

Lauri Klemelä

Sisävalaistuksen täydentäminen päivänvalolla ja saavutettavat energiansäästöt

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinööryö

8.3.2016

Tekijä Otsikko	Lauri Klemelä Sisävalaistuksen täydentäminen päivänvalolla ja saavutettavat energiansäästöt
Sivumäärä Aika	40 sivua + 3 liitettä 8.3.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Projektipäällikkö Riku Mäntylä Lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Ramboll Finland Oy:n toimeksiantona. Työssä tutkittiin päivänvalon vaikutusta sisävalaistukseen ja päivänvalon määrään vaikuttavia tekijöitä. Keinova- laistuksen ja päivänvalon saumattoman yhteensovittamisen mahdollistavaan tekniikkaan tutustuttiin ja esiteltiin yleisiä toimintatapoja. Luonnonvalon määrään ja laatuun vaikuttavis- ta seikoista pyrittiin muodostamaan mahdollisimman kattava ja monipuolinen tarkastelu DIALux-ohjelman simulointitoimintoa hyödyntämällä. Työssä selvitettiin avaintyökalut en- ergiatehokkaan valaistuksen suunnitteluun ja energiatehokkaiden valaistuksien vertailuun päivänvaloa hyödyntävissä valaistuksissa.</p> <p>Energiansäästöjen ollessa jatkuvana puheenaiheena, tarkoituksena oli myös korjata päivänvaloon ja sen hyödyllisyyteen liittyviä ennakoasenteita sekä herättää keskustelua saavutettavista säästöpotentiaaleista. Työssä tutustutaan menetelmiin, joilla voidaan las- kea päivänvalon hyödyntämisen tehokkuus ja opastetaan oikeanlaisiin toimintamalleihin valaistusta optimoitaessa.</p> <p>Aihetta käsittelevien standardien ja julkaisujen pääasioista koostettiin tiivistelmä, jonka avulla on mahdollista toteuttaa energiatehokkaasti toimivia ja vaatimukset täyttäviä laadukkaita valaistuskokonaisuuksia toimistoympäristössä.</p> <p>Työhön liittyen toteutettiin havainnollistava mittaus Rambollin Suomen pääkonttorin neu- votteluhuoneessa. Vakiovalosäädöllä varustettua valaistusta ei ollut saatavilla, joten va- laistusvoimakkuuden mittauksia suoritettiin ensin päivänvalossa ja tämän jälkeen keino- laistusta ja päivänvaloa yhdistämällä. Mittaustuloksista laadittiin taulukoita, joiden yhteydessä mitattuja arvoja vertailtiin. Päivänvalosimuloinnin todenmukaisuutta pohdittiin vertaamalla tuloksia suoritettuihin mittauksiin.</p> <p>Työssä havaittiin päivänvalon olevan aliarvostettu, heikosti tunnettu ja vähänlaisesti hyödynnetty valonlähde. Kohentamalla suunnittelijoiden tietämystä päivänvalon hyödyntämisen saralla voidaan suunnitella kokonaisvaltaisesti yhä energiatehokkaammin toimivia kokonaisuuksia.</p>	
Avainsanat	Sisävalaistus, päivänvalo, energiansäästö, simulointi

Author Title	Lauri Klemelä Improving Indoor Lighting by Using Daylight and Achieved Possible Energy Savings
Number of Pages Date	40 pages + 3 appendices 8 March 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Riku Mäntylä, Project Manager Tapio Kallasjoki, Senior lecturer
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by Ramboll Finland Oy. The aim of this thesis was to research possibilities in indoor lighting by using daylight and potential energy savings achieved with this. This study handles also the technology needed for seamless functions when using daylight. The amount and type of daylight has numerous variables, which were investigated by using simulation function in DIALux-program. This thesis gathers the key factors of designing energy efficient indoor lighting.</p> <p>Energy savings as a daily topic, correcting prejudices and freshening up the conversation about potential savings were also major intentions. Various methods are introduced for calculating the exact efficiency of using daylight as a part of lighting.</p> <p>The subject area of this thesis blends important information from two separate releases of standards. Main issues are collected into one chapter, which brings out the requirements and ensures high quality in indoor office lighting.</p> <p>Lighting measurements were performed as a part of the thesis in a conference room at Ramboll Finland's Espoo office. At that time, no room equipped with constant lighting adjustment was available, so measurements were made by combining results of daylight and artificial lighting. Discovered values were taken to charts and then compared. Evaluating the simulation function of DIALux was made possible by using values from these charts.</p> <p>This thesis confirms expectations that daylight is undervalued and poorly known light source. Despite small scale usage at the moment, know-how increases with designers all the time. In future, even more energy efficient buildings can be designed by using daylight as a part of indoor lighting.</p>	
Keywords	Indoor lighting, daylight, energy savings, simulation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Päivänvalo	2
2.1	Päivänvalon hyödyntäminen keinotekoisessa valaistuksessa	2
2.2	Päivänvalon vaihtelut	3
2.2.1	Vuodenaika	4
2.2.2	Vuorokaudenaika	4
2.2.3	Sääolosuhteet	4
2.2.4	Rakenteelliset ominaisuudet	5
2.3	Päivänvaloanturi	6
2.4	Itsenäiset sisävalaistusratkaisut	7
2.4.1	Helvar Active+	7
2.4.2	Philips Actilume	9
2.4.3	Fagerhult e-Sense Tune / Helvar freeDim	11
3	Standardit	13
3.1	Sisätilojen työkohteiden valaistus SFS-EN 12464-1	13
3.1.1	Sisätilan valaiseminen	13
3.1.2	Valaistusvaatimukset	14
3.1.3	Energiatehokkuusvaatimukset	15
3.2	Valaistuksen energiatehokkuus SFS-EN 15193	15
3.2.1	Valaistukseen käytettävän energian laskeminen	15
3.2.2	LENI-luku	17
3.2.3	Laskentamenetelmät	17
4	Valaistuksen mittaus Kutomossa	18

4.1	Lähtötilanne	18
4.2	Päivänvalomittaus	19
4.3	Valaistuksen arviointi	20
4.4	Päätelmät	21
5	Energiatehokkaan valaistuksen suunnittelu	22
5.1	Suunnittelun eteneminen	23
5.1.1	Tekniset valinnat	23
5.1.2	Valaistuksen laskenta	24
5.2	DIALux	26
5.2.1	Päivänvalon simulointi	27
5.2.2	BREEAM	29
6	Lopputulos	29
6.1	Simuloinnin todenmukaisuus	29
6.2	Ikkunakoon vaikutus	31
6.3	Vakiovalosäätö ja kustannukset	32
6.3.1	Kustannuslaskelma vertailuarvoilla	32
6.3.2	Kustannuslaskelma simuloinnilla	34
7	Yhteenveto	37
	Lähteet	39
	Liitteet	
	Liite 1. Mittaustulokset	
	Liite 2. Päivänvalosimuloinnin tulokset	
	Liite 3. Simuloinnin tulokset ikkunoiden pienentämisen jälkeen	

Lyhenteet

DALI	<i>Digital Addressable Lighting Interface.</i> Standardoitu digitaalinen ohjausprotokolla elektronisille liitännälaitteille.
LED	<i>Light-Emitting diode.</i> Hohtodiodi.
LENI	<i>Lightning Energy Numeric Indicator.</i> Rakennuksen valaistuksen vuodessa kuluttama energia.
PIR	<i>Passive Infrared.</i> Passiivinen infrapunatunnistin.
PWM	<i>Pulse-Width Modulation.</i> Pulssinleveysmodulaatio.
RGB	<i>Red Green Blue.</i> Punaisen, vihreän ja sinisen valon yhdistelmää käyttävä valonlähde.

1 Johdanto

Energiatehokas valaistus edustaa alansa terävintä kärkeä tuotekehityksen ja uusimpien käytäntömallien aallonharjalla. Suunnittelukohteisiin räätälöidyt valaistusratkaisut mahdollistavat huomattavia säästöjä kustannuksissa ja vähentävät aiheutunutta ympäristökuormaa, uusien menetelmien esteettisiä mahdollisuuksia unohtamatta. Uudet valaistusratkaisut ja nopeasti kehittyvä valaisinteknologia mahdollistavat uusia toteutustapoja, joita vanhoilla valonlähteillä on ollut mahdotonta toteuttaa.

Alati tiukentuvat energiansäästöpainheet vauhdittavat vähemmän energiaa kuluttavien valaisimien osuuden kasvua valaisinmarkkinoilla. Samanaikaisesti vanhentuneet ja runsaasti energiaa kuluttavat ratkaisut poistuvat markkinoilta ja pakottavat elinkaarensa loppupuolella olevia valaistusratkaisuja saneerauskohteiksi. Tiukentuvien määräysten kanssa toimiessaan suunnittelijat joutuvat kehittämään yhä innovatiivisempia tapoja saavuttaa energiatehokkaita kokonaisuuksia.

Vähemmän energiaa kuluttavien valonlähteiden lisäksi nykypäivänä käytetään kasvavassa määrin valaisimien yhteydessä niitä ohjailevia laitteita. Läsnaolotunnistimilla, päivänvaloantureilla, himmentimillä ja aikakatkaisimilla on yhä suurempi rooli nykypäiväisessä sähkösuunnittelussa. Jatkuvasti kehittyvä LED-tekniikka on saanut aikaa suuria muutoksia valaistusalan jokaisella osa-alueella. Uudistuneen valaisintekniikan helpompi ohjaileminen on myös avannut uusia mahdollisuuksia valaistuksen hienosäätöön ja optimointiin tarpeiden mukaiseksi.

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tutkia mahdollisuuksia saavuttaa energiatehokkaampi valaistus sisätiloissa lisäämällä päivänvalon määrää ja tällä saavutettavia säästömahdollisuuksia. Tutkimustyö tehdään Ramboll Finland Oy:n toimeksiantona hyödynnettäväksi tulevilla suunnitteluprojekteilla.

Ramboll on johtava kansainvälinen suunnittelu- ja konsultointialan yritys, joka perustettiin vuonna 1945 Tanskan Kööpenhaminassa. Suomessa Ramboll työllistää jo yli 2000 asiantuntijaa 29 paikkakunnalla. Ramboll Finland Oy tarjoaa monipuolisesti asiantuntijapalveluita infrastruktuurin, ympäristön ja rakennusten suunnitteluun, rakentamiseen, rakentamiseen ja ylläpitoon sekä johdon konsultointiin.

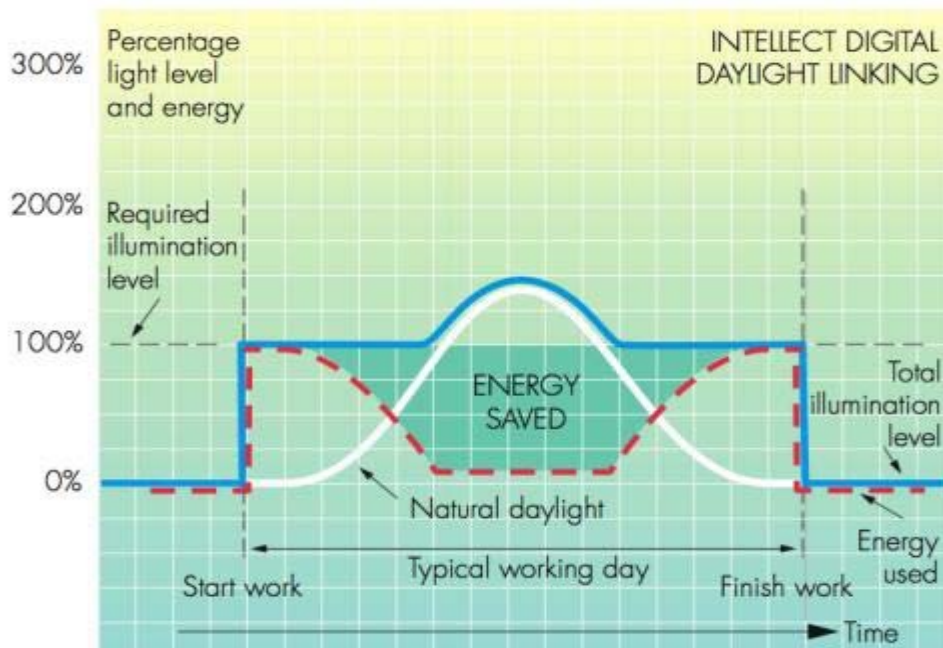
2 Päivänvalo

Useimmille ihmisille päivänvalon olemassaolo on itsestäänselvyys, jonka muutoksia ja ominaisuuksia emme juurikaan seuraa muutoin kuin säätilaa tarkkaillessamme. Valaistussuunnittelijan kannalta päivänvalo on paljon muutakin kuin luonnollinen apu arkiaskareiden toimittamisessa ja ympäristössä liikkumisessa. Luonnonvalo on uniikki valonlähde, jolla on runsaasti käyttömahdollisuuksia teknisissä valaistusratkaisuissa.

2.1 Päivänvalon hyödyntäminen keinotekoisessa valaistuksessa

Valaistuksen parantaminen päivänvaloa hyödyntämällä on erinomainen ratkaisu, jonka toteuttamista ei toistaiseksi ole juuri päivänvalo-ohjausta lukuun ottamatta suosittu. Rakennusten tiukentuvat energiamääräykset ja nollaenergiatalojen kehitystyö tulevat kuitenkin lisäämään energiatehokkaan valaistuksen suunnittelupanosta lähivuosina.

Standardin SFS-EN 12464-1 mukaan työtehtävän valaistus on mahdollista toteuttaa kokonaan tai osittaisesti päivänvalolla. Selvän energiansäästöpotentiaalın lisäksi päivänvalolla on lukuisia muita hyviä ominaisuuksia, joita voidaan pitää ihmiselle edullisina erityisesti sisätyöympäristöissä.



Kuva 1. Suuntaa antava energiansäästö päivänvalo-ohjauksella. [1.]

Auringon ja maapallon keskinäisistä liikkeistä johtuen päivänvalon voimakkuus, spektrisisältö ja suunta vaihtelevat vuorokauden ja vuoden aikana. Sisävalaistuksessa tärkeitä huomioon otettavia ja luonnonvalolle ominaisia seikkoja ovat myös vaihteleva muodonanto ja luminanssijakauma [2, s. 34]. Viimeisimmät tutkimukset osoittavat, kuinka päivänvalo tukee ja ohjailee luonnollisella tavalla ihmisen vuorokausirytmii ja jopa ehkäisee mielenterveydellisiä häiriöitä. Valo vaikuttaa ihmisen tunteisiin ja vireystilaan ja näin ollen toimii sekä fysiologisena että myös psyykkisenä vaikuttajana. Pelkästään standardin EN 12464-1 esittämiä suosituksia noudattamalla ei välttämättä päästä ihanteelliseen valaistusratkaisuun, sillä edellä mainittuihin valon ominaisuuksiin vaikuttavat erityisesti ei-visuaalinen valaistusvoimakkuus ja värivaikutelma. Päivän edetessä vaihtuvat valaistusolosuhteet, kuten standardissa esitettyä suurempi valaistusvoimakkuus ja luminanssijakauma vaikuttavat ihmisiin ja heidän hyvinvointiinsa positiivisesti. Tähän tarkoitukseen käytettävä valaistus voidaan toteuttaa esimerkiksi päivänvalolla tai tätä tarkoitusta palvelemaan optimoiduilla keinovalaistusratkaisuilla. Keinovalaistuksen ratkaisuja voidaan myös käyttää päivänvalon ohessa stimuloimaan ihmisiä ja parantamaan heidän hyvinvointiaan. Standardin suosittelemia vaihteluvälejä valmistellaan parhaillaan ja niiden oletetaan julkaistavan lähivuosina [3; 2, s.34].

Päivänvalon täysimittaisen hyödyntämisen haittapuolet kuten häikäisyn esto ja ohjauksen toteutuksen kustannukset, ovat varsin vähäisiä saavutettavissa oleviin mahdollisuuksiin verrattuna. Päivänvalon tuottamaa häikäisyä olemme jo tottuneet estämään sälekaihtimilla ja muilla valonohjaimilla. Valonohjaimilla, himmentimillä, näitä automaattisesti ohjailevilla järjestelmillä ja edellä mainittujen yhdistelmillä voidaan toteuttaa pitkälti automatisoitu, laadukas, energiatehokas ja valaistusteknillisesti vaaditut arvot täyttävä kiinteistökokonaisuus.

2.2 Päivänvalon vaihtelut

Päivänvalon määrä vaihtelee runsaasti vuoden- ja kellonajasta sekä ilmasto-olosuhteista riippuen. Muita tärkeitä huomioitavia seikkoja ovat muun muassa sijainti ja tilan rakenne. Seinäikkunoilla varustetussa tilassa päivänvalon saatavuus pienenee nopeasti, kun etäisyys ikkunoihin kasvaa. Lisävalaistukselle saattaa ilmetä tarvetta riittävän valaistusvoimakkuuden takaamisen lisäksi myös luminanssijakauman tasapainottamiseksi. Standardin SFS-EN 15193 liitteessä C [4, s. 36–89] annetaan valmiudet laskea päivänvalon saatavuus todella tarkkaan. Liitteeseen on sisällytetty

kertoimet esimerkiksi päivänvalon saatavuudelle eri leveyspiireillä, ikkunalasin materiaalille, kattoikkunan kaltevuudelle ja räystään vaikutukselle.

2.2.1 Vuodenaika

Päivänvalon määrässä huomataan merkittävän suuria eroja esimerkiksi talviaikaa keskikesään vertailtaessa. Talviaikaan valoisan ajan osuus vuorokaudesta on varsin pieni. Marraskuun lopulla 30.11 päivän pituus Helsingissä on enää 6 tuntia 30 minuuttia, kun keskikesällä aurinko hädän tuskin laskee. Merkittävä tekijä päivän pituuden vaihteluissa eri vuodenaikoina on myös maantieteellinen sijainti. Samana päivänä marraskuun lopulla päivän pituus Roomassa Italiassa on 9 tuntia ja 24 minuuttia. [5.]

Päivänvalon mukaan säätyvän valaistuksen energiankulutuksessa voidaan havaita muutoksia päivän pituuden vaihteluiden vuoksi. Päivän pituuden vaihtelut kulkevat kuitenkin puolen vuoden sykleissä, joten energiankulutusta vertailtaessa on suositeltavaa vertailla vuoden ajalta kerättyjä energiankulutuslukemia.

2.2.2 Vuorokaudenaika

Päivänvalon hyödyntämisen kannalta otollista aikaa vuorokaudesta on päivän pituus, jolla tarkoitetaan auringonnousun ja –laskun välistä ajankohtaa. Etenkin talvella aamut ja illat ovat todella hämääriä, eikä hyödynnettävää valoa ole juuri lainkaan. Tilanne on päinvastainen keskikesää kohti mentäessä, kun keinovalaistuksen tarve on hyvin vähäinen lähes kellon ympäri. Otollisin aika päivänvalon hyödyntämiselle on kuitenkin keskipäivän aikaan, vuodenaikaan katsomatta. Toimistoympäristössä hyödynnettävälle päivänvalolle tämä on erittäin hyvä ajankohta, koska yleinen toimisto-aika kestää aamukahdeksasta neljään asti iltapäivällä.

2.2.3 Sääolosuhteet

Päivänvalolla optimoitua valaistusta suunniteltaessa ei voida olettaa päivänvalolle vähimmäisosuutta valaistuksesta. Saatavissa oleva luonnonvalo on täysin riippuvainen vallitsevasta säätilasta, joten mahdollisuus keinovalaistukseen on säilytettävä. Aurinkoisena päivänä kesäaikaan ei keinovaloja tarvitse käyttää suurella todennäköisyydellä lainkaan, kun taas sateisena loppusyksyn päivänä tarvetta saattaa olla läpi päivän.

Kriittisimpinä päivänvalon määrää vähentävinä ilmastollisina tekijöinä voidaan pitää vesi- tai lumisadetta tai runsasta pilvisyyttä. Etenkin puolipilvisellä säällä saatavissa olevan päivänvalon määrä vaihtelee nopeasti, joka ilmenee suurina valaistusvoimakkuuden vaihteluina. Pilvipeitteen rakoillessa aurinko paistaa hyvinkin kirkkaasti, mutta paksu pilvipeite saattaa hetkellisesti vähentää luonnonvalon määrää huomattavasti.

2.2.4 Rakenteelliset ominaisuudet

Rakennuksen materiaaleja valitessa olisi tärkeää kiinnittää huomiota saavutettavissa olevaan päivänvalon määrään, jos se vain suinkin on mahdollista. Valaistussuunnittelija harvemmin pystyy juurikaan vaikuttamaan esimerkiksi siihen, onko rakennuksen ulko-kuori läpinäkyvää lasia, sillä pintamateriaalien valitseminen on yleensä loppukädessä arkkitehdin tai tilaajan vastuulla. On kuitenkin huomioitava työtilakohtainen minimivaatimus ikkunoiden pinta-alasta, joten täysin ikkunaton tila ei voi toimia työhuoneena. Ikkunoita tulisi hyödyntää työpaikoilla, sillä päivänvalon lisäksi ikkunat mahdollistavat visuaalisen yhteyden ympäristöön, mikä puolestaan edesauttaa työntekijöiden jaksamista työssä. [2, s. 34.]

Mahdollisimman suurta luonnonvalon määrää sisätiloihin tavoiteltaessa läpinäkymättömien pintojen määrän tulisi olla mahdollisimman pieni. Toisin sanoen, mahdollisimman suuren osan tilan pinnoista tulisi olla täysin tai lähes kokonaan läpinäkyvää lasia tai vastaavaa käyttökohteeseen soveltuvaa materiaalia. Malliesimerkkinä voi toimia mielikuva perinteisestä kasvihuoneesta, jonka seinät ja katto ovat lasia. Esimerkkiä vastaavassa tilassa havaittaisiin kuitenkin nopeasti suuria puutoksia. Pelkästään lasipinnoilla on vaikeaa, jos ei jopa mahdotonta rakentaa tarpeeksi suurta rakennusta. Lisäksi liian suuret läpinäkyvät pinnat tai ikkunat saattavat heikentää yksityisyyden tunnetta ja aiheuttaa epämukavaa visuaalista tai lämpötiloihin liittyvää tunnetta. [2, s. 34.]

Eräs tärkeä lasipintojen määrää rajoittava tekijä on häikäisyilmiö. Lasipinnoille häikäisyä estämään voidaan asentaa esimerkiksi sälekaihtimia tai tummennuskalvoja. Saatavilla on myös osan ultraviolettisäteistä takaisin heijastavia tummennuskalvoja, joilla voidaan hillitä samanaikaisesti lämpötilojen muutoksia. Häikäisyä voidaan pyrkiä estämään myös ikkunoiden kokoa muuttamalla tai rajaamalla ikkuna tilan ala- tai yläosiin.

2.3 Päivänvaloanturi

Päivänvaloanturi on valaistusvoimakkuutta mittaava lisälaitte, joka tarkkailee havaintoalueen valaistustasoa. Anturin toiminta perustuu valokennoon, joka muuttaa havaitsemansa valon energiaa sähköenergiaksi. Anturi välittää tiedon liitäntälaitteelle, joka asetusarvot ylittävän muutoksen havaitessaan aktivoituu ja säätää valaistusta asetettuun suuntaan. Liitäntälaitteen tulisi lisätä tai vähentää valaistusta pienellä viiveellä ja hitaasti, jotta säätöalueen valaistus saadaan säilytettyä mahdollisimman tasaisena.

Kehittyneet anturimallit arvioivat olosuhteita hieman pidemmältä ajalta. Näin toimimalla saavutetaan lukuisia etuja ja voidaan estää häiritsevät muutokset keinovalaistuksen määrässä olosuhteiden muuttuessa nopeasti. Nopean valaistusvoimakkuuden muutoksen jälkeen anturi odottaa hetken olosuhteiden muuttumista takaisin esimerkiksi pilvilautan ohittaessa auringon. Mikäli valaistusvoimakkuuden rajun muutoksen aiheutti viereisen rakennuksen taakse vetäytynyt aurinko, muutos vaikuttaa pidempiaikaiselta ja keinovalaistuksen tehoa kasvatetaan rauhallisella nopeudella välkehtimisen estämiseksi. Pidemmällä muutosajalla saadaan vähennettyä myös valaistusvoimakkuuden aaltoilemista. Mikäli avotoimistoon asennetaan useita erillisillä päivänvaloantureilla varustettuja valaisimia on antureiden havaintoalueet huomioitava tarkkaan. Jos esimerkiksi anturi 1 havaitsee huomattavan määrän ikkunan läpi säteilevää päivänvaloa, lähettää anturi käskyn himmentää valaisinta 1. Himmennyksestä johtuen viereinen anturi 2 havaitsee suurehkon muutoksen havaintoalueen valaistusvoimakkuudessa ja kasvattaa valaisimen 2 tehoa. Esimerkin kaltainen aalto etenee toimiston läpi, kunnes seuraava anturi ei ole enää vaikutusalueella, yhtenäinen valaisinkenttä päättyy tai pulssi heikentyy tarpeeksi.

Osa nykyaikaisista valaisimista on varustettu integroidulla päivänvaloanturilla, joka automaattisesti säätää valaisimen tehoa tunnistimen havaitseman valonmäärän mukaan. Esimerkiksi Helvar on tuonut markkinoille Active+ -ratkaisun, jossa liiketunnistin ja päivänvaloanturi yhdistetään valaisinta ohjaavaan liitäntälaitteeseen. Lisää Active+ -konseptista ja muista itsenäisistä valaistusratkaisuista kappaleessa 2.4. Mallista riippuen joskus käyttäjälle tarjotaan mahdollisuutta säätää tunnistimen herkkyyttä, mikäli hän haluaa muokata oletusasetuksia. Valaisinvalmistaja on voinut asettaa ennalta useita, jopa kymmeniä, erilaisia toimintamalleja, joiden avulla valaistus optimoidaan erilaisiin sisävalaistusympäristöihin [6]. Kehittyneimmät mallit opiskelevat asen-

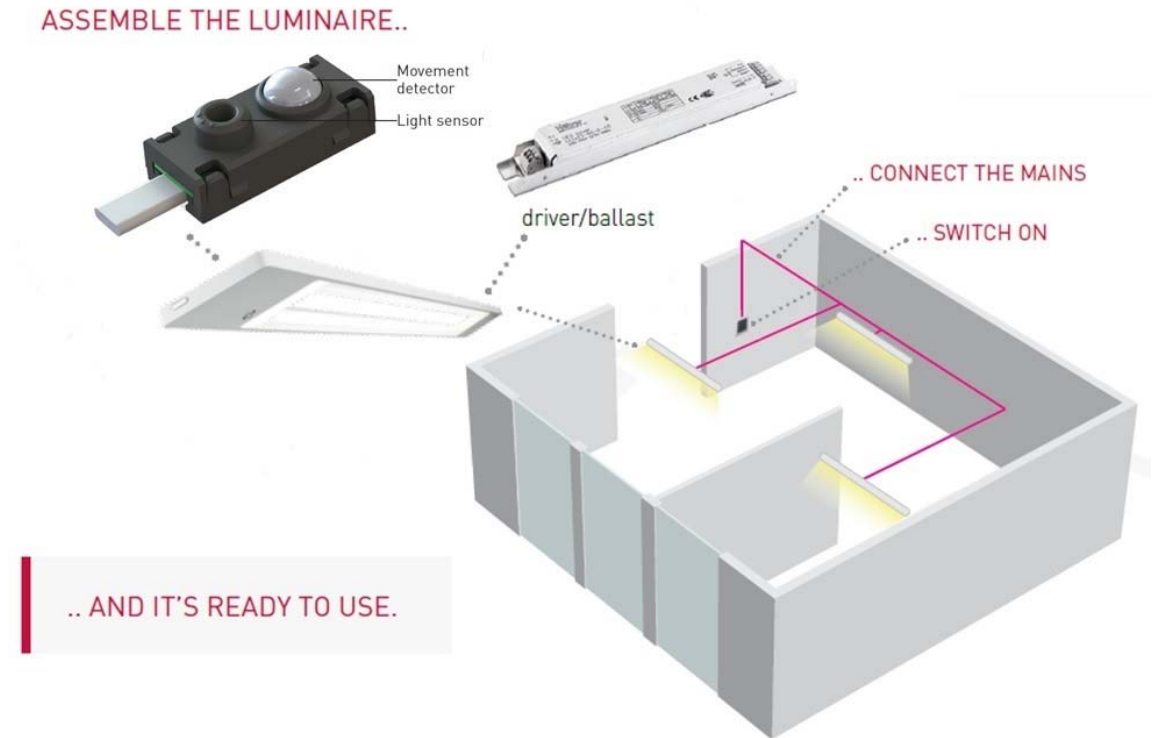
nusympäristönsä olosuhteita määrätyn ajan, jonka jälkeen järjestelmä optimoi itsensä toimimaan parhaalla mahdollisella tavalla.

2.4 Itsenäiset sivävalaistusratkaisut

Itsenäisellä valaistusratkaisulla tarkoitetaan muista käytettävistä järjestelmistä riippumattomasti omana yksikkönään toimivaa valaistuskokonaisuutta. ErillISRatkaisussa yhdistyvät valaisimet, sensorit, liitäntälaitteet ja komponenttien ohjaus. Joitakin erillISRatkaisuja voidaan käyttää myös ilman ohjelmoitavia valaistuksen ohjausjärjestelmiä, kuten DALI-ohjausta. Sitoutumattomuus ohjausjärjestelmiin helpottaa suunnittelijan työtä, kun kohdetta suunniteltaessa uusia ohjauskaapelointeja ei vaadita. [7.]

2.4.1 Helvar Active+

Active+ on paranneltu versio jo jonkin aikaa markkinoilla olleesta Helvarin Active-ratkaisusta. Syyskuussa 2015 esitelty erillISRatkaisu sisältää ennalta ohjelmoidun LED-liitäntälaitteen lisäksi toistaiseksi Helvarin pienimmän valaisimeen integroidun sensorin, jossa yhdistyvät läsnäolotunnistus ja vakiovalosäätö. Active+ konseptin idea poikkeaa normaalin valaisin-sensori -yhdistelmän käyttämisestä siten, ettei Active+ vaadi uusia säätöjohdotuksia, ohjelmointia tai asetusten määrittämistä. Active+-valaisin asennetaan aivan kuten mikä tahansa muukin katkaisimellinen valaisin. [7, s. 9; 8.]



Kuva 2. Helvar Active+-erillisjärjestelmän asennus. [8.]

Kohteessa, jossa perinteisiin valaisimiin lisätään Active+ toiminto, sensori ja liitäntälaitte asennetaan valaisimeen. Valaisin kytketään takaisin vaihe- ja nolajohtimeen, jonka jälkeen valokatkaisija kytketään päälle. Kytkennän jälkeen sensori havainnoi asennusympäristöä ja oppii tuntemaan saatavilla olevat päivänvalomäärät sekä lähistöllä sijaitsevat valaisimet 60–100 tunnissa. Portaattoman säädön ja vakiovalotoiminnon lisäksi Active+ tarjoaa myös läsnäolotunnistuksen. Läsnaolotunnistus perustuu PIR-sensorin toimintaan ja valomäärää tarkkaillaan valokennolla. Sensori saa tarvitsemansa virran suoraan liitäntälaitteelta, joten tarvetta erilliselle virtalähteelle ei enää ole. Valaisimen himmentämiseen liitäntälaitte käyttää kahta eri tekniikkaa. Tehoalueella 1-20 % käytetään pulssinleveysmodulaatiota (PWM), jonka jälkeen siirrytään virran lineaariseen kasvattamiseen säätövastuksella. PWM perustuu ohjaussignaalin pulssisuhteen muuttamiseen, jossa valon kirkkautta muutetaan päälle- tai pois kytketyn aikojen suhdetta vaihtamalla. [7, s. 10; 9.]

Mikäli järjestelmää halutaan säätää, voidaan säätö suorittaa Android 4.0 tai uudemmalla älylaitteella, joka on varustettu LED-salamalla. Mobiilisovellukseen asetetaan halutut arvot, kuten esimerkiksi valaistusvoimakkuudet ja himmentämiseen käytettävä aika. Sovellus ohjaa LED-salamaa, jonka lähettämät pulssit valoisuusanturi havaitsee ja

lähettää edelleen liitäntälaitteelle. Järjestelmän oppimat arvot voidaan nollata peittämällä valoisuusanturi vähintään minuutin ajaksi. Mikäli kaikkien samaan virtapiiriin kytkettyjen valaisimien arvot halutaan nollata, voidaan tämä suorittaa kytkemällä valokatkaisijasta virta päälle-pois viidesti lyhyen ajan sisällä. Liitäntälaite havaitsee viisi virtapulsssia, jonka seurauksena nollaa asetukset ja automaattinen itseoppiminen alkaa uudestaan. [7.]

Active+ on suunniteltu käytettäväksi toimistoissa, avotoimistoissa, käytävävalaistuksessa tai varastotiloissa. Järjestelmä ei mahdollista manuaalista valaistustilanteiden vaihtelemista, joten esimerkiksi neuvotteluhuoneen valaistusratkaisuksi Active+ ei sovellu hyvin. [7.]

2.4.2 Philips Actilume

Philips painottaa tuotteensa yhteydessä asennuksen helppoutta ja LED-valaisimeen yhdistettynä merkittäviä energiansäästöjä loistelamppuvalaisimiin verrattuna. Myös Actilume perustuu valaistavassa tilassa tapahtuvaan läsnäolotunnistukseen ja vakiovalonsäätöön päivänvalon saatavuuden mukaan. Valaistusta voidaan vaihtoehtoisesti ohjata painonapilla, vetokytkimellä tai infrapunaohjaimella. [7.]



Kuva 3. Philips Actilume DALI gen2 ohjauslaite ja multisensori. [7.]

Actilume koostuu ohjauslaitteesta ja sensorimoduulista, joka sisältää PIR-sensorin, valoisuusanturin ja infrapunasensorin. Alustuksen jälkeen Actilume toimii itsenäisenä valaistusratkaisuna, samaa periaatetta noudattaen kuin Active+. Valaistus kytkeytyy pois päältä 15 minuutin kuluttua läsnäolotunnistimen viimeisimmästä havainnosta.

Actilume valaisimeen voidaan myös yhdistää lukuisia slave-valaisimia hyödyntäen DALI-signaalia kahdessa ulostulossa. Toinen porteista on tarkoitettu ikkunan lähellä sijaitseville valaisimille, toinen kauemmaksi sijoitetuille. Ohjauslaite ylläpitää kauemmaksi sijoitetuille valaisimille hieman korkeampaa valaistustasoa ikkunan viereisiin verrattuna päivänvalon vähenemisen kompensoimiseksi. Järjestelmään on myös mahdollista liittää kaksi ulkoista PIR-sensoria laajemman havaintoalueen aikaansaamiseksi [7]. DALI on kansainvälinen standardi, joka takaa himmennettävien liitäntälaitteiden yhteensopivuuden eri valmistajien välillä. Kokonaisuudessaan DALI:lla tarkoitetaan yksinkertaistettua, digitaalista kommunikointitapaa, joka on räätälöity vastaamaan älykkään valaistuksen säädön tarpeita. Järjestelmässä käytetään yhtä monijohtimellista kaapelia, jonka avulla kaksisuuntainen digitaalisignaali siirretään kaikkien järjestelmään kuuluvien laitteiden välillä. Näin ollen kaikki väylään liitetyt elektroniset liitäntälaitteet, anturit, käyttöpaneelit ja ohjelmointilaitteet keskustelevat keskenään. [10.]

Uusimpaan malliin, Actilume DALI gen2 voidaan yhdistää jopa 25 valaisinta entisten 11 sijaan. Lisäksi ohjainlaitteita voidaan kytkeä toimimaan rinnakkain. Saatavilla on myös Actilume Color, jossa on erilliset ulostulot punaiselle-, vihreälle- ja siniselle valolle. Tämä ominaisuus mahdollistaa näyttävien valaistuskokonaisuuksien rakentamisen lukemattomilla RGB-sävyillä. Actilume Wireless-järjestelmä mahdollistaa nimensä mukaisesti langattomien sensoreiden ja ohjauslaitteiden käytön. [7.]

Toiminnoiltaan ratkaisu on hyvin samankaltainen kuin Active+, mutta asennuksen jälkeen ennen laitteiston tarkoituksenmukaista käyttöä on asetettava parametrit ja valittava toimintatavat. Arvojen asettamiseen vaaditaan Philipsin infrapunakaukosäädin, kun Active+:ssa tämä voitiin suorittaa älylaitteen salamavalolla. Poikkeuksena on Actilume Wireless, jossa konfigurointi voidaan suorittaa LCN8650-laitteella lyhyen kantaman ZigBee-verkkoyhteyttä hyödyntäen. Huomionarvoista Active+:aan verrattuna on myös tilanne, jossa huoneen tarkkailemiseen riittäisi yksikin sensorimoduuli. Actilume mahdollistaa muiden valaisimien käytön "orjavalaisimina", joten tässä tilanteessa säästettäisiin hankkimalla vain yksi sensori montaa valaisinta kohden. [7, s. 22.]

2.4.3 Fagerhult e-Sense Tune / Helvar freeDim

Myös Fagerhult tarjoaa e-Sense Tune -tuotemerkillään keskitettyä ja itsenäistä plug & play ratkaisuaan, tarjoten käyttäjäkohtaista langatonta ohjausta valaistukselle. Tuotetta mainostetaan energiaa säästävänä, päivänvaloa jäljittelevänä, helppokäyttöisenä ja nopeana asentaa. Myös terveystieteellinen näkökulma on otettu selkeästi esille valaistusratkaisun ominaisuuksista kerrottaessa, jossa tuotteen sanotaan tukevan hyvinvointia ja vireystilaa. Toimiakseen järjestelmä hyödyntää langattomia toimintoja ja DALI Type 8:aa. [7, s. 25; 11.]

Helvarin kanssa yhteistyössä kehitetty järjestelmä koostuu keskusyksiköstä ja Philips Actilume multisensorista, jotka asennetaan freeDim-ominaisuudella varustetun valaisimen sisälle. Järjestelmän nollaus tapahtuu painamalla sensorissa sijaitsevaa painiketta. Keskusyksikköön yhdistetään DALI-kaapeleilla 1-4 DALI Type 8 liitäntälaitetta. Muut valaisimet voidaan yhdistää langattomasti keskusyksikköön ZigBeeen kaltaisella 802.15.4 -järjestelmällä. Valaisimien yleinen ryhmäkoko on 1-6 valaisinta huonetta kohden, joskin samalla alueella voi sijaita lukuisia ryhmiä. [7.]

Ratkaisu mahdollistaa yksittäisen valaistustilanteen säätämisen, joten mahdollisia asennuskohteita ovat myös kokoushuoneet toisin kuin Active+:ssa. Valaisimien ryhmittelystä riippuen voidaan järjestelmällä ohjata jopa yksittäistä valaisinta. Vaikka järjestelmä on kehitetty erityisesti valaistustilanteisiin, jossa käyttäjä haluaa säätää ”omaa” valaistustaan, voidaan järjestelmä yhdistää helposti myös toisiin ohjausjärjestelmiin, jotka sopivat paremmin suurempiin avotoimistotiloihin. [11.]

Valaistuksen ohjaus tapahtuu älypuhelimien tai tabletin helppokäyttöisen sovelluksen kautta. Konfigurointiasetusten määrittämisen jälkeen valaistus tunnistaa käyttäjän läsnäolon ja palauttaa halutut asetukset. Edellä esitellyistä Active+ ja Actilume-järjestelmistä poiketen e-Sense Tune:n ohjaus tapahtuu Bluetooth Low Energy (Bluetooth Smart) -tekniikalla. Valaistuksen käyttämiseen voidaan sovelluksella luoda monta erilaista PIN-koodilla suojattua profiilia. Huoneen ulkopuolisen valaistuksen ohjauksen estämiseksi tiedonsiirron alue on rajattu lähelle. [7; 11.]



Kuva 4. Fagerhult e-Sense Tune mobiilisovellus. [11.]

Toisin kuin edellä esitellyt itsenäiset ratkaisut, e-Sense Tune tarjoaa valaistuksen ohjauksen Android-käyttöjärjestelmän lisäksi iOS:lle (Kuva 4). Sovelluksen avulla voidaan määritellä ennalta neljä erilaista valaistustilannetta. Activate-tilassa vallitsee viileä ja Focus-tilanteessa lämmin ja himmennetty valonsävy. Adapt-tilanteessa käytetään yleisvalaistusta ja Mimic puolestaan jäljittelee päivänvaloa sekä säätää valon voimakkuutta ja värisävyä vuorokaudenajan vaihdella. Käyttäjälle annetaan mahdollisuus luoda kaksi haluamaansa valaistustilannetta. Valaistusvoimakkuutta ja värilämpötilaa on mahdollista säätää jopa valaisinkohtaisesti. [11.]

Valaistusratkaisun ohjauksen haittapuoleksi voidaan nähdä puhelimen kasvanut akunkulutus, koska Bluetooth-ominaisuuden virrankulutus on kohtalaisen suurta. Puhelimen unohtuessa kotiin, käyttäjän ei kuitenkaan tarvitse työskennellä pimeässä, sillä ilman hallitsevaa puhelinta liiketunnistin aktivoi yleisvalaistuksen. Järjestelmä on saatavilla kaikkiin Tunable White -valaisinmalleihin. Valaisimesta on wallwasher- ja downlight-mallien lisäksi saatavana ripustettava ja upotettava malli. [11.]

3 Standardit

3.1 Sisätilojen työkohteiden valaistus SFS-EN 12464-1

Suomen standardisoimisliiton julkaisun ensimmäisessä osassa kuvataan sisätilojen työkohteiden valaistusta, jonka eurooppalaista standardisointia edistävä CEN hyväksyi huhtikuussa 2011. Julkaisussa käsitellään laajasti valaistussuunnittelun perusteita muun muassa luminanssin, valaistusvoimakkuuden, häikäisyn ja väriominaisuuksien näkökulmasta. Julkaisun loppupuolella esitetään valaistusvaatimustaulukoita ja ohjeistetaan oikeanlaiseen valaistuksen todentamiseen. Standardi käsittelee kaikkia yleisimpiä näkötehtäviä mukaan lukien näyttöpäätetyöskentelyn.

3.1.1 Sisätilan valaiseminen

Näkötehtävien tarkkaan ja tehokkaaseen suorittamiseen tarvitaan riittävä ja tarkoituksenmukainen valaistus. Vaadittavaan näkyvyyteen ja näkömukavuuteen vaikuttavat toiminnan tyyppi ja kesto erilaisilla työpaikoilla. Pelkästään työkohteiden valaiseminen ei riitä, vaan huomiota tulisi keskittää myös tilaan, jossa ihmiset oleskelevat. Hyvän visuaalisen viestinnän ja kohteiden tunnistamisen vuoksi on valaistava tila, jossa ihmiset liikkuvat ja työskentelevät. Jotta edeltävän kaltaiseen tilanteeseen voitaisiin päästä, tulisi pintojen valaistusvoimakkuuksien lisäksi mitata keskimääräinen sylinterivalaistusvoimakkuus \overline{E}_Z .

Keskimääräisen pystytason valaistusvoimakkuuden on oltava toiminta- ja sisätiloissa vähintään 50 lx ja tasaisuuden U_0 vähintään 0,10. Sylinterivalaistusvoimakkuuden määrittämisen tulisi tapahtua vaakatasossa määrättyllä korkeudella lattiasta, esimerkiksi istuvalle 1,2 metrin ja seisovalle henkilölle 1,6 metrin korkeudella lattian yläpuolella. Lisähuomiona mainitaan erityisvaatimuksia tiloille, joissa hyvä visuaalinen kommunikaatio on tärkeää, kuten neuvottelu-, toimisto- ja opetustiloille. Näissä tiloissa \overline{E}_Z :n tulisi olla vähintään 150 luksia. [2, s. 26.]

Rakenteellisten yksityiskohtien ja tilassa olevien ihmisten ja esineiden valaiseminen on tärkeää tilan yleisvaikutelman kannalta. Näin tilan tekstuuri ja muodot tulevat paremmin esiin katsojalle. Hyvä valaistus on erilaisten valonlähteiden kokonaisuus, sillä liian suunnattu valo muodostaa helposti teräviä varjoja. Toisaalta liian hajautettu valaistus

häivyttää tilan muodonantoa saamalla aikaan yksitoikkoisen luminanssiympäristön. Useammasta kuin yhdestä lähteestä suunnattu valo saa aikaan moninkertaisia varjoja, jotka saavat aikaa sekavan visuaalisen vaikutelman. Suoran valaistuksen ja diffuusin välistä tasapainoa kuvataan muodonannolla.

Muodonannon voidaan todeta olevan hyvä tasaiseksi kentäksi jaotelluilla valaisimilla tai kattoikkunoilla, joiden sylinteri- ja vaakatason valaistusvoimakkuuden välinen suhde on 0,3:n ja 0,6:n välillä. Huomioitavaa on myös, että päivänvalo säteilee ikkunoista tilaan pääasiassa vaakatasossa ja päivänvaloa käytettäessä muodonannon vaihteluväli voi olla hieman laajempi. [2, s. 28.]

3.1.2 Valaistusvaatimukset

Standardi kattaa lukuisia erilaisia tiloja koskevia suosituksia, mutta tarkoituksenmukaisuuden vuoksi tässä insinööriyössä esiteltävät vaatimukset koskevat eritoten toimistoja. Toimistossa suoritettaviksi työtehtäviksi lukeutuvat muun muassa kirjoittaminen, lukeminen, tietojenkäsittely, arkistointi, tekninen piirtäminen ja CAD-työskentely. Suunniteltaessa toimistotilaksi kaavaillun sisätilan sähköistystä, tulisi noudattaa taulukon arvoja.

Taulukko 1. Toimistovalaisuksen valaistustekniset vaatimukset. [2, s. 54.]

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Eritysvaatimukset
5.26.1	Arkistointi, kopiointi, jne.	300	19	0,40	80	
5.26.2	Kirjoittaminen, konekirjoitus, lukeminen, tietojenkäsittely	500	19	0,60	80	Tietokonenäytöt, katso 4.9
5.26.3	Tekninen piirtäminen	750	16	0,70	80	
5.26.4	CAD-työasemat	500	19	0,60	80	Tietokonenäytöt, katso 4.9
5.26.5	Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä.
5.26.6	Vastaanottotiski	300	22	0,60	80	
5.26.7	Arkistot	200	25	0,40	80	

Huomionarvoista esitetyissä arvoissa on vaatimustasojen vaihtelu. Piirustuspöydän valaistukseen on syytä kiinnittää erityistä huomiota, mutta hyvänä ylläpidettävänä perustasona toimistossa voidaan pitää 500 luksin valaistusvoimakkuutta. Tasainen valaistusvoimakkuus avotoimistotilassa myös mahdollistaa työpisteiden siirtelemisen, ainakin jossain määrin. Avotoimiston valaistusta suunniteltaessa on todella haastavaa estää kiiltokuvastumisen muodostumista yhdellekään työpisteelle.

Toisaalta kopio- ja arkistohuoneissa ei välttämättä tarvita näin laadukasta valaistusta ja pienempikin valaistusvoimakkuus riittää. Suunnitteluvaiheessa tähän seikkaan huomion kiinnittämisellä voidaan saada aikaan laadukkaan valaistuksen ohella mittavia energiansäästöjä, koska pidemmällä aikavälillä saavutettavien säästöjen merkitys korostuu. Taulukosta 1 nähdään, että arkistotilan valaisemiseen riittää ylläpidettävä 200 luksin valaistusvoimakkuus. [2, s. 54.]

3.1.3 Energiatehokkuusvaatimukset

Standardin luvussa 4.11 kuvataan valaistukselle asetettuja energiatehokkuusvaatimuksia [2, s. 32–34]. Valaistusta suunniteltaessa on pohdittava tilan lopullista käyttötarkoitusta, sillä energiankulutuksen alentamiseksi ei ole tarkoituksenmukaista tinkiä vaadittavista valaistusasennuksen valaistusominaisuuksista. Taulukossa 1 esitetyt valaistusvoimakkuustasot $\overline{E_m}$ ovat keskimääräisiä vähimmäisvaatimuksia, joita on ylläpidettävä.

Päivänvalon hyödyntämisen lisäksi muita standardissa mainittuja energiansäästökeinoja ovat läsnäoloperusteinen ohjaus, valaistushuoltoon liittyvien tekijöiden parantaminen ja täysimääräisen valaistusohjauksen käyttö. Valaistuksen energiatehokkuudesta kerrotaan lisää kappaleessa 3.2, joka käsittelee standardia SFS-EN 15193. Päivänvaloon perehdytään enemmän opinnäytetyön luvussa 2.

3.2 Valaistuksen energiatehokkuus SFS-EN 15193

Tässä kappaleessa selostettu standardi julkaistiin eurooppalaisena standardina vuonna 2007 ja vahvistettiin kansalliseksi standardiksi tammikuussa 2008. Julkaisu pitää sisällään paljon todella hyvää informaatiota, mutta lukijan on syytä muistaa teknologian kehitys viimeisen kahdeksan vuoden aikana.

3.2.1 Valaistukseen käytettävän energian laskeminen

Arvioidun käytetyn energian laskemiseen on monia erilaisia kaavoja. Erottavina tekijöinä ovat kaavojen laskentatarkkuus ja muuttujat. Selvitettävän asian tarkkuudesta riippuen valitaan oikea kaava, jolla on mahdollista laskea arvo halutulla tarkkuudella.

Kun selvitetään tilan ajanjaksona t kuluttamaa kokonaisenergiaa kilowattitunteina, voidaan käyttää kaavaa 1.

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \text{ [kWh]} \quad (1)$$

Valaistuksen toimintaan vaadittava valaistusenergia $W_{L,t}$ saadaan kaavasta 2. Yhtälön jälkimmäinen muuttuja $W_{P,t}$ kuvaa turvavalaisituksen akkujen lataamiseen ja valaistuksen ohjausjärjestelmän valmiustilaan kuluva energiaa, joka saadaan kaavalla 3.

$$W_{L,t} = \sum\{(P_n * F_c) * [(t_D * F_0 * F_D) + (t_N * F_0)]\} / 1000 \text{ [kWh]} \quad (2)$$

$$W_{P,t} = \sum\{P_{pc} * [t_y - (t_D + t_N)]\} + (P_{em} * t_e) / 1000 \text{ [kWh]} \quad (3)$$

Kaavoissa muuttuja

- P_n on valaisimien yhteenlaskettu teho watteina.
- F_c on vakiovalosäätimen ylityöajan kompensointikerroin. Kertoimella otetaan huomioon saatava säästö ylityöajan energiankulutusta pienennettäessä.
- t_D on aika tunteina, jolloin päivänvaloa on käytettävissä.
- F_0 on läsnäoloaika, jolla kuvataan kokonaistehon suhdetta käyttöaikaan.
- F_D on päivänvalon riippuvuuskerroin. Kertoimella otetaan huomioon saatava säästö vakiovalosäätimen pienentäessä keinovalon osuutta.
- t_N on käyttöaika olosuhteissa, joissa päivänvaloa ei voida käyttää.
- P_{pc} on valaistuksen ohjausjärjestelmien lepoenergia valaisimien ollessa sammuksissa.
- t_y on vuoden ajanjakso tunteissa ilmoitettuna eli 8760 h.
- P_{em} on turvavalaisituksen akkujen kokonaislatausteho watteina.
- t_e on turvavalaisituksen akkujen lataukseen käytetty aika.

Yhtälöiden 2 ja 3 avulla voidaan myös laskea vuotuinen kokonaisenergia $W = W_L + W_P$, jonka yksikkö on kWh/vuosi. [4, s. 12–18.]

3.2.2 LENI-luku

Valaistuksen energiankäytön vertailuluku, LENI-indeksi, kuvaa rakennuksen valaistuksen energiatehokkuutta. Standardissa annetaan vertailuarvot kokonaisille rakennuksille, joten LENI-lukua voidaan käyttää valaistusratkaisujen vertailuperusteena myös yksittäisissä tiloissa. Määrätyn vertailuluvun olemassaolon tärkeys korostuu sertifiointitarkoituksissa.

Rakennuksen LENI-luku voidaan laskea yhtälöllä 4

$$LENI = \frac{W}{A} \text{ [kWh/(m}^2 \cdot \text{vuosi)]} \quad (4)$$

Yhtälön muuttuja

- W on valaistuksen vuotuinen kokonaisenergia [kWh/vuosi].
- A on valaistettu huoneistoala [m^2].

3.2.3 Laskentamenetelmät

Valaistusenergian vuosikulutusta arvioitaessa voidaan käyttää pikalaskentamenetelmää ja laskea vuotuinen kokonaisenergia W . Tarkalla laskentamenetelmällä voidaan laskea tarkempia arvioita kulutettavalle energialle valittavissa olevalla ajalla, kuten esimerkiksi kuukausi- tai vuositasolla. Tarkkaa laskentamenetelmää käytettäessä sovelletaan yhtälöä 1. Jos läsnäolon ja päivänvalon saatavuus voidaan arvioida, voidaan tarkkaa laskentamenetelmää käyttää millä tahansa paikkakunnalla mille tahansa ajanjaksolle. Standardin liite C sisältää monipuolisesti taulukoita muuttujien arvoista ja kertoimista, joita voidaan hyödyntää tarkassa laskentamenetelmässä. [2, s. 34; 4, s. 18.]

4 Valaistuksen mittaus Kutomossa

Kutomo on Rambollin Espoon Säterissä sijaitsevan pääkonttorin keskikokoinen neuvotteluhuone. Tilassa suoritettiin valaistusvoimakkuuden mittaus, jolla pyrittiin keräämään tietoa päivänvalon vaikutuksesta. Mittaukset suoritettiin kahdessa osassa. Ensimmäisellä mittauskerralla mitattiin pelkästään päivänvalon avulla saavutettu valaistusvoimakkuus keräämällä kaikkien ikkunoiden sälekaihtimet kokonaan auki. Jälkimmäisellä kerralla päivänvalo-olosuhteet pidettiin ennallaan, mutta tilan valaistus kytkettiin päälle. Jälkimmäisen mittauksen tuloksista vähentämällä ensimmäisen mittauksen päivänvalon osuus saadaan keinovalon tuottama valaistusvoimakkuus. Molemmissa mittauksissa käytettiin samaa neuvottelupöydälle hahmoteltua mittausrasteria tuloksien vertailukelpoisuuden varmistamiseksi. Mittauksien aloittamisen välillä aikaa kului alle 15 minuuttia, joten päivänvalo-olosuhteet eivät ehtineet muuttua oleellisesti pilvisen sään vallitessa.

Kyseisen huoneen valikoitumiseen mittaushuoneeksi vaikuttivat tilan koko ja ikkunoiden runsas pinta-ala. Huoneen lattiapinta-ala on noin $25,5 m^2$, josta suuren osan vie massiivinen neuvottelupöytä. Mittaustason mittauskorkeutena käytettiin pöydän korkeutta asettamalla mittalaite pöydän pinnalle mitattaessa. Mittalaitteena käytettiin Rambollilta mittauksien ajaksi lainattua Konica Minolta -valmistajan Illuminance Meter T-10A mallia.

4.1 Lähtötilanne

Neuvotteluhuoneen pöytää (kuva 5), teippiä ja mittanauhaa avuksi käyttämällä hahmoteltiin noin $5,2 m^2$ kattava tarkasteltava rasteritaso. Mittaustaso oli 4 m pitkä, 1,3 m leveä ja 0,75 m korkea.



Kuva 5. Mittaukset suoritettiin neuvotteluhuoneen pöydän pinnalta.

Tilan ikkunat peittävät valtaosan huoneen kahdesta seinästä, näkymän avautuessa etelään ja länteen. Ikkunoiden alareuna on 85 cm korkeudella lattiasta ja yläreuna 80 cm alakaton yläpuolella, joka muodostaa kapean tilan alakaton reunan ja ikkunan väliin. Mittaukset suoritettiin 19. tammikuuta 2016 kello 11:35, jolloin vallitsi tasaisen pilvinen talvisää.

Valaisimina tilassa on neljä 28 watin T5 -loistelamppuvalaisinta. Valaisimet luovat valoa jossain määrin myös ylöspäin, mutta ylöspäin suunnatun valon vaikutusta on todella vaikea arvioida verkkomaisen kattoratkaisun vuoksi. Toisin kuin perinteinen vaalea alakatto, verkkokatto heijastaa hyvin heikosti valoa alaspäin. Silmämääräisellä arvioinnilla valaistuksen voidaan olettaa olevan kohtalainen, mutta riittävä.

4.2 Päivänvalomittaus

Mittaustulokset vahvistivat ennakko-odotukset, joiden mukaan neuvotteluhuoneessa on vain päivänvaloa käyttämällä kohtalaisen valoisaa. Päivänvalo vähensi häiritseviä kontrastieroja keinovalaistukseen verrattuna, mutta hyvänä työskentelytilana toimiakseen tilaan tarvitaan myös keinovaloa.



Kuva 6. Neuvotteluhuone päivänvalossa.

Kokonaisvalaistuksella mitatut valaistusvoimakkuudet ovat huomattavasti lähempänä standardin minimiarvoja keinovalaistuksen laskettuihin arvoihin verrattuna. Kokonaisvalaistuksella tarkoitetaan tilannetta, jossa päivänvalon lisäksi käytettiin keinovalaistusta. Tuloksista on myös selkeästi nähtävissä päivänvalon määrän väheneminen etäisyyden ikkunoihin kasvaessa. Päivänvalomittauksesta saadut mittaustulokset on esitetty liitteen 1 päivänvalotaulukossa.

4.3 Valaistuksen arviointi

Osa kokonaisvalaistuksen mitatuista arvoista jäi standardin asettaman minimiarvon alapuolelle jopa suoraan valaisimien alapuolella. Standardin asettamat vaatimukset ovat keskiarvoja, joten valaistus saattaa silti täyttää vaatimukset. Standardin vaatimusten täytyminen voidaan todeta laskemalla mittauspisteiden muodostama keskimääräinen valaistusvoimakkuus. Keinovalaistuksen vähäisestä vaikutuksesta huolimatta neuvotteluhuone ei vaikuta käyttäjälle hämärältä. Taulukoidut mittaustulokset päivänvalon, kokonaisvalaistuksen ja keinovalaistuksen osalta sekä pohjakuvaan asetettu mittausrasteri on esitetty liitteessä 1.

4.4 Päätelmät

Mittauksien tuloksena voidaan todeta että keinovalaistusta on käytettävä päivänvalon lisäksi, jotta päästäisiin riittävään valaistusvoimakkuuteen. Kokonaisvalaistusta mittaessa mittaustason valaistusvoimakkuuden keskiarvoksi saatiin 543 luksia, joten keinovalaistusta olisi varaa himmentää. Vastaavasti keinovalaistuksen keskiarvoksi saatiin 202 luksia ja päivänvalon keskiarvoksi 341 luksia.

Taulukko 2. Keinovalaistuksen ja päivänvalon valaistusvoimakkuuksien osuudet eroteltuna. Kokonaisvalaistus on osuuksien summa.

Mittauspöytäkirja						
Valaistustilanne		Keinovalaistus + Päivänvalo				
Tehtävä		Valaistuksen arviointi, 19.1.2016				
Paikka		Ramboll Espoo, Säterinkatu 6, CR Kutomo				
Laatinut		Lauri Klemelä				
Sarake	A		B		C	
1	278	295	337	191	289	123
	573		528		412	
2	182	321	204	218	178	156
	503		422		334	
3	221	351	259	257	211	212
	572		516		423	
4	198	450	238	365	199	331
	648		603		530	
5	89	631	67	633	79	582
	720		700		661	
Esitetyt arvot lukseina (lx), pöydälle laskettu keskiarvo n. 543 lx						

Taulukossa 2 on merkitty sarakkeiden yläriveille vasempaan reunaan keinovalaistuksen osuus ja vastaavasti oikealle päivänvalon osuus. Alariville on merkitty vihreälle pohjalle yhteenlaskettu kokonaisvalaistusvoimakkuus. Taulukon 2 arvoja tarkastellessa on hyvä muistaa toimistojen työtasoille standardin [2.] asettama minimiarvo, joka on 500 luksia.

Standardinmukaista valaistustasoa tavoiteltaessa suoritetaan yksinkertainen lasku keskiarvollisen himmentämisprosentin selvittämiseksi. Lähtökohtaisesti päivänvaloa pyritään hyödyntämään täydessä mittakaavassa ja puutteita korjaamaan keinovalaistuksella. Muodostetaan laskentakaava himmennysprosentille:

$(1 - (\text{vaatimus} - \text{päivänvalo}) / \text{keinovalaistus}) * 100 [\%] = \text{Paljonko voidaan himmentää } \%$

$(1 - (500 - 341) / 202) * 100 [\%] = n. 21,3 \%$.

Edellä esiteltyä kaavaa käytettäessä on käytettävä laskentapinnan mittaustuloksien keskiarvoa. Tämän seurauksena kaavalla saadaan laskettua kaikkien laskentapintaa valaisevien valaisimien himmentämispotentiaalin keskiarvo.

Tulokset tukivat odotuksia mittavista energiansäästömahdollisuuksista, mutta eivät täysin ongelmitta. Kuten tuloksista voidaan huomata, vaihtelee päivänvalon määrä hyvinkin nopeasti pienelläkin alueella. Vaihtelevuutta kasvattaa entisestään vaihtelevat sääolosuhteet, kuten puolipilvinen taivas. Mittauspäivän otollisista sääolosuhteista huolimatta laitteiston olisi toimittava hyvinkin vaihtelevissa sääolosuhteissa. Tämä asettaa reunaehdot vakiovalonsäädölle, jonka on sopeuduttava vaihtelevaan valonmäärään säilyttäen valaistuksen miellyttävyyden valaisimien himmentämisestä huolimatta. Siirtymien tulisi olla mahdollisimman tasaisia, jottei välkehtimistä pääse tapahtumaan.

Tämän lisäksi keinovalaistuksen himmentämisen tulisi tapahtua asteittain etäisyyden ikkunoihin kasvaessa. Jos keskiarvollinen himmennysprosentti olisi esimerkiksi 50 %, voitaisiin toteuttaa seuraavanlainen ratkaisu. Valaisimet jaetaan kahteen ryhmään saman ohjauksen alle. Lähempänä ikkunaa olevien valaisimien alueelle saadaan eniten päivänvaloa, joten niitä voidaan himmentää 75 %. Kauimmaisat valaisimet saavat valaistusalueelleen vain vähän päivänvaloa, joten niitä voidaan himmentää 25 %. Näin toimimalla säilytetään valaistuksen tasaisuus ja keskiarvallisesti himmennystä tapahtuu yhä 50 %.

5 Energiätehokkaan valaistuksen suunnittelu

Valaistuksen suunnittelu on monivaiheinen prosessi, jossa pyritään löytämään mahdollisimman hyvin tilaan sopiva valaistusvaihtoehto tilaajan toiveiden, standardien ohjeiden ja valaistukseen varatun budjetin määräämien reunaehdot puitteissa. Suunnittelutyö vaatii myös itse valaistussuunnittelijalta ammattitaitoa, kokeilunhalua ja realiteettien ymmärtämistä.

5.1 Suunnittelun eteneminen

Tehtävän luonteeseen vaikuttaa huomattavasti se, onko suunnittelukohde uusi rakennus vai onko jo olemassa olevassa valaistuksessa havaittu puutteita, joita pyritään korjaamaan. Suunnittelun ensimmäinen vaihe on tosiasioiden toteaminen. Kohteesta hankitaan tietoa ja määritetään tavoitteet. Valaistuksessa havaittu puute luo perustan valaistussuunnittelun tarpeellisuudelle ja määrittelee suunnittelutehtävän. Mikäli valaistus vaikuttaa liian vähäiseltä, voidaan tilassa suorittaa valaistusmittauksia. Mittaustuloksia standardien asettamiin arvoihin vertaamalla voidaan todeta konkreettisia puutteita, joiden pohjalta suunnitelmaa valaistuksen parantamiseksi laaditaan. Lähtötilanteen selvittämisen jälkeen voidaan aloittaa ongelman ratkaiseminen, jossa DIALux-ohjelmisto on verraton aputyökalu. Tästä valaistussuunnitteluohjelmistosta ja sen ominaisuuksista kerrotaan lisää kappaleessa 5.2. Jos suunnittelukohde on uusi rakennus, voidaan DIALuxilla laatia simulointeja erilaisista valaistustilanteista. [12.]

Seuraavat suunnittelun vaiheet ovat ideat ja ratkaisu. Suunnittelijan tulisi laatia useita tilaan sopivia mahdollisia ratkaisuja, joiden vertailun pohjalta ratkaisu tehdään. Hyvä suunnittelija ei tyydy ensimmäiseen vaadittuun arvoon täyttävään vaihtoehtoon vaan yrittää löytää vielä paremman. Suunnittelijan luovuus on avainasemassa erilaisia mahdollisuuksia ideoitaessa. Samoihin arvoihin saattaa olla mahdollista päästä eri tavoin ryhmitellyillä, erikokoisilla tai katosta heijastuvilla epäsuorilla valaisimilla. Elinkaari-laskelmissa kustannuksiltaan kohtuulliseksi todetun vaihtoehdon perusteella suoritetaan ratkaisu. Viimeinen suunnitteluvaihe ennen suunnitelman toteuttamista on sen hyväksyttäminen suunnittelun tilaajalla. Suunnitelman hyväksyttämävaiheessa suunnittelijan ulospäinsuuntautuneisuus ja suulliset taidot ovat todella tärkeitä. Suunnittelijan tulisi kerätä esiteltäväksi tosiasioita ja vastaavia ratkaisuja menestyksessä kohteissa, kuunnella työn tilaajaa ja valmistautua ratkaisun esittelyyn hyvissä ajoin. [12.]

5.1.1 Tekniset valinnat

Energiaa säästäviin ominaisuuksiin panostaminen on todella kannattavaa, sillä joissakin rakennuksissa jopa 50 % rakennuksen kokonaisenergiakustannuksista muodostuu valaistuksesta. Valaistuksen energiatehokkuuden muodostumista pohdittaessa palataan suunnittelun lähtöviivalle. Suurin osa valaistuksen kuluttamasta kokonaisenergiasta on valaisimen kuluttamaa energiaa. Tämän vuoksi suunnittelijan tulisi kysyä itseltään, paljonko tilaan tarvitaan valoa. Vaadittuja arvoja on kyettävä pitämään

yllä, mutta liian suuri ylitys kostaatuu ylimääräisinä kustannuksina. Päivänvalon saatavuuden vaihteluiden vuoksi tulee päivänvalon vaikutus huomioida vasta sopivan valaisimen löydyttyä. Toki on huomioitava valaisimen ohjailtavuus ja liitännälaitteiden yhteensopivuus ennen lopullisen päätöksen tekemistä. [13, s. 2.]

5.1.2 Valaistuksen laskenta

Valaistuksen laskenta voidaan pääpiirteisesti jakaa kolmeen osioon. Kustannuksiin sekä valon määrään ja häikäisyn arviointiin. Kustannuksien osalta on yleensä tehokkainta ja tarkoituksenmukaisinta laskea elinkaarikustannuksia. Näin toimimalla saadaan lasketuksi valaistusratkaisulle kokonaishinta määrätyllä aikavälillä, johon kuuluvat investoinnit, kulutettu energia, lamppukustannukset ja huoltotyöt. Nopeasti tarkasteltuna halpa ratkaisu saattaa käytössä osoittautua paljon luultua kalliimmaksi, mikäli lamppujen polttoikä on lyhyt ja huoltotyöt kalliita. Vastaavasti kallis ratkaisu maksaa parhaimmassa tapauksessa itsensä nopeasti takaisin, mikäli lamput ovat pitkäikäisiä, energiatehokkaita ja helppohuoltoisia.

Valon määrää laskiessa tärkeitä menetelmiä ja kaavoja ovat hyötysuhdemenetelmä, kosini- ja neliölaki, sekä Lambertin laki. Näiden kaavojen lisäksi valaistuksen laskentaan tulisi sisällyttää maksimiluminanssit ja häikäisyindeksit. Hyötysuhdemenetelmää käyttämällä voidaan laskea keskimääräinen valaistusvoimakkuus tai valaisimien tarvittava määrä, kun haluttu valaistusvoimakkuus on tiedossa. Valaisin- jaottelun tulisi olla varsin tasainen parasta lopputulosta tavoiteltaessa.

Hyötysuhdemenetelmää käytettäessä sovelletaan kaavaa 5

$$E_k = \eta \times \frac{N \times \Phi}{A}, \quad (5)$$

jossa E_k on huoneen keskimääräinen valaistusvoimakkuus, η on valaistushyötysuhde, N on valaisimien lukumäärä, Φ on yhdessä valaisimessa olevien lamppujen valovirta ja A on huoneen pinta-ala.

Myös valaistuksen kokonaishyötysuhteen laskemiselle on olemassa oma kaavansa, jossa otetaan huomioon lamppujen valovirran alenema, huonepintojen ja valaisimien likaantuminen, ympäristön lämpötilan aiheuttama valovirran alenema sekä valaisin- ja

huonehyötysuhde. Sisävalaistuksen laskentaa helpottavat suositukset CIE 97:2005 huoltotoimenpiteistä ja likaantumisesta sekä lamppuvalmistajien antamat kertoimet valovirran alenemalle. Huonehyötysuhteeseen vaikuttaa valaisimen valonjako, pintojen heijastumissuhteet, huoneen mitat sekä valaisimien asennuskorkeus. Ennen nykyaikaisia valaistuksen laskentatoimintoja ja tietokonelaskennan yleistymistä valaisinvalmistajat toimittivat valaisinkohtaisesti hyötysuhdetaulukkoja laskentaan. Lähtökohtaisesti sisävalaistuksessa huono hyötysuhde on noin 30 %, hyvä 70 % ja vaaleassa huoneessa keskimääräinen 50 %. [12.]

Neliö- ja kosinilaki, eli pistemenetelmä, kertoo valaistuksen voimakkuuden määräytyssä pisteessä. Menetelmästä käytetään kaavaa

$$E = \frac{I \times \cos \alpha}{r^2}, \quad (6)$$

jossa

- E on valaistuksen voimakkuus tietyssä pisteessä [lx]
- I on valaisimen valovoima pisteen suuntaan [cd]
- α on valon tulosuunnan ja pinnan normaalin välinen kulma
- r on valaisimen etäisyys pisteestä [m].

Lambertin lain mukaan valonjakokäyrä on pallon muotoinen, jos valonlähde on tasahajottavalla pinnalla. Valonjakokäyrän muodon vuoksi pintakirkkaus eli luminanssi on sama kaikkiin suuntiin. Esimerkkeinä Lambertin säteilijöistä voidaan pitää linssittömiä ledejä tai erilaisia valaistuja mattapintoja. Lambertin lain pohjalta voidaan muodostaa varsin yksinkertainen kaava

$$L = \frac{\rho \times E}{\pi}, \text{ jossa} \quad (7)$$

tasahajottavan pinnan luminanssi L [cd/m²] saadaan kertomalla pinnan heijastuskerroin ρ pinnan valaistusvoimakkuudella E [lx] ja sitten jakamalla piillä.

Valaistuksen energiatehokkuuden laskemiseen on perehdytty standardia 15193 käsittelevän kappaleen 3.2 luvuissa 3.2.1–3.2.3.

5.2 DIALux

DIALux on valaistussuunniteluun tarkoitettu ohjelmisto, joka on laajamittaisesti työkäytössä lukuisissa suunnittelutoimistoissa ja koulutuskäytössä korkeakouluissa. Ohjelma on onnistunut vakiinnuttamaan vahvan asemansa suunnittelun työkaluna tietomallipohjaisessa suunnittelussa. Syitä DIALuxin menestykseen on lukuisia, mutta suurimpia ovat olleet ohjelman maksuttomuus, yksinkertaisuus, tehokkuus, monipuoliset ominaisuudet ja avoimuus kaikille valaisinvalmistajille.

Markkinoiden johtavat valaisinvalmistajat tekevät yhteistyötä ohjelmiston kanssa. Tämä puolestaan on suuri etu valaistussuunnittelijalle valaisinvalintoja tehdessä. Asiansa osaava ja kokenut valaistussuunnittelija osaa ilman valaistusvoimakkuuden arvojen laskemista ehdottaa suunniteltavaan kohteeseen entuudestaan tuttua valaisinta. Ennen lopullisia valintoja olisi kuitenkin hyvä tarkistaa, että kyseinen valaisin sopii juuri tähän tilaan.

Suuri osa valaisinvalmistajista tarjoaa ohjelmassa käytettäväksi omia valaisintietokantojaan, joista tilaan voidaan valita sopivia valaisimia vertailtavaksi. Valaisintietokannasta tai suoraan valmistajan kotisivuilta on usein ladattavissa IES- tai ULD-tiedosto, joka luo valaisimelle todenmukaisen valonjaon ohjelmassa. Vaihtelevista tiedostomuodoista huolimatta ohjelmisto tunnistaa hyvin erityyppisiä tiedostoja. Tämä on erittäin tärkeä yksityiskohta ohjelmiston käytettävyyden kannalta, jos potentiaalisia valaisimia on esimerkiksi useita kymmeniä erilaisia.

DIALuxin hyödyllisyys korostuu jälleen valaistussuunnitelmia esiteltäessä tilaajalle. Ohjelman avulla voidaan luoda realistisia visualisointeja suunniteltavasta kohteesta, joilla valintoja on helpompi perustella ja esitellä. Hieman aikaa ja vaivaa käyttämällä saadaan aikaan erittäin todentuntuksia kuvia valaistavasta tilasta. Ohjelman hieman kömpelöstä olemuksesta huolimatta esimerkiksi holvikaarien ja heijastuksien luominen onnistuu yllättävänkin helposti.

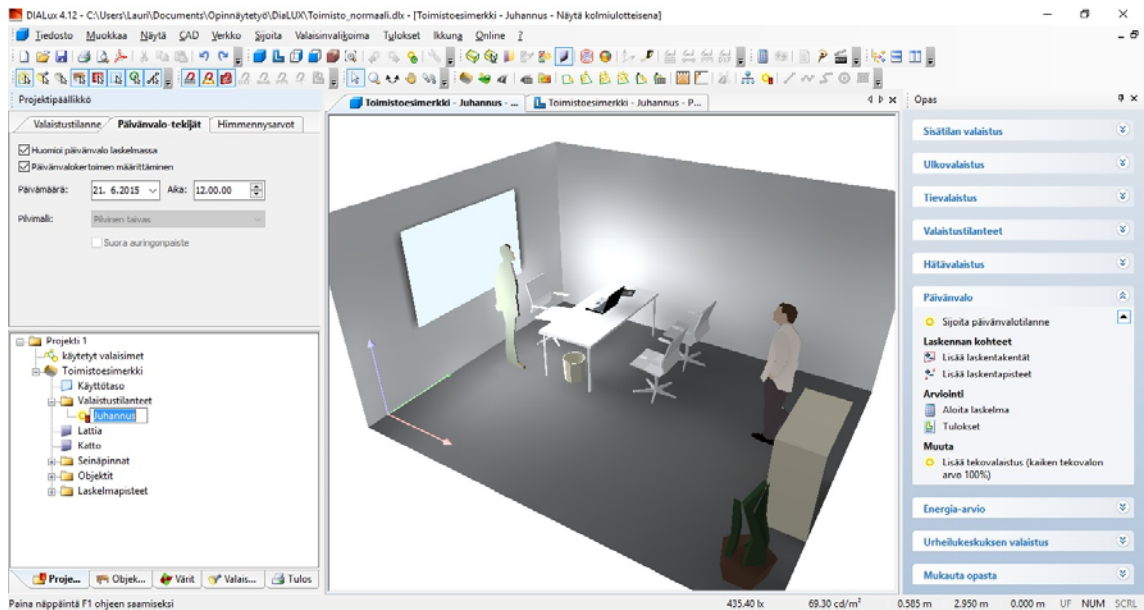


Kuva 7. DIALux-ohjelmistolla rakennettu visualisointi. [14.]

Tarvittaessa myös valon väriä voidaan vaihtaa ja ottaa päivänvalo osaksi ratkaisua. Esimerkiksi julkisivultaan lasisessa tai lasikatolla varustetussa suunnittelukohteessa päivänvalon simulointi on todella tärkeässä asemassa. [14.]

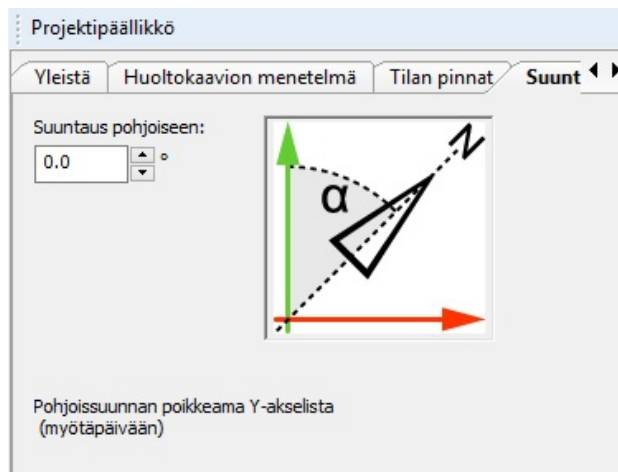
5.2.1 Päivänvalon simulointi

DIALux-ohjelman valikoista voidaan valita päivänvalon simulointitoiminto. Simulointi mahdollistaa päivänvalon vaikutuksen huomioonottamisen yhä varhaisemmassa vaiheessa helpottaen suunnittelijan työtä. Ohjelmaan voidaan syöttää tilan sijainti, tilanteen päivämäärä sekä kellonaika, ja sillä voidaan valita erilaisia sääolosuhteita. Myös tilaa varjostavien läheisten rakennusten huomioiminen on mahdollista. Ohjelma huomioi päivänvalon vaikutuksen valaistuslaskelmassa ja määrittää päivänvalokertoimen. Tilanteet, joissa päivänvalokertoimia lasketaan, eivät kuitenkaan voi sisältää keinovaloa. Tästä johtuen valaisimet saavat laskentatilanteessa arvon 0 %.



Kuva 8. Ruudunkaappaus päivänvalotilanteen laskennasta DIALux:illa.

Kuvan 8 esimerkkitilanteessa toimistohuone sijoitettiin Helsinkiin, ja laskennan mukaan juhannuksena 2015 kello 12 toimistohuoneen pöydän pinnalle saatiin jopa 430 luksia pelkästään päivänvaloa hyödyntämällä. Näin ollen kyseisellä hetkellä valaistus olisi voitu himmentää valaisemaan vain puuttuvat 70 luksia täyden valaistusvoimakkuuden ylläpitämisen sijaan ja aikaansaada energiansäästöjä.



Kuva 9. Esimerkkitoimiston (kuva 8) ikkuna sijoitettiin vihreän nuolen osoittamalle seinälle.

Suureen päivänvalolla saavutettuun valaistusvoimakkuuden määrään saattaa vaikuttaa ikkunan verrattavan suuri koko ja edukas sijoitus auringon puoleiselle seinälle. Viime aikoina toimistorakennusten ulkopintojen materiaalina on kasvavassa määrin suosittu

juurikin lasia, joka luonnollisesti kasvattaa ikkunoiden kokoa parantaen mahdollisuuksia hyödyntää päivänvaloa valaistuksessa.

5.2.2 BREEAM

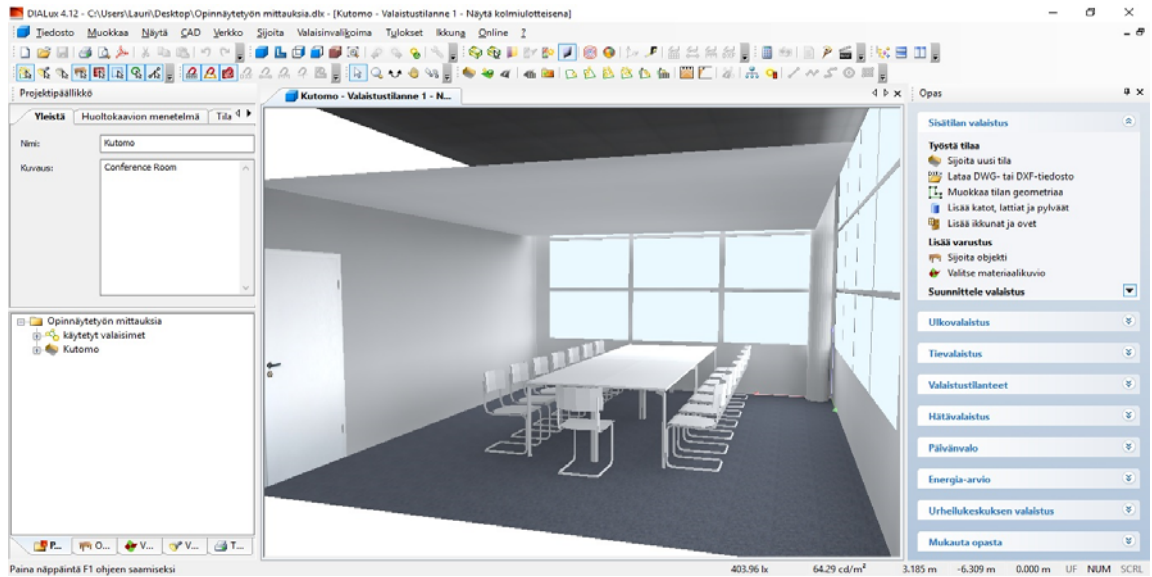
Rakennuksille voidaan myöntää BREEAM-sertifikaatteja, jotka kertovat rakennuksen energiatehokkuudesta. BREEAM esiteltiin vuonna 1990 ja tunnetaan laajasti rakennusalalla luotettavana laadun takaajana. Luokittelu perustuu pisteytykseen, jossa kohde kerää BREEAM-pisteitä erinäisistä kestävästä kehitystä edistävästä ominaisuuksista. Päivänvalon hyödyntäminen on yksi lukuisista ominaisuuksista, ja sillä voidaan kerätä yhdestä kahteen pistettä rakennustyyppistä ja päivänvalon käytöstä riippuen. Lisää tietoa jaettavista pisteistä löytyy BREEAM-kotisivuilta. Päivänvalosimuloinnin avulla voidaan laskea pisteytyksen vaatima päivänvalokerroin, ja tarvittaessa muuttaa kohteen rakennetta niin, että pisteiden edellyttämä päivänvalomäärä kyetään saavuttamaan. [15.]

6 Lopputulos

Tämä kappale kokoaa tutkimustyössä käsiteltyjen asioiden havaintoja.

6.1 Simuloinnin todenmukaisuus

DIALuxin tarjoaman päivänvalosimulointitoiminnon todenmukaisuutta tutkittiin vertaamalla mittauksista ja mallinnuksesta saatuja valaistusvoimakkuuden arvoja. Liitteessä 2 on esitetty vääräväri-kuvanmuodostus ja mittausrasterin arvot havainnollistamaan simuloinnilla tuotetun päivänvalon valonjakautumista huoneen työpöydälle. Simuloidun huoneen geometria määritettiin mahdollisimman tarkasti vastaamaan CR Kutomoa, jotta mittausarvoja voidaan verrata.



Kuva 10. Rekonstruktio neuvotteluhuoneesta, jossa kappaleen 4 mittaukset suoritettiin.

Simuloinnilla saatuja arvoja verratessa mitattuihin arvoihin huomataan eroavaisuuksien kasvavan ikkunaa kohden siirryttäessä. Selkeää eroavaisuutta ei havaita, joten ilman vertailua ei simulointia voida todeta hyväksi tai huonoksi. Ovea lähinnä olevassa rasterin pisteessä simulointi tuotti 144 luksia ja mittaus 123 luksia. Simulointi antoi siis 21 luksia mittauksia enemmän joka vastaa noin 17,1 prosenttia, mutta käytännössä luekat ovat samalla tasolla. Ihmissilmällä tarkasteltuna 21 luksin ero edellämainitussa tilanteessa ei huomaa. Ikkunaseinien muodostavaa kulmausta lähimmässä pisteessä mitattiin 631 ja simuloitiin 448 luksia. Lyhyellä laskutoimituksella havaitaan mittauksien tuottaneen 183 luksia eli noin 40,8 % simulointia enemmän. Tämän kokoisen eroavaisuuden huomaisi jo ihmissilmän tarkastellessa. Ikkunan läheisyydessä sijaitsevien pisteiden arvoja tutkiessa havaitaan suurimmat eroavaisuudet, mutta pöydän keskellä sijainneessa rasteripisteessä eroa oli vain 2 luksia. Mitattuun 257 luksiin verrattuna eroavaisuutta oli alle 1 %.

Mahdollisia syitä simuloinnilla saatuihin tuloksiin on lukuisia. Ohjelmaan voidaan syöttää tutkittavan kohteen maantieteellinen sijainti varsin tarkasti, mutta tässä simuloinnissa viereisten rakennusten varjostusten muodostuminen jäi huomioimatta. Vaikka ohjelmistolla tämäkin asia voidaan ottaa huomioon, toiminto on työläs, runsaasti aikaa vievä ja vaikea käyttää. Yleisellä tasolla DIALuxin päivänvalotoimintoa voidaan pitää kohtalaisen pätevänä ominaisuutena kokonaisuutena arvostellessa. Päivänvalon jakautumisen esittäminen tilan sisälle on kohtalaisen helppoa, mutta ennenkaikkea havainnollistavaa. Valaistusvoimakkuuden keskiarvo mittaustasolla

mittauksissa oli 341 luksia ja simuloitaessa 289 luksia. Hieman yli 50 luksin erolla uskaltaisin väittää, että päivänvalosimulointia voidaan käyttää suunnittelussa hyväksi tarpeeksi suurella tarkkuudella.

6.2 Ikkunakoon vaikutus

Simuloinnin avulla voidaan kohtalaisen helposti muuttaa päivänvalon määrään vaikuttavia tekijöitä, kuten ikkunoiden kokoa ja sijaintia. Ikkunakoon muuttamisen vaikutusta tutkiaksemme ikkunoiden kokoa, sijoittelua ja lukumäärää muutettiin tilan muun geometrian ja laskentapintojen säilyessä identtisinä. Mittaustuloksiin verrattuna simulointitilanteessa eteläpuoleisella seinustalla sijaitsi yhdeksän ikkunaa ja lännenpuoleisella seinustalla kaksitoista. Kaikki ikkunaruudut olivat samankokoisia, korkeudeltaan 0,8 ja leveydeltään 1,3 metriä. Alimmat ikkunat olivat sijoitettuna 85 cm lattiapinnan yläpuolelle ja ikkunaruutujen välinen karmi oli noin 5 cm paksu. Kokonaisuudessaan siis ikkunapinta-alaa oli eteläpuoleisella seinällä $9,36 \text{ m}^2$. Lännenpuoleisella seinällä ikkunaa oli vieläkin enemmän, yhteensä $12,48 \text{ m}^2$.

Ikkunoiden korkeutta lattiapinnasta kasvatettiin metriin. Tämän lisäksi ikkunoiden lukumäärää vähennettiin, mutta kokoa kasvatettiin. Ikkunaruudun leveys pysyi samana, 1,3 metriä, mutta korkeutta kasvatettiin 1,3 metriin. Näin ollen seinäkohtaisesti lasketut ikkunoiden kokonaispinta-alat ovat $5,07 \text{ m}^2$ ja $6,76 \text{ m}^2$. Ikkunoiden kokoa muutettiin samassa suhteessa molemmilla seinillä, joten molemmille seinille luotiin muutosta alkuperäisiin ikkunoihin noin -45,8 %. Tilanteesta simuloitiin päivänvalonäkymä, jonka tulokset ovat liitteenä 3.

Simuloinnin tuloksista voidaan havaita valonmäärän vähentyneen. Merkittävästä ikkunakoon muutoksesta huolimatta, neuvotteluhuoneen pöydälle saatiin yhä korkeimmillaan lähes 300 luksia, ja kauimmaisessakin mittauspisteessä 103 luksia. Valaistusvoimakkuuden keskiarvoksi saatiin 199 luksia. Uudelleen simuloituissa valaistusvoimakkuuden maksimiarvoissa muutosta tapahtui -39,5 % ($476/288 \text{ lx}$) ja minimiarvoissa -28,5 % ($144 \text{ lx}/103 \text{ lx}$). Simulointien keskiarvoja vertailtaessa muutosta tapahtui $289 \text{ lx} - 199 \text{ lx} = 90 \text{ lx}$ (-31,1 %). Ikkunakoon tuloksia vertaillen on syytä muistaa tilan rakenne. Laskettu alakatto varjostaa suuren osan ylimpien ikkunaruutujen valosta, joten koko ikkunapinta-alaa ei hyödynnetä tehokkaasti. Tästä huolimatta päivänvalomäärän vähentyminen lähes kolmasosalla on varsin merkittävä muutos.

6.3 Vakiovalosäätö ja kustannukset

Päivänvaloanturilla varustettu ja anturin mukaan himmenevä valaistusvaihtoehto ei ole rakennusvaiheessa halvin valaistusratkaisu. Asennusvaiheen investoinnit kasvavat älykkäässä valaistusjärjestelmässä perusratkaisua suuremmiksi, mutta ajan myötä järjestelmä maksaa itseään takaisin energiansäästöinä. Standardin vertailuarvojen, valaistusmittauksen tuloksien ja kappaleessa 3.2.1 esiteltyjen laskentakaavojen perusteella laadittiin esimerkkilaskuja valaistuksen vuosittain kuluttamasta energiasta.

6.3.1 Kustannuslaskelma vertailuarvoilla

Standardin SFS-EN 15193 liitteen F taulukosta F.1 saadaan vertailuarvoja laskukaavoihin toimistossa. Myös liitteen G taulukossa G.1 esitetään vuosittaisten käyttötuntien ohjeellisia arvoja rakennustyypeittäin. Päivänvalon riippuvuuskertoimen muodostumiseen syvennyttään enemmän taulukossa G.2.

$$t_D = 2250 \text{ h} \quad t_N = 250 \text{ h} \quad F_C = 0,9 \quad F_O = 0,9 \quad F_D = 0,9$$

Kuten Kutomon mittauksia käsittelevässä kappaleessa 4 todettiin, tilaa valaisee neljä 28 watin loistelamppua. Näin ollen valaisimien yhteenlaskettu teho on

$$P_n = 4 * 28 \text{ W} = 112 \text{ W}.$$

Pelkästään tämä ei vielä riitä, sillä on syytä huomioida myös valaisimen liitäntälaitteen häviöteho. Häviötehon määrä vaihtelee suuresti liitäntälaitteen mallista ja mittaolosuhteista riippuen. Tämän vuoksi liitäntälaitteille on määritelty energiatehokkuusluokituksia, joiden avulla voidaan vertailla tehohäviöitä. Samantyyppisessä valaisimessa saatetaan silti käyttää eri luokituksen liitäntälaitteita valmistajasta riippuen. Kuva 11 esittää Helvarin valmistaman liitäntälaitteen tehon muutosta valaistustasoon verrattuna. Kyseisellä liitäntälaitteella ja kahdella 28 watin loistelampulla varustettu valaisin ottaa tehoa 61,9 W täydellä valaistustasolla, joten liitäntälaitteen häviöiksi jää $61,9 \text{ W} - 56 \text{ W} = 5,9 \text{ W}$. [16.] Philips ilmoittaa samantyyppiselle valaisimelle 4 wattia liitäntälaitteen häviötehoa, joten 5 watin häviötehon keskiarvoa voidaan käyttää laskuissa muuttujana. Kutomon valaisimia tarkastellessa ei saatu täyttä varmuutta liitäntälaitteen mallista tai luokituksesta, mutta rakennuksen iän perusteella voidaan

olettaa valaisimissa käytettävän elektronisia liitäntälaitteita. Huomioimalla myös tämä seikka 5 watin liitäntälaitteiden keskiarvolla saavutetaan tarvittava laskentatarkkuus. Tilaa valaistiin neljällä itsenäisellä valaisimella, joten kukin valaisin tarvitsee oman liitäntälaitteensa. Joissakin valaisimissa samalla liitäntälaitteella ohjataan useita lampuja, mutta tässä tapauksessa valaistuksen yhteenlasketuksi ottotehoksi saadaan

$$P = P_n + (4 * 5 \text{ W}) = 112 \text{ W} + 20 \text{ W} = 132 \text{ W}.$$

Kun arvot sijoitetaan kaavaan 2, saadaan

$$W_{L,t} = \sum\{(P_n * F_c) * [(t_D * F_0 * F_D) + (t_N * F_0)]\} / 1000 \text{ [kWh]} \quad (2)$$

$$W_{L,t} = \sum\{(132 \text{ W} * 0,9) * [(2250 \text{ h} * 0,9 * 0,9) + (250 \text{ h} * 0,9)]\} / 1000 \text{ [kWh]}$$

$$W_{L,t} = \sum\{118,8 \text{ W} * [(1822,5 \text{ h}) + (225 \text{ h})]\} / 1000 \text{ [kWh]}$$

$$W_{L,t} = n. 243,2 \text{ [kWh]}$$

Kaavan 3 tulokseksi saadaan 0, sillä valaistuksen ollessa pois päältä $P_{pc} = 0$. Kaavan 1 perusteella saadaan $W_t = W_{L,t} + 0 = n. 243,2 \text{ [kWh]}$.

Sähkön kokonaishinnassa on huomioitava sähköenergian hinta, sähkön siirtohintaa ja vero, joten määritetään laskuissa käytettäväksi vertailuhinnaksi 0,15 €/kWh. Neuvotteluhuoneen valaistus vuoden ajalla tulee siis maksamaan

$$243,2 \text{ kWh} * 0,15 \text{ €/kWh} = n. 36,49 \text{ €}.$$

Jos päivänvalon riippuvuuskerroimen vaikutusta ei oteta huomioon, saa F_D arvon 1. Uudessa valaisinasennuksessa valaisimet ylimitoitetaan valovirran aleneman vuoksi. On huomioitava, että vakiovalosäädöllä varustettu valaistusjärjestelmä säästää myös ylimitoituksessa ja tämän vuoksi yhtälössä käytetään kerrointa F_c . Päivänvalo-ohjaamattoman valaistuksen energiankulutuksen laskemiseksi myös vakiovalosäätimen ylimitoituksen kompensointikerroin F_c saa arvon 1. Tämän seurauksena valaistuksen vuoden aikana kuluttama $W_t = n. 297 \text{ [kWh]}$. Kasvanut energiankulutus heijastuu kustannuksiin: $297 \text{ kWh} * 0,15 \text{ €/kWh} = 44,55 \text{ €}$.

Arviolaskelmia tehdessä on syytä muistaa, että standardin SFS-EN 15193 liitteet F ja G ovat opastavia. Myös arvioissa käytetyt arvot ovat ohjeellisia. Taulukon G.1 lisähuomiona mainitaan, että vähintään 60 % valaistuskorvaamisesta ohjataan kysymyksessä olevalla vakiovalosäädöllä. Suoritettujen mittauksien perusteella voidaan karkeasti arvioida, että jopa 50 % valaistuksesta voitaisiin sammuttaa päivänvaloa hyödynnettäessä. Näin ollen F_D saisi arvon 0,5. Kun tämä sijoitetaan kaavaan 2, saadaan vuosikulutukseksi 147,02 kWh, joka tarkoittaa 22,05 € kustannuksia. Taulukossa 3 vertaillaan standardin vertailuarvoja käyttämällä laskettuja energiankulutuksia ja kustannuksia.

Taulukko 3. Valaistuksella saavutettavat laskennalliset säästöt vuositasona.

Energia / Kustannus kWh / €	Vuosikustannukset vertailuarvoilla laskettuna (0,15 €/kWh)		
	CR Kutomo	Kerros	Rakennus
Ei vakiovalosäätöä	297 / 44,55	2970 / 445,5	14850 / 2227,5
Vakiovalosäädöllä $F_d=0,9$	243,2 / 36,49	2432 / 364,9	12160 / 1824,5
Vakiovalosäädöllä $F_d=0,5$	147 / 22,05	1470 / 220,5	7350 / 1102,5
Saavutettava max. säästö noin 50 %	150 / 22,5	1500 / 225	7500 / 1125
Huom. Rakennuksessa 5 kerrosta, joissa jokaisessa 10 neuvotteluhuonetta			

Vuoden aikana saavutetaan säästöjä yhdessä neuvotteluhuoneessa 22,5 €, mutta koko rakennuksessa jo 1125 €.

6.3.2 Kustannuslaskelma simuloinnilla

Mittauksista saatujen arvojen (liite 1) ja kappaleessa 3.2.1 esiteltyn laskentakaavojen perusteella laadittiin esimerkkilaskuja valaistuksen vuosittain kuluttamasta energiasta. Kappaleessa 4.4 todettiin, että valaistusta voidaan himmentää keskimäärin 21,3 % säilyttäen silti vaadittu 500 lx valaistusvoimakkuus. Huomioidaksemme tämä valaistuksen energiankulutuslaskussa tulee selvittää päivänvalon riippuvuuskerroin. Kun keskimääräinen himmennysprosentti tiedetään, saadaan F_D :n arvo

$$1 - (21,3 / 100) = 0,79.$$

Nyt laskettu päivänvalon riippuvuuskerroin oli pelkästään mittaushetken tilanne. Vuositason tarkasteltuna riippuvuuskerroin tulisi käyttää keskimääräistä arvoa.

Opinnäytetyön aikataulua ja mittaushuoneen käytettävyyttä rajoittavien tekijöiden vuoksi pidemmän aikavälin todellinen tarkastelu ei ollut mahdollista. Todellisen tilanteen arvioiminen olisi edellyttänyt useita mittaus tilanteita erilaisissa sääolosuhteissa ja eri vuodenaikoina. Mahdollisimman todenmukaisen tuloksen selvittämiseksi simuloitiin päivänvalotilanne jokaiselle kuukaudelle kolmena eri ajanhetkenä. Simulointi suoritettiin jokaisen kuukauden 19. päivä kello 9, 11:30 ja 15. Mittausrasterin valaistusvoimakkuuden keskiarvot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Päivänvalosimuloinnilla saavutetut valaistusvoimakkuuden keskiarvot.

Valaistusvoimakkuuden keskiarvo kuukausittain (lx)						
Aika	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä
9:00	0	236	575 (500)	916 (500)	1130 (500)	1198 (500)
11:30	289	568 (500)	900 (500)	1216 (500)	1413 (500)	1484 (500)
15:00	151	431	738 (500)	1027 (500)	1225 (500)	1315 (500)
Ka.	146,7	389	500	500	500	500
Heinä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
9:00	1122 (500)	939 (500)	673 (500)	374	89	0
11:30	1429 (500)	1253 (500)	972 (500)	647 (500)	351	214
15:00	1265 (500)	1075 (500)	758 (500)	407	125	31
Ka.	500	500	500	427	188,3	81,7
Vuoden keskiarvo 394,4 lx						

Luonnonvalon suuret vaihtelut eri vuodenaikoina näkyvät hyvin taulukon arvoissa. Riippuvuuskerrointa määrittäessä on syytä muistaa tavoiteltava valaistustaso. Tässä tapauksessa pyritään saavuttamaan mittautasolla 500 luksin valaistusvoimakkuus, joten tämän ylittävä päivänvalo on ylimääräistä eikä näy säästöinä. Lasketaan seuraavaksi himmennysprosentti vuositasolla

$$(1 - (500 - 394,4) / 202) * 100 [\%] = n. 47,7 \%$$

Nyt kun tiedetään keskiarvo himmennuksen mahdollisuudelle voidaan laskea päivänvalon riippuvuuskerroin F_D

$$1 - (47,7 / 100) = 0,523.$$

Sijoittamalla selvitetty arvo kaavaan 2, voidaan laskea simuloinnin tuloksiin perustuva vakiovalosäädöllä saatavutettava säästö vuositasona.

$$W_{L,t} = \sum\{(P_n * F_c) * [(t_D * F_0 * F_D) + (t_N * F_0)]\} / 1000 \text{ [kWh]} \quad (2)$$

$$W_{L,t} = \sum\{(132 \text{ W} * 0,9) * [(2250 \text{ h} * 0,9 * 0,523) + (250 \text{ h} * 0,9)]\} / 1000 \text{ [kWh]}$$

$$W_{L,t} = \sum\{118,8 \text{ W} * [(1058,6 \text{ h}) + (225 \text{ h})]\} / 1000 \text{ [kWh]}$$

$$W_{L,t} = n. 152,5 \text{ [kWh]}$$

Taulukko 5. Simuloinnin arvoihin perustuva vuotuinen säästö.

Energia / Kustannus		Vuosikustannukset mittausarvoilla laskettuna (0,15 €/kWh)		
kWh / €		CR Kutomo	Kerros	Rakennus
Ei vakiovalosäätöä		297 / 44,55	2970 / 445,5	14850 / 2227,5
Vakiovalosäädöllä Fd=0,523		152,5 / 22,9	1524,9 / 228,7	7624,7 / 1143,7
Saavutettava säästö n. 48,6 %	kWh	144,5	1445	7225,3
	€	21,7	216,8	1083,8
Huom. Rakennuksessa 5 kerrosta, joissa jokaisessa 10 neuvotteluhuonetta				

Simuloinnin mukaan vuotuista säästöä kertyisi noin 48,6 %. Saavutettavien säästöjen euromääräisiä summia tarkastellessa, on hyvä muistaa neuvotteluhuoneen valaistuksen energiankulutus. Säästöt olisivat vieläkin isompia, jos tilaa valaistaisiin tehokkaammilla valaisimilla.

Taulukko 6. Valaistuksen elinkaaren aikana kertyvät säästöt.

Kustannussäästö	Saavutettava säästö vakiovalosäädöllä (€)		
	€	CR Kutomo	Kerros
1 vuosi	21,7	216,8	1083,8
5 vuotta	108,4	1083,8	5419
20 vuotta	433,5	4335,2	21 676
Huom. Rakennuksessa 5 kerrosta, joissa jokaisessa 10 neuvotteluhuonetta			

Taulukossa 6 tarkastellaan saavutettavia säästöjä pidemmällä aikavälillä. Elinajaksi uudelle LED-valaisimelle luvataan yleensä noin 50 000 tuntia. Toimistoympäristössä tämä tarkoittaa yli 22 vuoden jaksoa. Mittaustilanteessa päivänvalolle laskettiin keskiarvoksi 341 luksia, mutta simuloinnilla saavutettiin 289 luksin keskiarvo. Tästä syystä säästö olisi todennäköisesti hieman taulukoissa esitettyjä arvoja suurempi.

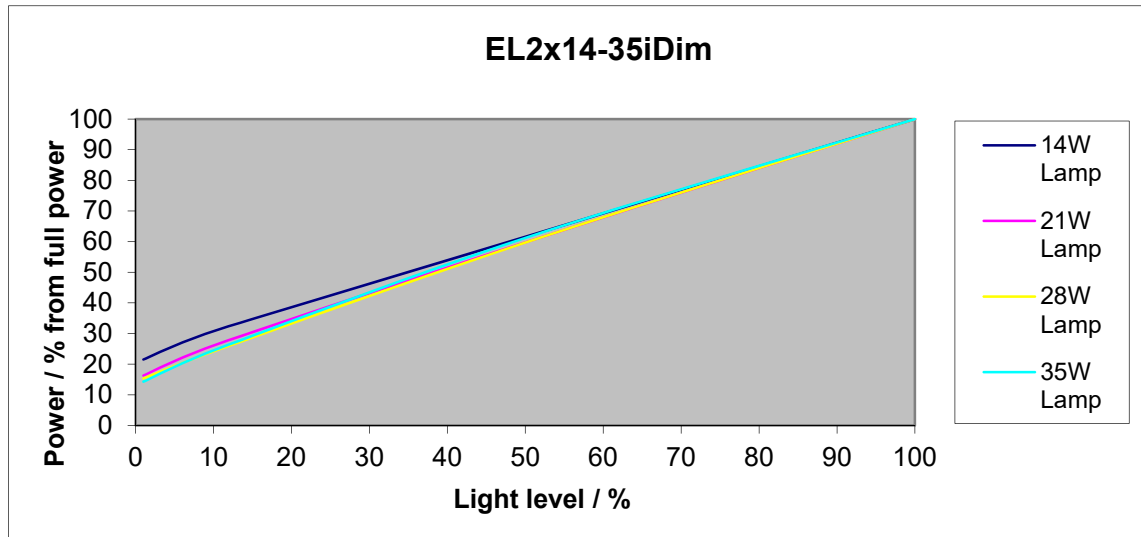
7 Yhteenveto

Vaikka lasipintojen pinta-alaa kasvattamalla rakennukseen saadaan lisää päivänvaloa, on valaistussuunnittelijan usein vaikea vaikuttaa asiaan. Rakennuksen ulkoasu on usein hyvin pitkälti jo arkkitehdin määrittelemä, kun valaistussuunnittelija pääsee kiinni työhönsä. Suunnittelijan on keksittävä keinoja hyödyntää saatavissa oleva päivänvalo mahdollisimman tehokkaasti.

Tämän tutkimustyön aloitusvaiheessa oli aihe rajattava mahdollisimman tarkasti, jottei sisältö karkaisi liian kauas tarkoitettusta tutkimuskohteesta. Näin ollen katsoin parhaaksi rajata oletussuunnittelukohteeksi toimistotilan ja jättää muun muassa suuremman ikkunakoon aiheuttamat lämpöhäviöt normaaliin ikkunaan verrattuna pohdintojen ulkopuolelle. Voidaan kuitenkin todeta suuremman ikkunakoon kasvattavan lämpöhäviöitä, jotka puolestaan vaikuttavat rakennuksen energiatehokkuuteen. Insinööriyön palaverissa työn ohjaaja, lehtori Tapio Kallasjoki mainitsi kuulleen eräältä lasiasiantuntijalta mietteen ”hyvä ikkuna on seinää parempi lämpöeriste”. Näin ollen ikkunoiden kehittyessä mahdollisuudet käyttää energiatehokkaasti yhä suurempia ikkunoita tulevat kasvamaan.

Tutkimusprosessin edetessä havaittiin monia päivänvalon hyödyntämiseen suuresti vaikuttavia seikkoja, joiden vaikutusta ei aloitusvaiheessa otettu huomioon tai vaikutusta ajateltiin pienemmäksi. Saavutettavaan energiansäästöön eniten vaikuttava yksittäinen komponentti on valaisimessa käytettävä liitäntälaitte. Vasta yhteydenotto Helvarin tekniseen asiakastukipäällikköön sai ymmärtämään liitäntälaitteen vaikutuksen laajuuden. Kuten aikaisemmin kappaleessa 6.3.1 todettiin, valaisimissa käytetään vaihtelevasti erilaisen EE1-luokituksen saaneita tuotteita. Laskennallisia säästöjä vertaillen on syytä muistaa, että tuloksien saavuttamiseksi on käytettävä optimaalista

liitäntälaitetta. Taulukoidut säästöt saavutetaan liitäntälaitteella, jonka avulla valaisimen ottoteho vähenee samassa suhteessa valaistustason himmenemiseen. Toisin sanottuna puolella alkuperäisestä valaistusvoimakkuudesta kulutetaan puolet alkuperäisestä ottotehosta. Valmistajalta saatujen taulukoiden perusteella todellinen tehonkulutus puolella valaistusvoimakkuudella on noin 44-62 %. [16.]



Kuva 11. EL2x14-35iDim –liitäntälaitteen teho valaistustason muuttujana. [16.]

Kuvan 11 kuvaajasta voidaan havaita valaisimen ottotehon laskevan lähes lineaarisesti valaisinta himmennettäessä. Tästä huolimatta teho ei näytä laskevan täysin samassa suhteessa valaistustason kanssa, joten himmennysprosenttia ei voida rinnastaa vähentyneen ottotehon määräksi. Kuvaajasta voidaan lukea, että himmentäessä 28 watin lamppua puoleen alkuperäisestä valaistustasosta tehoa kuluu noin 60 % alkuperäiseen kulutukseen verrattuna.

Valaistuskokonaisuudella saavutettavia energiansäästöjä tarkastellessa on otettava kaikki tarvittavat muuttujat huomioon, ja kiinnitettävä huomiota myös pieniin yksityiskohtiin. Pienikin muutos tilan rakenteessa, valaisimessa tai maantieteellisessä sijainnissa saattaa vaikuttaa saavutettavaan lopputulokseen suuresti.

Lähteet

- 1 Cooper Lighting and Security. 2006. Lighting Solutions, s. 480. Luettu 17.1.2016
- 2 Sesko ry. 2011. Standardi SFS-EN 12464-1: Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 3 Partonen, Timo. 2014. Lehtiartikkeli: Univaje lisää nälkää, kiloja ja ärtyneisyyttä. Länsiväylä. 25.–26.1.2014.
- 4 Sesko ry. 2008. Standardi SFS-EN 15193: Rakennusten energiatehokkuus. Valaistuksen energiatehokkuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 5 Sääennuste 30.11.2015. Foreca Oy. Verkkodokumentti. <<http://www.foreca.fi/Finland/Helsinki>> Luettu 30.11.2015
- 6 Kari, Simo. Valaistuksen ohjausjärjestelmät, s.18–19. 2012. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://www.theseus.fi/handle/10024/42452>> Luettu 26.11.2015
- 7 Malinen, Toni. Stakeholder benefits of intelligent stand-alone lighting solutions, s.9-31. 2015. Diplomityö. Aalto-yliopiston sähkötekniikan korkeakoulu. <<https://aaltdoc.aalto.fi/handle/123456789/19169>> Luettu 24.1.2016
- 8 Helvar Oy Ab. 2015. Active+ -erillisratkaisu. Verkkodokumentti. <<http://www.helvar.com/products/ActivePlus?language=>> Luettu 24.1.2016
- 9 Himmennystekniikat. 2015. Verkkodokumentti. Leditalo Oy. <<http://www.leditalo.fi/index.php?id=6/>> Luettu 22.11.2015
- 10 A standardised digital protocol for dimming. 2015. Verkkodokumentti. Fagerhult Oy. <<http://www.fagerhult.com/fi/Valonsaato/About-DALI/>> Luettu 21.11.2015
- 11 Fagerhult Oy. 2014. e-Sense Tune. Verkkodokumentti. <<http://www.fagerhult.com/Light-control/e-sense/e-Sense-Tune>> Luettu 25.1.2016
- 12 Kallasjoki, Tapio. 2014. Valaistussuunnittelu & luova ongelmanratkaisu. Luentomateriaali. Valoakatemia 11.2.2014. Suomen Valoteknillinen Seura ry.
- 13 ESYLUX Suomi Oy. 2011. Projektointikäsikirja: Ohjeita valaistuksen automaattiseen ohjaukseen läsnäolo- ja liikeilmaisimilla. Verkkodokumentti. <<https://www.esylux.com/fi/fi/>> Luettu 10.12.2015

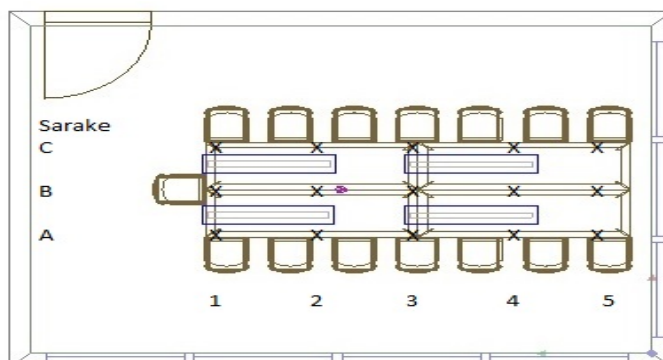
- 14 DIAL GmbH. 2015. Software, DIALux, By planners for planners. Verkkodokumentti. <<http://www.dial.de/DIAL/en/dialux.html>> Luettu 15.1.2016
- 15 BREEAM. 2011. Daylighting. Verkkodokumentti. <http://www.breeam.com/BREEAM2011SchemeDocument/Content/05_health/hea01.htm> Luettu 25.1.2016
- 16 Pertti Mattila, Helvar Oy Ab. 2016. Liitäntälaitteiden energiatehokkuus. Sähköpostikeskustelu 26.2.2016.

Mittaustulokset

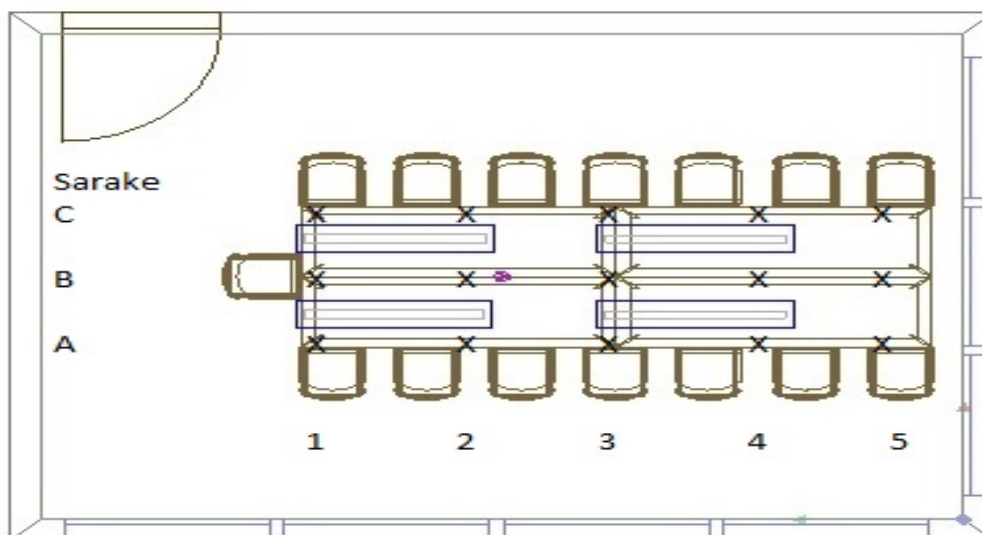
Neuvotteluhuoneessa CR Kutomo päivänvalolla ja kokonaisvalaistuksella suoritettujen valaistusvoimakkuusmittauksien tulokset ja tuloksista laskettu keinovalaistuksen osuus.

Mittauspöytäkirja					
Valaistustilanne	Päivänvalo				
Tehtävä	Valaistuksen arviointi, 19.1.2016				
Paikka	Ramboll Espoo, Säterinkatu 6, CR Kutomo				
Laatinut	Lauri Klemelä				
Sarake	A		B		C
1	295		191		123
2	321		218		156
3	351		257		212
4	450		365		331
5	631		633		582
Esitetyt arvot lukseina (lx), pöydälle laskettu keskiarvo n. 341 lx					

Mittauspöytäkirja					
Valaistustilanne	Kokonaisvalaistus				
Tehtävä	Valaistuksen arviointi, 19.1.2016				
Paikka	Ramboll Espoo, Säterinkatu 6, CR Kutomo				
Laatinut	Lauri Klemelä				
Sarake	A		B		C
1	573		528		412
2	503		422		334
3	572		516		423
4	648		603		530
5	720		700		661
Esitetyt arvot lukseina (lx), pöydälle laskettu keskiarvo n. 543 lx					



Mittauspöytäkirja						
Valaistustilanne		Keinovalaistus				
Tehtävä		Valaistuksen arviointi, 19.1.2016				
Paikka		Ramboll Espoo, Säterinkatu 6, CR Kutomo				
Laatinut		Lauri Klemelä				
Sarake		A		B		C
1		278		337		289
2		182		204		178
3		221		259		211
4		198		238		199
5		89		67		79
Esitetyt arvot lukseina (lx), pöydälle laskettu keskiarvo n. 202 lx						



Päivänvalosimuloinnin tulokset

DIALuxilla laaditun simuloinnin tulokset mittausrasterissa ja vääräväri-kuvana.

Opinnäytetyön mittauksia



DIALux
20.01.2016

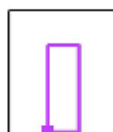
Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Kutomo / Valaistustilanne 1 / Laskentarasteri 1 / Arvokaavio (E, kohtisuora)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 33

Pinnan sijainti tilassa:
Merkitty piste: (1.597 m, 0.200 m,
0.750 m)



Rasteri: 3 x 5 Pisteet

E_m [lx]
289

E_{min} [lx]
144

E_{max} [lx]
476

E_{min} / E_m
0.50

E_{min} / E_{max}
0.30

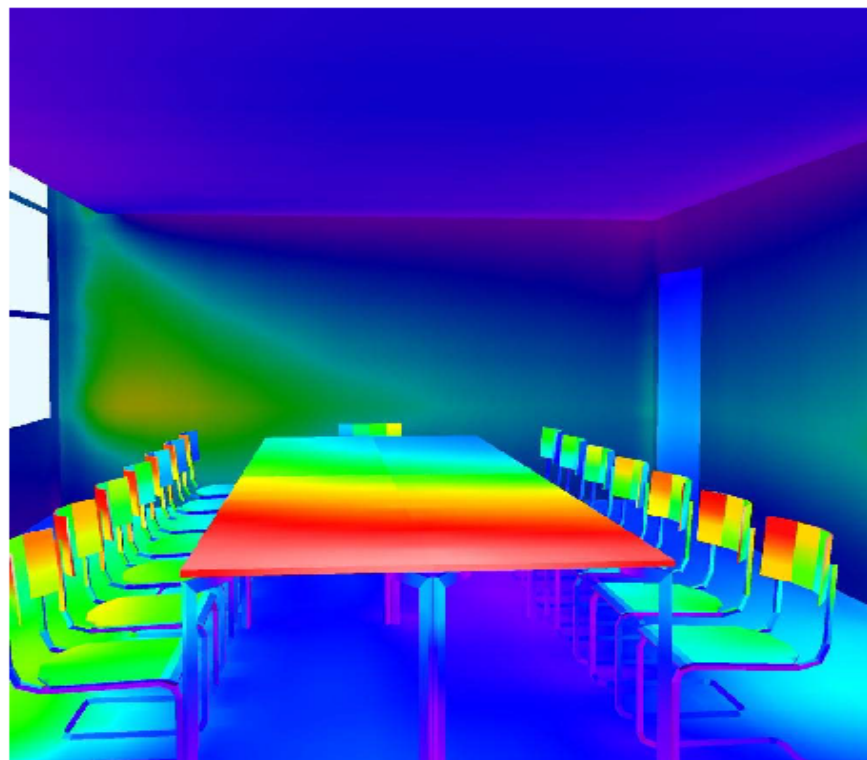
Opinnäytetyön mittauksia



DIALux
20.01.2016

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Kutomo / Valaistustilanne 1 / Vääräväri-kuvanmuodostus



0 50 100 200 250 300 350 400 500 lx

Simuloinnin tulokset ikkunoiden pienentämisen jälkeen

Mittaustason rasterista taulukoidut valaistusvoimakkuuden arvot ja vääräväri-kuva ikkunapinta-alan pienentämisen jälkeen.

Opinnäytetyön mittauksia



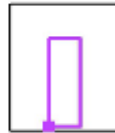
DIALux
25.01.2016

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Kutomo / Valaistustilanne 1 / Laskentarasteri 1 / Taulukko (E, kohtisuora)



Pinnan sijainti tilassa:
Merkitty piste: (1.597 m, 0.200 m,
0.750 m)



4.500	157	123	<u>103</u>
3.500	172	141	122
2.500	206	178	160
1.500	<u>288</u>	269	255
0.500	273	272	259
m	0.300	0.900	1.500

Huomio: Koordinaatit viittaavat yläpuolella olevaan kuvaan. Arvot (yksikkö) Lux.

Rasteri: 3 x 5 Pisteet

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
199	103	288	0.52	0.36

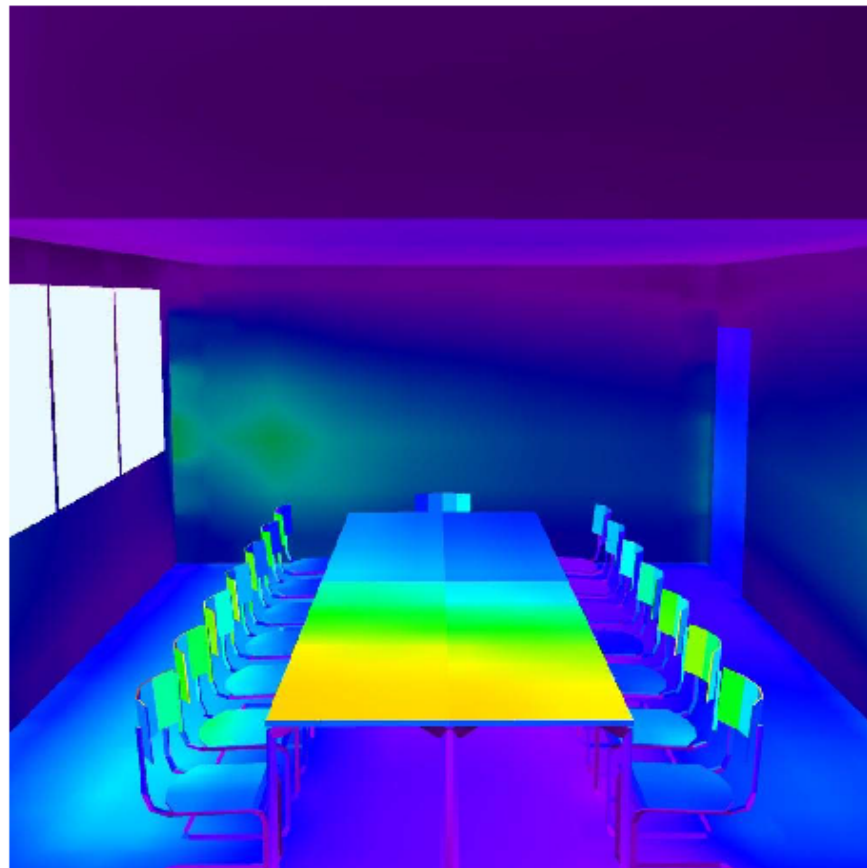
Opinnäytetyön mittauksia



DIALux
26.01.2016

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Kutomo / Valaistustilanne 1 / Vääräväri-kuvanmuodostus



0 50 100 200 250 300 350 400 500 lx