

# ENERGIATEHOKKAAN LED-VALAISTUKSEN ÄLYKÄS OHJAUS DALI-JÄRJESTELMÄLLÄ

Mikko Vainionpää

Opinnäytetyö  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Sähkötekniikka  
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikan ja liikenteen ala  
Sähkötekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Mikko Vainionpää	Vuosi	2016
<b>Ohjaajat</b>	Ins. (AMK) Marko Kukkola Ins. (AMK) Jaakko Kettunen		
<b>Toimeksiantaja</b>	Oulun Sähkö- ja Teletekniikka Oy Toimitusjohtaja Ins. (AMK) Sami Alho		
<b>Työn nimi</b>	Energiatehokkaan LED-valaistuksen älykäs ohjaus DALI-järjestelmällä		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	46 + 4		

---

Työn tavoitteena oli saada käsitys nykyaikaisen energiatehokkaan valaistusjärjestelmän toteuttamisesta saneerauskohteeseen ja luoda siitä toimintamalli. Työ tehtiin Oulun Sähkö- ja Teletekniikka Oy:lle, joka toimii sähköurakoitsijana varsinaisessa työkohteessa Oulun Linnanmaalla sijaitsevassa Technopolis Oyj:n omistamassa kiinteistössä. Technopolis Oyj vuokraa toimitiloja ja tuottaa toimintaa tukevia palveluja pääasiassa teknologia-alan yrityksille.

Työssä käsiteltiin valaistusjärjestelmän muutostyötä perinteisestä aikaohjatusta päällä-pois -loisteputkivalaistuksesta nykyaikaiseen valoteholtaan säädettävään LED-valaistukseen seuraavat osa-alueet mukaan lukien: valaistuksen suunnittelu, ohjausjärjestelmän laitevalinta, käytännön toteutus, ohjelmointi ja käyttöönotto. Valaistuksen saneeraus toi tilaajalleen parantuneen valaistuksen ohella myös lisäarvoa niin sisustuksellisesti kuin energiansäästönkin kautta.

Valaistusohtausjärjestelmäksi valittiin DALI-järjestelmä hyvien säätömahdollisuuksiensa takia. Lisäksi se on standardi, jota kaikki suuret valaisinvalmistajat tukevat ja käyttävät. Työ rajattiin koskemaan kotimaisen Helvar Oy:n valmistamia DALI-ohjausjärjestelmän laitteita, koska Oulun Sähkö- ja Teletekniikka Oy on Helvar Oy:n partneriyitys.

Työn tuloksena toteutettiin nykyaikainen, helposti ilman johdotusmuutoksia muunneltavissa oleva tehokas, mutta energiaa säästävä toimistovalistus laajoilla säätömahdollisuuksilla. Kohteesta laadittiin kattava loppudokumentaatio ja varsinaisesta valaistusohtausjärjestelmän DALI-konfiguroinnista luotiin varmuuskopio, jotta mahdolliset muutokset tulevaisuudessa ovat helposti toteutettavissa.

Asiasanat: valaistus, valaistustekniikka, valaistussuunnittelu

Technology, Communication and Transport  
Electrical Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Mikko Vainionpää	Year	2016
<b>Supervisors</b>	Marko Kukkola, B.Eng Jaakko Kettunen, B.Eng		
<b>Commissioned by</b>	Oulun Sähkö- ja Teletekniikka Oy CEO Sami Alho, B.Eng		
<b>Subject of thesis</b>	Intelligent LED lighting control with DALI system		
<b>Number of pages</b>	46 + 4		

---

The goal of this thesis was to get a view and to gain an understanding of the implementation of a modern energy efficient lighting system during renovation. The work was done for Oulun Sähkö- ja Teletekniikka Oy. OSTT acts as an electrical contractor to the customer, which is the real estate owner Technopolis Oyj. The actual work site is located in Linnanmaa, Oulu. Technopolis leases business premises mainly for the technology companies and provides services to support the functioning of these companies.

This thesis deals with the lighting system renovation work from the traditional, time controlled on-off fluorescent lighting system to a modern, fully adjustable LED lighting including following areas: lighting design, control system equipment selection, practical implementation, programming and commissioning. The lighting renovation brought improved lighting to the customer, but also added value as decorative as through energy saving too.

The DALI system was chosen for the lighting control system due its good adjustment possibilities. Also, it is a standard that all major lighting manufacturers support and use. The thesis was limited to Helvar Oy products only, because Oulun Sähkö- ja Teletekniikka Oy is a business partner of Helvar Oy.

In result of this thesis modern lighting system was designed and created. The system is easily transformable, but still energy efficient with multiple adjustment possibilities. The official and final documentation were made and a DALI configuration backup was created, so that possible changes to the lighting system are easily implemented in the future.

Key words: lighting, lighting technology, lighting designing

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	DALI-VALAISTUKSEN OHJAUSJÄRJESTELMÄ.....	9
2.1	Helvar Oy.....	9
2.2	Järjestelmäkuvaus.....	10
2.2.1	Reitittimet.....	12
2.2.2	Releyksiköt.....	13
2.2.3	Järjestelmäsensorit.....	14
2.2.4	Painikkeet.....	15
2.2.5	Liitäntälaitteet.....	16
3	DALI-JÄRJESTELMÄN OHJELMOINTI.....	17
3.1	Osoitteiden muodostus.....	17
3.2	Konfigurointi.....	19
4	LED-VALAISIMET TOIMISTOKÄYTTÖÖN.....	20
4.1	Valmistajien esittely.....	21
4.1.1	Philips.....	21
4.1.2	Exaktor.....	22
4.1.3	Winled.....	22
4.2	Riippuvalaisimet.....	23
4.3	Valopaneelit.....	24
4.4	Alasvalot.....	25
5	VALAISTUKSEN SANEERAUSPROJEKTI.....	26
5.1	Aikataulu.....	26
5.2	Tavoitteet.....	27
6	PROJEKTIN SUUNNITTELU.....	28
6.1	Suunnittelua koskeva standardi.....	29
6.2	Lähtökohdat ja asiakkaan vaatimukset.....	30
6.3	Eri toteutusvaihtoehdot.....	32
6.4	Muunneltavuus.....	33
7	PROJEKTIN TOTEUTUS.....	34
7.1	Valitut valaisimet.....	34
7.2	Asennustyöt.....	37
7.3	DALI-järjestelmän konfigurointi.....	39
7.4	Haasteet.....	42

8 POHDINTA.....	44
LÄHTEET .....	45
LIITTEET .....	46

## ALKUSANAT

Haluan kiittää Oulun Sähkö- ja Teletekniikka Oy:n toimitusjohtaja Sami Alhoa ja projekti-insinööri Jaakko Kettusta ohjauksesta ja tuesta opinnäytetyön tekemisessä. Kiitän myös Lapin Ammattikorkeakoulun tuntiopettaja Marko Kukkolaa, joka toimi opinnäytetyöni ohjaajana koulun puolesta.

Kempeleessä 27.10.2016

Mikko Vainionpää

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

DALI	Digital addressable lighting interface
LED	Light emitting diode
KNX	Kansainvälinen kiinteistöautomaatiostandardi
LON	Local operating network
OSTT	Oulun Sähkö- ja Teletekniikka Oy
AV	Audiovisual
PIR	Passive infrared
VAK	Valvonta-alakeskus

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni aihe on ohjelmoitavan DALI-valaistuksen ohjausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus toimistorakennuksen saneerauksen yhteydessä. Työ tehdään työnantajalleni Oulun Sähkö- ja Teletekniikka Oy:lle toimitusjohtaja Sami Alhon ehdotuksesta. Kiristyvässä kilpailussa on yrityksen tärkeää pysyä kehityksessä mukana ja näin ollen pyrkiä tarjoamaan asiakkailleen uuden tekniikan mahdollistamia nykyaikaisia energiatehokkaita ratkaisuja.

Tekniikan alan kehittyessä yhä energiatehokkaampaan suuntaan on tietotekniikka ottanut yhä suuremman roolin eri järjestelmien ohjauksessa, myös valaistuksen osalta. Saneerauksien yhteydessä valaistuksen älykkääseen ohjaukseen ja energiatehokkaisiin valaisimiin investoimalla saadaan suuria hyötyjä, kuten käyttömukavuutta ja energiatehokkuutta. Etenkin isojen toimistorakennusten kohdalla voidaan saavuttaa merkittäviä energiansäästöjä lyhyelläkin aikavälillä.

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa nykyaikainen, energiatehokas ja helposti säädettävä toimistovalaistus ja luoda pohja vastaavien projektien toteutuksille tulevaisuudessa. Työssä tutustutaan LED-valaistuksen ja valaistusohjausjärjestelmän suunnitteluun, asennukseen, käyttöönottoon ja ohjelmointiin. Työ rajataan koskemaan yhden laitetoimittajan valaistusohjausjärjestelmää ja kolmen valaisintoimittajan valaisimia. Tilaajan toiveesta työssä ei käsitellä laitteiden hintoja eikä itse projektiin liittyvää budjettia.

### **Oulun Sähkö- ja Teletekniikka Oy**

Opinnäytetyö tehdään Oulun Sähkö- ja Teletekniikka Oy:lle, jossa olen työskennellyt vuodesta 2012 alkaen. OSTT on pääasiassa Oulun talousalueella toimiva sähköurakointialan yritys, joka on erikoistunut etenkin isoihin toimitilamuutoksiin. Yritys on perustettu vuonna 1991 ja vuoden 2008 omistajanvaihdoksen jälkeen alkaneen voimakkaan kasvun myötä se työllistää nykyisin 15–20 henkilöä. Vuonna 2015 liikevaihto oli 1582 t€.



## 2 DALI-VALAISTUKSEN OHJAUSJÄRJESTELMÄ

DALI on lyhenne englannin kielen sanoista Digital Addressable Lighting Interface ja sillä tarkoitetaan kansainvälisiin standardeihin (IEC 60929 ja IEC 62386) sekä avoimeen tiedonsiirtoprotokollaan perustuvaa valaistuksenohjausjärjestelmää (Kallioharju 2012, 3). Standardit takaavat ohjattavien laitteiden, eli valaisimien, yhteensopivuuden eri valmistajien kesken. Standardin IEC 62386 laajennus vuodelta 2014 käsittää myös ohjauslaitteiden yhteensopivuuden valmistajasta riippumatta ja on nimeltään DALI2 (ST 58.31 -kortti 2016).

DALI on kaksisuuntainen digitaalinen valaistuksenohjausväylä, jonka etuina ovat keskitetty tiedonkeruu, yksinkertainen kaapelointi ja helppo muunneltavuus. Se soveltuu niin pieniin kuin isoihinkin kohteisiin ja on yhdistettävissä myös muihin taloautomaatiojärjestelmiin, joita ovat esimerkiksi KNX ja LON. Kaksisuuntaisen tiedonkulun ansiosta muun muassa vikatietojen ja energiankulutuksen seuranta on helppoa. (Kallioharju 2012, 3.)

Järjestelmä kehitettiin suurten valaisinvalmistajien yhteistyönä 1990-luvun loppupuolella ja nykyisin sillä on vuonna 1999 perustettu yhteinen kehitysyhteistyöjärjestö nimeltään DALI-ag. Järjestöön kuuluvat muun muassa kaikki merkittävimmät valaisinvalmistajat. (Kallioharju 2012, 3,5.)

### 2.1 Helvar Oy

Helvar Oy on kotimainen vuonna 1921 perustettu perheyrittys, joka toimii 40 maassa. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Suomessa ja ulkomaan toimipisteitä on yhteensä kahdeksan. Vuonna 2015 Helvar Oy työllisti 258 työntekijää 73,4 M€ liikevaihdolla liikevoiton ollessa 5,2 M€. (Helvar Oy 2016.)

Yhtiö toimi alkuaikoina tv- ja radiolaittealalla, kunnes 50-luvulla toimintaan tuli mukaan loisteputkivalaisimien magneettisten kuristimien valmistus. Televisioiden valmistus lopetettiin vuonna 1968, minkä jälkeen pääpaino siirtyi 70- ja 80-luvuilla valaisintekniikan kehitykseen ja tuotantoon. (Helvar Oy 2016.)

Helvar Oy on edelläkävijä myös risteilyalusten erilaisissa vaativissa valaistusratkaisuissa. Muun muassa Suomessa valmistetussa Allure of the seas -risteilyaluksessa (Kuva 1) käytetään DALI-järjestelmää valaistuksen ohjaukseen. Aluksessa on yli 5700 elektronista Helvar Oy:n toimittamaa liitäntälaitetta. Päätoimialana onkin nykyisin erilaisten energiatehokkaiden valaistusratkaisujen, kuten väyläohjattujen liitäntälaitteiden ja sensoreiden valmistus. (Helvar Oy 2016.)



Kuva 1. Allure of the seas -risteilyalus iltavalaistuksessa (Helvar Oy 2016.)

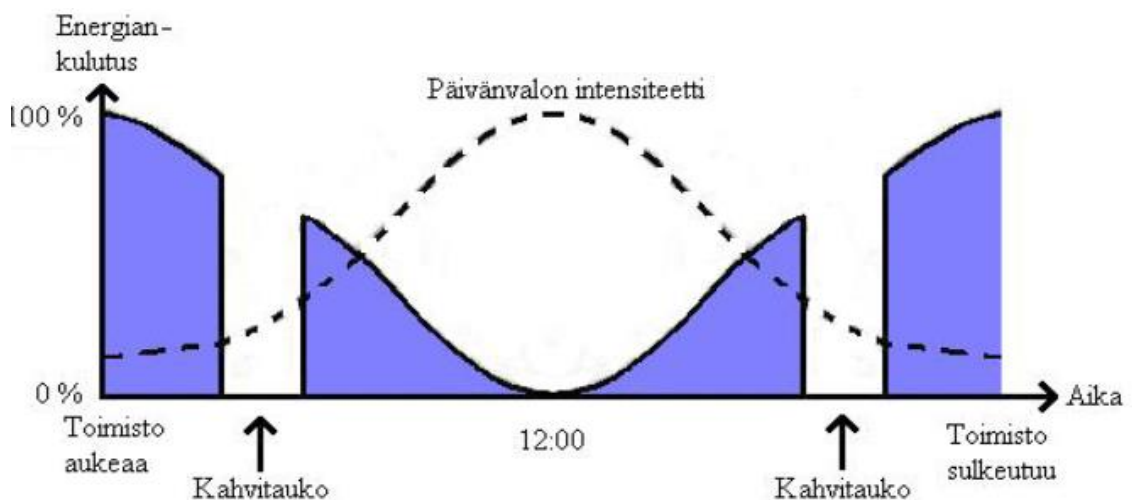
## 2.2 Järjestelmäkuvaus

DALI-valaistuksenohjausjärjestelmä soveltuu hyvin isoihin julkisiin kohteisiin, kuten toimistoihin ja hotelleihin, hyvän muokattavuutensa sekä laajojen säätömahdollisuuksiensa ansiosta. Järjestelmän muokkaus on myös helppoa. Koska muutokset valaistustoimintoihin tehdään aina ohjelmallisesti, ei kaapelointimuutoksia tarvita. DALI-järjestelmä voidaan integroida osaksi taloautomaatio- tai AV-järjestelmää ja sen avulla voidaan myös seurata valaistuksen energiankulutusta. (Helvar Oy 2016.)

DALI-valaistusjärjestelmä, jossa jokaisella laitteella on oma muisti ja yksilöllinen osoitteensa, koostuu yhteen kytketyistä väyläohjatuista laitteista. Varsinaista keskusyksikköä ei tarvita, joten yksittäinen vika ei aiheuta koko järjestelmän vikaa. Järjestelmän laitteet koostuvat reitittimistä, valaisinten elektronisista liitäntälaitteista, järjestelmäsensoreista ja painikkeista. Järjestelmä on yksinkertaisimmillaan 64 DALI-osoitteen verkko. Reitittimiä yhdistämällä voidaan toteuttaa jopa 12 800 osoitteen järjestelmiä. (Kallioharju 2012, 13.)

Dali-väylätekniikan etuina ovat sen polarisaatiovapaus, joka vähentää virhekytkentöjen riskiä, sekä suuri häiriönsietokyky, minkä ansiosta väyläjohtimet voivat kulkea samassa kaapelissa 230 voltin virransyötön kanssa. DALI-väylän maksimi yhteenlaskettu pituus on 300 m käytettäessä 1,5 mm<sup>2</sup>:n kuparikaapelointia johduen jännitteenalenemasta suurilla kaapelipituuksilla. Erillistä keskusyksikköä ei tarvita, koska tarvittava tieto tallennetaan itse laitteisiin, eli yksittäisiin ohjaimiin ja liitäntälaitteisiin. (Kallioharju 2012, 10, 12, 24, 29, 39; Helvar Oy 2016.)

Energiansäästö perustuu laajaan säädettävyyteen. Tyypillisen toimistohuoneen DALI-ohjatun valaistuksen energiankulutus pienenee suhteessa päivänvalon intensiteettiin (Kuvio 1). Huone on varustettu vakiovaloanturilla ja läsnäolotunnistuksella. Vakiovaloanturi mittaa tilan lux-tasoa ja järjestelmä ylläpitää määritellyn valaistustason hyödyntäen ulkoa tulevan valon. Läsnäolotunnistus himmentää valaistustasoa, kun tila ei ole käytössä. Tällä menettelyllä säästyy jopa 60–70 % energiaa verrattuna manuaalisiin valaistusohjauksiin. (Kallioharju 2012, 7–10.)



Kuvio 1. Energian kulutus suhteessa valaistustasoon (Kallioharju 2012, 9.)

### 2.2.1 Reitittimet

Helvar Oy:n DALI-järjestelmään kuuluu olennaisena osana väylään asennettava reititin. Reitittimen avulla muodostetaan kytkentäraja- pinta, jossa väylä sovitetaan ethernet-protokollaan. Ethernet-kytkennän avulla voidaan eri DALI-aliverkot so- vittaa helposti ja saumattomasti yhteen suurimman mahdollisen suositeltavan verkon koon ollessa jopa 12 800 DALI-osoitetta eli 100 reititintä. Tätäkin suurem- pia järjestelmiä on kuitenkin jo tekeillä. Modulaarinen järjestelmä kestää hyvin eri vikatilanteita ja on helposti laajennettavissa. (Kallioharju 2012, 13; Helvar Oy 2016.)

Reitittimen suurempi muistitila verrattuna järjestelmän muihin laitteisiin, esimer- kiksi liitäntälaitteisiin, mahdollistaa eri ohjaustapojen laajemman soveltamisen. Sen avulla voidaan toteuttaa kello-ohjaukset, ja erilaisia loogisia operaattoreita, kuten AND, OR ja NAND, voidaan käyttää valaistusohjelmaa tehtäessä. (Kallio- harju 2012, 13; Helvar Oy 2016.)

Helvar Oy:n reititinsarjaan kuuluu kolme eri tyyppiä: digidim 905, digidim 910 ja imagine 920. Digidim 905 on yhden DALI-aliverkon reititin eli väylässä on maksi- missaan 64 laitetta. Digidim 910 ja imagine 920 sisältävät puolestaan kaksi ali- verkkoa, mikä mahdollistaa yhteensä 128 laitteen liittämisen yhtä reititintä koh- den. Reitittimissä on myös väyläkohtainen 250 mA virransyöttö; erillistä virtaläh- dettä ei siis tarvita. Kyseisistä reitittimistä monipuolisin on imagine 920 (Kuva 2). Se sisältää standardiprotokollat DALI, DMX ja Helvar S-Dim ja sen avulla voidaan ohjata myös väriohjauksia. (Helvar Oy 2016.)

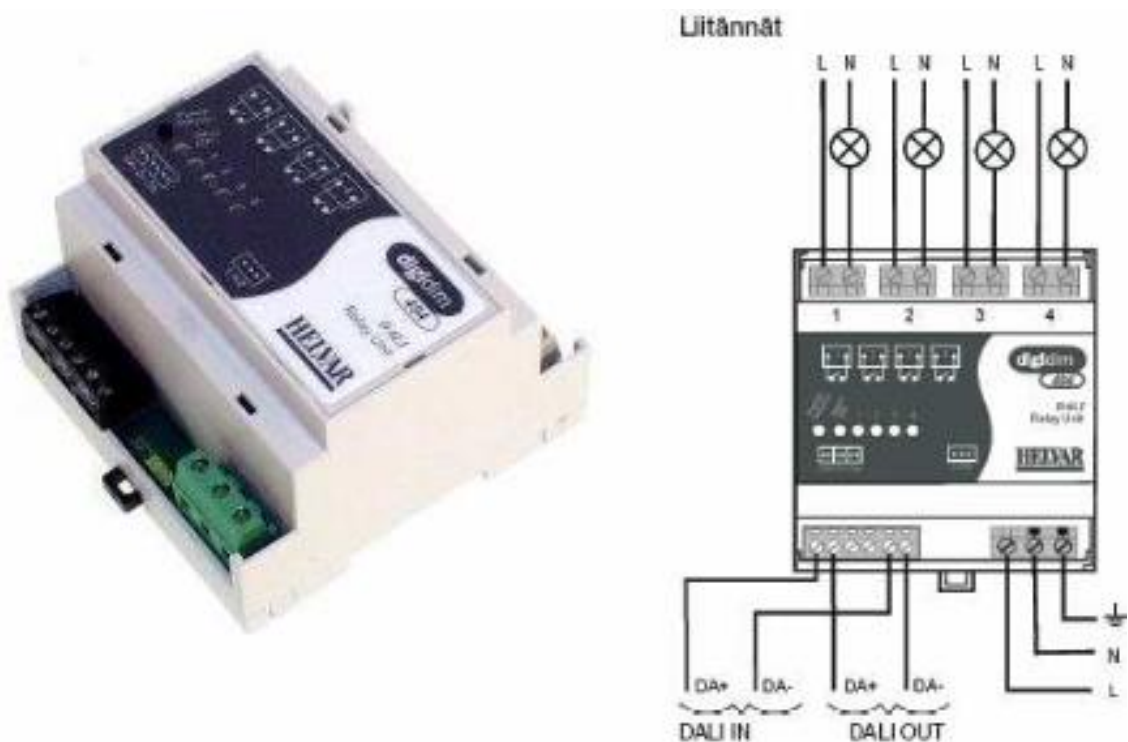


Kuva 2. Helvar digidim 920 -reititin (Helvar Oy 2016.)

## 2.2.2 Releyksiköt

Releyksikköjen avulla voidaan DALI-järjestelmään lisätä erilaisia kytkettäviä kuormia. Esimerkiksi Digidim 494 -releyksiköllä (Kuva 3) voidaan ohjata neljää relelähtöä, joihin jokaiseen voi liittää maksimissaan 10 A resistiivistä kuormaa. Yksikköön voi kytkeä myös erivaiheisia kuormia potentiaalivapaiden koskettimien ansiosta. Laite ei sisällä DALI-väylän virtalähdettä, joten se vaatii toimiakseen aina ulkopuolisen virtalähteen. (Voutilainen 2010, 41.)

Releyksikköjä on saatavilla useaan eri käyttötarkoitukseen, esimerkiksi verhojen ja valkokankaiden ohjaukseen. Helvar Oy:n tuotevalikoimassa on sekä suoraan valaisimiin integroitavia pienitehoisia yksikanavaisia yksikköjä että moduulirakenteisia 8-kanavaisia releyksikköjä suurempia valaistuksenohjauskokonaisuuksia varten. (Helvar Oy 2016.)



Kuva 3. Helvar digidim 494 -releyksikkö (Voutilainen 2010, 41.)

### 2.2.3 Järjestelmäsensorit

Ohjausjärjestelmä tarvitsee tietoa valaistustarpeesta toimiakseen energiatehokkaasti. Yhtenä tämän järjestelmätyypin etuna on sensoreiden helppo lisäys myös jälkikäteen. Käytännössä kaksinapainen väyläkaapelointi haaroitetaan lähimpään väylälinjaan uudelta sensorilta ja ohjelmointiin tehdään tarvittavat muutokset. Sensorit toimivat pienjännitteellä, tällöin virransyöttö saadaan suoraan DALI-väylästä. Helvar Oy:n DALI-järjestelmäsensorit koostuvat PIR-, mikroaalto- ja valoisuussensoreista sekä näiden yhdistelmistä. (Kettunen 2016; Helvar Oy 2016.)

Etenkin pitkissä käytävissä ja vastaavissa laajoissa tiloissa on todettu kustannustehokkaammaksi käyttää mikroaaltotunnistukseen perustuvaa läsnäolosensoria sen laajemman toimintasäteen ansiosta. Pienemmissä tiloissa, kuten toimistohuoneissa ja neuvottelutiloissa, puolestaan perinteisempi ja edullisempi PIR-tunnistin riittää yleensä kattamaan tilavalvonnan tarpeet. Valaistuksen lux-tason mittauksen on käytännössä helpointa käyttää multisensoria (Kuva 4), johon on sisäänrakennettu liiketunnistus- sekä valoisuusanturi. (Kettunen 2016.)



Kuva 4. Digidim 312 -multisensori (Helvar Oy 2016.)

#### 2.2.4 Painikkeet

DALI-järjestelmään voidaan liittää joko järjestelmän omia kytkimiä tai perinteisiä potentiaalivapaita kytkinohjauksia. Perinteisillä kytkimillä voidaan toteuttaa erilaisia päälle/pois -toimintoja. Osassa Helvar Oy:n järjestelmäsensoreista, kuten mallissa Digidim 312 (Kuva 4), ovat liitännät valmiina ulkopuoliselle paikallishjaukselle. Sen avulla voidaan valaistus pakko-ohjata päälle ohjausjärjestelmän tilasta huolimatta. (Kettunen 2016; Helvar Oy 2016.)

Helvar Oy:n seitsemänpainikkeisessa 135 W DALI -kytkimessä ovat seuraavat esiohjelmoitut toiminnot: 1=100 %, 2=75 %, 3=50 %, 4=25 % ja 0=sammutus (Kuva 5). Nuolinäppäimillä säädetään valaistusvoimakkuutta välillä 3–100 %. Kaikissa näppäimissä on myös sisäänrakennettu LED-indikointi toimintaa kuvaavassa. Painikkeen virransyöttö tapahtuu pienjännitteellä DALI-väylän avulla, kuten sensoreilla. Kytkimet ovat moduulirakenteisia, joten erilaisia kytkinyhdistelmiä voidaan toteuttaa lähes rajattomasti, etenkin kun kaikki toiminnot ovat myös ohjelmallisesti muokattavia. (Kettunen 2016; Helvar Oy 2016.)



Kuva 5. Kytkinpaneeli 135 W (Helvar Oy 2016.)

### 2.2.5 Liitäntälaitteet

Valaisimen DALI-ohjausjärjestelmään yhteensopivuuden määrittää käytännössä sen liitäntälaitte. Erona perinteiseen liitäntälaitteeseen DALI-liitäntälaitte kykenee kaksisuuntaiseen tiedonsiirtoon ja valaistuksen älykkääseen säätöön esiohjelmoitujen tilanteiden mukaan. Liitäntälaitte toimii osana ohjausjärjestelmää ja sisältää myös osan koko järjestelmän muistitilasta (Kallioharju 2012, 23).

Yleensä DALI-liitäntälaitteet voidaan vaihtoehtoisesti kytkeä myös perinteisillä kytkinohjaustavoilla rakennettuihin järjestelmiin. Tällöin säätönä toimii niin kutsuttu painonappihimmennys. Tulee huomata, että kyseinen järjestely voi muodostua huomattavan kalliiksi johtuen DALI-valaisinten korkeammasta hankintahinnasta, joten usein tätä kytkentää ei käytetäkään.

Yhtenä nykyaikaisena toimintona mainittakoon, että Helvar Oy:n valmistamissa DALI-liitäntälaitteissa (Kuva 6) on niin kutsuttu ”self healing” -toiminto, jonka avulla rikkoutuneen liitäntälaitteen vaihto ei aiheuta tarvetta uudelleen ohjelmoinnille, vaan järjestelmä ohjelmoi vaihdetun komponentin vanhan komponentin tiedoilla. Toiminto edellyttää oikean työjärjestyksen käyttöä itse vaihtotilanteessa. (Helvar Oy 2016.)



Kuva 6. Helvar LL1x40-E-DA-700-1050 – 1x40 W DALI-säädettävä LED-liitäntälaitte (Helvar Oy 2016.)



### 3 DALI-JÄRJESTELMÄN OHJELMOINTI

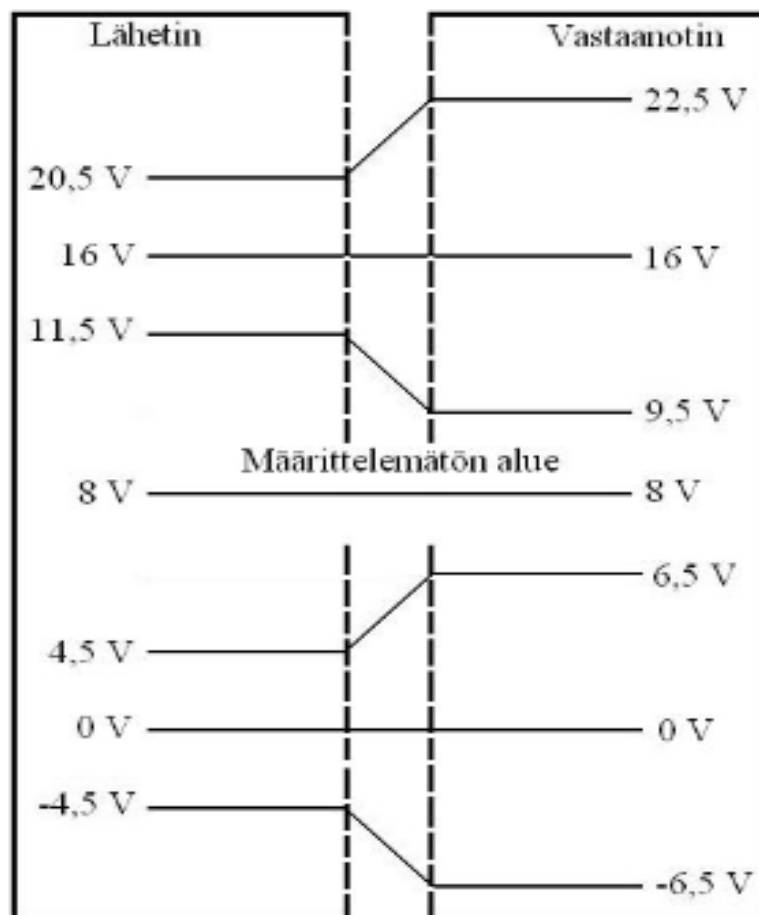
Reititinpohjaisen DALI-järjestelmän käyttöönotto, ohjelmointi ja huolto tehdään Microsoft® Windows® -alustaisella, lisensoidulla Helvar designer -ohjelmistolla. Ohjelman avulla luodaan ohjelmallisesti valaistusryhmät sekä toiminnot eri tilanteisiin. Lisäksi voidaan säätää liiketunnistus- ja vakiovalotoiminnot sekä valaistustasot valaisinkohtaisesti käyttäjän toiveiden mukaan. (Helvar Oy 2016.)

Designer-ohjelmisto ja reititinjärjestelmä voidaan integroida tarvittaessa esimerkiksi taloautomaatiojärjestelmään ethernet I/O- tai OPC-moduulin avulla. Ethernet I/O mahdollistaa suoran integroinnin muihin ethernet-ominaisuudella varustettuihin järjestelmiin. OPC on puolestaan ohjelmallinen välityspalvelin valaistusohjausjärjestelmän ja taloautomaatiojärjestelmän välillä. Järjestelmä tallentaa loki-tietoa toiminnastaan, minkä avulla voidaan seurata valaistuksen energiankulutusta ja helpottaa vianetsintää. (Helvar Oy 2016.)

Järjestelmän toimintojen ohjausmuutokset voidaan väylätekniiikan ansiosta tehdä nopeasti ja edullisesti, ainoastaan ohjelmaa tarvitsee muuttaa. Offline-ominaisuuden avulla käyttöönoton jälkeiset muutokset, esimerkiksi ryhmämuutokset, voidaan tehdä myös muualla kuin itse kohteessa valmiiksi. Tällöin asiakkaan tiloissa tarvitsee suorittaa vain itse ohjelman uudelleen lataus, mikä puolestaan vähentää muutostöistä aiheutuvaa haittaa.

#### 3.1 Osoitteiden muodostus

DALI-väylässä käytetään niin kutsuttua Manchester-koodausta, joka mahdollistaa myös tiedonsiirron muuntajien läpi. Koodaustapa perustuu siihen, että jokaisen bitin kohdalla tapahtuu muutos, vaikka alkuperäisessä sanomassa olisi useampi sama bitti peräkkäin. Väylätyypin etuina ovat suhteellisen suuri jännite-ero 0- ja 1-bitin välillä sekä isohko toleranssi jännitearvoissa (Kuvio 2). Myös määrittelemätön alue bittien välillä estää osaltaan virhetulkintoja koodissa. Koodaustapa yhdistettynä verrattain alhaiseen tiedonsiirtonopeuteen, noin 1,2 kbit/s, tekee väylästä hyvin immuunin kohinalle ja sähkömagneettisille häiriöille. (Kallioharju 2012, 24,25.)



Kuvio 2. DALI-väylätekniikan dataliikenteen jännitetasot (Kallioharju 2012, 24.)

Varsinainen DALI-viesti väylässä perustuu 8+8 -bittiseen viestikehykseen, jossa ensimmäisen kehyksen keskimmäiset kuusi bittiä muodostavat laiteosoitteen. Tästä johtuen osoitteet on rajattu maksimissaan 64 kpl/väylä (Liite 1). Kaksi muuta bittiä määrittävät, mitä tilannetta viesti koskee, esim. broadcast tai go to scene. Jälkimmäisessä 8 bitin viestikehyksessä annetaan tieto halutuista valotasoista esimerkiksi liitälaitteelle. (Voutilainen 2010, 17; Kallioharju 2012, 26–27.)

Valotason määrittämiseen käytetään 8 bitin avulla muodostettua numeroa, mikä mahdollistaa 255 eri valaistustasoa (0=OFF). DALI-standardissa (IEC 62386) on määritelty valaistusvoimakkuudet himmennystasoille 0,1–100 %. Eri valaistusrhymille ja tilanteille on käytössä 4 bittiä kummallekin. (Voutilainen 2010, 17; Kallioharju 2012, 26,27; Helvar Oy 2016.)

### 3.2 Konfigurointi

Järjestelmän käyttöönotto ja osoitteiden uudelleen nimeäminen tehdään käyttöönottovaiheessa laitekohtaisesti. Jokainen valaisin ja laite tulee yksilöidä tunnistustoiminnon avulla. Käytännössä ohjelma vilkuttaa valittua laiteosoitetta eli valaisinta tai sensorin/painikkeen indikointilediä. Tässä yhteydessä osoitteet myös yleensä uudelleen nimetään ja ryhmitellään selkeyden vuoksi. (Kettunen 2016; Helvar Oy 2016.)

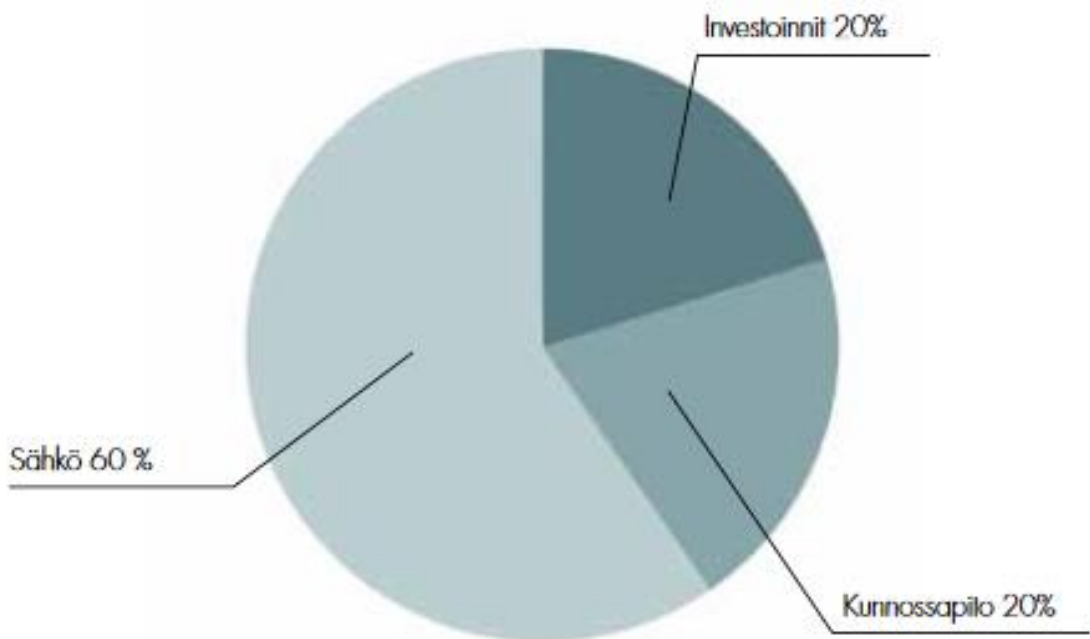
Ilman reititintä toteutetun, maksimissaan 64 osoitteen DALI-järjestelmässä voidaan määrittää valaisimille 255 eri valaistustasoa, 16 valaistusryhmää (group) ja 16 erilaista valaistustilannetta (scene). Reititinjärjestelmässä valaistustilanteet on lisäksi jaettu 8 lohkokon (block), jossa jokaisessa on 16 eri tilannetta. Tällöin eri valaistustilanteita on reititinjärjestelmässä huomattavasti enemmän, yhteensä siis 128 kappaletta. Samat valaisimet voivat kuulua myös useampaan eri valaistusryhmään kummassakin toteutustavassa. (Kettunen 2016; Helvar Oy 2016.)

Käytännössä konfiguroinnissa luodaan omat ryhmänsä eri aluekokonaisuuksista. Tällöin toiminnot eri tilanteissa voidaan myös säätää aluekohtaisesti. Kaikki ryhmät voidaan myös sisällyttää esimerkiksi koko järjestelmän kattavaan alueeseen, jolloin haluttu sensori sytyttää kaikki valot haluttuun valotasoon. (Kettunen 2016; Helvar Oy 2016.)

#### 4 LED-VALAISIMET TOIMISTOKÄYTTÖÖN

Koska toimistotiloissa tarvitaan hyvää valaistusta eli valotehoa, on valaistuksen osuus ylläpitokustannuksista myös suuri. Tästä johtuen energiatehokas LED-tekniikka yleistyy vauhdilla myös toimistoissa ja virastoissa. Useat kaupungit ovatkin ottaneet uuden tekniikan jo käyttöön. LED-tekniikan hyviin puoliin kuuluvat myös hyvät valontoisto-ominaisuudet sekä pieni hukkalämmön tuotto, mikä puolestaan vähentää sisätilojen jäähdytystarvetta kesäaikaan.

Perinteinen toimistovalaistus on päällä noin 2500 tuntia vuodessa, joten energiänsäästöt ovat usein huomattavia isoissa rakennuksissa verrattuna perinteisiin tekniikkoihin. Toimistorakennuksen valaistuksen kokonaiskustannus koostuu valaisinvalmistaja Glamox Luxo Lighting Oy:n mukaan suurimmaksi osaksi sähkönkulutuksesta investoinnin osuuden ollessa vain noin 20 % (Kuvio 3). (Glamox 2012, 2; Tölö 2013, 28–31.)



Kuvio 3. Kustannusten jakautuminen (Glamox 2012, 2.)

#### 4.1 Valmistajien esittely

Valaisinvalmistajia on nykyisin kymmeniä, ja luonnollisesti laatuvaihtelut ovat tietyissä valaisintyypeissä hyvinkin suuria, kuten myös hintaerot. Etenkin edullisimmissa LED-valaisimissa on ollut OSTT:n kokemuksen mukaan suuria laatuongelmia niin kestävyudessa kuin valotehossakin. Laatuongelmat vaikuttavat suoraan valaistusinvestoinnin kannattavuuteen, pahimmillaan takaisinmaksuaika pitenee huomattavasti jälkikorjauksista johtuen.

Laatutason vaihtelujen takia valaisimien ominaisuudet varmistetaan myös OSTT:n omalla käytännön tutkimustyöllä ennen isompien valaistussaneerauskohteiden valaisinhankintoja. Nykyisellään käytämme isommissa kohteissamme pääasiassa kolmen Suomessa hyvin tunnetun valmistajan eli Philipsin, Exaktorin ja Winledin valmistamia, hyväksi havaitsemiamme LED-tuotteita.

##### 4.1.1 Philips

Philips on yksi tunnetuimmista ja suurimmista valaisin- ja elektroniikkavalmistajista tällä hetkellä. Yhtiön perustivat vuonna 1891 Hollannissa Frederik Philips ja poikansa Gerard Philips. Alkuaikoina päätoimialana oli hiilikuitulankaisten hehku-lamppujen valmistus, myöhemmin mukaan tuli myös radioiden ja muun kulutuselektroniikan valmistus. Nykyisin yhtiö on jaettu kolmeen erilliseen yksikköön: Healthcare (terveysteknologia), Consumer lifestyle (kulutuselektroniikka) ja Lighting (valaistus). (Philips 2016.)

Philips-konserni toimii yli sadassa maassa ja työllistää noin 112 000 ihmistä. Vuonna 2015 liikevaihto oli 24,2 miljardia euroa. Yhtiö panostaa voimakkaasti tuotekehitykseen ja onkin yksi energiatehokkaiden valaistusratkaisujen edelläkävijöistä. Yhtiön yhtenä visiona on, että tulevaisuudessa kaikki valaisimet ovat elektronisia ja verkko-ohjattuja. Philipsin tuotevalikoimasta löytyy kymmenittäin LED-valaisimia niin sisä- kuin ulkokäyttöön sekä erikoistilojen valaistustarpeisiin. (Philips 2016.)

#### 4.1.2 Exaktor

Exaktor on ruotsalaisen Proton Groupin Lighting-valaistusosaston tunnetuin valaisinmerkki. Konserni koostuu 14 yrityksestä viidellä eri liiketoiminta-alalla, joita ovat Lighting-osaston lisäksi Healthcare (terveysteknologia), Engineering (putkien työstö), Technology (tekninen konsultointi) ja Finishing (pintakäsittely). Konsernin on perustanut Leif Malveholm vuonna 1985 Smoolannissa Etelä-Ruotsissa. Huippuvuosina vuosituhannen vaihteessa konserni työllisti parhaimmillaan yli 700 työntekijää, nykyisin työntekijöitä on 420. Vuonna 2015 liikevaihto oli 653 MSEK. Se on myös pienentynyt huippuvuoteen 2006 verrattuna, jolloin liikevaihtoa kertyi 870 MSEK. (Proton 2016.)

Proton lighting:lla on laaja mallisto, joka kattaa eri valaisimia toimistokäytöstä aina teollisuuteen. Se tarjoaa myös asiakkaille yksilöityjä valaistusratkaisuja. Exaktor T8 -loisteputkivalaisimet asuin- ja toimistokäyttöön ovat eritoten tunnettuja sähköalan ammattilaisten keskuudessa Suomessa. Yhtiö on alkanut tuoda markkinoille aktiivisesti uusia energiatehokkaaseen LED-tekniikkaan perustuvia valaisimia, joita toimitetaan myös DALI-yhteensopivilla liitäntälaitteilla.

#### 4.1.3 Winled

Winled Oy on suomalainen laadukkaisiin LED-valaisimiin erikoistunut yritys. Se sai alkunsa vuonna 2009, kun Panu Rekilä yhdessä isänsä kanssa päätti perustaa energiatehokkaisiin LED-valaisimiin erikoistuneen yrityksen. Winled Oy teettää tuotteensa pääosin ulkomailla, mutta panostaa aktiiviseen laaduntarkkailuun Suomessa. Kaikki tuotteet testataan kotimaassa kolmannen osapuolen toimesta sekä sertifioidaan laatu- ja turvallisuusmääräysten mukaan. Yritys työllistää tällä hetkellä 22 henkilöä liikevaihdon ollessa noin 2,2 M€. (Winled 2016.)

Winledin laadukkaat tuotteet, kattava mallisto sekä toimiva asiakaspalvelu ovat luoneet hyvää mainetta yritykselle sähköalalla. Winledin tuotteita on käytetty paljon referenssikohteissa, muun muassa useissa asuntomessutaloissa sekä tunnettujen liikeketjujen myymälätiloissa. Nykyisin tuotevalikoimiin kuuluvat myös DALI-yhteensopivat valaisimet älykkäisiin valaistusjärjestelmiin.

## 4.2 Riippuvalaisimet

Riippuvalaisimet ovat hyvin yleisesti käytetty valaisintyyppi, jota lähes kaikki suuret merkit valmistavat. Malleja on olemassa satoja kymmenillä eri valmistajilla ja perinteisten valonlähteiden tilalle on alkanut tulla myös LED-valonlähteillä varustettuja valaisimia. Esimerkkinä nykyaikaisesta riippuvalaisimesta mainittakoon Philipsin valmistama uutta LED-tekniikkaa käyttävä ledino-malli (Kuva 7). Valaisimia on saatavana useisiin eri teho- ja kokoluokkiin, joten hyvin erilaiset variaatiot valaistuksen toteuttamiseksi ovat mahdollisia, kuten myös eri ohjaustavat.

Riippuvalojen hyviin ominaisuuksiin kuuluu valon tarkka kohdistusmahdollisuus ja yleensä valaisin on varustettu myös korkeuden säädöllä. Toisaalta tarkka valonjako vaatii juuri oikean asennuskohdan kalusteisiin nähden. Mataliin tai usein kalustukseltaan vaihtuviin tiloihin tämä valaisintyyppi soveltuu siis heikommin. Huonoihin puoliin kuuluu puolestaan tilantarve vertikaalisuunnassa. Hinnaltaan riippuvalaisimet ovat tyypillisesti muutamasta kymmenestä eurosta jopa useiden satojen eurojen valaisimiin, esimerkiksi osaksi sisustusta suunnitellut design-valaisimet voivat olla hyvinkin arvokkaita.



Kuva 7. Philips ledino -riippuvalaisin (Philips 2016.)

### 4.3 Valopaneelit

LED-paneeli muodostuu seuraavista osista: alumiinikehys, optinen akryylilevy ja diffuusorikalvo (Töölö 2013, 17). Valaisintyyppin hyviin ominaisuuksiin kuuluvat tasainen valonjako, nopea asennus ja pieni tilantarve. Optinen akryylilevy yhdessä diffuusorikalvon kanssa jakaa valon tasaisesti. Tällöin häikäisyvaikutus on hyvin pieni, vaikka katsottaisiin suoraan valaisimeen. Valopaneeleja on saatavilla eri värilämpötiloilla, 2700–4200 kelvinin sävyjä käytetään yleisesti riippuen hieman valmistajasta. Edullisimmat paneelit maksavat muutaman kymmenen euroa, kalteimmat design-mallit useita satoja euroja kappale.

Valaisin asennetaan tyypillisesti 600x600 T-listakattorunkoon, jolloin se yksinkertaisesti vain nostetaan paikoilleen tyhjäan ruutuun (Kuva 8). Vaihtoehtoisesti paneeli voidaan myös ripustaa erillisellä vaijeriripustussarjalla haluttuun korkeuteen. Paneelin liitännälaite kytketään pikaliittimellä, joten asennus on verrattain nopeaa ja vaihto helppoa. Valaisintyyppi omaa myös tyypillisesti korkean valotehon, esimerkiksi 38 W tehoisen Exaktor Moln Bas LED -paneelin tuottama valovirta on 3100 lumenia. (Proton 2016.)



Kuva 8. Exaktor Moln Bas LED -paneeli asennettuna alaslaskukattoon (Proton 2016.)



#### 4.4 Alasvalot

Suuret ja myös pienemmät valaisinvalmistajat ovat muutamassa vuodessa siirtyneet käyttämään pääasiassa LED-valonlähteitä myös alasvaloissaan. LED-tekniikalle ominaisen pienen hukkalämmöntuoton ansiosta jäähdytystilan tarve on tässä valaisintyyppissä hyvin pieni verrattuna perinteisellä valonlähteellä toteutettuun malliin. Esimerkiksi vanhoihin halogeenipolttimolla toteutettuihin alasvaloihin täytyi usein valmistajan ohjeen mukaan rakentaa suojakotelo valonlähteen yläpuolelle, jotta asennus olisi ollut riittävän paloturvallinen. LED-tekniikan myötä tämä vaatimus on käytännössä poistunut kokonaan.

Pienentynyt tilantarve on luonut paljon uusia mahdollisuuksia alasvalojen sijoitteluun. Valaisimien lisäys on yleensä verrattain helppoa jälkikäteen. LED-alasvalojen malleja ja sekä teho- että sävyvaihtoehtoja on saatavilla lukuisia eri vaihtoehtoja. Valaisinten tehot alkavat muutamasta watista jatkuen aina kymmeneen wattiin. Tyypilliset värilämpötilat ovat yleensä 2700–4200 kelviniä.

Valonjaon kannalta sekä toteutusmielessä tämä tyyppi soveltuu parhaiten verrattain pieniin tiloihin eli yksittäisiin huoneisiin ja vastaaviin. Huonona puolena alasvaloissa voidaan pitää sen tarvetta koteloidulle kattorakenteelle. Näin ollen sitä ei siis voida normaalisti käyttää ilman kotelointeja esimerkiksi suoraan betonipinnoilla. Esimerkiksi Winled Lilja 18 W -alasvalo tuottaa yli 1200 lumenin valovirran mutta vaatii vain 35 mm upotussyvyyden kattopinnasta lukien (Kuva 9).



Kuva 9. Winled Lilja 18 W -alasvalo (Winled 2016.)

## 5 VALAISTUKSEN SANEERAUSPROJEKTI

Oulun Sähkö- ja Teletekniikka sai loppukeväästä 2016 toimeksiannon toteuttaa nykyaikainen LED-toimistovalaistus Technopolis Oyj:lle. Valaistuksen saneeraus toteutettiin kokonaispalveluna niin kutsutusti ”avaimet käteen” -periaatteella. Toimitukseen kuului sähkösuunnittelu, laitehankinnat, asennus ja käyttöönotto loppudokumentteineen. Kohteena oli Oulun Elektroniikkatie 2:ssa sijaitsevan Technopoliksen omistaman toimistorakennuksen yksi kerros kokonaisuudessaan.

Kohde koostui avotoimistosta, neljästä neuvotteluhuoneesta, laboratoriotilasta, kahdesta ryhmätyötilasta, kahdesta puhelujen hoitoon tarkoitettusta pienestä tilasta sekä käytävä- ja sosiaali-tiloista. Tilat oli alkujaan myös suunniteltu toimistotiloiksi, mikä osaltaan helpotti projektin toteutusta. Tiloihin tehtiin tarvittavat seinämuutokset tulevan vuokralaisen toiveiden mukaan. Sähkötyöt toteutettiin tilamuutosten ja pintojen uusinnan kanssa yhtä aikaa. Kokonaisuudessaan saneerattavan tilan koko oli yhteensä noin 700 kem<sup>2</sup>.

### 5.1 Aikataulu

Projekti toteutettiin kokonaisuudessaan nopealla aikataululla kesän 2016 alussa siten, että projekti alkoi toukokuun 23. päivä ja loppukäyttäjät saivat ottaa tilat käyttöönsä heinäkuun 1. päivään mennessä. Viimeistelytyötä tehtiin vielä osittain asiakkaan muuton jälkeenkin johtuen kalusteiden asennusten viivästymisestä, mikä hieman vaikutti myös valaisinten sijoitteluun ja valaistusohjausjärjestelmän säätöihin.

Kireästä aikataulusta johtuen myös kohteen yksityiskohtainen suunnittelu täytyi sekä aloittaa että saada valmiiksi pääpiirteittäin heti toukokuun viimeisellä viikolla projektin alettua. Näin päästiin hyväksyttämään sekä tilaamaan tarvittavat valaisimet ja tarvikkeet ajoissa. Useissa valaisimissa on jopa 3–5 viikon toimitusaika, joten aikataulullisesti tämä tuli huomioida heti alkuvaiheessa.

Kohteeseen laadittiin työmaa-aikataulu, josta selviää projektin eri vaiheet päiväkohtaisesti. Aikataulusta laadittiin ensin karkea versio, joka päivitettiin lopuksi vastaamaan toteutunutta järjestystä (Liite 2). Itse valaistusjärjestelmän saneeraus toteutui yhtä aikaa tilamuutosten kanssa, joten asennuksissa tuli huomioida myös rakennuspuolen aikataulut. Esimerkiksi pintojen maalaukset ja alakattojen asennukset täytyi ottaa huomioon aikataulua laadittaessa, jotta välttyttiin väärältä työjärjestykseltä.

## 5.2 Tavoitteet

Ensisijaisena tavoitteena oli luoda loppukäyttäjälle eli vuokralaiselle tehokas, edustava, viihtyisä sekä hyvin toimiva työympäristö asiakkaan määrittelemän aikataulun sekä annetun budjetin puitteissa. Samalla nykyaikaistamalla vanhentunutta valaistustekniikkaa energiatehokkaammaksi tavoiteltiin myös merkittäviä säästöjä kiinteistön omistajalle alenevien sähkönkulutuksen ja huoltokustannusten muodossa. Projektin avulla tavoiteltiin siis käyttömukavuutta, kustannussäästöä sekä lisäarvoa itse kiinteistölle, sen omistajalle ja vuokralaiselle.

Projektin avulla haluttiin tutustua myös uuden tekniikan mukanaan tuomiin mahdollisuuksiin sekä mahdollisiin ongelmakohtiin ja niiden ratkaisuihin. Yhtenä osatavoitteena oli hankkia tarvittavaa tietotaitoa ja kokemusta OSTT:lle DALI-ohjattujen LED-valaistusjärjestelmien toteutuksesta sekä luoda pohjaa vastaaville projekteille tulevaisuudessa.

## 6 PROJEKTIN SUUNNITTELU

Projektin suunnittelu rajattiin heti alkuvaiheessa koskemaan vain toimistorakennuksen yhtä kerrosta, kuitenkin siten, että järjestelmän laajennus on mahdollista myös jälkikäteen. Tällöin mahdollisesti myöhemmin muihin tiloihin tehtävät valaistusjärjestelmien muutokset ovat helpommin integroitavissa yhteen suurempaan kokonaisuuteen.

Varsinainen valaistussuunnittelu päätettiin aloittaa kartoittamalla nykytilanne ja määrittelemällä eri toteutusvaihtoehtoja asiakkaan toiveiden, sisätilojen valaistusta koskevan standardin SFS-EN 12464-1 sekä budjetin mukaan. DALI-väyläkaapeloinnin suunnittelussa tuli ottaa huomioon väylän maksimi pituus jännitealeman kannalta. Valmistajan ohjeen mukaan voidaan käyttää maksimissaan 300 m yhteenlaskettua virtapiiriä käytettäessä 1,5 mm<sup>2</sup>:n kuparikaapelointia (Helvar Oy 2016). Kaapeloinnit, valaisimien sijoitus ja asennustekniset yksityiskohtat suunniteltiin pääosin kohteessa paikan päällä. Tällöin pystyttiin saamaan maksimihyöty jo olemassa olevista valaistus- ja kaapelireittijärjestelmistä.

Suurin yksittäinen määräävä tekijä valaistussuunnittelussa oli se, ettei rakennuksessa käytetyn alaslaskukaton peltisiä alakattolevyjä ollut enää saatavilla alkuperäisellä värisävyllä. Koska käytävien vanhat pienloistelamppuvalaisimet oli asennettu upottamalla alakattolevyihin, tuli vanhat asennusreiät peittää uusilla valaisimilla siistin lopputuloksen saavuttamiseksi.

Sähkökuvista piirrettiin ensin työmaalla luonnokset käsin, minkä jälkeen laadittiin varsinaiset suunnitelmat CADS-planner 17 -ohjelmiston avulla. Järjestelyllä tavoiteltiin ajansäästöä, jota myös saavutettiin. Suunnittelupohjana käytettiin tilaajalta saatuja kohteen alkuperäisiä sähkösuunnitelmia. Asennusten valmistuttua sähkökuvat päivitettiin toteutuneiden asennusten mukaan ja toimitettiin lopulliset versiot tilaajalle.

## 6.1 Suunnittelua koskeva standardi

Suunnittelu toteutettiin valaistusta koskevan SFS-EN 12464-1 -standardin mukaan, jossa määritellään sisätyötilojen valaistusvaatimukset normaalinäkökykyisten henkilöiden näkötehokkuuden ja -mukavuuden kannalta. Alkuperäinen julkaisu on vuodelta 2002 ja voimassa oleva versio standardista on päivitetty vuonna 2011. Standardin tulkinnan apuna toimi ST-kortti 58.02 ”Valaistuksen toteutus standardin SFS-EN 12464-1 mukaisesti” vuodelta 2013. Kortissa määritellään valaistusympäristön suunnitteluperusteissa seuraavaa:

”Hyvässä valaistuksessa on valaistusvoimakkuuden lisäksi täytetty myös laadulliset ja määrälliset tarpeet. Valaistusvaatimuksien täyttämiseksi tulisi seuraavien kolmen perustarpeen täyttyä:

- Näkömukavuus, jolloin työntekijä kokee valaistuksen vaikuttavan positiivisesti hyvinvointiinsa.
- Näkötehokkuus, jolloin työntekijät pystyvät suoriutumaan tehtävästään myös vaativissa olosuhteissa ja pitempien jaksojen aikana.
- Turvallisuus.

Tärkeimmät valaistusympäristöön vaikuttavat tekijät ovat

- luminanssijakauma
- valaistusvoimakkuus
- valon suuntaus
- valon vaihtelevuus (valon tasot ja väri)
- valon väri ja sen värintoisto-ominaisuudet
- häikäisy
- välkyntä

Standardi SFS EN 12464-1 määrittelee tilakohtaiset ohjearvot valaistusvoimakkuudelle, kiusahäikäisyydelle, yleistasaisuudelle ja värinottoon. Muut listassa mainitut tekijät määritellään yleisesti.” (ST 58.01 -kortti 2013.)

Standardin tilakohtaisessa valaistusvoimakkuuksien taulukossa määritellään toimistotilassa tehtävälle tietotekniikkatyölle vähintään 500 luxin valaistusvoimakkuus (Liite 3). Lisäksi tulee huomioida standardin vaatimukset välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuksien suhteen (Taulukko 1). (ST 58.01 -kortti 2013.)

Taulukko 1. Työalueen valaistusvoimakkuuden riippuvuus lähiympäristön valaistusvoimakkuudesta (ST 58.01 -kortti 2013.)

Työalueen valaistusvoimakkuus lx	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus lx
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
< 200	sama vaatimus kuin työalueella

## 6.2 Lähtökohdat ja asiakkaan vaatimukset

Kartoitusta tehtäessä selvisi, että alkuperäinen valaistus oli toteutettu käytävien ja neuvotteluhuoneiden osalta kattoon upotetuilla, Philipsin valmistamilla 2x18 W -pienoisloistelamppuvalaisimilla, joiden valotehot ja valontoisto-ominaisuudet ovat heikohkoja verrattuna nykytekniikalla toteutettuihin LED-valaisimiin (Kuva 10). Ainakin nämä valaisimet tulisi siis uusia kokonaisuudessaan, koska korvaavia valonlähteitä on huonosti saatavilla tähän valaisintyyppiin ja koska osan valaisinten liitäntälaitteista oli rikki.



Kuva 10. Käytävötilöjen vanhat pienloistepötkivalaisimet

Avotoimistotilöjen valaistukseen oli puolestaan käytetty Philipsin valmistamia T5-loistepötkitekniikkaa hyödyntäviä riippuvalaisimia. Näiden valaisinten valoteho on hieman parempi ja valonlähteet ovat päivitettävissä LED-teknikkaan. Käytävien ja avotoimiston valaisimia ohjattiin aikaohjelmalla VAK-keskuksen kautta sekä painonapeilla ohjelmallisen päälläoloajan ulkopuolella. Neuvottelutöilöjen valaisimien ohjaus oli toteutettu perinteisellä kytkinohjauksella.

Tilaaaja määrittö valaistuksen uusimiselle seuraavat yksityiskohtaiset toiveet ja odotukset, jöiden pohjalta projektia lähdettiin toteuttamaan:

- Valaistusjärjestelmää tulee myös voida muokata helposti ja sen on toimittava vähintään läsnäolotunnistusperiaatteella.
- Olemassa olevia valaisimia täytyy hyödyntää niiltä osin kuin se on suinkin mahdollista kustannustehokkaassa mielessä.
- Valokytkimiä pitää olla mahdollisimman vähän.
- Uusissa valaisimissa tulee käyttää LED-teknikkaa.

- Koko valaistuksen väriämpötilan on oltava 4000 k.
- Valaisinvaihtoehdot täytyy rajata tiettyyn hintaluokkaan, jotta ennalta määritelty budjetti ei ylity.
- Neuvottelutilojen käyttöastetta pitää voida seurata valaistusohjausjärjestelmän avulla.
- Tilat on voitava ottaa käyttöön suunnitellussa aikataulussa.

### 6.3 Eri toteutusvaihtoehdot

Seuraavaksi laadittiin kaksi eri toteutusvaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa kaikki valaisimet olisi vaihdettu DALI-valaisimiksi ja otettu mukaan uuteen ohjausjärjestelmään, mukaan lukien myös avotilojen T8-loisteputkitekniikalla toteutetut riippuvalaisimet. Tämä vaihtoehto kuitenkin hylättiin jo alkuvaiheessa, koska todettiin kustannuksien nousevan liikaa suhteessa annettuun budjettiin.

Näin ollen päädyttiin toiseen vaihtoehtoon, jossa korvataan käytävä- ja neuvottelutilojen pienloisteputkivalaisimet LED-paneeleilla. Muihin tiloihin, joihin ei voi rakenteellisista syistä asentaa paneelivaloja, asennetaan joko LED-riippuvalaisimia tai LED-allasvaloja. Lisäksi rakennetaan DALI-valaistuksenohjausjärjestelmä vain uusille valaisimille, joita tässä versiossa on yhteensä 51 kpl. Olemassa olevat avotilan riippuvalaisimet huolletaan ja muutetaan perinteiselle, paikalliselle läsnäolotunnistuksella varustetulle ohjaukselle.

Asiakkaan asettamien toiveiden puitteissa valittiin valaistusohjausjärjestelmäksi Helvar Oy:n toimittama DALI. DALI-järjestelmän avulla pystytään täyttämään kaikki edellisessä luvussa mainitut toiveet, mukaan lukien myös neuvottelutilojen käyttöasteen seuranta. Lisäksi järjestelmän modulaarisuus sallii asteittaisen laajentamisen ja näin ollen se soveltuu erinomaisesti vaiheittain eteneviin kunnostusprojekteihin.

Nykyinen VAK-aikaohjausjärjestelmä poistetaan käytöstä kokonaan saneerattavalta alueelta. Valaisinhuollon yhteydessä valaisinten loisteputkien värisävy vaihdetaan 3000 kelvinistä 4000 kelviniin, millä saadaan myös parannettua hieman



vanhojen valaisimien valontoistoa sekä koko toimiston yleisilmettä raikkaammaksi. Riippuvalaisimet voidaan myöhemmin niin halutessa päivittää myös LED-tekniikalle vaihtamalla valonlähteet.

#### 6.4 Muunneltavuus

Valaistussaneeraus haluttiin toteuttaa kaikilta osiltaan siten, että järjestelmää on helppo muokata myös jälkikäteen esimerkiksi uusien seinämuutosten takia. Perinteisillä kytkinohjauksilla toteutettavat valaistusjärjestelmät on muutoksia tehtäessä lähes aina uudelleenkaapeloitava, joten osittain myös tästä syystä päädyttiin valitsemaan ohjelmallisesti toteutettu valaistusohtausjärjestelmä. Ohjelmallisessa ohjausjärjestelmässä ei johdotusmuutoksia yleensä tarvita seinämuutoksia tehtäessä. Sen modulaarinen rakenne mahdollistaa myös järjestelmän asteittaisen laajentamisen, vaikka koko rakennukseen niin haluttaessa.

Tämän projektin osalta muutokseen varauduttiin mitoittamalla DALI-järjestelmä siten, että valaisimia voidaan lisätä helposti. Käytännössä DALI-aliverkkoja luotiin yhteensä kolme, jossa jokaisessa on 64 osoitetta, mutta käytössä on vain 2/3 osoitekapasiteetista. Näin toteutettuna järjestelmään voidaan myöhemmin lisätä valaisimia tai sensoreita mihin tahansa haluttuun kohtaan. Lisäys tapahtuu yksinkertaisesti johdottamalla lisättävät komponentit lähimmälle väylän jakorasielle ja tekemällä tarvittavat muutokset ohjelmallisesti ohjausjärjestelmään.

## 7 PROJEKTIN TOTEUTUS

Valaisinsaneerausprojektin toteutus alkoi toukokuun lopussa 2016 kohteen valaistussuunnittelusta, jossa määriteltiin toteutustapa, resurssit ja käytettävät komponentit. Käytännön asennustöiden jälkeen suoritettiin järjestelmän käyttöönotto ja ohjelmointi. Käytännön toteutus tehtiin suunnitellun aikataulun (Liite 2) mukaan siten, että työjärjestys olisi asennusteknisesti mahdollisimman sujuvaa ja tehokasta. Varsinaiseen asennustyöhön osallistui lisäksi kaksi muuta sähköasentajaa.

### 7.1 Valitut valaisimet

Valaisimien valinta perustui suurimmaksi osaksi OSTT:n omiin käyttökokemuksiin tietyistä LED-valaisimista sekä asiakkaan määrittämiin toiveisiin ja budjettiin. Valaisintyyppien valinnassa jouduttiin ottamaan huomioon myös eri tilojen vaihtelevat kattopinnat sekä talotekniikan, kuten ilmanvaihdon, viemä asennustila. Tästä johtuen projektissa päädyttiin käyttämään kaikkiaan kolmea eri valaisintyyppiä tilakohtaisen parhaimman soveltuvuuden periaatteella.

Valaisinvalinnat tehtiin kolmen eri valmistajan malleista ja hyväksyttiin lopuksi tilaajalla. Kaikkien valaisinten valonlähteiden värilämpötilaksi valittiin 4000 kelviniä asiakkaan toiveiden perusteella. Asiakkaan omiin, myöhemmin asennettaviin valaisimiin varauduttiin asentamalla kaksi neljän metrin DALI-virtakiskoa haluttuun kohtaan avotoimistoon.

Käytävien sekä kahden neuvottelutilan valaisimiksi valittiin Exaktor Moln Bas LED -paneelit (Kuva 11). LED-paneeli tuottaa 38 watin sähköteholla 3100 lumenin valovirran ja paneelin runkorakenteen ansiosta valon tasaisuus sekä häikäisyneisto ovat erinomaiset (Proton 2016). Kyseisessä valaisimessa käytetään Helvar Oy:n valmistamaa, laadukasta DALI-liitäntälaitetta. Yhtenä valintakriteerinä oli myös valaisimen erittäin siro ja ohutrakenteinen runko. Sen ansiosta asennettavuus on hyvä sekä tilantarve pieni.



Kuva 11. Exaktor Moln Bas LED -paneeli asennettuna avotoimistoon

Ryhmätyötilojen sekä puheluiden hoitoon tarkoitettujen tilojen valaisimiksi valittiin Winledin valmistamia liris-sarjan alasvaloja 10 ja 13 watin tehoisina (Kuva 12).



Kuva 12. Winled liris 10 W / 4000 k -valaisin asennettuna puhelujen vastaanottoon tarkoitettuun tilaan

Koska kyseisten pienten tilojen alaslaskukatoissa oli myös paljon muuta tekniikkaa, kuten ilmastointiputkia ja jäähdytyslementtejä, täytyi valaisinten olla myös pieniä kooltaan. Pienestä fyysisestä koostaan huolimatta liris-sarjan valaisimet ovat kuitenkin tehokkaita. 13 watin malli tuottaa jopa 920 lumenin valovirran (Winled 2016).

Kahteen neuvottelutilaan, joissa ei ollut alaslaskettua kattoa, päätettiin valita riippuvalaisimet. Valaisinmalliksi valikoitui Philips CoreLine surface SM120V LED34S/840 W20L120V -valaisin. Valintaa puolsi kyseisen valaisimen nykyaikainen muotoilu sekä hyvä säädettävyys ja valontoisto. Valaisimen sähköteho on 29 W ja se tuottaa 3400 lumenin valovirran (Philips 2016). Valaisin voidaan asentaa pinta-asennuksena suoraan kattoon tai kuten tässä tapauksessa ripustamalla vaijereilla (Kuva 13).



Kuva 13. Philips CoreLine LED34S/840 -valaisimet asennettuina neuvottelutilaan

## 7.2 Asennustyöt

Asennustyöt alkoivat purkuvaiheella, jossa vanhat käytävävalaisimet irtikykettiin ja irrotettiin alakattolevyistä sekä purettiin valaisimia syöttäneet kaapeloinnit. Seuraavaksi asennettiin käytäville uudet LED-paneelit (Kuva 14), sekä DALI-järjestelmän sensorit sähkösuunnitelman mukaan (Liite 4). Kaikkiaan käytäville asennettiin 33 LED-paneelia, yksi multisensori ja kolme mikroaaltotutkaa.



Kuva 14. LED-paneelit asennettuina

Käytäväasennusten jälkeen vaihdettiin neljän neuvottelutilan valaisimet uusiin. Kahteen alaslaskukatolla varustettuun neuvottelutilaan asennettiin samanlaiset LED-paneelit kuin käytävillekin. Paneeleita tuli näihin tiloihin yhteensä kahdeksan, eli neljä kumpaankin neuvotteluhuoneeseen. Kahteen muuhun neuvottelutilaan asennettiin kaksi Philipsin CoreLine LED -riippuvalaisinta/tila.

Puhelujen hoitoon tarkoitettuihin kahteen pieneen tilaan asennettiin alasvaloja yksi/tila. Hieman näitä tiloja isompiin kahteen ryhmätyötilaan asennettiin puolestaan kaksi tehokkaampaa alasvaloa/tila. Kaikkiaan LED-alasvaloja asennettiin kuusi kappaletta. Lisäksi kaikkiin tiloihin lisättiin DALI-järjestelmän hyvän toiminnan sekä käytettävyyden kannalta tarvittavat kytkimet ja sensorit tilakohtaisesti

suunnitelmien mukaan (Kuva 15). Ryhmäkeskuksiin asennettiin kaksi Helvar Digidim DALI -reititintä sekä poistettiin vanhat VAK-ohjatut valaistussyötöt käytöstä.



Kuva 15. Helvar digidim 312 -multisensori asennettuna alaslaskukattoon

Kaikki uudet valaisimet ja sensorit kaapeloitiin MMJ 5x1,5S -kaapelilla olemassa olevia johtoreittejä hyödyntäen. Jokaisessa valaisinta syöttävässä kaapelissa kulkee myös DALI-väylä kahta johdinta pitkin 230 voltin syöttöjännitejohtimien lisäksi. Tällöin erillistä väyläkaapelointia ei tarvita, mikä puolestaan nopeutti itse asennustyötä. Valaisimet jaettiin kolmeen erilliseen kaapelointiryhmään DALI-väylien mukaan. Kaapelit rasioitiin jokaisen valaisimen kohdalle, jotta järjestelmään on helppo lisätä valaisimia tai järjestelmäsensoreita myös jälkikäteen.

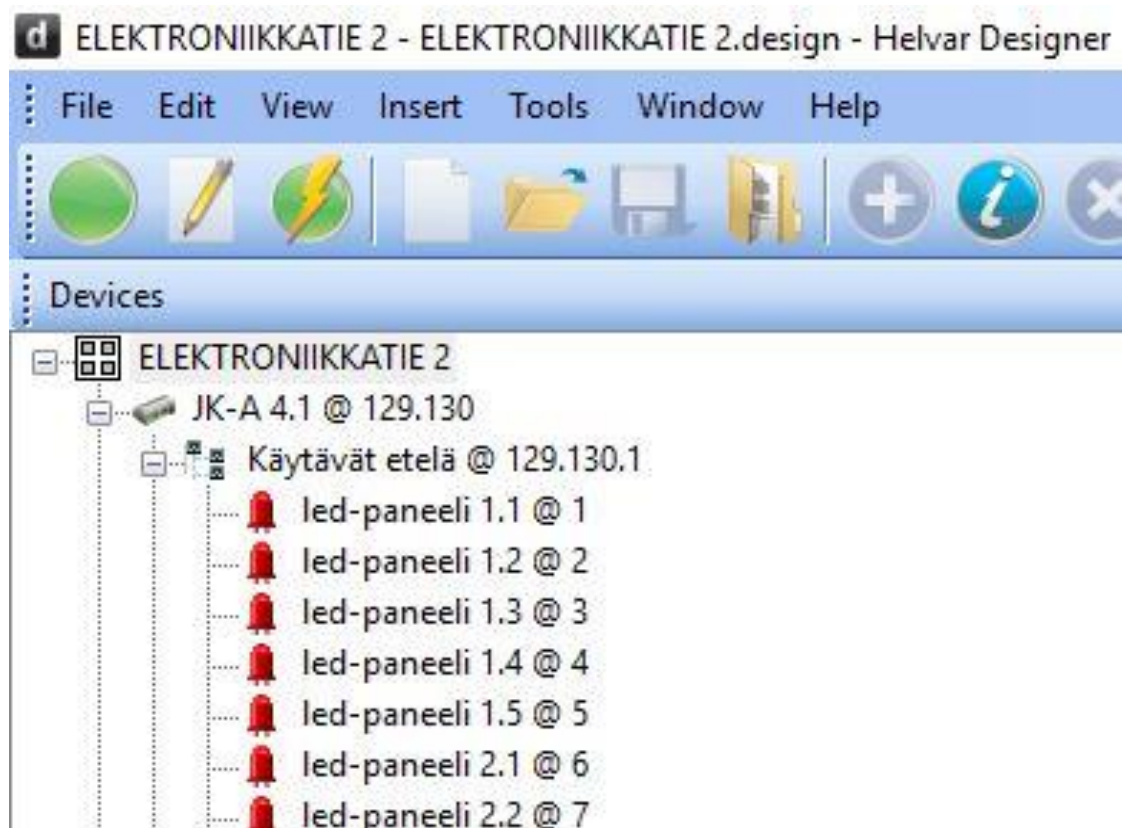
Avotoimistojen vanhat, käyttöön jäävät riippuvalaisimet huollettiin vaihtamalla uudet loisteputket ja sytyttimet. Samalla huollon yhteydessä loisteputkien värisävy muutettiin 3000 kelviniä 4000 kelviniin. Valaisinten ohjausta muutettiin energiatehokkaammaksi vaihtamalla perinteisten kytkimien tilalle läsnäolotunnistimet. Näin vältetään olemassa olevan valaistuksen tarpeettomalta päälläololta tilojen ollessa tyhjillään.

### 7.3 DALI-järjestelmän konfigurointi

DALI-järjestelmän käyttöönotto ja konfigurointi tehtiin heti asennusten valmistuttua, jotta tilat saatiin mahdollisimman nopeasti asiakkaan käyttöön. Lopullinen hienosäätö konfigurointiin tehtiin asiakkaan muutettua, jolloin kaikki säätöihin vaikuttavat seikat, kuten kalusteiden sijoittelu, olivat saaneet lopullisen muotonsa.

DALI-järjestelmän käyttöönotto tehtiin Helvar Designer -ohjelmiston (Kuva 16) avulla seuraavassa järjestyksessä:

- Väylien nimeäminen
- Laitteiden tunnistaminen indikoinnin avulla ja uudelleen nimeäminen
- Laiteosoitteiden järjestely nimien mukaan
- Valaistusryhmien luonti
- Liiketunnistus- ja vakiovalotoimintojen luonti



Kuva 16. DALI-osoitteiden muodostus

Väylät nimettiin sen mukaan, missä ryhmäkeskuksessa reititin sijaitsee ja mitä aluetta väylät koskevat. Kaikkiaan reitittimiä asennettiin kahteen ryhmäkeskukseen, yksi kumpaankin. Näistä toinen oli kaksi väylää sisältävä Helvar Digidim 910 -malli, toinen yhden väylän Helvar Digidim 905 -malli. Reitittimiin merkittiin uudet, ohjelmallisesti muutetut IP-osoitteet tunnistamisen helpottamiseksi ethernet-verkossa (Kuva 17). Tämän jälkeen suoritettiin laitteiden tunnistus ohjelmiston indikointitoiminnon avulla, joka käytännössä vilkuttaa ohjelmasta valittua valaisinta tai sensorin indikointilediä.



Kuva 17. Helvar digidim 905 -reititin asennettuna ryhmäkeskukseen

Laitenimeäminen tehtiin valaisimien osalta niin kutsutulla matriisimallilla, jossa jokaiselle määritetään yksilöllinen sijainti pohjakuvan perusteella. Ensimmäinen numero laitekuvaustekstin jälkeen ilmoittaa rivin numeron. Numerointi tehtiin nousevaksi ylhäältä alaspäin. Seuraava numero pisteen jälkeen ilmoittaa paneelin järjestyksen rivillä vaakasuunnassa. Tässä yhteydessä numerot luetaan vasemmalta oikealle. Viimeinen numero laiteosoitteen perässä on ohjelman antama, väylälaitteen järjestysnumero. Selvyyden vuoksi uudelleen nimetyt laiteosoitteet järjestettiin matriisinumeroiden mukaan nousevaksi (Kuva 16). Sensorit ja painikkeet nimettiin fyysisen sijaintinsa tilatunnuksen mukaan.



Ohjelmaan luotiin toiminnan kannalta tarvittavat valaistusryhmät tilakohtaisesti sekä liitettiin niihin halutut valaisimet, sensorit ja painikkeet. Liiketunnistimille ja muille sensoreille tehtiin halutut ohjelmalliset toiminnot, kuten aikahimmennykset, sekä säädettiin toiminta-aikojen rajat. Vakiovalotoiminnolle luotiin yksi iso, niin kutsuttu ”master”-ryhmä, johon kuuluivat kaikki avotoimiston valaisimet. Tämän ryhmän valaistustasoa säädetään ulkoa tulevan valon mukaan valoisuusanturin tiedon perusteella. Valmiista ohjelmasta luotiin myös varmuuskopio mahdollisia vikatilanteita varten.

Asiakkaan muuton ja tilojen kalustuksen jälkeen säädettiin vielä järjestelmän vakiovalotaso. Käytännössä LUX-mittarilla tehdyillä valaistusvoimakkuuden mittauksilla selvitettiin, millä himmennysasteella haluttu valaistustaso saavutetaan (Kuva 18). Näin saatiin määriteltyä, mikä himmennysaste valaistusohjauksjärjestelmän vakiovalo-ohjauksen tavoitetasoksi tulee asettaa, jotta saavutetaan standardin SFS-EN 12464-1 vaatimat 500 luxia kyseisellä työalueella.



Kuva 18. LUX-tasojen mittaus

#### 7.4 Haasteet

Alkuvaiheessa DALI-järjestelmä oli tarkoitus toteuttaa yhdellä reitittimellä ja myös kustannusarvio oli laskettu sillä oletuksella. Tämä kuitenkin osoittautui mahdottomaksi kohteeseen tutustuttaessa, koska ilmeni, että olemassa olevia käytävävalaisimia syötetään kahdesta eri ryhmäkeskuksesta omilla ryhmillä. Näin ollen, koska käytävävalaisimet sijoituivat kahden ryhmäkeskuksen alueelle, olisivat keskusrajat sekoittuneet suunnitellussa yhden reitittimen järjestelmässä.

Ongelma ratkaistiin lisäämällä myös toiseen ryhmäkeskukseen DALI-järjestelmän reititin. Näin saatiin keskusrajat pidettyä ennallaan ja selkeästi eriytettyinä. Tästä johtuen kustannukset tosin nousivat hieman, mutta toisaalta laajennusvara tulevaisuuteen jäi enemmän kahden reitittimen järjestelmällä. Kasvanutta ohjausjärjestelmän kapasiteettia päästiin myös yllättäen hyödyntämään kesken projektin toteutuksen asiakkaan toivomien valaisinlisäysten johdosta.

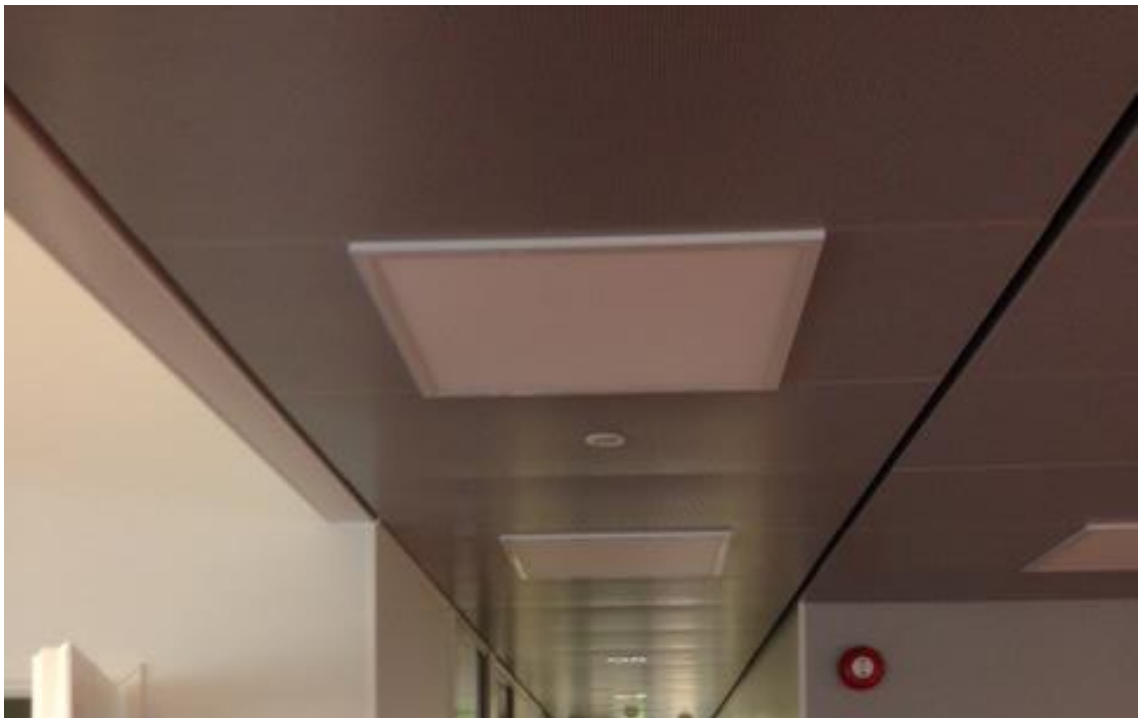
Myös käytävien LED-paneelien mukana tilatut pintakotelot osoittautuivat kiinnitysrakenteensa takia soveltumattomiksi peltiseen alakattolevyyn (Kuva 19).



Kuva 19. Pintakotelo-ongelma

Koska kotelo kiinnitetään asennusalustaansa kahdella ruuvilla, jotka sijaitsevat kotelon keskilinjalla, ei valaisimen paino jakaudu tasaisesti kattolevyyn.

Tästä johtuen valaisin olisi jäänyt irti pellistä, mikä puolestaan ei ole ulkonäöllisesti hyväksyttävää. Ongelmaan löytyi kokeilujen kautta ratkaisu, jossa valaisin kiinnitettiin suoraan peltiseen alakattolevyyn sapluunan avulla vaijeriripustuskiinnikkeitä hyödyntäen. Näin saatiin paneelit kiinnittymään tasaisesti (Kuva 20).



Kuva 20. Ratkaisu pintakotelo-ongelmaan

Omat haasteensa valaisinten hyvään sijoitteluun lopputuloksen kannalta toivat myös asiakkaan kalustussuunnittelun muutokset työpisteiden ryhmittelyssä projektin edetessä. Suunnitelmat muuttuivat useaan kertaan ja lopulliset kalusteiden paikat olivat selvillä vasta aivan projektin lopussa. Tästä johtuen valaisimien siirtoja jouduttiin myös tekemään, mikä vei noin yhtä täyttä kahdeksan tunnin työpäivää vastaavan ajan yhdeltä sähköasentajalta.

## 8 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja toteutettiin käytännössä nykyaikaisen toimistotilan valaistussaneerausprojekti energiatehokkaalla tekniikalla. Projektin lopputuotteena syntyi mukautuva, tehokas mutta silti energiaystävällinen toimistovalistus. Opinnäytetyön avulla saatiin myös kerättyä tietoa sekä kokemusta älykkään valo-ohjauksen komponenteista, järjestelmärakenteesta ja ohjelmoinnista. Projektissa tuli vastaan myös muutamia käytännön haasteita niin toteutuskuin suunnittelupuolellakin. Tämä lienee enemmän sääntö kuin poikkeus tällaisissa töissä ja kuuluu mielestäni osaksi prosessia.

Työn aikana selvisi, kuinka laaja aihe energiatehokkaan valaistuksen ohjaus onkaan tällä hetkellä. Valaistustekniikka ja valaistuksenohjaustekniikka ovat suurimmassa murroksessa vuosikymmeniin yhä kiristyvien energiamääräysten takia. Tämä pakottaa käytännössä koko toimitusketjun aina valmistajista loppukäyttäjiin asti reagoimaan asiaan ja kehittämään uusia, tehokkaampia ratkaisuja. Uskon, että tämä aihealue tulee olemaan iso työllistäjä sähköalalla lähivuosina.

Opinnäytetyössä näkyy tekijänsä vahva, yli 13 vuoden asentajatausta, mistä johtuen asennusteknisiin yksityiskohtiin on kiinnitetty erityishuomiota. Kokemuksesta tiedän, että yksityiskohtien huomioiminen voi ratkaista jopa koko urakan kannattavuuden. Asia korostuu etenkin isoissa rakennuksissa, joissa samat kokonaisuudet toistuvat useasti. Asiakkaan edustajalta saatiin erityiskiitosta LED-paneelien huomaamattomasta ja innovatiivisesta pinta-asennuksesta sekä valaistusohjausjärjestelmän helpposta muokattavuudesta myös jälkikäteen.

Vaikka varsinainen projekti ja sen toteutus alkoivat jo toukokuun lopussa 2016, lähti opinnäytetyön kirjallisen tuotoksen tekeminen kunnolla käyntiin vasta elokuussa 2016. Toteutuksen kireä aikataulu sekä muihin projekteihin liittyvät työkiireet olivat yksi osasy tähän. Käytettävissä olleen ajan niukkuus alkuvaiheessa loi omat haasteensa itse opinnäytetyön tekemiseen. Prosessi oli kokonaisuutena vaativa, mutta myös erittäin antoisa ja opettavainen.

## LÄHTEET

Glamox Luxo Lighting Oy 2012. Valaistusesite. Toimisto oikeassa valossa. Viitattu 5.10.2016 [http://glamox.com/upload/2012/12/04/office\\_concept\\_finland\\_lowres.pdf](http://glamox.com/upload/2012/12/04/office_concept_finland_lowres.pdf).

Helvar Oy 2016. Internet-sivut. Viitattu 12.9.2016 <http://www.helvar.com>.

Kallioharju, K. 2012. DALI-koulutusmateriaali / Tampereen Ammattikorkeakoulu. Viitattu 12.9.2016 [http://www.oamk.fi/~kurki/Valaistustekniikka/DALI\\_teorია\\_joulu2014.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/Valaistustekniikka/DALI_teorია_joulu2014.pdf).

Kettunen, J. 2016. Oulun Sähkö- ja Teletekniikka Oy. Projekti-insinöörin haastattelu. 15.9.2016.

Koninklijke Philips N.V 2016. Internet-sivut. Viitattu 3.10.2016 <http://www.philips.com>.

Proton Industries AB 2016. Internet-sivut. Viitattu 5.10.2016 <http://www.proton.fi/en-us/proton-group/>.

SFS-EN 12464-1 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. Helsinki: SFS. Viitattu 24.10.2016 <http://www.sfs.fi>.

Sähkötieto ry. ST -kortisto 2016. Viitattu 24.10.2016 <http://www.sahkotieto.fi/index.php?k=14974>.

Tölä, O. 2013. LED-valaistuksen hyödyntäminen sisävalaistuksessa. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikka. Opinnäytetyö.

Voutilainen, O. 2010. DALI-digitaalinen valaistuksen ohjausjärjestelmä. Saimaan ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikka. Opinnäytetyö.

Winled Oy 2016. Internet-sivut. Viitattu 14.10.2016 <https://www.winled.fi/>.

## LIITTEET

- Liite 1. DALI-viestin rakenne
- Liite 2. Työmaa-aikataulu
- Liite 3. Tilakohtaiset valaistusvoimakkuuksien vaatimukset
- Liite 4. Saneeraustyömaan sähkösuunnitelma

## Liite 1. DALI-viestin rakenne (Kallioharju 2012, 26,27)

**DALI-sanoman viestikehys**

Osoite (yhden tietyn liitännälaitteen)

0	X	X	X	X	X	X	1	+	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Broadcast (kaikki liitännälaitteet)

1	1	1	1	1	1	1	1	+	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Ryhmä (tietyt liitännälaitteet)

1	0	0	Z	Z	Z	Z	1	+	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Osoitteellinen siirtyminen määrättyyn valaistustilanteeseen (go to scene)

0	X	X	X	X	X	X	1	+	0	0	0	1	S	S	S	S
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Broadcast valaistustilanne (kaikkia liitännälaitteita koskeva)

1	1	1	1	1	1	1	1	+	0	0	0	1	S	S	S	S
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Ryhmän valaistustilanne

1	0	0	Z	Z	Z	Z	1	+	0	0	0	1	S	S	S	S
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

XXXXXX esittää yhden liitännälaitteen 6-bitin osoitetta. Vaihtoehtoja on 64 kappaletta  
 YYYYYYYY esittää liitännälaitteelle lähetettävää 8-bitin käskyä. Vaihtoehtoja on 255 kappaletta  
 ZZZZ esittää ryhmän 4-bitin osoitetta. Jokainen liitännälaitte voi kuulua max. 16 ryhmään  
 SSSS esittää 4-bitin valaistustilannetta. Jokaisella liitännälaitteella voi olla max. 16 valaistustilannetta

Valotaso osoitteelle (yhden tietyn liitännälaitteen)

0	X	X	X	X	X	X	0	+	G	G	G	G	G	G	G	G
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Valotaso broadcastina (kaikki liitännälaitteet)

1	1	1	1	1	1	1	0	+	G	G	G	G	G	G	G	G
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Valotaso ryhmälle (tietyt liitännälaitteet)

1	0	0	Z	Z	Z	Z	0	+	G	G	G	G	G	G	G	G
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

GGGGGGGG esittää ohjaimelta lähetettävää 8-bitin valotasotietoa. Valotasoja voi olla 255, joista 0 on OFF ja 254 on 100 prosentin valaistustaso

1111 1110 + 1111 1110

1111 1111 + 0000 0000

No	Destination	Command	Query Reply	Time and Date	Hex
475	Broadcast	Direct Level Setting: 254		14:21:49 03/06/2011	FE FE
476	Broadcast	Off		14:21:50 03/06/2011	FF 00

Count: 476

## Liite 2. Työmaa-aikataulu

Työmaa-aikataulu	
23.5.2016	Valaistussuunnittelu
24.5.2016	Valaistussuunnittelu
25.5.2016	Purkutyöt
26.5.2016	Purkutyöt
27.5.2016	Purkutyöt
30.5.2016	Kaapelointi
31.5.2016	Kaapelointi
1.6.2016	Kaapelointi
2.6.2016	Kaapelointi
3.6.2016	Kaapelointi
6.6.2016	LED-paneelien asennus
7.6.2016	LED-paneelien asennus
8.6.2016	LED-paneelien asennus
9.6.2016	LED-paneelien asennus
10.6.2016	LED-paneelien asennus
13.6.2016	Reitittimien asennus
14.6.2016	Reitittimien asennus
15.6.2016	Muut valaistusmuutokset
16.6.2016	Muut valaistusmuutokset
17.6.2016	Muut valaistusmuutokset
20.6.2016	Riippuvalaisinten asennus
21.6.2016	Alasvalojen asennus
22.6.2016	Alasvalojen asennus
23.6.2016	Sensoreiden asennus
27.6.2016	Ohjelmointi ja käyttöönotto
28.6.2016	Ohjelmointi ja käyttöönotto
7.7.2016	Vakiovalon säätö



## Liite 3. Toimistotilojen tilakohtaisia raja-arvoja (SFS-EN 12464-1 2011)

Tila, tehtävä tai toiminta	E <sub>m</sub> lx	UGRL	U <sub>o</sub>	Ra	Erytysvaatimukset
Arkistointi, kopiointi jne.	300	19	0,4	80	
Kirjoittaminen, konekirjoitus, lukeminen, tietojenkäsittely	500	19	0,6	80	Tietokonenäytöt, ks. kohta 4.9
Tekninen piirtäminen	750	16	0,7	80	
CAD-työasemat	500	19	0,6	80	Tietokonenäytöt, ks. kohta 4.9
Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	0,6	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
Vastaanottotiski	300	22	0,6	80	
Arkistot	200	25	0,4	80	

## Liite 4. Saneeraustyömaan sähkösuunnitelma

