

Juhani Mikkonen

Langattomat valaistuksen ohjausjärjestelmät – Osram Lightify Pro

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

28.8.2015

Tekijä Otsikko	Juhani Mikkonen Langattomat valaistuksen ohjausjärjestelmät – Osram Lightify Pro
Sivumäärä Aika	81 sivua + 2 liitettä 28.8.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Projektipäällikkö Stefan Biström Lehtori Jarno Nurmio
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Granlund Oy:n toimeksiantona. Työssä tutkittiin langattomien valaistuksen ohjausjärjestelmien rakennetta, ominaisuuksia ja toiminnallisuutta. Työssä perehdyttiin tarkemmin Osram Lightify Pro -langattomaan valaistuksen ohjausjärjestelmään, ja tarkasteltiin sen ominaisuuksia ja mahdollisuuksia verrattuna säätämättömiin ja langallisiin ohjausjärjestelmiin.</p> <p>Lightify Pro -langaton valaistuksen ohjausjärjestelmä on tarkoitettu pienten ja keskisuurten julkisten tilojen valaistuksen ohjausjärjestelmäksi, jota voidaan ohjata painike- ja sensoriohjauksen lisäksi myös mobiililaitteeseen ladattavalla sovelluksella. Työssä selvitettiin Lightify Pro -järjestelmän mahdollisia toiminnallisia ja taloudellisia etuja sekä soveltuvuutta saneerauskohteen uudeksi valaistuksen ohjausjärjestelmäksi.</p> <p>Työ toteutettiin suunnittelemalla ja toteuttamalla testiasennus Lightify Pro -järjestelmällä kahteen Granlund Oy:n Helsingin toimipisteen neuvotteluhuoneeseen. Järjestelmälle suoritettiin käyttöönottoimenpiteet ja perehdyttiin sen käyttöön järjestelmän arvioimiseksi. Järjestelmän kustannuksia testihuoneiden asennuksissa tarkasteltiin kustannuslaskurilla ja verrattiin vastaavaan langallisella DALI-ohjausjärjestelmällä suunniteltuun asennukseen.</p> <p>Työssä todettiin Lightify Pro -järjestelmän olevan nopea ja yksinkertainen asentaa. Lisäksi todettiin, että se tarjoaa monipuoliset valaistuksen ohjausmahdollisuudet, sekä mahdollistaa näin energiatehokkaan valaistuksen. Työssä todettiin myös, että Lightify Pro -järjestelmän asennuskustannukset ovat pienemmät kuin langallisen DALI-järjestelmän asennuskustannukset. Työssä havaittiin Lightify Pro -järjestelmän tarjoavan yksinkertaisen ja intuitiivisen käyttöönotto- ja käyttökokemuksen, mutta myös todettiin siinä olevan vielä uusille järjestelmille tyypillisiä kehittämiskohteita.</p>	
Avainsanat	valaistus, langaton valaistuksen ohjaus, Osram Lightify Pro

Author Title	Juhani Mikkonen Wireless Lighting Control Systems – Osram Lightify Pro
Number of Pages Date	81 pages + 2 appendices 28 August 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Stefan Biström, Project Manager Jarno Nurmio, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by Granlund Oy. The aim of this thesis was to examine the structures, features and functionalities of wireless lighting control systems. The focus in this thesis was to study the features and possibilities of Osram Lightify Pro wireless lighting control system, compared to uncontrolled and wired lighting control systems.</p> <p>Lightify Pro wireless lighting control system is designed for small to medium-sized lighting installations, for example for offices and shops. It has a variety of controlling options, including switches, sensors and an application for mobile devices. The possible functional and economic advantages of the system, and also its suitability as a new lighting control system for renovation projects, were examined in this study.</p> <p>The study was implemented by designing and executing a test installation into two meeting rooms of Granlund Oy, using Lightify Pro wireless lighting control system. After the installation, the system was configured and tested for reviewing. The costs of the system's test installation were examined using cost calculator, and compared to a similar installation that was planned using DALI wired control system.</p> <p>It was discovered, that the installation of Lightify Pro wireless lighting control system is fast and simple, and it also offers versatile lighting control possibilities that allow energy-efficient lighting. Results also indicate that the installation costs of Lightify Pro wireless system are smaller than the installation costs of the DALI wired system. The study shows that Lightify Pro wireless lighting control system offers a simple, intuitive configuration and operation, but that it also has some minor flaws, typical for new systems.</p>	
Keywords	lighting, wireless lighting control, Osram Lightify Pro

Sisällys

Lyhenteet ja määritelmät

1	Johdanto	1
2	Valaistuksen ohjausjärjestelmät	2
2.1	Yleistä valaistuksen ohjausjärjestelmistä	2
2.2	Valaistuksen ohjausmenetelmät	3
2.2.1	Päälle ja pois -ohjaus	3
2.2.2	Himmennys	4
2.2.3	Läsnäolo- ja poissaolo-ohjaus	5
2.2.4	Päivänvalo-ohjaus	5
2.3	Valaistuksen ohjauksen vaikutukset	6
3	Langattomat valaistuksen ohjausjärjestelmät	9
3.1	Langaton tiedonsiirto	10
3.2	Sähkömagneettinen säteily langattomassa valaistuksen ohjauksessa	11
3.2.1	Mikroaallot	12
3.2.2	Infrapunäsäteily	13
3.3	Langattoman valaistuksen ohjausjärjestelmän rakenne ja toiminta	14
3.4	WMesh-verkko	17
3.5	Langattomat valaistuksen ohjausprotokollat	19
3.6	ZigBee-protokolla	20
4	Osram Lightify Pro -järjestelmä	22
4.1	Lightify Pro -komponentit ja -sovellukset	23
4.1.1	Lightify Pro Gateway -ohjausyksikkö	23
4.1.2	Lightify Pro DSE ja SSE -yksiköt	24
4.1.3	Lightify Pro PBC -yksikkö	25
4.1.4	Lightify Pro Commissioning ja Control -sovellukset	26
4.1.5	Lightify Pro -valaisimet	27
4.2	Lightify Pro -järjestelmän toimintaperiaate	28
4.3	Lightify Pro -järjestelmän teknologia	30
4.4	Lightify Pro -järjestelmän ominaisuudet	31
5	Lightify Pro -testiasennuksen suunnittelu	33
5.1	Standardin SFS-EN 12464-1 -valaistusvaatimukset	33

5.2	Lightify Pro -testiasennuksen valaistussuunnittelu	36
5.2.1	Valaisimien valinta	37
5.2.2	Dialux-valaistuslaskelma	42
5.3	Lightify Pro -testiasennuksen asennussuunnittelu	47
6	Lightify Pro -järjestelmän käyttö ja arviointi	51
6.1	Lightify Pro -järjestelmän konfigurointi Commissioning-sovelluksella	51
6.1.1	Yhdistäminen Gateway-ohjausyksikköön	51
6.1.2	<i>Dashboard</i> -näkyvä	53
6.1.3	Uusien laitteiden etsiminen	54
6.1.4	Laitteiden tunnistaminen	55
6.1.5	<i>Canvas</i> -näkyvä	56
6.1.6	Valaistusryhmien muodostaminen ja konfigurointi	57
6.1.7	Valaistustilanteiden määrittäminen	60
6.1.8	Kytkimien/painikkeiden ja sensorien konfigurointi	61
6.1.9	QR-koodien luominen	63
6.2	Lightify Pro -järjestelmän käyttäminen Control-sovelluksella	65
6.3	Lightify Pro -järjestelmän arviointi	67
6.3.1	Lightify Pro -järjestelmän asentaminen ja konfigurointi	67
6.3.2	Lightify Pro -järjestelmän luotettavuus	69
6.3.3	Lightify Pro -järjestelmän käyttäjäystävällisyys	70
6.4	Kustannuslaskelmat	72
7	Yhteenveto	77
	Lähteet	79
	Liitteet	
	Liite 1. Dialux-valaistuslaskelma	
	Liite 2. Testihuoneiden sähköasennuspiirustus	

Lyhenteet ja määritelmät

Bluetooth	Lyhyen kantaman, 2,4 GHz:n vapaalla taajuudella toimiva langaton tiedonsiirtotekniikka.
DALI	<i>Digital Addressable Lighting Interface</i> . Digitaalinen valaistuksen ohjausväylä elektronisille liitäntälaitteille.
Hotspot	Julkinen langaton lähiverkko.
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> . Kansainvälinen tekniikan alan järjestö.
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i> . Radiotaajuuskaista, jonka käyttö ei vaadi erillistä lupaa ja on alun perin tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön.
LED	<i>Light Emitting Diode</i> . Hohtodiodi.
Mesh	Verkkotopologia, jossa jokainen verkon piste toimii datan välittäjänä.
P2P	<i>Peer to Peer</i> . Vertaisverkko, jossa ei ole kiinteitä palvelimia ja asiakkaita, vaan jokainen verkkoon kytketty taho toimii sekä palvelimena että asiakkaana verkon muille jäsenille.
PIR	<i>Passive Infrared sensor</i> . Passiivinen infrapunatunnistin, joka tunnistaa kehon tai muun lämmönlähteen liikkeestä johtuvat infrapunasäteilyn voimakkuuden vaihtelut.
QR-koodi	<i>Quick Response</i> -koodi. Kaksiulotteinen kuviokoodi, joka sisältää informaatiota sekä vaak- että pystysuunnassa.
RF	<i>Radio Frequency</i> . Radiotaajuus.
UHF	<i>Ultra High Frequency</i> . Mikroaaltojen taajuusalue välillä 300 - 3 000 MHz.

WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i> . IEEE 802.11 -standardin langaton lähiverkoteknikka.
ZigBee	IEEE 802.15.4 -standardin mukainen lyhyen kantaman tietoliikenneverkko.

1 Johdanto

Valaistuksen ohjausjärjestelmät ovat kehittyneet viimeisen vuosikymmenen aikana huomattavasti. LED-valaistuksen läpimurto on tuonut uusia mahdollisuuksia valaistuksen ohjaukseen, ja näin ollen valaistusalan yritykset ovat ryhtyneet panostamaan älykkäiden valaistuksen ohjausjärjestelmien kehittämiseen. Valaistuksen laatua voidaan parantaa merkittävästi älykkäillä ohjausjärjestelmillä, jotka lisäävät valaistuksen kärtömukavuutta, joustavuutta sekä tuovat huomattavia energiasäästöjä.

Viime vuosina kiinnostus langattomia ohjausjärjestelmiä kohtaan on ollut kasvussa niin yritysten kuin yksittäisten kuluttajienkin keskuudessa, kun valaistusalan yritykset tuovat omia järjestelmiään markkinoille. Pyrittäessä valaistuksessa uusien energiatehokkuusasetusten mukaisiin vaatimuksiin tarjoavat langattomat ohjausjärjestelmät kustannustehokkaan vaihtoehdon etenkin saneerauskohteiden valaistusjärjestelmien uusimiseen.

Tässä insinööriyössä käsitellään Osram Lightify Pro -langattoman valaistuksen ohjausjärjestelmän ominaisuuksia ja mahdollisuuksia sekä sen soveltuvuutta saneerauskohteen uudeksi valaistuksen ohjausjärjestelmäksi. Työssä selvitetään lisäksi järjestelmän toiminnallisia ja taloudellisia etuja verrattuna säätämättömiin ja langallisiin valaistuksen ohjausjärjestelmiin. Työssä esitellään suunniteltu ja urakoitsijan asentama Lightify Pro -järjestelmän testiasennus, joka toteutettiin järjestelmän arvioimista varten. Testiasennus toteutettiin Granlund Oy:n Helsingin päätoimipisteen kahteen neuvotteluhuoneeseen.

Työ tehtiin toimeksiantona Granlund Oy:lle. Granlund on talotekniikkasuunnittelun, kiinteistö-, energia- ja ympäristöasioiden konsultoinnin sekä ohjelmistojen asiantuntijakonserni. Granlund on perustettu vuonna 1960 ja konsernissa työskentelee yli 500 asiantuntijaa. Granlund on Suomen johtava toimija kaikilla palvelualueillaan ja panostaa uusien energiaratkaisujen, toimialojaan tukevien ohjelmistojen sekä integroidun suunnittelun kehittämiseen. Työssä on tarkoituksena myös selvittää Granlund Oy:lle Lightify Pro -järjestelmän käyttökelpoisuutta yrityksen suunnittelukohteissa.

2 Valaistuksen ohjausjärjestelmät

2.1 Yleistä valaistuksen ohjausjärjestelmistä

Valaistuksen ohjausjärjestelmillä pyritään parantamaan valaistuksen laatua. Tavoitteena on saada valoa aina oikea määrä sinne, missä sitä tarvitaan. Valaistuksen ohjausjärjestelmät vähentävät valaistuksen käyttökustannuksia ja lisäävät tilankäytön joustavuutta sekä valaistuksen käyttömukavuutta. Lisäksi ohjausjärjestelmät mahdollistavat eri käyttötarpeiden toteutuksen ja eri käyttötoimenpiteiden yksinkertaistamisen sekä tuovat säästöjä energia- ja käyttökustannuksiin. Valaistuksen ohjauksella voidaan valaistus sammuttaa tai himmentää tarvittaessa niin pienissä kuin suurissakin kiinteistöissä. Ohjausjärjestelmän avulla valaistuksen käyttäjät voivat säätää valaistuksen tarpeidensa mukaiseksi. [1.]

Valaistuksen ohjausjärjestelmä koostuu ohjauskomponenteista, käytettävästä teknologiasta sekä näiden avulla toteutettavista ohjausmenetelmistä. Valaistuksen ohjausjärjestelmät vaihtelevat laajuudeltaan yksinkertaisista huonekohtaisista järjestelmistä koko kiinteistön kattaviin älykkäisiin järjestelmiin. Valaistuksen ohjausjärjestelmä on mahdollista liittää kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmään, jolloin valaistusta voidaan ohjata samalla järjestelmällä kuin rakennuksen muutakin tekniikkaa.

Ohjausjärjestelmät voivat olla joko langallisesti tai langattomasti toimivia. Langallisesti toteutettavissa järjestelmissä järjestelmän ohjauskomponentit ja valaisimet yhdistetään toisiinsa ohjausjohtimilla. Langattomassa järjestelmässä ohjauskomponentit ja valaisimet kommunikoivat keskenään radioaaltojen välityksellä.

Valaistuksen ohjausjärjestelmän valintaan vaikuttavat ensisijaisesti käyttäjän tarpeet. Tarpeet määrittelevät halutut ohjausmenetelmät ja niiden perusteella valitaan kuormatyypille sopivat ohjauskomponentit. Ohjausjärjestelmän valinta joudutaan usein tekemään kääntäen, eli komponentit ja ohjausmenetelmät valitaan säädettävien valonlähteiden mukaan. [2.]

Langallisessa valaistuksen ohjausjärjestelmässä valaisimet vaativat ohjausjohtimet sähkön syöttöjohtimien lisäksi. Myös kaikki valaistuksen ohjauskomponentit on liitettävä järjestelmään ohjausjohtimilla. Ohjausjohtimien tarve nostaa valaistuksen asennus-

kustannuksia ja asettaa rajoitteita valaisimien sijoittelulle. Langallisten valaistuksen ohjausjärjestelmien rajoittavina tekijöinä pidetään niiden joustamattomuutta, monimutkaisuutta sekä joissain tapauksissa pitkiä takaisinmaksuaikoja [3]. Suurissa ja asennusten kannalta hankalissa kohteissa langallinen ohjausjärjestelmä voi olla epäedullinen ratkaisu. Etenkin saneerauskohteissa ohjausjohtimien asennus voi olla hankalaa ja kallista. Langaton valaistuksen ohjausjärjestelmä on vaihtoehto perinteiselle langalliselle järjestelmälle tarjoten muun muassa joustavuutta ja uusia mahdollisuuksia valaistuksen ohjaukseen.

2.2 Valaistuksen ohjausmenetelmät

Valaistuksen ohjausmenetelmillä on tarkoitus vähentää valaistukseen kuluva energiaa ja tuottaa käyttäjälle mahdollisimman tarkoituksenmukainen ja miellyttävä valaistus. Valaistuksen ohjausjärjestelmässä voidaan valaistusta ohjata yhdellä tai usealla eri menetelmällä. Käyttämällä valaistuksen ohjaukseen kaikkien menetelmien yhdistelmää saadaan aikaan energiatehokkain valaistus: keinovalaistus on päällä vain silloin, kun sitä tarvitaan, ja valaistustaso pysyy jatkuvasti käyttäjän määrittelemällä tasolla. Yhdistämällä valaistuksen läsnäolo-ohjaukseen päivänvalo-ohjauksen voidaan saavuttaa jopa 60 - 80 % energiansäästöt [4].

2.2.1 Päälle ja pois -ohjaus

Valaistuksen ohjaukset on perinteisesti toteutettu päälle ja pois -ohjauksina. Ohjauslaitteena voidaan käyttää esimerkiksi kytkintä ovenpieleessä, valaisimessa olevaa vetokytkintä tai kontaktoria. Päälle ja pois -ohjauksessa käyttäjällä on yleensä valittavana kaksi vaihtoehtoa: valot ovat joko päällä tai pois päältä. Valaisimet voidaan sytyttää ainakin kahdessa ryhmässä käyttämällä siihen soveltuvaa kytkintä. Myös valaisimien lamppuja on mahdollista ohjata erikseen ns. kruunukytkennän avulla.

Päälle ja pois -ohjaus on edelleen suosittu ohjaustapa. Ohjaustapa on yksinkertainen ja sillä voidaan ohjata minkälaisia kuormia tahansa. Myös hankintakustannukset ovat pienemmät kuin muissa ohjaustavoissa. Päälle ja pois -ohjaustapaa suositetaan harvoin käytettäviin tiloihin, joihin ei ole kannattavaa hankkia monipuolisempaa ja kalliimpaa ohjaustapaa.

Päälle ja pois -ohjauksessa valaistuksen kuluttama energia on vakio koko käyttöajan. Päälle ja pois -ohjauksessa energiankulutus saattaa muodostua suureksi, sillä käyttäjän on aina muistettava sammuttaa valot manuaalisesti. [5.]

2.2.2 Himmennys

Valaistuksen himmentämisellä pyritään energiansäästöön ja valaistustason säätämiseen tarpeenmukaiselle tasolle. Himentämiseen on olemassa useita eri tekniikoita. Himmentämisellä saavutettava energiansäästö on riippuvainen lamputyypistä, esimerkiksi loistelampuilla himmennuksen vaikutus tehon kulutukseen on lähes lineaarista. Himmentämiseen käytetään yleensä joko pyöritettävää himmennintä tai painikkeita.

PWM- eli pulssinleveysmodulaatiohimmennyksessä valaisimen kirkkautta säädetään ohjaussignaalin pulssisuhdetta muuttamalla. Valaisimen kirkkaus määräytyy sen mukaan, kuinka pitkään valaisinta pidetään päällä suhteessa aikaan, jonka valaisin on pois päältä, valaisimen kytkeytyessä päälle ja pois tuhansia kertoja minuutissa.

1 - 10 V:n himmennyksessä käytetään yleensä pyöritettävää himmennintä, jolla säädetään elektronisen liitäntälaitteelle syötettävää jännitettä 1 - 10 V. Säätojännitteen skaala 1 - 10 V tarkoittaa 0 - 100 % tehosta. Kyseinen himmennystekniikka kehitettiin purkauslampujen valaistuksen ohjaukseen.

Triac-himmennys perustuu himmentimen läpi kulkevan jännitteen katkomiseen. Himmentimen Triac-puolijohdekomponentti leikkaa valonlähteelle menevän jännitteen siniaaltoa, millä saadaan aikaan valonlähteen himmeneminen. Triac-himmennin vaatii yleensä 40 - 60 W:n kuorman toimiakseen ja sillä voidaan ohjata resistiivisiä ja induktiivisiä kuormia.

Transistorihimmennin toimii samalla periaatteella, mutta sen tuottama aaltomuoto on käännteinen Triac-himmentimen tuottamaan aaltomuotoon ja sillä voidaan ohjata myös kapasitiivisiä kuormia. Transistorihimmennyksessä minimikuormavaatimus on yleensä 9 - 60 W.

Analogisten himmennystekniikoiden lisäksi voidaan valaistusta himmentää myös digitaalisilla ohjausmenetelmillä. Näitä ovat esimerkiksi DMX-, DALI-, ja SwitchDIM-menetelmät. [6.]

2.2.3 Läsnaolo- ja poissaolo-ohjaus

Läsnaolo-ohjauksen tarkoituksena on estää valojen palaminen tarpeettomasti. Läsnaolo-ohjauksessa valot syttyvät, kun läsnaolotunnistin tekee havainnon läsnaolosta ja sammuvat, kun läsnaoloa ei ole havaittu määrätyn ajan kuluessa. Läsnaoloanturi voidaan asentaa kattoon, seinälle, tai se voi olla integroituna valaisimeen.

Läsnaololle asetetaan yleensä toimintaviive, jonka jälkeen valot sammuvat, mikäli tilassa ei havaita käyttäjiä. Toimintaviiveellä estetään myös liian usein toistuvia sammumisia, jotka lyhentävät lamppujen käyttöikää.

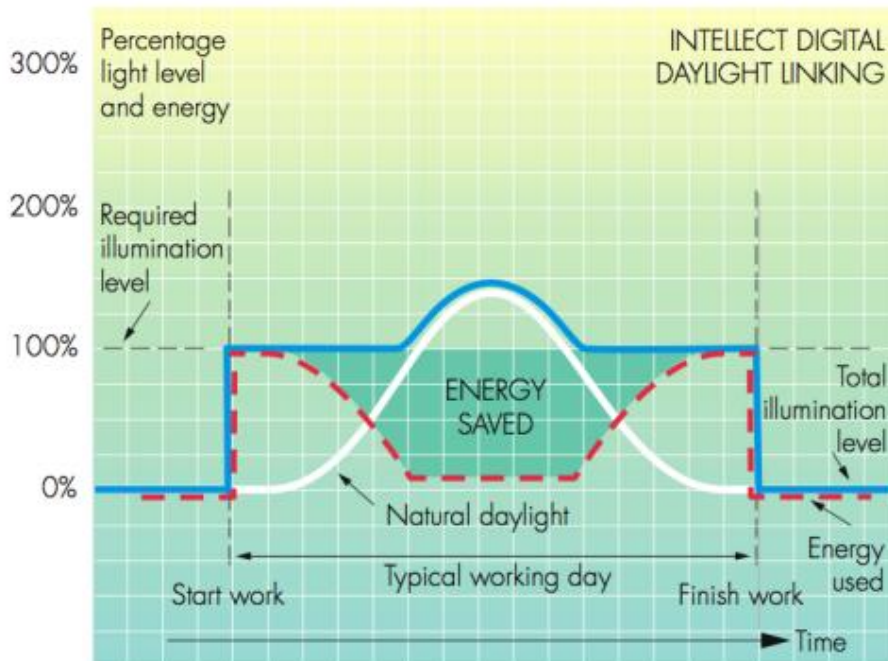
Läsnaolo-ohjauksella saavutettava energiansäästö on riippuvainen käytön luonteesta, eli miten paljon tiloista ollaan poissa, ja kuinka laajoja valvottavat alueet ovat. Energiainsäästö on suoraan verrannollinen aikaan, jolloin valaistus pysyy sammutettuna. Läsnaolo-ohjaukseen voidaan yhdistää myös valoisuusanturiominaisuus, jolla voidaan estää valaistuksen syttyminen, jos tilassa on riittävästi luonnonvaloa. Näin saadaan aikaan merkittävää lisäsäästöä.

Poissaolo-ohjauksessa valot eivät syty läsnaoloilmäsimen havainnosta, vaan ne on syytettävä manuaalisesti normaalista kytkimestä. Valot sammuvat automaattisesti asetetun viiveen jälkeen viimeisestä läsnaolohavainnosta. [1.]

2.2.4 Päivänvalo-ohjaus

Päivänvalo-ohjauksessa valaisimeen tai tilaan asennetaan päivänvalotunnistin, joka säätää keinovalaistuksen valaistustasoa sisään tulevan päivänvalon saatavuuden mukaan. Tunnistin pyrkii pitämään valaistuksen tason koko ajan vakiona mittaamalla havaintoalueen valaistusvoimakkuutta. Päivänvalon voimakkuus ja koostumus vaihtelevat kellonajan ja vuodenajan mukaan. Luonnonvalo on tärkeä valonlähde erityisesti huoneiden ikkunanpuoleisella reunalla. Päivänvalon määrä pienenee kauempana ikkunasta, ja lisäksi tarvitaan keinovalaistusta. [3; 5.]

Päivänvalo-ohjauksella saavutettava energiansäästöpotentiaali (kuva 1, ks. seur. s.) riippuu vuodenajasta, huoneen sijoittumisesta rakennuksesta ja ikkunoiden koosta.



Kuva 1. Päivänvalo-ohjauksella saavutettava energiansäästö [7].

Kuvasta voidaan havaita, että erityisesti keskipäivän aikoihin voi tulla tilanteita, jolloin keinovalaistus voidaan lähes sammuttaa ja silti säilyttää tavoitteiden mukainen valaistustaso. Keinovalaistuksen tarve on suurempi aamulla ja illalla kuin päivällä. Vastavasti keinovalaistusta tarvitaan enemmän alku- ja loppuvuodesta kuin esimerkiksi kesällä. Käyttämällä luonnonvaloa osana sisätilojen valaistusta voidaan päästä merkittäviin energiansäästöihin. [5.]

2.3 Valaistuksen ohjauksen vaikutukset

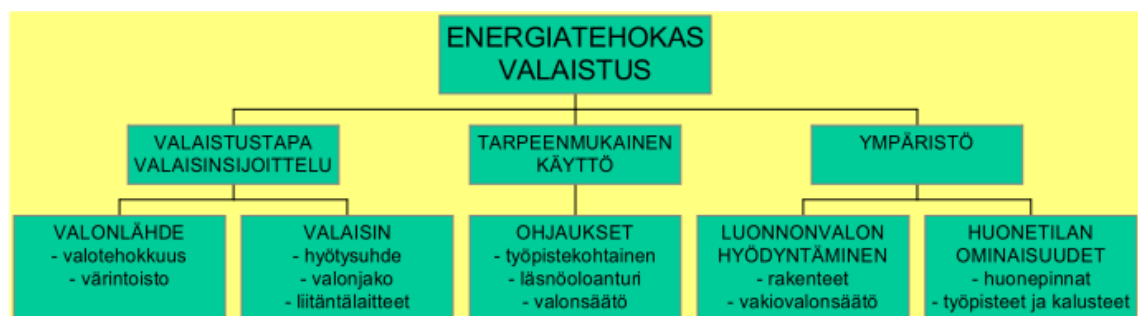
Valaistus kuluttaa noin 19 % sähköenergiasta maailmassa. EU-alueella vastaava osuus on noin 14 % ja Suomessa noin 12 %. Valaistuksen energiankulutus Euroopan unionin alueella vuonna 2007 oli yli 312 terawattituntia vastaten 125 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöjä. Vuonna 2009 noin 75 % EU-alueen valaistuksesta perustui vanhaan, energiatehokkuudeltaan heikkoon tekniikkaan. Euroopassa olemassa olevan valaistustekniikan hyödyntämättömällä säästöpotentiaalilla on arvioitu voitavan säästää 24 miljardia euroa vuotuisissa sähkökuluissa ja 85 miljoonaa tonnia hiilidioksidipäästöjä vuodessa. Taulukossa 1 (ks. seur. s.) esitetään Suomessa valaistukseen käytetyn sähköenergian säästöpotentiaali. [8; 9.]

Taulukko 1. Valaistukseen käytetyn sähköenergian säästöpotentiaali Suomessa [10].

Alue	Kulutus MWh/a	Säästö-potentiaali MWh/a	%	CO ₂ -päästöjen vähennys tonnia/a ⁵⁾
Kotivalaistus ¹⁾	1.600.000	1.000.000	62	200 000
Palvelu- ja julkinen valaistus ²⁾	4.000.000	1.200.000	30	240 000
Teollisuusvalaistus ³⁾	1.500.000	400.000	26	80 000
Katuvalaistus ⁴⁾	900.000	200.000	22	40 000
YHTEENSÄ	8.000.000	2.800.000	30	560 000

Energiakustannusten kasvu, lainsäädännön ja standardoinnin tiukentuminen ja halukkuus pienentää kasvihuonekaasupäästöjä ovat tuoneet energiatehokkaat valaistusratkaisut ajankohtaiseksi.

Energiatehokas valaistus koostuu kolmesta tekijästä: valaistustavasta, käytöstä ja ympäristöstä (kuva 2). Valaistustavassa huomioidaan valonlähteen valotehokkuus ja värintoisto, sekä valaisimen hyötysuhde, valonjako ja liitäntälaitte. Ympäristötekijät ovat valaistusratkaisuun kuulumattomia tekijöitä, jotka on valaistusta suunniteltaessa otettava huomioon. Näitä ovat huonetilan ominaisuudet ja luonnonvalon saatavuus. Käyttötapa liittyy olennaisesti valaistuksen ohjauksiin.



Kuva 2. Energiatehokkaaseen valaistukseen vaikuttavat tekijät [11].

Liikerakennuksissa valaistuksen kuluttama energia on noin 40 - 50 % niiden kuluttamasta sähköenergian kokonaismäärästä [11]. Yksi valaistusalan yritysten haasteista on valaistukseen kuluvan energian pienentäminen ja entistä energiatehokkaampien

ratkaisujen kehittäminen. Eräs keino pienentää valaistuksen energiankulutusta on vanhanaikaisen valonlähteen tai valaisimen korvaaminen energiatehokkaaseen LED-tekniikkaan perustuvalla valonlähteellä tai valaisimella. Myös tarpeettoman valaistuksen välttäminen ja valaistuksen kokonaismäärän ja valaistustasojen pitäminen tarvittavina ovat keinoja välttää turhaa energiankulutusta. Valaistuksen ohjaus on tehokkain tapa varmistaa tarpeettoman valaistuksen vähentäminen automaattisesti.

Valaistuksen ohjaus pienentää ympäristön kuormitusta myös muuten. Ohjaus lyhentää valaisimien päivittäistä käyttöaika ja pidentää siten lampunvaihtoväliä. Loistelamppujen toistuva sytyttäminen lyhentää lampun polttoaikaa, mutta himmentäminen puolestaan ei. Näin syntyy vähemmän lamppujätettä, ja lampunvaihtovälin piteneminen pienentää myös valaistushuollosta aiheutuvia kustannuksia.

Valaistuksen ohjauksella voidaan parantaa sekä käyttömukavuutta että laatua. Ihmisen ikä ja omat mieltymykset vaikuttavat jokaisen yksilölliseen valon tarpeeseen. Kun valaistus on himmennettävissä, voidaan säätää valaistusta omien tarpeiden ja mieltymysten mukaiseksi. Samoin kuin yksilön tarpeet, myös tilan käytettävyys on usein perusteena valaistuksen ohjaukselle. Tiloissa, joissa valaistustarpeet muuttuvat useita kertoja päivässä, valaistuksen ohjaukselta edellytetään joustavuutta. Nykyään esimerkiksi toimistotyössä työ on projekti- ja ryhmätöypohjaista, vuorovaikutteisempaa ja luovempaa verrattuna yksilökeskeiseen työskentelyyn henkilökohtaisessa toimistohuoneessa. Valaistuksen ohjauksella saadaan aikaan eri valaistustilanteita tilan eri käyttötarkoituksiin, kuten esimerkiksi esitystilanne ja neuvottelutilanne.

Valaistuksella on myös esteettinen merkitys. LED-tekniikan kehityksen myötä ulkotilojen arkkitehtuurivalaistukseen panostetaan yhä enenevässä määrin. Väritilanteiden ohjauksella synnytetään esteettisiä elämyksiä, mutta sillä voidaan pyrkiä myös toiminnallisiin tavoitteisiin. Esimerkiksi myymälävalaistuksessa valolla pyritään ohjaamaan sekä liikkumista että huomiota valaistuksen riittävällä vaihtelulla ja sen aiheuttamalla stimuloinnilla.

Valaistuksen ohjauksella voidaan vaikuttaa myös ihmisen hyvinvointiin. Valaistuksella on tutkitusti ihmiseen biologisia ja emotionaalisia vaikutuksia, ja hyvä valaistus saa ihmisen voimaan paremmin. Valaistuksella voidaan esimerkiksi parantaa opiskelun ja työn tehoa kouluissa ja työpaikoilla. Valaistus vaikuttaa ihmisen vireyteen ja mielentilaan, jotka vaikuttavat työskentelyn tehokkuuteen. [1.]

3 Langattomat valaistuksen ohjausjärjestelmät

Valaistuksen ohjauksella saavutetaan etuja niin toiminnallisuuden kuin taloudellisuuden osalta. Valaistuksen ohjausjärjestelmän asentaminen, etenkin olemassa olevaan kohteeseen, saattaa muodostua kalliiksi erinäisten lisäkustannusten vuoksi, mikä on rajoittanut järjestelmiin investoimista erityisesti liike- ja toimistorakennuksissa. Valaistuksen ohjausjärjestelmän aiheuttamat lisäkustannukset muodostuvat järjestelmän komponenteista, ohjauskaapeleista, asennuskustannuksista, kalliimmista huolto- ja kunnossapitokustannuksista sekä järjestelmän mahdollisesta ohjelmoinnista [3].

Langaton valaistuksen ohjausjärjestelmä mahdollistaa älykkään valaistuksen ohjauksen joustavammin ja kustannuksiltaan edullisemmin verrattuna langalliseen järjestelmään. Uudet langattomat valaistuksen ohjausjärjestelmät ovat viime vuosina kehittyneet varteenotettavaksi vaihtoehdoksi langallisille järjestelmille myös liikerakentamisen markkina-alueella.

Langattoman valaistuksen ohjausjärjestelmän ensimmäinen merkittävä etu on joustavuus. Saneerauskohteessa langattoman järjestelmän komponentit ja valaisimet ovat sijoiteltavissa ilman ohjauskaapeloinnin lisäyksen asettamia rajoituksia. Kohteet, joissa kaapeloinnin lisääminen tai uusiminen on vaikeaa tai mahdotonta toteuttaa, ovat potentiaalisimpia langattoman ohjausjärjestelmän käyttökohteita. Langattoman järjestelmän muokkaaminen ja laajentaminen on huomattavasti helpompaa verrattuna langalliseen järjestelmään.

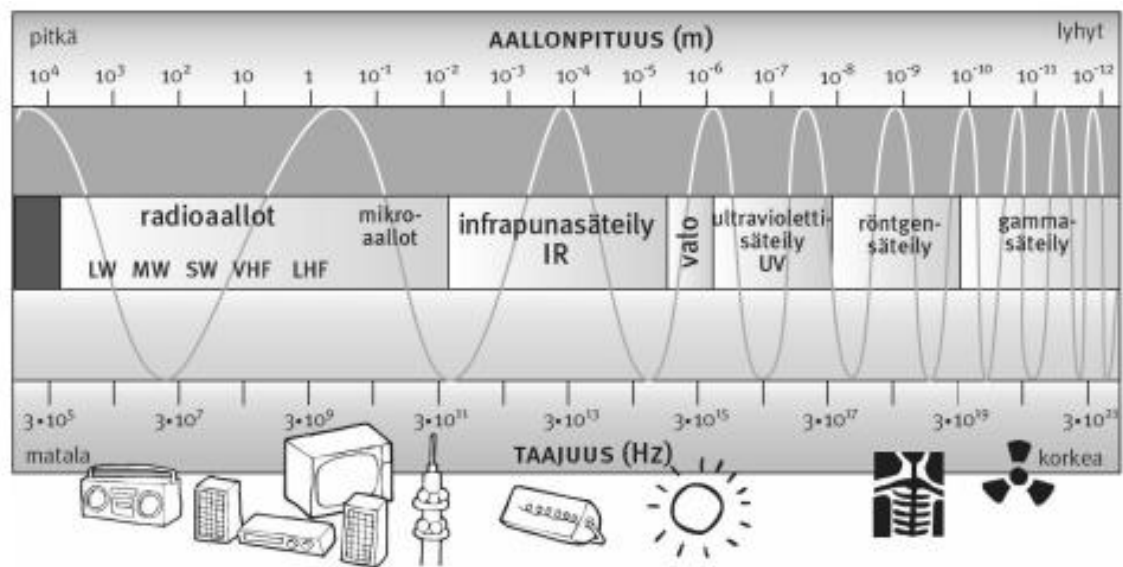
Toisena etuna langalliseen järjestelmään verrattuna ovat saavutettavat säästöt langattoman järjestelmän työ- ja asennuskustannuksissa. Vaikka langattoman järjestelmän komponentit ovat tyypillisesti kalliimpia, voivat langattoman järjestelmän investointikustannukset kokonaisuudessaan muodostua langallisen järjestelmän kustannuksia pienemmiksi. Langaton järjestelmä poistaa tarpeen ohjauskaapeloinneille, mikä nopeuttaa järjestelmän asentamista ja tuo säästöjä työkustannuksiin.

Langaton valaistuksen ohjausjärjestelmä on varteenotettava vaihtoehto älykästä valaistuksen ohjausta tarvitsevaan olemassa olevaan kohteeseen, sillä sen asentamisella voidaan välttyä lisäkustannuksilta ja muuta haittaa aiheuttavilta kattojen ja seinien saneeraustöiltä. Lisäksi langattoman järjestelmän asennustoimenpiteet aiheuttavat huomattavasti vähemmän haittaa kohteen normaaleille toiminnoille kuin langallisen

järjestelmän asennustyöt, minkä ansiosta esimerkiksi yritys voi jatkaa tiloissa toimimista asennustöiden aikana. Langattomalla valaistuksen ohjauksella saavutettavat edut tekevät järjestelmästä erityisen soveltuvan liikerakennuksiin, missä ohjaukskaapeleiden asentaminen tulee liian kalliiksi tai voi olla joissakin tapauksissa jopa mahdotonta.

3.1 Langaton tiedonsiirto

Tiedonsiirto ilman kaapelia eli langaton tiedonsiirto perustuu lähettimen ja vastaanottimen väliseen sähkömagneettiseen säteilyyn. Langaton tiedonsiirto on mahdollista radioaaltojen, mikroaaltojen ja infrapunasäteilyn välityksellä. Radioaaltoja hyödyntäviä laitteita on kaikkialla elinympäristössämme. Radioaaltojen välityksellä toimivia laitteita ovat muun muassa matkapuhelimet, niiden tukiasemat, WLAN- ja muut langattomat tiedonsiirtolaitteet sekä mikroaaltouunit ja tutkat.



Kuva 3. Sähkömagneettinen spektri [12].

Kuvassa 3 on esitetty sähkömagneettinen spektri. Radioaallot ovat sinimuotoisia, joten niillä on amplitudi, taajuus, aallonpituus, jakso ja vaihe. Radioaalloilla tarkoitetaan sähkömagneettisen spektrin aluetta noin 3 kHz:stä 300 GHz:iin. Mikroaalloilla tarkoitetaan yleensä yli 1 GHz:n taajuisia radioaaltoja. Radioaaltojen alapuolella taajuustasossa ovat pienitaajuiset ja staattiset sähkö- ja magneettikentät ja yläpuolella infrapunasäteily ja näkyvä valo.

Radioaallot synnytetään johtamalla suuritaajuinen sähkövirta antenniin, joka siirtää energian radio-aaltoina etenevään sähkömagneettiseen kenttään. Langattomassa tiedonsiirrossa antenni lähettää radioaaltoja vapaaseen tilaan kohti vastaanottimia. Radioaallot heijastuvat, taipuvat ja taittuvat esteistä ja saapuvat vastaanottajalle eri reittejä ja eri voimakkuuksilla. Vastaanottajan antennissa aallot summautuvat eli interferoivat, ja vastaanottaja näkee yhden signaalin. [12; 13.]

Radioaaltojen etenemiseen vaikuttaa useita tekijöitä, kuten esimerkiksi

- vaimeneminen
- sironta
- häipyminen
- monitie-eteneminen
- heijastuminen, taipuminen ja taittuminen
- Doppler-ilmiö [12].

Radioaallot jaetaan taajuutensa perusteella useisiin taajuusalueisiin. UHF (Ultra High Frequency) -taajuusalueita käyttävät useat langattomat tiedonsiirtotekniikat. UHF-aallot värähtelevät 300 - 3 000 MHz:n taajuuksilla. Tälle taajuusalueelle sijoittuu myös maailmanlaajuinen ISM (Industrial, Scientific and Medical) -taajuusalue, jolla toimivat mm. Bluetooth-, WLAN- ja ZigBee-tiedonsiirtoprotokollia käyttävät laitteet. [14.]

3.2 Sähkömagneettinen säteily langattomassa valaistuksen ohjauksessa

Langattomissa valaistuksen ohjausjärjestelmissä laitteiden välinen langaton kommunikointi tapahtuu sähkömagneettisen säteilyn välityksellä. Yleisimmin valaistuksen ohjauksessa käytettyjä sähkömagneettisen säteilyn muotoja ovat mikroaallot ja infrapunasäteily. Valaistuksen ohjausjärjestelmän langattomasti kommunikoiviin laitteisiin kuuluvat muun muassa valaisimet, kytkimet sekä läsnäolo- ja päivänvalotunnistimet.

Sähkömagneettisen säteilyn taajuus ja aallonpituus määrittelevät signaalin ominaisuudet tiedonsiirrossa. Korkeataajuuksinen säteily mahdollistaa suuremman tiedonsiirtonopeuden, mutta omaa huonomman etenemiskyvyn kuin matalataajuisempi säteily. Valaistuksen ohjausjärjestelmissä signaalit ovat yleensä vähän dataa vaativia, joten tiedonsiirtonopeuksien ei tarvitse olla kovin suuria.

Tiedonsiirtonopeus on verrannollinen energian kulutukseen, minkä takia sen mitoittamiseen tulee kiinnittää huomiota. Langattoman viestintäyhteyden ominaisuudet tulee määrittää langattoman järjestelmän sijoitusympäristö huomioon ottaen, luotettavimman ja energiatehokkaimman yhteysmuodon saavuttamiseksi. [3.]

3.2.1 Mikroaallot

Mikroaallot ovat sähkömagneettisia aaltoja, joiden aallonpituus on suurempi kuin infrapunasäteilyllä, mutta pienempi kuin radioaalloilla. Mikroaaltojen aallonpituus on 1 mm - 30 cm. Mikroaallot toimivat taajuusalueella 1 - 300 GHz, mutta usein mikroaaltoja käyttävät laitteet toimivat 1 - 40 GHz:n taajuuksilla. Mikroaaltojen ja radioaaltojen raja on liukuva, samoin mikroaaltojen ja kaukoinfrapunan. Korkean taajuuden vuoksi mikroaallot pystyvät kuljettamaan tietoa nopeasti ja niillä on kyky edetä ilmakehässä lähes vaimentumatta. Mikroaallot pystyvät läpäisemään esteitä, kuten väliseiniä ja puuta.

Mikroaaltoja käytetään langattomassa tiedonsiirrossa. Ne sopivat hyvin valaistuksen ohjausjärjestelmien laitteiden langattomaan viestintään, sillä korkea taajuus mahdollistaa pienellä virralla toimivan nopean tiedonsiirron. Valaistuksen ohjausjärjestelmissä laitteiden välillä kulkeva tieto on yksinkertaista ohjaustietoa, joten viestien ei tarvitse sisältää paljoa dataa. Kun lähetettävän datan määrä on pieni, päästään pienellä virrankulutuksella pidempiin toimintaetäisyyksiin. Tällaisia vähän virtaa kuluttavia pienen tiedonsiirtonopeuden sovelluksia kutsutaan LDR (Low Data Rate) -sovelluksiksi. Yksi tunnetuimmista LDR-sovelluksissa käytetyistä tiedonsiirtoprotokollista on ZigBee. [3.]

Valaistuksessa mikroaaltoja käytetään myös mikroaaltotunnistimissa. Tunnistin lähettää mikroaaltopulsseja ja tunnistaa liikkeestä johtuvan vaihtelun pulssin ja kaiun väliajassa. Mikroaaltojen esteiden läpäisykyvyn vuoksi mikroaaltotunnistimilla tunnistus on mahdollista myös seinien läpi. Tämän takia mikroaaltotunnistin on vaativa asennuspaikan suhteen, sillä väärin sijoitettu mikroaaltotunnistin saattaa havaita

tarkoituksettomia liikkeitä viereisestä huoneesta. Mikroaaltoilmaisoin reagoi vähäisimpäänkin liikkeeseen lämpötilasta riippumatta. [15.]

3.2.2 Infrapunasäteily

Infrapunasäteily on aallonpituudeltaan näkyvää valoa suurempaa mutta mikroaaltoja pienempää sähkömagneettista säteilyä. Infrapunasäteilyn aallonpituus on noin 700 nm - 1 mm ja se toimii 300 GHz - 430 THz:n taajuudella. Lähinnä näkyvän valon aluetta ilmenevää infrapunasäteilyä kutsutaan lähi-infrapunasäteilyksi, eli NIR- (Near-Infrared) säteilyksi. MWIR- (Mid Wavelength Infrared) ja LWIR- (Low Wavelength Infrared) säteilyt ovat lähi-infrapunaa pitkäaaltoisempaa säteilyä. [16.]

Infrapunasäteily on yksinkertainen ja edullinen tiedonsiirtotapa. Infrapunasäteilyllä päästään radiotaajuuksia helpommin suuriin tiedonsiirtonopeuksiin, sillä se ei kärsi samalla tavalla kaistanleveyden puutteesta. Infrapunasäteilyn korkean taajuuden vuoksi se pystyy siirtämään suuria määriä dataa, mutta rajallisen ja suunnatun matkan. Infrapunasäteily tarvitsee esteettömän kulun lähettimen ja vastaanottimen välille. Infrapunatekniikan yhteysmuotoja tiedonsiirrossa ovat suunnattu yhteys ja heijastuksiin perustuva hajautettu yhteys. [17.]

Valaistuksen ohjauksessa infrapunasäteilyn tärkein sovellus on passiivinen infrapunatekniikkaan perustuva liiketunnistin eli PIR-liiketunnistin. PIR-liiketunnistimet tunnistavat kehon tai muun lämmönlähteen liikkeestä johtuvat infrapunasäteilyn voimakkuuden nopeat vaihtelut. Liiketunnistimen passiivisuus tarkoittaa sitä, että se ainoastaan vastaanottaa säteilyä, mutta ei lähetä sitä. PIR-liiketunnistin vaatii toimiakseen kaksi elementtiä:

1. lämpöeroa valvottavaan kohteeseen verrattuna
2. erilämpöisen kohteen liikettä tunnistimen valvonta-alueella. [15.]

PIR-liiketunnistimet ovat yleisimpiä liiketunnistimia markkinoilla. PIR-läsnäolotunnistimet toimivat samalla periaatteella kuin PIR-liiketunnistimet, mutta ne havaitsevat PIR-liiketunnistimia pienemmän liikkeen, joka syntyy esimerkiksi tietokoneen ääressä työskennellessä.

3.3 Langattoman valaistuksen ohjausjärjestelmän rakenne ja toiminta

Langattomassa valaistuksen ohjausjärjestelmässä valaistuksen ohjauskomponentit kommunikoi radioaaltojen välityksellä, lähettämällä tai vastaanottamalla RF (Radio Frequency) -signaaleja. Järjestelmä koostuu yksinkertaisimmillaan kytkimestä tai sensorista, joka lähettää langattomasti ohjauksikäskyn esimerkiksi releelle tai suoraan valaisimen liitäntälaitteelle, mikä ohjaa valaistuksen joko päälle tai pois tai säätää valaistustasoa. Tällöin komponentit muodostavat P2P (Peer to Peer) -verkon, eli komponentit viestivät keskenään toimintaetäisyyden puitteissa. Monimutkaisemmat järjestelmät voivat sisältävää useita ohjauskomponentteja ja yhdistellä erilaisia ohjaustapoja, jolloin järjestelmä toimii laajemmassa, esimerkiksi Mesh-pohjaisessa verkossa, jossa jokainen verkon piste toimii datan välittäjänä.

Päätepisteiden välinen toiminta langattomassa valaistuksen ohjausjärjestelmässä on hyvin samankaltaista verrattuna langalliseen järjestelmään. Perinteisissä valaistuksen ohjausjärjestelmissä käytetään kiinteästi johdotettuja ohjaimia, jotka ovat kytketty järjestelmän laitteisiin. Langattomassa järjestelmässä päätepisteet kommunikoi langattomasti. Päätepisteitä ovat järjestelmän komponentit, esimerkiksi kytkimet, sensorit ja valaisimien liitäntälaitteet.

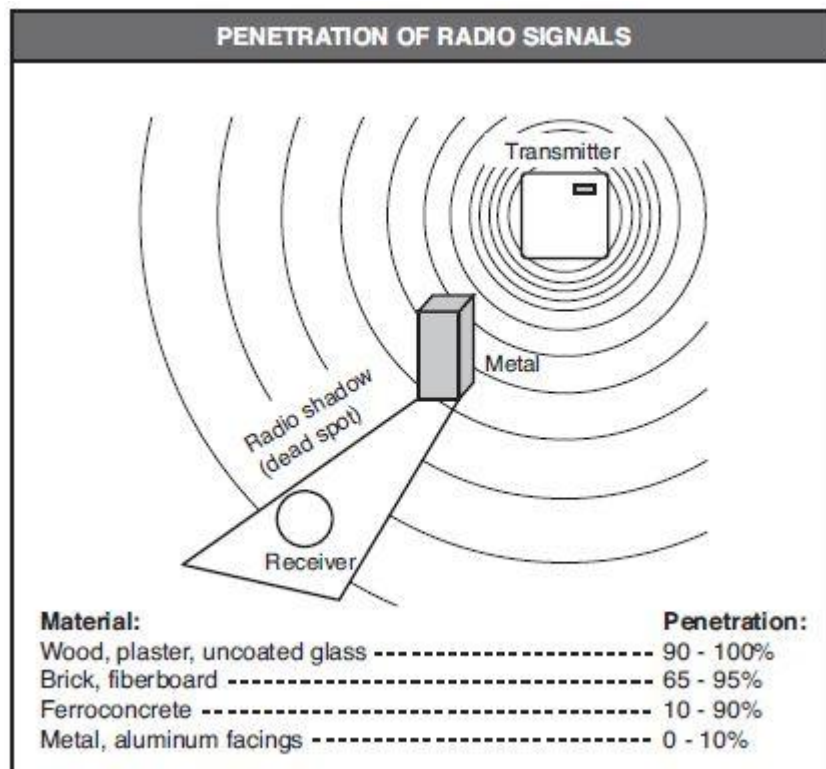
Langattoman valaistuksen ohjausjärjestelmän laitteilta vaaditaan ns. älyä, sillä ne on ohjelmoitava ennen käyttöönottoa. Ohjelmoinnilla määritetään esimerkiksi ohjauslaitteiden, kuten kytkimien toiminnot ja mihin ohjauksikäskyihin kunkin laitteen tulee vastata ja millä tavalla. Laitteisiin on yleensä integroitu langattoman tiedon vastaanottoon tarvittava tekniikka valmiiksi tehtaalla. Myös langallisesti toimivia laitteita on mahdollista liittää osaksi langatonta järjestelmää tekemällä niistä langattomasti toimivia erilaisten langattomien adapterien ja yksiköiden avulla.

Langattomassa valaistuksen ohjausjärjestelmässä valaistusta ohjataan yleensä kytkimien ja sensorien lisäksi myös joko valaistuksen ohjaussovelluksella tai -ohjelmistolla varustetulla mobiililaitteella tai tietokoneella, tai järjestelmään kuuluvalla ohjauspaneelilla. Ohjauskomennot välittyvät järjestelmän päätepisteille reitittimien kautta.

Langattoman valaistuksen ohjausjärjestelmän komponentit saavat toimintaenergiansa joko sähköverkosta, paristoista tai toimintaympäristöstä kerätystä energiasta. Korkealaatuisilla paristoilla voidaan saavuttaa jopa 10 vuoden toiminta-aika. Kytkimet voivat

kehittää langattoman ohjaussignaalin lähettämiseen tarvittavan toimintaenergian myös itse. Kehittyneessä kytkimessä pelkkä kytkimen painamisesta kertyvä liike-energia voi riittää ohjaussignaalin lähettämiseksi vastaanottimelle. Tunnistimet voivat toimia esimerkiksi ympäröivästä valosta tai lämpötilaeroista kerättävällä energialla.

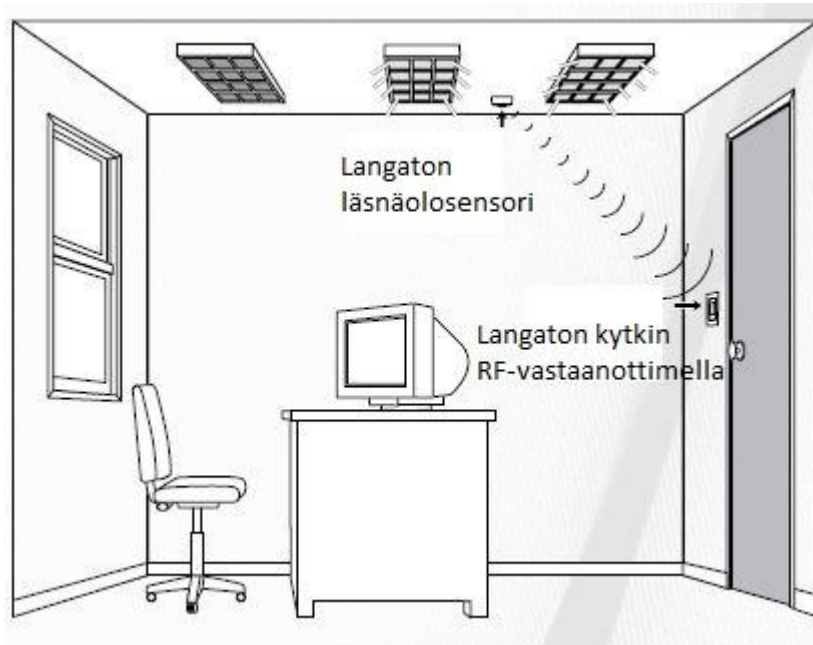
Langattomien valaistuksen ohjauskomponenttien toimintaetäisyys toisistaan vaihtelee 10 - 50 metrin välillä. Toimintaetäisyyteen vaikuttaa merkittävästi signaalia heikentävien esteiden määrä. Rakennuksessa esimerkiksi seinät voivat vähentää toimintaetäisyyttä merkittävästi, minkä takia valmistajien ilmoittamiin, yleensä avoimen tilan toimintaetäisyyksiin, on syytä suhtautua varauksellisesti. Myös esteen tai rakenteen materiaali vaikuttaa signaalin heikkenemiseen ja toimintaetäisyyteen. Kuvassa 4 esitetään, kuinka paljon eri materiaalit heikentävät signaalia.



Kuva 4. Radioaaltojen läpäisykyky eri materiaaleilla [18].

Toimintaetäisyys riippuu myös järjestelmän käyttämän protokollan ominaisuuksista. Signaalin kantamaa on mahdollista kasvattaa käyttämällä signaalinvahvistimia tai langatonta Mesh-verkkotopologiaa.

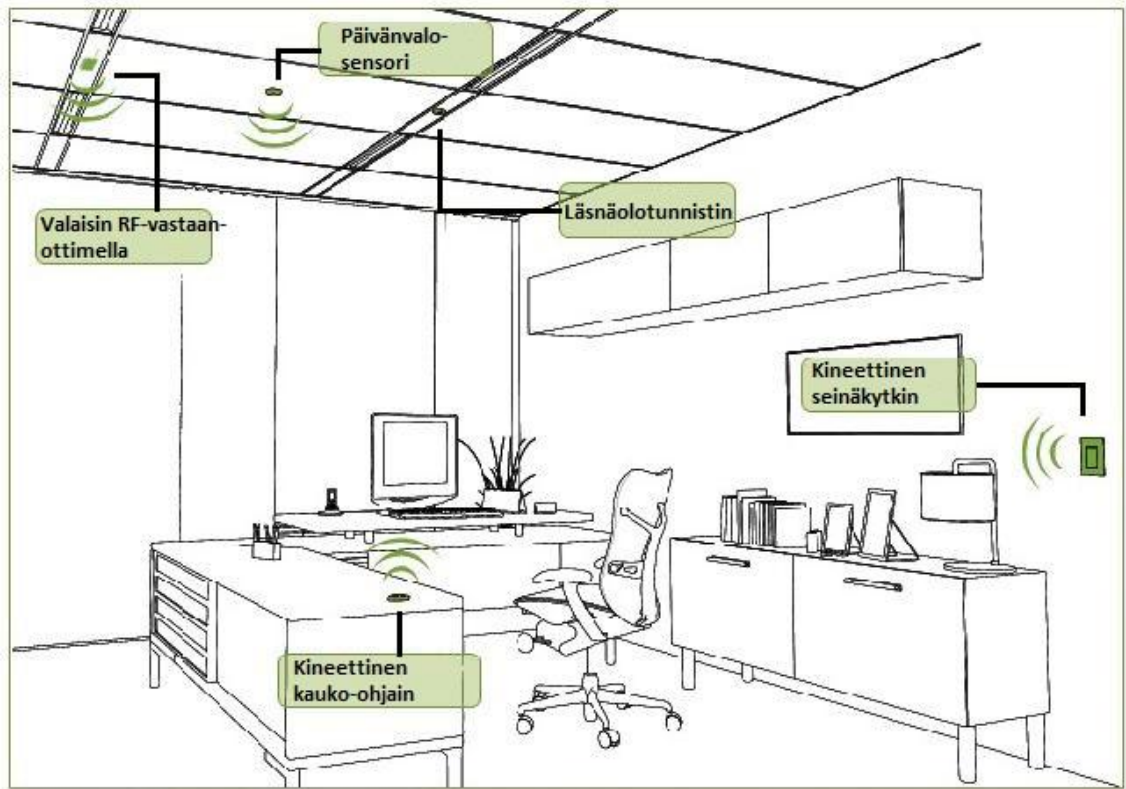
Yksinkertaisessa langattomassa valaistuksen ohjausjärjestelmässä (kuva 5) läsnäolotunnistin kommunikoi langattomasti radioaaltojen välityksellä langattomalla RF-vastaanottimella varustetun kytkimen kanssa, joka ohjaa valaisimille kulkevaa sähköä.



Kuva 5. Yksinkertainen langaton valaistuksen ohjausjärjestelmä [18].

Kuvassa 5 esitetty järjestelmä toimii P2P-verkkotopologialla sensorin ja RF-vastaanottimen välillä. Järjestelmän komponenttien toimintaetäisyyttä on mahdollista kasvattaa signaalinvahvistimen avulla.

Laajemmin toteutetussa langattomassa valaistuksen ohjausjärjestelmässä (kuva 6, ks. seur. s.) voidaan valaistusta ohjata seinäkytkimien lisäksi päivänvalosensoreilla ja läsnäolotunnistimilla, jotka kommunikoivat langattomasti valaisimien kanssa.

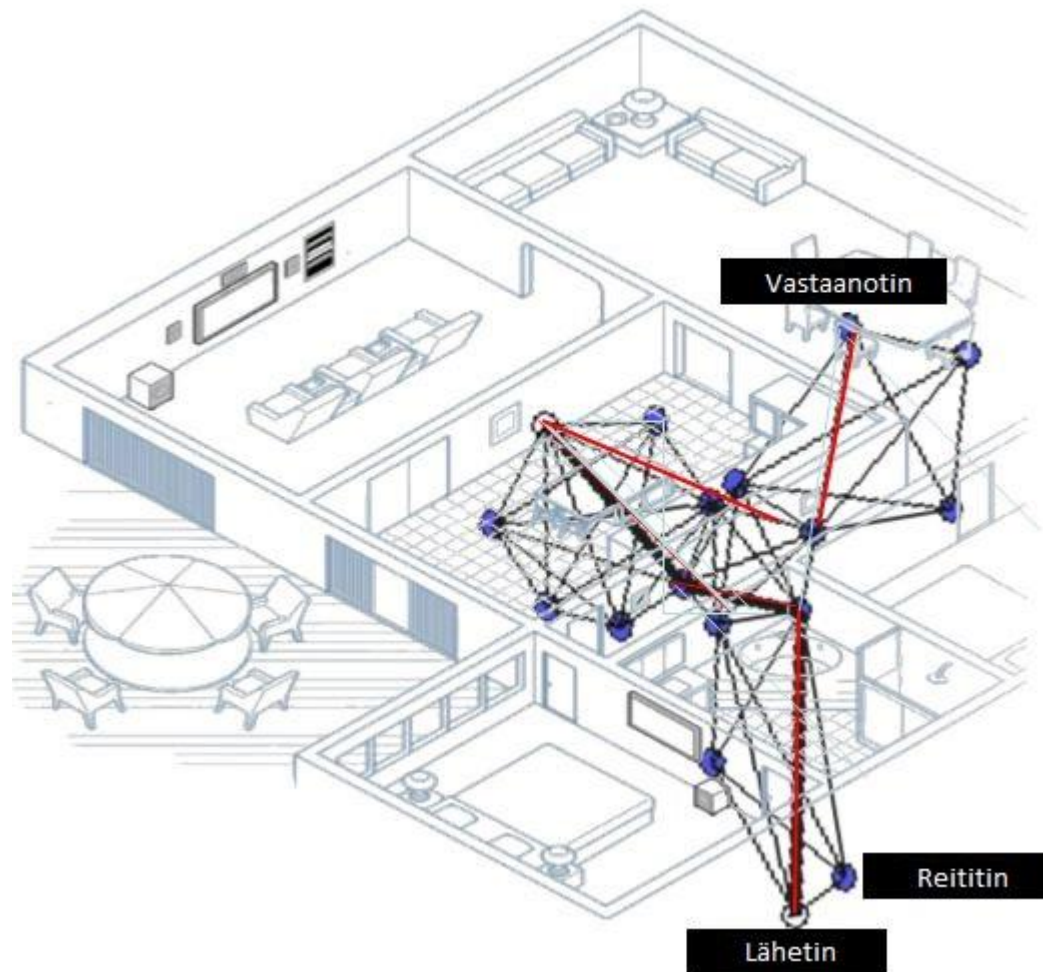


Kuva 6. Langaton valaistuksen ohjausjärjestelmä toimistohuoneessa [18].

Kuvassa 6 esitetyssä järjestelmässä on langattomalla RF-vastaanottimella ja säädettävällä liitäntälaitteella varustettu valaisin, jota voidaan ohjata kineettisellä energialla toimivalla kytkimellä sekä automaattisesti toimivalla päivänvalosensorilla ja läsnäolotunnistimella. Järjestelmää on mahdollista ohjata myös kauko-ohjaimella. [18.]

3.4 WMesh-verkko

Wireless Mesh (WMesh) eli langaton Mesh-verkko on reitittävä langaton verkko. WMesh-verkolle ei ole standardia eikä virallista nimeä. WMesh-verkossa signaalit voivat kulkea useaa kautta kahden pisteen välillä. Yhden reitin katkeaminen ei estä WMesh-verkon laitteiden välistä kommunikaatiota, vaan tiedon kulkureitin katketessa käytetään toissijaista reittiä laitteiden välillä. WMesh on erittäin luotettava verkkomuoto, sillä se korjaa yhteyden vikatilanteessa automaattisesti. Pienessä mittakaavassa toimiva WMesh voi olla hajautettu rakenteeltaan ilman keskeistä palvelinta. Suurempi järjestely vaatii käyttäjämäärän ja verkkoliikenteen kasvaessa keskitetymppää infrastruktuuria, johon kuuluu internetiin reitittävä palvelin.



Kuva 7. Langaton WMesh-verkko kiinteistössä [18].

Kuvassa 7 on esitetty, kuinka WMesh-verkossa tieto voi kulkea lähettimeltä vastaanottimelle useaa eri reittiä pitkin. Tieto vastaanottimelle kulkee reitittimiä pitkin. Reitittiminä järjestelmässä toimivat usein päätepisteet kuten kytkimet, sensorit, anturit ja valaisimet.

WMesh-verkko voidaan toteuttaa useilla eri yhteyskäytännöillä, joista yleisimpiä ovat IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) -järjestön kehittämien tiedonsiirtostandardien 802.11, 802.15 ja 802.16 yhteyskäytännöt. Laitteiden tulee tukea samaa yhteyskäytäntöä, jotta ne voivat kommunikoida keskenään. [18; 19.]

WMesh-verkolla on seuraavia etuja:

- saumaton ja katkeamaton langaton verkkoyhteys ilmaitse
- reititys
- tietoturva
- verkkoyhteydet alueille, jonne kaapelointi ei kannata
- paikannus.

WMesh-verkon yleistymistä vaikeuttavia ongelmia ovat

- standardin puute
- laitteiden hinta
- verkkohäirintä
- yhteentörmäykset verkkoliikenteessä
- heikko tiedonsiirtokyky. [19.]

3.5 Langattomat valaistuksen ohjausprotokollat

Langattomat valaistuksen ohjausjärjestelmät käyttävät kommunikointiin eri yhteyskäytäntöjä. Yhteyskäytännöt eli protokollat voidaan jakaa kahteen luokkaan, suljettuihin ja avoimiin protokolliin.

Suljetun protokollan omistaa yleensä yksittäinen yritys, joka on luonut ja patentoinut sen omalle tuotesarjalleen. Yritys voi asettaa rajoituksia protokollan käytölle ja muokata sitä itsenäisesti. Yritys voi päättää protokollan spesifikaatioiden julkistamisesta, sekä onko se vapaasti saatavilla vai rajoitettu sopimusasiakkaille. Suljetun protokollan etuna

on hyvä toimintavarmuus, mikä saavutetaan, kun koko järjestelmä koostuu yhden valmistajan saman tuoteperheen tuotteista.

Avoimet protokollat ovat yritysten ja järjestöjen kehittämia, kaikkien vapaaseen käyttöön tarkoitettuja, julkisiin standardeihin perustuvia protokollia. IEEE-standardien avulla on kehitetty yhteisiä protokollia eri valmistajien ja eri tekniikoita käyttäville laitteille. Standardien avulla on saatu määritettyä yhtenevät viestintäprotokollat ja samat tiedonsiirtomenetelmät eri laitteille, minkä ansiosta laitteet voivat kommunikoida keskenään. [3.]

3.6 ZigBee-protokolla

ZigBee on ZigBee-allianssin kehittämä digitaalinen langaton verkkotekniikka, joka tähtää pieneen virrankulutukseen, kustannustehokkuuteen ja luotettavuuteen. ZigBee-allianssi (kuva 8) on perustettu vuonna 2002, ja siihen kuuluu noin 400 jäsentä. Se on avoin, voittoa tavoittelematon järjestö, joka muodostettiin luomaan, ylläpitämään ja kehittämään ZigBee-teknologiaa. [20.]



Kuva 8. ZigBee-allianssin logo [21].

ZigBee-perustuu IEEE 802.15.4 -tiedonsiirtostandardiin, joka julkaistiin vuonna 2003. Ensimmäinen ZigBee-standardi julkaistiin vuonna 2004.

ZigBee toimii kolmella lisenssivapaalla ISM (Industrial, Scientific and Medical) -taajuusalueella. ISM-taajuusalue on maailmanlaajuinen radiotaajuuskaista teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön, jonka käyttö ei vaadi erillistä lupaa. 2,4 GHz:n taajuusalue on käytössä maailmanlaajuisesti ja mahdollistaa kyseistä taajuus-alueetta käyttävän laitteen käytön missä päin maailmaa tahansa. 915 MHz:n ja 868 MHz:n käyttö on sijainnista riippuen rajoitetumpaa, 915 MHz:n taajuusalueen ollessa käytössä Pohjois- ja Etelä-Amerikassa ja 868 MHz:n taajuusalueen Euroopassa.

Taajuusalueet on jaettu kanaviin, joita on yhteensä 27. Taajuusalueilla on erilaiset tiedonsiirtonopeudet: 2,4 GHz:n maailmanlaajuisella taajuusalueella 250 kb/s, 915 MHz:n taajuusalueella 40 kb/s ja 868 MHz:n taajuusalueella 20 kb/s. 2,4 GHz on taajuusalueista suosituin, sillä se on maailmanlaajuisesti lisenssivapaa sekä tarjoaa suurimman tiedonsiirtonopeuden.

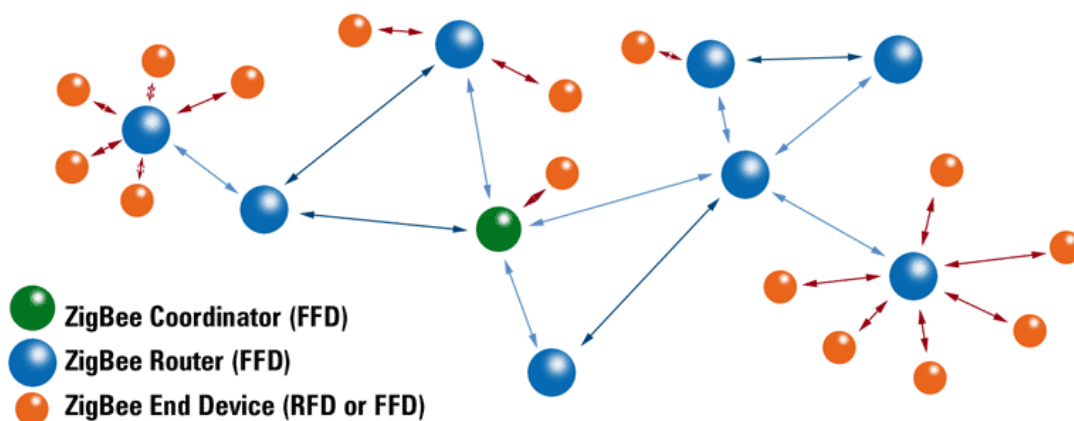
ZigBee-verkko koostuu kolmesta eri laitetypistä, joita ovat ZigBee Coordinator (ZC) eli koordinaattori, ZigBee Router (ZR) eli reititin ja ZigBee End-Device (ZED) eli päätelaite. Koordinaattori ja reititin luokitellaan täyden toiminnallisuuden laitteiksi (FFD), ja päätelaite rajoitetun toiminnallisuuden laitteeksi (RFD).

Jokaisessa verkossa voi ja saa olla vain yksi koordinaattori, joka hoitaa verkon pystyttämisen, osoitteiden jakamisen ja mahdollisesti muiden toiminnallisuuksien, kuten tietoturvan, hallinnointia. Verkon pystyttämisen jälkeen se toimii verkossa ja on ominaisuuksiltaan samanlainen laite kuin reititin.

Reititin lähettää ja vastaanottaa informaatiota. Reititin pystyy myös reitittämään informaatiota, mikäli päätelaitteet ovat liian kaukana toisistaan hoitaakseen viestittämisen keskenään. Reititin voi olla fyysiseltä toteutukseltaan kuten koordinaattori, mutta toisin kuin koordinaattori, reititin liittyy verkkoon sen pystyttämisen sijasta. Reitittimen pitää olla päällä koko ajan, joten ne ovat tyypillisesti kiinni sähköverkossa. Reitittimiä voi olla verkossa useita, toisin kuin koordinaattoreita.

Päätelaite on rajoitetun toiminnallisuuden laite, joten ne voivat mennä virransäästötilaan. Koska päätelaitteet eivät ole koko ajan päällä, ne eivät voi reitittää viestejä kuten reitittimet, vaan voivat ainoastaan liittyä verkkoon, sekä lähettää ja vastaanottaa informaatiota. Päätelaitteet tarvitsevat aina isäntälaitteen eli koordinaattorin tai reitittimen toimiakseen. Isäntälaitte varastoi päätelaitteelle virransäästötilan aikana tulevat viestit, sekä auttaa päätelaitetta liittymään verkkoon.

ZigBee-verkolle on tarjolla neljä eri verkkotopologiaa: Mesh, tähti, puu ja pari. ZigBee-verkko on Mesh-verkko, eli kaikki verkon laitteet voivat kommunikoida toistensa kanssa (kuva 9, ks. seur. s.). Mikäli toinen laite ei ole radiokantaman päässä, viestit joudutaan reitittämään. [20.]



Kuva 9. ZigBee-verkko. Mesh-topologian ansiosta kaikki verkon laitteet voivat kommunikoida keskenään [22].

ZigBeetä käytetään laajalla alalla, muun muassa kiinteistöautomaatiossa, energianhallintasovelluksissa ja valaistuksessa. ZigBee on kasvattanut suosiotaan viime vuosina ja on suosituin langaton yhteysmuoto valaistuksen ohjauksessa. ZigBeen suosion taustalla ovat sen tarjoamat edut muihin protokollisiin, esimerkiksi WLAN:iin ja Bluetoothiin verrattuna. Se kuluttaa vähän virtaa, minkä ansiosta antureiden paristojen elinikä voi olla jopa vuosia. ZigBee tarjoaa myös pienen vasteajan, eli lähettimen ja vastaanottimen välillä kulkevan käskyn toimitukseen kuluneen ajan. ZigBee takaa luotettavan yhteysmuodon Mesh-topologian sekä turvallisen tiedonsiirron AES (Advanced Encryption Standard) -lohkosalausmenetelmän ansiosta. ZigBee-verkko on helposti hallittavissa ja laajennettavissa, sillä se mahdollistaa suuren laitemäärän sekä helpon verkkoon liittymisen. [23.]

4 Osram Lightify Pro -järjestelmä

Osram Lightify Pro -järjestelmällä on tarkoitus saavuttaa joustavuudeltaan ja käyttömuokavuudeltaan korkeatasoista valonhallintaa. Lightify Pro on langaton valaistuksen ohjausjärjestelmä, joka mahdollistaa valaistuksen ohjauksen myös mobiililaitteilla. Järjestelmän etuihin kuuluvat myös monipuolisilla ohjauksilla aikaansaatu energiansäästö ja järjestelmän helppo muokattavuus. Järjestelmä perustuu Lightify Pro -valaisinten ja komponenttien langattomaan kommunikointiin käyttäen ZigBee-tiedonsiirtoprotokollaa.

Lightify Pro -järjestelmän valaisimet eivät tarvitse ohjausjohtimia, minkä ansiosta järjestelmän asennus on yksinkertaista, ja näin saavutetaan säästöjä järjestelmän asennuskustannuksissa. Lightify Pro -järjestelmä soveltuu käytettäväksi erityisesti pienten ja keskikokoisten kohteiden, kuten toimistotilojen, julkisten rakennusten ja myymälöiden saneerauksissa ja uudisrakennuksissa sekä vaikeapääsuisissä kohteissa, sillä monimutkaisia kaapelointeja ei tarvita. Lightify-järjestelmästä on saatavilla myös kotikäyttöön suunniteltu Home-tuotesarja, jonka tuotteita on mahdollista yhdistää Lightify Pro -järjestelmään.

Lightify Pro -järjestelmän käyttöönotto tapahtuu käyttöönottosovelluksen avulla, jolla suoritetaan järjestelmän konfigurointi. Siihen kuuluvat muun muassa järjestelmään liitettävien komponenttien tunnistaminen, järjestelmän ohjaustapojen määrittäminen sekä valaistustilanteiden luominen. Järjestelmän ohjaus tapahtuu joko mobiililaitteella, kuten tabletilla tai älypuhelimella, mutta myös perinteisiä kytkimiä ja painonappeja sekä sensoreita voidaan integroida järjestelmään erilaisten Lightify Pro -yksiköiden avulla. Lightify Pro -järjestelmä koostuu Lightify Pro -käyttöönotto- ja käyttösovelluksista, ohjauskäskyjä välittävästä Gateway-ohjausyksiköstä, Lightify Pro -yhteensopivista valaisimista, Lightify Pro DSE- ja SSE-yksiköistä, sekä Lightify Pro PBC -yksiköistä. Lightify Pro -järjestelmässä kaikki ohjausviestintä tapahtuu langattomasti radioaaltojen välityksellä. [24.]

4.1 Lightify Pro -komponentit ja -sovellukset

4.1.1 Lightify Pro Gateway -ohjausyksikkö

Lightify Pro Gateway -ohjausyksikkö (kuva 10, ks. seur. s.) on Lightify Pro -järjestelmän tärkein yksittäinen komponentti. Se toimii siltana käyttö- tai käyttöönottosovellusta käytävän mobiililaitteen sekä Lightify Pro -valaisimien ja komponenttien välillä. Siihen voidaan muodostaa yhteys ohjausyksikön muodostaman oman WLAN-yhteyden kautta, tai liittämällä ohjausyksikkö olemassa olevaan langattomaan verkkoon. Lightify Pro Gateway-ohjausyksikkö muuntaa mobiililaitteen lähettämät ohjauskäskyt WLAN-signaaleista ZigBee-signaaleiksi.

WLAN-yhteys mobiililaitteen ja Lightify Pro Gateway -ohjausyksikön välille muodostetaan esimerkiksi kiinteistön langattoman verkkoreitittimen kautta, joka on kytketty

LAN-yhteydellä ohjausyksikköön. Mikäli ei ole mahdollista käyttää kiinteistön nykyistä verkkoa, mobiililaite voidaan liittää ohjausyksikköön käyttämällä *Hotspot*-tilaa, missä ohjausyksikkö luo oman WLAN-verkon.



Kuva 10. Lightify Pro Gateway -ohjausyksikkö [25].

Lightify Pro Gateway -ohjausyksikön sisäiseen muistiin tallennetaan käyttöönottosovelluksella luodut valaistusasetukset. Siihen voidaan tallentaa lähes rajaton määrä käyttöönottosovelluksella laadittuja erilaisia valaistustilanteita- ja ryhmiä, ja järjestelmään on mahdollista liittää jopa 100 ZigBee-valaistuskomponenttia. Lightify Pro Gateway -ohjausyksikön ja mobiililaitteen välinen toimintaetäisyys Hotspot-tilassa on normaalissa toimistoympäristössä noin 30 metriä. Lightify Pro Gateway -ohjausyksikkö voidaan asentaa esimerkiksi seinälle, kattoon tai pöydälle, ja se sisältää erillisen verkkovirtalähteen.

4.1.2 Lightify Pro DSE ja SSE -yksiköt

Lightify Pro DSE -yksikkö (kuva 11, ks. seur. s.) on DALI (Digital Addressable Lighting Interface) -ohjauslaite, jolla voidaan liittää DALI-valaisimet osaksi Lightify Pro -järjestelmää. Yhteen Lightify Pro DSE -yksikköön voidaan liittää enintään 8 DALI-valaisinta, jolloin niitä voidaan ohjata *Broadcast*-tilassa. Mikäli valaisimia halutaan ohjata erikseen, jokainen on varustettava omalla DSE-yksiköllään. DSE-yksikköön on mahdollista liittää päivänvalo- ja liiketunnistin sekä painonappi tai kytkin.



Kuva 11. Lightify Pro DSE -yksikkö [26].

Lightify Pro DSE -yksikkö voidaan asentaa suoraan valaisimeen, kuten Lightify Pro -valaisimissa, tai ulkoisesti, esimerkiksi kaapelihyllylle tai alakaton yläpuolelle. DSE-yksikköön kytketään suora sähkö sekä DALI-ohjausjohtimet sen ja valaisimen välille. Mikäli laite asennetaan muualle kuin valaisimeen, se edellyttää siis ohjauskaapeloinnin asentamista laitteesta valaisimelle. Samoin useiden valaisimien liittäminen saman Lightify Pro DSE -yksikön taakse edellyttää ohjauskaapeloinnin asentamista jokaiselle valaisimelle.

Lightify Pro DSE -yksikössä on sisäänrakennettu antenni, mutta siihen on mahdollista liittää myös ulkoinen antenni, jolla voidaan parantaa laitteen toimintaetäisyyttä. Laite vaatii toimiakseen 230 V:n verkkojännitteen.

Lightify Pro SSE -yksikkö on toimintaperiaatteeltaan ja ominaisuuksiltaan samanlainen laite, mutta se on tarkoitettu himmentämättömille valaisimille.

4.1.3 Lightify Pro PBC -yksikkö

Lightify Pro PBC (Push-Button Coupler) -yksikön (kuva 12, ks. seur. s.) avulla voidaan tavalliset painonapit ja kytkimet liittää toimimaan langattomasti osana Lightify Pro -järjestelmää. PBC-yksikön ansiosta voidaan jatkaa vanhojen painonappien ja kytkimien

käyttöä ilman, että tilan ohjaustottumuksia muutetaan. Tämä lisää tilan valaistuksen ohjauksen joustavuutta käyttäjän saadessa valita, ohjaako valaistusta mobiililaitteella vai perinteisellä seinäkytkimellä tai -painikkeella.



Kuva 12. Lightify Pro PBC -yksikkö [27].

Lightify Pro PBC -yksikkö asennetaan painonapin tai kytkimen kojerasiaan. PBC-yksikkö on esijohdotettu ja siihen on mahdollista kytkeä enintään neljä painonappia tai kytkintä. PBC-yksikkö tarvitsee toimiakseen vaihe- ja nollajohtimen. Lightify Pro PBC -yksikköön liitettyjen painonappien ja kytkimien toiminnot ohjelmoidaan Lightify Pro Commissioning -käyttöönottosovelluksella.

4.1.4 Lightify Pro Commissioning ja Control -sovellukset

Lightify Pro Commissioning -sovelluksella suoritetaan Lightify Pro -järjestelmän konfigurointi. Sovelluksella määritetään valaistusjärjestelmälle kaikki sen parametrit, kuten toimintaprofiilit, ryhmät, valaistustilanteet ja painonappien, kytkimien ja sensoreiden toiminnot. Sovellus on saatavilla julkistusvaiheessa iOS 8.x -laitteille.

Valaistusjärjestelmän hallinta sovelluksen avulla on selkeää, sillä sovellukseen voidaan ladata kohteen pohjakuva ja *Raahaa & Pudota* -periaatteella voidaan järjestelmän valaisimet ja komponentit viedä niiden oikeille paikoille. Tämän jälkeen laitteita

yhdistellään toisiinsa viivoilla, joilla määritellään laitteiden ryhmittely, sekä esimerkiksi mikä sensori tai kytkin ohjaa mitäkin valaisinta. Kun valaistusjärjestelmä on konfiguroitu, tulostetaan sovelluksella QR-koodi jonka käyttäjä lukee Control-sovelluksen omaavalla laitteella. Näin käyttäjä pääsee ohjaamaan järjestelmän Commissioning-sovelluksella määriteltyjä valaistusryhmiä.

Lightify Pro Control -sovellus on tarkoitettu valaistusjärjestelmän käyttäjälle. Esimerkiksi toimistossa jokaisella Control-sovelluksen omaavalla työntekijällä voi olla mahdollisuus oman työpisteensä valaistuksen langattomaan ohjaukseen. Sovelluksen avulla käyttäjän on mahdollista ohjata valaistusta päälle ja pois, himmentää valaistusta, sekä muuttaa valaistuksen väriä ja värilämpötilaa, mikäli se on ohjattavassa valaisimessa mahdollista. Myös valaistustilanteiden valinta tapahtuu Control-sovelluksella. Lightify Pro Control -sovellus on saatavilla julkistamisvaiheessa iOS 8.x- ja Android 4.x -laitteille.

4.1.5 Lightify Pro -valaisimet

Lightify Pro –tuoteperhe sisältää julkistamisvaiheessa kuusi valaisinmallia, joihin on integroitu Lightify-toiminnallisuus:

- ARKTIKA-P LED LIGHTIFY Pro
- Vega LED LIGHTIFY Pro
- Mira LED LIGHTIFY Pro
- Compact Recessed LED LIGHTIFY Pro
- Siteco Louvre Luminaire M LED LIGHTIFY Pro
- Futurel 5MS LED LIGHTIFY Pro.

Käytännössä tämä tarkoittaa, että valaisimissa on integroituna Lightify Pro DSE -yksikkö, minkä avulla voidaan mikä tahansa DALI-valaisin liittää osaksi järjestelmää. ARKTIKA-P LED -valaisinta lukuun ottamatta kaikista valaisinmalleista on saatavilla

integroidulla läsnäolo- ja päivänvalosensorilla varustettu malli. Käyttöönottosovelluksella voidaan läsnäolo- ja päivänvalosensorit yksitellen aktivoida ja deaktivoida.

Kuvassa 13 esitetään Lightify Pro -järjestelmän komponentit toimistoympäristössä.

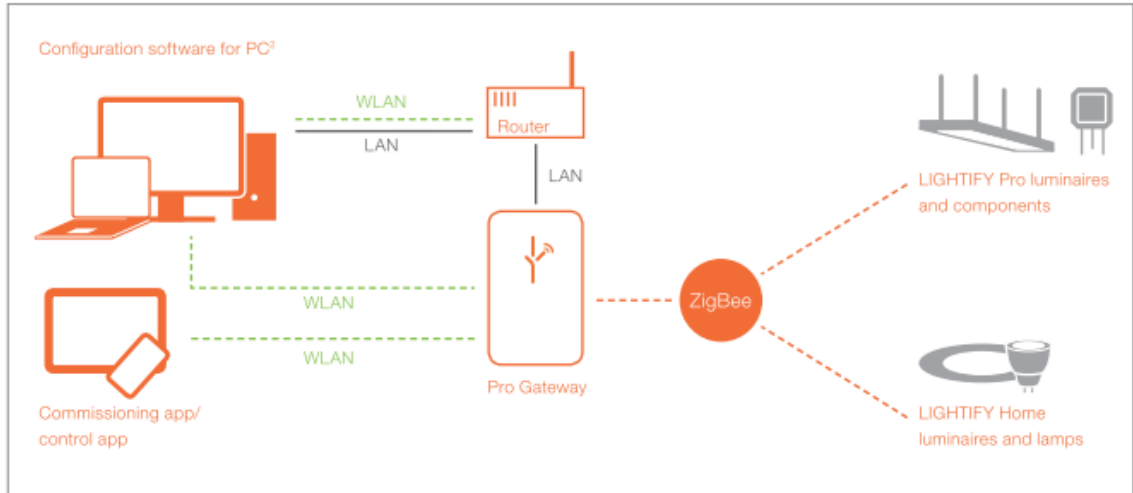


Kuva 13. Lightify Pro -järjestelmän valaisimet ja laitteet [24].

4.2 Lightify Pro -järjestelmän toimintaperiaate

Lightify Pro -järjestelmän toiminta perustuu Lightify Pro -komponenttien ja -valaisimien langattomaan keskusteluun ZigBee-yhteysmuotoa käyttäen. Järjestelmässä olevat Lightify Pro -valaisimet voivat kommunikoida suoraan Lightify Pro PBC -yksiköiden ja DSE-yksiköihin liitettyjen tai valaisimiin integroitujen sensorien kesken ZigBee:n välityksellä. Yhteys Lightify Pro -järjestelmän ja käyttö- tai käyttöönottosovelluksen sisältävän mobiililaitteen välille muodostetaan Lightify Pro Gateway -ohjausyksikön kautta, joka muuttaa mobiililaitteen lähettämät ohjaukset WLAN-signaaleista ZigBee-signaaleiksi.

WLAN-yhteys ohjausyksikköön luodaan joko kiinteistön langattoman verkon kautta liittämällä ohjausyksikkö LAN-yhteydellä verkon langattomaan reitittimeen, tai käyttämällä ohjausyksikön *Hotspot*-tilaa, jossa ohjausyksikkö luo oman WLAN-verkon, johon liitytään suoraan mobiililaitteella. Kuvassa 14 esitetään järjestelmän toimintaperiaate:



Kuva 14. Lightify Pro -järjestelmän toimintaperiaate [24].

Kuvassa 15 on esimerkki Lightify Pro -järjestelmällä toteutetusta toimistoyksiköstä:



Kuva 15. Toimiston valaistus toteutettuna Lightify Pro -järjestelmällä [24].

Järjestelmässä on käytetty Lightify Pro -valaisimia, sekä päivänvalo- ja läsnäolosensorien kanssa varustettuina että ilman. Järjestelmän ohjaus tapahtuu kokonaan langattomasti sensoreilla, mobiililaitteella tai perinteisillä kytkimillä. Erillinen sensori on liitetty Lightify Pro -järjestelmään DSE-yksikön kautta ja kytkimet PBC-yksiköiden avulla. Lightify Pro Gateway -ohjausyksikkö on sijoitettu käytävälle.

Järjestelmän Lightify Pro -valaisimille, DSE-yksiköille sekä PBC-yksiköille on kaapeloitu kaapelit suoraan sähkönsyöttöä varten. Erillinen sensori on kytketty DSE-yksikköön sen omalla liitäntäkaapelilla ja Gateway-ohjausyksikkö on liitetty pistorasiaan.


Päivänvalo- ja läsnäolosensorien sekä Lightify Pro -järjestelmän LED-valaisimien käytöllä saadaan aikaan merkittäviä säästöjä valaistuksen energiankulutuksessa verrattuna perinteiseen valaistuksen ohjausjärjestelmään.

4.3 Lightify Pro -järjestelmän teknologia

Lightify Pro -järjestelmän komponentit perustuvat langattomaan ZigBee Pro -standardiin. Lightify Pro -komponentit voidaan liittää osaksi langatonta järjestelmää, joka perustuu joko ZLL- (ZigBee Light Link), tai ZHA- (ZigBee Home Automation) standardiin. ZigBee, joka perustuu IEEE 802.15.4 -standardiin, toimii 2,4 GHz:n taajuusalueella ja on tarkoitettu kevyisiin langattomiin verkkoihin, joissa energian kulutus ja tiedonsiirtoajat ovat pieniä. Korkea taajuus mahdollistaa riittävän tiedonsiirtonopeuden ja viestintäantennien pienen koon.

Taulukosta 2 (ks. seur. s.) nähdään, että ZigBee eroaa muista langattomista verkkotopologioista muun muassa pienemmällä tiedonsiirtonopeudellaan.

Taulukko 2. Eri tiedonsiirtoteknologioiden vertailua [28].

Technology	Zigbee	Wi-Fi	Bluetooth
General  Mesh network (Zigbee)	ZigBee is a low-cost, low-power, wireless mesh network standard. The low cost allows the technology to be widely deployed in wireless control and monitoring applications. Low power consumption allows longer life with smaller batteries. Mesh networking provides high reliability and more extensive range.	Comparing to Zigbee, Wi-Fi is able to control the lighting devices without gateway, but the high chip cost eliminates this advantage. High power consumption causes low energy efficiency and high standby power.	Bluetooth is a wireless technology standard for exchanging data over short distances as a cable replacement. Bluetooth 4.0 now includes a mesh network but without routing function, the applications are limited to small space.
Standard	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11b
Distance (m)	1 – 100+	1 - 100	1 – 10+
Network architecture	Mesh, Multiple Star	Point-To-Point	Mesh (BT4.0)
Battery life	years	days	months
Cost of chipset	low	low	high
Max. Data Rate (KB/S)	20 - 250	11.000+	720
Operating Frequency	2.4 GHz (worldwide)	2.4 and 5 GHz	2.4 GHz
Standby time	<30ms	<3s	<10s
Application Focus	Monitoring & Control	Web, Email, Video	Cable Replacement

ZigBeeen hyviä ominaisuuksia ovat pieni virrankulutus ja kustannustehokkuus. Lisäksi se tarjoaa Lightify Pro -järjestelmälle myös laajan toimintasäteen sekä hyvän luotettavuuden Mesh-verkkotopologian ansiosta. Lightify Pro -järjestelmästä voidaan tehdä hyvinkin kattava valaistusjärjestelmä, sillä yhden Gateway-ohjausyksikön taakse on mahdollista liittää jopa 100 ZigBee-pistettä.

4.4 Lightify Pro -järjestelmän ominaisuudet

Seuraavaksi luetellaan Lightify Pro -järjestelmän tärkeimpiä ominaisuuksia:

- Järjestelmä soveltuu parhaiten pieniin ja keskisuuriin valaistusasennuksiin, saaneerauskohteisiin ja vaikeasti päästäviin kohteisiin, esimerkiksi toimistoihin, myymälöihin ja ravintoloihin.
- Järjestelmän asennuksessa ei tarvita ohjauskaapelointia, minkä ansiosta sen asennus on nopeaa ja helppoa verrattuna langalliseen järjestelmään. Tämän vuoksi myös asennuskustannukset ovat langallista järjestelmää pienemmät.

- Järjestelmän ohjelmointi suoritetaan tablettisovelluksella, järjestelmän käyttö älypuhelimelle ja tabletille saatavalla käyttösovelluksella. Ohjaus on mahdollista myös perinteisillä kytkimillä ja painonapeilla sekä sensoreilla liittämällä ne Lightify Pro -järjestelmään.
- Järjestelmän laitteiden kommunikointi perustuu ZigBee-protokollaan. Järjestelmän ydin on Gateway-ohjausyksikkö, joka muuttaa Lightify Pro -sovellusten lähettämät ohjaukset WLAN-signaaleista ZigBee-signaaleiksi. Ohjausyksikkö voidaan yhdistää joko LAN-yhteydellä kiinteistön verkkoon tai se voi muodostaa oman WLAN-verkon.
- Järjestelmään on saatavilla Lightify Pro -yhteensopivia ja LED-tekniikkaan perustuvia valaisimia, ja siihen on mahdollista liittää myös muita valaisimia.
- Valaistuksen ohjausmahdollisuudet ovat monipuoliset: Pälle ja pois -ohjaus, himmennys, värilämpötilan säätö ja värinsäätö.
- Järjestelmän muunneltavuus on helppoa langattomuuden ansiosta.
- Järjestelmä sisältää valmiiksi ohjelmoituja toimintatapoja (esim. toimistohuone, avotoimisto, käytävä). [24.]

5 Lightify Pro -testiasennuksen suunnittelu

5.1 Standardin SFS-EN 12464-1 -valaistusvaatimukset

Toimistotilojen valaistuksella on tärkeä rooli työturvallisuudessa, työ mukavuudessa ja työskentelyn tehokkuudessa. Toimistot voivat olla monimutkaisia tilakokonaisuuksia jotka sisältävät työhuoneita, avotoimistoa, neuvottelu- ja kokoushuoneita sekä yleisiä tiloja, asettaen näin valaistukselle erilaisia vaatimuksia. Työpisteillä tärkeimmät vaatimukset valaistukselle ovat riittävä valaistusvoimakkuus työalueella ja sen lähiympäristössä, kiiltohäiriöiden ja heijastuksien estäminen, sekä häikäisyn rajoittaminen. Valaistussuunnittelulla pyritään takaamaan standardien mukainen valaistus tilan vaatimusten mukaan.

Suomen Standardisoimisliiton standardi (SFS-EN 12464-1 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus) määrittää valaistusvoimakkuuksien vähimmäisvaatimukset työalueelle, työalueen välittömässä läheisyydessä olevalle ympäristölle, seinille ja katolle, sekä valaistusvoimakkuuksien tasaisuudelle. Lisäksi standardissa annetaan vaatimukset myös häikäisyn UGR-arvolle, värintoistindeksille, luminanssijakaumalle, sylinterivalaistusvoimakkuudelle ja muodonannolle.

Välitön lähiympäristö on työaluetta ympäröivä, näkökentässä oleva vähintään 0,5 metrin levyinen kaista. Välitöntä lähiympäristöä ympäröivää vyöhykettä kutsutaan tausta-alueeksi, jonka tulisi olla vähintään 3 metrin levyinen. Tausta-alueen ylläpidettävän valaistusvoimakkuuden tulee standardin mukaan olla 1/3 välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuudesta. Suljetuissa tiloissa seinäpintojen ylläpidettyjen valaistusvoimakkuuksien tulee olla > 50 lx ja katossa > 30 lx. Joissakin suljetuissa tiloissa kuten toimistoissa suositellaan seinäpinnoille > 75 lx ja kattoon > 50 lx valaistusvoimakkuusarvoja. Tasaisuuden seinillä ja katossa tulee olla $\geq 0,10$.

Valaistusvoimakkuuden tasaisuus (U_0) määritetään seuraavasti:

$$\frac{E_{min}}{E_m},$$

jossa

E_{min} on pienin valaistusvoimakkuuden arvo

E_m on keskimääräinen valaistusvoimakkuus

Välittömässä lähiympäristössä valaistusvoimakkuuden tasaisuuden tulee olla $\geq 0,40$ ja tausta-alueella $\geq 0,10$.

Häikäisyä aiheuttavat näkökentässä olevat kirkkaat kohteet. Häikäisy voidaan kokea joko kiusahäikäisyä tai estohäikäisyä. Kiusahäikäisyn raja-arvot tulee määrittää käyttäen UGR-menetelmää. Häikäisyindeksi lasketaan kaavalla:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (1)$$

missä

L_B on taustan luminanssi (cd / m²)

L on jokaisen valaisimen valaisevien osien luminanssi havainnoitsijaa kohti (cd/m²)

ω on se avaruuskulma (steradiaania), jossa tarkasteltavan valaisimen osat näkyvät havainnoitsijan silmään

p on jokaisen yksittäisen valaisimen Guthin sijaintikerroin, joka on verrannollinen valaisimen sijainnin poikkeamaan katsesuunnasta.

Standardi määrittelee UGR-arvolle maksimin, jota ei saa ylittää. Häikäisyindeksin laskennan tuloksena saadaan tulos 10 - 28, UGR-arvon 10 tarkoittaessa mahdollisimman pientä ja 28 mahdollisimman suurta kiusahäikäisyä.

Yleisen värintoistoindeksin R_a avulla määritetään valonlähteiden värintoist ominaisuuksia. Sen suurin arvo on 100, ja indeksin arvo on sitä pienempi, mitä huommat värintoisto-ominaisuudet ovat. Tiloissa, joissa työskennellään tai oleskellaan pitkäaikaisesti, tulee käyttää lamppuja joiden värintoistoindeksi on vähintään 80. Hyvä värintoisto takaa sen, että ympäristön, siinä olevien kohteiden ja ihmisten ihon värit

toistuvat luonnollisena ja oikeana. Nämä ovat tärkeitä seikkoja näkötehokkuuden, mukavuuden ja hyvinvoinnin kannalta.

Silmien sopeutumistaso, joka vaikuttaa kohteen näkyvyyteen, määräytyy näkökentän luminanssijakauman mukaan. Tasapainoinen luminanssijakauma parantaa näöntarkkuutta, kontrastiherkkyttä ja näköaistin toimintojen tehokkuutta. Luminanssijakaumalla on vaikutusta myös näkömukavuuteen. Liian suuret luminanssit saattavat aiheuttaa häikäisyä ja liian suuret luminanssikontrastit näköväsymystä. Liian pienet luminanssit ja liian alhaiset luminanssikontrastit tekevät työympäristöstä tylsän ja yksitoikkoisen. Kaikkien pintojen luminanssit ovat tärkeitä tasapainoisen luminanssijakauman aikaansaamiseksi. Ne on määritettävä pintojen heijastusominaisuuksien ja valaistuksen avulla. Tärkeimmille sisäpinnoille suositetaan seuraavia heijastussuhteita:

- katto: 0,7 - 0,9
- seinät: 0,5 - 0,8
- lattia: 0,2 - 0,4.

Standardi määrittää ylläpidettävän keskimääräisen sylinterivalaistusvoimakkuuden tason hyvän visuaalisen viestinnän ja kohteiden tunnistamisen vuoksi tiloissa, joissa ihmiset liikkuvat tai työskentelevät. Visuaalinen kommunikointi on ihmisten välistä kanssakäymistä, joka perustuu ilmeisiin ja kehon kieleen. Tämän arvon on oltava toimisto- ja neuvottelutiloissa vähintään 150 lx ja tasaisuuden $\geq 0,10$.

Sylinterivalaistusvoimakkuus on keskiarvo ihmisen päähän osuvasta valosta. Valon määrän lisäksi ilmeiden tunnistamisen kannalta on tärkeää, että valo luo myös varjoja ja kontrastia. Tätä mitataan muodonannolla, joka kuvaa sylinterivalaistusvoimakkuuden ja vaakatason valaistusvoimakkuuden suhdetta. Standardi määrittää muodonannon hyväksi, kun tämä suhde on 0,3 - 0,6.

Taulukko 3. Toimistotilojen valaistuksen vaatimukset standardin SFS-EN 12464-1 mukaan [29].

Viitenro.	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR_L -	U_o -	R_a -	Erityisvaatimukset
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	

Taulukosta 3 voitiin havaita, että standardi määrittää toimiston valaistusvaatimukset tiloittain ja tehtävittäin. Esimerkiksi normaalin työpisteen työtason valaistusvoimakkuudeksi standardi määrittelee 500 lx valaistustason, jonka tasaisuus on $> 0,6$. Värintoistoindeksi tulee olla 80 ja UGR-häikäisyindeksi enintään 19.

Työpisteiden, joissa työskennellään tietokoneella, suunnittelussa tulee huomioida tietokonenäyttöjen asettamat erityisvaatimukset. Valaistuksen tulee soveltua kaikkiin työasemalla suoritettaviin tehtäviin tietokonetyöskentelyn lisäksi. Kuvaruudulta ja näppäimistöistä muodostuvat heijastukset voivat aiheuttaa esto- ja kiusahäikäisyä. Valaisimet tulee valita, sijoittaa ja suunnata siten, että kirkkaat heijastukset vältetään. Lisäksi standardi määrittelee luminanssirajat valaisimille, jotka voivat heijastua näyttöpäätteeltä normaaleissa katselusuunnissa. Neuvottelu- ja kokoushuoneissa erityisvaatimukseksi on määritelty säädettävä valaistus. [29.]

5.2 Lightify Pro -testiasennuksen valaistussuunnittelu

Testiasennus Osram Lightify Pro -järjestelmän tuotteilla suoritettiin Granlund Oy:n päätoimipisteen tiloihin. Testitiloiksi valikoitui kaksi pientä neuvotteluhuonetta, 1043.1 (huone 1) ja 1043.2 (huone 2) (kuva 16, ks. seur. s.).



Kuva 16. Huoneiden 1043.1 ja 1043.2 entiset valaistukset.

Huoneiden entinen valaistus oli toteutettu kahdella 2 x 21 W:n loisteputkivalaisimella. Valaistuksen ohjaus tapahtui ovenpielikytimestä, jolla ohjattiin molempia valaisimia. Valaisimien sammuttaminen erikseen onnistui myös valaisimien vetokytkimillä.

Molemmissa huoneissa huoneen keskelle on sijoitettu pöytä, jonka päässä seinälle on kiinnitetty näyttö. Huoneiden yläosissa sijaitsevat lämmitys ja jäähdytyspalkit sekä huoneiden tummat seinät rajoittavat epäsuoran valon käyttöä huoneessa. Huoneisiin ei juuri pääse luonnonvaloa ikkunoiden ilmansuunnan ja ulkopuolella niiden edessä olevan runsaan puuston vuoksi.

5.2.1 Valaisimien valinta

Testiasennusta suunniteltaessa valittiin ensin valaisimet, joilla neuvotteluhuoneet halutaan valaista. Toiseen huoneeseen valittiin asennettavaksi Lightify Pro -yhteensopivat valaisimet. Toisen huoneen valaisimiksi valittiin DALI-valaisimet, jotka liitetään Lightify Pro -järjestelmään DSE-yksiköiden avulla. Näin päästiin testaamaan, miten

DALI-valaisimien integrointi järjestelmään onnistuu. Valaisimien valonlähteiksi valittiin ledit väriämpötilaltaan 4 000 K ja värintoistoindeksiltään $R_a > 80$. Huoneissa olevien jäähdytys- ja lämmityspalkkien takia valaisimien asennustavaksi valittiin ripustus.

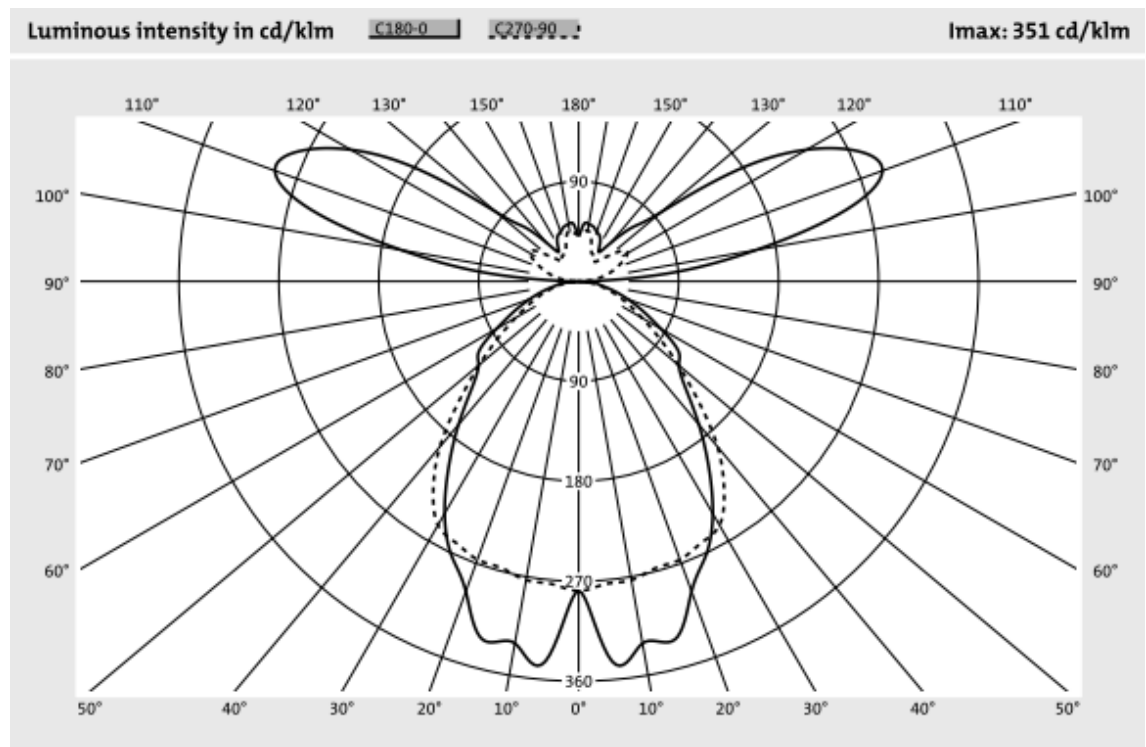
Huoneeseen 1 valittiin Siteco Vega-mallin Lightify Pro -valaisimet (kuva 17):



Kuva 17. Siteco Vega-valaisin [30].

Vega on erityisesti toimistotiloihin suunniteltu LED-valaisin. Sen prismaattinen rakenne varmistaa, että toimistoympäristössä tärkeät valaistusvaatimukset, muun muassa valaistusvoimakkuuden tasaisuus ja häikäisy suojaus, ovat standardin vaatimusten mukaisia. Hyvän häikäisyestön ansiosta se soveltuu hyvin myös näyttöpäätteellisten työpisteiden valaisuun.

Vega-valaisimet säteilevät valotehostaan 62 % alas- ja 38 % ylöspäin. Valaisimen valonjakoa voidaan muuttaa rajoittimilla siten, että valotehosta 70 % säteilee alas- ja 30 % ylöspäin, tai että kaikki valoteho säteilee alaspäin.



Kuva 18. Siteco Vega 5MN238D1S0008M -valaisimen valonjakokäyrä. Valonjakokäyrästä nähdään, että valaisin säteilee valoa sekä ylös- että alaspäin [31].

Kuvassa 18 esitetystä valonjakokäyrästä voitiin havaita, että suhteellinen valovoiman suuruus suoraan alaspäin kulmassa I_0° on noin 280 cd/1 000 lm ja yläviistoon kulmassa I_{112° noin 290 cd/1 000 lm. Valovoiman maksimi kulmassa I_7° on 351 cd/1 000 lm.

Valovoima suoraan alaspäin lasketaan kaavalla

$$I = \frac{\phi}{1\,000\text{ lm}} * I_0^\circ = \frac{5\,580\text{ lm}}{1\,000\text{ lm}} * 280 \frac{\text{cd}}{\text{klm}} = 1\,562\text{ cd}$$

Valovoima kulmassa 112° on

$$I = \frac{\phi}{1\,000\text{ lm}} * I_0^\circ = \frac{5\,580\text{ lm}}{1\,000\text{ lm}} * 290 \frac{\text{cd}}{\text{klm}} = 1\,618\text{ cd}$$

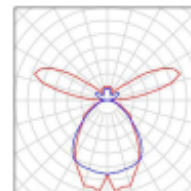
Valovoimamaksimi kulmassa 7° on

$$I = \frac{\phi}{1\,000\text{ lm}} * I_0^\circ = \frac{5\,580\text{ lm}}{1\,000\text{ lm}} * 351 \frac{\text{cd}}{\text{klm}} = 1\,953\text{ cd}$$

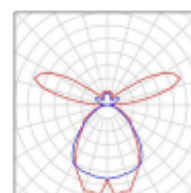
Valaisimen valovirran ϕ arvo (5 580 lm) saadaan Dialux-valaistuslaskennan valaisintiedoista (kuva 19).

Neuvotteluhuone 1043.1 / Luettelo valaisimista

1 Kappale SITECO 5MN238D1S00080 Vega®
Tavarnumero: 5MN238D1S00080
Valovirta (Valaisin): 5580 lm
Valovirta (Lamput): 5580 lm
Valaisimien teho: 63.1 W
Valaisinten luokittelu CIE: 62
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 61
86 97 62 100
Varustus: 1 x LED 4000K / CRI \geq 80
(Korjaustekijä 1.000).



1 Kappale SITECO 5MN238D1S0008M Vega®
Tavarnumero: 5MN238D1S0008M
Valovirta (Valaisin): 5580 lm
Valovirta (Lamput): 5580 lm
Valaisimien teho: 63.1 W
Valaisinten luokittelu CIE: 62
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 61
86 97 62 100
Varustus: 1 x LED 4000K / CRI \geq 80
(Korjaustekijä 1.000).



Kuva 19. Dialux-valaistuslaskennan luettelo huoneen 1 valaisimista Valaisimista toinen on päivänvalo- ja läsnäolotunnistimilla varustettu malli.

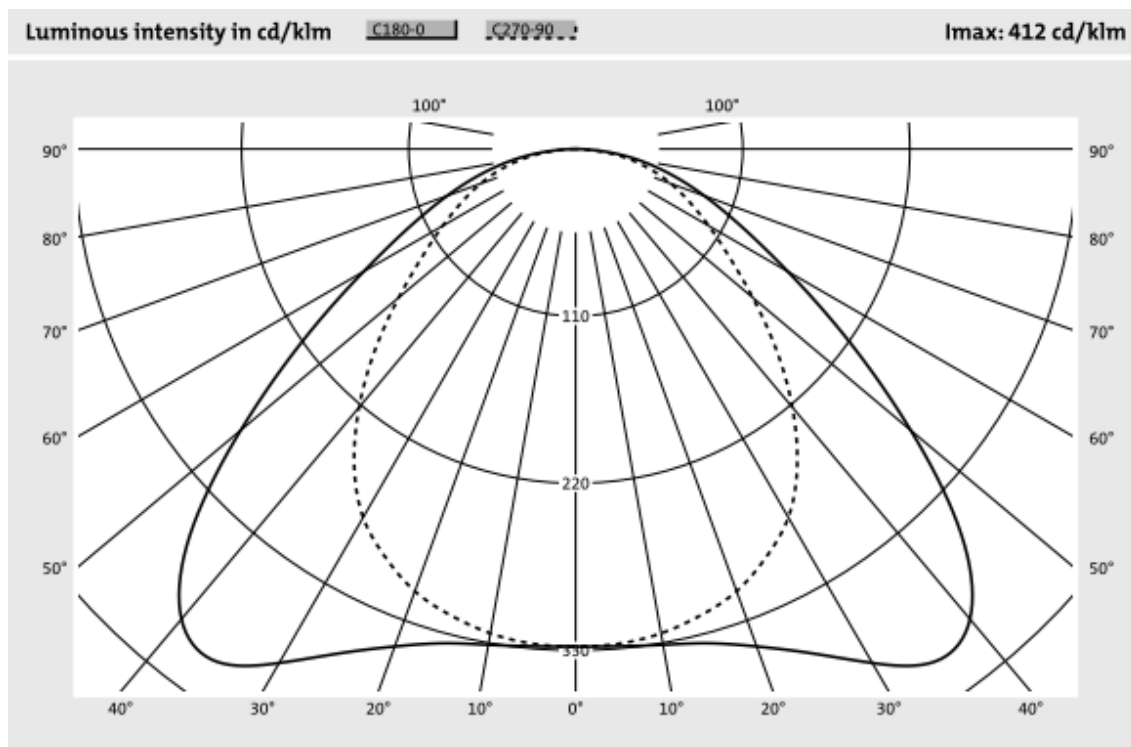
Huoneeseen 2 valittiin valaisimiksi Siteco LEDVANCE Area LED -valaisimet (kuva 20):



Kuva 20. Siteco LEDVANCE Area LED -valaisin [32].

LEDVANCE Area LED -moduulivalaisin on tarkoitettu yleisten alueiden, aulojen, neuvotteluhuoneiden ja toimistojen valaistukseen. Valaisimet on mahdollista asentaa upotettuna tai ripustettuna.

Valaisimet ovat DALI-liitäntälaitteella varustettuja ja ne saadaan liitettyä Lightify Pro -järjestelmään DSE-yksiköiden avulla. LEDVANCE Area LED -valaisimet omaavat suoran valonjaon, kuten sen valonjakokäyrästä voidaan nähdä (kuva 21).



Kuva 21. Siteco LEDVANCE Area LED 0MQ12WD7Y3S1 -valaisimen valonjakokäyrä. Valaisin säteilee valoa vain alaspäin, eli valaisin omaa suoran valonjaon [33].

Valonjakokäyrästä nähdään, että suhteellinen valovoiman suuruus suoraan alaspäin kulmassa I_{0° on noin 329 cd/1 000 lm. Valovoiman maksimi kulmassa I_{36° on 412 cd/1 000 lm.

Valovoima suoraan alaspäin on

$$I = \frac{\phi}{1\,000\text{ lm}} * I_{0^\circ} = \frac{3\,620\text{ lm}}{1\,000\text{ lm}} * 329 \frac{\text{cd}}{\text{klm}} = 1\,191\text{ cd}$$

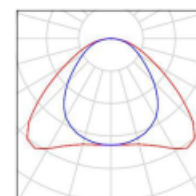
Valovoimamaksimi kulmassa 36° on

$$I = \frac{\phi}{1\,000\text{ lm}} * I_{0^\circ} = \frac{3\,620\text{ lm}}{1\,000\text{ lm}} * 412 \frac{\text{cd}}{\text{klm}} = 1\,491\text{ cd}$$

Valaisimen valovirran ϕ arvo (3 620 lm) saadaan Dialux-valaistuslaskennan valaisintiedoista (kuva 22).

Neuvotteluhuone 1043.2 / Luettelo valaisimista

3 Kappale SITECO 0MQ12WD7Y3S1 LEDVANCE® AREA
 Tavarnumero: 0MQ12WD7Y3S1
 Valovirta (Valaisin): 3620 lm
 Valovirta (Lamput): 3620 lm
 Valaisimien teho: 45.4 W
 Valaisinten luokittelu CIE: 100
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 50
 82 96 100 100
 Varustus: 1 x LED 4000K / CRI >= 80
 (Korjaustekijä 1.000).



Kuva 22. Dialux-valaistuslaskennan luettelo huoneen 2 valaisimista.

5.2.2 Dialux-valaistuslaskelma

Huoneisiin tarvittavien valaisimien määrä, niiden sijoittelut ja valaistuksen laadulliset ominaisuudet määritettiin Dialux-valaistuslaskelman avulla (ks. Dialux-valaistuslaskelma, liite 1.)

Huone 1

Huoneen 1 valaistus suunniteltiin toteutettavaksi Vega-valaisimilla varustettuna rajoittimilla, jotka muuttavat suoran/epäsuoran valotehon säteilyn suhteen 70:30:een. Huoneen yläosassa pitkittäin olevat lämmitys- ja jäähdytyspalkit, sekä tummat seinät rajoittavat valaisimien sijoittelua ja epäsuoran valon käyttöä huoneessa, joten valaisinten valonjakoa päädyttiin muuttamaan. Huoneen 1 Dialux-valaistuslaskelman tuloksia on esitetty taulukossa 4 (ks. seur. s.) sekä kuvissa 23 (ks. seur. s.) ja 24 (s. 44).

Taulukko 4. Huoneen 1 Dialux-valaistuslaskelman yhteenveto.

Tilan korkeus: 3.100 m, Asennuskorkeus: 2.500 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:62

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	508	192	726	0.377
Lattia	20	240	39	395	0.162
Katto	70	195	74	333	0.378
Seinät (4)	33	158	43	470	/

Käyttötaso:

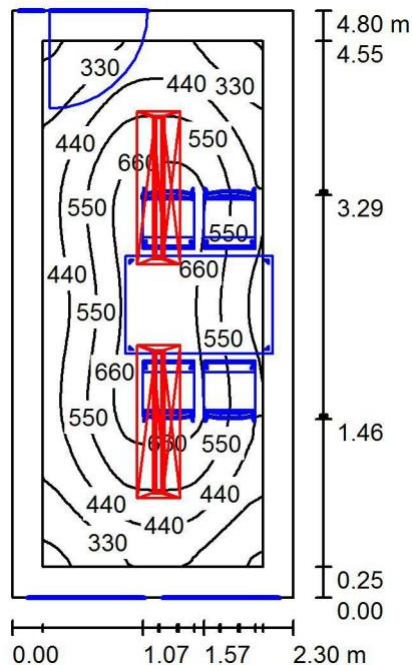
Korkeus:	0.850 m
Rasteri:	64 x 64 Pisteet
Reuna-alue:	0.250 m

Luettelo valaisimista

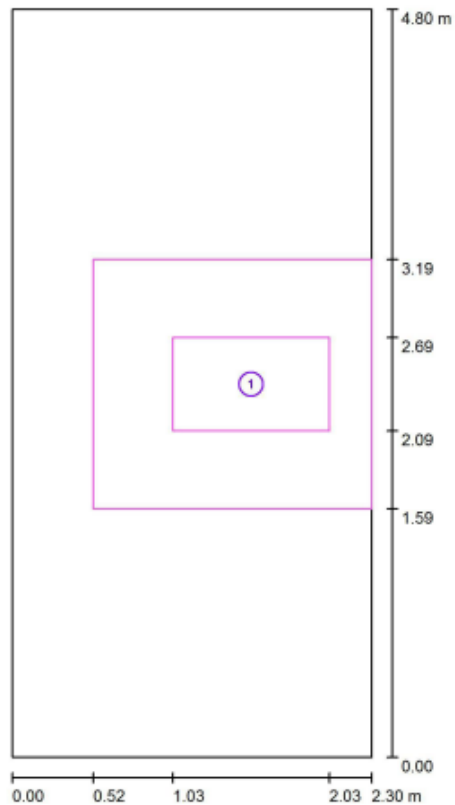
Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	1	SITECO 5MN238D1S00080+5MN91402 Vega® (1.000)	5515	5515	63.1
2	1	SITECO 5MN238D1S0008M+5MN91402 Vega® (1.000)	5515	5515	63.1
Yhteensä:			11030	11030	126.2

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $11.43 \text{ W/m}^2 = 2.25 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 11.04 m^2)

Käyttötason keskimääräinen valaistusvoimakkuus on 508 lx, lattialla 240 lx, katossa 195 ja seinillä 158 lx. Valaistuslaskelman reuna-alueeksi on määritetty 0,25 m.



Kuva 23. Valon määrän jakautuma Isolux-käyrillä esitettyä huoneessa 1.



Mittakaava 1 : 33

Numero	Tunnus	Rasteri	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
	Työalue 1	8 x 8	592	422	680	0.712	0.620
	Ympäröivä alue	16 x 16	553	326	681	0.589	0.478

Kuva 24. Huoneen 1 työalueen ja ympäröivän alueen valaistusvoimakkuudet ja tasaisuus.

Työalueen ja ympäröivän alueen keskimääräiset valaistusvoimakkuusarvot täyttävät standardin SFS-EN 12464-1 suositukset. Myös alueiden tasaisuudet ovat standardin suositusten mukaisia.

Dialux-laskelmassa on laskettu myös keskimääräinen sylinterivalaistusvoimakkuus ja sen tasaisuus sekä UGR-häikäisyindeksi mittaupisteissä. Keskimääräinen sylinterivalaistusvoimakkuus huoneessa on 186 lx ja tasaisuus 0,859. UGR-häikäisyindeksi mitattiin neljästä mittauspisteestä pöydän ympäriltä ja mittauskorkeutena käytettiin 1,2 metriä. Tuloksista nähdään, että arvot (15 - 16) ovat standardin suositusten mukaisia.

Dialux-valaistuslaskelman perusteella todettiin standardin SFS-EN 12464-1 valaistusvaatimusten täyttyvän, kun huoneeseen asennetaan kaksi Siteco Vega (63 W) -valaisinta, joiden asennuskorkeus on 2,5 m, lämmitys- ja jäähdytyspalkkien alareunan tasolla. Valaisimista toinen valittiin sensoreilla varustettuna mallina.

Huone 2

Huoneen 2 Dialux-laskelma tehtiin käyttäen Siteco LEDVANCE Area LED -valaisimia. Myös tässä huoneessa on samanlaiset lämmitys- ja jäähdytyspalkit kuin huoneessa 1, joten valaisinsijoittelu oli tehtävä niiden mukaan. Huoneen 2 Dialux-valaistuslaskelman tuloksia on esitetty taulukossa 5 sekä kuvissa 25 ja 26 (ks. seur. s.).

Taulukko 5. Huoneen 2 Dialux-valaistuslaskelman yhteenveto.

Tilan korkeus: 3.100 m, Asennuskorkeus: 2.500 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:62

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	479	310	569	0.646
Lattia	20	228	37	348	0.161
Katto	70	44	32	56	0.719
Seinät (4)	33	183	31	428	/

Käyttötaso:

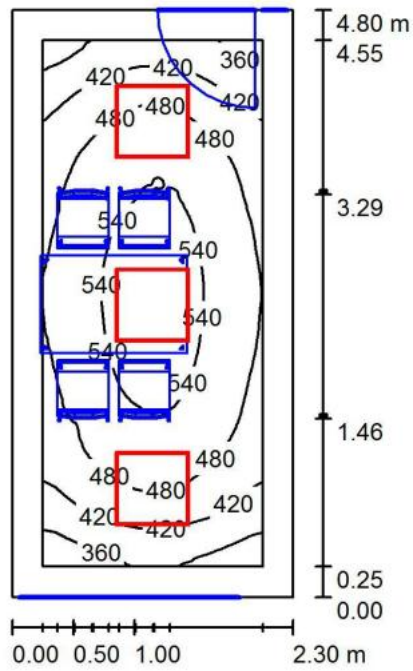
Korkeus:	0.850 m
Rasteri:	128 x 128 Pisteet
Reuna-alue:	0.250 m

Luettelo valaisimista

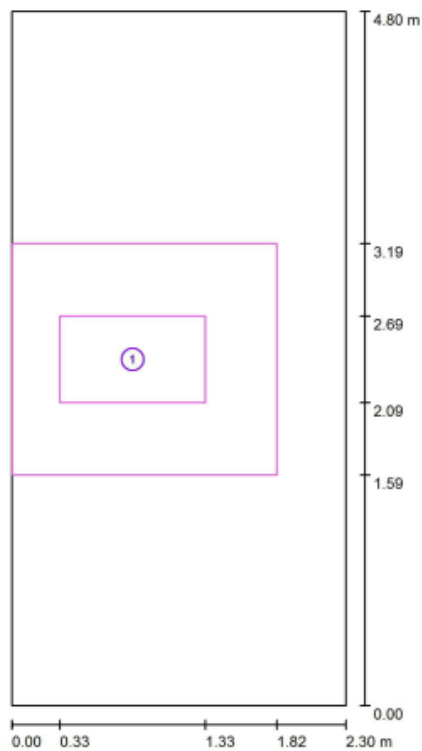
Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	3	SITECO 0MQ12WD7Y3S1 LEDVANCE® AREA (1.000)	3620	3620	45.4
Yhteensä:			10860	Yhteensä: 10860	136.2

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $12.34 \text{ W/m}^2 = 2.58 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 11.04 m^2)

Käyttötason keskimääräinen valaistusvoimakkuus on 479 lx, lattialla 228 lx, katossa 44 ja seinillä 183 lx. Valaistuslaskelman reuna-alueeksi on määritetty 0,25 m.



Kuva 25. Valon määrän jakautuma Isolux-käyrillä esitettynä huoneessa 2.



Mittakaava 1 : 33

Numero	Tunnus	Rasteri	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
	Työalue 1	8 x 8	515	472	537	0.916	0.880
	Ympäröivä alue	16 x 16	489	402	533	0.822	0.754

Kuva 26. Huoneen 2 työalueen ja ympäröivän alueen valaistusvoimakkuudet ja tasaisuus.

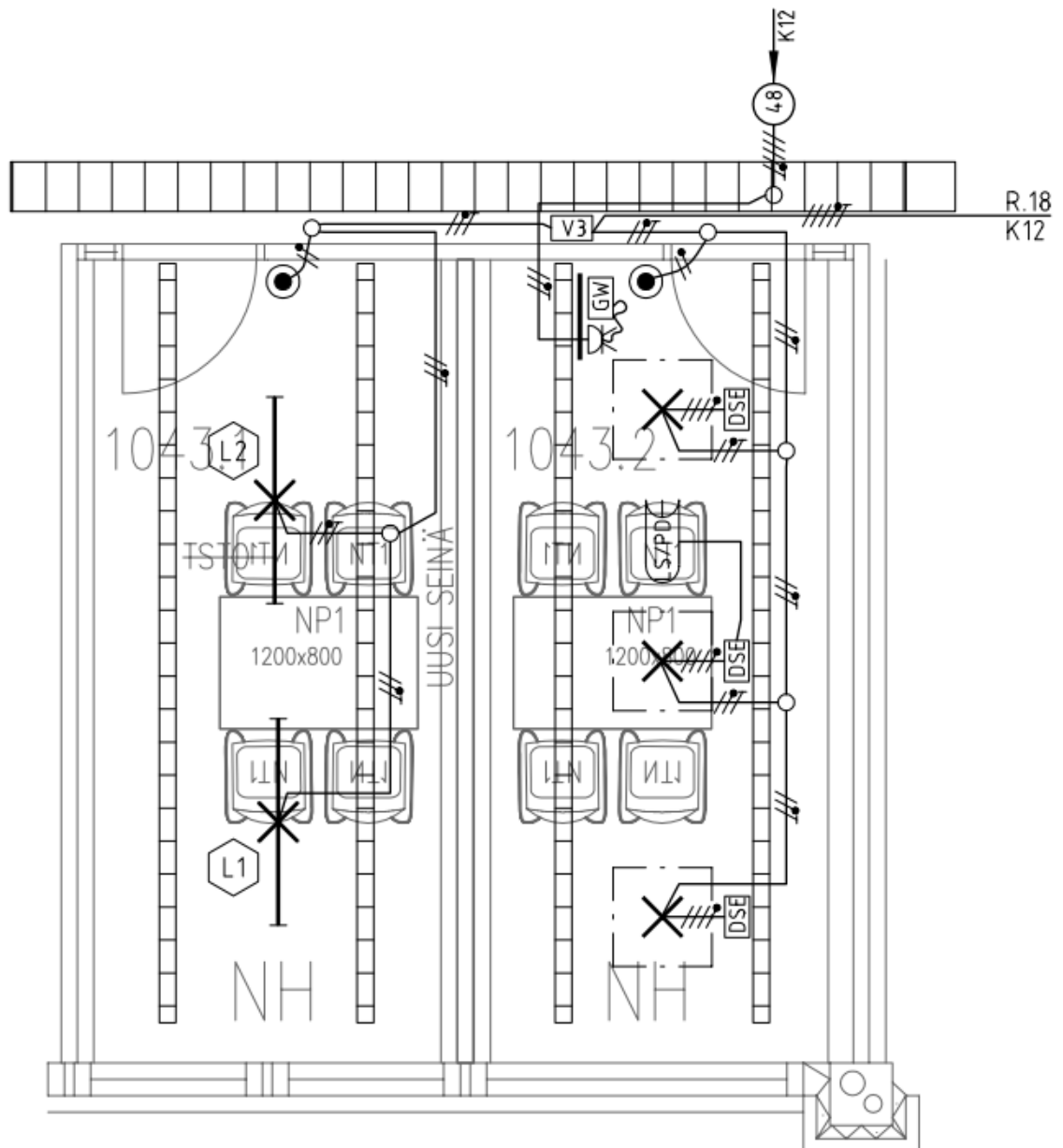
Myös huoneen 2 osalta valaistusvoimakkuusarvot työalueella ja ympäröivällä alueella sekä valaistusvoimakkuuden tasaisuuden arvot ovat standardin suositusten mukaiset.

Dialux-laskelman antamat arvot huoneen keskimääräiselle sylinterivalaistusvoimakkuudelle (198 lx) ja sen tasaisuudelle (0,798) ovat myös suositusten mukaisia, samoin UGR-häikäisyindeksin arvot (15 - 16).

Dialux-laskelman perusteella todettiin, että huoneeseen 2 tarvitaan kolme kappaletta LEDVANCE Area LED -valaisimia standardin SFS-EN 12464-1 suositusten mukaisen valaistuksen aikaansaamiseksi. Valaisimien asennuskorkeudeksi määritettiin 2,5 m.

5.3 Lightify Pro -testiasennuksen asennussuunnittelu

Kun käytettävät valaisimet ja niiden sijoittelut olivat tiedossa, laadittiin asennuksista sähkösuunnitelma. Testihuoneiden sähköasennuspiirustus esitetään kuvassa 27 (ks. seur. s.) ja liitteessä 2. Ensin oli päätettävä valaistuksen ohjausperiaatteista, jotta tiedetään mitä Lightify Pro -komponentteja asennusta varten tarvitaan. Päätettiin, että molempia huoneita voidaan ohjata kaikilla Lightify Pro -järjestelmän mahdollistamilla tavoilla, eli sensoreilla, Lightify Pro Control -sovelluksella sekä perinteisiä painikkeita käyttämällä.



Kuva 27. Testihuoneiden sähköasennuspiirustus.

Molempien huoneiden entiset kytkimet vaihdettiin kaksiosaisiin painikkeisiin, jotka liitettiin Lightify Pro -järjestelmään PBC-yksiköillä. PBC-yksiköt sijoitettiin painikkeiden kojerasioihin. PBC-yksiköihin kytkettiin vanhojen kytkinten vaihe- ja nollajohtimet, ja yksikön esijohdotetut liitännäjohtimet kytkettiin painikkeisiin.

Huoneen 1 Vega Lightify -valaisimista toinen on varustettu integroiduilla läsnäolo- ja päivänvalosensoreilla, joten tilaan ei tarvinnut sijoittaa erillistä sensoria. Sensoreilla varustettu valaisin sijoitettiin kauemmas ovesta ikkunan puolelle. Valaisimet liitettiin suoraan sähkönsyöttöön käyttämällä vanhoja ryhmiä ja kaapelointeja.

Huoneen 2 LEDVANCE Area LED -valaisimet ovat DALI-valaisimia eivätkä Lightify-yhteensopivia, joten valaisimet oli liitettävä järjestelmään käyttämällä DSE-yksiköitä. Yhden DSE-yksikön taakse on mahdollista liittää enintään kahdeksan valaisinta, mutta tällöin ne toimivat *Broadcast*-tilassa, eli niitä ei voida ohjata yksitellen. Jokainen kolmesta valaisimesta liitettiin omaan DSE-yksikköön, jotta niitä voidaan ohjata erikseen. DSE-yksikölle ja valaisimelle kytkettiin suora sähkö sekä näiden välille DALI-ohjausjohtimet, joiden kautta ohjauskäskyt välitetään. DSE-yksiköt sijoitettiin kaapelihyllylle.

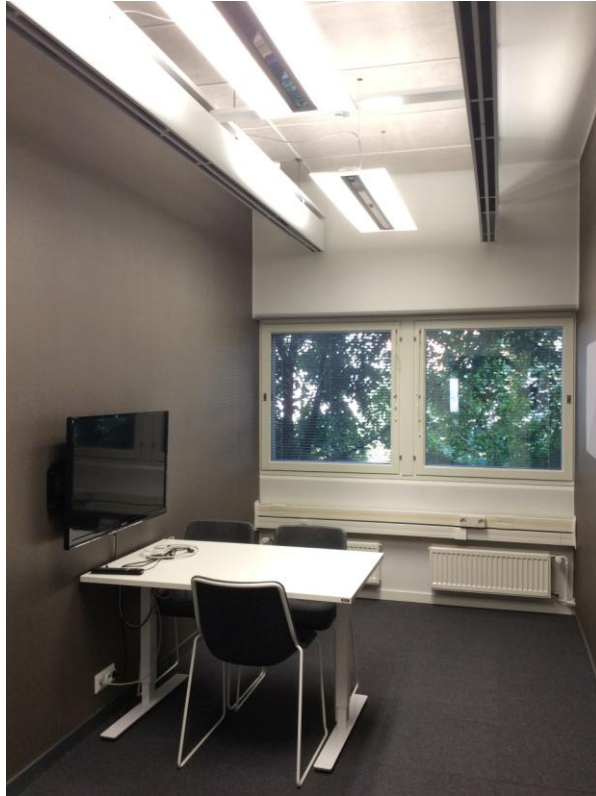
Huoneeseen 2 sijoitettiin Osramin DALIeco LS/PD LI -päivänvalo- ja läsnäolosensori. Sensorin läsnäolotunnistus toimii PIR-tekniikalla. Sensori liitetään DSE-yksikköön sensorin mukana tulleella liitäntäkaapelilla (kuva 28). Toiminnan kannalta ei ole merkitystä, mihin DSE-yksiköistä sensorin liittää, sillä järjestelmän konfigurointivaiheessa se voidaan määrittää ohjaamaan haluttuja valaisimia. Sensori asennettiin kaapelihyllyjen väliin sijoitettuun peltilevyyn käyttäen DALIeco LS/PD AP KIT -pinta-asennuskotelo.



Kuva 28. Lightify Pro DSE -yksikkö johon liitettynä DALIeco LS/PD LI -sensori [32].

Gateway-ohjausyksikkö sijoitettiin huoneeseen 2. Ohjausyksikkö ja sitä varten asennettu pistorasia asennettiin asennuslevyyn kaapelihyllyn kylkeen.

Huoneiden uudet valaistukset esitetään kuvissa 29 ja 30 (ks. seur. s.).



Kuva 29. Huoneen 1043.1 (huone 1) uusi valaistus.



Kuva 30. Huoneen 1043.2 (huone 2) uusi valaistus.

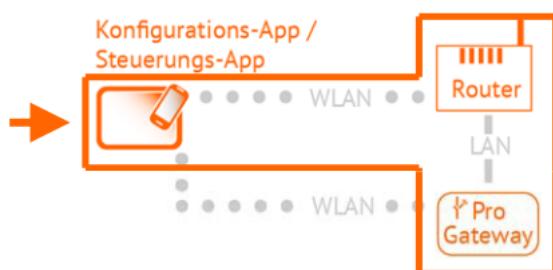
6 Lightify Pro -järjestelmän käyttö ja arviointi

6.1 Lightify Pro -järjestelmän konfigurointi Commissioning-sovelluksella

6.1.1 Yhdistäminen Gateway-ohjausyksikköön

Lightify Pro -järjestelmän asennusta suunniteltaessa on mietittävä, halutaanko järjestelmä integroida toimimaan kiinteistön verkossa vai halutaanko sen toimivan itsenäisesti omassa verkossaan.

Liitettäessä järjestelmä toimimaan kiinteistön verkossa (*Client*-tila) (kuva 31), tarvitaan Lightify Pro Gateway -ohjausyksikön ja verkon langattoman reitittimen välille LAN-yhteys. Mobiililaitteella liitytään kiinteistön langattomaan verkkoon, jonka kautta ollaan yhteydessä Lightify Pro -järjestelmään. Järjestelmän liittäminen kiinteistön verkkoon vaatii aina verkonhaltijan luvan.



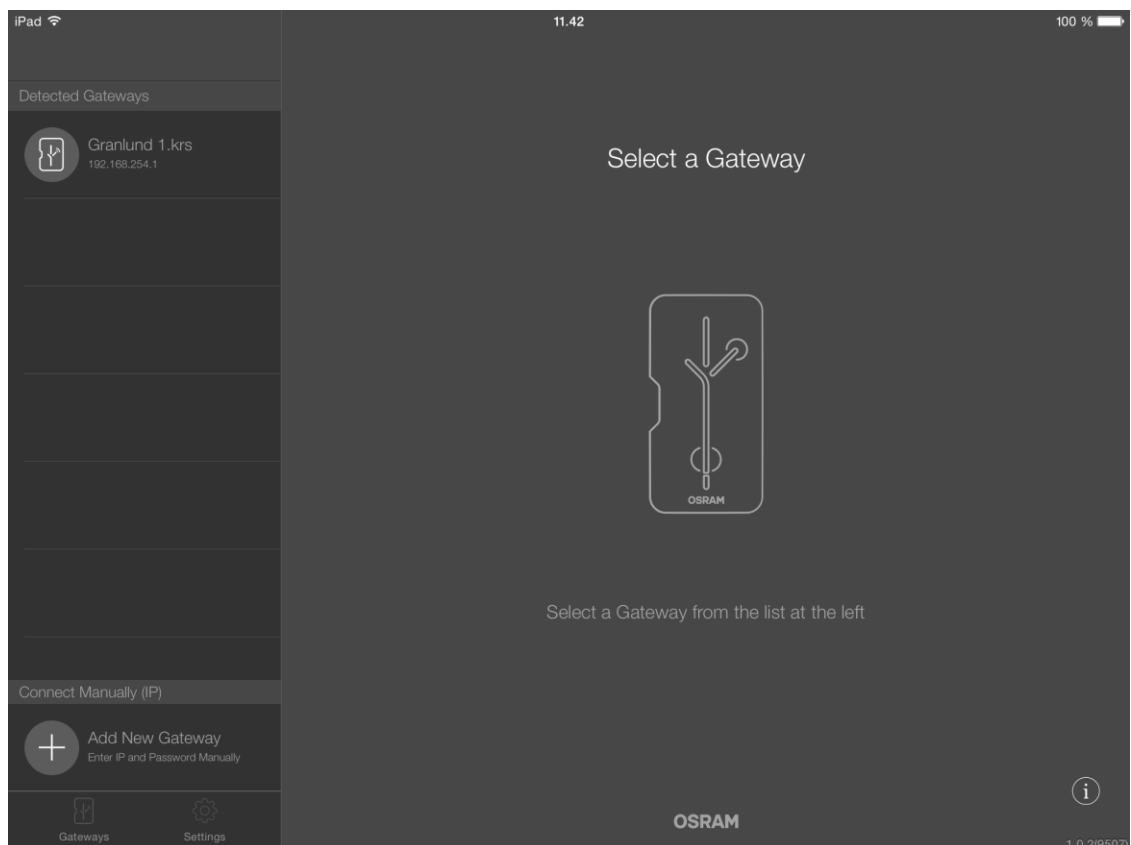
Kuva 31. Järjestelmän käyttäminen kiinteistön verkon kautta [35].

Mikäli Lightify Pro -järjestelmää ei haluta tai ole mahdollista liittää olemassa olevaan verkkoon, muodostetaan mobiililaitteella WLAN-yhteys suoraan Lightify Pro Gateway -ohjausyksikköön (*Hotspot*-tila) (kuva 32, ks. seur. s.). Tämän työn testiasennuksessa käytettiin kyseistä vaihtoehtoa. Yhteyden muodostamiseen vaadittava verkon salasana löytyy ohjausyksikön pohjasta. Kun ohjausyksikköön on kerran muodostanut WLAN-yhteyden, laite muistaa verkon salasanan tulevia yhdistämissä varten, mikä nopeuttaa järjestelmän käyttöönottoa tulevaisuudessa.



Kuva 32. Järjestelmän käyttäminen *Hotspot*-tilassa [35].

Järjestelmän asennuksen jälkeen suoritetaan järjestelmän konfigurointi Lightify Pro Commissioning -sovelluksella. Sovellus on kirjoitushetkellä saatavilla sovelluskaupasta IOS 8.x -käyttöjärjestelmän tableteille, tulevaisuudessa sovellus on tarkoitus julkistaa myös Windows-käyttöjärjestelmän PC-tietokoneille. Ennen sovelluksen käynnistämistä on muodostettava yhteys ohjausyksikköön asennustavasta riippuen joko kiinteistön verkon kautta tai suoraan ohjausyksikköön. Sovelluksen käynnistämisen jälkeen tulee ensin valita ohjausyksikkö, johon yhteys on muodostettu (kuva 33).



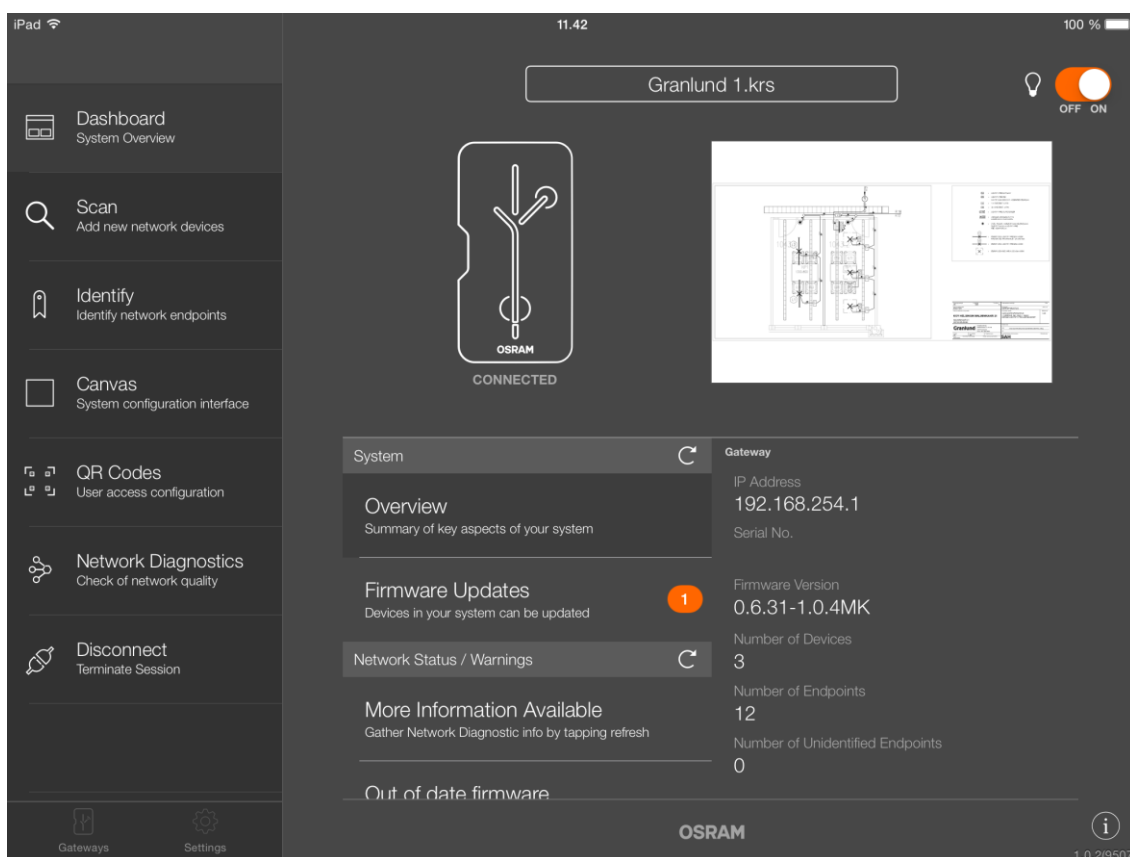
Kuva 33. Lightify Pro Commissioning -sovelluksen aloitusnäky. Vasemmalla listattuna tunnistetut ohjausyksiköt. Vasemmasta alakulmasta voidaan lisätä ohjausyksikkö myös manuaalisesti syöttämällä sen IP-osoite ja salasana.

Ohjausyksikön valitsemisen jälkeen sovellus pyytää ensimmäisen yhdistämisen yhteydessä luomaan ohjausyksikölle salasanan. Salasana on annettava jokaisen yhteydenmuodostuksen yhteydessä. Yhteydenmuodostuksen jälkeen järjestelmää pääsee konfiguroimaan.

6.1.2 *Dashboard*-näkyvä

Ohjausyksikköön yhdistämisen jälkeen käyttäjälle avautuu *Dashboard*-näkyvä (kuva 34). *Dashboard* on järjestelmän yleisnäkyvä, josta nähdään järjestelmän tila, esimerkiksi järjestelmän komponenteille saatavilla olevat päivitykset. Näkyvässä esitetään myös ohjausyksikön tiedot, sekä mahdollisuus ohjata koko järjestelmän valaistus päälle ja pois. Päävalikko sijaitsee *Dashboard*-näkyvän vasemmassa reunassa.

Päivitysten lataamista varten tulee ohjausyksikön olla kytkettynä verkkoon. Jos järjestelmää käytetään *Hotspot*-tilassa, tulee se latausten ajaksi liittää LAN-verkkoon.

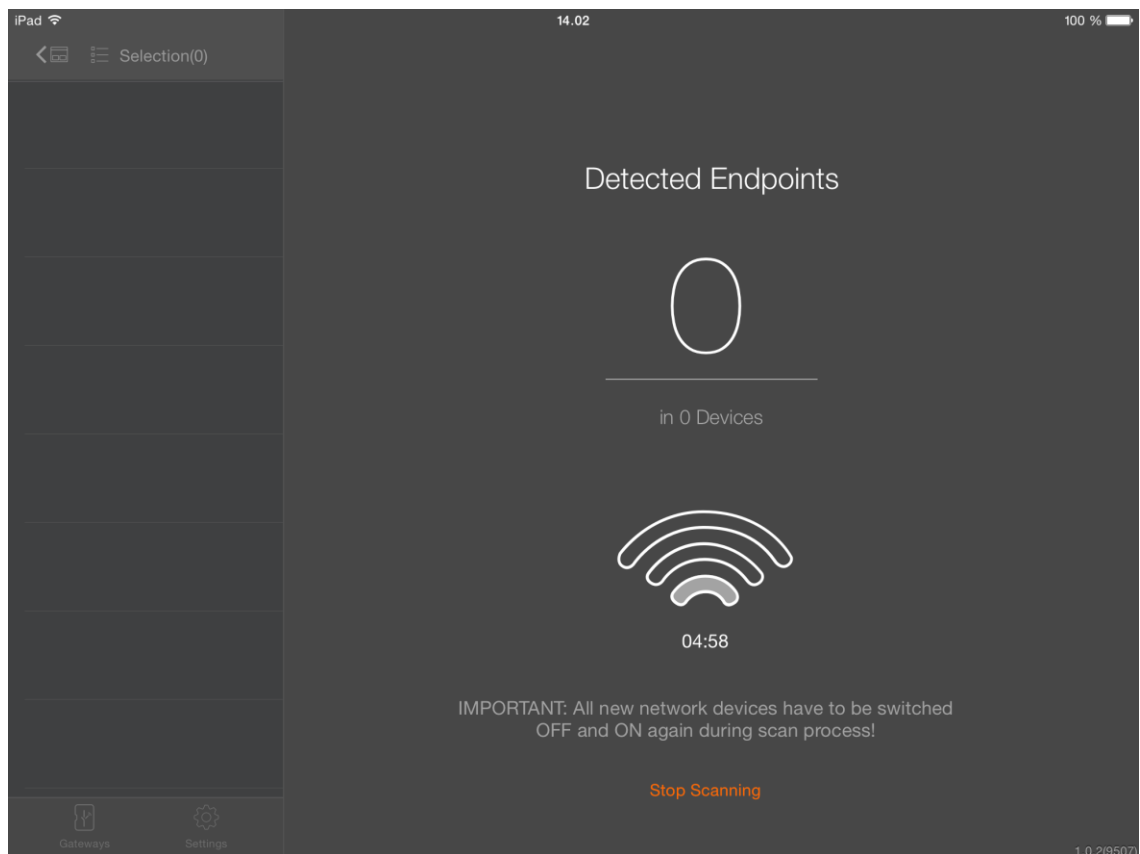


Kuva 34. *Dashboard*-näkyvä. Päävalikko sijaitsee vasemmassa reunassa. Keskellä järjestelmän ja yhteyden tila sekä ohjausyksikön tiedot. Oikeassa yläkulmassa koko järjestelmän valaistuksen päälle ja pois -ohjaus.

6.1.3 Uusien laitteiden etsiminen

Ensimmäinen Lightify Pro Commissioning -sovelluksella suoritettava toimenpide uuden järjestelmän käyttöönotossa on siihen asennettujen komponenttien ja valaisimien etsiminen. Ohjausyksikkö ei automaattisesti löydä laitteita, kun järjestelmään kytketään sähköt asennuksen jälkeen, joten toimenpiteen suorittaminen on välttämätöntä. Etsintä tapahtuu päävalikosta löytyvällä *Scan*-toiminnolla (kuva 35). *Scan*-toiminnolle asetetaan haluttu etsintäaika etsittävien laitteiden lukumäärän ja kohteen laajuuden mukaan.

Ennen toiminnon aloittamista tai sen aikana tulee järjestelmään liitetyiltä laitteilta kytkeä sähköt pois päältä ja toiminnan aikana takaisin päälle. Käytännössä tämä tapahtuu helpoiten kytkemällä sähkökeskukselta laitteiden lähdöt pois päältä ja takaisin päälle, sillä kaikille Lightify Pro-järjestelmän laitteille tulee suora sähkö ilman ohjauksia. Ohjausyksikkö etsii laitteita taajuusalueittain.

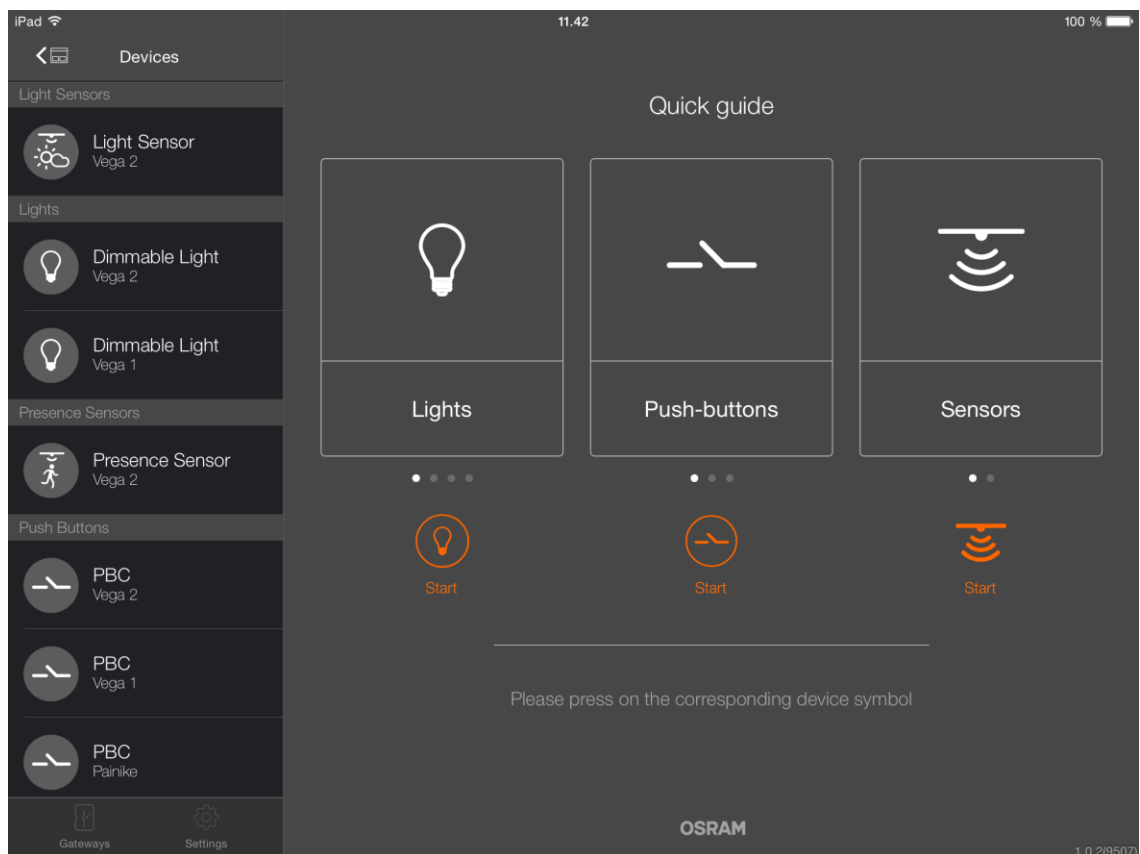


Kuva 35. *Scan*-toiminto käynnissä. Toiminto näyttää löydettyjen päätepisteiden ja laitteiden määrät.

Testihuoneiden laitteiden etsiminen sujui ongelmitta lukuun ottamatta yhtä DSE-yksikköä, jota järjestelmä ei löytänyt. Ongelma ratkaistiin vaihtamalla DSE-yksikkö uuteen.

6.1.4 Laitteiden tunnistaminen

Kun järjestelmään liitetyt laitteet on etsitty *Scan*-toiminnolla, ne voidaan tunnistaa *Identify*-toiminnolla (kuva 36). *Identify*-toiminnolla voidaan tunnistaa kolmentyyppisiä laitteita; valaisimia ja valonlähteitä, kytkimiä/painonappeja ja tunnistimia. Onnistuneen tunnistuksen jälkeen sovellus avaa *Canvas*-näkymän, jonka vasemman reunan valikossa on esitetty tunnistettu laite. Laite on tämän jälkeen sijoitettavissa *Canvas*-näkymään sekä käytettävissä ja ohjelmoitavissa. Toiminta helpottaa uusien laitteiden sijoittamista oikeille paikoilleen *Canvas*-näkymälle.



Kuva 36. *Identify*-toiminnon näkymä. Toiminnolla voidaan tunnistaa kolmentyyppisiä laitteita. Symboleita painamalla saa esiin ohjeita kunkin laitetyypin tunnistamiseen.

6.1.5 Canvas-näkymä

Canvas-näkymä on järjestelmän päänäkymä, jossa määritellään valaistuksen toiminnot. Kun järjestelmän laitteet ja päätepiisteet on etsitty ja tunnistettu, ne voidaan tuoda *Canvas*-näkömään käyttöä ja ohjelmointia varten.

Ennen laitteiden sijoittamista *Canvas*-näkömälle voidaan ohjausyksikköön ladata kohteen pohjakuva havainnollistamaan laitteiden sijoittelua. Kuva siirretään USB-muistitikulla ohjausyksikön USB-liitännän kautta. Kuva voi olla PDF-, JPG- tai GIF-muodossa. Kuvan lisääminen tapahtuu painamalla *Canvas*-näkömään alalaidassa olevaa *Floorplan*-kuvaketta.

Testikohteessa pohjakuvaksi ladattiin kohteen sähköasennuspiirustus (liite 1) PDF-muodossa. Kohteen ohjausyksiköllä oli vaikeuksia löytää siihen liitettyjä USB-muistitikkuja, joilla siirtoa yritettiin, kunnes usean yrityksen jälkeen ohjausyksikkö löysi muistitikun, ja kuva saatiin siirrettyä.

Canvas-näkömään vasemmassa reunassa on luettelo tunnistetuista laitteista ja päätepiisteistä. Laitteet tuodaan *Raahaa & Pudota* -periaatteella, hyödyntäen pohjakuvaa laitteiden sijoittamisessa. Laite, esimerkiksi DSE-yksikkö voi sisältää useita päätepiisteitä (kuvat 37 ja 38).



Kuva 37. DSE-yksikön symboli. Laitteessa on neljä päätepiistettä: valaisin, läsnäolosensori, päivänvalosensori ja kytin/painike.



Kuva 38. PBC-yksikön symboli. PBC-yksikköön on mahdollista liittää neljä kytintä tai painiketta, joten siinä on neljä päätepiistettä. Vaaleanpunaisella ja vihreällä esitetyt päätepiisteet on käytössä ja liitetty valaistusryhmiin.

Järjestelmän laitteiden ja pääte pisteiden hallintaan *Canvas*-näkyssä käytetään taulukossa 6 esitettäviä toimintoja.

Taulukko 6. Laitteiden hallinta *Canvas*-näkyssä.

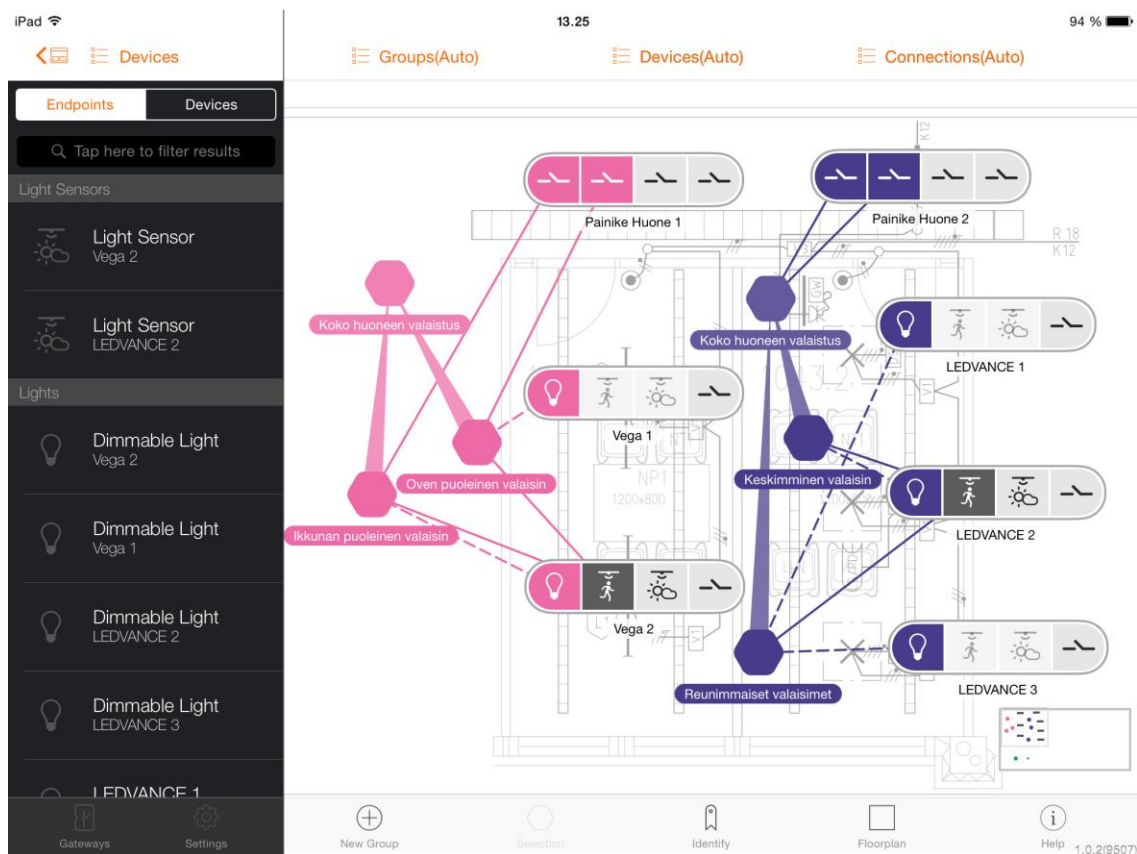
Toiminto	Toimenpide
Objektin valinta	Yksi lyhyt painallus
Objektin parametrilistan avaaminen	Kaksi lyhyttä painallusta
Objektin siirtäminen (<i>Raahaa & Pudota</i>)	Paina ja pidä pohjassa
Yhteyden muodostus	Vedä viiva kahden objektin välille
Yhteyden poistaminen	Yksi lyhyt painallus yhteysviivaan

6.1.6 Valaistusryhmien muodostaminen ja konfigurointi

Kun halutut laitteet on siirretty *Canvas*-näkyäälle, muodostetaan niistä valaistusryhmiä. Valaistusryhmään voidaan liittää pelkkiä valaisimia tai valaisimia sekä niitä ohjaavia kytkimiä, painikkeita ja senoreita. Valaistusryhmillä määritetään, mitä valaisimia mikäkin sensori tai painike ohjaa. Valaistuksen ohjaus tapahtuu Control-sovelluksessa aina ryhmiä ohjaamalla. Ryhmille voidaan määrittää myös esimerkiksi erilaisia valaistustilanteita ja ryhmän toimintatapa.

Valaistusryhmän muodostaminen aloitetaan valitsemalla alalaidasta *New Group*, jonka jälkeen uusi ryhmämerkki ilmestyy *Canvas*-näkyäälle. Valaistusryhmään lisättävät pääte pisteet yhdistetään ryhmään vetämällä viiva pääte pisteeltä ryhmämerkkiin. Valaistusryhmä voidaan muodostaa myös valitsemalla ensin halutut pääte pisteet, ja sitten valitsemalla alalaidasta *Selection ja Add to New Group*.

Valaistusryhmiä voidaan myös ryhmitellä ns. ryhmäjoukkoihin (*Swarm group*). Kun on määritetty vähintään kaksi valaistusryhmää, nämä voidaan liittää ryhmäjoukkoon, jolle voidaan määrittellä omia valaistustilanteita. Yksittäiset valaistusryhmät on kuitenkin konfiguroitava yksilöllisesti, vaikka ne liitetään ryhmäjoukkoon. Kuvassa 39 (ks. seur. s.) esitetään testiasennusten *Canvas*-näkyä.

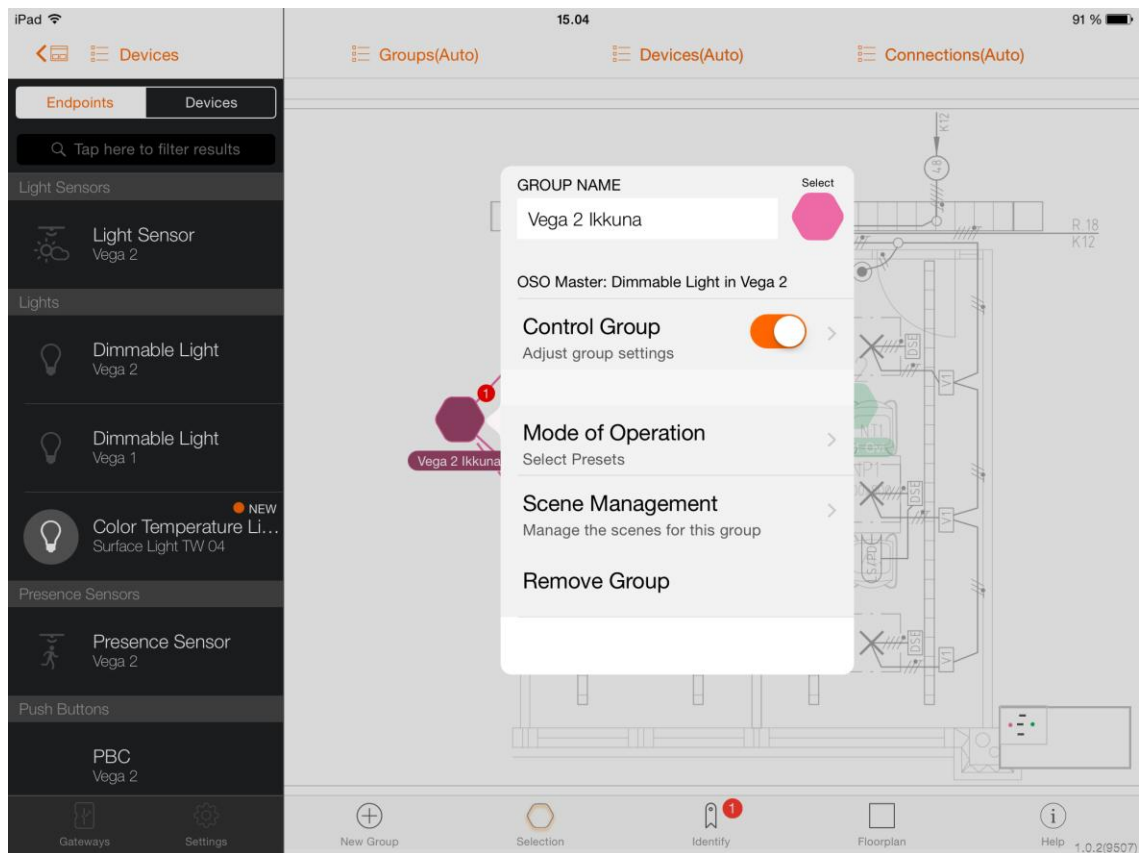


Kuva 39. Canvas-näkymä testiasennuksesta. Vasemmalla on esitetty tunnistetut laitteet ja päätepiisteet. Keskellä on tilan pohjakuva, huone 1 sijaitsee kuvassa vasemmalla ja huone 2 oikealla puolella. Pohjakuvan päälle on tuotu valaisimet ja PBC-yksiköt niiden kuvan mukaisille paikoilleen. Valaistukselle on luotu valaistusryhmät ja viivoilla on yhdistetty niihin kuuluvat valaisimet ja ohjauskomponentit.

Huoneeseen 1 muodostettiin ensin kaksi valaistusryhmää: omat molemmille valaisimille. Valaistusryhmät nimettiin siten, että käyttäjän on Control-sovelluksella helppo nähdä, minkä valaistusryhmän kautta ohjataan mitään valaisinta. Vega 2 -valaisimeen integroitu läsnäolotunnistin yhdistettiin ohjaamaan molempia valaistusryhmiä. Myös huoneen painikkeet liitettiin ohjaamaan kyseisiä valaistusryhmiä. Näistä kahdesta valaistusryhmästä muodostettiin vielä *Swarm*-ryhmä, jotta molempia huoneen valaisimia voidaan ohjata samanaikaisesti Control-sovelluksen kautta. *Swarm*-ryhmä nimettiin huoneen mukaan.

Huoneessa 2 valaistusryhmiä muodostettiin sama määrä kuin huoneessa 1, mutta huoneen kolmesta valaisimesta reunimmaisat liitettiin samaan ryhmään ja keskimmäinen valaisin omaan ryhmäänsä. Huoneessa 2 painikkeet liitettiin *Swarm*-ryhmään, sillä painikkeilla haluttiin ohjata koko huoneen valaistusta. Huoneen päivänvalo- ja läsnäolosensori liitettiin LEDVANCE 2 -valaisimen DSE-yksikköön.

Valaistusryhmän ominaisuuksia päästään muokkaamaan avaamalla ryhmän parametrilista (kuva 40).



Kuva 40. Valaistusryhmän parametrilista.

Parametrilistassa voidaan muokata valaistusryhmän nimeä ja valita sen väri *Canvas*-näkyvässä. *Control Group* -valikossa voidaan ohjata koko valaistusryhmän valaistusta ja luoda valaistustilanteita. *Scene Management* -valikosta voidaan aktivoida ja poistaa valaistustilanteita, joita valaistusryhmälle on määritetty. *Mode of Operation* -valikossa määritellään valaistusryhmälle toimintatapa. Toimintatapa voidaan valita joko esiohjelmoiduista vaihtoehdoista, tai se voidaan määrittellä käyttäjän toimesta. Esiohjelmoidut vaihtoehdot ovat

- toimisto
- neuvotteluhuone
- käytävä

- portaikko
- wc-tila
- luokkahuone.

Määritettäessä toimintatapa itse, asetetaan sille seuraavat arvot:

- *T1 Time* = aika, kuinka kauan *On Level* -valaistustaso on päällä viimeisen havainnon tai toiminnon jälkeen.
- *On Level* = valaistustaso T1-aikana.
- *T2 Time* = aika, kuinka kauan *Hold Level* -valaistustaso on päällä T1-ajan jälkeen.
- *Hold Level* = valaistustaso T2-aikana.

Toimintatapaa määrittäessä voidaan valita, sytytetäänkö valaistus automaattisesti sensorin toimesta vai painikkeesta/kytkimestä. Toimintatapaan voidaan lisätä myös Portaikko-toiminto, jolloin valaistus välähtää nopeasti ennen sammumista kokonaan.

Huoneessa 1 T1-ajaksi määritettiin viisi minuuttia ja huoneessa 2 yksi minuutti. Molemmissa huoneissa T2- ajoiksi määritettiin yksi minuutti, *On Level* -valaistustason ollessa 100 % ja *Hold Level* -valaistustason 10 %.

6.1.7 Valaistustilanteiden määrittäminen

Järjestelmässä valaistukselle voidaan määrittää erilaisia valaistustilanteita. Tilanteissa määritettävät ominaisuudet ovat valaistustaso, värilämpötila ja väri. Tilanteita voidaan määrittellä koko valaistusryhmälle tai yksittäisille valaistuspisteille.

Määritettäessä tilanne koko ryhmälle, avataan ryhmän parametrilista ja valitaan *Control Group*, josta päästään ohjaamaan koko ryhmän valaistusta. Kun valaistus on säädetty

halutuksi, valitaan *New Scene from Current Settings*, jossa tilanne nimetään ja tallennetaan.

Jos halutaan määrittää tilanne yksittäiselle valaistuspisteelle tai halutaan luoda tilanne, jossa ryhmän valaistuspisteille on määritelty omat valaistustasot, avataan kunkin muokattavan valaistuspisteen parametrilista ja valitaan *Control Light*. Valaistuspisteiden valaistukset säädetään halutuiksi, minkä tämän jälkeen avataan valaistusryhmän *Scene management* -valikko, johon lisätään uusi tilanne.

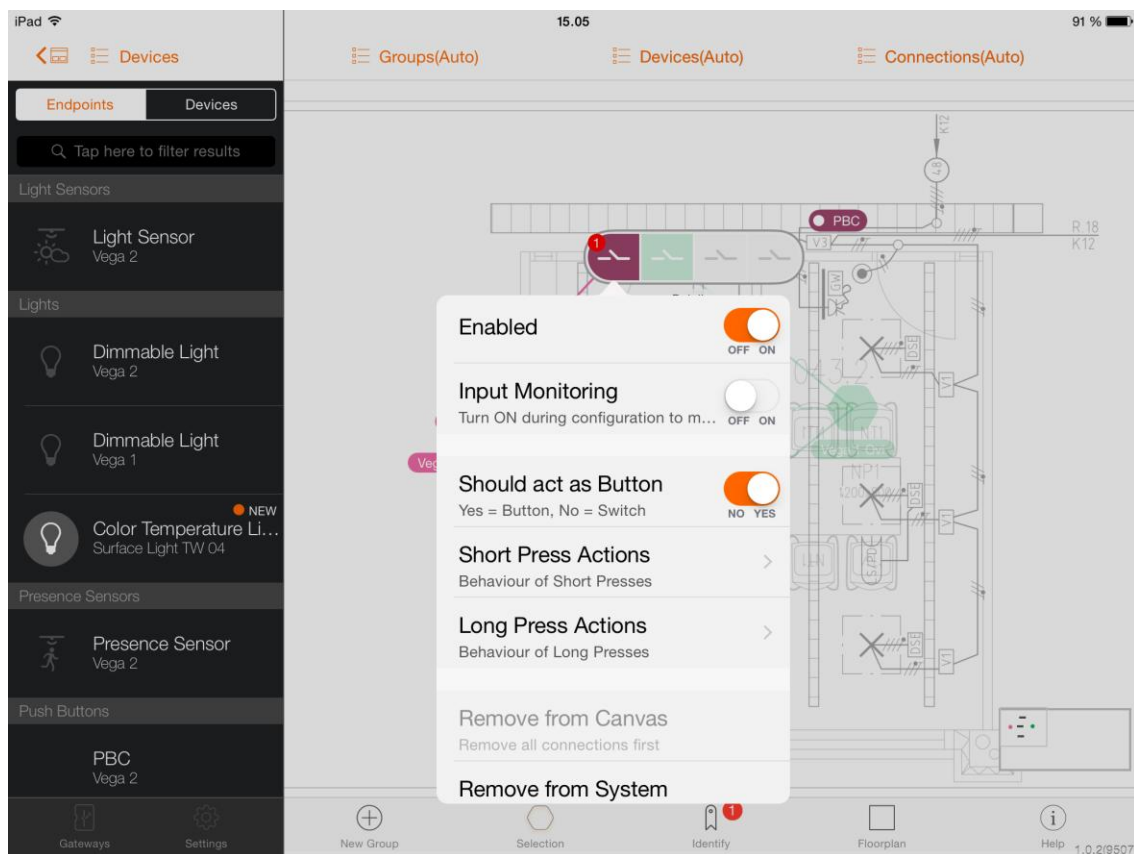
Tilanteita voi selata, aktivoida ja poistaa valaistusryhmän *Scene management* -valikosta. Tilanteita voidaan konfiguroida ohjattavaksi painikkeella, kytkimellä tai Control-sovelluksella.

Huoneessa 1 muodostettiin huoneen *Swarm*-ryhmälle kaksi valaistustilannetta, "Esitys" ja "100 %". Valaistustilanteet luotiin *Swarm*-ryhmälle, sillä tilanteisiin haluttiin sisällyttää molemmat valaisimet. "Esitys"-tilanteessa molempien valaisimien valaistustaso on noin 50 %. "100 %"-tilanteessa valaisimien valaistustaso on maksimitasolla.

Huoneeseen 2 määritettiin enemmän valaistustilanteita suuremman valaisinmäärän vuoksi. Myös huoneen 2 tilanteet luotiin *Swarm*-ryhmälle. Huoneelle määritettiin tilanteet "Esitys", "Täysi", "Keski", ja "Ovi ja Ikkuna". "Esitys"- ja "Täysi"-tilanteet määritettiin samanlaisiksi kuin huoneen 1 samannimiset tilanteet. "Keski"-tilanteessa huoneen keskimmäisen valaisimen valaistustaso on maksimitasolla ja reunimmaisets valaisimet palavat minimitasolla. "Ovi ja Ikkuna" -tilanteessa reunimmaisten valaisimien valaistustaso on maksimitasolla ja keskimmäisen valaisimen minimitasolla.

6.1.8 Kytkimien/painikkeiden ja sensorien konfigurointi

Kun kytkimiä/painikkeita ja sensoreita on liitetty valaistusryhmiin, voidaan ne konfiguroida avaamalla kyseisen päätepisteen parametrilistan (kuva 41, ks. seur. s.).



Kuva 41. Kytkimen/painikkeen parametrista.

Kytkimen/painikkeen parametrista valitaan, toimiiko päätepiste kytkimenä vai painikkeena. Valinta määrittelee vaihtoehdot päätepisteen konfiguroinnille. Mikäli valitaan että päätepisteen tulee toimia painikkeena, voidaan määrittellä toiminnot sekä lyhyille että pitkille painalluksille. Lisäksi voidaan määrittellä erikseen ensimmäisen ja toisen painalluksen toiminnot.

Sekä lyhyille että pitkille painalluksille on määritettävissä seuraavat toiminnot:

- valo päälle
- valo pois päältä
- valo pois päältä/Valo päälle määritetylle tasolle halutun ajan kuluessa

- määritetyn valaistustilanteen valinta
- valaistustason muuttaminen.

Näiden lisäksi pitkille painalluksille voidaan määrittää valaistuksen himmennys valitulla nopeudella.

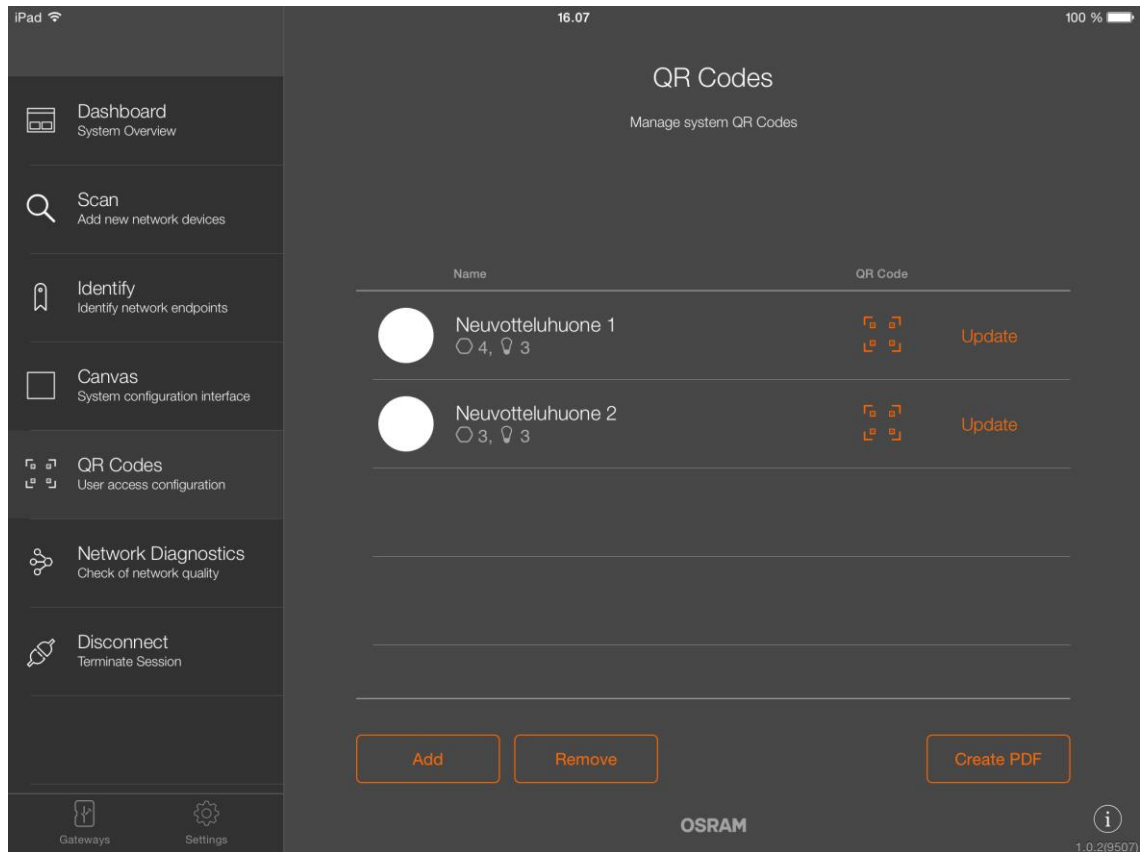
Läsnäolosensorin parametrilistassa voidaan muokata sensorin toimintaetäisyyttä ja herkkyyttä sekä aktivoida tai poistaa sensori käytöstä. Päivänvalosensori voidaan aktiivoida tai poistaa käytöstä sen parametrilistassa.

Huoneessa 1 toisella painikkeista ohjataan oven puoleista ja toisella ikkunanpuoleista valaisinta. Lyhyillä painalluksilla valaistusta säädettiin maksimi- ja minimitasolle ja pitkillä painalluksilla valaistusta himmennettiin.

Huoneessa 2 toinen painikkeista määritettiin ohjaamaan huoneen koko valaistusta. Lyhyillä painalluksilla valaistusta säädetään maksimi- ja minimitasolle ja pitkillä painalluksilla valaistusta himmennetään. Toinen painike ohjelmoitiin ohjaamaan päälle valaistustilanteita. Huoneelle 2 määritetyistä neljästä tilanteesta kahta ohjataan lyhyillä painalluksilla ja kahta pitkillä painalluksilla.

6.1.9 QR-koodien luominen

Järjestelmän konfiguroinnin jälkeen Commissioning-sovelluksella luodaan QR-koodeja, joiden kautta käyttäjät pääsevät ohjaamaan valaistusta Control-sovelluksen avulla. QR-koodien luomisen yhteydessä määritetään, mitä valaistusryhmiä ja niiden toimintoja käyttäjä pääsee ohjaamaan. QR-koodin luominen aloitetaan valitsemalla *Dashboard*-näkymän valikosta *QR Codes* (kuva 42, ks. seur. s.)



Kuva 42. QR Codes -valikon aloitusnäky. Luetteloon lisätty QR-koodit molemmille testihuoneille.

Valikossa luodaan uusi QR-koodi, joka nimetään esimerkiksi ohjattavan tilan mukaan. Tämän jälkeen avautuu lista kaikista järjestelmään konfiguroiduista valaistusryhmistä, joista valitaan ryhmät joita kyseisellä QR-koodilla pääsee ohjaamaan. Ryhmää painamalla voidaan valita toiminnot, jotka sallitaan ohjattavaksi Control-sovelluksella. Valittavia toimintoja ovat

- päälle/pois -ohjaus
- himmennys
- värilämpötilan säätö
- värin säätö
- valaistustilanteet.

QR-koodin luomisen jälkeen valitaan *Create PDF*, minkä jälkeen valitaan haluttu tulosasetelma. PDF-tiedosto voidaan lähettää joko sähköpostilla tai tulostaa suoraan sovelluksen kautta.

Testihuoneille luotiin omat QR-koodinsa, jotka tulostettiin ja sijoitettiin huoneiden sisäpuolelle ovenpieliin. QR-koodeihin määritettiin käyttäjien ohjattavaksi kaikki huoneille määritetyt valaistusryhmät ja niiden toiminnot.

6.2 Lightify Pro -järjestelmän käyttäminen Control-sovelluksella

Lightify Pro Control -sovellus on käyttäjille tarkoitettu, älypuhelimelle ladattava sovellus Lightify Pro -järjestelmän valaistuksen ohjaukseen. Control-sovelluksella luetaan QR-koodeja, joiden kautta päästään ohjaamaan Commissioning-sovelluksella määritettyjä valaistusryhmiä ja -toimintoja. Ennen ohjelman käynnistämistä on luotava WLAN-yhteys joko kiinteistön tietoverkkoon tai suoraan Lightify Pro Gateway-ohjausyksikköön riippuen, onko käytössä *Client*- vai *Hotspot*-tila (ks. 6.1.1). Control-sovelluksen käynnistämisen jälkeen se pyytää skannaamaan QR-koodin puhelimen kameralla (kuva 43).



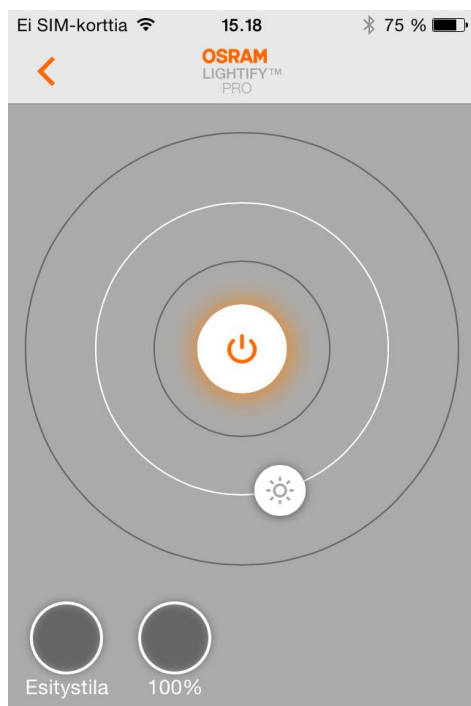
Kuva 43. QR-koodi skannattu Control-sovelluksella

QR-koodin skannauksen jälkeen sovellus näyttää, mitä valaistusryhmiä ja niiden toimintoja on kyseisellä koodilla mahdollista ohjata (kuva 44).



Kuva 44. QR-koodille ohjattavaksi määritetyt valaistusryhmät. Pienet kuvakkeet ryhmän nimen alla näyttävät, mitä toimintoja ryhmissä voidaan ohjata. Kaikissa kuvan valaistusryhmissä voidaan ohjata valaistusta päälle ja pois sekä himmentää valaistusta. Lisäksi Neuvotteluhuoneen 1 ryhmälle "Koko huoneen valaistus" on määritetty kaksi valaistustilannetta joita voidaan ohjata.

Valaistusryhmää pääsee ohjaamaan valitsemalla se luettelosta. Ohjauksen käyttöliittymä esitetään kuvassa 45 (ks. seur. s.).



Kuva 45. Valaistuksen ohjauksen käyttöliittymä. Valaistuksen päälle ja pois -ohjaus tapahtuu säätöympyrän keskellä olevasta painikkeesta. Säätöympyrässä olevaa painiketta liikuttamalla himmennetään valaistusta. Mikäli käytävissä on myös värilämpötilan- ja värinsäätö, tapahtuu niidenkin säätäminen säätöympyrästä. Alareunassa on valittavissa valaistusryhmän valaistustilanteet.

Mikäli Commissioning-sovelluksella tehdään muokkauksia ryhmiin tai valaistustoimintoihin, Control-sovellukselle on luotava uusi QR-koodi, jotta muutokset saadaan käyttöön.

Testihuoneisiin QR-koodien yhteyteen liitettiin ohjeet Control-sovelluksen käyttöönottoon. Myös painikkeiden yläpuolelle sijoitettiin ohje niiden toiminnoista.

6.3 Lightify Pro -järjestelmän arviointi

6.3.1 Lightify Pro -järjestelmän asentaminen ja konfigurointi

Lightify Pro -järjestelmän valaisimien ja komponenttien asentaminen on nopeaa ja yksinkertaista. Järjestelmän asentaminen ei välttämättä vaadi ohjausjohtimia, minkä ansiosta järjestelmän asennuskustannukset ovat alhaiset. Ohjauskaapeloiteja joudutaan kuitenkin asentamaan, mikäli järjestelmään liitetään muita kuin Lightify-valaisimia.

Testihuoneen 2 DALI-valaisimien ja DSE-yksiköiden välille jouduttiin asentamaan nelinapainen kaapeli DALI-ohjausväylää ja DSE-yksikön sähkönsyöttöä varten.

Sähköurakan kokonaishinta muodostuu suurimmilta osin työ- ja materiaalikustannuksista työkustannusten riippuessa työn määrästä ja vaativuudesta. Erityisesti saneerauskohteissa Lightify Pro -järjestelmän asennuksella säästetään sekä aikaa että rahaa, sillä asennustyöt on mahdollista suorittaa käyttäen olemassa olevia kaapelointeja ja rasioita. Järjestelmä sopii myös rakenteellisesti vaativiin ja ohjauskaapeloinnin kannalta vaikeapääsyisiin kohteisiin. Testihuoneessa 1 Lightify Pro -valaisimien ja PBC-yksiköiden asennuksissa käytettiin olemassa olevia kaapeleita, joten ylimääräisiltä asennus- ja kaapelointitöiltä vältyttiin. Huoneessa 2 jouduttiin asentamaan uudet kaapelit DSE-yksiköille ja ohjausyksikön uudelle pistorasialle. Huoneeseen sijoitettu sensori liitettiin DSE-yksikköön sen mukana tulleella datakaapelilla.

Huoneen 1 Vega-valaisimien asennuksessa oli sattunut asennusvirhe, jonka vuoksi molemmat valaisimet toimivat ohjattaessa erikseen kumpaa tahansa valaisinta Commissioning-sovelluksen kautta. Valaisimien valmiiksi asennettujen liitântäkaapeleiden DALI-ohjausjohtimet oli jakorasiassa liitetty toisiinsa, minkä vuoksi valaisimien ohjaaminen erikseen ei onnistunut. Kyseiset Lightify Pro -valaisimet vaativat vain vaihe-, nolla- ja suojajohtimien kytkennän. Toisen huoneen LEDVANCE-valaisimista kahden valaisimen himmentäminen ei järjestelmän käyttöönoton aikana onnistunut. Valaisimia oli mahdollista ohjata vain päälle ja pois. Tämä johtui valaisinten viallisista tasavirtalähteistä, jotka vaihtamalla saatiin valaisimien himmennys toimimaan.

Lightify Pro -järjestelmän konfigurointi ennen käyttöönottoa suoritetaan ilmaiseksi ladattavissa olevalla tablettisovelluksella. Sovellus on suunniteltu siten, että sekä käyttäjät että asentajat voivat sen avulla muokata ja konfiguroida järjestelmää. Sovelluksen käyttöliittymä on tehty selkeäksi, mutta sen sujuva käyttäminen ja kaikkien ominaisuuksien hallinta vaatii myös alan ihmiseltä ja tietoteknisesti harjaantuneelta henkilöltä sovellukseen lyhyehkön koulutuksen tai itsenäistä perehtymistä. Kahden testihuoneen kokoisen kohteen konfigurointi vie harjaantuneelta käyttäjältä noin 15 - 20 minuuttia riippuen siitä, mitä ohjauksia valaistukselle asetetaan.

Lightify Pro -järjestelmän muokkaaminen esimerkiksi tilankäytön muutosten tai uudelleenjärjestelyjen vuoksi on vaivatonta. Ohjaukselliset muutokset voidaan tehdä nopeasti tabletin konfigurointisovelluksella, joita käyttäjä pääsee käyttämään uuden QR-koodin

tulostamisen jälkeen. Järjestelmän fyysiset valaisinsijoittelun muutokset voidaan tehdä ilman ohjausjohtimien aiheuttamia rajoitteita. Valaisinten lisääminen ja poistaminen järjestelmässä onnistuu nopeasti konfigurointisovelluksen kautta.

Valaistusryhmien valaistustilanteiden muokkaaminen tai uudelleen nimeäminen ei kuitenkaan ole mahdollista. Jos haluttaisiin esimerkiksi muokata jo luodun valaistustilanteen valaistustasoja, vanha valaistustilanne täytyy ensin poistaa, ja tämän jälkeen luoda uusi tilanne. Konfigurointisovellus ei anna nimetä useampaa valaistustilannetta samalla nimellä, vaikka valaistustilanteet olisi määritetty eri valaistusryhmille. Jos järjestelmään kuuluu esimerkiksi useita neuvotteluhuoneita joihin kaikkiin halutaan luoda valaistustilanne esitystä varten, täytyy jokainen valaistustilanne nimetä eri nimellä.

6.3.2 Lightify Pro -järjestelmän luotettavuus

Lightify Pro -järjestelmän käyttämä ZigBee-standardin yhteysmuoto tarjoaa valaistusjärjestelmälle luotettavan ja huoltovapaan langattoman yhteysmuodon. ZigBee-standardin käyttämän WMesh-verkkotopologian ansiosta signaali voi kulkea järjestelmässä lähettimeltä vastaanottimelle useaa eri reittiä. Tämän vuoksi esimerkiksi yhden komponentin rikkoutuminen ei vaikuta muun järjestelmän toimintaan. Jokainen ZigBee-piste toimii toistimena signaalille, mikä mahdollistaa järjestelmälle pitkän toimintaetäisyyden.

Lightify Pro -järjestelmän käyttäminen Hotspot-tilassa tarkoittaa, että konfiguroitaessa tai ohjattaessa järjestelmää mobiililaitteella on muodostettava yhteys suoraan Lightify Pro Gateway -ohjausyksikköön. Ohjausyksikön muodostaman WLAN-verkon kantama rajoittuu noin 30 metriin toimistoympäristössä, mikä tarkoittaa, että järjestelmän ohjaaminen mobiililaitteella ei onnistu kantaman ulkopuolella. Järjestelmän ohjaaminen toimii tämän etäisyyden ulkopuolellakin järjestelmään liitetyillä sensoreilla ja painikkeilla sekä kytkimillä, joiden toimintaetäisyys on pidempi niiden käyttäessä ZigBee-yhteyttä. Ratkaisuna ohjausyksikön WLAN-yhteyden kantaman pidentämiseen tutkitaan WLAN-signaalin vahvistimen käyttämistä.

Mikäli järjestelmän ohjausyksikkö rikkoutuu, järjestelmää ei pääse konfiguroimaan Commissioning-sovelluksella eikä ohjaamaan Control-sovelluksella. Jos järjestelmä on konfiguroitu ohjattavaksi sensoreilla tai painikkeilla/kytkimillä PBC-yksikön kautta, järjestelmän ohjaus onnistuu näiden avulla myös ilman ohjausyksikköä.

Testiasennuksen käyttöönoton aikana järjestelmän ohjausyksikkö rikkoutui, eikä siihen saatu enää yhteyttä. Kyseisen ohjausyksikön kautta oli järjestelmään yhdistetty ja konfiguroitu huoneen 2 DSE- ja PBC-yksiköt sekä sensori. Järjestelmän ohjaaminen painikkeiden ja sensorin kautta toimi yhä ohjausyksikön rikkoutumisesta huolimatta.

Järjestelmään vaihdettiin uusi ohjausyksikkö, mutta se ei löytänyt kyseisiä komponentteja, sillä niitä ei ollut irrotettu vanhasta ohjausyksiköstä. Testiasennusten suoritusohjelmalla komponentteja ei ollut mahdollista irrottaa järjestelmästä ilman Commissioning-sovellusta ja vanhaa ohjausyksikköä, joten ainoa ratkaisu oli vaihtaa komponentit uusiin, jotta ne saatiin yhdistettyä uuteen ohjausyksikköön. Tämän ongelman ilmettyä testiasennuksessa Osram kehittää ratkaisun komponenttien resetointiin ja irrottamiseen järjestelmästä ilman ohjausyksikköä, mikäli se vikaantuu.

Lightify Pro -järjestelmään on tulossa saataville toimintavarmuuden lisäämiseksi varavirtalähde vähintään 72 tunniksi sähkökatkosten varalta, tulevia RTC (Real Time Clock) -ajastettuja toimintoja varten.

6.3.3 Lightify Pro -järjestelmän käyttäjäystävällisyys

Lightify Pro -järjestelmä on monipuolisesti ohjelmoitavissa monenlaisiin tiloihin sopivaksi. Järjestelmä tarjoaa myös monipuoliset ohjausmahdollisuudet, sen sisältäessä valmiita ohjaustapa-asetuksia muun muassa toimistotilojen, luokkahuoneen ja käytävän valaistukseen sekä mahdollisuuden omien ohjaustapojen luomiseen. Järjestelmän ohjaus voidaan toteuttaa täysin automaattisesti käyttäen läsnäolo- ja päivänvalotunnistimia, tai käyttäjän ohjaamana älypuhelimella tai perinteisillä kytkimillä ja painikkeilla.

Valaistuksen ohjauksessa sensoreilla valot syttyvät määritetyille tai päivänvalo-ohjauksen asettamalle valaistustasolle läsnäolotunnistimien havaitessa liikettä. Määritetyn ajan kuluttua viimeisen liikkeen jälkeen valot sammuvat kokonaan tai himmenevät määritetyille tasolle.

Käyttäjä voi ohjata valaistusta myös manuaalisesti. Älypuhelimien Control-sovelluksella voidaan valaistusta ohjata päälle ja pois, himmentää, säätää värilämpötilaa ja väriä sekä ohjata valaistustilanteita. Ohjaus onnistuu myös perinteisellä tavalla kytkimillä ja painikkeilla, joiden toiminnot ovat konfiguroitavissa Commissioning-sovelluksella. Ohjaustapoja voidaan myös yhdistellä tarpeiden mukaan.

Yksi Lightify Pro -järjestelmän eduista on se, että sekä Control- että Commissioning-sovellusten lataaminen ja käyttäminen on veloitusetona. Lightify Pro Control -sovelluksella ohjausta varten on ensin ladattava kyseinen sovellus sovelluskaupasta joko IOS- tai Android-käyttöjärjestelmän älypuhelimille ja tableteille. Testiasennusten yhteydessä yritettiin testata sovelluksen käyttöä sekä iPadillä että iPhoneella. iPadillä sovellus ei QR-koodia skannatessa käynnistänyt laitteen kameraa, joten kyseisellä laitteella sovellusta ei voinut käyttää. iPhoneella sovellus toimi ongelmitta.

Windows-käyttöjärjestelmän puhelimille sovellusta ei ole saatavilla tällä hetkellä. Windows-käyttöjärjestelmän puhelimet ovat edelleen laajassa käytössä yrityksissä Suomessa, mikä saattaa Suomessa alkuun rajoittaa Lightify Pro -järjestelmän suosiota esimerkiksi toimistokäytössä. Sovellus kuitenkin julkistettaneen myöhemmin myös uudelle Windows 10 -käyttöjärjestelmälle. Sovellus on tulossa saataville myös Windows-käyttöjärjestelmän tietokoneille.

Sovelluksen lataamisen jälkeen käyttäjän on liityttävä joko kiinteistön langattomaan verkkoon tai suoraan ohjausyksikköön ennen sovelluksen käynnistämistä. Verkkoon liityttäessä on tiedettävä verkon nimi sekä sen salasana. Lightify Pro Control -sovelluksen käyttöönottoa ja käyttöä varten on hyvä laatia ohje, jossa on kerrottu muun muassa verkon salasana, joka sijoitetaan esimerkiksi ohjattaviin tiloihin QR-koodin yhteyteen.

Lightify Pro Control -sovelluksen käyttäminen on yksinkertaista. Käyttöliittymä on tehty hyvin selkeäksi, eikä sovelluksessa ole mitään ylimääräistä, minkä vuoksi sen käyttäminen olisi hankalaa. Kun sovellus käynnistetään, se pyytää ensin skannaamaan QR-koodin, minkä jälkeen näytölle ilmestyvät ohjattavat valaistusryhmät. Ryhmää painamalla avautuu valaistuksen säätöympyrä. Valaistuksen ohjaus säätöympyrän avulla on selkeää ja helppoa. Valaistustilanteet ovat valittavissa säätöympyrän alapuolella.

Sekä Control- että Commissioning-sovellusten säätöympyröiden himmennuksen prosenttiarvot eivät vastaa todellisia valaistustasoja. Testiasennusten valaisimet ovat DALI-valaisimia, jotka säätävät logaritmisesti. Lightify Pro -järjestelmän säätöympyrä puolestaan laskee valonsäädön lineaarisesti. LEDVANCE-valaisimien tasavirtalähteillä voidaan valaistusta himmentää asteikolla 7 - 100 %, kun käytetään 700 mA:n virtaa. Säätöympyrän asteikolla LEDVANCE-valaisimien himmennys tapahtuu välillä

60 - 100 % ja Vega-valaisimien himmennys välillä 40 - 100 %. Säätyöympyrän asteikko on korjattavissa ohjelmallisesti sovelluspäivityksillä.

6.4 Kustannuslaskelmat

Lightify Pro -järjestelmän kustannuksia verrattiin kustannuslaskelmien kautta DALI-järjestelmään ja nykyiseen päälle ja pois -ohjaukseen. Vertailun kohteena käytettiin Lightify Pro -järjestelmän neuvotteluhuoneiden testiasennusta. Eri ohjausjärjestelmien vertailuun käytettiin Fagerhultin LCC (Life Cycle Cost) -laskuria.

Laskelma suoritettiin elinkaarikustannuslaskelmana, jonka valaistuksen pitoajaksi valittiin 20 vuotta. Laskentaohjelma huomioi järjestelmän investoinnin kokonaiskustannukset, energiakustannukset sekä käyttö- ja huoltokustannukset. Ohjelma laskee myös valaistuksen takaisinmaksuajan ja tuotot sekä LENI-luvun. Kohteen pienestä koosta johtuen vertailussa paneuduttiin erityisesti investointikustannusten vertailuun Lightify Pro -järjestelmän ja vastaavilla ohjausperiaatteilla toteutetun DALI-järjestelmän välillä.

Vertailussa haluttiin tutkia langattoman Lightify Pro -ohjausjärjestelmän ja langallisen DALI-ohjausjärjestelmän välisiä eroja kustannusnäkökulmasta, kun saneerauskohteen ollaan suunnittelemassa uutta valaistusta. Vertailuun sisällytettiin vaihtoehtona myös kohteen nykyinen ohjaus, jossa vaihdetaan vain valaisimet.

DALI-järjestelmän tuotteina laskelmissa käytettiin Helvarin Digidim-sarjan tuotteita. Laskelmissa valaistukset toteutettiin samoilla valaisintyypeillä kaikissa vaihtoehdoissa ja DALI-järjestelmä toteutettiin samoilla ohjausperiaatteilla kuin Lightify Pro -järjestelmä.

Kustannuslaskelmaa varten tulee ohjelmaan syöttää ensin projektin perustiedot (kuva 46, ks. seur. s.).

Projekti	Yhteystiedot	Huomiot	Yksiköt
Projektin nimi	Neuvotteluhuoneet 1 & 2		
Päivämäärä	12.8.2015		
Laskentakorko (vertailuarvo)	3,0	%	
Inflaatio (vertailuarvo)	1,0	%	
Pitoaika	20,0	vuotta	
Sähkön hinta	0,11	EUR/kWh	
<input checked="" type="checkbox"/> Energian hinnan kasvu (inflaation vaikutus energian hintaan)	4,0	%	
CO ₂ kerroin	0,415	kg CO ₂ /kWh	
<input type="checkbox"/> Jäähdytysenergia			
Jäähdytyksen käyttökerroin	50,0	%	
Jäähdytystehokkuus	2,5	W _H /W _C	
missä H on lämpöenergia ja C jäähdytysenergia			
<input checked="" type="checkbox"/> LENI Wattia/pinta-ala			
Huonepinta-ala	11,0	m ²	
<input type="checkbox"/> Wattia/tilavuus			
<input checked="" type="radio"/> Määrittele korkeus		m	
<input type="radio"/> Määrittele asennuskorkeus jokaiselle valaisintyypille erikseen			

Kuva 46. Projektiin syötetyt perustiedot.

Laskentakorkona käytettiin ohjelman oletusarvona olevaa 3 % ja inflaationa 1 %, joka on ohjelman sallima minimiarvo. Sähkön hinta 0,11 €/kWh perustuu Energiamarkkinaviraston ilmoittamiin hintoihin, sisältäen sähkön siirtohinnan ja sähköveron. Inflaation vaikutus energian hintaan arvioitiin olevan 4 %.

Valaistusvaihtoehtojen investointikustannukset sisältävät valaisimien, ohjausjärjestelmien komponenttien ja niihin tarvittavien lisävarusteiden hinnat sekä asennuskustannukset. Asennuskustannusten laskemisessa käytettiin sähköasennusalan työehtosopimuksen mukaisia yksikköhintoja. Laskelman kaikki hinnat ovat arvonlisäverottomia. Laskelmissa käytetyt valaisimet ja ohjauskomponentit sekä niiden hinnat esitetään taulukossa 7 (ks. seur. s.). Hinnat ovat valmistajan ilmoittamia verottomia ohjehintoja. Hintoihin on sisällytetty valaisimien ja komponenttien mahdolliset lisävarusteet.

Taulukko 7. Kustannuslaskelmassa käytettyjen valaisimien ja komponenttien hinnat.

Valaisimet				
Valmistaja	Valaisin	Määrä	Hinta/kpl	
			DALI	Lightify
Siteco	Vega 63 W, 4 000 K sis. päivänvalo- ja läsnäolosensorin	1	643,00 €	683,00 €
Siteco	Vega 63 W, 4 000 K ilman sensoreita	1	643,00 €	683,00 €
Siteco	LEDVANCE Area LED 45 W, 4 000 K	3	225,00 €	-

Järjestelmä	DALI	Lightify Pro
Valaisimet yhteensä ^{*)}	1 961,00 €	2 041,00 €

^{*)} molemmissa järjestelmissä on 3 kpl LEDVANCE Area LED -valaisimia

Ohjausjärjestelmien komponentit			
DALI			
Valmistaja	Tuote	Määrä	Hinta/kpl
Helvar	Digidim DALI Teholähde 401	1	155,00 €
Helvar	Digidim DALI Multisensori 312	1	144,00 €
Helvar	Digidim DALI sisäänmenoyksikkö 445 Mini	2	88,00 €
Hinta yhteensä			475,00 €
Lightify Pro			
Valmistaja	Tuote	Määrä	Hinta/kpl
Osram	Osram Lightify Pro DSE	3	101,80 €
Osram	Osram Lightify Pro PBC	2	64,00 €
Osram	Osram Lightify Pro Gateway	1	190,00 €
Osram	Osram DALIeco LS/PD LI Sensori	1	54,00 €
Hinta yhteensä			677,40 €

Valaisimet ja komponentit yhteensä		
Järjestelmä	DALI	Lightify Pro
Yhteensä	2 436,00 €	2 718,40 €

Taulukko 8. Kustannuslaskelman tulokset (hinnat ilman alv.)

Fagerhult LCC | Neuvotteluhuoneet 1 & 2

12.8.2015

Valaistusratkaisujen kustannusvertailu

Yleiset tiedot	Nykyinen ohjaus	Lightify Pro	DALI
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailuratkaisu...)	Valaistusratkaisu puuttuu		
Valaisintyyppien lukumäärä	2	3	3
Valaisintyypit	2 - Vega DALI 3 - LEDVANCE A...	1 - Vega Lightify... 1 - Vega Lightify... 3 - LEDVANCE A...	1 - Vega DALI 1 - Vega DALI sis... 3 - LEDVANCE A...
Valaisimien lukumäärä	5	5	5
Valonlähteiden kokonaismäärä	5	5	5
Investointikustannukset			
Valaisinkustannukset yhteensä (sis. lamppu...)	1 961 EUR	2 041 EUR	1 961 EUR
Valonlähdekustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR	0 EUR
Asennuskustannukset yhteensä	270 EUR	1 172,4 EUR	1 555 EUR
Materiaali- ja työkustannukset yhteensä	55 EUR	64 EUR	75 EUR
Investointi	2 286 EUR	3 278 EUR	3 591 EUR
Energiakustannukset			
Valaistusratkaisun kokonaisteho	261 W	261 W	261 W
Keskimääräinen käyttökerroin	100,0 %	50,0 %	50,0 %
Teho yhteensä	261,0 W	130,5 W	130,5 W
Keskimääräinen toiminta-aika	1 000 h/vuotta	1 000 h/vuotta	1 000 h/vuotta
Energiankulutus yhteensä/vuosi (ilman tyhj...)	261 kWh/vuotta	130,5 kWh/vuotta	130,5 kWh/vuotta
tyhjäkäyntiteho yhteensä	0,0 W	6,5 W	2,5 W
Keskimääräinen tyhjäkäyntitehoaika	- h/vuotta	3 900 h/vuotta	3 900 h/vuotta
Tyhjäkäyntienergian kulutus	0 Wh/vuotta	25,4 kWh/vuotta	9,8 kWh/vuotta
Energiankulutus vuodessa	261,0 kWh	155,8 kWh	140,2 kWh
Sähkön hinta	0,11 EUR/kWh		
Energiakustannukset vuodessa	29 EUR	17 EUR	15 EUR
Energiakustannusten nykyarvo	630 EUR	376 EUR	339 EUR
Valonlähdekustannukset			
Valonlähteiden kokonaismäärä	5	5	5
Valonlähteiden vaihtokustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR	0 EUR
Valonlähdekustannusten nykyarvo	0 EUR	0 EUR	0 EUR
Huoltokustannukset			
Huoltokustannukset yhteensä	25 EUR	25 EUR	25 EUR
Huoltokustannusten nykyarvo	20 EUR	20 EUR	20 EUR
Valaistusratkaisun nykyarvo	2 937 EUR	3 674 EUR	3 949 EUR
LENI	-23,7 kWh/m², vuotta	-14,2 kWh/m², vuotta	-12,8 kWh/m², vuotta

Kustannuslaskelman tuloksista nähdään (taulukko 8), että Lightify Pro -järjestelmän investointikustannuksiksi testihuoneissa muodostuu 3 278 €. DALI-järjestelmällä toteutettaessa olisivat investointikustannukset 3 591 €. Suurin ero investointikustannuksissa muodostuu asennuskustannuksista, joiden arvioitiin olevan 1 080 € DALI-järjestelmällä ja 495 € Lightify Pro -järjestelmällä, kun tuntiveloitushinnaksi määritettiin 45 €. Valaisinkustannukset Lightify Pro -järjestelmällä muodostuvat hieman DALI-järjestelmää

kalliimmiksi. Vega-valaisinten osalta DALI-versiot ovat noin 40 € Lightify Pro -versioita edullisempia kappaleelta. Lightify Pro -järjestelmän komponenttien kokonaiskustannukset ovat 677,4 € ja DALI-järjestelmän 475 €.

Lightify Pro- ja DALI-järjestelmien ero energiakustannusten osalta testikohteessa muodostuu valaisimien ja komponenttien tyhjäkäyntikulutusten eroista. Valaisimien DALI-liitäntälaitteiden tyhjäkäyntitehoina käytettiin 0,5 W. Lightify Pro -järjestelmän komponenttien tyhjäkäyntitehot eri komponenteilla ovat

- DSE-yksiköllä 0,8 W
- Gateway-ohjausyksiköllä 0,5 W
- PBC-yksiköllä 0,25 W.

Lightify Pro -järjestelmässä valaisinkohtainen tyhjäkäyntienergian kulutus on suurempi kuin DALI-järjestelmässä johtuen DSE-yksiköiden kulutuksesta. Kustannuslaskelmassa järjestelmien tyhjäkäyntienergian kulutuksiin ei sisällytetty muiden komponenttien kuluksia. Kyseisillä ohjausjärjestelmillä saadaan kuitenkin nykyiseen päälle ja pois-ohjaukseen verrattuna merkittäviä säästöjä energiakustannuksissa.

Lightify Pro -järjestelmän suurimmat säästöt uuden ohjausjärjestelmän asennuksessa saneerauskohteeseen saavutetaan edullisemmilla asennuskustannuksilla, kun vältetään ohjauskaapeloinnilta. Testikohdetta isommassa kohteessa säästöt asennuskustannuksissa muodostuvat merkittävämmiksi. Mikäli Lightify Pro -järjestelmä asennetaan käyttäen Lightify Pro -valaisimia ja sensori- ja mobiililaitteohjausta, ainoat komponenttikustannukset muodostuvat Gateway-ohjausyksiköstä, jonka järjestelmä vaatii toimiakseen. Näin päästään vielä suurempiin säästöihin verrattaessa Lightify Pro -järjestelmää langalliseen järjestelmään.

Testiasennuksessa Lightify Pro -järjestelmän komponenttien kustannukset olivat DALI-järjestelmän komponenttikustannuksia suuremmat johtuen DSE-yksiköiden käytöstä joilla Lightify Pro -järjestelmään liitettiin DALI-valaisimia. Lightify Pro -valaisimia on tällä hetkellä saatavilla kuutta eri mallia, joten valaistuksen toteuttaminen kokonaisuudessaan Lightify Pro -valaisimia käyttäen on mahdollista monenlaisissa tiloissa. On kuitenkin huomioitava, että vertailun DALI-järjestelmää ei voida ohjata mobiililaitteella, kuten

Lightify Pro -järjestelmää. Esimerkiksi kosketusnäyttöjen lisääminen DALI-järjestelmään nostaisi järjestelmän hintaa huomattavasti.

7 Yhteenveto

Insinööriyössä perehdyttiin langattomien valaistuksen ohjausjärjestelmien toimintaan ja niiden soveltuvuuteen langallisten järjestelmien korvaajana. Tavoitteena oli tutkia käytännön testiasennuksen kautta Osramin uutta Lightify Pro -langatonta valaistuksen ohjausjärjestelmää ja arvioida sen etuja ja kehityskohtia. Lisäksi selvitettiin järjestelmän kustannuksia verrattuna älykkääseen langalliseen järjestelmään.

Langattomien tiedonsiirtoteknologioiden kehittyminen on parantanut langattomien valaistuksen ohjausjärjestelmien luotettavuutta ja käytettävyyttä. Yksi langattomien ohjausjärjestelmien tärkeimmistä eduista on saavutettavat säästöt asennuskustannuksissa verrattuna langallisiin ohjausjärjestelmiin. Langattomat ohjausjärjestelmät ovat kokonaan tai lähes vapaita ohjauskaapeloinneista, johon liittyvät työt aiheuttavat suurimmat kustannukset langallisten ohjausjärjestelmien asennuksissa. Langaton ohjausjärjestelmä on joustava ja yksinkertainen asentaa ja sopii kohteisiin, joihin langallisen järjestelmän ohjauskaapelointia on vaikeaa tai mahdotonta toteuttaa.

Lightify Pro -langaton valaistuksen ohjausjärjestelmä tarjoaa monipuoliset valonohjausmahdollisuudet, ohjauksen ollessa mahdollista joko älypuhelimella, sensoreilla tai perinteisiä kytkimiä käyttäen. Testiasennus osoitti, että järjestelmän käyttöönotto ja käyttäminen ilmaiseksi ladattavilla sovelluksilla on yksinkertaista jonkin verran tietotekniikkaan perehtyneelle, mutta myös sen, että järjestelmässä on vielä lanseerausvaiheessa ongelmia luotettavuuden kanssa. Tämän vuoksi järjestelmää voidaan vielä tässä vaiheessa suosittaa varauksin käyttöön otettavaksi isompana kokonaisuutena.

Työssä todettiin myös Lightify Pro -järjestelmän olevan saneerauskohteessa investointikustannuksiltaan edullisempi vaihtoehto kuin älykäs langallinen valaistuksen ohjausjärjestelmä. Lightify Pro -järjestelmän ohjausratkaisujen ja energiatehokkaiden LED-valaisimien ansioista saavutetaan myös merkittäviä energiansäästöjä vanhaan valaistukseen verrattaessa.

Kotikäytössä valaistuksen ohjaaminen älylaitteilla on yleistynyt taloautomaation ja älykotien suosion myötä. Lightify Pro -järjestelmä tuo langattoman, älykkään valaistuksen ohjauksen mobiililaitteilla vaihtoehdoksi myös toimisto- ja liiketilaympäristöihin tarjoamalla investointikustannuksiltaan edullisemmän vaihtoehdon langalliselle järjestelmälle. Lightify Pro -järjestelmässä on vielä kehityskohtia kuten kaikissa uusissa järjestelmissä, mutta järjestelmässä on ehdottomasti potentiaalia muodostua tulevaisuudessa langallisten ohjausjärjestelmien haastajaksi pienissä ja keskikokoisissa kohteissa.

Lähteet

- 1 Varsila, Markku. 2010. Valaistuksen ohjaus – lisää laatua ja toiminnallisuutta. KT Interior Oy. Verkkodokumentti. Luettu 14.6.2015
- 2 Riikkula, Jukka. 2004. ST 58.32 Valaistuksen ohjaus, s. 11. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 3 Rautavirta, Ville. 2013. Langattomat valonohjausjärjestelmät – Wireless e-Sense Connect. Insinööriö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/57814/Langattomat%20valonohjausjarjestelmat_Wireless%20e-Sense%20Connect.pdf?sequence=1/> Luettu 25.6.2015
- 4 Riikkula, Jukka. 2010. Valaistuksella energian säästöön. Verkkootikkeli. Sähkömaailma 8/2010.
<http://www.sahkoala.fi/lehdet/Sahkomaailma/fi_F1/vieraskynasta/_files/92779274315039798/default/SM%208-2010.pdf /> Luettu 30.6.2015
- 5 Sinisalo, Matti. 2011. Toimistovalaistuksen ohjausjärjestelmät ja elinkaarikustannustarkastelu. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
<<http://lib.tkk.fi/Dipl/2011/urn100425.pdf>> Luettu 30.6.2015
- 6 Himmennystekniikat. 2015. Verkkodokumentti. Leditalo Oy.
<<http://www.leditalo.fi/index.php?id=6/>> Luettu 26.6.2015
- 7 Cooper Lighting and Security. 2006. Lighting Solutions, s. 480. Luettu 1.7.2015
- 8 Valaistus. Verkkodokumentti. Tuotteiden ekosuunnittelu ja energiamerkintä.
<<http://www.ekosuunnittelu.info/tuoteryhmat/valaistus/>> Luettu 30.6.2015
- 9 Juslén, Henri. 2009. Julkisten tilojen vihreät energiaratkaisut. Verkkodokumentti. Philips Oy. <http://www.greenetfinland.fi/fi/images/6/6d/Esitys_Juslen.pdf> Luettu 30.6.2015
- 10 SVS. Energiatehokas valaistus vähentää hiilidioksidipäästöjä ja säästää rahaa. Verkkodokumentti.
<http://www.valosto.com/tiedostot/Energiatehokas_valaistus.pdf> Luettu 1.7.2015
- 11 Kallasjoki, Tapio. 2011. Energiatehokas valaistus. Verkkodokumentti.
<http://www.renewablesb2b.com/data/ahk_finland/publications/files/Kallasjoki.pdf /> Luettu 1.7.2015
- 12 Juutilainen, Matti. 2006. Radiotekniikan perusteet: Signaalien eteneminen. Opetusmateriaali, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <<http://www.it.lut.fi/kurssit/06-07/Ti5312600/luentokalvot/luento03.pdf>> Luettu 3.7.2015

- 13 Radioaallot ympäristössämme. 2009. Säteilyturvakeskus. Verkkodokumentti. <http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/magneettikentat/fi_FI/sahkomagneettiset-kentat/_files/89704994914704566/default/radioaallot-ymparistossamme_tammikuu2009.pdf/> Luettu 4.7.2015
- 14 Radioaallot. 2012. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Radioaallot/>> Luettu 4.7.2015
- 15 Liiketunnistin. 2006. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Liiketunnistin/>> Luettu 1.7.2015
- 16 Infrared. 2001. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared/>> Luettu 1.7.2015
- 17 Hyvärinen, Johannes. 1999. Mikroaallot vs. infrapuna langattomassa tiedonsiirrossa. Tietotekniikan osasto, teknillinen korkeakoulu. Verkkodokumentti. <http://www.tml.tkk.fi/Studies/Tik-110.300/1999/Wireless/infrared_1.html/> Luettu 1.7.2015
- 18 Dilouie Craig. 2011. Wireless Lighting Controls Offer Flexibility And Cost Savings in Commercial Buildings. Verkkodokumentti. Lighting association. <<http://lightingcontrolsassociation.org/Wireless-lighting-controls-offer-flexibility-and-cost-savings-in-commercial-buildings/>> Luettu 3.6.2015
- 19 Wireless mesh. 2006. Verkkodokumentti. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Wireless_mesh/> Luettu 12.6.2015
- 20 Lehonkoski, Lasse. 2010. ZigBee-verkot. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/66229/Zigbeeverkot.pdf?sequence=1/>> Luettu 12.6.2015
- 21 Zigbee. 2015. Verkkodokumentti. <<http://www.zigbee.org/>> Luettu 12.6.2015
- 22 Zigbee Mesh. Verkkodokumentti. <<http://www.suggestkeyword.com/emlnYmVIIG1lc2g/>> Luettu 12.6.2015
- 23 What are the main advantages and disadvantages of ZigBee? Verkkodokumentti. <http://www.answers.com/Q/What_are_the_main_advantages_and_disadvantages_of_ZigBee/> Luettu 12.6.2015
- 24 Lightify – the smarter lighting control solution. 2015. Verkkodokumentti. Osram. <<http://www.osram.com/media/resource/HIRES/603461/6566162/lightify---the-smarter-lighting-control-solution-gb.pdf/>> Luettu 7.7.2015

- 25 Lightify Pro Gateway. 2015. Verkkodokumentti. Osram.
<http://www.osram.com/osram_com/tools-and-services/tools/lightify---smart-connected-light/lightify-pro---intelligent%2c-connected-light-for-professional-applications/lightify-pro-products/lightify-pro-gateway/index.jsp /> Luettu 7.7.2015
- 26 Lightify Pro DSE. 2015. Verkkodokumentti. Osram.
<http://www.osram.fi/osram_fi/tuotteet/elektroniikka/lightify-ohjaimet/lightify-pro/lightify-pro-dse/index.jsp/> Luettu 7.7.2015
- 27 Lightify Pro PBC. 2015. Verkkodokumentti. Osram.
<http://www.osram.fi/osram_fi/tuotteet/led-teknologia/lightify/lightify-pro/lightify-pro-elektroniikka/lightify-pro-pbc/index.jsp/> Luettu 7.7.2015
- 28 Oy Osram Ab. 2015. Benchmark Technology. Esitysmateriaali.
- 29 SFS-EN 12464-1:2011. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
- 30 Siteco Vega: LED-Designleuchte für die Bürobeleuchtung. 2015. Verkkodokumentti. <<http://www.highlight-web.de/news/newsanzeige/article/siteco-vega-led-designleuchte-fuer-die-buerobeleuchtung.html#.VdcYZPntlBc/>> Luettu 11.7.2015
- 31 Siteco. 2015. Photometric test report. Verkkodokumentti.
<http://www.siteco.com/asset/int_en/en/LP/580618/5MN238D1S0008M_1xLED-4000K---CRI-%3E%3D-80_54841_22.pdf/> Luettu 11.7.2015
- 32 LEDVANCE AREA. 2015. Verkkodokumentti. Osram.
<http://www.osram.com/osram_com/products/led-technology/indoor-led-luminaires/pendant-luminaires/ledvance-area/index.jsp/> Luettu 11.7.2015
- 33 Siteco. 2015. Photometric test report. Verkkodokumentti.
<http://www.siteco.com/asset/int_en/en/LP/521830/0MQ12WD7Y3S1_1xLED-4000K---CRI-%3E%3D-80_54010_1.pdf/> Luettu 11.7.2015
- 34 Lightify Pro DSE PIR. 2015. Verkkodokumentti. Osram.
<http://www.osram.com/osram_com/products/electronics/lightify-controls/lightify-pro/lightify-pro-dse-pir/index.jsp/> Luettu 11.7.2015
- 35 Lightify Pro user manual. 2015. Verkkodokumentti. Osram.
<<http://www.osram.com/media/resource/HIRES/547408/894838/lightify-pro-user-manual.pdf/>> Luettu 13.7.2015

Dialux-valaistuslaskelma

Insinöörityö - Osram Lightify

Granlund Oy
Malminkaari 21
00701 Helsinki

Yhteyshenkilö:
Tilausnumero:
Toiminimi:
Asiakasnumero:

Päivämäärä: 09.07.2015
Tekijä: Juhani Mikkonen

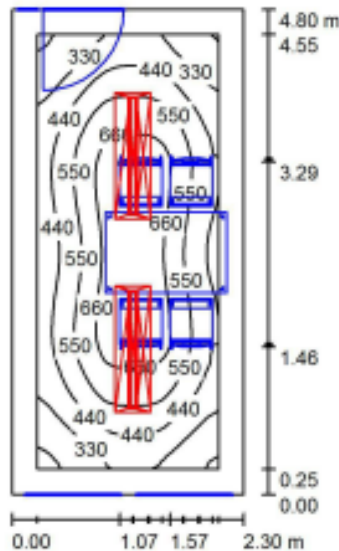
Tekijä Juhani Mikkonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Sisällysluettelo

Insinööriyö - Osram Lightify	
Projektin etusivu	1
Sisällysluettelo	2
Neuvotteluhuone 1043.1	
Yhteenveto	3
Luettelo valaisimista	4
Valaistustekniset tulokset	5
Laskettavat pinnat (tuloksien yleisnäkyvä)	6
UGR-katsoja (tuloksien yleisnäkyvä)	7
Kolmiulotteinen kuvanmuodostus	8
Tilan pinnat	
Sylinterivalaistusvoimakkuus (Laskettava pinta 1)	
Isolux-käyrät (E, sylinteri)	9
Työalue 2	
Tuloksien yleisnäkyvä	10
Neuvotteluhuone 1043.2	
Yhteenveto	11
Luettelo valaisimista	12
Valaistustekniset tulokset	13
Laskettavat pinnat (tuloksien yleisnäkyvä)	14
UGR-katsoja (tuloksien yleisnäkyvä)	15
Kolmiulotteinen kuvanmuodostus	16
Tilan pinnat	
Sylinterivalaistusvoimakkuus (Laskettava pinta 1)	
Isolux-käyrät (E, sylinteri)	17
Työalue 2	
Tuloksien yleisnäkyvä	18

Tekijä Juhani Mikkonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Neuvotteluhuone 1043.1 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 3.100 m, Asennuskorkeus: 2.500 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:62

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	508	192	726	0.377
Lattia	20	240	39	395	0.162
Katto	70	195	74	333	0.378
Seinät (4)	33	158	43	470	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 64 x 64 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	1	SITECO 5MN238D1S00080+5MN91402 Vega® (1.000)	5515	5515	63.1
2	1	SITECO 5MN238D1S0008M+5MN91402 Vega® (1.000)	5515	5515	63.1

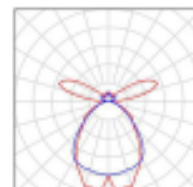
Yhteensä: 11030 Yhteensä: 11030 126.2

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: 11.43 W/m² = 2.25 W/m²/100 lx (Pohjapinta-ala: 11.04 m²)

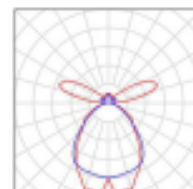
Tekijä Juhani Mikkonen
 Puhelin
 Faksi
 Sähköpostiosoite

Neuvotteluhuone 1043.1 / Luettelo valaisimista

1 Kappale SITECO 5MN238D1S00080+5MN91402 Vega®
 Tavarnumero: 5MN238D1S00080+5MN91402
 Valovirta (Valaisin): 5515 lm
 Valovirta (Lamput): 5515 lm
 Valaisimien teho: 63.1 W
 Valaisinten luokittelu CIE: 71
 Elektronikkakomponenttien valovirtakoodi: 61
 86 97 71 100
 Varustus: 1 x LED 4000K / CRI >= 80
 (Korjaustekijä 1.000).



1 Kappale SITECO 5MN238D1S0008M+5MN91402 Vega®
 Tavarnumero: 5MN238D1S0008M+5MN91402
 Valovirta (Valaisin): 5515 lm
 Valovirta (Lamput): 5515 lm
 Valaisimien teho: 63.1 W
 Valaisinten luokittelu CIE: 71
 Elektronikkakomponenttien valovirtakoodi: 61
 86 97 71 100
 Varustus: 1 x LED 4000K / CRI >= 80
 (Korjaustekijä 1.000).



Tekijä Juhani Mikkonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Neuvotteluhuone 1043.1 / Valaistustekniset tulokset

Kokonaisvalovirta: 11030 lm
Kokonaisteho: 126.2 W
Huoltokerroin: 0.80
Reuna-alue: 0.250 m

Pinta	Keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]			Heijastussuhde [%]	Keskimääräinen luminanssi [cd/m ²]
	suoraan	epäsuoraan	kokonaan		
Käyttötaso	431	76	508	/	/
Sylinterivalaistusvoimakkuus (Laskettava pinta 1)	107	79	186	/	/
Lattia	181	59	240	20	15
Katto	123	72	195	70	43
Seinä 1	67	65	132	50	21
Seinä 2	97	74	171	25	14
Seinä 3	67	64	131	50	21
Seinä 4	95	75	170	25	14

Yhdenmukaisuus käyttötasolla

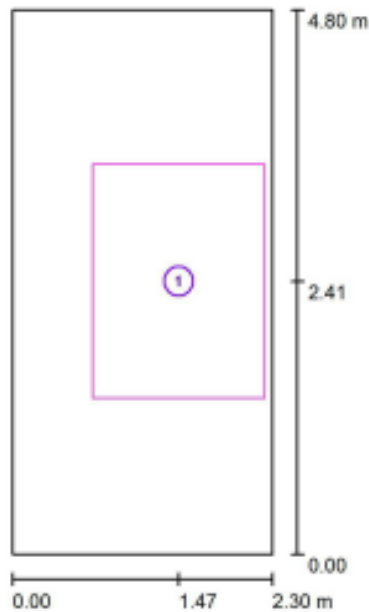
E_{\min} / E_{\max} : 0.377 (1:3)

E_{\min} / E_{\max} : 0.264 (1:4)

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $11.43 \text{ W/m}^2 = 2.25 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 11.04 m^2)

Tekijä Juhani Mikkonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Neuvotteluhuone 1043.1 / Laskettavat pinnat (tuloksien yleisnäkymä)



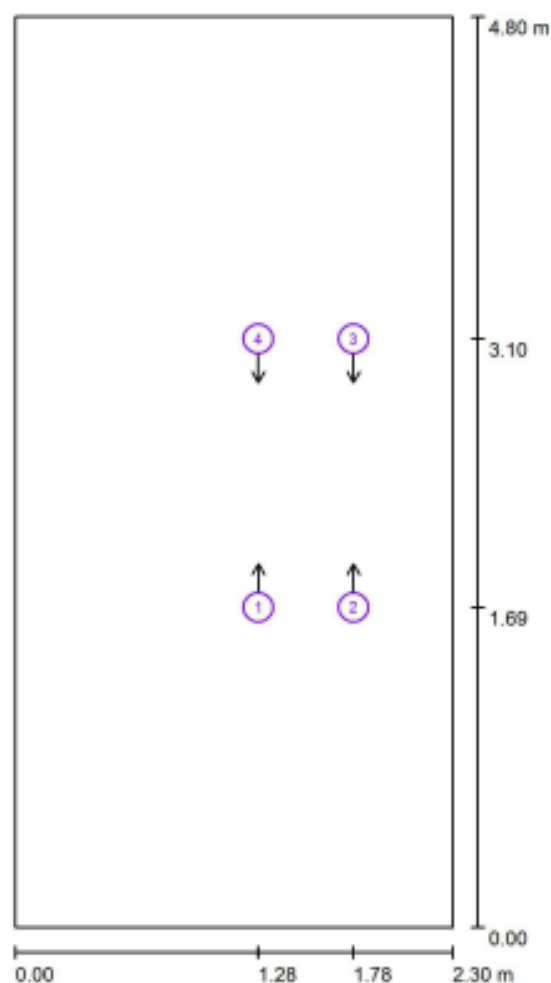
Mittakaava 1 : 55

Laskettavien pintojen luettelo

Numero	Tunnus	Tyyppi	Rasteri	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
1	Sylinterivalaistusvoimakkuus (Laskettava pinta 1)	syl.	128 x 128	186	160	224	0.859	0.715

Tekijä Juhani Mikkonen
 Puhelin
 Faksi
 Sähköpostiosoite

Neuvotteluhuone 1043.1 / UGR-katsoja (tuloksien yleisnäkymä)



Mittakaava 1 : 33

UGR -laskelmapisteluettelo

Numero	Tunnus	Sijainti [m]			Näkökulma [°]	Arvo
		X	Y	Z		
1	UGR-laskelmapiste 1	1.279	1.687	1.200	90.0	16
2	UGR-laskelmapiste 2	1.779	1.687	1.200	90.0	15
3	UGR-laskelmapiste 3	1.778	3.101	1.200	-90.0	15
4	UGR-laskelmapiste 3	1.278	3.101	1.200	-90.0	16

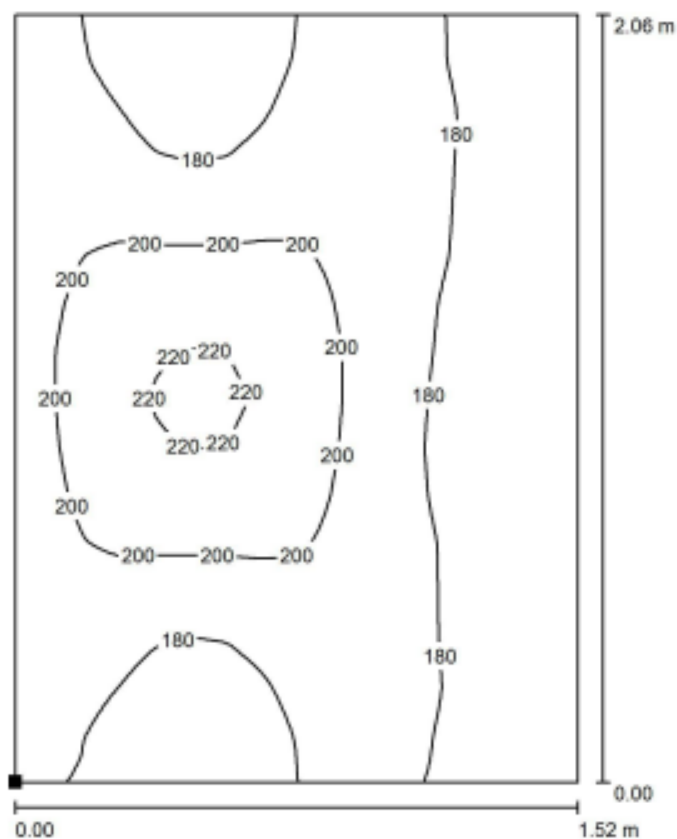
Tekijä Juhani Mikkonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Neuvotteluhuone 1043.1 / Kolmiulotteinen kuvanmuodostus

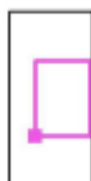


Tekijä Juhani Mikkonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Neuvotteluhuone 1043.1 / Sylinterivalaistusvoimakkuus (Laskettava pinta 1) / Isolux-käyrät (E, sylinteri)



Pinnan sijainti tilassa:
Merkitty piste:
(0.709 m, 1.375 m, 1.200 m)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 17

Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]
186

E_{min} [lx]
160

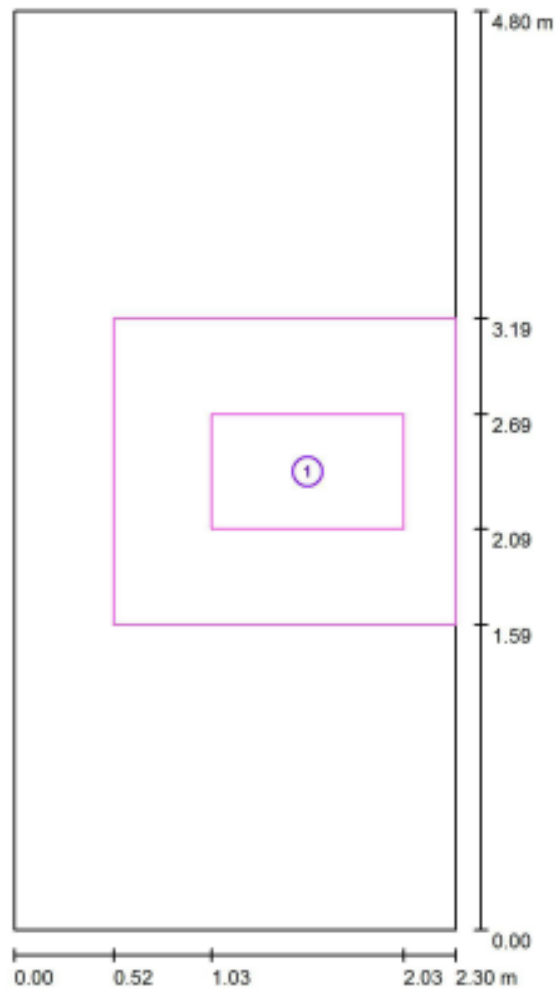
E_{max} [lx]
224

E_{min} / E_m
0.859

E_{min} / E_{max}
0.715

Tekijä Juhani Mikkonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Neuvotteluhuone 1043.1 / Työalue 2 / Tuloksien yleisnäkymä

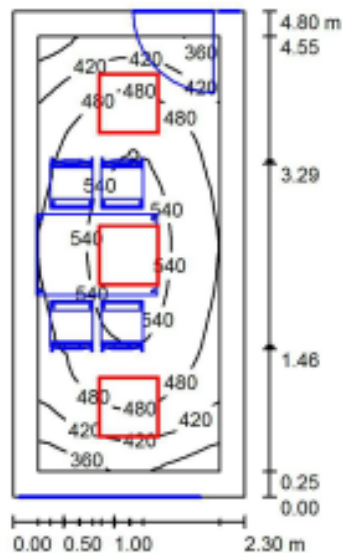


Mittakaava 1 : 33

Numero	Tunnus	Rasteri	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
	Työalue 1	8 x 8	592	422	680	0.712	0.620
	Ympäröivä alue	16 x 16	553	326	681	0.589	0.478

Tekijä Juhani Mikkonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Neuvotteluhuone 1043.2 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 3.100 m, Asennuskorkeus: 2.500 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:62

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	479	310	569	0.646
Lattia	20	228	37	348	0.161
Katto	70	44	32	56	0.719
Seinät (4)	33	183	31	428	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 128 x 128 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	3	SITECO 0MQ12WD7Y3S1 LEDVANCE® AREA (1.000)	3620	3620	45.4

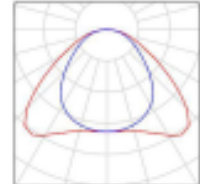
Yhteensä: 10860 Yhteensä: 10860 136.2

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $12.34 \text{ W/m}^2 = 2.58 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 11.04 m^2)

Tekijä Juhani Mikkonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Neuvotteluhuone 1043.2 / Luettelo valaisimista

3 Kappale SITECO 0MQ12WD7Y3S1 LEDVANCE® AREA
Tavaranumero: 0MQ12WD7Y3S1
Valovirta (Valaisin): 3620 lm
Valovirta (Lamput): 3620 lm
Valaisimien teho: 45.4 W
Valaisinten luokittelu CIE: 100
Elektronikkakomponenttien valovirtakoodi: 50
82 96 100 100
Varustus: 1 x LED 4000K / CRI \geq 80
(Korjaustekijä 1.000).



Tekijä Juhani Mikkonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Neuvotteluhuone 1043.2 / Valaistustekniset tulokset

Kokonaisvalovirta: 10860 lm
Kokonaisteho: 136.2 W
Huoltokerroin: 0.80
Reuna-alue: 0.250 m

Pinta	Keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]			Heijastussuhde [%]	Keskimääräinen luminanssi [cd/m ²]
	suoraan	epäsuoraan	kokonaan		
Käyttötaso	426	53	479	/	/
Sylinterivalaistusvoimakkuus (Laskettava pinta 1)	118	80	198	/	/
Lattia	176	52	228	20	15
Katto	0.00	44	44	70	9.90
Seinä 1	92	48	139	50	22
Seinä 2	148	55	203	25	16
Seinä 3	101	47	148	50	24
Seinä 4	146	55	201	25	16

Yhdenmukaisuus käyttötasolla

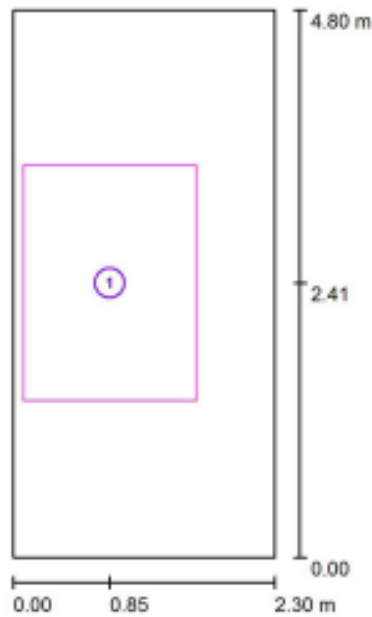
$E_{min} / E_{m'}$: 0.646 (1:2)

E_{min} / E_{max} : 0.544 (1:2)

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $12.34 \text{ W/m}^2 = 2.58 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 11.04 m^2)

Tekijä Juhani Mikkonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Neuvotteluhuone 1043.2 / Laskettavat pinnat (tuloksien yleisnäkymä)



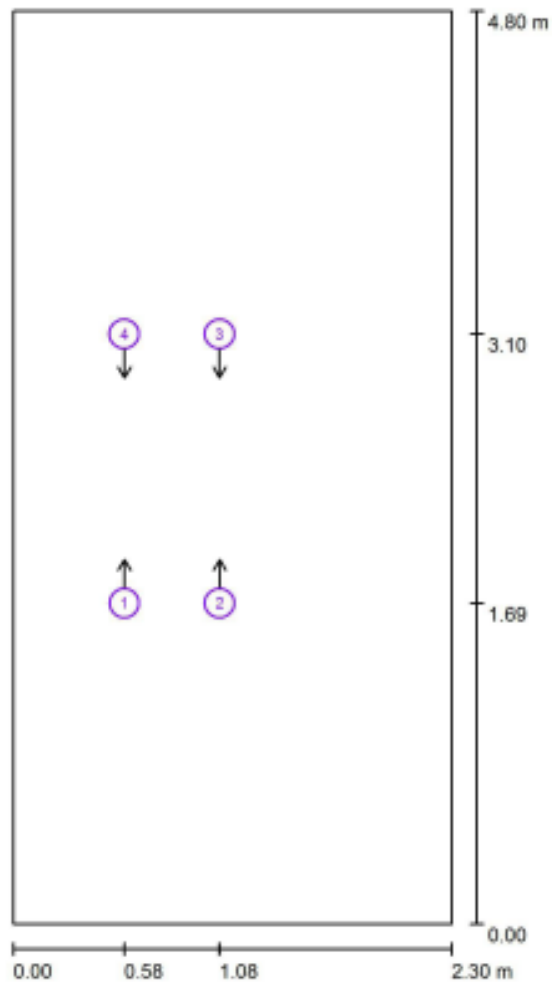
Mittakaava 1 : 55

Laskettavien pintojen luettelo

Numero	Tunnus	Tyyppi	Rasteri	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
1	Sylinterivalaistusvoimakkuus (Laskettava pinta 1)	syl.	128 x 128	198	158	223	0.798	0.710

Tekijä Juhani Mikkonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Neuvotteluhuone 1043.2 / UGR-katsoja (tuloksien yleisnäkymä)



Mittakaava 1 : 33

UGR -laskelmapisteluettelo

Numero	Tunnus	Sijainti [m]			Näkökulma [°]	Arvo
		X	Y	Z		
1	UGR-laskelmapiste 1	0.583	1.687	1.200	90.0	16
2	UGR-laskelmapiste 2	1.083	1.687	1.200	90.0	15
3	UGR-laskelmapiste 3	1.083	3.101	1.200	-90.0	16
4	UGR-laskelmapiste 3	0.583	3.101	1.200	-90.0	16

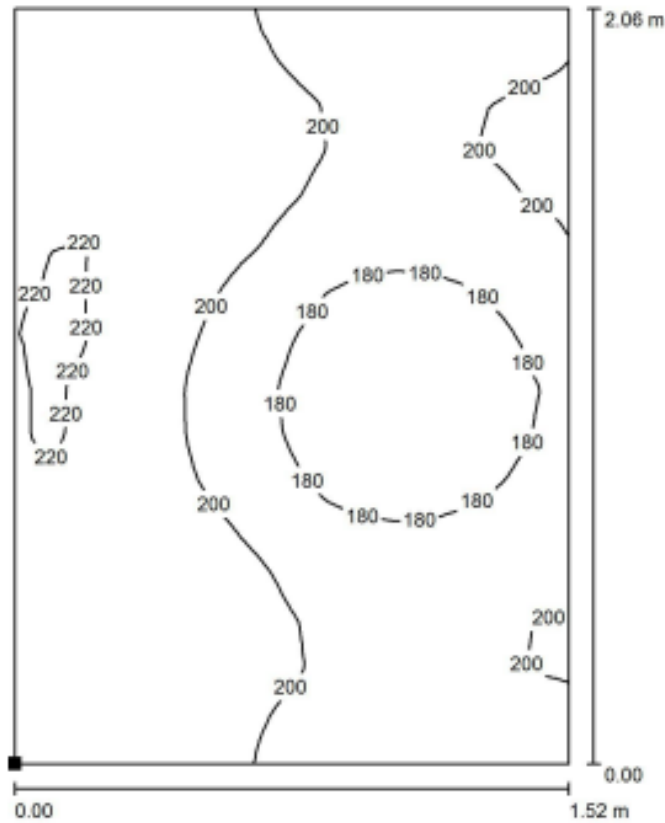
Tekijä Juhani Mikkonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Neuvotteluhuone 1043.2 / Kolmiulotteinen kuvanmuodostus



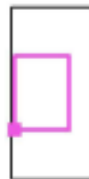
Tekijä Juhani Mikkonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Neuvotteluhuone 1043.2 / Sylinterivalaistusvoimakkuus (Laskettava pinta 1) / Isolux-käyrät (E, sylinteri)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 17

Pinnan sijainti tilassa:
Merkitty piste:
(0.090 m, 1.375 m, 1.200 m)



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]
198

E_{min} [lx]
158

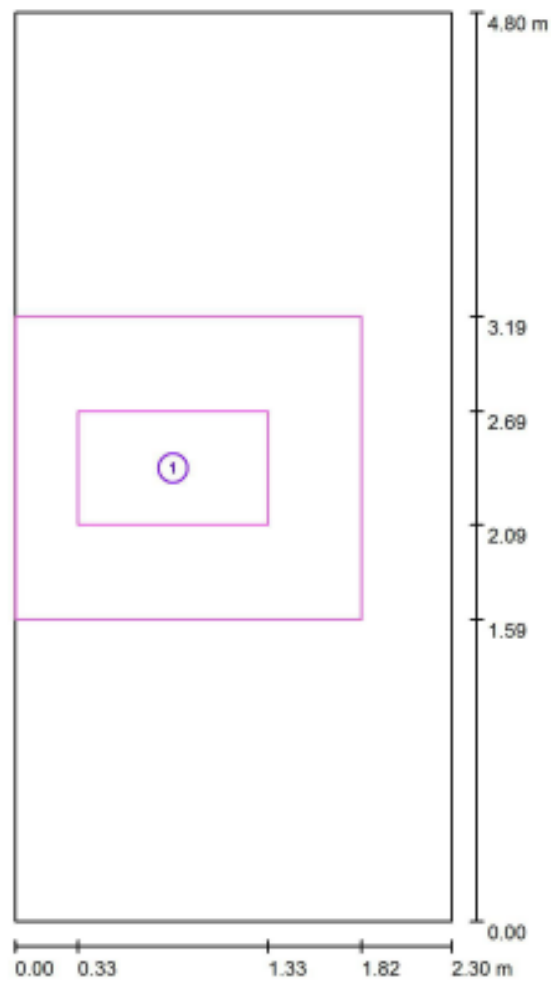
E_{max} [lx]
223

E_{min} / E_m
0.798

E_{min} / E_{max}
0.710

Tekijä Juhani Mikkonen
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

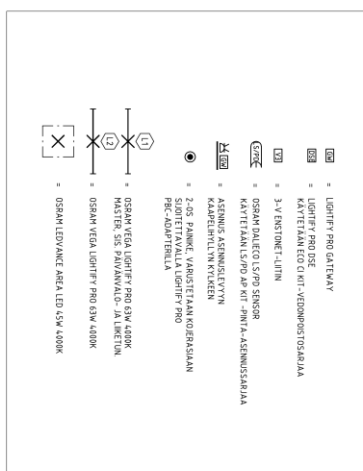
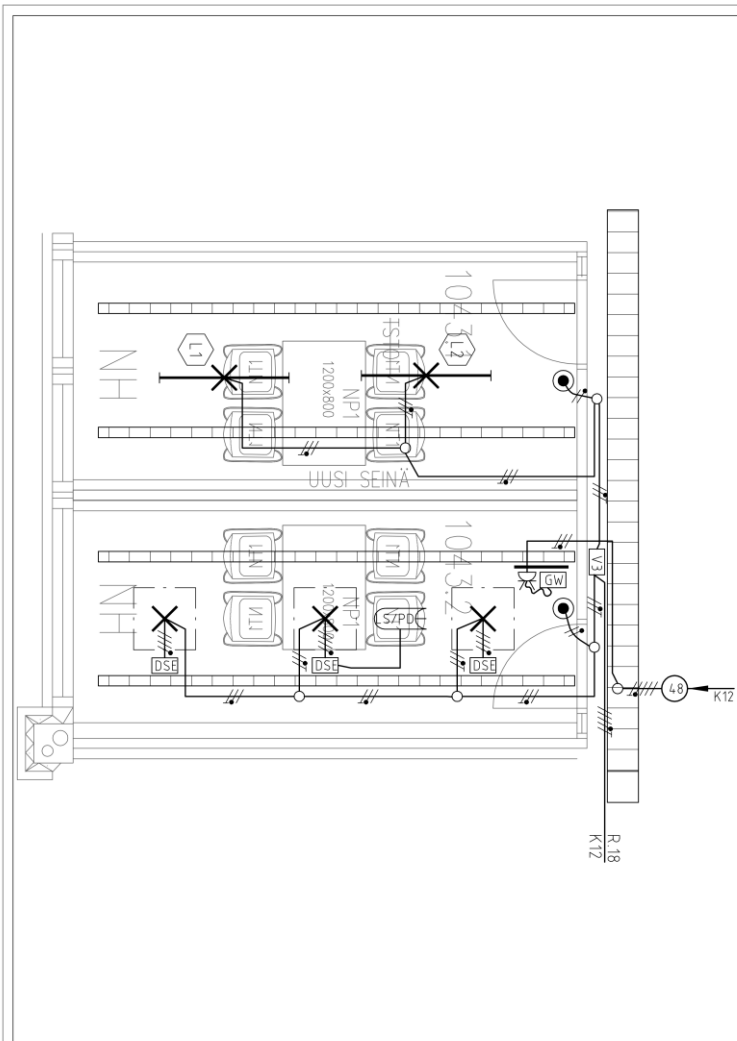
Neuvotteluhuone 1043.2 / Työalue 2 / Tuloksien yleisnäkymä



Mittakaava 1 : 33

Numero	Tunnus	Rasteri	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
	Työalue 1	8 x 8	515	472	537	0.916	0.880
	Ympäröivä alue	16 x 16	489	402	533	0.822	0.754

Testihuoneiden sähköasennuspiirustus



Yhteystiedot	Yhteystiedot	Yhteystiedot	Yhteystiedot
089	089	5	5
MAALITOS	SÄHKÖASENNUS	MAALITOS	SÄHKÖASENNUS
KOY HELSINGIN MALMINKAARI 21	KOY HELSINGIN MALMINKAARI 21	1	1
00700 HELSINKI	00700 HELSINKI		
Granolund Oy	Granolund Oy		
0207100000	0207100000		
SAH	SAH		
2100	2100		