



Blito Ntima

Helvar DALI- ja Casambi-järjestelmien hankintakustannusten vertailu monitoimitilojen valaistusratkaisuissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

17.12.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Blito Ntima
Otsikko:	Helvar DALI- ja Casambi-järjestelmien hankintakustannusten vertailu monitoimitilojen valaistusratkaisuissa
Sivumäärä:	31 sivua
Aika:	17.12.2024
Tutkinto:	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat:	sähkötekniinen asiantuntija Tapio Saarijärvi lehtori Vesa Sippola

Tässä opinnäytetyössä perehdytään kahden valaistusohjausjärjestelmän teknisiin yksityiskohtiin ja niiden tarjoamiin ominaisuuksiin. DALI-järjestelmä edustaa perinteisempää, kaapelointiin perustuvaa ratkaisua, kun taas Casambi tarjoaa modernin, langattoman vaihtoehdon, joka perustuu Bluetooth Low Energy -teknologiaan. Tämä ero heijastuu myös järjestelmien kustannusrakenteeseen, sillä Casambi-järjestelmä vaatii vähemmän infrastruktuuri-investointeja ja on helpompi asentaa, mutta DALI-järjestelmä puolestaan tarjoaa korkeamman skaalautuvuuden ja yhteensopivuuden laajempien valaistusratkaisujen kanssa.

Tutkimuksen osuus keskittyy Espoon Tilapalveluiden monitoimitiloihin, joissa tarkastellaan mahdollisuutta siirtyä nykyisestä valaistusjärjestelmästä jompaankumpaan uuteen järjestelmään. Tutkimuksessa vertailtiin muun muassa järjestelmien energiatehokkuutta, taloudellista kannattavuutta ja käytettävyyssominaisuuksia eri näkökulmista.

Opinnäytetyö tarjoaa arvokasta tietoa päätöksenteon tueksi erityisesti julkisen sektorin kiinteistönhallinnalle, jossa valaistusratkaisujen elinkaarikustannukset ja energiatehokkuus ovat keskeisiä tekijöitä. Analyysin tuloksena havaittiin, että vaikka molemmat järjestelmät voivat tuottaa merkittäviä energiansäästöjä ja parantaa tilojen käytettävyyttä, niiden soveltuvuus ja taloudellinen kannattavuus riippuvat huomattavasti tilakohtaisista vaatimuksista.

Avainsanat: DALI, Casambi, valaistuksenohjausjärjestelmä, imagine

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Blito Ntima
Title: Comparison of Procurement Costs between Helvar DALI and Casambi Systems for Lighting Solutions in Multipurpose Spaces
Number of Pages: 31 pages
Date: 17 December 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Power Engineering
Supervisors: Tapio Saarijärvi, Electrical Technical Expert
Vesa Sippola, Senior Lecturer

This thesis examines the technical details and features of two lighting control systems. The DALI system represents a more traditional, cable-based solution, while the Casambi system offers a modern, wireless alternative based on Bluetooth Low Energy technology. This distinction is also reflected in the cost structure of each system, as the Casambi system requires fewer infrastructure investments and is easier to install. However, the DALI system offers greater scalability and compatibility with more extensive lighting solutions. The research focuses on Espoo Facilities' multipurpose buildings, assessing the feasibility of transitioning from the existing lighting system to either of these new systems. The analysis found that while both systems can lead to substantial energy savings and improve facility usability, their suitability and cost-effectiveness significantly depend on the specific requirements of each space. This thesis provides valuable insights to support decision-making, particularly for public sector property management, where life-cycle costs and energy efficiency of lighting solutions are key factors.

.

Keywords: DALI, Casambi, lighting control system, imagine

Sisällys

Lyhenteet

1 Johdanto	1
2 Casambi	2
2.1 Järjestelmän esittely	2
2.2 Ohjauslaitteet	2
3 DALI-järjestelmä	3
3.1 DALI	3
3.2 DALI- ja DALI 2 -standardi	4
3.4 DALI Wireless	6
3.5 Helvar imagine	7
4 DALI-järjestelmän rakenne	7
4.1 DALI-väylä	8
4.2 DALI-kaapelointi	9
4.3 DALI-järjestelmän rajoitukset pienissä tiloissa	11
5 DALI-järjestelmätyypit	11
5.1 Paikallinen DALI-järjestelmä	12
5.2 Reititinjärjestelmät	12
6 DALI-järjestelmän edut	13
6.1 DALI-järjestelmän joustavuus	14
6.2 DALI-järjestelmän potentiaaliset energiasäästöt	15
6.3 Ihmislähtöinen valaistus	17
7 DALI-järjestelmä TiIPan monitoimitiloissa	18
7.1 Esimerkki liikuntasalin valaistusohjauksen muutoksesta	19
7.2 Paikallisen DALI-järjestelmän ja Casambin hintavertailu	25
8 Yhteenveto	27
Lähteet	29

Lyhenteet ja käsitteet

DALI: *Digital Addressable Lighting Interface*. Digitaalinen valaistuksen ohjausväylä.

Imagine: Helvarin DALI-valaistusohtausjärjestelmä.

Casambi: Langaton valaistusohtausjärjestelmä.

BLE: *Bluetooth Low Energy*. Pienen energian kulutuksen langaton verkoteniikka.

IEC: *International Electrotechnical Commission*. Kansainvälinen sähkötekninen komissio.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tausta ja tarkoitus on selvittää, miten kannattavaa on vaihtaa nykyinen valaistusjärjestelmä DALI- tai Casambi-järjestelmään. Espoon Tilapalvelut-liikelaitos vastaa useiden koulujen kunnossapidosta, ja tässä työssä tarkastellaan erityisesti monikäyttötilan muuttamista jommankumman järjestelmän mukaiseksi. Tavoitteena on arvioida muutoksen pitkän aikavälin hyötyjä. Nykyinen valaistusjärjestelmä on perusmuotoinen 230 V -järjestelmä, joka on teknologialtaan yksinkertainen ja vähemmän joustava verrattuna nykyaikaisiin ohjausratkaisuihin.

DALI- ja Casambi-järjestelmät tarjoavat merkittävän potentiaalisen energiansäästöön ja käytettävyyden parantamiseen. Casambi on keskeinen työn kannalta, koska se tarjoaa langattoman ohjausratkaisun, joka voi vähentää asennuskustannuksia ja helpottaa modernisointia. Molemmat järjestelmät valittiin, koska DALI on laajalti tunnettu standardi, kun taas Casambi tuo innovatiivisen vaihtoehdon joustavaan valaistuksen hallintaan.

Työssä perehdytään molempien tekniikan ominaisuuksiin ja eroihin. Toimeksiantaja on Espoon kaupungin Tilapalvelut-liikelaitos, joka vastaa kaupungin toimitilojen rakennuttamisesta, hankkimisesta ja ylläpidosta. Tämä työ käyttää nimitystä TiIPa koko nimen sijasta.

2 Casambi

Casambi on suomalainen valaistusohjausjärjestelmä, joka erottuu perinteisistä DALI-järjestelmistä erityisesti langattomuudellaan. Casambi hyödyntää Bluetooth Low Energy (BLE) -teknologiaa, mikä mahdollistaa valaistuksen ohjauksen ilman erillisiä kaapelointeja tai väyläjohtoja. Tämä langaton ratkaisu tekee Casambi-järjestelmästä erityisen sopivan saneerauskohteisiin, joissa johtojen asentaminen saattaisi olla hankalaa tai kallista. Casambi on kuitenkin yhtä lailla erinomainen vaihtoehto myös uudiskohteisiin, sillä sen tarjoama joustavuus ja helppokäyttöisyys vastaavat nykyaikaisen valaistuksen vaatimuksiin. [1.]

2.1 Järjestelmän esittely

Casambi perustettiin vuonna 2011 Timo Pekkalan ja Elena Lehtimäen toimesta. Perustajat työskentelivät aiemmin Nokialla, jossa kehitettiin myös Bluetooth Low Energy (BLE) -teknologia, joka muodostaa Casambi-järjestelmän ytimen. Casambi-järjestelmän valaistusohjauksessa ei käytetä erillistä keskusyksikköä, sillä jokainen valaisin sisältää oman ohjausyksikön. [1.]

Läheiset valaisimet kommunikoivat keskenään muodostaen itsenäisen mesh-lähiverkon, jossa valaisimet toimivat yhdessä. Tämä verkkopohjainen rakenne mahdollistaa järjestelmän joustavuuden ja luotettavuuden, sillä verkko pystyy säilyttämään toimintakykynsä myös yksittäisen laitteen vikaantuessa. Casambi-järjestelmän suunnittelu pohjautuu siis hajautettuun älykkyyteen.

2.2 Ohjauslaitteet

Casambi-järjestelmässä on mahdollista liittää kytkimiä ja läsnäolotunnistimia ilman verkkovirran kytkentää, mikä lisää järjestelmän joustavuutta ja helppokäyttöisyyttä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään kuitenkin verkkovirtaan kytkettävien ohjauslaitteiden käyttöön, sillä niiden avulla voidaan minimoida huoltokustannuksia ja varmistaa järjestelmän luotettavuus pitkällä aikavälillä. Casambi-järjestelmä tukee laajaa valikoimaa eri valmistajien tuottamia yhteensopivia

ohjauslaitteita, mikä tarjoaa monipuolisia vaihtoehtoja järjestelmän räätälöintiin ja laajentamiseen erityyppisissä valaistuskohdeissa.

3 DALI-järjestelmä

Tässä luvussa käsitellään DALI-järjestelmää (Digital Addressable Lighting Interface), joka on nykyaikainen ja edistynyt valaistuksen ohjausjärjestelmä. DALI on avoin kansainvälinen standardi, joka mahdollistaa valaistusjärjestelmien ja niiden komponenttien yhteensopivuuden ja tehokkaan hallinnan. Luvussa esitellään DALI-järjestelmän peruseriaatteen ja tekniset ominaisuudet. Tämän luvun tavoitteena on antaa kattava kuvaus DALI-järjestelmän toiminnasta ja sen tarjoamista hyödyistä.

3.1 DALI

DALI on kansainvälinen standardi, joka on suunniteltu digitaalisten valaistusjärjestelmien ohjaukseen. Se mahdollistaa yksittäisten valaisimien ja valaistusryhmien ohjaamisen ja konfiguroinnin, mikä tekee siitä erittäin joustavan ja skaalautuvan ratkaisun erilaisiin valaistustarpeisiin. DALI-järjestelmä mahdollistaa valaisimien yksilöllisen ohjauksen ja ryhmittelyn. Ennen DALI-järjestelmää eri valmistajien valaistuslaitteiden yhteensopivuus oli haastavaa. [2.]

DSI on vanhempi digitaalinen valaistuksen ohjausprotokolla, joka mahdollistaa yksinkertaisen digitaalisen himmennuksen. Se toimii lähettämällä jatkuvaa digitaalista signaalia valaisimille, jolloin valaisimien kirkkaus voidaan säätää yhteisesti. DSI-protokollan suurin etu on sen yksinkertaisuus ja luotettavuus, mutta sen rajoitukset ilmenevät, kun tarvitaan yksilöllistä valaisinkohtaista ohjausta tai monimutkaisempia valaistusratkaisuja. [3.]

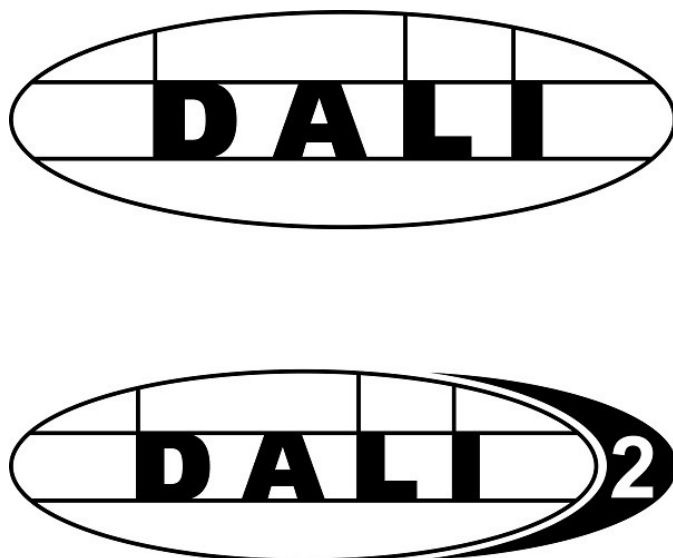
DALI kehitettiin johtavien liitäntälaittevalmistajien yhteistyönä, ja sen tavoitteena oli luoda avoin ja valmistajariippumaton standardi. Tämä mahdollisti eri valmistajien laitteiden toimimisen yhdessä samassa järjestelmässä, mikä helpotti järjestelmien laajentamista ja päivittämistä. DALI mahdollistaa kaksisuuntaisen

viestinnän, mikä erottaa sen merkittävästi yksisuuntaisista valaistusohjausjärjestelmistä, kuten vanhemmasta DSI:stä. [3.]

Kaksisuuntainen viestintä on keskeinen ominaisuus, joka parantaa valaistusjärjestelmän hallittavuutta, luotettavuutta ja joustavuutta. DALI-järjestelmässä jokainen laite, kuten valaisimet ja ohjaimet, voi sekä lähettää että vastaanottaa tietoja. Tämä mahdollistaa reaaliaikaisen kommunikoinnin järjestelmän eri osien välillä. Esimerkiksi valaisin voi raportoida tilastaan, kuten virheistä tai huoltotarpeista, takaisin ohjauskeskukseen. DALI-järjestelmä käyttää komento- ja vastausjärjestelmää, jossa ohjausyksikkö voi lähettää komentoja yksittäisille valaisimille tai laitejoukoille ja odottaa näiltä vahvistuksia tai vastauksia. [3.]

3.2 DALI- ja DALI 2 -standardi

DALI-järjestelmää kehittää ja ylläpitää DiiA (Digital Illumination Interface Alliance), joka on voittoa tavoittelematon organisaatio. DALI-standardi määrittelee digitaalisen viestintäprotokollan, joka mahdollistaa valaistuslaitteiden ohjaamisen ja hallinnan. Suomessa DALI-järjestelmään liittyvää tietoa ja tukea tarjoavat useat valaistusalan yritykset ja organisaatiot, kuten Helvar, Sähköteknisen Kaupan Liitto sekä Glamox. DALI-standardin ensimmäinen versio kattoi pääasiassa valaistuksen ohjausjärjestelmiä, mutta ei kattanut ohjauslaitteita laajasti. Kuvassa 1 nähdään DALI-1- ja DALI2-logojen erot.

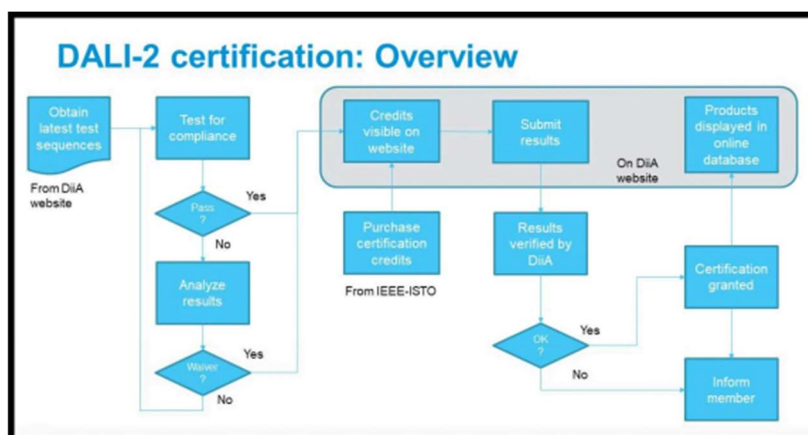


Kuva 1. Logo kertoo, mitä standardia kyseinen DALI-laite käyttää. DALI-2-logoa voidaan käyttää, kun tuote on läpäissyt DALI-2-sertifiointiprosessin. [3.]

DALI-1-standardin tekninen rajoitus aiheutti sitä, että eri valmistajat yrittivät lisätä omia ominaisuuksiaan, mikä aiheutti yhteensopivuusongelmia. DALI-1-tuotteita ei nykyään enää rekisteröidä ja uusia ei hyväksytä Dali Alliancen mukaan. DALI on alan standardoima protokolla, ja tämä on määritelty kansainvälisessä standardissa IEC 62386. [4.]

IEC 62386 -standardin uudistus vuonna 2014 tehtiin sen laajentamiseksi ja päivittämiseksi kattamaan kehittyneempiä valaistuksen ohjausvaatimuksia ja -ominaisuuksia. Uudistuksen taustalla oli tarve varmistaa yhteensopivuus ja standardointi laitteiden välillä. Muutosten myötä DALI-2-standardin määritelmät ja laiteintegraation mahdollisuudet selkeytettiin. [2.]

DALI-2 sisälsi merkittäviä parannuksia, kuten lisääntynyt laitteiden yhteensopivuus eri valmistajien välillä, mikä mahdollisti helpomman ja luotettavamman integroitumisen. DALI-2-standardissa otettiin huomioon myös parannetut testaus- ja sertifiointimenetelmät, jotka varmistivat järjestelmän toimivuuden ja luotettavuuden kaikissa tilanteissa. Standardi kattoi muun muassa erilaiset anturit, ohjauslaitteet sekä ohjelmointijärjestelmät. [2.] Kuva 5 kuvastaa DALI-2-sertifiointi-byrokratiaa.



Kuva 2. DALI-2 sertifiointin yleiskatsaus [5].

DALI-1 ja DALI-2-laitteet ovat yhteensopivia keskenään, mutta DALI-1 ei tue kaikkia DALI-2-järjestelmän ominaisuuksia.

3.4 DALI Wireless

DALI Wireless -standardin kehittämisestä vastaa myös DiA, joka on julkaissut uuden standardin nimeltään "DALI+ with Wireless and IP-based Communications". Tämä standardi mahdollistaa DALIn käytön langattomissa ja IP-pohjaisissa verkoissa laajentaen sen soveltuvuutta moderneihin valaistusratkaisuihin. Langaton DALI-järjestelmä voidaan liittää myös osaksi langallista järjestelmää. DALI+-laitteet kommunikoivat kaksisuuntaisesti käyttäen langatonta Zigbee 3.0 -protokollaa. [6.]

Tämä mahdollistaa sekä valaistusjärjestelmien hallinnan että tilannekohtaisten tietojen käsittelyn. Zigbee 3.0 mahdollistaa myös laitteiden saumattoman yhteyden toisiinsa muodostaen mesh-verkon, jossa jokainen laite toimii sekä lähettäjänä että vastaanottajana. [6.]

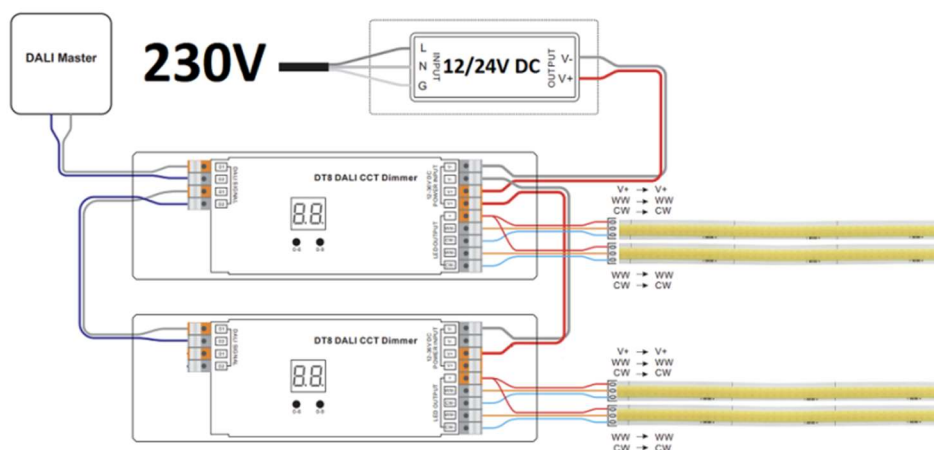
Mesh-verkko tarkoittaa verkkotopologiaa, jossa jokainen verkon laite (solmu) on yhteydessä toisiin laitteisiin useiden reittien kautta.

3.5 Helvar imagine

Helvar Imagine on DALI-reititinpohjainen valaistusjärjestelmä, joka tarjoaa joustavan ja skaalautuvan ratkaisun monenlaisiin valaistustarpeisiin. Järjestelmä koostuu yhdestä tai useammasta DALI- tai DALI-2-reitittimestä, joita on saatavilla eri kokoonpanoina, yhdellä, kahdella tai neljällä DALI-väylällä varustettuina. Nämä reitittimet voivat muodostaa laajoja järjestelmiä, joissa on jopa 100 reitintä, jotka kommunikoivat keskenään Ethernet-verkkostandardin mukaisesti. Jokaisessa reitittimessä on lisäksi sisäänrakennettu DALI-virtalähde jokaiselle väylälle, mikä yksinkertaistaa järjestelmän suunnittelua ja asennusta. Espoon Tilapalvelut-liikelaitoksella on huoltovastuullaan useita kohteita, joissa käytetään Helvarin valaistusjärjestelmiä.

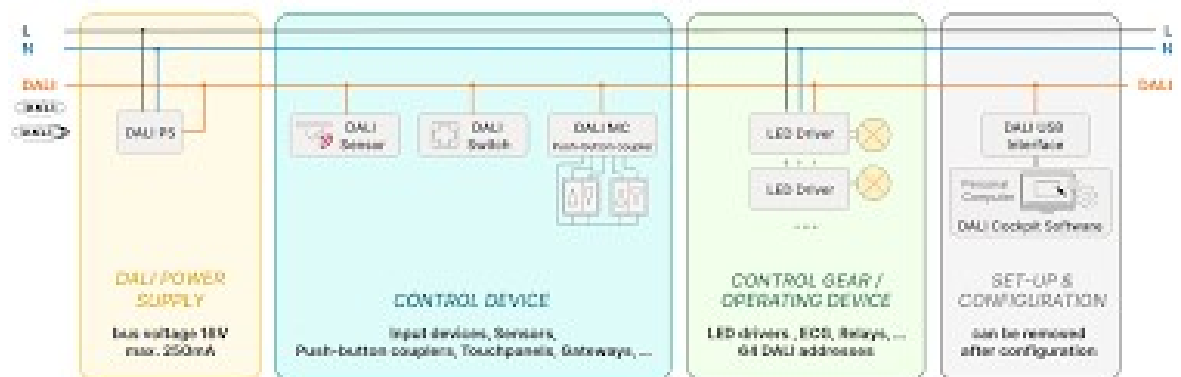
4 DALI-järjestelmän rakenne

DALI-järjestelmä muodostuu valaisimien liitäntälaitteista, teholähteestä sekä ohjainlaitteesta. Ohjainlaitteilla tarkoitetaan esimerkiksi liiketunnistinta. DALI-järjestelmä ei toimi ilman DALI-käyttöön tarkoitettua teholähdettä. DALI-järjestelmä ei toimi verkkovirralla. Teholähteitä on erilaisia: se voi olla erillinen tai sisäänrakennettuna ohjaislaitteeseen. Kuvassa 3 esitetään, miten verkkovirta kytkeytyy DALI-järjestelmään.



Kuva 3. DALI-valaisinjärjestelmä himmentimillä [8].

DALI-järjestelmän ohjainlaitteet jaetaan eri kategorioihin. Pääkategoriat ovat sovellusohjaimet ja syöttölaitteet. Syöttölaitteet lähettävät tietoa järjestelmään, eli painikkeet ja anturit menevät tähän kategoriaan. Sovellusohjaimet taas siirtävät tietoa eri laitteiden välillä. Kuva 4 on Lunatonen näkemys, mihin eri ryhmiin ohjainlaitteet kuuluvat.



Kuva 4. DALI-ohjauslaitteiden luokittelu [3].

DALI-järjestelmä vaati hieman ohjelmointia DALI-USB-sovittimen kautta tai reitittimen. DALI-USB sovitin on kätevämpi, sillä se voidaan poistaa järjestelmästä ohjelmoinnin jälkeen. Kaikki ohjelmoidut informaatiot tallentuvat suoraan DALI-laitteisiin. Luvun kuvassa 6 on karkea esimerkkitapaus, miten ohjelmointi tapahtuu tietokoneen ja reitittimen avulla.

Jokaisella valmistajalla on toisistaan eroavia käyttöönottomenetelmiä. Ohjelmoinnin pystyy suorittamaan tietokoneella tai jopa älylaitteella. Ohjelmointi kuitenkin vaatii erillisen sovelluksen tietokoneeseen tai älypuhelimelle. Laitteella on mahdollista tehdä käyttöönotto internetselaimella, USB-kaapelilla, Ethernet-kaapelilla tai langattomasti WLAN-yhteyden välityksellä.

4.1 DALI-väylä

Yhdessä DALI-väylässä voi olla korkeintaan 64 osoitteellista laitetta. Liitäntälaitteita voidaan vapaasti määritellä yhteen tai useampaan ryhmään. Ohjainlaitteita

saa määrittää vain yhteen ryhmään kerrallaan. Ryhmiä yhdessä DALI-väylässä saa olla 16 kappaletta, ja väylässä oleviin laitteisiin saa samanaikaisesti tallentaa enimmillään 16 valaistustilannetta. [3.]

DALI-väylälle on standardissa määritetty maksimivirta, joka on 250 mA. Teholähteissä on valmistajan mukaan eroavaisuuksia virtarajoissa. Tästä syystä pitää ehdottomasti tarkastaa teholähteen virtamäärä suunnittelun yhteydessä.[3].

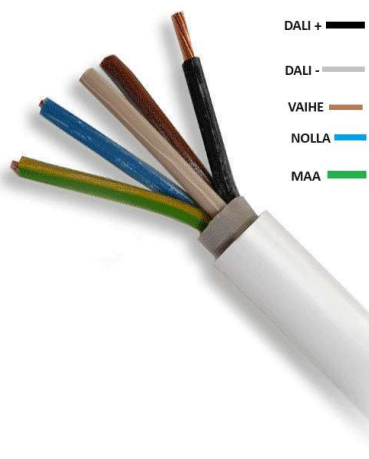
DALI-väylän mitoitus perustuu väylään kytkettyjen laitteiden määrään ja niiden käyttämään virtaan. Mitoituksen yhteydessä on tarpeen laskea yhteen kaikkien laitteiden osoitemäärät sekä niiden virrankulutus, jotta varmistetaan väylän riittävä kapasiteetti ja luotettava toiminta. Ohjainlaitteet ja valaisimet käyttävät yleensä yhden osoitteen kutakin laitetta kohden. Kuitenkin esimerkiksi releyksiköt ja suuremmat valaisimet, joissa on useampi liitäntälaitte, saattavat vaatia useampia osoitteita. Valaisimien tyypillinen virrankulutus on yleensä 2 mA, kun taas liiketunnistimien virrankulutus on yleensä 10 mA.[3].

Ohjainlaitteiden virrankulutuksessa on kuitenkin suuria eroja valmistajan mukaan, ja se voi olla jopa 40 mA. Tämän vuoksi on suositeltavaa tarkastaa ohjainlaitteiden virrankulutus valittaessa laitteita. Mikäli väyläkohtainen virtaraja tai osoitemääräraja ylittyy, laitteet on jaettava useampaan väylään. Jos DALI-järjestelmä on niin laaja, että yksi väylä ei riitä, on suositeltavaa harkita useita DALI-väyliä yhdistävän reitittimen asentamista järjestelmään. [9].

4.2 DALI-kaapelointi

DALI-järjestelmässä kaapelin virta ja data käyttävät samaa johdinparia, eli johdottaminen DALI-järjestelmässä on yksinkertainen. Kaapeloinnissa ei ole myöskään väliä johtimien napaisuudella, tämä on helpotus kytkentävaiheessa ja vähentää mahdollisista kytkennässä tapahtuvia virheitä. DALI-järjestelmässä rengasmallinen kytkentä ei ole mahdollista, ja tämä pois lukien johdotuksen saa kytkeä vapaasti ja väylää voidaan kytkeä mistä kohdasta tahansa. DALI-

järjestelmässä kaapelin on oltava verkkojännitteelle sallittu kaapeli. DALI-väylälle saa viedä samassa kaapelissa laitteelle sähkösyötön. DALI-väylään käytetään yleisesti MMJ-tyyppistä kaapelia, joista kaksi on varattu DALI-väylälle. Kuva 8 hahmottaa tilannetta, kun kytketään DALI-laitetta. [14]



Kuva 5. MMJ-kaapeli, kun kytketään DALI-laite [10].

DALI-kaapelin suurin sallittu pituus 1,5 mm²:n kaapelilla on noin 150–300 metriä. DALI-kaapelin pituus perustuu DALI-väylälle sallittuun jännitteenalenemaan. DALI-järjestelmään suurin sallittu jännitteenalenema on 2 V. Taulukossa 1 on ilmoitettu suurimmat sallitut pituudet eri poikkipinta-aloille.

Taulukko 1. Sallitut kaapelin etäisyydet DALI-järjestelmässä.

Kaapelin pituus (m)	Kaapelin poikkipinta-ala (mm ²)
0–100	0,5
100–150	1,0
150–300	1,5

4.3 DALI-järjestelmän rajoitukset pienissä tiloissa

Otetaan esimerkiksi siivouskomero. Siivouskomero on tyypillisesti pieni ja yksinkertainen tila, jossa valaistuksen ohjaustarpeet ovat vähäiset. Useimmissa tapauksissa riittää, että valo syttyy ja sammuu yhdellä kytkimellä ilman säätömahdollisuuksia. DALI-järjestelmä on puolestaan suunniteltu monimutkaisempiin valaistustilanteisiin, joissa valaistuksen eri osa-alueita tulee hallita erikseen. Esimerkiksi toimistotilassa saatetaan tarvita eritasoista valaistusta eri alueille tai mahdollisuutta himmentää valoja mukavuuden ja energiatehokkuuden parantamiseksi. Siivouskomerossa tällaiset ominaisuudet ovat käytännössä tarpeettomia, ja DALI-järjestelmän monipuoliset ohjausmahdollisuudet jäävät hyödyntämättä.

DALI-järjestelmän asentaminen ja ohjelmointi on myös merkittävästi kalliimpaa kuin perinteisen kytkimen tai yksinkertaisen liikeilmaisimen käyttö. Pienissä tiloissa, joissa valaistusta käytetään lyhytaikaisesti ja yksinkertaisiin tarkoituksiin, ei ole tällainen järjestelmä kustannustehokas. Tavallinen kytkin tai liikeilmaisimella varustettu valaisin riittää vastaamaan valaistustarpeisiin ja samalla minimoi asennus- ja ylläpitokustannukset.

5 DALI-järjestelmätyypit

DALI-järjestelmiä on kahdenlaisia, paikallisia DALI-järjestelmiä ja reititinjärjestelmiä. Paikallisessa DALI-järjestelmässä kaikki ohjaus ja kommunikointi tapahtuvat yhden DALI-väylän sisällä. Tähän väylään voi olla kytketty enintään 64 DALI-laitetta, kuten valaisimia, liiketunnistimia ja ohjaimia. Tällainen järjestelmä on ihanteellinen pienempiin tiloihin, joissa laitteiden määrä ei ylitä väylän kapasiteettia. Paikallinen DALI-järjestelmä on yksinkertainen toteuttaa ja hallita, sillä kaikki laitteet kommunikoivat suoraan keskenään yhden väylän kautta.

Reititinjärjestelmä puolestaan yhdistää useita DALI-väyliä toisiinsa reitittimen avulla. Tämä mahdollistaa suurempien ja monimutkaisempien valaistusjärjestelmien toteuttamisen, sillä reititin voi yhdistää useita paikallisia DALI-väyliä

yhdeksi kokonaisuudeksi. Reitittimen avulla voidaan hallita ja ohjata suurempia valaistusjärjestelmiä, joissa laitteiden määrä ja virrankulutus ylittävät yhden väylän kapasiteetin. Tässä luvussa esitellään tarkemmin sekä paikallinen DALI-järjestelmä että reititinjärjestelmä.

5.1 Paikallinen DALI-järjestelmä

Paikallinen järjestelmä on yksinkertainen yhdestä teholähteestä ja väylästä koostuva kokonaisuus. Sillä voidaan ohjata esimerkiksi yhden huoneen valaistusta. Tämän tyyppiset järjestelmät ovat erinomaisia saneerauskohteissa, joissa kaivataan moderni valaistusjärjestelmä, mutta ei haluta uusia koko kiinteistön valaistuksenohjausta. Tämmöisiä tiloja voisivat olla muun muassa monitoimitilat.

Tämän tyylinen valaistuksenohjaus sopisi myös varastotiloihin, missä on pieniä ja toistuvia tiloja. Tämmöisissä tiloissa voidaan hyödyntää DALI:n läsnäolo tai himmennysohjausta. Paikallisella DALI-järjestelmällä voidaan helpottaa isohkon kiinteistön käyttöönottoa reititinjärjestelmään verrattuna.

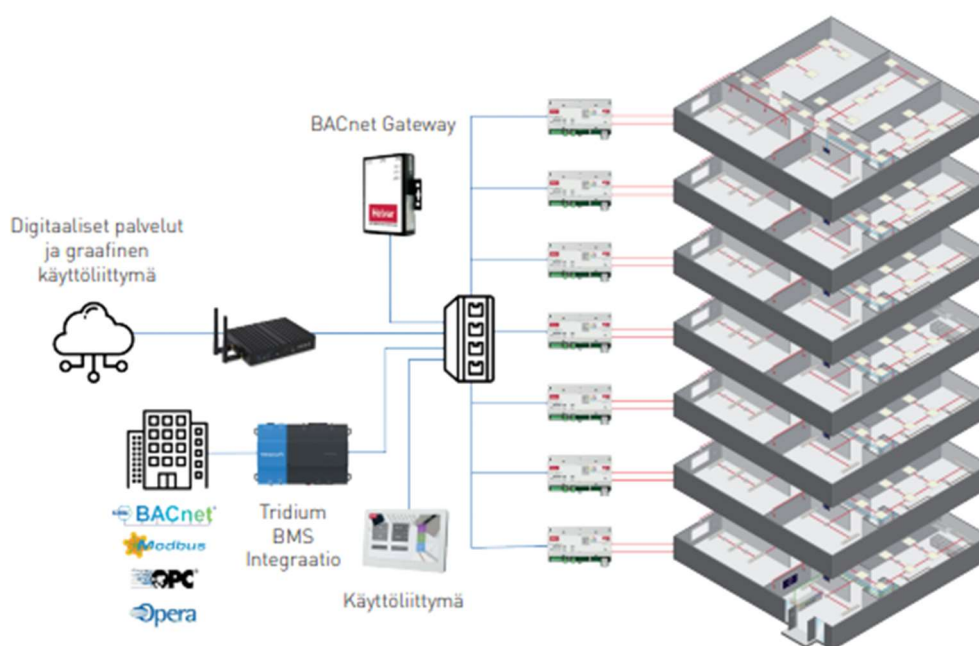
Paikallista DALI-järjestelmää suunnitellessa pitää jokainen katsoa tapauskohtaisesti. Useampi paikallinen järjestelmä samassa kiinteistössä voi olla reititinjärjestelmää kalliimpi toteuttaa. Tämä voi myös rajoittaa muutosjoustavuutta tulevaisuudessa.

5.2 Reititinjärjestelmät

Reititinjärjestelmässä kaikki ohjauslaitteet kommunikoivat reitittimen myötä. Tämä tarkoittaa sitä, että reititin toimii järjestelmän ohjausyksikkönä. Reititinjärjestelmässä voidaan asentaa useita DALI-väyliä toisiinsa sekä voidaan yhdistää useita reitittimiä Ethernet-verkkoon. Tämä mahdollistaa etäyhteyden sekä järjestelmän laajentamisen useamman reitittimien välillä.

Valmistajasta riippuen markkinoilla olevissa DALI-reitittimissä on 2–5 DALI-väylää ja sisäänrakennetut teholähteet jokaiselle DALI-väylälle. Tämä tarkoittaa sitä, että ulkoista teholähdettä ei tarvita. Ulkoiseen teholähteeseen verrattuna monessa reitittimessä valmistajasta riippuen on myös enemmän ominaisuuksia. Reititinjärjestelmistä saa aikaiseksi laajan kompleksin, missä voi olla monta sataa DALI-ohjauslaitetta ja sen saa samalla kytkettyä rakennuksen automaatiojärjestelmään. Kuvassa 9 on esimerkki, kun Helvar Imagine -DALI-järjestelmä on kytketty myös rakennusautomaatiojärjestelmään.

IMAGINE -REITITINRATKAISU



Kuva 6. Helvar imagine DALI-reititinjärjestelmä [7].

6 DALI-järjestelmän edut

DALI-järjestelmässä hyötyjä on todella laaja määrä, esimerkiksi valaisimia voi ohjata yksittäin tai ryhmissä. Edellisessä luvussa käytiin läpi, miten

reititinjärjestelmä operoi, jos tämä otetaan tässä eduissa huomioon, voidaan ohjata kokonaisen kerroksen valaistusta. Lisäksi järjestelmällä on mahdollisuus ohjata jopa eri kiinteistöjen valaistusta.

DALI-järjestelmä tarjoaa merkittäviä etuja monitoimitilojen valaistukseen, sillä sen avulla voidaan luoda tilanteen mukaan sopiva valaistus eri käyttötilanteisiin. Järjestelmä mahdollistaa yksilöllisten valaistusprofiilien luomisen ja hallinnan, mikä tekee siitä erittäin joustavan ja monipuolisen ratkaisun esimerkiksi kokous- ja esitystiloihin. Kokous ja esitystiloihin voidaan räätälöidä omat valaistusasetukset. Käyttäjäystävällisyytensä ansiosta DALI-järjestelmän avulla valaistustilanteiden vaihtaminen on vaivatonta ja nopeaa.

6.1 DALI-järjestelmän joustavuus

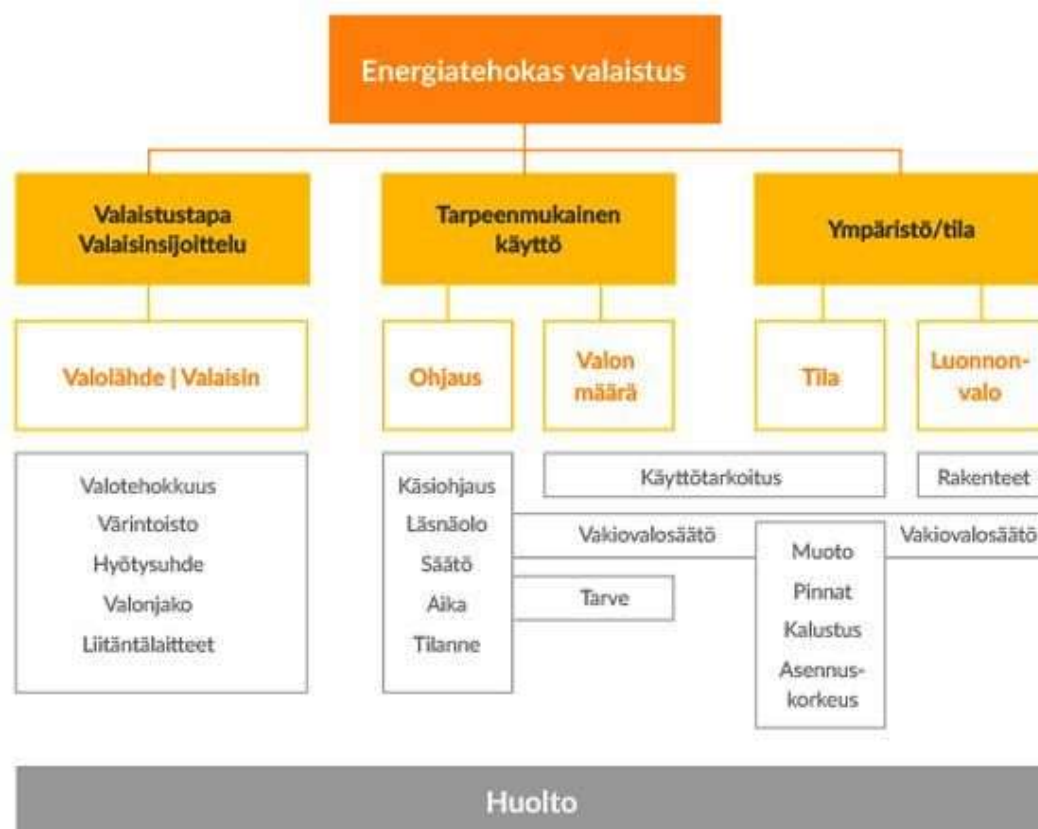
DALI on monipuolinen järjestelmä, johon voidaan kytkeä erilaisia DALI-ohjauslaitteita sensoreista valaisimiin asti. DALI-järjestelmä on joustava järjestelmä. Ohjauslaitteiden lisääminen suunnitelman jälkeen on todella yksinkertaista vähin muutoksin, jos suunnitelma on tehty huolellisesti. Erilaisia valaistustilanteita voidaan räätälöidä tilaajan vaatimalla tavalla vaivatta.

Monitoimitilat, joissa pohjaratkaisu muuttuu useasti, hyötyvät tämmöisestä joustavuudesta valtavasti. DALI-järjestelmää suunnitellessa pitää ottaa huomioon myös muutosvaraus samalla tyyllillä kuin ryhmäkeskuksissakin. DALI-järjestelmiin suositellaan, että DALI-väyliin jätetään suunnitteluvaiheessa 20 %:n muutos- tai lisäysvalmius. Ainoana huonona puolena näen yksittäistä väylää koskevat kriteerit. Tällä tarkoitan osoitemäärää sekä maksimivirtaa.

Tyypillisesti virtarajat tulevat ensimmäisenä vastaan, kun tehdään muutos- tai lisätyötä yksittäiseen DALI-väylään. Kun osoitemäärä saavuttaa maksimi kapasiteetin yhdessä DALI-väylässä, ei sitä voi kasvattaa, kun taas DALI-toistinta käyttäen voidaan nostattaa maksimivirran rajaa. Kun osoitemäärä saavuttaa maksimikapasiteetin, täytyy nykyistä järjestelmää laajentaa uusilla teholähteillä tai reititintä käyttäen.

6.2 DALI-järjestelmän potentiaaliset energiasäästöt

Suurissa rakennuksissa valaistus muodostaa yhden merkittävimmistä energiankulutuksen osa-alueista. Motivan mukaan noin kymmenen prosenttia Suomessa käytetystä sähköstä kuluu valaistukseen. Energiatehokas valaistus edellyttää huolellista huomiointia monilla eri osa-alueilla, jotka yhdessä vaikuttavat kokonaisenergiatehokkuuteen. Kuvassa 7 on havainnollistettu yksityiskohtaisesti näitä vaikuttavia tekijöitä. Erityisesti valaistuksenohjaus on keskeinen tekijä, joka vaikuttaa merkittävästi valaistuksen energiakulutukseen. Motivan mukaan älykkäiden valaistuksenohjausjärjestelmien avulla voidaan saavuttaa merkittäviä energiasäästöjä, jotka voivat nousta jopa 50–90 prosenttiin. [11].



Kuva 7. Energiatehokkaan valaistuksen keskeiset tekijät [11].

Erilaiset liike- ja läsnäolotunnistimet voivat tuoda myös merkittäviä energiasäästöjä erityisesti tiloissa, joissa ihmisten läsnäolo on satunnaista tai vähäistä. Näissä tapauksissa tunnistimet mahdollistavat valaistuksen automaattisen

sammuttamisen, kun tilaa ei käytetä, mikä vähentää turhaa energiankulutusta. Kuitenkin tiloissa, joissa oleskellaan jatkuvasti, kuten toimistoissa tai luokkahuoneissa, liike- ja läsnäolotunnistimien tuomat energiansäästöt ovat huomattavasti rajallisempia. Näissä tapauksissa energiansäästön potentiaali jää pienemmäksi, koska valaistusta tarvitaan jatkuvasti eikä tunnistimien tuomaa automaattista sammutus- ja sytytysominaisuutta voida hyödyntää yhtä tehokkaasti. [11.]

DALI-järjestelmää hyödyntämällä voidaan merkittävästi parantaa liike- ja läsnäolotunnistimien ohjaustoimintoja. Perinteisen valaisimien automaattisen sammuttamisen sijaan DALI-järjestelmä mahdollistaa valaisimien himmentämisen, mikä on erityisen hyödyllistä tiloissa, joissa jatkuva valaistus on tarpeen mutta sen voimakkuutta voidaan tarpeen mukaan säätää. Valaistusvoimakkuuden säätäminen hitaasti ja portaattomasti on käyttäjäystävällinen ratkaisu, sillä se vähentää äkillisiin valaistusmuutoksiin liittyvää häiriötä ja edistää työskentelymukavuutta.

Lisäksi hitaasti toteutettu valaistuksen muutos luo miellyttävämmän ja laadukkaamman vaikutelman verrattuna nopeisiin muutoksiin, mikä parantaa tilan yleistä viihtyisyyttä ja toiminnallisuutta. Liike- ja läsnäolotunnistimen yhdistäminen päivänvalo-ohjaukseen tuottaa merkittävimmät energiansäästöt. Päivänvalo-ohjauksen toimintaperiaate perustuu ulkoa tulevan luonnonvalon määrän hyödyntämiseen, jolloin sisätilan valaistus mukautuu automaattisesti ympäröivien valaistusolosuhteiden mukaisesti. Tämä dynaaminen säätäminen mahdollistaa huomattavat energiansäästöt erityisesti kesäkaudella, jolloin luonnonvalon määrä on runsaampi. [11.]

Talvikaudella energiansäästöpotentiaali voi kuitenkin jäädä vähäisemmäksi vähäisemmän luonnonvalon vuoksi. On myös huomattava, että huoneet, joissa ei ole ikkunoita tai joihin ei pääse luonnonvaloa, eivät voi hyötyä päivänvalo-ohjauksesta samalla tavalla. Tämän takia päivänvalo-ohjauksen soveltaminen tulee harkita tapauskohtaisesti tilojen ja valaistusolosuhteiden perusteella, jotta järjestelmän hyödyt voidaan maksimoida. Valaistuksen tarkoituksenmukaisuus on myös olennainen osa energiatehokasta valaistussuunnittelua. Valon

kohdistaminen tarkasti niille alueille, joissa sitä tarvitaan, mahdollistaa valaistusvoimakkuuden vähentämisen muualla ympäristössä. Tällä tavalla voidaan optimoida valaistus ja samalla vähentää energian kulutusta. Motivan mukaan tarkoituksenmukaisesti suunnitellulla valaistuksella voidaan saavuttaa jopa 50 % energiansäästöt. Kuva 8 havainnollistaa valon kohdentamista. [11.]



Kuva 8. Valo määrän kohdentamisesta työskentelyalueella [11].

6.3 Ihmislähtöinen valaistus

Ihmislähtöinen valaistus eli Human Centric Lighting (HCL) on valaistusratkaisu, joka ottaa huomioon ihmisten biologiset ja emotionaaliset tarpeet. DALI-järjestelmä tarjoaa erinomaisen alustan ihmislähtöisen valaistuksen ohjaukseen, sillä sen avulla voidaan joustavasti hallita valaisimien voimakkuutta ja värilämpötilaa.

DALI-järjestelmä tukee myös monipuolisten aika-asetusten ja anturitiedon integrointia, mikä mahdollistaa valaistuksen tarkkaan räätälöinnin tilan käyttötarkoituksen ja käyttäjien tarpeiden mukaisesti. Esimerkiksi toimistotilassa voidaan aamuisin hyödyntää kirkasta ja kylmää valoa vireyden parantamiseksi, kun taas iltapäivisin valon värilämpötilaa voidaan säätää lämpimämmäksi ja himmeämmäksi rentoutumisen edistämiseksi. Lisäksi, jos DALI-järjestelmässä käytettävät valaisimet ovat osoitteellisia, voidaan yksittäistä valaisinta ohjata itsenäisesti

ilman vaikutusta muihin valaisimiin. Tämä tarkkuus ja joustavuus tekevät DALI-järjestelmästä erittäin sopivan ratkaisun ihmislähtöisen valaistuksen toteuttamiseen erilaisissa ympäristöissä.

Ihmislähtöisen valaistuksen tavoitteena on jäljitellä luonnollista vuorokausirytmää ja ulkona tapahtuvaa luonnonvalon vaihtelua sisätiloissa. Tämän valaistuskonseptin keskeisenä tavoitteena on parantaa tilojen käyttäjien hyvinvointia. Tutkimukset ovat osoittaneet, että valo vaikuttaa ihmisiin paitsi psykologisesti myös biologisesti, erityisesti hormonitoiminnan kautta. [12.]

Valon vaikutus näkyy esimerkiksi vireystilassa ja melatoniinin tuotannossa, joka puolestaan vaikuttaa uneen ja sen laatuun. Ihmislähtöinen valaistus tukee näitä biologisia prosesseja tarjoamalla oikeanlaista valoa oikeaan aikaan, mikä voi edistää parempaa unenlaatua ja yleistä hyvinvointia. [12.]

7 DALI-järjestelmä TilPan monitoimitiloissa

Paikalliset DALI-järjestelmät sopivat yksittäisten huoneiden valaistuksen ohjaukseen mainiosti. Huone voi olla käyttötarkoituksellaan esitys- tai kokoustila, missä halutaan eri valaistustilanteita käyttötarkoituksesta riippuen. Paikallisessa DALI-järjestelmässä on omat edut, esimerkiksi ne eivät välttämättä tarvitse sovellusohjainta tai ohjelmointia. DALI-teholähteen voi integroida ohjauslaitteisiin, kuten säätimeen tai läsnäolotunnistimeen. Integrointimahdollisuudet suuremmissa mittakaavassa ovat paikallisessa DALI-järjestelmässä todella rajatut. Reititinjärjestelmässä integrointi on monipuolisempaa.

Paikallinen DALI-järjestelmä on reititinjärjestelmää edullisempi, koska paikallinen järjestelmä ei vaadi sovellusohjainta tai ohjelmointia. Tämä näkyy hinnassa, kun ei ole käyttöönottokustannuksia paikallisten DALI-järjestelmäkomponenttien lisäksi.

7.1 Esimerkki liikuntasalin valaistusohjauksen muutoksesta

Johdannossa mainittiin, että TilPan kunnossapitopiirissä suurin osa kiinteistöistä on kouluja. Koulujen tiloissa, erityisesti liikuntasalit, ovat usein monitoimitiloja, jotka palvelevat monenlaisia tarpeita. Liikuntasaleja käytetään monipuolisesti esimerkiksi esitysten, tilaisuuksien ja erilaisten ohjelmien järjestämiseen. Oletetaan, että liikuntasalin nykyinen valaistusjärjestelmä on Helvarin 0–10 V -järjestelmä. Kuvassa 10 esitetään esimerkkitapaus liikuntasalista, joka toimii monitoimitilana. Liikuntasalista löytyy myös esityslava, mikä korostaa tilan monipuolista käyttöä erilaisiin aktiviteetteihin.



Kuva 9. Espoo Karamalmens skolan liikuntasali.

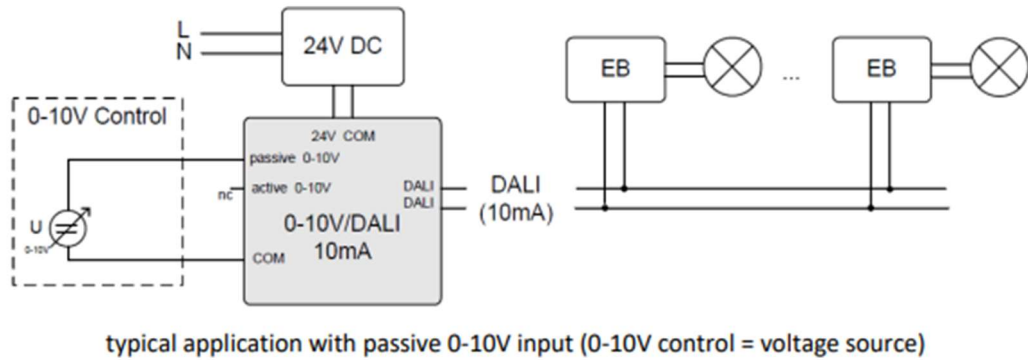
Käytetään kuvassa 9 esitettyä liikuntasalia esimerkkitapauksena ja oletetaan, että liikuntasalissa on käytössä 0–10 V -valaistusjärjestelmä. Valitaan ohjausyksikkö, joka muuntaa 0–10 V -signaalin DALI-signaaliksi. Kuvassa 10 ja 11 on esitetty tämä muuntaja. Lisätään järjestelmään yksi läsnäolotunnistin, joka on esitetty kuvassa 14. Tällä tunnistimella on 360 asteen havainnointikulma, ja

se toimii myös ohjausyksikkönä sekä teholähteenä. Valitaan painonappi, joka on esitetty kuvassa 15. Tämän painonapin avulla voidaan valita eri valaistustilanteita. Helvarin reitittimestä, joka on esitetty kuvassa 16, saatiin hintatieto Sonepar-tukkuliikkeestä. Tämä reititin mahdollistaa monipuolisen DALI-laitteiden hallinnan ja integroinnin. Laitteiden hintatiedot on saatu Sonepar-tukkuliikkeestä. Näiden tuotteiden avulla järjestelmän komponentit voidaan koota toimivaksi kokonaisuudeksi, joka vastaa monitoimitilojen vaatimuksia.



Kuva 10. Lunatone 0-10V -DALI-signaalikonvertteri [13].

Kuvassa 10 esitetään Lunatonen DALI-konvertteri, joka muuntaa 0–10 V jännitteen DALI-signaaliksi. Konvertterista on kahdenlaista mallia, esitetään kuvassa 12. Tämä liitännämoduuli ei vaadi kytkemistä ryhmäkeskuksen puolelta. Tämän mallinen konvertteri mahtuu kytkentärasiaan, mikä yksinkertaistaa sen asentamista huomattavasti. Kyseiseen malliin voidaan kytkeä enintään neljä DALI-liitännälaitetta. Mikäli konvertteriin liitetään DALI-laajennin, sen avulla voidaan ohjata jopa 64 DALI-liitännälaitetta. Tämä laajennusmahdollisuus tekee Lunatonen DALI-konvertterista erittäin joustavan ja skaalautuvan ratkaisun erilaisiin valaistusjärjestelmiin, erityisesti monitoimitiloissa.



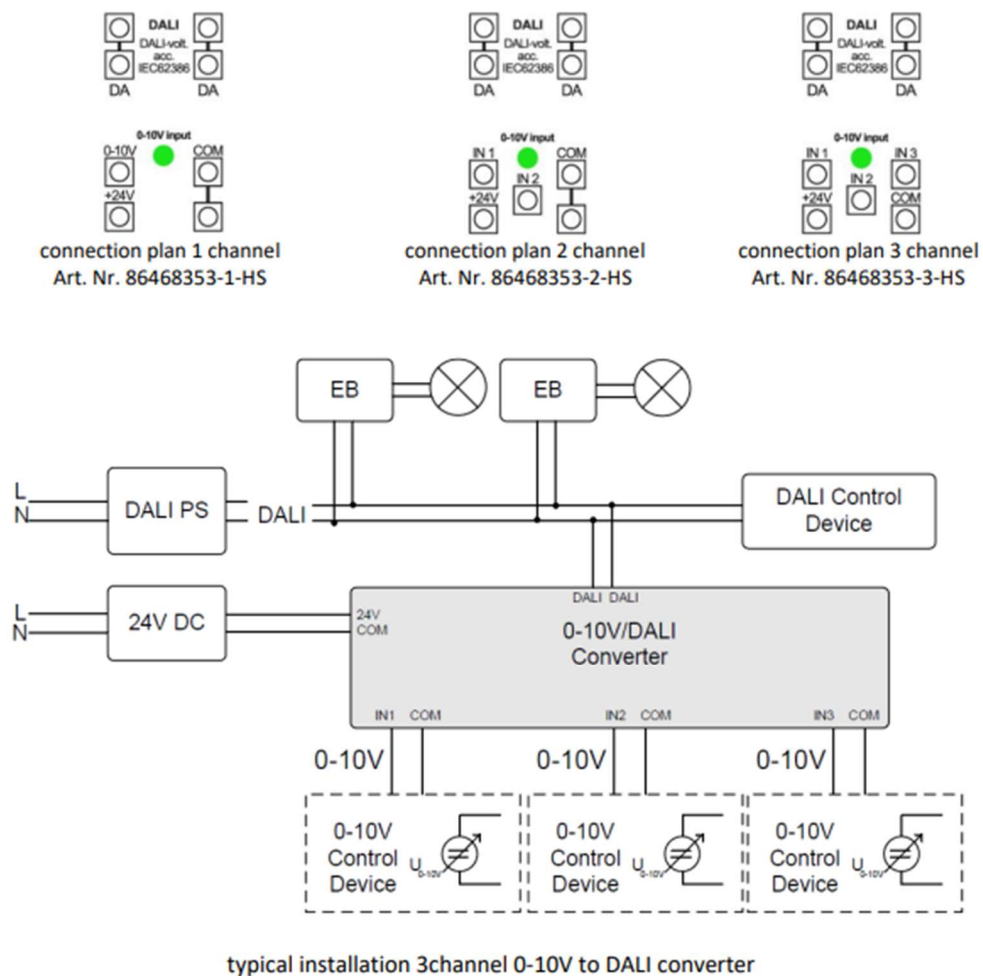
Kuva 11. Lunatone 0–10 V -konvertterin kytkentäkaava [13].

Kuvassa 11 esitetty kytkentä osoittaa, että Lunatone-laitteen asennus ei ole monimutkainen. Kuitenkin on huomioitava, että Lunatone-konvertteri vaatii toimiakseen 24 V:n tasavirtalähteen. Tämä malli mahdollistaa yhden 0–10 V analogisen signaalin muuntamisen DALI-signaaliksi.



Kuva 12. DALI-signaalikonvertteri, joka pitää kytkeä sähkökeskuksen puolelta [14].

Kuvassa 12 esitetty analogisen signaalin DALI-konvertteri tarjoaa kaikki samat ominaisuudet kuin kuvan 10 DALI-signaalin konvertteri. Merkittävin ero kuvan 12 ja kuvan 10 mallien välillä on se, että kuvan 12 konvertterissa on mahdollisuus liittää jopa kolme erillistä sisääntuloa. Kuvassa 13 esitetään kytkentäkaavio. Tämä laajennettu sisääntulomahdollisuus tekee kuvan 12 konvertterista monipuolisemman ja mahdollistaa useamman ohjaussignaalin käsittelyn yhdessä laitteessa, mikä voi olla hyödyllistä tilanteissa, joissa tarvitaan useiden eri analogisten ohjaussignaalien muuntamista.



Kuva 13. Kuvan 12 mukaisen DALI-signaalikonvertterin kytkentäkaava. [14].

Kuvassa näkyy, että konvertterissa on kolme erillistä sisääntuloa, jotka on merkitty IN1, IN2 ja IN3. Nämä sisääntulot mahdollistavat kolmen erillisen 0–10 V

ohjaussignaalin syöttämisen laitteeseen. Kun 0–10 V signaaleja syötetään sisään tuloihin, konvertteri muuntaa nämä signaalit DALI-ohjauskomentoihin, jotka lähetetään DALI-väylälle. Tämä mahdollistaa analogisten ohjaussignaalien käytön DALI-järjestelmän kanssa, joka normaalisti toimii digitaalisilla signaaleilla.



Kuva 14. Luxomat DALI 2 -längnölötunnistin [15].

Kuvan längnölötunnistin, malliltaan Luxomat PD2N-M-DACO DALI-2, on erittäin sopiva ratkaisu monitoimitiloihin, kuten liikuntasaleihin, sen tarjoamien ominaisuuksien ansiosta. Längnölötunnistin on erityisen hyödyllinen tällaisissa tiloissa, sillä se kykenee havaitsemaan ihmisten liikkeen ja längnölön ja sen perusteella ohjaamaan valaistusta automaattisesti. Tämä takaa, että valaistus mukautuu tilan käytön mukaan ilman manuaalista säätöä. Esimerkiksi, kun liikuntasalissa pidetään esitys, tunnistin voi himmentää valot tai sammuttaa ne kokonaan. Luxomat DALI-2 -längnölötunnistimesta löytyy integroitu tehonlähde. Tämä tarkoittaa, että laite voi tarjota DALI-väylälle tarvittavan virran, jolloin erillistä ulkoista DALI-teholähdettä ei välttämättä tarvita.



Kuva 15. ESYLUX-valonsäädin [16].

Tämä valonsäädin tarjoaa käyttäjäystävällisen ja monipuolisen tavan hallita eri valaistustilanteita monitoimitiloissa, kuten liikuntasaleissa. Valonsäätimen avulla voidaan esiasettaa useita eri valaistustilanteita, joita voidaan helposti vaihtaa nappia painamalla. Tämä on erityisen hyödyllistä monikäyttöisissä tiloissa, joissa valaistustarpeet vaihtelevat.



Kuva 16. 920-reitin [17].

Helvar Imagine 920 -reitittimessä on kaksi erillistä DALI-väylää, joihin kumpaankin voidaan liittää enintään 64 DALI-yhteensopivaa laitetta, kuten valaisimia, antureita ja ohjaimia. Tämä tarkoittaa, että reititin voi ohjata yhteensä 128 DALI-laitetta. Reitittimessä on sisäänrakennettu DALI-virtalähde, joka syöttää virtaa DALI-väylille. Helvar Imagine 920 -reitittimet voivat muodostaa laajoja valaistusjärjestelmiä yhdistämällä useita reitittimiä Ethernet-verkkoon. Tämä mahdollistaa jopa satojen reitittimien kytkemisen yhteen järjestelmään, jolloin voidaan hallita tuhansia DALI-laitteita yhdestä keskuspaikasta kuten valonsäädintä kuva 17.



Kuva 17. LED-valonsäädin Casambi [18].

Tämä valonsäädin on yksinkertainen nuppi säädin, jota ohjataan kiertämällä nuppia.

7.2 Paikallisen DALI-järjestelmän ja Casambin hintavertailu

Kustannuksia vertailtaessa keskitytään ainoastaan järjestelmien muuttuvien osien arviointiin ja esimerkiksi erilaisia liittimiä ei sisällytetä laskelmiin. Fiktiivisessä kohteessa, kuten Karamalmens skola -koulussa, Casambi-järjestelmän toteuttaminen ei edellytä 5-johtimisia kaapeleita, vaan 3-johtimiset kaapelit

riittävät, koska Casambi ei vaadi erillistä ohjausväylää. Sen sijaan DALI-järjestelmässä tarvitaan 5-johdimisia kaapeleita, koska DALI-ohjausväylä edellyttää kaksi johdinta. Asennustyön määrässä ei ole merkittävää eroa näiden kahden järjestelmän välillä, joten kaapelointityön kustannusta ei oteta huomioon vertailussa. Käyttöönoton ja ohjelmoinnin kustannusarviot on hankittu eri lähteistä ja ovat suuntaan antavia, mutta on huomioitava, että nämä kustannukset voivat vaihdella urakoitsijoiden välillä. Kustannusarviot perustuvat laitevalmistajan dokumentteihin.

Helvar Imagine -järjestelmän osalta ohjelmiston käytön edellyttämän koulutuksen kustannuksia ei ole sisällytetty arvioon. Tämä voi kuitenkin vaikuttaa merkittävästi kokonaiskustannuksiin, etenkin tilanteissa, joissa sähköurakoitsijalla ei ole Helvar Designer -ohjelmiston käyttöoikeutta. Mikäli kohde toteutetaan Casambi-järjestelmällä tai Helvar Imagine järjestelmällä, voidaan hyödyntää olemassa olevien valaisimien syöttöjä, jolloin erillistä MMJ 3x1,5S -kaapelia ei tarvitse asentaa. Kaapelia kumminkin varataan Casambi-valonsäädintä varten.

Laskelmaan valittu valaisin ei ole markkinoiden kustannustehokkain vaihtoehto. Casambi-yhteensopivien valaisimien hinnoittelu on vaihtelevaa, ja tämän valaisimen valinta perustui siihen, että se oli yksi edullisimmista saatavilla olevista malleista. Kuitenkin, vaikka kyseinen valaisin on hinnoiteltu kilpailukykyisesti, se vaikuttaa merkittävästi projektin kokonaissummaan.

Helvar 920 -reitittimen hinta on noin 2950 euroa. Tämä reititin sisältää kaksi DALI-väylää, joihin kumpaankin voidaan liittää enintään 64 DALI-laitetta. Karalmens skola -kohteessa on suunnitelmissa käyttää noin 12 valaisinta, yhtä liiketunnistinta ja yhtä ESYLUX-valonsäädintä. Tässä kokoonpanossa väylään jää edelleen runsaasti kapasiteettia, eikä väylän virransyöttö ylitä. Tämä takaa järjestelmän skaalautuvuuden ja mahdollistaa tulevat laajennukset ilman merkittäviä muutoksia. Helvar Imagine -järjestelmään on varattu MMJ 5x1,5S -kaapelia DALI-väylää varten. Kuvassa 18 on esitetty järjestelmien vertailu.

Tuote	Kuvaus	Helvar		Casambi	
		Määrä/Kpl/m	Hinta yks.	Määrä/Kpl/m	Hinta yks.
Lunatone 0-10V	DALI-signaali konverterri	1	124,25 €		
Luxomat DALI 2 PD2N-M-DACO	läsnäolotunnistin	1	263,48 €	1	263,48 €
ESYLUX Push Button 8x	Valonsäädin	1	112,58 €	1	112,58 €
MMJ 5x1,5S	Kaapeli	100	235,62 €	0	-
Käyttöönotto	Työ	1	880 €	1	700,00 €
Valoiste Imatra LED - 40W, 3700lm, 4000K, IP40, DALI	Valaisin	12	240,80 €	0	-
Start Panel 1200x300 36W 3800lm 4000K	Valaisin	0	240,80 €	12	297,25 €
Helvar Digidim DALI 920 64+64	Reititin	1	2.954 €	0	-
LED-VALONSÄÄDIN 200W CASAMBI	Valonsäädin	0	-	1	179 €
MMJ 3X1,5S	Kaapeli	0		100	142,53 €
	Kokonaissumma (alv 0%)		7 459,53 €		4 964,59 €

Kuva 18. Hintavertailu valaisinjärjestelmien välillä.

8 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla DALI- ja Casambi-järjestelmiä sekä analysoida niiden hankintakustannuksia kuvitteellisessa kohteessa. Työ alkaa analysoimalla nykyisten valaistusjärjestelmien teknisiä ominaisuuksia ja niiden eroavaisuuksia DALI- ja Casambi-järjestelmien kanssa. Nykyinen valaistusjärjestelmä on perusmuotoinen 230 V:n järjestelmä, joka on teknologialtaan yksinkertainen ja vähemmän joustava verrattuna nykyaikaisiin ohjausratkaisuihin. Työssä perehdyttiin myös DALI-järjestelmän eri variaatioihin, kuten paikallisiin järjestelmiin, reititinjärjestelmiin, standardeihin, DALI-järjestelmän peruskomponentteihin sekä valonohjaustapojen hyötyihin erityisesti muutosjoustavuuden, energiakulutuksen ja ihmislähtöisen valaistuksen näkökulmista.

Vertailun perusteella voidaan todeta, että Casambi- ja Helvar Imagine -järjestelmät perustuvat kahteen eri teknologiaan: Casambi hyödyntää BLE-teknologiaa, kun taas Helvar Imagine perustuu reititinpohjaiseen DALI-ohjausväyläteknologiaan. Näissä järjestelmissä on merkittäviä eroja laitteiston, ohjelmoinnin ja toimintatapojen osalta. Helvar Imagine -järjestelmän ohjelmointityökalu edellyttää kolmen päivän kurssin suorittamista, kun taas Casambin tapauksessa

käyttäjä voi itse tehdä pieniä muutoksia, kuten säätää valotasoja tai liiketunnistimien viiveitä.

Kustannusvertailu osoitti, että Casambi-järjestelmä on hankintahinnaltaan edullisempi. Casambi-järjestelmän kokonaishinta oli 4 964,59 € (alv 0 %), kun taas Helvar DALI -järjestelmän vastaava kustannus oli 7 459,53 €. Merkittävät hintaerot selittyvät muun muassa sillä, että Helvar-järjestelmä vaatii DALI-reitittimen (2 954 €), mikä nostaa sen kokonaishintaa. On kuitenkin huomioitava, että Casambi ei vaadi monimutkaisia ohjelmointitaitoja, mikä vähentää käyttöönotto-kustannuksia. Helvarin ohjelmointityökalu sen sijaan edellyttää koulutusta, mikä lisää alkuvaiheen kustannuksia ja vaatii asiantuntijaosaamista.

Tulokset osoittavat, että molemmat järjestelmät tarjoavat merkittäviä etuja, mutta niiden kustannusrakenne ja tekniset ominaisuudet eroavat toisistaan merkittävästi. Helvar DALI -järjestelmä on perinteisempi ratkaisu, joka vaatii kaapeloinnin, kun taas Casambi tarjoaa modernin, langattoman vaihtoehdon. Järjestelmän valinnassa tulee kuitenkin ottaa huomioon pelkän hinnan lisäksi myös muita tekijöitä, kuten käytettävyys, järjestelmän elinkaarikustannukset ja asennusympäristön erityisvaatimukset. Casambi voi olla erityisen sopiva saneerauskohteisiin, joissa kaapelointi on haasteellista, kun taas Helvar DALI -järjestelmä saattaa sopia paremmin suuriin ja monimutkaisiin tiloihin, joissa tarvitaan vakaa ja standardoitu ohjausjärjestelmä.

Lähteet

- 1 About us. Verkkoaineisto. Casambi. <<https://casambi.com/about-us/>>. Luettu 10.7.2024.
- 2 Introducing DALI. Verkkoaineisto. Dali Alliance. <<https://www.dali-alliance.org/dali/>>. Luettu 1.7.2024.
- 3 DALI Factsheet. Verkkoaineisto. Lunatone. <<https://www.lunatone.com/en/dali-factsheet/>>. Luettu 10.7.2024.
- 4 DALI-2 versus DALI version - 2. Verkkoaineisto. Dali Alliance. <<https://www.dali-alliance.org/dali2/comparison.html>>. Luettu 4.7.2024.
- 5 Overview of DALI-2 certification. Verkkoaineisto. Dali Alliance. <<https://www.dali-alliance.org/dali2/>>. Luettu 4.7.2024.
- 6 Wireless to DALI Gateways. Verkkoaineisto. Dali Alliance. <<https://www.dali-alliance.org/wireless/gateways.html>>. Luettu 1.7.2024.
- 7 Imagine tuote-esite. Verkkoaineisto. Helvar. <https://helvar.com/wp-content/uploads/2022/09/Helvar_Imagine_950_Specification_Doc_2.4.1_Oct2022.pdf>. Luettu 1.7.2024.
- 8 Halttu, Janne 2023. DALI himmennys: Digitaalinen valaistusjärjestelmä. Verkkoaineisto. Ledstore. <<https://ledstore.fi/blog/2023/01/30/dali-himmennys-digitaalinen-valaistusjarjestelma>>. Luettu 10.7.2024.
- 9 DALI-2 Factsheet. Verkkoaineisto. Lunatone. <<https://www.lunatone.com/en/dali-2-factsheet/>>. Luettu 10.7.2024.
- 10 MMJ 5x1,5 S. Verkkoaineisto. Finnparttia <https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi_FI/?ObjectID=2368247>. Luettu 10.7.2024.
- 11 Valaistustieto. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/valaistustieto>. Luettu 4.7.2024.
- 12 Ihmiskeskeinen valaistus. Verkkoaineisto. Glamox. <<https://www.glamox.com/fi/pbs/ihmiskeskeinen-valaistus/>>. Luettu 10.7.2024.
- 13 0-10V to DALI Converter. Verkkoaineisto. Lunatone. <https://www.lunatone.com/wp-content/uploads/2018/03/86468352-001_0-10V_to_DALI_10mA_Converter_EN_D0001.pdf>. Luettu 4.7.2024.

- 14 0-10V to DALI Converter. Verkkoaineisto. Lunatone. <https://www.lunatone.com/wp-content/uploads/2018/03/86468353-1-HS_0-10V_to_DALI_EN_D0003-1.pdf>. 27.5.2024. Luettu 4.7.2024.
- 15 Luxomat - Läsäolotunnistin PD2N-M-DACO DALI-2. Verkkoaineisto. Sonepar. <<https://shop.sonepar.fi/catalog/fi-fi/products/luxomat-l-sn-olotunnistin-valonm-pd2n-m-daco-dali-2-100212948>>. Luettu 4.7.2024.
- 16 Painike. Verkkoaineisto. Esylux <<https://www.esylux.fi/tuotteet/lisaevaruste/painike/lisaevaruste/ec10430923>>. Luettu 10.7.2024.
- 17 Digdim DALI reititin. Verkkoaineisto. Sonepar <<https://verkkokauppa.sonepar.fi/fi/digdim-dali-reititin-920-reititin-2dali-alue-64-64-2602080>>. Luettu 10.7.2024.
- 18 Airam -valonsäädin -LED. Verkkoaineisto. Sonepar <<https://shop.sonepar.fi/catalog/fi-fi/products/airam-valonsaadin-led-valonsaadin-200w-casambi-100169118>>. Luettu 10.7.2024.