merkintä L70. LED-moduulin tullessa elinkaarensa päähän, se ei sammuu heti kuten perinteiset valaisinratkaisut, vaan LEDin valovirta vähenee. Valaisinteollisuudessa LED-valaisimien eliniäksi on L70-arvon LEDeille vakiintunut 50 000 tuntia. (Glamolux, LED)

Kuvassa 9 näkyy L80- ja L70-LEDien valovirran väheneminen suhteessa käyttötunteihin.



KUVA 6. Kahden LED-valaisimen valovirran väheneminen (Glamolux)

5.6 LEDien haittoja

Yksi suurimpia ongelmia, joka on jarruttanut LED-valaisimien yleistymistä, on niiden korkea hinta, vaikka pienemmän energiankulutuksen ja pidemmän käyttöiän ansiosta LEDit maksavat itsensä takaisin. (Katajisto 14)

LED-valaisimet eivät myöskään sovi lämpimien tai kuumien kohteiden valaisemiseen sillä LEDit kestävät huonosti lämpöä ja korkeat lämpötilat lyhentävät LEDien elinikää. (Katajisto 14)

LED-valaisimet ottavat myös suurehkon käynnistysvirran. Tämä saattaa laukaista johdonsuojakatkaisijan jos useita valaisimia on samassa sarjassa. (Katajisto 14) Toni Reinilä suoritti opinnäytetyössään mittauksia erilaisille LED-valaisimille ja näistä mittauksista hän havaitsi että valaisimien ottama virtapiikki vaihteli 20 - 60 kertaisena verrattuna normaaliin virran kulutukseen.

6 STANDARDI SFS-EN 12464-1

Standardi SFS-EN 12464-1 Valo ja valaisus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus käsittelee työkohteiden valaistusta, pääasiassa sisätiloissa. Kolme tärkeintä huomioitavaa kohtaa valaistukselle standardissa ovat: Näkömukavuus, turvallisuus ja näkötehokkuus. (ENSTO)

Standardi SFS-EN 12464-1 on äärimmäisen hyödyllinen ja tärkeä valaistusta suunniteltaessa. Standardissa on määritelty erikseen erilaisille työtehtäville vaaditut valaistusvaatimukset. Valaistusstandardi määrittelee valaistusvoimakkuuden, UGR-indeksin, valaistusvoimakkuuden tasaisuuden, värinosto-indeksin, sekä tilakohtaiset erikoishuomiot. Taulukossa 5 on esimerkki taulukkojen sisällöstä ja ulkoasusta.

TAULUKKO 5. Eri tilojen valaistusvaatimuksia (Euli)

Tila	Valaistusvoimakkuus (lx)	UGR-indeksi	Tasaisuus $U_0(E_{min}/E_m)$	R _a -indeksi	Huom!
Likennealueet ja käytävät	100	28	0,4	40	Lattiatasolta 150lx, mikäli reitillä on ajoneuvoja
Portaikot, liukuportaat, lukukäytävät	100	25	0,4	40	
Hissit	100	25	0,4	40	Hissin edessä vähintään 200 lx
Lastausalueet	150	25	0,4	40	
Kahvihuoneet	200	22	0,4	80	
Talotekniset tilat	200	25	0,4	60	
Varastotilat	100	25	0,4	60	200 lx, jos työskentely on jatkuvaa
Elektroniikkapajat, testaus, säätö	1500	16	0,7	80	
Kuulamylyt ja sellutehtaat	200	25	0,4	80	
Toimisto, kirjoittaminen	500	19	0,6	80	
Kassa-alue	500	19	0,6	80	
Odotusaulat	200	22	0,4	80	
Keittiö	500	22	0,6	80	Keittiön ja ravintolan välillä tulisi olla sopeutumisyöhyke.
Pysäköintialueet	75	-	0,4	40	Valaistusvoimakkuus lattiatasolta
Luokahuoneet	300	19	0,6	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
Auditorio	500	19	0,6	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä eri A/V-tilanteisin

Standardissa olevat taulukot jakautuvat toimialoittain. Eri toimialoille on määritelty tämän jälkeen huone ja työtehtäväkohtaiset vaatimukset. Taulukossa 6 näkyy vaatimuksia ravintoloiden ja hotellien erilaisille tiloille, tehtäville tai toiminoille.

TAULUKKO 6. Ravintoloiden ja hotellien tilakohtaisia valaistusvaatimuksia (SFS-EN 12464, 2011, 54)

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L	U_o	R_a	Erityisvaatimukset
5.29.1	Vastaanottotiski, kassa	300	22	0,60	80	
5.29.2	Keittiö	500	22	0,60	80	Keittiön ja ravintolan välillä tulisi olla sopeutumisvyöhyke.
5.29.3	Ravintola, ruokasali, monitoimitila	–	–	–	80	Valaistus tulisi suunnitella niin, että se luo sopivan ilmapiirin.
5.29.4	Itsepalveluravintola	200	22	0,40	80	
5.29.5	Tarjoilupöytä	300	22	0,60	80	
5.29.6	Kokoushuoneet	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
5.29.7	Käytävät	100	25	0,40	80	Yöaikana pienemmät valaistusvoimakkuudet ovat hyväksyttäviä.

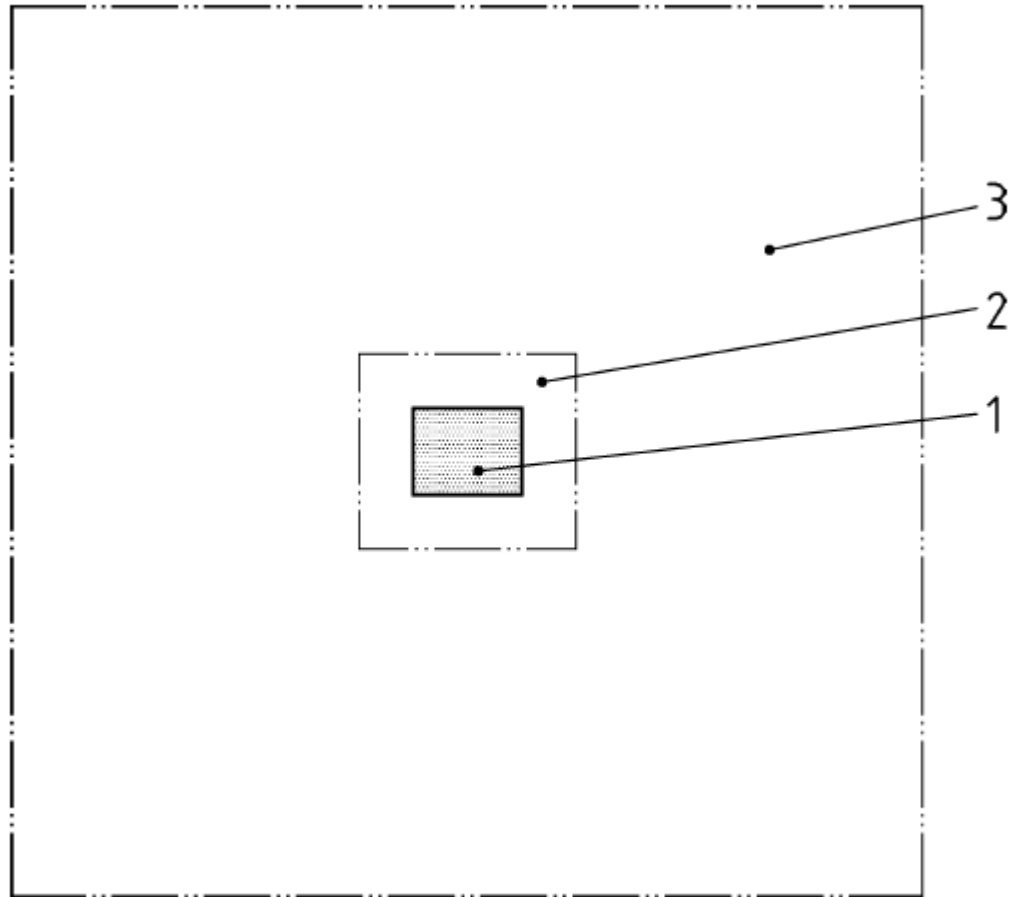
6.1 Työalue

Koska työalueen äärellä vietetään mahdollisesti useita tunteja päivässä, on sen valaistukseen kiinnitettävä erityistä huomiota. Työalueen ja lähiympäristön valaistusvoimakkuuden muutos ei saisi olla suuri, koska se aiheuttaa silmien väsymistä ja epämukavan tunteen. (SFS-EN 12464, 22)

Työalue on määritelty standardissa kuvan 10 avulla, jossa on:

- 1 työalue
- 2 välitön lähiympäristö (vähintään 0,5 m leveä vyöhyke näkökentässä työalueen ympärillä)
- 3 tausta-alue (vähintään 3 m leveä välitöntä lähiympäristöä ympäröivä alue tilan asettamissa rajoissa).

(SFS-EN 12464–1:2011, 22)



KUVA 7. Työalue, lähiympäristö ja tausta-alue (SFS-EN 12464–1, 20)

TAULUKKO 7. Työalueen ja lähiympäristön valaistusvoimakkuuksien suhde (SFS-EN 12464, 2011, 20)

Työalueen valaistusvoimakkuus E_{task} lx	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus lx
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	E_{task}
100	E_{task}
≤ 50	E_{task}

7 KOHTEEN ARVIOINTI

7.1 Tutustuminen kohteeseen

Kiinteistö sijaitsee Oravin kanavakylässä. Oravi sijaitsee Varkauden ja Savonlinnan välissä. Matkaa Varkauteen on noin 60 ja Savonlinnaan noin 42 kilometriä. (Wikipedia)

Kohteeseen käytiin tutustumassa itse paikalla jolloin mitattiin valaistusvoimakkuuksia. Valaistusvoimakkuudet mitattiin viidestä tilasta: vastaanotosta, biljardihuoneesta, keittiöstä, ravintolasta ja kassa-alueelta. Mittaukset suoritettiin Tenmarsin TM-209 LED light meterillä käyttäen apuna ohjeita Valaistustekniikka-sarjan kirjasta Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto.

Kaikkia tekijöitä, jotka vaikuttavat valaistukseen, on vaikea mitata kenttäoloissa, mutta usein riittävän tarkka tieto saadaan suorittamalla mittaukset ja arvioimalla kohdetta silmämääräisesti. (Ahponen, Kasurinen, Timonen, 1996)

Valaistusvoimakkuuksien mittausten perusteella voidaan verrata tiloja standardiin SFS-EN-12464-1, jolloin saadaan tietää, onko valaistus määräyksien mukainen ja riittävä. Valaistusvoimakkuuden mittaukset on hyvä suorittaa, jos halutaan vertailla nykyistä valaistusasennusta uuteen mahdolliseen korvaavaan ratkaisuun. Tämä tilanne pätee kohteeseen, sillä omistaja on kiinnostunut valaistuksen päivittämisestä LED-vaihtoehtoon.

7.2 Valaistusvoimakkuuden mittaamiseen vaikuttavat tekijä

Valaistusvoimakkuuksia mitatessa on tärkeä simuloida mahdollisimman tarkasti kiinteistön normaalia käyttötilannetta. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huoltokirja antavat ohjeeksi määritellä seuraavia kohtia valaistusvoimakkuuksia mitattaessa:

- mittauksiin käytettävän mittarin ominaisuudet
- verkkojännite
- ympäristön lämpötila
- viimeksi suoritettun valaistushuollon ajankohta
- huonepintojen heijastussuhteet
- lamppujen laji ja ikä
- valaismien malli
- liitälaitteiden laji
- päivänvalon vaikutus.

(Ahponen, Kasurinen, Timonen, 1996)

Tenmarsin TM-209-mittarin toimintakunto todettiin hyväksi. Laite on lähes uusi, ja sen valokennon pinta on puhdas ja kulumaton. Valokenno myös reagoi hyvin ennen mittauksia tehtyihin kokeellisiin valaistusvoimakkuuksien muutoksiin. Ennen jokaista uuden tilan mittausta valokennon annettiin sopeutua tilaan, joten mittaukset suoritettiin vasta, kun Tenmarssin luksiarvo oli tasoittunut.

Verkköjännitteellä on vaikutusta valaisimien valovirtaan. Verkköjännite olisi mitattava etenkin kun mittauksia tehdään työajan ulkopuolella, koska silloin kohde ei ole normaalissa käyttötilassa, joten verkköjännite voi olla poikkeava. Koska myös ympäristön lämpötila vaikuttaa valaisimien valovirtaan, olisi myös lämpötilan hyvä olla mahdollisimman lähellä normaalia käyttötilaa. (Ahponen, Kasurinen, Timonen, 1996)

Kohteessa ei voitu mitata verkköjännitettä, mutta kiinteistössä oli mittaushetkellä normaalitilanne, joten voidaan olettaa, ettei jännitteen vaikutus valaisimien valovirtaan ole haitallinen mittaustulokselle. Myöskään lämpötila ei poikennut normaalista ja mittaukset suoritettiin noin 20 °C asteessa. Jos verkköjännite ja lämpötila olisivat poikenneet merkittävästi, olisi mittaukset silti voitu suorittaa ja sen jälkeen redusoida normaalia vastaavaksi, mutta tällä kertaa siihen ei ollut tarvetta. (Ahponen, Kasurinen, Timonen, 1996)

Valaistus oli ollut toiminnassa mittauspäivänä jo useita tunteja, joten valaisimet olivat varmasti saavuttaneet normaalin toimintalämpötilansa. Loiste- ja purkausvalaisimet liitännälaitteineen tarvitsevat normaalisti vähintään 20 minuutin lämpenemisaajan. Kohteen loistevalaisimia oli poltettu yli 100 tuntia, jossa ajassa niiden ominaisuudet tasaantuvat. (Ahponen, Kasurinen, Timonen, 1996)

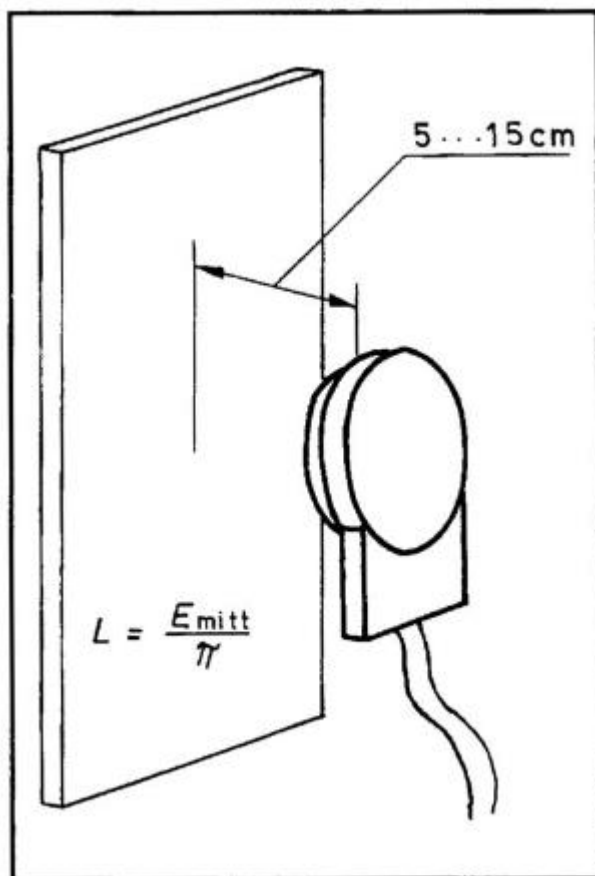
Myös tilojen siisteys voi vaikuttaa mittaustuloksiin. Pöly ja lika heikentävät sekä valaisimien valontuottoa että pintojen heijastumissuhdetta (Ahponen, Kasurinen, Timonen, 1996). Mitatut tilat olivat kuitenkin siistejä, eikä silmämääräisellä tutkimuksella pölyn tai lian arvioitu vaikuttavan mittaustuloksiin.

7.3 Tenmars TM-209 LED light meter

Valaistusvoimakkuuksien mittaamista varten Savonian sähkölaboratoriosta lainattiin Tenmarsin TM-209 LED light meter. Valaistusvoimakkuuksien lisäksi mittarilla voidaan mitata mm. luminanssia ja heijastussuhteita alla esitetyillä tavoilla.

7.4 Luminanssin mittaaminen

Luminanssia voidaan mitata valaistusvoimakkuusmittarin avulla. Mittarin valokenno suunnataan mitattavaa pintaa kohti ja sitä siirretään niin kauan kunnes saadaan suurin valaistusvoimakkuuden arvo. Kuvassa 11 on esitetty mittaussuunnitelma. (Ahponen, Kasurinen, Timonen, 1996, 142)



KUVA 8. Luminanssin mittaaminen valaistusvoimakkuusmittarilla (Ahponen, Kasurinen, Timonen, 1996, 142)

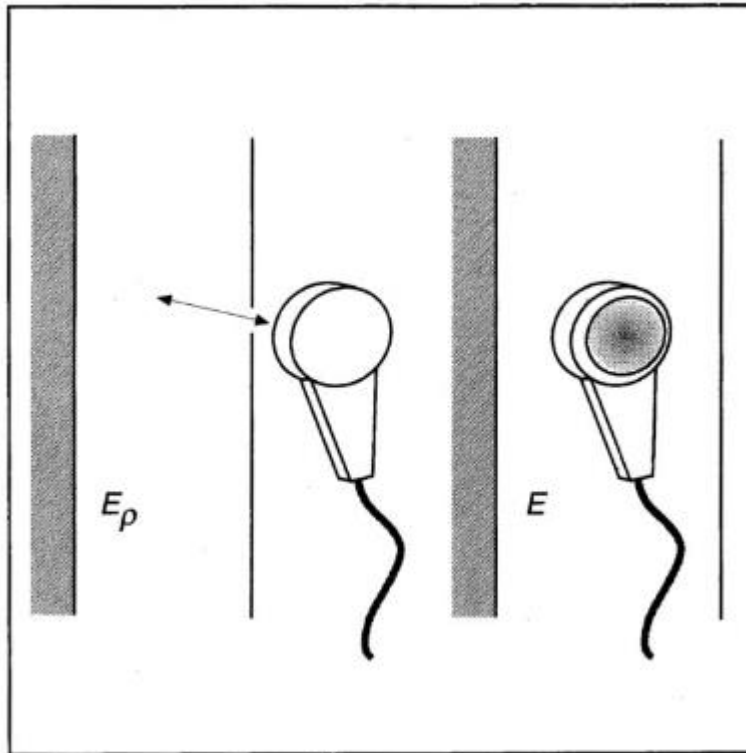
Menetelmää käytetään pääasiassa laajojen hajaheijastavien pintojen keskimääräisen luminanssin selvittämiseen sisätiloissa. Huoneiden pinnat ovat yleensä tarpeeksi hajaheijastavia jotta menetelmää voidaan hyödyntää. (Ahponen, Kasurinen, Timonen, 1996, 142)

Mitatusta luksiarvosta voidaan kaavalla 2 laskea luminanssi.

$$L = \frac{E}{\pi} \quad (2)$$

7.5 Heijastussuhteiden määrittäminen

Hajaheijastavilta pinnoilta voidaan mitata valaistusvoimakkuusmittarin avulla pinnan heijastussuhde. Kuva 12 esittää mittaustilannetta: valaistusvoimakkuusmittarilla osoitetaan pintaa, mitataan luksiarvo, minkä jälkeen käännetään mitari ympäri ja mitataan luksiarvo. Näin saadaan tietää pinnalle tuleva valaistusvoimakkuus, kuvassa E ja pinnalta lähtevä valaistusvoimakkuus E_p . (Ahponen, Kasurinen, Timonen, 1996, 143)



KUVA 9. Pinnan heijastussuhteen määrittäminen valaistusvoimakkuusmittarilla (Ahponen, Kasurinen, Timonen, 1996, 142)

Heijastussuhteella on vaikutusta luminanssiin, kuten kaavasta 3 näkee. Kaavassa 3 p on heijastussuhde.

$$L = \frac{p}{100} \frac{E}{\pi} \quad (3)$$

7.6 Valaistusvoimakkuuden mittaaminen

Sisätiloissa suoritettaviin mittauksiin Ahponen, Kasurinen ja Timonen antavat ohjeeksi jakaa tutkittavan tilan neliömäisiin tai suorakulmisiin ruutuihin, joiden kooksi annetaan 0,5 - 2 metriä. Ruuduista muodostuu ruudukko johon mittaustulokset voidaan merkitä.

Tilan vaatimien mittauspisteiden lukumäärä riippuu huoneen pituudesta ja leveydestä, sekä valaisimien asennuskorkeudesta suhteessa työtasoon. Näiden mittojen avulla voidaan laskea kaavalla 4 huoneindeksi k , joka on esitetty alla:

$$k = \frac{lw}{(l + w) h_m} \quad (4)$$

K

Kaavassa 4

l on huoneen pituus (m).

w on huoneen leveys (m).

h_m on valaisimien asennuskorkeus työtasolta mitattuna (m).

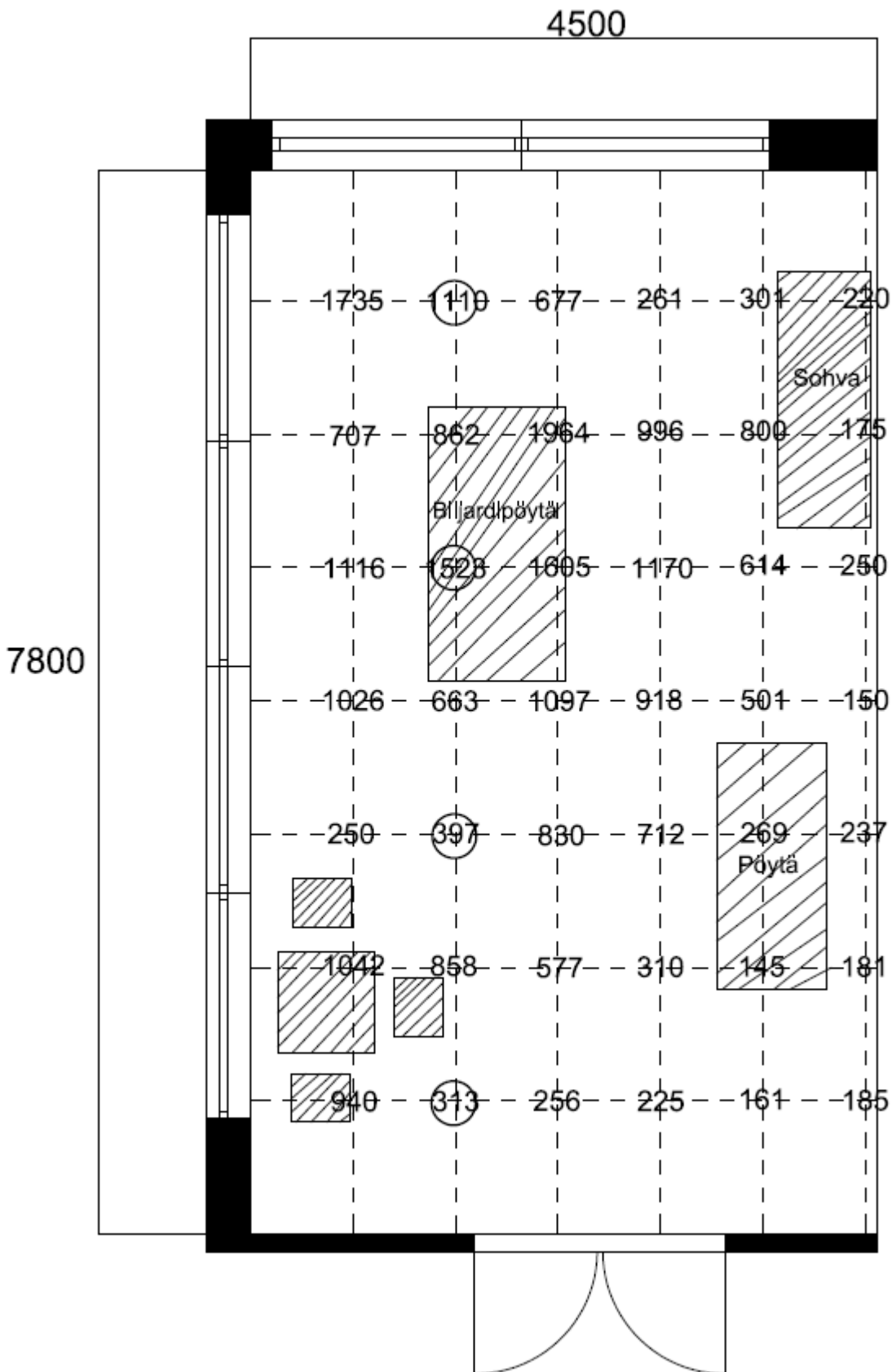
(Ahponen, Kasurinen, Timonen)

Kun mitattavalle tilalle on saatu laskettua huoneindeksi, voidaan taulukosta 8 lukea vaadittujen mittauspisteiden lukumäärä. Mittauspisteiden lukumäärää voidaan kasvattaa jos mittauspisteiden lisääminen helpottaa symmetrisen ruudukon luomista mitattavasta kohteesta. (Ahponen, Kasurinen, Timonen)

TAULUKKO 8. Huoneindeksin suhde mittauspisteiden määrään

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

Kuvassa 13 näkyy kohteen biljardihuoneen pohjapiirros, johon on merkitty mittausruudukko ja mitaustulokset. Mittauspisteitä ruudukkoon tuli 42.



KUVA 10. Biljardihuoneen valaistusvoimakkuuksia (Putkonen 2016-09-11)

Kuvaan on merkitty myös valaisimien sijoituspaikat (ympyrät) ja kalusteet, kuten mittauksen ohjeessa on neuvottu.

Tutkittavan alueen keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m on mitattujen ruutujen keskiarvo. Keskimääräistä valaistusvoimakkuutta tarvitaan kun halutaan tarkastella valaistuksen tasaisuutta. Kaavalla 5 voidaan laskea valaistusvoimakkuuden yleistasaisuutta U_o , jossa E_{min} on tilasta mitattu pienin valaistusvoimakkuuden arvo.

$$U_o = \frac{E_{min}}{E_m} \quad (5)$$

8 VALAISTUSVOIMAKKUUDEN MITTAUSTULOKSET JA TULOSTEN ARVIOINTI

Mittaustuloksia arvioidaan vertailemalla kohteesta saatuja tuloksia standardiin SFS-EN 12464–1:2011 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus.

Taulukko 9 on sfs-standardista 12464–1:2011. Taulukko käsittelee julkisia kokoontumistiloja, jotka lasketaan Ravintoloiksi ja hotelleiksi. (SFS-EN 12464–1:2011, 56)

TAULUKKO 9. Ravintoloiden ja hotellien tilojen valaistusvaaimuksia (SFS-EN 12464–1, 54)

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Erityisvaatimukset
5.29.1	Vastaanottotiski, kassa	300	22	0,60	80	
5.29.2	Keittiö	500	22	0,60	80	Keittiön ja ravintolan välillä tulisi olla sopeutumisvyöhyke.
5.29.3	Ravintola, ruokasali, monitoimitila	–	–	–	80	Valaistus tulisi suunnitella niin, että se luo sopivan ilmapiirin.
5.29.4	Itsepalveluravintola	200	22	0,40	80	
5.29.5	Tarjoilupöytä	300	22	0,60	80	
5.29.6	Kokoushuoneet	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
5.29.7	Käytävät	100	25	0,40	80	Yöaikana pienemmät valaistusvoimakkuudet ovat hyväksyttäviä.

Mittausten tulokset näkyvät taulukoissa 10,12,15 ja 17. Taulukoissa 11,13,16 ja 18 näkyy mitattujen tilojen pienimmät ja suurimmat valaistusvoimakkuudet, näiden keskinäinen suhdeluku, keskimääräinen valaistusvoimakkuus ja valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus.

8.1 Biljardihuone

Taulukossa 10 on esitetty biljardihuoneen mittaustulokset. Biljardihuoneelle ei valaistusstandardista löydy suoraa vastinetta, sillä se käsittelee työtiloja. Biljardin peluun suhteen huoneen valaistusvaatimuksia voi mielestäni verrata johonkin tarkkaa työtä vaativaan kohteeseen. Tämän osalta valaistus onkin toteutettu hyvin, sillä biljardipöydälle ja sen läheisyyteen mitattiin suuria valaistusvoimakkuuksia, kuten kuvasta 13 näkyy. Biljardin peluun lisäksi huoneessa on pöytiä joissa lukea lehtiä, joten tältä osin valaistusvaatimukset vastaavat mielestäni esimerkiksi toimistoa.

Taulukosta 10 nähdään että valaistuksen yleistasaisuuden U_o arvo on 0,21, mikä on erittäin vähän. Pienin sallittu U_o :n arvo joka valaistusstandardista löytyy on 0,4. Valaistuksen tasaisuuden osalta tila ei siis täytä standardia.

TAULUKKO 10. Biljardihuoneen valaistusvoimakkuuden mittaustulokset lukseina (Putkonen 2016-09-11)

1735	1110	677	261	301	220
707	862	1964	996	800	175
1116	1528	1605	1170	614	250
1026	663	1097	918	501	150
250	397	830	712	269	237
1042	858	577	310	145	181
940	313	256	225	161	185

TAULUKKO 11. Biljardihuoneen valaistuksen arvoja (Putkonen 2016-09-11)

Em	674,62
Emin	145,00
E _{max}	1605,00
U _o	0,21

Valaistuksen epätasaisuuteen on monta syytä. Mittauksissa tutkittiin tilojen valaistusta normaalitilanteessa, joten ikkunoita ei huoneissa peitetty. Kuvasta 13 näkyy, että huoneen ulkoseinillä on suuret ikkunat, joten aurinkoisena päivänä, kuten mittauspäivä oli, auringonvalon vaikutus on hyvin suuri. Vastaavasti taas sisäseinien pinta on tummaksi maalattua puuta eli pinnan heijastussuhde on hyvin pieni. Seinän läheisyydestä mitattiin valaistusvoimakkuuden arvoja 200 luksin molemmin puolin. Huoneessa on käytetty kohdevalaisimia, millä saadaan keskitettyä valaistusta hyvin tehokkaasti tiettyyn kohtaan, mutta ne saattavat jättää tilan epätasaiseksi valaistuksi.

8.2 Myymälä

Kuvat 14 ja 15 ovat myymälän nykytilanteesta.



KUVA 11. Myymälä (Sorsa 2016)

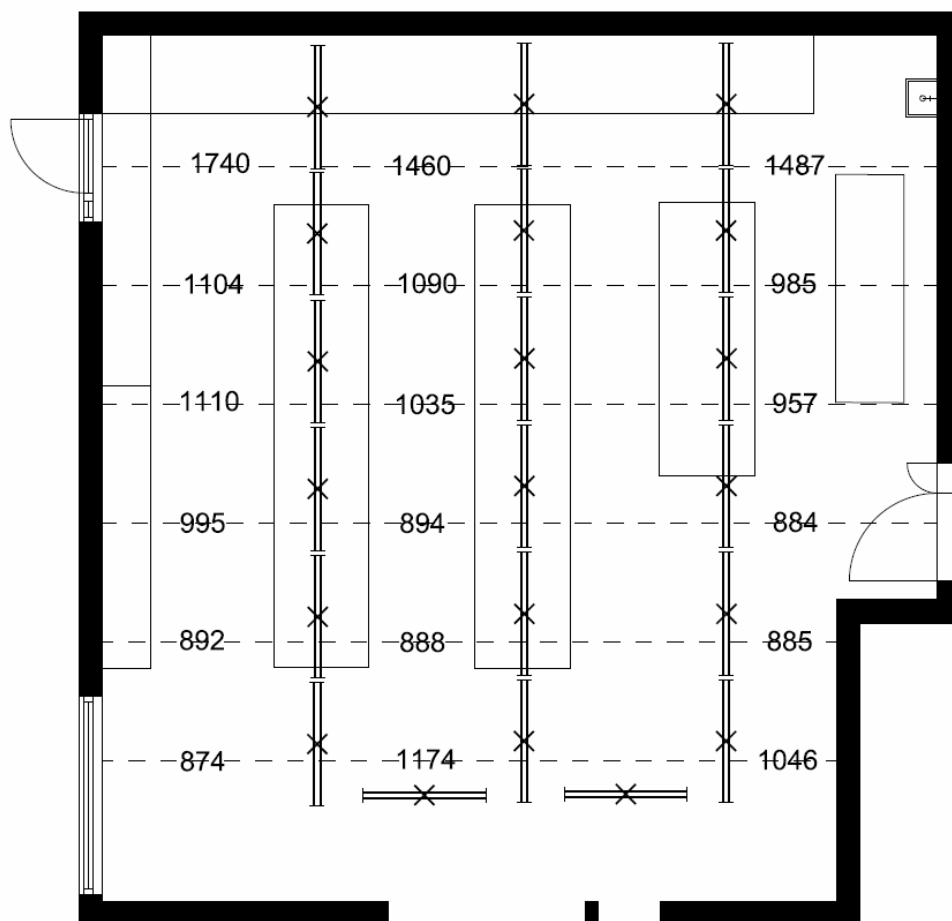


KUVA 12. Myymälä ja välitila (Sorsa 2016)

Myymälän valaistus on toteutettu loisteputkivalaisimilla, jotka on aseteltu kuvan 16 mukaisesti. Teholtaan loisteputket ovat 58 wattia. Kuvassa 16 ja taulukossa 12 näkyvät mitatut valaistusvoimakkuudet ja taulukossa 13 näkyy mittaustuloksista lasketut arvot sekä tilan maksimi- ja minimivalaistusvoimakkuudet. Mittaustuloksia voidaan pitää hyvin paikkaansa pitävinä, sillä

suurimmat valaistusvoimakkuudet näkyvät kohdissa, joihin vaikuttaa kattoon asennettujen loisteputkien lisäksi muut valonlähteet, kuten ikkunoista tuleva luonnonvalo ja kylmälaitteisiin asennetut valaisimet. Pienemmät valaistusvoimakkuudet mitattiin nurkkauksiin ja käytävien väleihin.

Mittaustuloksista ja lasketuista arvoista nähdään että myymälä on erittäin hyvin ja tasaisesti valaistu. Taulukko 14 määrittelee myyntialueen Em:n vähimmäisarvoksi 300 luksia ja Uo:n 0,4. Myymälän valaistus ylittää nämä arvot selvästi.



KUVA 13. Myymälän valaistusvoimakkuuksia (Putkonen 2016-09-11)

TAULUKKO 12. Myymälän valaistusvoimakkuuden mittaustulokset lukseina (Putkonen 2016-09-11)

1 740	1 460	1 487
1 104	1 090	985
1 110	1 035	957
995	894	884
892	888	855
874	1174	1046

TAULUKKO 13. Myymälälän valaistuksen arvoja (Putkonen 2016-09-11)

Em	1 081,67
Emin	855,00
Emax	1 740,00
Uo	0,79

TAULUKKO 14. Liiketilöjen valaistusvaatimuksia (SFS-EN 12464, 2011, 54)

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L -	U_o -	R_a -	Erityisvaatimukset
5.27.1	Myyntialue	300	22	0,40	80	
5.27.2	Kassa-alue	500	19	0,60	80	
5.27.3	Pakkauspöytä	500	19	0,60	80	

8.3 Keittiö

Keittiön valaistus ei yllä standardissa vaadittuun valaistusvoimakkuuden keskiarvoon, vaan jää noin 200 luksia vaaditusta 500 luksista. Valaistuksen heikkouteen voi olla syynä keittiössä käytettyjen loisteputkivalaisimien valovirran heikentyminen iän myötä ja valaisimien likaisuus. Valaistuksen tasaisuus keittiössä yltyä hyvin lähelle vaadittua 0,6. Eniten käytetylle työalueelle mitattiin korkein luksiarvo, 614, joten vaikka keittiön valaistusvoimakkuuden keskiarvo ei ole riittävän, on ainakin suurin valaistusvoimakkuus keskitetty oikeaan paikkaan. Suoritetuista mittauksista voidaan todeta, ettei keittiön valaistusvoimakkuusmittauksia voitu suorittaa yhtä tarkasti kuin muissa huoneissa, sillä pienehkössä tilassa työskentelevää kokkia haluttiin häiritä mahdollisimman vähän. Keittiön mittaustulokset näkyvät taulukossa 15 ja lasketut arvot taulukossa 16.

TAULUKKO 15. Keittiön valaistusvoimakkuuden mittaustulokset lukseina (Putkonen 2016-09-11)

614	176	183
322	535	359
185	180	365
192	235	

TAULUKKO 16. Keittiön valaistuksen arvoja (Putkonen 2016-09-11)

Em	304,18
Emin	176,00
Emax	614,00
Uo	0,58

8.4 Ravintola

Ravintolalle ei valaistusstandardissa ei ole annettu vähimmäisarvoja Em:lle tai Uo:lle, mutta erityishuomiona mainitaan että valaistus pitäisi suunnitella niin että se luo sopivan ilmapiirin. (sfs taulukko)

Kiinteistön omistajan mielestä ravintolan nykyinen valaistustaso on liian alhainen ja tämän huomion vahvistaa myös tilan silmämääräinen tarkastelu, sekä taulukossa 17 olevat mittaustulokset.

Taulukosta 18 nähdään keskimääräisen valaistusvoimakkuuden olevan hyvin matala ja valaistuksen jakautuvan epätasaisesti. Tilan valaisu on toteutettu kattoon upotetuilla spottivaloilla, sekä suurista ikkunoista sisään tulevalle luonnonvalolla.

TAULUKKO 17. Ravintolan valaistusvoimakkuuden mittaustulokset lukseina (Putkonen 2016-09-11)

33	44	83	41	86
113	55	40	75	131
83	187	124	155	391
11	27	221	400	245

TAULUKKO 18. Ravintolan valaistuksen arvoja (Putkonen 2016-09-11)

Em	127,25
Emin	27,00
Emax	400,00
Uo	0,21

8.5 Yhteenveto

Nykytilanteessa valaistus täyttää standardin vaatimukset ainoastaan kaupan osalta. Kiinteistössä on siis selkeästi tarvetta valaistuksen päivitykselle, jotta se saadaan täyttämään standardit. Mahdollisia syitä miksi valaistus ei täytä standardeja ovat mm. valaisimien vanheneminen ja täten heikentynyt valovirta, pöly valaisimissa ja sisustukselliset ratkaisut.

Huoneet joissa on suurimmat puutteet valaistuksen osalta, mitattuja arvoja vertaillen standardin vaatimiin, ovat niitä tiloja joiden sisustamiseen ja ulkoasuun on panostettu eniten, eli ravintola ja kassa-alue. Näissä molemmissa on käytetty kohdevalaisimia ja suuri osa tilojen pinnoista on joko hyvin tummaa tai tummahkoa puuta. Tällaiset pintojen heijastussuhteet ovat pienet, joten valaisun kannalta ne voivat olla ongelmallisia materiaaleja sisustuksessa, vaikka visuaalisesti puupinnat ovatkin hienoja.

9 LUMINANSSIN JA HEIJASTUSSUHTEIDEN MÄÄRITYS

Muotoilupolven opiskelijoiden suunnitelmissa myymälän pintojen materiaalia päivitetään paljon. Tämän takia erilaisille materiaaleille suoritettiin mittaukset niiden luminanssin ja heijastussuhteiden vuoksi. Mittaukset suoritettiin materiaalitekniikan laboratoriossa, koekappaleiden mitat olivat noin 1 metri kertaa 1 metri. Materiaaleille mitattiin luksiarvot E_p ja E kappaleen 7.5 mukaisesti.

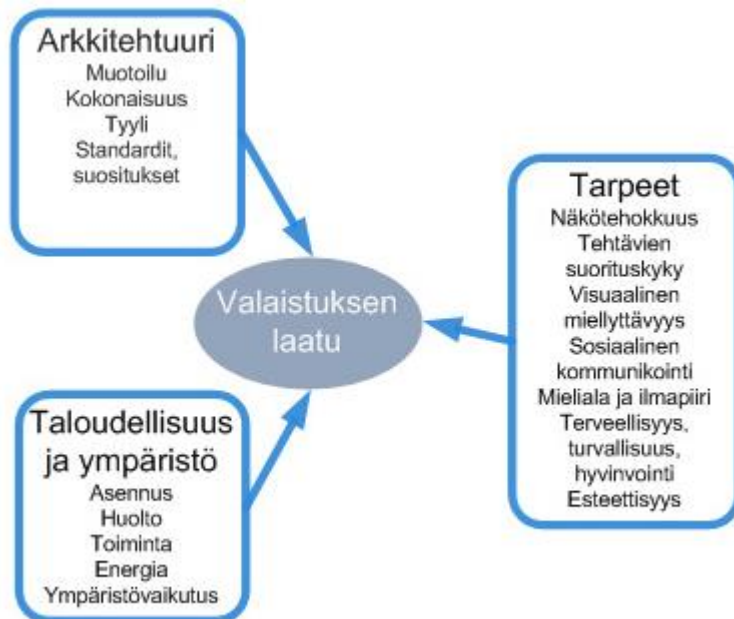
Mittaustulokset näkyvät taulukossa 19. Näistä laskettiin luminanssi ja heijastussuhde kaavoilla 2 ja 3. Materiaalien luminanssi ja heijastussuhde arvoja verrataan Dialuxin tietokannassa oleviin arvoihin.

TAULUKKO 19. Materiaalien valoteknisiä ominaisuuksia (Putkonen 2016-09-11)

Materiaali	E_p (lx)	E (lx)	Luminanssi (E_p/π)	Heijastussuhde (E_p/E)
Punainen muovi	210	882	66,85	0,238
Harmaa puu	191	925	60,80	0,206
Valkoinen muovi	580	916	184,62	0,633
Harmaa muovi	360	905	114,59	0,398
Metalli	660	1 130	210,08	0,584
Vaalea puu	604	1 050	192,26	0,575

10 UUDEN VALAISTUKSEN SUUNNITTELU

Uusi valaistussuunnitelma toteutetaan kiinteistössä olevalle myymälälle. Suunnittelun lähtökohtina ovat: valaistusstandardin asettamat vaatimukset ja muotoilupuolen opiskelijoiden tekemät suunnitelmat, jotka pohjautuvat käyttäjän toiveisiin ja tarpeisiin. Näiden lisäksi kuvaa 17 voidaan käyttää apuna ja muistilistana kun uutta valaistusta suunnitellaan. Kuva jakaa valaistuksen laatuun vaikuttavat tekijät kolmen otsikon alle: Arkkitehtuuri, tarpeet ja taloudellisuus ja ympäristö. Arkkitehtuurin alle kuuluvat kohdat ovat pääasiassa muotoilu-opiskelijoille kuuluvia, kun taas taloudellisuus ja ympäristö otsikon alla on ne asiat joita sähköinsinöörin pitää tarkastella. Tarpeet otsikon alla olevat kohdat jakautuvat hieman epämääräisemmin ja niitä voivat valaistusta suunnitellessa tarkastella sekä muotoilija, että sähköinsinööri.



KUVA 14. Valaistuksen laatuun vaikuttavat tekijät (Ensto)

Sisävalaistusstandardin taulukoiden lisäksi muita tärkeitä tekijöitä valaistuksessa ovat:

- luminanssijakauma
- valon suuntaus, sisätilan valaisu
- valon vaihtelevuus (valon tasot ja värit)
- valon väri
- välkyntä

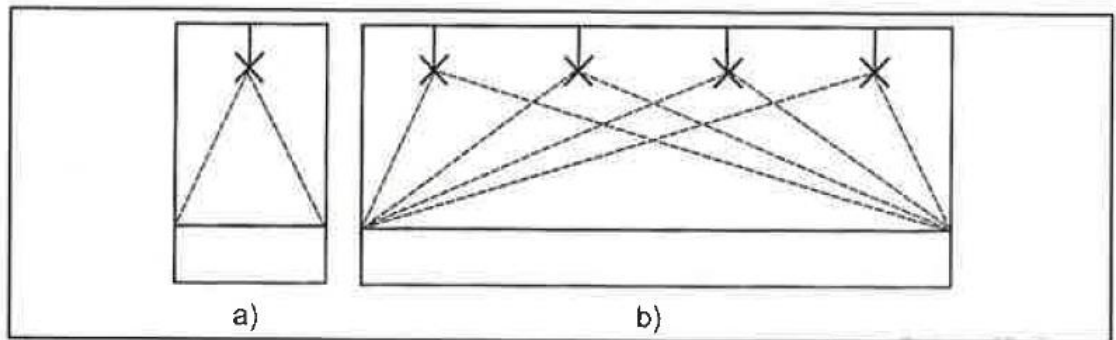
(Sisävalaistusstandardi, 17)

10.1 Hyötysuhdemenetelmä

Suorakaiteen muotoisille huoneille voidaan suunnitella valaistusta hyötysuhdemenetelmän avulla, jos valaisimet sijoitetaan symmetrisesti. Menetelmän avulla voidaan selvittää, montako valaisinta tarvitaan, jotta saadaan haluttu keskimääräinen valaistusvoimakkuus. Laskentaa varten lähtötiedoksi tarvitaan huoneen mitat, katon ja seinien heijastussuhteet ja valaisimien tiedot. Valaisimesta halutaan tietää valoaukon valaiseva pinta-ala, valovirta ylös- ja alaspäin, valaisimen käyttöhyötysuhde ja valonjako. (Ahponen, Kasurinen, Timonen 168 - 169)

Hyötysuhdemenetelmää käytettäessä suunnittelun aluksi lasketaan kaavalla 4 huoneindeksi, jonka avulla voidaan selvittää valaistushyötysuhde, joka on valaisimen käyttöhyötysuhteen ja valaistuksen huonehyötysuhteen tulo. (Ahponen, Kasurinen, Timonen 169)

Huoneindeksi lasketaan, koska huoneen muodolla ja mitoilla on vaikutusta valaistushyötysuhteeseen. Kuvassa x on esimerkkinä kaksi muodoltaan erilaista huonetta. Pieni ja korkea huone kuvassa 18 a) ja laaja ja matalahuone kuvassa b).



KUVA 15. Huoneen muotojen vaikutus valaistushyötysuhteeseen (Ahponen, Kasurinen, Timonen 169)

Ensimmäisessä tilanteessa a) valovirta joka tulee työtasolle on pienempi kuin tilanteessa b).

Valaistushyötysuhteen arvo haetaan taulukosta 20 heijastussuhteiden ja huoneindeksin avulla.

TAULUKKO 20. Heijastussuhteiden ja huoneindeksi suhde valaistushyötysuhteeseen (Ahponen, Kasurinen, Timonen 169)

Huone- pinta	Heijastussuhde								
	Katto(vyöhyke)	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3
Seinät	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,3	0,1	0,0
Työtaso ja lattia	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0
Huone- indeksi <i>k</i>	Valaistushyötysuhde (%)								
	0,60	30	25	22	29	25	22	25	22
0,80	37	33	29	36	32	29	32	29	28
1,00	43	38	35	42	38	35	37	34	33
1,25	47	43	40	46	43	40	42	39	38
1,50	51	47	44	49	46	43	45	43	41
2,00	55	52	49	53	51	48	49	47	45
2,50	58	55	53	56	54	51	52	50	48
3,00	60	57	55	58	56	54	54	52	50
4,00	62	60	58	60	58	57	56	55	52
5,00	64	62	61	61	60	59	58	57	54

Kaavoilla 6 ja 7 voidaan laskea tilan keskimääräinen valaistusvoimakkuus sekä tilan tarvitsema valaisimien lukumäärä:

$$E_m = \beta \eta \frac{N\Phi}{A} \quad (6)$$

$$N = \frac{E_m A}{\beta \eta \Phi} \quad (7)$$

joissa

- E_m keskimääräinen valaistusvoimakkuus (lx)
- N valaisimien lukumäärä
- Φ yhdessä valaisimessa olevien lamppujen kokonaisvalovirta (lm)
- A huoneen pinta-ala
- η valaistuksen hyötysuhde
- β valaistuksen alenemakerroin, joka ottaa huomioon lamppujen vanhenemisen myötä ja muista syistä (lämpötila, liitäntälaitte) tapahtuvan valovirran pienenemisen sekä lamppujen, valaisimien ja huonepintojen likaantumisen myötä tapahtuvan valaistusvoimakkuuden pienenemisen. (Ahponen, Kasurinen, Timonen, 173)

10.2 VBE-indeksi

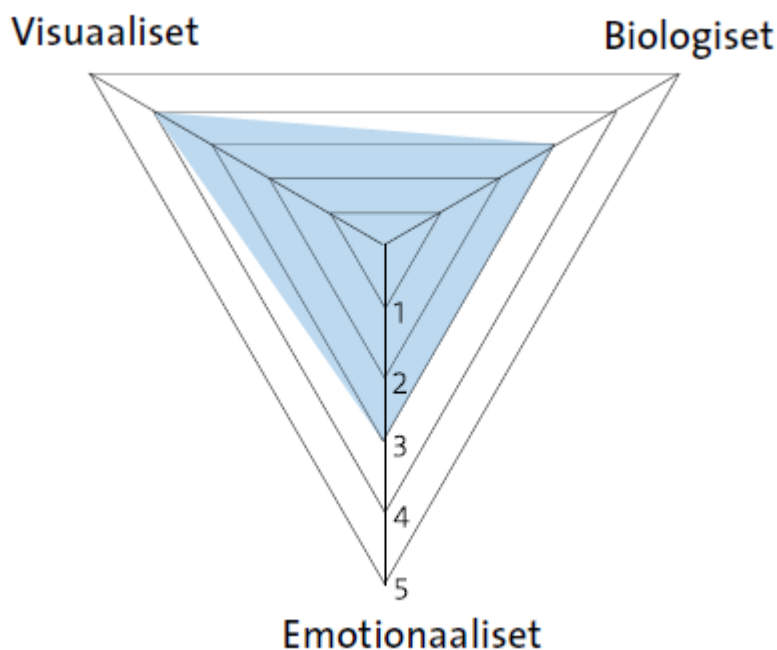
Valaistuksen vaikutusta ihmiseen voidaan arvioida VBE-indeksin avulla. VBE tulee sanoista visuaalinen, biologinen ja emotionaalinen, ja indeksi pyrkii antamaan subjektiivisen kuvan valaistuksesta näistä kolmesta näkökulmasta. (Valaistussuunnittelijan käsikirja, 481)

Visuaaliset tekijät käsittävät mm. niitä asioita, joita sisävalaistusstandardi arvioi: valaistusvoimakkuus, häikäisy, kontrasti, näköergonomia ja heijastus. (Valaistussuunnittelijan käsikirja, 481)

Biologiset tekijät arvioivat miten valaistus vaikuttaa ihmisen biologisiin toimintoihin, kuten kehon hormonintuotantoon. Hormonien tuotanto taas vaikuttaa ihmisen vireyteen, hyvinvointiin ja suorituskykyyn eri vuorokauden- ja vuodenaikoina. (Valaistussuunnittelijan käsikirja, 481)

Emotionaaliset tekijät ovat kaikkein subjektiivisimpia arvioida. Emotionaaliset tekijät pyrkivät tarkastelemaan, millaiseksi valaistus, valon ja ympäristön värit ja dynamiikka koetaan kohteessa. (Valaistussuunnittelijan käsikirja, 481)

VBE-indeksi voidaan esittää graafisesti, kuten kuvassa 19 nähdään. Jokainen kolmesta arvioitavasta kohteesta pisteytetään 0 - 5, ja ne muodostavat pohjakaavioon pinta-alan. Mitä suurempi pinta-alta on, sitä parempi indeksin mukaan valaistus on.



KUVA 16. VBE-indeksin visuaalinen esitystapa (Valaistussuunnittelijan käsikirja, 481)

10.3 AQ-indeksi

Toinen keino arvioida valaistusta on AQ-indeksi (Application Quality Index). Taloudellisten ja ympäristösyiden takia tulevaisuudessa energiankäytölle asetetaan entistä suurempia vaatimuksia ja myös rakennusten energiatehokkuusdirektiivi vaatii valaistuksen energiankäytön liittämisen rakennuksen energiatodistukseen. Verrattuna VBE-indeksiin AQ-indeksi arvioi valaistusta myös taloudelliselta kannalta. Indeksikoostuu viidestä tarkasteltavasta kohteesta, jotka ovat valaistusvaikutelma, valaisinten tehokkuus, valaistushuolto, valaistuksen ohjaus ja energiankäyttö. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 481)

Valaistusvaikutelma pohjautuu VBE-indeksin käsittelemiin asioihin. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 481)

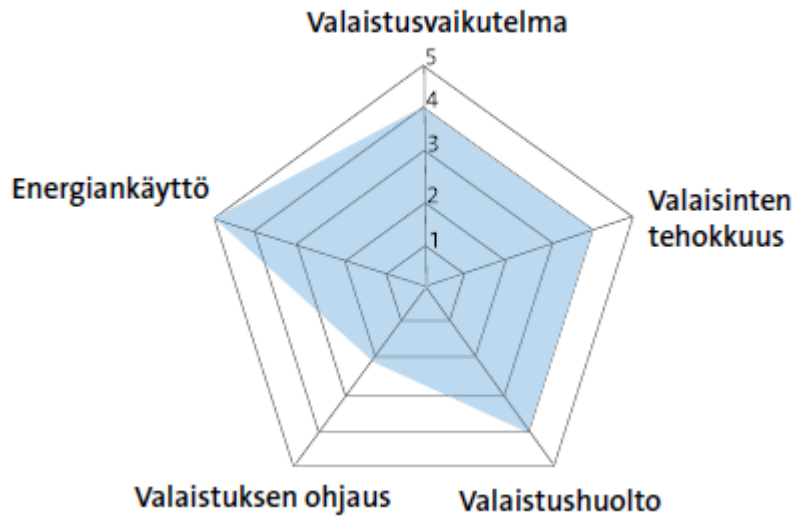
Valaisinten tehokkuus kuvaa tilassa käytettyjen valaisimien energiatehokkuutta, joka ilmoitetaan yksiköllä lm/W. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 481)

Valaistushuolto on suunnittelijan suosittelema valaisinten huoltoväli. Siihen sisältyy valaisimien puhdistus, huolto ja valonlähteiden vaihtamiset. Tilan puhtauden eli käytännössä alenemakertoimen lisäksi huoltovälin pituuteen vaikuttaa valaisimien ja valonlähteiden ominaisuudet. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 481)

Valaistuksen ohjaus ilmaisee kuinka tehokkaasti tilassa hyödynnetään energiaa säästäviä valonohjausjärjestelmiä, esimerkiksi liiketunnistus ja aikaohjaus (Valaistussuunnittelijan käsikirja 481).

Energiankäyttö kuvaa tilan energiatehokkuutta, joka pohjautuu standardiin EN 15193 ja sen avulla laskettuun LENI-lukuun. LENI-luku ilmoittaa tilan vuotuisen energiankulutuksen arvona kWh / m². (Valaistussuunnittelijan käsikirja, 481)

Jokaiselle näistä viidestä parametristä määritellään arvo 1-0. Kun parametrit ovat määriteltäviä voidaan niiden pinta-ala hahmotella viisikulmiopohjalle (kuva 20). Mitä suurempi on kuvaajan pinta-ala, sitä paremmaksi tilan valaistus arvioidaan. (Valaistussuunnittelijan käsikirja, 481)

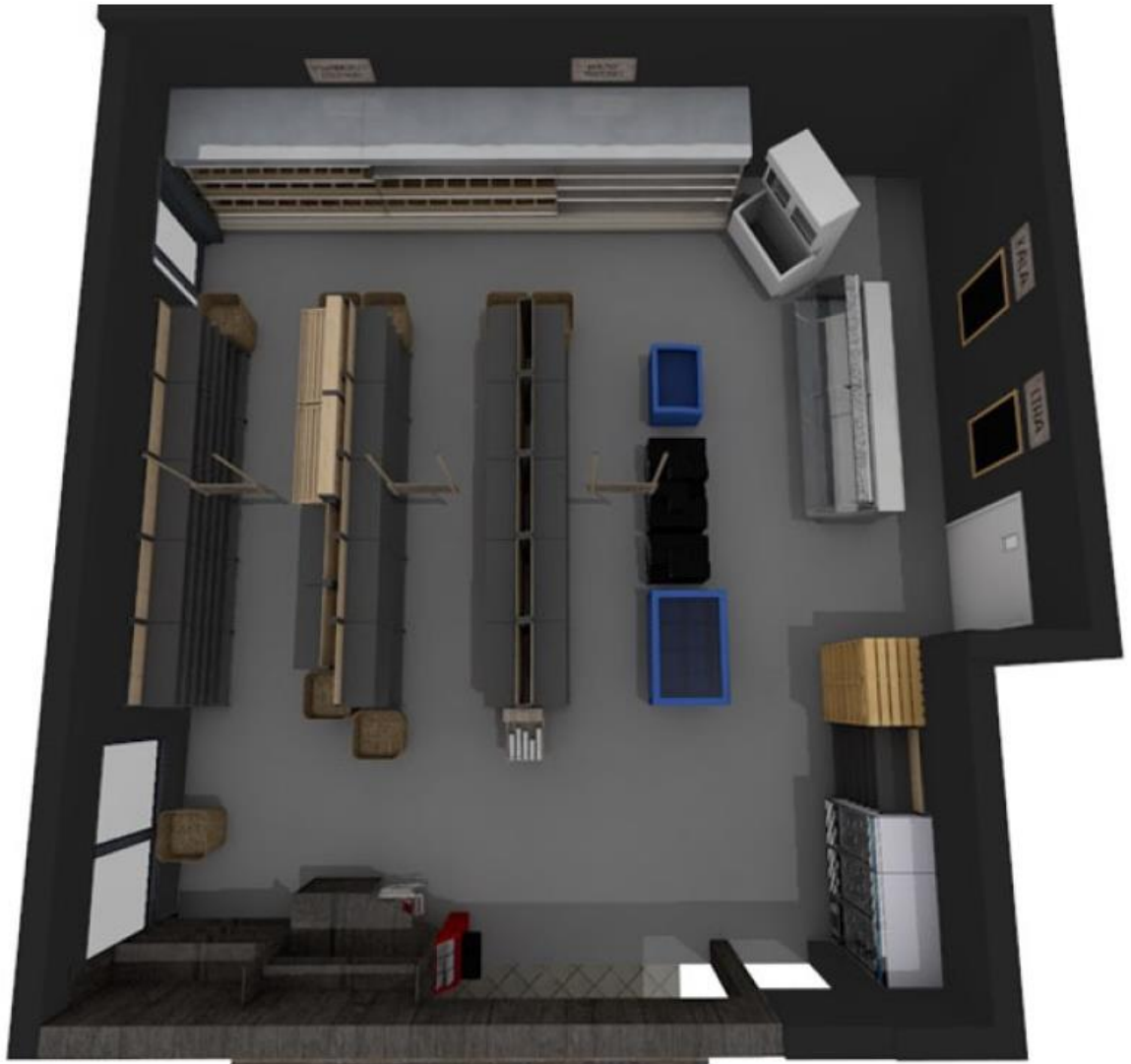


KUVA 17. AQ-indeksiin vaikuttavat tekijät (Valaistussuunnittelijan käsikirja, 481)

Jokaista tekijää arvioidaan erikseen taulukon avulla. Arviointi tehdään yleensä suunnitteluvaiheessa, mutta sitä voidaan käyttää myös tarkasteltaessa jo käytössä olevaa valaistusjärjestelmää. (Valaistussuunnittelijan käsikirja, 481)

11 MYYMÄLÄN VALAISTUKSEN TOTEUTUS

Myymäälän lähtötilanne näkyy siis kuvista 14 ja 15. Myymälän uusi ulkoasu mallinnettuna näkyy kuvissa 21 ja 22.



KUVA 18. Myymälän uusi ulkoasu ylhäältä (Sorsa 2016-09-23)



KUVA 19. Myymälän uusi ulkoasu ihmissilmän tasolta (Sorsa 2016-09-23)

Myymälän uusi ulkoasu päivittyy lähemmäs samaa teemaa mitä kiinteistön ravintola ja myyntitiski/kahvilinjasto ovat. Ulkoasu tulee vaikuttamaan valaistuksen tarpeeseen sillä tilan pinnat tulevat muuttumaan hyvin paljon tummemiksi. Tämä tarkoittaa että pintojen heijastussuhteet muuttuvat selkeästi pienemmiksi, sillä tällä hetkellä lähes kaikki myymälän pinnan ovat hyvin vaaleita.

11.1 Valaistusvoimakkuuden laskenta

Nykytilanteessa myymälän valaistusvoimakkuudeksi saadaan kaavaa 6 käyttämällä 575 luksia, kun laskentaparametrit ovat seuraavat:

N	2*20 kpl
Φ	5200 lm
A	126,5 m
η	0,5
β	0,7

Kun vertaillaan saatua tulosta, 575 luksia, myymälän mittaustuloksiin voidaan havaita niiden välillä olevan selkeän eron. Pienin mitattu luksimäärä on 874 luksia ja valaistusvoimakkuuden keskiarvo on 1081 luksia.

Syitä tähän voi olla monia. Esimerkiksi kaava 6 ei ota huomioon muita valonlähteitä, kuten päivänvaloa, muista huoneista tulevaa valoa eikä muita valaisimia. Myös kertoimet η ja β saattavat olla liian alhaiset ja sen takia tulos on liian pieni.

Myyvälään tulvi päivänvaloa, koska mittauspäivä oli erittäin aurinkoinen. Myös muista huoneista siirtyi valoa myymälään, ja lisäksi myymälässä on laitteita, kuten kylmäkaapit, joissa on omat valaisimensa, joita kaava ei huomioi. Näiden havaintojen pohjalta voidaan arvoida että kaavaa 6 käytettäessä lasketaan myymälän valaistusvoimakkuus alakanttiin.

11.2 Valaistusvoimakkuuden laskenta LED-valaisimille

Uusiksi LED-putkiksi valittiin Valtavalon VV24C150G4-840-malli, jonka tiedot näkyvät alla olevassa taulukossa 21.

TAULUKKO 21. Valitun LED-putken tiedot (valtavallo)

MALLI KIRKAS KUPU	VV07C045G4-840	VV10C060G4-840	VV15C090G4-840	VV19C120G4-840	VV24C150G4-840	VV28C150G4-840
Pituus	45 cm	60 cm	90 cm	120 cm	150 cm	150 cm
Teho	7 W	10 W	15 W	19 W	24 W	28 W
Paino	190 g	225 g	300 g	385 g	445 g	445 g
Energiatehokkuusluokka	A++	A++	A++	A++	A++	A++
Vänilämpötila ¹⁾	4 000 K	4 000 K	4 000 K	4 000 K	4 000 K	4 000 K
Valovirta	1000 lm	1300 lm	2000 lm	2600 lm	3200 lm	3600 lm

Kun tämän LED-putken valovirran 3200 lm vaihdetaan kaavaan 6 ja muut laskenta-arvot pysyvät samoin saadaan myymälän valaistusvoimakkuudeksi 354 luksia. Tällä laskentatuloksella myymälä ylittää standardissa myymälälle määritellyn minimiarvon 300 luksia, mutta voidaan silti olettaa todellisen valaistusvoimakkuuden olevan vielä huomattavasti korkeampi, kun tarkastellaan laskentaa, joka suoritettiin myymälän nykyiselle valaistukselle. Siihen verratessa suoraan voitaisiin olettaa todellisen putkien valaistusvoimakkuuden olevan ainakin 643 luksia ja jopa yli 1 000 luksia.

12 ELINKAARILASKENTA MYYMÄLÄLLE

Kiinteistön omistaja on suunnitellut vaihtavansa vanhat loistevalaisimet LED-valaisimiin. Tämän takia vertaillaan LED-valaisimien energiankulutusta nykyiseen loisteputkilla toteutettuun valaistukseen. Näin kiinteistön omistaja saa konkreettista tietoa, jotta voi tehdä päätöksen LED-valaisimiin investoinnista. Nykytilanteessa myymälä on valaistu yhteensä 40 loisteputkella, joiden teho on 58 wattia. Valaistuksen elinkaarilaskennassa voidaan käyttää kaavaa 9.

$$K_{valaistus} = K_{investointi} + K_{energia} \quad (9)$$

Kaava 9 sisältää kaavat 10 ja 11. Kaavan 10 avulla lasketaan uusien valaisimien ja sytyttimien kustannukset ja kaava 11 ilmoittaa valaistuksen kuluttaman energian hinnan euroina.

$$K_{investointi} = k * h * e * p^{s-1} \quad (10)$$

Kaavassa 10

k	on putkien lukumäärä, kpl
h	on yksittäisen putken hinta, €
e	on yksittäisen sytyttimen hinta, €
p	on yleinen hintojen nousu vuodessa, %
s	on tarkastelujakson vuosi kun investointi tehdään.

$$K_{energia} = \sum_{i=1}^{15} (k * \frac{P_L}{1000} * t * y * z^{i-1}) \quad (11)$$

Kaavassa 11

P_L	on lampun teho, w
t	on putkien käyttöaika tunteina vuodessa, h
y	on sähkön hinta, €
z	on sähkön vuotuinen hinnannousu, %.

Nykyisen valaistusasennuksen kuluttama energia saadaan kaavalla 11, koska nykyistä asennusta tarkasteltaessa ei tarvitse huomioida investoinneista aiheutuvia kustannuksia.

12.1 Nykyinen tilanne energiankulutuksen osalta

Koska kiinteistönomistaja sähkösopimuksesta ei tiedetä, käytetään laskennoissa hintoja 0,05 euroa ja 0,15 euroa / kWh. Tämän tarkoituksena on saada hajontaa laskentatuloksiin, jotta eri valaisinten vertailu olisi helpompaa. Käyttöaika valaistukselle luettiin taulukosta 22, kohdasta liikerakennus.

TAULUKKO 22. Erilaisten rakennusten valaistuksen käyttöaikoja (Ympäristöministeriö, 2013, 28)

Rakennustyyppi	Tuntia vuodessa
Asuinkerrostalo	550
Rivitalo	550
Pientalo	550
Toimistorakennus	2 500
Opetusrakennus	1 900
Liikerakennus	4 000
Hotelli	5 000
Ravintola	3 500
Liikuntarakennus	5 000
Sairaala	5 000
Muut rakennukset	2 500

Nykytilannetta tarkasteltaessa kaupan valaistuksen kuluttaman sähköenergian hinnaksi kaavalla 11 saatiin 471,07 euroa, kun sähkönhinta oli laskennassa 0,05 euroa. Kun laskennassa käytettiin 0,15 euroa, saatiin energiankulutuksen hinnaksi 1 413 euroa. Muut laskennassa käytetyt parametrit, jotka sijoitettiin kaavaan, näkyvät alla olevassa taulukossa 23.

TAULUKKO 23. Kaavaan 10 ja 11 syötetyt laskentaparametrit (Putkonen 2016-09-11)

k	Putkien lukumäärä, kpl	40
p	Yleinen hintojen nousu vuodessa, %	0,01
s	Tarkastelujakso vuosi kun investointi tehdään	1
	Energiankulutuksen laskentajakso vuosina	15
Kenergia	Energian kustannukset valaistukselle, €	471,07
PL	Lampun teho, w	58
t	Putkien käyttöaika tunteina vuodessa, h	4000
y	Sähkönhinta, €	0,05
z	Sähkön vuotuinen hinnan nousu, %	0,015

12.2 LED-valaistus

Suureksi ongelmaksi opinnäytetyössä oli muodostua ettei valaisin valmistajilta meinannut löytyä LED-putkia, jotka saisi siirrettyä Dialux evo -ohjelmaan. Kun valmistajilta lopulta löytyi LED-putkia,

jotka olisi pitänyt saada siirrettyä ohjelmaan seurasi useita erilaisia virheilmoituksia. Näin kävi mm. suurten valaisinvalmistajien kuten Airam ja Osramin tuotteiden kanssa.

Valtavalon sivuilta kuitenkin löytyi heidän jokaiselle mallistossa olevalle LED-putkelle LDT-valonjakotiedostot. Tämä oli suurin syy miksi heidän valaisimensa valikoituivat opinnäytetyöhön tarkastelun kohteeksi, mutta myös sivulla olleet selkeät ohjeet ja muu konkreettinen tieto LED-valaisimista. LED-putkiksi valtavalon tuotteista valikoitui VV24C150G4-840-putket, joiden tiedot näkyvät taulukossa 24.

TAULUKKO 24. Valtavalon LED-putken tiedot (valtavalo)

Malli / Kirkaskupu	VV24C150G4-840
Sähkönumero	4702083
Pituus (cm)	150
Teho (W)	24
Väriämpötila (K)	4000
Paino (g)	445
Energiatehokkuusluokka	A++
Keskimäär. elinikä (h)	125 000
Takuu (a)	7
Valovirta (lm)	3400

Kyseinen LED-putki valikoitui suunnitelmissa käytettäväksi koska se täyttää kaikki työterveyslaitoksen vaatimukset valaisimen valinnalle, joka esitettiin kappaleessa 10.3. Listalta konkreettisimmat valintakriteerit olivat haluttu valon väri, energiatehokkuus

12.3 Laskenta LED-valaistukselle

LED-valaistuksen laskentaan käytetään kaavaa 9, koska investointi pitää ottaa huomioon. Taulukossa 25 näkyy LED-valaisimille laskettuja elinkaaritarkastelussa tarvittavia arvoja, sähkönhinnan ollessa 0,05 euroa.

TAULUKKO 25. LED-valaisimille lasketut elinkaarikustannukset (Putkonen 2016-09-11)

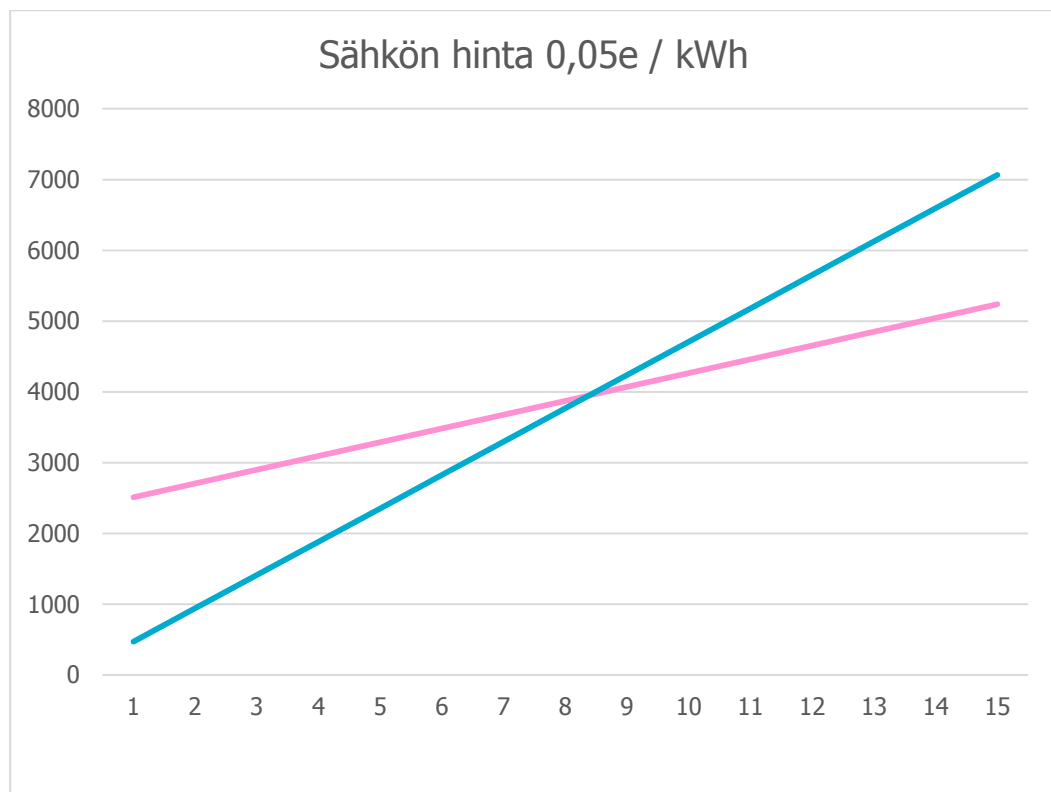
Kvalaistus	€	2510,92
Kinvestointi	€	2316
k	Putkien lukumäärä, kpl	40
h	Putken hinta, €	57,9
e	Sytyttimen hinta, €	1
p	Yleinen hintojen nousu vuodessa, %	0,01
s	Tarkastelujakso vuosi kun invesointi tehdään	1
	Energiankulutuksen laskentajakso vuosina	15
Kenergia	€	194,92
PL	Lampun teho	24
t	Putkien käyttöaika tunteina vuodessa	4000
y	Sähkönhinta	0,05
z	Sähkön vuotuinen hinnan nousu	0,015

Kun sähköhinta nostettiin 0,15 euroon saatiin Kvalaistuksen arvoksi 2900 euroa, Kinvestoinnin arvoksi 2316 euroa ja Kenergian arvoksi 584 euroa.

12.4 Kuvaajat

Kuvissa 23 ja 24 nähdään graafisesti esitettynä vertailua loisteputki- ja LED-valaistusjärjestelmien välillä. Kuvassa 21 sähkön hinta on 0,05 euroa kilowattitunnilta ja kuvassa 22 0,15 euroa.

Kuvasta 23 voidaan lukea että kahdeksan vuoden jälkeen LED-valaistus saavuttaa loisteputkijärjestelmän kannattavuudessa.

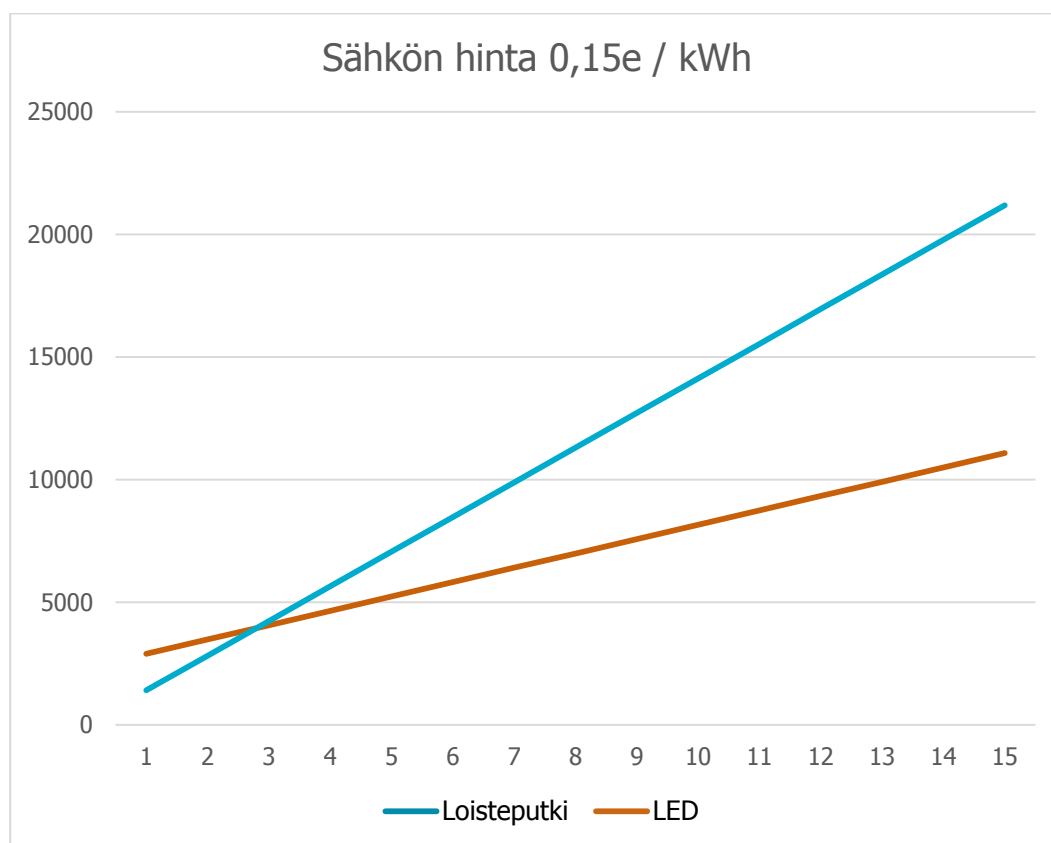


KUVA 20. Kuvaajat valaistusjärjestelmille (Putkonen 2016-09-11)

Taulukoissa 26 ja 27 nähdään molemmilla sähköhinnoilla vuosittaiset energiankulutukset, sekä näiden erotus.

TAULUKKO 26. Valaistusjärjestelmien Kenergia-arvot ja näiden erotus (Putkonen 2016-09-11)

Sähkön hinta 0,05 euroa			
Vuodet	LED (e)	LOISTEPUTKET (e)	Erotus (e)
1	194,92	471,07	276,14
2	389,85	942,13	552,28
3	584,77	1413,20	828,43
4	779,70	1884,26	1104,57
5	974,62	2355,33	1380,71
6	1169,54	2826,40	1656,85
7	1364,47	3297,46	1932,99
8	1559,39	3768,53	2209,14
9	1754,31	4239,59	2485,28
10	1949,24	4710,66	2761,42
11	2144,16	5181,73	3037,56
12	2339,09	5652,79	3313,71
13	2534,01	6123,86	3589,85
14	2728,93	6594,92	3865,99
15	2923,86	7065,99	4142,13



KUVA 21. Kuvaajat valaistusjärjestelmille (Putkonen 2016-09-11)

Taulukko 27: Valaistusjärjestelmien Kenergia-arvot ja näiden erotus (Putkonen 2016-09-11)

0,15 EUROA			
	LED (e)	LOISTEPUTKET (e)	Erotus (e)
1	584,77	1413,20	828,43
2	1169,54	2826,40	1656,85
3	1754,31	4239,59	2485,28
4	2339,09	5652,79	3313,71
5	2923,86	7065,99	4142,13
6	3508,63	8479,19	4970,56
7	4093,40	9892,39	5798,98
8	4678,17	11305,58	6627,41
9	5262,94	12718,78	7455,84
10	5847,72	14131,98	8284,26
11	6432,49	15545,18	9112,69
12	7017,26	16958,38	9941,12
13	7602,03	18371,57	10769,54
14	8186,80	19784,77	11597,97
15	8771,57	21197,97	12426,40

13 DIALUX EVO

Dialux on ilmainen grafiikkapohjainen valaisun laskenta ja mallintamishjelma, jonka uusin versio on Dialux Evo 6. Koulun tietokoneilla on käytössä Dialux 4.12, jota olin käyttänyt valaistustekniikan harjoitustyössä. Päädyin kuitenkin käyttämään Dialux evoa, koska esimerkkikuvien perusteella se vaikutti pystyvän luomaan paljon tarkempia ja visuaalisesti miellyttävämpiä kuvia kuin vanha versio. Myös ohjevideoita ja tutoriaaleja löytyi uusimpaan versioon paremmin ja selkeämpinä.

Dialuxin avulla voidaan mallintaa kiinteistöjä tai huoneita, sekä 3D:nä että pohjapiirrustuksina. Mallintuihin tiloihin voidaan sijoittaa erilaisia valonlähteitä, kuten ikkunoita ja valaisimia, lisätä huonekaluja ja määritellä pintojen valoon vaikuttavat ominaisuudet. Tämän jälkeen voidaan ohjelman avulla laskea valaistuvoimakkuuksia, häikäisynarvoja ja pohtia tilojen valaisuja visuaaliselta kannalta. Kuva 25 on Dialuxin omilta nettisivuilta otettu esimerkkikuva.



KUVA 22. Dialuxilla mallinnettu sisätila (Dialux)

13.1 Dialux Evon käyttö opinnäytetyössä

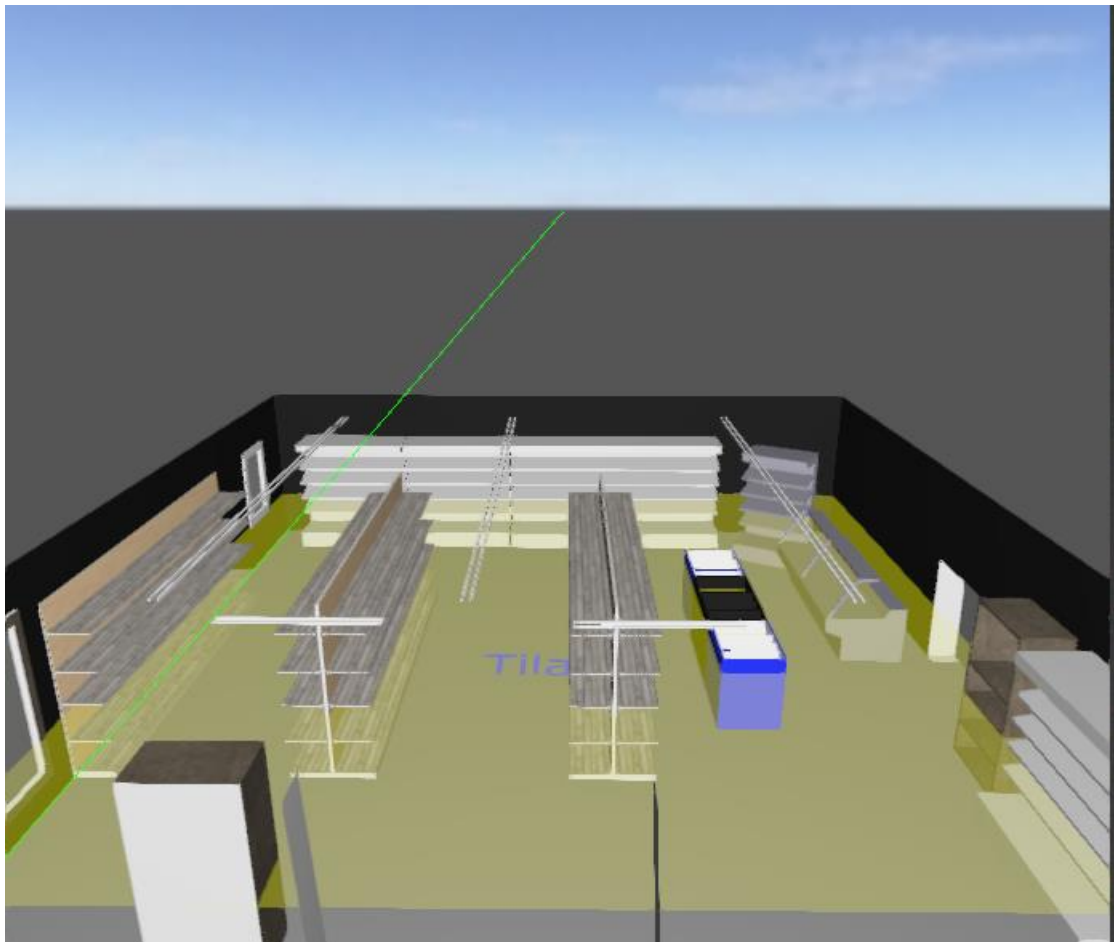
Erilaisia vaihtoehtoja valaistuksen suhteen voidaan simuloida ja vertailla Dialuxilla. Myymälätila mallinnettiin siirtämällä myymälän pohjapiirustus, joka oli dwg-muodossa, Dialuxiin. Tällöin Dialux piirtää tilan ääriviivat, jonka jälkeen ohjelmalla voidaan nostaa seinät ja alkaa lisäämään tilaan elementtejä (ikkunat, huonekalut ovet yms.), valaisimia ja alkaa käsittelemään pintoja.

Dialuxin materiaalikirjaston materiaalien heijastussuhteita verrattiin taulukkoon 19 ja niiden todettiin vastaavan hyvin tarkasti taulukossa 19 olevia mittaustuloksia. Dialuxin pyökkipuun, kuvassa 30

näkyvien hyllyjen vaalea puuosa, heijastussuhde oli Dialuxissa 56 %. Tätä vastaavalle materiaalille eli taulukossa 19 olevan vaalean puun heijastussuhteeksi mitattiin 57,5 %. Dialuxin kuusipuu-materiaali, väriltään harmaa, heijastussuhde oli ohjelmassa oletusarvona 26 %. Tätä vastaavalle materiaalille mitattiin heijastussuhteeksi 20,6 %. Mittaustulosten voidaan siis katsoa pitävän melko hyvin paikkaansa.

Lähteinä myymälää mallinnettaessa käytettiin mm. kuvia 21 ja 22 sekä kuvia, jotka otettiin kohteeseen tutustuttaessa.

Kuvassa 26 nähdään mallinnettu myymälä. LED-putkia asetettiin Dialuxiin samalla tavoin ryhmiteltyinä, kuten nykyiset loisteputket on asennettu. Erona kuitenkin on ettei Dialux anna asentaa LED-putkia valaisimien sisälle, ja näin ollen esimerkiksi häikäisysoojien vaikutusta se ei huomioi. Valaistusvoimakkuuden laskennassa tämän oletetaan olevan kuitenkin merkityksetöntä.



KUVA 23. Myymälä mallinnettuna Dialux Evo -ohjelmalla (Putkonen 2016-09-11)

13.2 Valaisimien valinta

Riittävän valaistusvoimakkuuden saavuttamisen lisäksi valaisimelta vaaditaan muutankin. Työterveyslaitos antaa ohjeeksi valaisimien valintaan seuraavan listan tarkasteltavista ominaisuuksista:

- haluttu valon väri
- värintoisto-ominaisuudet
- hankintahinta
- käyttöikä
- hyötysuhde.

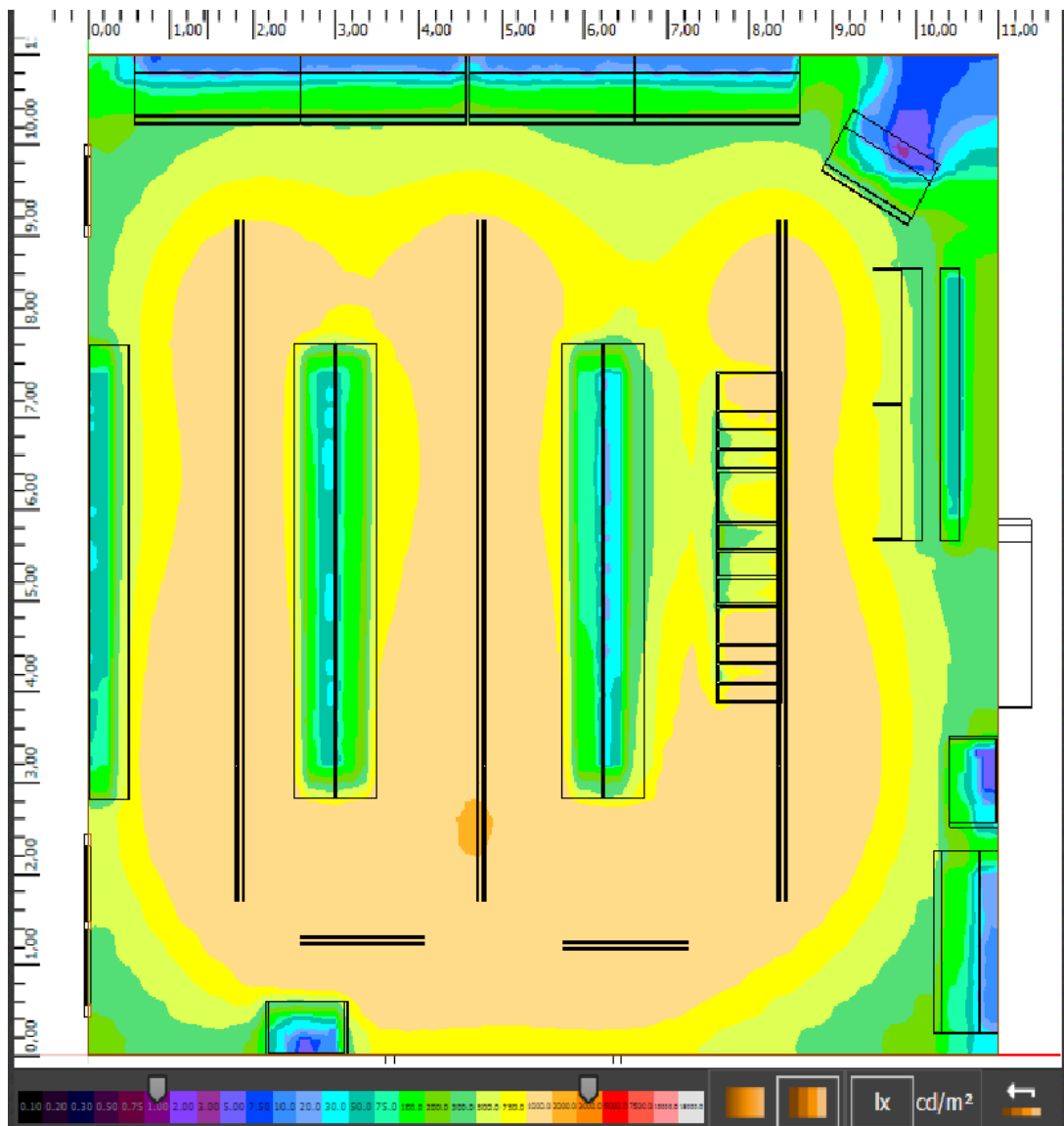
(Työterveyslaitos 2016)

Listan mukaan Valtavalon LED-putket täyttävät kaikki listan kohdat. Hankintahintaa voidaan toki pitää suhteellisena käsitteenä joten sitä ei arvioida. Valon lämpötilaksi valittiin 3000 kelviniä, koska se on maltillinen lämmin sävy, joten myymälän pitäisi tuntua kodikkaalta. Valaisinten värintoisto-ominaisuudet ovat myös hyvät, eli niiden Ra on yli 80. Käyttöikä on myös riittävä eli aikaisemmin käsitelty 125 000 tuntia ja valaisimet ovat energiatehokkuusluokaltaan A++.

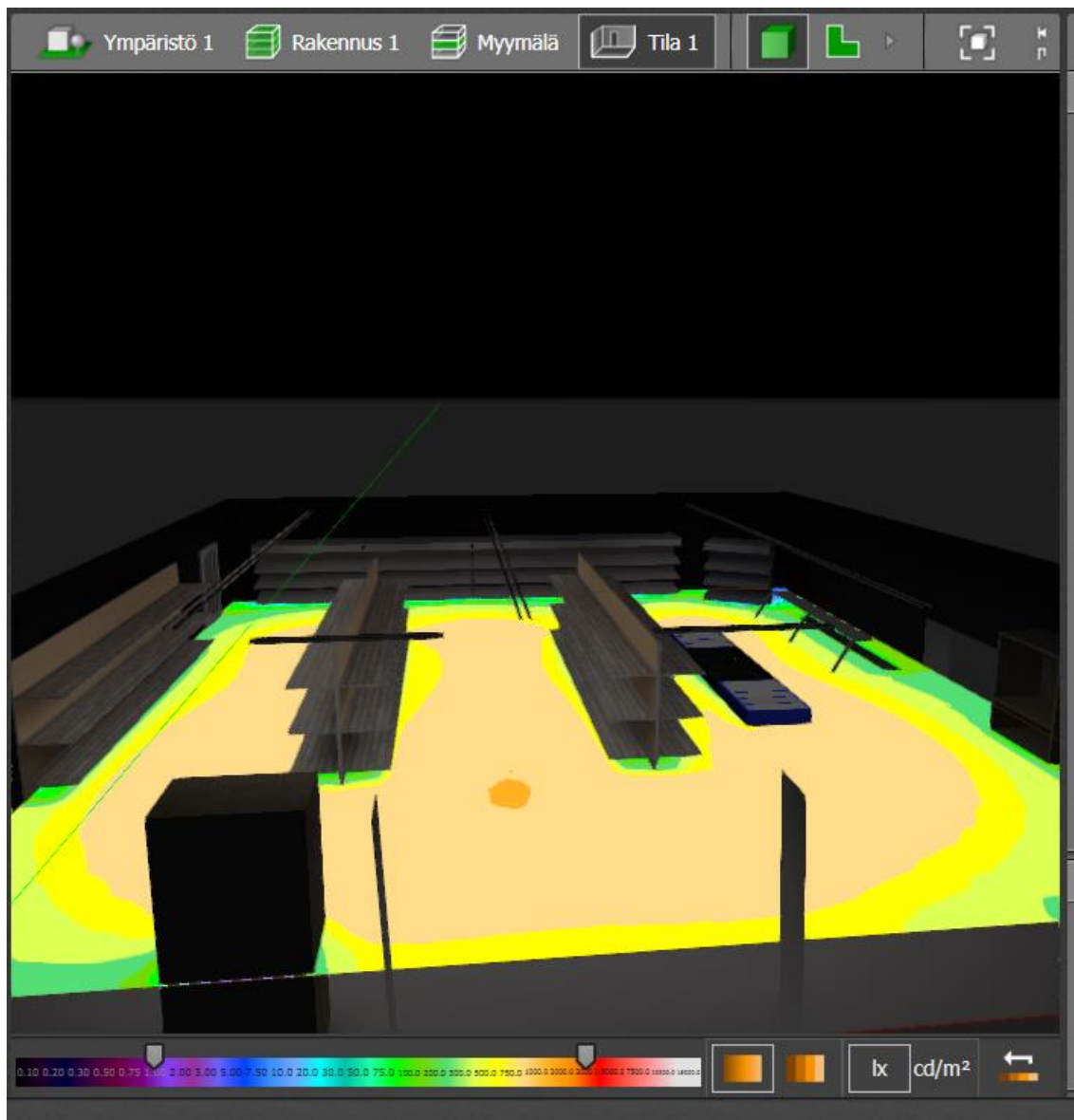
13.3 Valaistusvoimakkuuden laskenta

Valaistusvoimakkuutta laskettaessa myymälän tapauksessa helpointa oli asettaa suorakulmainen laskentaobjekti kattamaan koko myymälän alaa. Laskentaobjekti on kuvassa 28 näkyvä vihertävä pinta. Tällä saadaan yleiskuva tilan valaistusvoimakkuuksista. Kuvat 27, 28 ja 29 kertovat suoritetun laskennan tuloksista. Kuvissa 27 ja 28 näkyy valaistusvoimakkuus vääräväreinä sekä 2D- että 3D-muodossa. Valaistusvoimakkuuden laskennassa käytettiin vaihtoehtoa kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva).

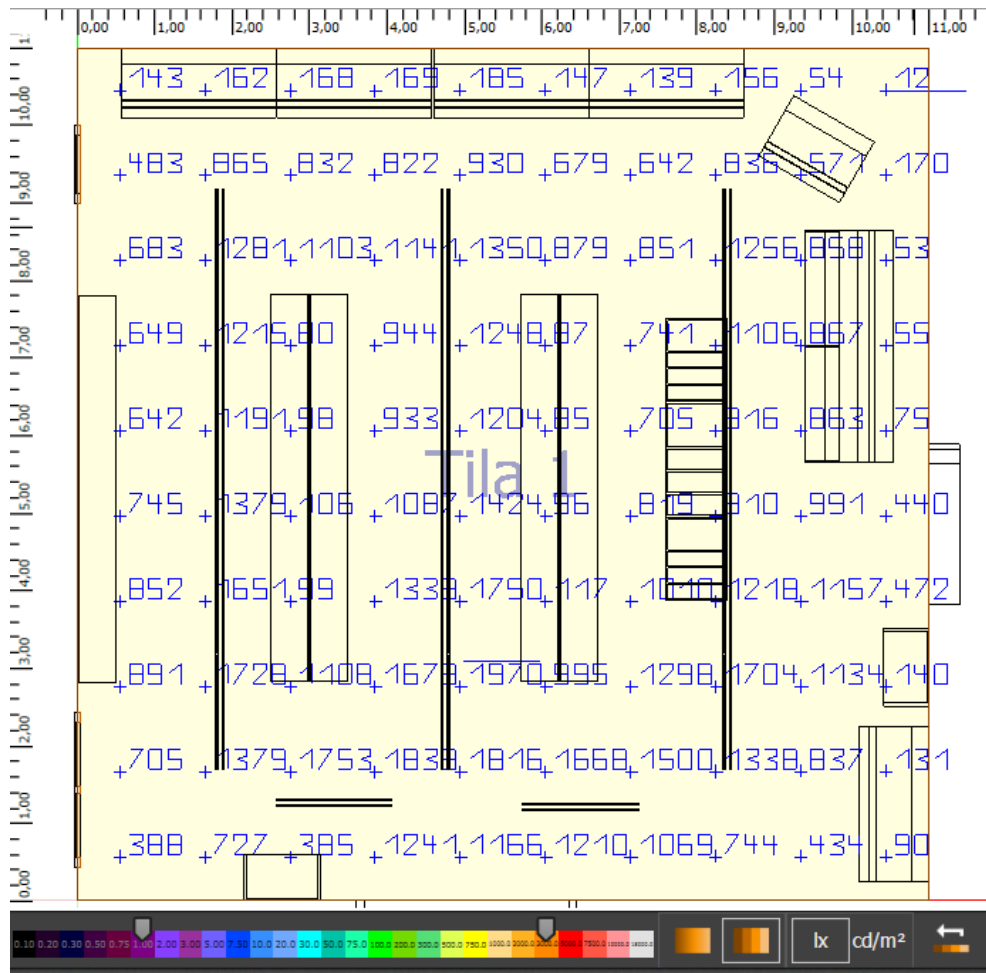
Suorakulmaisen laskentaobjektin lisäksi tilaan voidaan asettaa erillisiä yksittäisiä laskentaobjekteja. Tämä on hyödyllistä, jos halutaan tarkastella jotain tiettyä osaa kiinteistöstä tarkemmin. Dialuxin avulla voidaan verrata myös suoraan työalueen näkötehtävä vaatimuksia sisävalaistusstandardiin EN-12464. Tällöin ohjelma luo automaattisesti kuvan 10 kaltaisen laskentamallin ja käyttää kuvassa 11 olevia arvoja tulosten analysointiin.



KUVA 24. Myymälän valaistusvoimakkuudet vääräväreinä (Putkonen 2016-09-11)



KUVA 25. Myymälän valaistusvoimakkuudet vääräväreinä 3D- (Putkonen 2016-09-11)



KUVA 26. Myymälän valaisuvoimakkuudet numeerisina arvoina (Putkonen 2016-09-11)

Kuten kuvista 27,28,29 nähdään ovat valaistusvoimakkuudet standardien vaatimalla tasolla, keskimääräisen valaistusvoimakkuuden ollessa 842 luksia. Jos verrataan kuvaa 29 alkuperäisiin mittaustuloksiin voidaan niiden olevan samaa suuruusluokkaa. Toisaalta Dialuxin laskelmiin ei ole huomioitu päivänvaloa, eikä kylmälaitteiden omien valaisimien vaikutusta.

Vaikka valaistusvoimakkuus on suunnitelmien mukaan riittävä, ei valaistus ole silti tasaisuudeltaan suunnitelmissa standardin edellyttämällä tasolla. Dialux ei itse laske valaistuksen yleistasaisuuden arvoa U_0 , joten sitä pitää tarkastella manuaalisesti tutkimalla valaistusvoimakkuuden lukuja kuvasta 29. Valaistuksen yleistasaisuuden tuo alle standardin vaatiman tason tilan oikeassa laidassa näkyvät valaistusvoimakkuuden arvot. Toisaalta kun tarkastellaan kuvia tilasta, nähdään että tilat joissa pääsääntöisesti liikutaan ovat tasaisesti valaistut, jos siis poistetaan huomiosta oikean laidan arvot sekä yläreunat arvot jotka todellisuudessa ovat suuremmat, koska kylmälaitteissa on omat valonlähteet.

13.4 UGR-indeksi

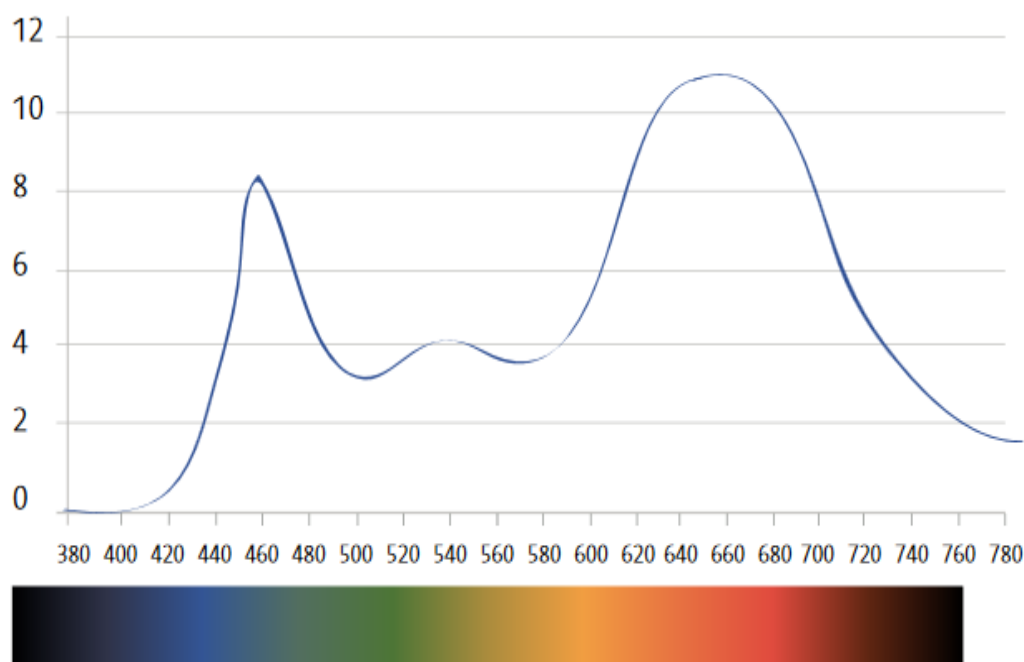
UGR-indeksiä voidaan tarkastella Dialuxissa sijoittamalla tilaan mittauspisteitä kokonaisen laskentapohjan sijaan. Mittauspisteitä sijoitettiin 15 eri puolille myymälää. Suurin sallittu UGR-arvo standardin mukaan myymälälle olisi 22, mutta laskennassa jokaisen mittauspisteen arvo meni yli tästä. Mittauspisteiden arvot vaihtelivat 35 ja 40 välillä. Kuitenkaan UGR-arvoja ei voida pitää paikkaansa pitävinä, koska kuten aikaisemmin todettu LED-putkille ei Dialuxissa voitu asettaa häikäisysojia.

13.5 Tuotteiden korostus

Myymälän yleisvalaistus toteutetaan LED-putkien avulla, mutta valaistuksella voidaan myös korostaa tuotteita ja esittää ne houkuttelevina. Hyvin suunniteltu valaistus kutsuu ja ohjaa asiakasta, sekä parantaa ostokokemusta. Yritykselle hyvin toimiva valaistus tuo hyötyä säästetyssä energiassa sekä vahvistamalla yrityksen brändiä. (Fagerhult, Elintarvikkeiden korostaminen)

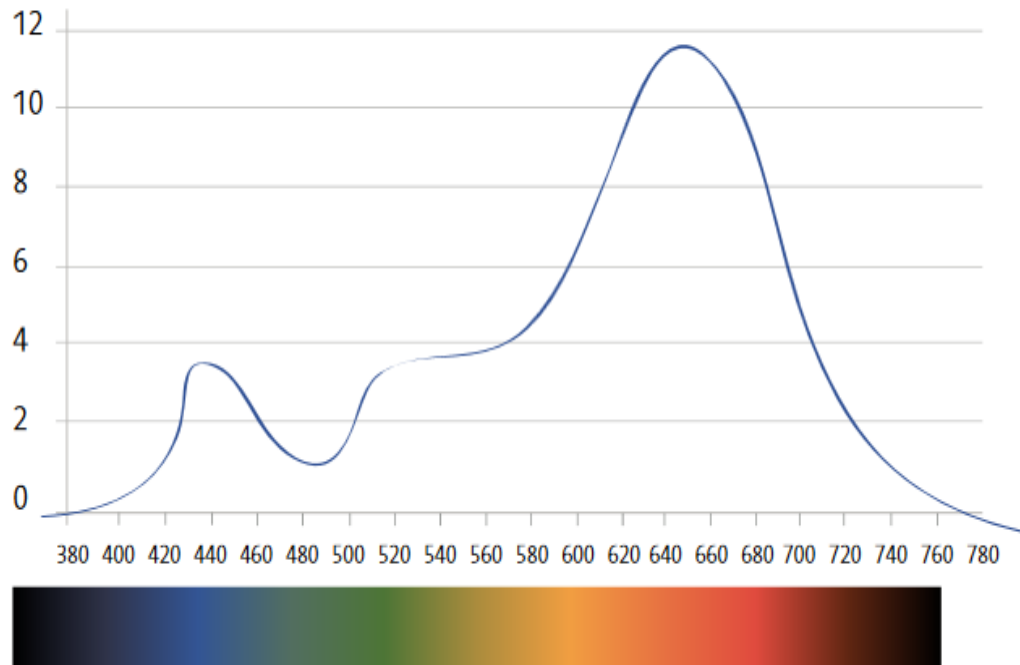
Tärkeiksi kohteiksi myymälässä muodostuvat liha- ja kalatuotteet joita myydään kylmähyllyssä. Näitä tuotteita olisi hyvä valaista valaisimelle joka toistaa vahvasti sinisen, punaisen ja valkoisen aallonpituuksia. Näin saadaan korostettua näiden tuotteiden, sekä jään luontaisia värejä, joten ne näyttävät tuoreilta. (Fagerhult, Elintarvikkeiden korostaminen)

Kuvassa 30 näkyy edellämainituille tuotteille fagerhultin suosittelemien valaisimien kyky toistaa värejä.



KUVA 27. Fagerhultin Rich malliston valaisimien värintoistokyky (Fagerhult)

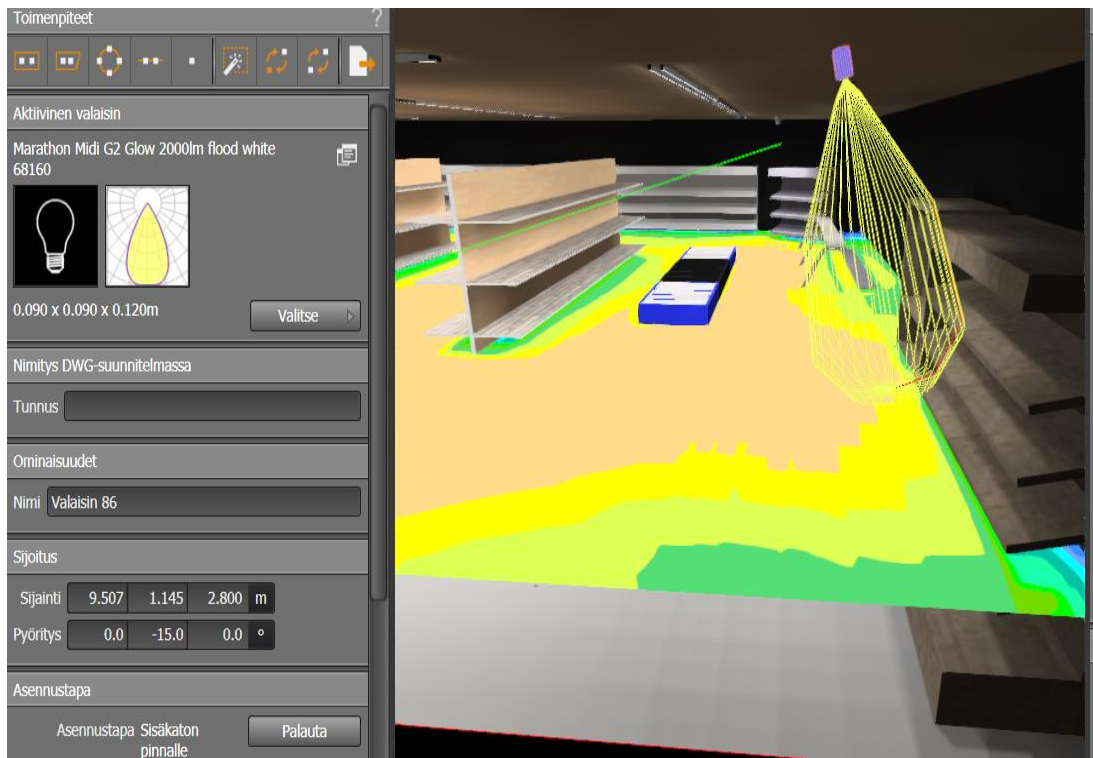
Vastaavasti taas muita tuoretuotteita kuten juustoja, leipiä, hedelmiä ja vihanneksia kannattaa valaista valaisimilla jotka ovat painotettu lämpimiin sävyihin. Kuvassa 31 näkyy Fagerhultin näille tuotteille suosittelman valaisinmallisto Glow:n värintoisto-ominaisuudet.



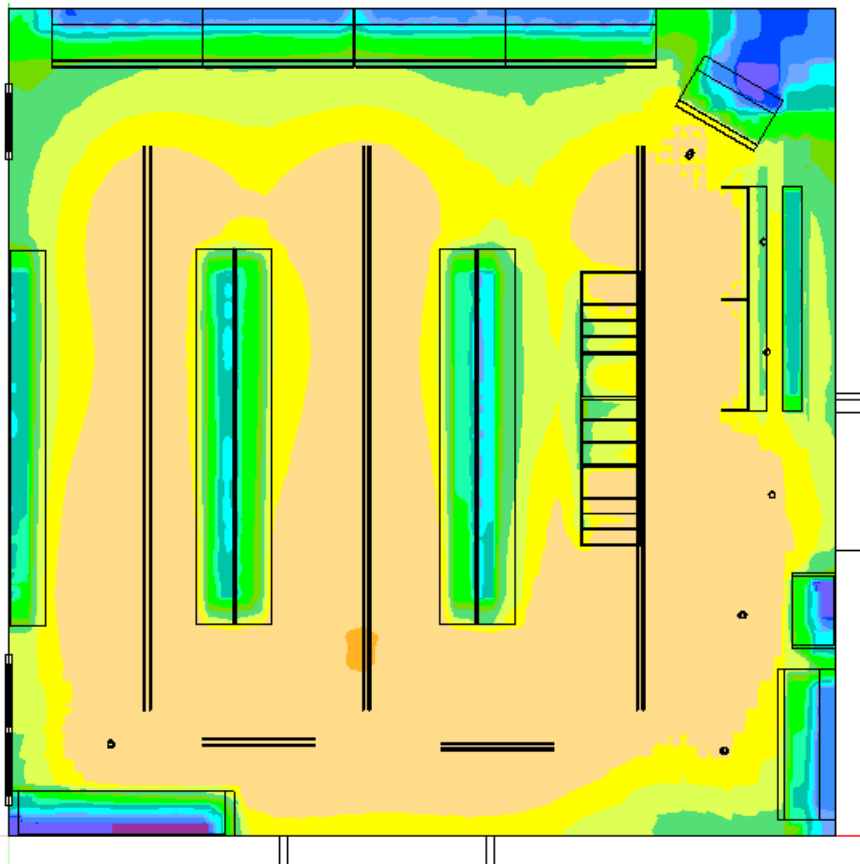
KUVA 28. Fagerhultin Glow malliston valaisimien värintoistokyky (Fagerhult)

Lämpimillä sävyillä valaistaessa hedelmiä, vihanneksia ja leipiä, niiden omat värit korostuvat ja näin ne näyttävät houkuttelevilta. Fagerhultin Glow ja Rich mallistoista valikoitui valaisimiksi Flood-malli. Flood tarkoittaa tässä valokeilan kokoa, joka oli malliston laajin 55 astetta. Glow-valaisimen valovirta on 2258 lumenia ja Rich-valaisimen 2150 lumenia.

Kohdevalaisimet sijoitetaan valaisemaan tilan oikeassa laidassa olevia hyllyjä, sekä kala/lihatiskiä. Yksi valaisin sijoitetaan valaisemaan vasemman alakulman hyllyä. Kala/lihatiskiä valaistaan Rich-valaisimella ja muut valaisimet ovat Glow-mallia. Kuvassa 32 näkyy Dialuxissa yhden Glow-valaisimen valokeila kun valaisin on sijoitettu mallineettuun tilaan. Kuvassa 33 näkyy valaistusvoimakkuuden muutos verrattuna kun tila oli valaistu ainoastaan LED-putkilla. Kohdevalaisimet näkyvät kuvassa 33 mustina pisteinä.



KUVA 29. Kohdevalaisimien sijoittelu (Putkonen 2016-09-11)



KUVA 30. Kohdevalaisimien aiheuttama muutos valaistusvoimakkuuteen (Putkonen 2016-09-11)

Dialuxin avulla mallinnettu suunnitelma uudesta valaistuksesta täyttää valaistusvoimakkuuden osalta sisävalaistusstandardin vaatimukset. Valaistusvoimakkuus täyttää standardin reilusti; periaatteessa valaistusvoimakkuus voisi olla pienempikin. Toisaalta kuitenkin visuaalinen kokemus myymälän valaistuksesta oli miellyttävä, joten mielestäni ei ole järkeä pienentää valaistusvoimakkuutta. Uuden valaistuksen ideana olikin, että valaistustaso pysyisi suunnilleen samana. Mittaustuloksia ja simuloituja tuloksia vertailtaessa voidaan todeta, että tähän myös päästiin. Ja standardin asettama 300 luksin minimivalaistusvoimakkuus on todella pieni, enkä usko että kovin useissa myymälöissä keskimääräinen valaistusvoimakkuus on tätä luokkaa.

Valaistuksen yleistasaisuus on hyvä, kun jätetään huomioimatta nurkkaukset. Mielestäni siis Dialux-laskelman antamat oikeat Umin-arvot voidaan poistaa harkintakykyä käyttäen. Esimerkiksi oikean yläkulman nurkkaukseen ei ihmisten pidä mennä, joten sitä ei myöskään tarvitse valaista. Uo:n arvoksi saadaan 0,76, kun Emin-arvo kaavaan 5 otetaan kulkureitiltä Dialux-laskelmasta.

Dialuxin avulla UGR-indeksiä oli vaikea simuloida, koska LED-putkille ei voitu asettaa häikäisysojia.

14.1 Kommentit

Kommentit opinnäytetyöhön pyydettiin projektia vetäneeltä lehtori Heikki Nevalaiselta.

Työssä on selvitetty valon vaikutusta ihmisen hyvinvointiin, terveyteen sekä tuottavuuteen. Työ esittelee valotekniset suureet, jotka auttavat ymmärtämään ja kommunikoimaan valaistuksen suunnitteluprosessissa suunnittelun eri aloja. Katsaus nykytekniikkaan eli LED-valolähteisiin antaa hyvän perustiedon. Kohteen arviointi ja mittaus konkretisoivat kehitettävät ja muutoksia vaativat kohteet. Kehitettävät pisteet saavat määrään/lukemat, jotka eivät ole epämääräisiä minusta tuntuu asiaa. Uuden valaistuksen suunnittelu, jossa korjataan vanhat puutteet sekä huomioidaan uudet materiaalit ja pinnat, on selkeä. (Nevalainen 2017-2-27)

Opinnäytetyön toteutuksessa käytetty Dialux 6 Evo-ohjelma vaikuttaa selkeältä ja tuottaa projektin eri osapuolille selkeää visuaalista ja numeraalista tietoa. Tämän tiedon ja päätöksen tekemateriaalin ymmärtäminen ja sisäistäminen on helppoa. Ohjelman avulla tuotettu materiaali auttaa niin ammattilaista kun ei-ammattilaista ymmärtämään suunnitelman lopputuloksen. (Nevalainen 2017-2-27)

Tuotettu materiaali helpottaa, nopeuttaa sekä täsmentää päätöksentekoa, jossa arvioidaan myymälänasiakkaan ostospäätöksen helppoutta, myymälän yleisilmettä valaistuksen osalta sekä urakan takaisinmaksuaikaa. (Nevalainen 2017-2-27)

Nevalaisen kommentteista voidaan päätellä, että opinnäytetyö onnistui hyvin tavoitteissaan konkretisoimaan valaistukseen liittyviä määreitä sekä selittämään perusteita valaistuksesta. Myös Dialux-kuvat ja ohjelmalla suoritettut laskennat ovat olleet hyödyksi.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT:

- ENSTO 2016. Lamput ja valaisimet, LED. [Viitattu 2016-06-16.] Saatavissa:
<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228387387439/1233229692599/1233229715150.html>
- ENSTO 2016. Valaistus, valovirta. [Viitattu 2016-06-17.] Saatavissa:
<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398095075.html>
- EULI 2016. Sisävalaistusstandardi. [Viitattu 2016-07-05.] Saatavissa:
<http://www.euli.fi/fi/sisavaalaistusstandardi-sfs-en-12464-1-2011/sisavaalaistusstandardi-sfs-en-12464-1-2011>
- FAGERHULT 2016. Valaistustietoutta, valo ja terveys. [Viitattu 2016-06-20.] Saatavissa:
<http://www.fagerhult.com/fi/Valaistustietoutta/Valo-ja-terveys/Tutkimukset/Forskningsstudier/The-effect-of-ambient-light-on-alertness-and-well-being-2007/>
- FAGERHULT 2016. Valaistustietoutta, LED. [Viitattu 2016-06-16.] Saatavissa:
<http://www.fagerhult.com/fi/Valaistustietoutta/LED/>
- FAGERHULT 2016. Elintarvikkeiden tehokas valaistus. [Viitattu 2016-07-11.] Saatavissa:
<http://www.fagerhult.com/fi/Sovellukset/Retail/Elintarvikkeiden-tehokas-valaistus/Elintarvikkeiden-korostaminen/>
- FAGERHULT 2016. Light guide, how to illuminate food applications. [Viitattu 2016-07-11.] Saatavissa:
http://www.fagerhult.com/globalassets/global/downloads/brochures/com/light_guide_food_applications_fagerhult.pdf
- GLAMOX 2016. Ledien elinikä. [Viitattu 2016-07-11.] Saatavissa: <http://glamox.com/fi/ledien-elinika>
- HALONEN, L. & LEHTOVAARA, J. 1992. Valaistustekniikka. Jyväskylä: Gummerus.
- HISTORY OF LIGHTING 2016. History of LEDs. [Viitattu 2016-06-16.] Saatavissa:
<http://www.historyoflighting.net/light-bulb-history/history-of-led/>
- KARI, Simo 2012. Valaistuksen ohjausjärjestelmät. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 2016-07-14.] Saatavissa:
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/42452/Simo%20Kari.pdf?sequence=1>
- KATAJISTO, Tony 2015. LED-lamppujen vaikutukset sähkön laatuun. [Viitattu 2016-07-07.] Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95000/Katajisto_Tony.pdf?sequence=1
- LAMPPUTIETO 2016. Lamput, kelvin värilämpötila. [20.6.2016.] Saatavissa:
<http://www.lampputieto.fi/lamput/lamppujen-ominaisuuksia/kelvin-varilampotila/>
- MUUDI. [Viitattu 2016-07-08.] Saatavissa: <http://www.muudi.fi/led-spotti-11w-cg03>
- NEVALAINEN, Heikki 2017-2-27. Opinnäytetyö [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Sampo Putkonen.
- OSRAM 2016. History of the LED. [Viitattu 2016-06-16.] Saatavissa:
http://www.osram.com/osram_com/news-and-knowledge/led-home/professional-knowledge/led-basics/led-history/index.jsp
- PEKANHEIMO, Ilkka. 2008. Kodin valaistusopas. Turku: AD-lux Oy.

PUTKONEN, Sampo 2016-09-11. Dialux kuvat. [Digikuva]. Sijainti: Mikkeli: Tekijän sähköiset kokoelmat.

PUTKONEN, Sampo 2016-09-11. Excel-taulukko. [Digikuva]. Sijainti: Mikkeli: Tekijän sähköiset kokoelmat.

RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUS 2007. Valaistuksen energiatehokkuus. SFS-EN 15193. Vahvistettu 2008. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

REINILÄ, Toni 2015. LED-valaisimien kuormitustaulukointi. [Viitattu 2016-07-07.] Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97764/Reinila_Toni.pdf?sequence=1

SISÄVALAISTUSSTANDARDI 2011. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. SFS-EN 12464-1. Vahvistettu 2011. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SORMANEN, Aleksi 2008. Valonlähteiden toisto-ominaisuuksien kuvaaminen. [Viitattu 2016-06-17.] Saatavissa: http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.erikoistyo/reports/web/etyo_Sormanen.pdf

SORSA, Kirsti 2016-06-16. Myymälä. [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat.

SORSA, Kirsti 2016-09-23. Myymälän mallinnus. [digikuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat.

ST-RAPORTTI 3. 2007. Tuottava toimisto. Valaistus. Tampere: Tammer-paino Oy.

SUOMEN SÄHKÖ- JA TELEURAKOITSIJANLIITTO RY & SUOMEN VALOTEKNINEN SEURA RY. 1999. Lamput ja valaisimet. Jyväskylä: Gummerus.

SUOMEN SÄHKÖ- JA TELEURAKOITSIJANLIITTO RY & SUOMEN VALOTEKNINEN SEURA RY. 1996. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. Jyväskylä: Gummerus.

TIENSUU, Antti. 2010. Uusi valaistuskirja. Helsinki: Oy Fram Ab.

TTL 2016a. Työympäristö, valaistus. [Viitattu 2016-06-20.] Saatavissa: <http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/Sivut/default.aspx>

TTL 2016b. Työympäristö, valaisimet. [Viitattu 2016-07-07.] Saatavissa: <http://www.ttl.fi/fi/tyoympa4444risto/valaistus/valaisimet/sivut/default.aspx>

VALAISTUSSUUNNITTELIJAN KÄSIKIRJA 2009. [Viitattu 2016-07-08.] Saatavissa: http://np.netpublicator.com/np/n30265811/tekniskinfo_fi_09.pdf

VALTAVALO 2016. Tuotekortti. [Viitattu 2016-07-11.] Saatavissa: http://valtavallo.fi/wp/wp-content/uploads/2016/11/Valtavallo-G4-tuotekortti-FIN_v2.1.pdf

WIKIPEDIA 2016. Elektroluminesenssi. [Viitattu 2016-07-05.] Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Elektroluminesenssi>

WIKIPEDIA 2016. Oravi. [Viitattu 2016-07-05.] Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Oravi>

WIKIPEDIA 2016. Puolijohdeet. [Viitattu 2016-07-05.] Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Puolijohde>

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ 2013. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohje [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2016-08-17.] Saatavissa: https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKewi3pJmLlCjOAhWIEiwKHc4qBCQQFggrMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.ym.fi%2Fdownload%2Foname%2F%257B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%257D%2F40468&usg=AFQjCNFmxXepmYJ-cnxP_pYVLvXDY8w1fw&bvm=bv.129759880,d.bGg

