



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

VALAISTUSOHJAUSJÄRJESTELMIEN VERTAILU KOULUKOhteissa

Opinnäytetyö

TEKIJÄ: Henri Hokkanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Henri Hokkanen			
Työn nimi Valaistusohjausjärjestelmien vertailu koulukohteissa			
Päiväys	30.9.2020	Sivumäärä/Liitteet	33/4
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Granlund Kuopio Oy			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön tavoite oli tutkia valaistusohjausjärjestelmien elinkaarikustannuksia Granlund Kuopio Oy:n suunnittelemassa elinkaarikoulukohteessa. Kustannuksia vertailtiin järjestelmien investointi-, sähköenergia-, kunnossapito- ja hoitokustannusten osalta. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Granlund Kuopio Oy.</p> <p>Johdanto-osassa pohjustettiin työn tavoitetta, syitä miksi kyseiset valaistusohjausjärjestelmät valittiin vertailuun, sekä avataan opinnäytetyössä esiintyviä ammattikäsitteitä, termejä ja muita lyhenteitä. Työn teoreettinen osa käsitteli elinkaarirakentamisen mallia Suomessa. Siinä avattiin sisävalaistusstandardia ja valaistussuunnittelun perusteita sisätiloissa ja erityisesti opetustiloissa. Teoriaosassa esiteltiin myös vertailtavat valaistusohjausjärjestelmät tarkemmin ja pohdittiin lyhyesti niiden eroja.</p> <p>Tutkimus sisälsi kustannuslaskennan lisäksi sähkösuunnitelman teon valaistuksen osalta vertailukohteeseen havainnollistamaan tarvittavia tarvikkeita. Hinnat tuotteille selvitettiin suomalaisilta sähkötarviketukkureilta ja ne taulukoitiin Microsoft Excelillä. Varsinainen elinkaarikustannuslaskenta toteutettiin Granlundin excel-pohjaisella elinkaarikustannuslaskentaohjelmistolla.</p> <p>Laskentaohjelmistolla saatiin lopputulokseksi excel-taulukoista yhteenvetokaavio, jossa pystyttiin vertailemaan järjestelmien kustannuksia neljältä eri osa-alueelta: investointi-, sähköenergia-, ylläpito- sekä hoitokustannuksia. Laskentaohjelmisto oli melko vanha, ja se on alun perin laadittu eri valonlähteiden elinkaaren vertailua varten. Sitä voidaan soveltaa myös valaistusohjausjärjestelmien elinkaaren vertailussa. Järjestelmistä edullisimmaksi osoittautui paikallinen DALI-järjestelmä, joka tarvitsee koulukohteissa lisäksi jonkin muun järjestelmän isompien tilojen, kuten liikuntasalien, toteutukseen. Granlundin suunnittelijat voivat hyödyntää laskentaa ja sen lopputulosta suunnitellessaan tulevia elinkaarikoulukohteita sekä mahdollisesti muitakin elinkaarirakentamisen kohteita.</p>			
Avainsanat DALI, DALI-2, KNX, Casambi, valaistusohjausjärjestelmä, elinkaarikoulu			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Henri Hokkanen			
Title of Thesis Comparison of Lighting Control Systems on School Sites			
Date	30 September 2020	Pages/Appendices	33/4
Client Organisation /Partner Granlund Kuopio Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to find the most life-cycle cost efficient lighting control system for public-private partnership schools by studying it on a school that Granlund Kuopio Oy had already designed. The expenses were compared through the capital, electrical energy, maintenance, and management costs of the systems. This thesis was commissioned by Granlund Kuopio Oy.</p> <p>The thesis required studying literature related to public-private partnership schools, lighting control systems and lighting standards. Most of the information was collected from electrical equipment manufacturers, wholesalers, and a few different electricity and lighting associations. The study included finding and listing the prices for the electrical parts from Finnish wholesalers, life cycle calculations that were made with Granlund's Microsoft Excel based life cycle calculation tool. Layouts were planned for the lighting to visualize what parts were needed and what differences there could be between the four control systems.</p> <p>As a result of this thesis, a summary chart from the excel calculations was made. This chart operated as a tool for the price comparison. It showed costs from four different point of views; the capital, electrical energy, maintenance, and management costs of the systems as previously mentioned. The cheapest control system ended up being the local DALI system, but the problem with it is, that it cannot be used in big rooms such as gymnasiums, so it would need one of the other systems alongside to work properly. Granlund's electrical engineers may use this calculation and result when planning public-private partnership schools in future.</p>			
<p>Keywords</p> <p>DALI, DALI-2, KNX, Casambi, lighting control system, public-private partnership school</p>			

ESIPUHE

Aloin miettiä opinnäytetyöni aihetta ennen joulua 2019 ja sainkin lehtori Heikki Lainiselta nopeasti ehdotuksen Granlund Kuopio Oy:n tarjoamasta opinnäytetyöaiheesta. Granlundin toimistolla käytyäni kysymässä aiheesta tarkempaa tietoa ja myöhemmin haastattelussa käytyäni sain aiheen, jonka kohteeksi valikoitui hiljattain Granlund Kuopion suunnittelema elinkaarikoulu.

Kiitän opinnäytetyön ohjaajia, Granlund Kuopion osastonjohtaja Timo Oravaista työvaiheen tarkasta ohjeistuksesta ja perehdyttämisestä elinkaarimallin suunnitteluperiaatteisiin, sekä lehtori Sami Tiilikaista opinnäytetyön ohjauksesta myös kesän aikana. Suuri kiitos kuuluu myös Granlund Kuopion sähkösuunnittelijoille, jotka neuvoivat ja osallistuivat työn ohjaukseen, sekä perehdyttivät opinnäytetyössä käytettyihin ohjelmistoihin ja valaistusohjausjärjestelmien periaatteisiin.

Kuopiossa

Henri Hokkanen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	ELINKAARIMALLI.....	9
2.1	Suunnittelu ja rakentaminen	9
2.2	Ylläpito.....	9
3	VALAISTUSSUUNNITTELU	10
3.1	Sisätilojen valaistusstandardi	10
3.2	Opetustilojen valaistus	10
3.2.1	Vaatimukset.....	10
4	VALAISTUSOHJAUSJÄRJESTELMÄT	11
4.1	KNX/DALI	11
4.1.1	Järjestelmän rakenne ja kaapelointi.....	11
4.2	DALI	14
4.2.1	Järjestelmän rakenne ja kaapelointi.....	14
4.2.2	DALI-2	16
4.3	Casambi	16
4.3.1	Järjestelmän rakenne ja kaapelointi.....	18
5	JÄRJESTELMIEN ASENNUSTEKNISET EROT	19
6	KOHDE	20
7	ELINKAARIKUSTANNUKSET	21
7.1	Komponentit.....	21
7.2	Investointi	21
7.3	Sähköenergia.....	23
7.4	Kunnossapito	23
7.5	Muut hoitokustannukset	24
7.6	Tulokset	24
8	YHTEENVETO.....	27
9	LÄHDELUETTELO.....	28
	LIITE 1: DALI REITITINJÄRJESTELMÄN TASOPIIRUSTUS.....	30
	LIITE 2: PAIKALLISEN DALIN TASOPIIRUSTUS	31
	LIITE 3: KNX+DALI TASOPIIRUSTUS	32

LIITE 4: CASAMBI TASOPIIRUSTUS	33
--------------------------------------	----

1 JOHDANTO

Tällä opinnäytetyöllä halutaan kehittää Granlund Kuopio Oy:n mahdollisuuksia valita elinkaarikouluihin investoinnin ja ylläpitokustannusten näkökulmasta kannattavin valaistusohjausjärjestelmä. Toimeksiantajan vahvan DALI-asiantuntemuksen takia vertailun pääkohteena tulee olemaan DALI-järjestelmästä niin sanottu paikallinen ja reititinjärjestelmä, KNX-järjestelmä, sekä langattomista verrokiksi otetaan parhaiten toimeksiantajan vaatimat kriteerit täyttävä Casambi-järjestelmä.

DALI-järjestelmä valittiin vertailun pääkohteeksi, koska se on yksi maailman eniten käytetty valaistusohjausjärjestelmä. Se muuntautuu moneksi ja esimerkiksi suomalainen sähkötekniikan yritys Helvar on tehnyt siitä useita eri versioita, kuten ActiveAhead ja DIGIDIM. Maailman suurin DALI:lla toteutettu valaistusjärjestelmä on Abu Dhabin WTC – Trust Tower, jossa on kokonaisuudessaan 60 000 DALI pistettä. (Helvar Oy, 2020)

KNX valittiin mukaan vertailuun, jotta nähtäisiin, saadaanko sillä säästöjä, koska Granlund Kuopio ei asiaa ole erityisesti tutkinut. KNX-järjestelmällä olisi myös helppo yhdistää valaistus laajemmin rakennusautomaatioon. Osaksi myös aloituspalaverissa ilmenneen tiedon toimeksiantajan mielenkiinnosta nähdä, onko KNX ja DALI yhdistelmä järkevää nykyään, koska heidän kokemuksesta se on aikaisemmin ollut kömpelö toteuttaa. KNX-järjestelmän rakennusautomaatioon yhdistämistä ei kuitenkaan avata tarkemmin, koska se ei ole olennainen tutkimuksen tulosten kannalta. Työn tarkoituksena on laatia toimeksiantajalle laskelma, jolla voidaan paremmin vertailla ja arvioida eri valaistusohjausjärjestelmien investointi- ja ylläpitokustannuksia elinkaarikoulukohteissa. Samalla työssä käsitellään langattomien järjestelmien soveltuvuutta vertailutilaan. Vertailun kohdetilana toimii elinkaarikoulun opetustila.

Lyhenteet ja määritelmät

DALI

- Digital Adressable Lighting Interface, standardisoitu osoitteellinen valaistusohjausjärjestelmä.

DALI-2

- Edellä mainitun DALI:n uusi, päivitetty versio

Casambi

- Bluetooth Low Energyä käyttävä langaton valaistusohjausjärjestelmä, suomalaisten kehittämä.

KNX

- Avoin standardi rakennusautomaatioon, voidaan siis ohjata valaistuksen lisäksi esimerkiksi kiinteistön lämmitystä, ilmanvaihtoa, savunpoistoa ja seurata energian kulutusta.

Valaistusohjausjärjestelmä

- Järjestelmä ja tapa ohjata valaistusta kohteessa

Langaton valaistusohjausjärjestelmä

- Valaistusohjausjärjestelmä, joka on toteutettu suurelta osin ilman fyysistä kaapelointia, esimerkiksi BLE:n kautta.

BLE

- Bluetooth Low Energy, lyhyen matkan langaton verkkoteknologia. Muun muassa matkapuhelimet ja älykellot käyttävät sitä.

DiaLux

- Valaistussuunnitteluohjelma

MagiCAD

- Sähkösuunnitteluohjelma

CADMATIC

- Sähkösuunnitteluohjelma

Elinkaarimalli

- Julkisen sektorin hankintamalli, jossa yksityinen toimija sitoutuu vastaamaan tietyn hankkeen toteuttamisesta, ylläpidosta ja energiakustannuksista pitkällä aikavälillä, tyypillisesti 20-25 vuotta.

Valaistusvoimakkuus

- Suure, joka kuvaa valovirran suhdetta pinnan alaan. Mittayksikkönä luxi (lx)

UGR-häikäisyindeksi

- Unified Glare Rating kertoo valaisimen kiusahäikäisyn määrän.

2 ELINKAARIMALLI

Elinkaarimalli on julkisten investointihankkeiden ja niihin liittyvien palveluiden hankintatapa, jossa yksityinen yritys vastaa hankkeesta tavallista pidemmän ajan. Hankkeen toteuttaja vastaa vähintään kohteen suunnittelusta, rakentamisesta, ylläpidosta tai kiinteistöpalveluista. Lisäksi toteuttajan vastuuseen sisältyy tyypillisesti myös sitoutuminen tarjousvaiheessa määritettyihin energia- ja olosuhdetavoitteisiin. Tämä hankintamalli on kehitetty muun muassa yksityisen sektorin innovaatioiden tuontiin osaksi julkisen sektorin hankkeita. Palvelusopimuksessa voidaan nykyään sopia edellä mainitun lisäksi käyttäjäpalveluiden toteuttamisesta ja hankkeen rahoituksesta. Kansainvälinen nimitys hankintamallille on Public Private Partnership, josta käytetään Suomessakin yleisesti lyhennettä PPP. (Rakennusteollisuus RT ry, 2020)

2.1 Suunnittelu ja rakentaminen

Elinkaarihankkeissa suunnittelu ja rakentaminen suositellaan toteutettavan KVR-sopimuksella (kokonaisvastuurakentamissopimus), eli pääurakoitsija vastaa rakentamisen lisäksi myös kohteen suunnittelusta ja kokonaiskoordinoinnista, sekä käyttämistään aliurakoitsijoista. KVR-sopimuksen etuna tilaajalle on, ettei tarvitse tehdä kuin yksi sopimus pääurakoitsijan ja tilaajan kesken. (Kuntarahoitusta Oy, 2018)

2.2 Ylläpito

Keskeisen roolin elinkaarihankkeissa saa ylläpito, koska kyseessä on pitkäaikainen sopimus, eikä mikään rakennus kestä sellaista aikaa ilman ylläpitoa. Palvelusopimuksen pituudeksi on alkanut vakiintumaan 20 vuotta, jonka ajan palveluntuottaja, eli pääurakoitsija, vastaa kohteen kunnosta, sekä sovituista muista palveluista kuten kiinteistönhuollosta. Sopimuksessa määritellään usein palveluita kuten kiinteistön ylläpito ja hoito, sekä korjaukset ja siivous. Käytännössä siis suurin hyöty mitä tilaaja saa hankkeesta on, tavanomaiseen urakkasopimukseen verrattuna noin kymmenkertainen takuu-aika suunnittelusta ja rakentamisesta. (Kuntarahoitusta Oy, 2018)

3 VALAISTUSSUUNNITTELU

Tässä kappaleessa avataan valaistussuunnittelua koskevaa standardia sisätilojen osalta, sekä vertailutilan valaistussuunnitteluohjeita ja vaatimuksia.

3.1 Sisätilojen valaistusstandardi

Sisätilojen valaistussuunnittelussa käytetään yleisesti sisävalaistusstandardia SFS-EN 12464-1, ellei tilaajalla ole erillisiä vaatimuksia kohteesta. Standardissa on määritelty valaistusvaatimukset sisätyötiloille normaalinäkökykyisten henkilöiden näkömukavuuden ja näkötehokkuuden tarpeiden mukaisesti. Se käsittelee kaikkia yleisimpiä näkötehtäviä. Standardissa ei ole esitetty ratkaisumalleja, eikä se rajoita suunnittelijan mahdollisuutta soveltaa uutta tekniikkaa, eikä se myöskään rajoita edistyneiden laitteiden käyttöä. (Suomen Standardisoimisliitto SFS, 2011)

3.2 Opetustilojen valaistus

Opetustiloissa valaistuksen miellyttävyys ja häikäisyn määrä ovat keskeisessä roolissa. Oppilaat eivät saa tuntea itseään väsyneeksi pitkänkään päivän päätteeksi eikä heidän silmät saa rasittua valaistuksen takia. Tähän vaikuttavat myös arkkitehtoniset ratkaisut, mutta hyvin suunniteltuna valaistus voi parantaa niitä opetustiloissa. Nykyään valaistuksessa suositaan vakiovalo-ohjausta, eli valaistuksen portaatonta tai ainakin tiheäportaista luonnonvalon mukaan säätävää valaistusta. Tällä säädöllä saadaan säästöjä energiakustannuksissa ja valaistuksesta tasaisempaa luonnonvaloon mukautuvaa, jos tilassa on ikkunoita. (Sähköinfo Oy, 2017)

3.2.1 Vaatimukset

Sisätilojen valaistusstandardin mukaan luokkatilan valaistusvoimakkuuden tulee yleensä olla 300-500 luksia käyttötasolla, riippuen tilassa tapahtuvan opetuksen luonteesta. Jotta samaa tilaa voitaisiin käyttää useampaan opetustarkoitukseen, valaistus mitoitetaan pääsääntöisesti aina 500 luxiin, pois lukien tilat, joissa vaaditaan vielä suurempaa valaistusvoimakkuutta. Suositeltavaa on myös, että valaistus olisi säädettävissä. Tähän nykyään sovelletaan paljon vakiovalosäätöä, sekä esimerkiksi opettajan pisteelle voidaan ohjelmoida eri valaistustilanteita tai haluttaessa vain paikallista himmennystä. (Suomen Standardisoimisliitto SFS, 2011)

Valaistusohjauksen toteuttaminen suurissa opetustiloissa voi olla haastavaa niin monen erilaisen tilanneohjauksen tai kirkkauden säätöjen osalta. Tällöin järjestelmään kannattaa ohjelmoida valmiiksi erilaisia tilanteita käyttäjää varten. Näitä esiohjelmoituja tilanteita voidaan käyttää erilaisilla tilanpainikkeilla tai valaistusohjausjärjestelmien kehittymisen ansiosta nykyään myös kosketusnäytöstä tai vaikka mobiililaitteen sovelluksesta. Ohjauksen uudelleen ohjelmointi helpottuu koko ajan älylaitteiden käyttösovellusten ansiosta ja näin käyttäjäkohtaisen käyttöliittymän kautta uudelleen ohjelmoinnin voi pienellä vaivalla tehdä jo käyttäjä itsekin. (Sähköinfo Oy, 2017)

4 VALAISTUSOHJAUSJÄRJESTELMÄT

Valaistuso ohjaus ei ole enää vain on/off-toiminto, nykyään voidaan puhua älykkäästä valaistuksen ohjauksesta. Ohjausta voidaan edelleen toteuttaa päälle-pois-periaatteella älykkään ohjauksen rinnalla, mutta nykyään esimerkiksi vakiovalo- eli päivänvalo-ohjaus on yleistynyt huomattavasti ja syystäkin. Isoissa rakennuksissa saadaan merkittäviä energiakustannussäästöjä, kun keinovalo himmenee luonnonvalon valaistessa tilaa. Myös langattomat ohjausjärjestelmät ovat alkaneet yleistymään ja niistä on kehitetty monia eri versioita niiden joustavuuden ja laajentamisen helppouden takia. (Motiva Oy, 2019)

4.1 KNX/DALI

KNX-järjestelmä on kansainvälinen kiinteistöautomaatiostandardi, jota voidaan käyttää kiinteistöissä valaistuksen, lämmityksen ja jäähdytyksen, ilmanvaihdon ja savunpoiston, sekä sähkökuormien ohjaukseen. Sillä voidaan myös toteuttaa kiinteistön rikosilmoitin- ja kuluvalvontajärjestelmä. Valaistuso hjauksen ohella siis paljon muitakin järjestelmiä voidaan yhdistää yhteen automaatiojärjestelmään. (KNX Finland Ry, 2020)

KNX-standardi on luotu EIB, EHS ja BatiBus-standardien pohjalta. Väyläteknikalla on pyritty saamaan säästöjä toteutusvaiheessa ja rakennuksen elinkaaren aikana sekä siinä, että ohjaus onnistuu vain yhdellä järjestelmällä. KNX-standardin julkaisi vuonna 2001 perustettu Konnex Association, sertifiointi KNX-laitteille aloitettiin vuonna 2002. KNX:stä tuli kansainvälinen standardi vuonna 2006, jolloin EIB-yhdistys ja Konnex yhdistyessään muodostivat KNX Association -yhdistyksen. (KNX Finland Ry, 2020) (Härkönen & Liedes, 2019)

Ohjauksen yksinkertaistamisen ja keskuskomponenteissa säästämisen takia, vertailuun valittiin DALI-valaisimet, vaikka niitä ohjataankin KNX-järjestelmällä. Tällöin kaksi eri väylää yhdistetään väylämuuntimella. Ohjaavana väylänä toimii KNX ja ohjelmointi tapahtuu ETS-ohjelmointisovelluksella. Tarvittaessa DALI-ohjelmointi suoritetaan toisella ohjelmalla, esimerkiksi suurin osa ABB:n väylämuuntimista vaatii DALI-väylän ohjelmoinnin ABB i-bus Tool -ohjelmistolla. (ABB Oy, 2020)

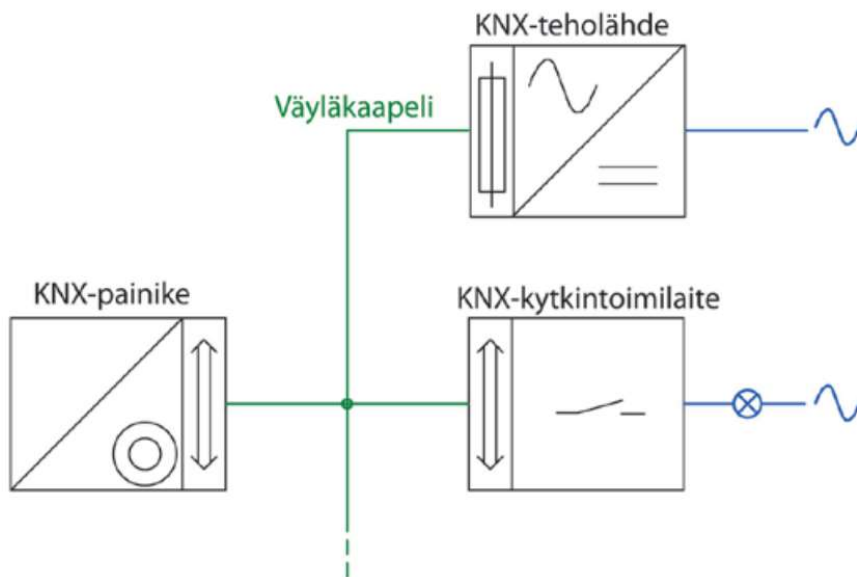
4.1.1 Järjestelmän rakenne ja kaapelointi

KNX-järjestelmässä ohjaus tapahtuu väyläkaapelilla tai langattomasti radiolähetyksellä. Langaton versio soveltuu hyvin saneerauskohteisiin tai täydentämään jo olemassa olevaa järjestelmää. Se on helposti uudelleen ohjelmoitavissa ETS-ohjelmalla ja jälkeinpäin muutoksia voidaan tehdä jopa mobiililaitteella. (KNX Finland Ry, 2020)

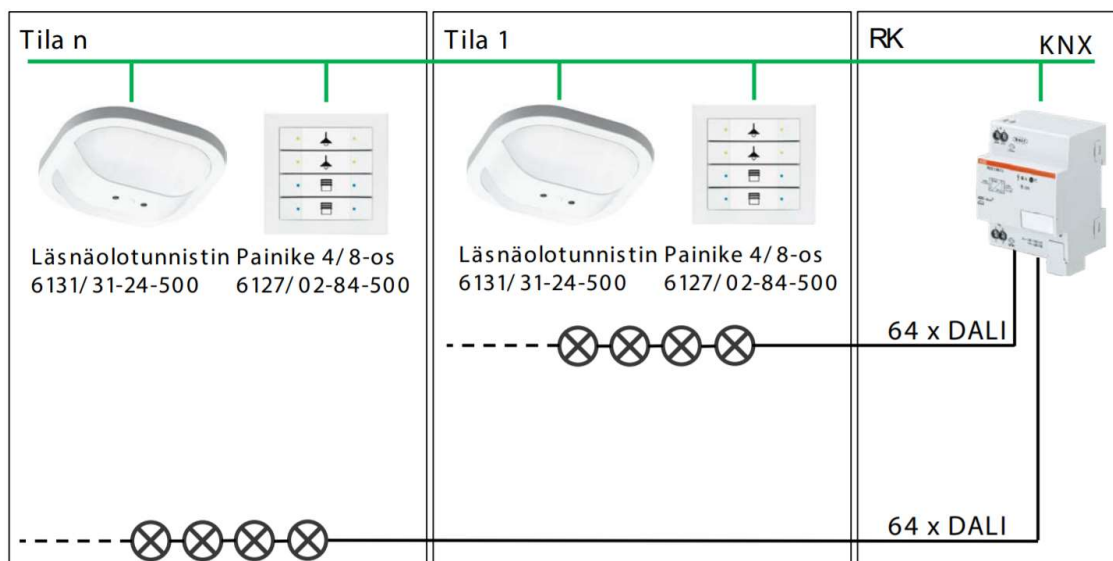
Pienimmillään KNX-järjestelmä voi koostua teholähteestä, anturista ja toimilaitteesta (kuva 1). Tutkimuksen kohteena ne olisivat keskuksessa sijaitsevat teholähde, DALI-ohjain (toimilaitte), sekä luokahuoneessa sijaitsevat painike ja läsnäolotunnistin. Yksinkertaisimmillaan valaistuso hjauksen malliratkaisu esitettyinä kuvassa 2. Opetustilassa on KNX-toimilaitteina läsnäolotunnistin ja painiketaulu tarvittavan monella painikkeella. Toimilaitteilla ohjataan ryhmäkeskuksessa (RK) sijaitsevan

KNX/DALI-väylämuuntimen kautta tilan DALI-väylää, johon valaisimet on kytketty. Väylärakennekaavio kuvasta puuttuu kuitenkin olennainen virtalähde KNX-väylän puolelta, joka vaaditaan aina. (Härkönen & Liedes, 2019) (Sandström, 2017)

Yhden KNX-linjan pituus saa olla maksimissaan 1000 m ja tehölähteen ja ensimmäisen laitteen välimatka saa olla maksimissaan 350 m. Kaapeloinnin voi toteuttaa monella eri tavalla ja kaapelin saa haaroittaa vapaasti laitteissa ja rasioissa, mutta rengasta väyläkaapeliin ei saa muodostua. (Sandström, 2017)



KUVA 1. KNX-järjestelmän rakenne (Härkönen & Liedes, 2019)



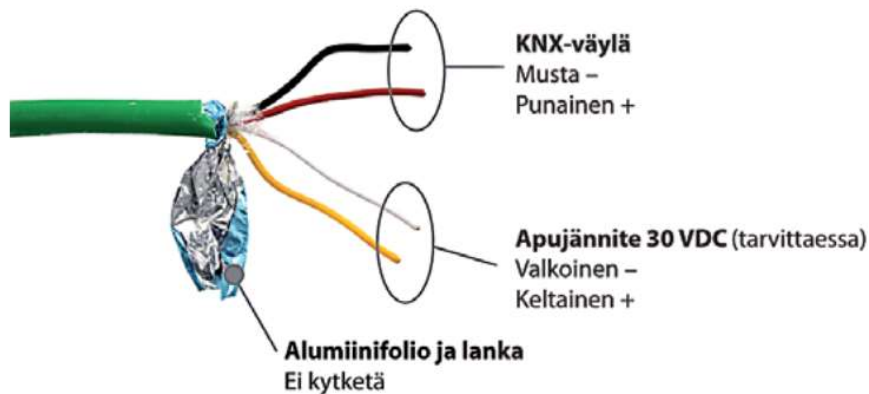
KUVA 2. KNX/DALI-väylärakenne (Sandström, 2017)

Kuvassa 3 on ABB:n DALI-ohjain, jota ei erikseen tarvitse DALI-ohjelmoida, vaan ohjelmointi tapahtuu pelkästään ETS:llä. Tämä 8-kanavainen ohjain soveltuu jo isompiin kohteisiin, joissa on paljon valaisimia.



KUVA 3. 8-kanavainen DALI-ohjain DG/S8.1 (ABB Oy, 2020)

Väyläkaapeleita on kahta sertifioitua versiota, YCYM 2x2x0,8 ja J-Y(St)Y2x2x0,8, joista ensimmäinen soveltuu normaaleihin sisäasennuksiin ja toinen teollisuuden asennusolosuhteisiin. Suomessa kuitenkin yleisesti käytetään esimerkiksi KLMA 4x0,8+0,8 automaatiokaapelia.



KUVA 4. KNX-väyläkaapeli (Härkönen & Liedes, 2019)

Vertailussa KNX-järjestelmään yhdistettiin DALI-väylä, koska käytännössä modulivalaisimien yleisin liitäntälaitte on nykyään DALI. Ilman DALI:a LED modulivalaisimen säätö olisi toteutettava 1-10 V säädöllä ja kyseenomaisella säädöllä olevat valaisimet ovat poistuvia valaisinvalmistajien valikoimista.

4.2 DALI

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) on valaisemistoimialan digitaalinen standardi, joka on valmistunut vuonna 1999. DALI poikkeaa standardisoimattomasta DSI-järjestelmästä (Digital Serial Interface) siinä, että valaisimeen saadaan kaksisuuntainen yhteys. Valaisimelta saadaan tietoa esimerkiksi siitä, onko valaisimeen kytketty virta ja mikä on valaisimen kirkkaus. (Glamox Oy, 2020)

DALI on alun perin kehitetty korvaamaan esimerkiksi yksinkertaiset analogiset 1-10 V ohjaustavat. DALI:lla siis pystytään halutessa ohjaamaan ja säätämään isostakin ryhmästä yksittäistä valaisinta kerrallaan. Järjestelmässä liitäntälaitteille tallennetaan yksilöllinen osoite, jonka avulla sen ohjaus tapahtuu, mutta liitäntälaitteita voi tietenkin ohjata useampaa kerralla asettamalla ne ryhmäksi. Valaisimien liitäntälaitteet ovat jo yleisesti vakiona DALI-yhteensopivia. (Digital Illumination Interface Alliance, 2020)

4.2.1 Järjestelmän rakenne ja kaapelointi

DALI-väylää rajoittavat tekijät muodostuvat väylän maksimivirrasta sekä osoitteiden, ryhmien ja erilaisten ohjaustilanteiden määrästä. Väylävirran tulee olla maksimissaan 250 mA, osoitteita saa olla enintään 64 ja ryhmiä sekä ohjaustilanteita kumpaakin 16. Suunnittelussa väylävirta ja osoitteiden määrä suositellaan mitoittamaan 20 % vajaaksi, että myöhemmin voidaan tarvittaessa lisätä väylälaitteita. Reitinjärjestelmällä näitä määriä voidaan kuitenkin kasvattaa, esimerkiksi Helvarin 910 DALI-reitittimessä, kuva 5, on jo valmiiksi kaksi väylää ja näitä reitittimiä voidaan Ethernet:n kautta yhdistää useampia toisiinsa. (Tridonic GmbH & Co KG, 2020)



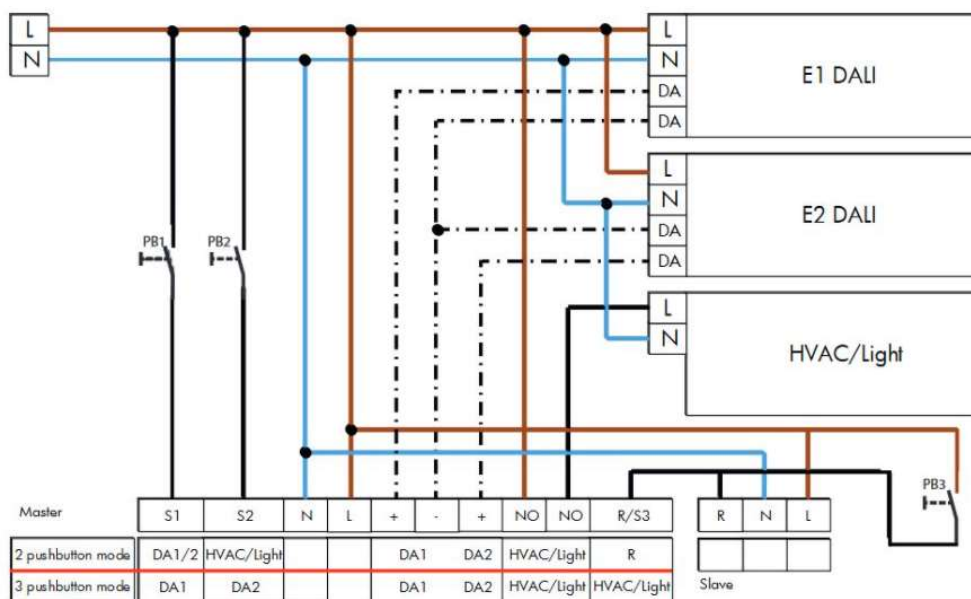
KUVA 5. Helvar 910-reititin (Helvar Oy, 2020)

Kaapeloinnin suurena etuna DALI-järjestelmässä on, että ohjausjohtimet ja laitteiden syöttö voi olla samassa kaapelissa, jolloin yksivaiheinen syöttö ja DALI-ohjaus voidaan kaapeloida kuvassa 5 esitetyllä tavalla MMJ 5x1,5 S asennuskaapelilla. Väyläkaapelin maksimipituus on määritetty 300 metriin 1,5 mm² kaapelilla, ettei ohjausväylään tule liian suurta jännitteenalennamaa, maksimissaan 2 voltia. (Tridonic GmbH & Co KG, 2020)



KUVA 6 DALI-kaapelointi, MMJ 5x1,5 S (Tridonic GmbH & Co KG, 2020)

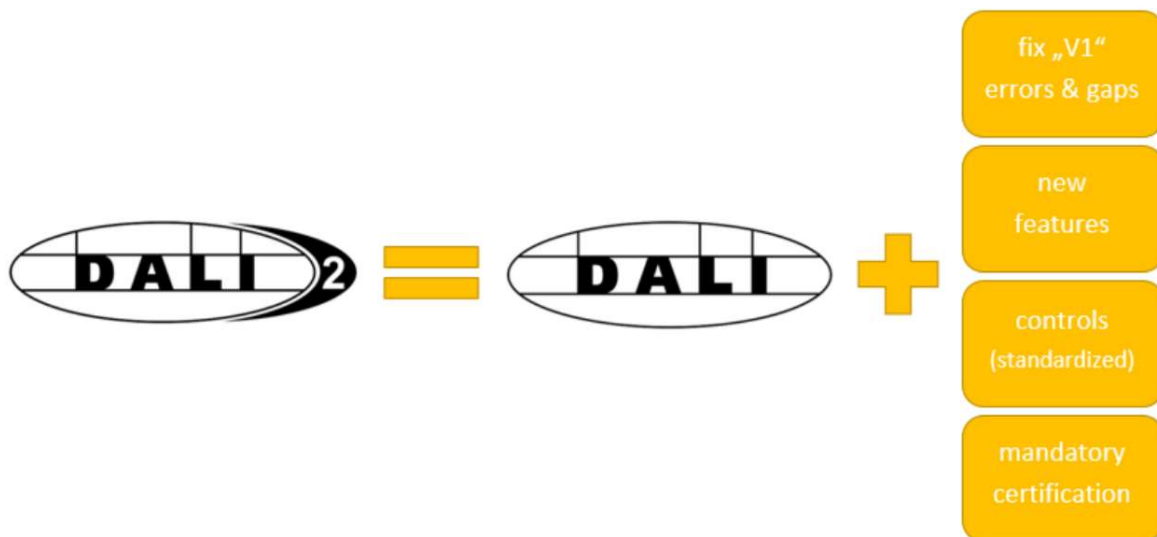
Työssä käsiteltävässä paikallisessa DALI-järjestelmässä yksi väylä rajoittuu yhteen tilaan, koska siinä virtalähteenä toimiva master-liiketunnistin ei voi ohjata kahden eri tilan valaisimia erikseen. Tunnistusaluetta voidaan tarvittaessa kasvattaa slave-tunnistimilla, joissa ei ole niin sanotusti älyä, vaan ne syyttävät valot master-tunnistimen kautta kärkitietona. Kuvassa 7 on esitettyä kytkentäkuva, jossa tilaan tulee syöttökaapeli, PB1 ja 2 ovat painikkeita, joilla valaistusta voidaan ohjata manuaalisesti on/off, sekä himmennystoiminnoilla. E1 ja 2 ovat DALI-liitäntälaitteita ja PB3 toimii vain on/off painikkeena.



KUVA 7. Paikallisen DALI-läsnäolotunnistimen kytkentäkaavio (Oy Nylund-Group Ab, 2020)

4.2.2 DALI-2

DALI-2 on uusien versio DALI-protokollasta; sitä varten IEC 62386 -standardi uudistettiin vuoden 2014 loppupuolella. Yksi suurimmista muutoksista oli ohjauslaitteiden lisääminen, joita ei oltu aikaisemmassa versiossa vielä standardisoitu. Uuteen versioon kuuluu kattavampi laitetestaus, jonka tarkoituksena on varmistaa toimivuus yhteensopivien tuotteiden kanssa. (Digital Illumination Interface Alliance, 2020)



KUVA 8 DALI-2 (Tridonic GmbH & Co KG, 2018)

Kuvassa 8 on havainnollistettu Tridonicin mukaisesti mitä DALI-2 tarkoittaa. Uuteen versioon on siirretty korjattu vanhan standardin vikoja, lisätty uusia ominaisuuksia, ohjainlaitteet ovat standardisoituja ja sertifikaatista on tullut pakollinen.

DALI-2 sertifioituja laitteita on saatavilla jo monelta laitevalmistajalta ja esimerkiksi Helvarin yksi yleisimmistä DALI-laitteista, 910 reititin, on nykyään sertifioitu DALI-2 laite. Silti näitä laitteita on huonosti saatavilla suomalaisilta tukkureilta ja tästä johtuen järjestelmä päätettiin jättää pois tarkemmasta vertailusta. (Digital Illumination Interface Alliance, 2020)

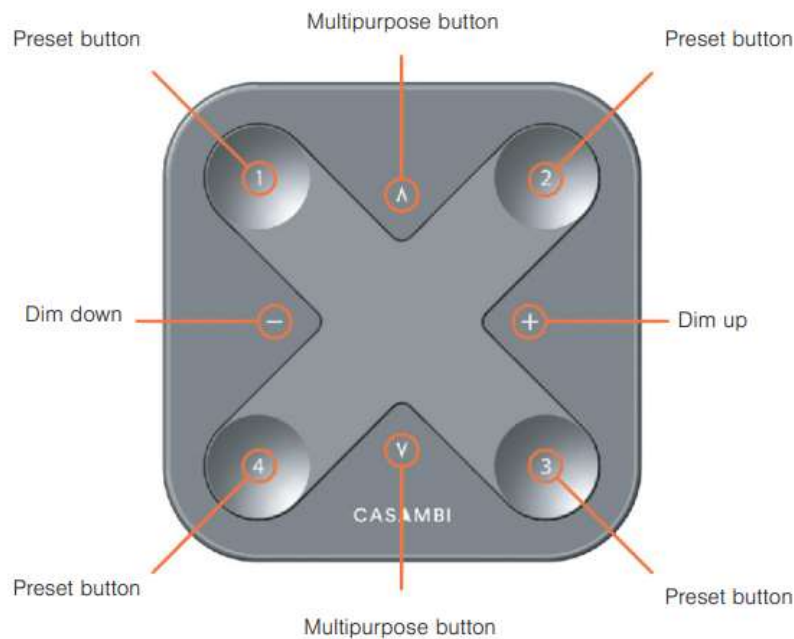
4.3 Casambi

Casambi pohjautuu langattomaan Bluetooth Low Energy verkkotekniikkaan, joka on kehitetty Nokian tutkimuskeskuksessa, jossa Casambin keksijät työskentelivät. Casambilla oli etulyöntiasema Bluetooth Low Energy järjestelmiin, koska he työstivät sitä jo ennen kuin yhtään sitä käyttävää laitetta oli markkinoilla. Nykyään Bluetooth Low Energy löytyy suurimmasta osasta uusista mobiililaitteista ja jopa älykelloista. Tällä hetkellä Casambi on markkinoiden johtava langaton valaistusohjausjärjestelmä, joka pohjautuu Bluetooth Low Energyyn. (Casambi Technologies Oy, 2020)

Internetiä ei vaadita ohjausjärjestelmän normaalikäyttöön, vain käyttöliittymä asetusten lähettämiseen ja palauttamiseen pilvipalvelusta. Muulloin laitteet muodostavat keskenään verkon, jossa jokainen laite voi kommunikoida toistensa kanssa suoraan. Casambi-järjestelmässä valaistusta voidaan ohjata perinteisillä kytkimillä, painikkeilla, Casambin omalla sovelluksella tai vaikka Casambin Xpress-kytkimellä (kuva 9). (Casambi Technologies Oy, 2020)

Casambi-sovellus on yhteensopiva iOS- ja Android-laitteiden kanssa. Sovelluksessa voidaan ohjata yhtä tai useampaa valaisinta kerrallaan. Yksinkertaisesti painamalla valaisimen kuvaketta sovelluksessa ja kirkkauden säätö toimii liukusäätönä sivulta toiselle. Myös valon värilämpötilan säätö ja värin vaihto onnistuu. (Casambi Technologies Oy, 2020)

Xpress-kytkin toimii paristolla, jonka arvioitu käyttöikä on 2-5 vuotta riippuen käytön määrästä. Kytkimen tärkeimmät ominaisuudet ovat 4 kappaletta painikkeita, joilla saadaan kyseenomaiselle painikkeelle ohjelmoidut valaisimet päälle ja pois, sekä muiden painikkeiden avulla säädettyä näiden valaisimien tai valaistusryhmien värilämpötilaa ja kirkkautta. Lisäksi kytkimestä löytyy muitakin ominaisuuksia, kuten kirkkauden säätö suoraan maksimiin tai minimiin. (Casambi Technologies Oy, 2020)



KUVA 9 Casambi Xpress-kytkin (Casambi Technologies Oy, 2020)

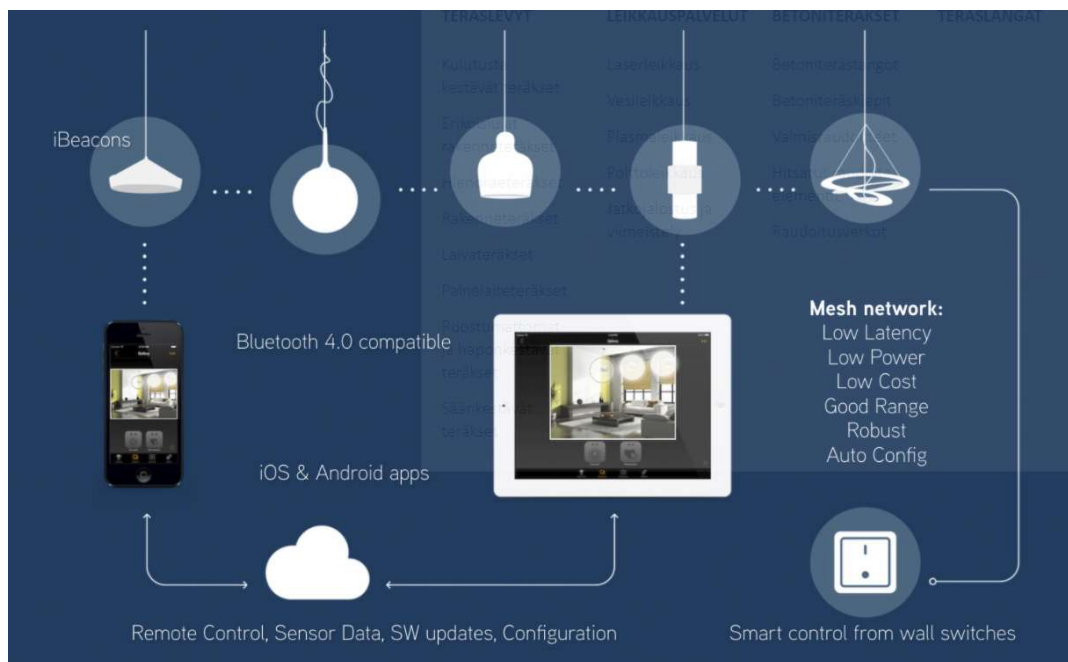
4.3.1 Järjestelmän rakenne ja kaapelointi

Casambin etu muihin, niin perinteiseen, kuin väyläpohjaisiin valaistusohjauksjärjestelmiin on langattomuus, mutta tietenkin valaisimet ja jotkin toimilaitteet tarvitsevat suoran sähkönsyötön toimiakseen. Langattomuus muodostuu toimilaitteen ja valaisimen välille, jossa tiedonsiirto tapahtuu BLE:n kautta. Järjestelmän laitteet muodostavat langattoman Mesh-lähiverkon BLE:n kautta, jonka suurimpia etuja ovat

- vähäinen viive
- pieni energian kulutus
- pienet kustannukset
- hyvä langaton kantama
- toimintavarma
- automaattinen konfigurointi.

(Oy Flinkenberg Ab, 2020)

Verkon toimintavarmuus perustuu siinä muodostuviin solmupisteisiin, joissa järjestelmän älyresurssit toisinnetaan, jottei yhden laitteen vikaantuessa koko järjestelmä kaadu. Casambi-järjestelmän periaate on esitettyä kaaviossa 1. (Oy Flinkenberg Ab, 2020)



KAAVIO 1 Casambi-järjestelmän periaate (Oy Flinkenberg Ab, 2020)

5 JÄRJESTELMIEN ASENNUSTEKNISET EROT

Asennusteknisesti langaton järjestelmä vaatii vertailtavista ohjausjärjestelmistä vähiten kaapelointia, kuten sanasta langaton voi jo päätellä. Tilakohtainen valaistuskäpelointi toteutetaan Casambissa tuomalla luokkatilan kattoon ryhmän syöttökäpeli, joka ketjutetaan valaisimelta toiselle tai haaroitetaan jakorasiassa. Liitteessä 4 on havainnollistettu Casambi-järjestelmän kaapelointi, mistä myös nähdään, ettei Casambin kytkin tarvitse kaapelointia ollenkaan. Liitteitä 1-4 verrattaessa suurimpana erona huomataan, että KNX kaapelointi painikkeelle on erilaista kaapeliä kuin muissa järjestelmissä. KNX-väyläkäpeli tulee käytännössä joko viereisestä tilasta tai keskukselta. DALI-reititinjärjestelmän väyläkäpelointi voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla. Väylä voidaan tuoda tilaan yhdellä kaapelilla kuten kuvassa 6, tai kahdella erillisellä kaapelilla. Jälkimmäinen vaihtoehto lienee suurissa kohteissa suositumpi, jolloin väyläkäpelinä toimii esimerkiksi MMJ 2x1,5 S

Kaapelointisäästöjä tilakohtaisesti Casambin kohdalla saadaan noin 7 metriä riippuen tilasta, tämä kaapelointimatka on arvioitu tilan jakorasialta kytkimelle. Langattomana järjestelmänä kaapelointisäästöjä saadaan myös väyläkaapeloinnin pois jäämisen ansiosta. Verrattuna muihin järjestelmiin kaikki tietoliikenne tapahtuu langattomasti. KNX taasen eroaa muista järjestelmistä kaapeloinnin puolesta siinä, että väyläkaapeliä ei voida tuoda tavallisessa asennuskäpeliä, missä voitaisiin tuoda DALI:n tavoin valaisimien syöttö ja väylä samassa kaapelissa keskukselta. KNX/DALI-väyläyhdistelmässä luokkatilaan joudutaan tuomaan kaksi väylää, painiketta varten KNX- ja valaisimia varten DALI-väylä.

6 KOHDE

Tila, jossa järjestelmiä vertailtiin, oli Granlund Kuopion suunnittelemassa elinkaarikoulussa. Kohde oli noin 45 m² opetustila, johon oli suunniteltuna DALI-reititinjärjestelmä. Vertailua varten jokaisesta järjestelmästä tehtiin oma tasopiirustus havainnollistamaan järjestelmien rakennetta. Suurin osa rakennuksen tiloista oli ikkunallisia opetustiloja ja tästä syystä vakiovalo-ohjauksen huomiointi oli olennaista, vaikka vertailu tilaksi valikoitui ikkunaton luokkahuone. Vertailua laajennettaessa saataisiin merkittäviä energiasäästöjä ko. ohjauksella.

Elinkaarikoulun oikeassa suunnitteluvaiheessa opetustiloihin on tehty DIALux-valaistuslaskelmat ja näin ollen vertailua varten pyrittiin valitsemaan mahdollisimman samanlaiset valaisimet. Näin säästettiin uuden valaistuslaskelman teolta. Tilassa on yksi tai kaksi läsnäolotunnistinta riippuen järjestelmä kohtaisen tunnistimen tunnistusalueesta, yhdeksän alakattorunkoon asennettavaa moduulivalaisinta sekä tarvittavat painikkeet, joista opettaja voi säätää valaistusta tarpeen mukaiseksi. Mahdollisten mobiilisovellusten käyttöä ei kohteessa erikseen otettu huomioon.

7 ELINKAARIKUSTANNUKSET

Tässä luvussa avataan itse elinkaarilaskennan tuloksia ja pohditaan, mikä olisi kustannusten näkökannalta paras vaihtoehto elinkaarikoulun valaistusohjausjärjestelmäksi. Laskenta toteutettiin Granlundin excel-pohjaisella elinkaarikustannuslaskentaohjelmistolla. Taulukoihin syötettiin tukkureilta saatuja tuotteiden hintoja, sekä arvioituja asennuskustannuksia. Kaapelointikustannuksia arvioitiin karkeasti luokkatilan sisäisistä kaapeloinneista, mutta keskukselta luokkatilaan tulevaa kaapelointia ei huomioitu laskennassa. KNX- ja DALI- järjestelmiin sisältyy kalliita keskuskomponentteja, joten ne pyrittiin huomioimaan mahdollisimman tarkasti tilakohtaisesti. Esimerkiksi yksi DALI-reititin on arvioitu laskennassa kattavan 12 luokkatilaa, perustuen valaisimien, painikkeiden ja tunnistimien määrään. Näin ollen reitittimen hinta on jaettu useammalle tilalle, kuten myös suurin osa KNX-järjestelmän keskuskomponenteista.

7.1 Komponentit

Vertailtavaksi valaisimeksi valittiin sama moduulivalaisin kahdella eri liitäntälaitteella, DALI ja Casambi. Malliksi valikoitui valaisinvalmistaja Airamín Plata 40 W. Muutoin järjestelmien komponentit poikkesivat täysin. Hintataulukoissa, taulukot 1-4, on lueteltuna vertailun järjestelmäkohtaiset tarvikkehinnat, sekä yhteenlaskettu investointikustannus. Komponenteiksi pyrittiin DALI-järjestelmästä valitsemaan Granlund Kuopion yleisimmin suunnitelmissa käyttämät komponentit, sekä muista järjestelmistä vertailukelpoisimmat. Kelpoisuutta määrittivät hintojen saatavuus, hintahaarukan keskiarvokustannus, sekä valmistaja, jotta tarvikkeet olisivat yhtenäisen näköiset, sekä mahdollisimman hyvin yhteensopivat.

7.2 Investointi

Laskelmassa investointikustannukset muodostuvat sähkötarvikkeiden, sekä asennustyön hinnasta. Asennustyöt on huomioitu painikekaapeloinnin, tunnistimien asennusten, sekä tarvittaessa ohjelmoinnin osalta. Muita asennustöihin liittyviä kustannuksia ei vertailtu, koska niissä ei merkittäviä eroja synny. Esimerkiksi järjestelmissä valaisimien välinen kaapelointi on hyvin lähelle samanhintainen kaikissa. Ainoana poikkeuksena valaisinkaapeloinnissa on Casambi-järjestelmä, jossa kaapelointi tapahtuu MMJ 3x1,5 S ja muissa MMJ 5x1,5 S asennuskaapelilla.

TAULUKKO 1. Paikallisen DALI-järjestelmän investointitaulukko

Paikallinen DALI-järjestelmä			
Tarvike	Hinta	Määrä (kpl)	Yhteensä
Valaisin	104,40 €	9	939,60 €
Painike	12,12 €	2	24,24 €
Tunnistin vakiovalo	249,60 €	1	249,60 €
Asennustyöt	55,00 €	1	55,00 €
			1 268,44 €

Taulukosta 1 huomataan, että kallein komponentti paikallisessa DALI:ssa on läsnäolotunnistin, kun toisaalta muut komponentit ovat hyvinkin edullisia verrattuna muiden järjestelmien komponentteihin.

TAULUKKO 2. DALI-reititinjärjestelmän investointitaulukko

DALI-reititinjärjestelmä			
Tarvike	Hinta	Määrä (kpl)	Yhteensä
Valaisin	104,40 €	9	939,60 €
Painike	160,44 €	1	160,44 €
Tunnistin vakiovalo	94,92 €	1	94,92 €
Tunnistin	129,36 €	1	129,36 €
Reititin	1 194,00 €	0,08	99,50 €
Asennustyöt	130,00 €	1	130,00 €
			1 553,82 €

DALI-reititinjärjestelmän komponenttikohtaisista hinnoista ylivoimaisesti kallein on järjestelmän reititin, mutta tämä on huomioitu tilakohtaisesti. Koska kyseisessä reitittimessä on kaksi DALI-väylää, on siihen arvioitu voitavan liittää yhteensä 12 opetustilan valaistus. Samaa tilamäärää on käytetty myös KNX/DALI-järjestelmän keskuskomponenttien hintoja laskiessa tilakohtaisiksi taulukossa 3.

TAULUKKO 3. KNX/DALI-järjestelmän investointitaulukko

KNX + DALI			
Tarvike	Hinta	Määrä (kpl)	Yhteensä
Valaisin	104,40 €	9	939,60 €
Painike	177,30 €	1	177,30 €
Tunnistin vakiovalo	197,10 €	1	197,10 €
Virtaläh.	293,40 €	0,08	23,47 €
Gateway	530,10 €	0,08	42,41 €
Asennustyöt	105,00 €	1	105,00 €
			1 484,88 €

KNX/DALI-järjestelmän hintaa nostaa useampi keskuskomponentti ja huomattavan kallis painike, sekä tunnistin. Kuten edellä mainittiin keskuskomponenttien hinnat kuitenkin jakautuvat useammalle tilalle ja näin ollen järjestelmä ei kokonaishinnaltaan ole poikkeavan kallis muihin verrattuna.

TAULUKKO 4. Casambi-järjestelmän investointitaulukko

Casambi-järjestelmä			
Tarvike	Hinta	Määrä (kpl)	Yhteensä
Valaisin	157,80 €	9	1 420,20 €
Painike	151,20 €	1	151,20 €
Tunnistin vakiovalo	154,80 €	1	154,80 €
Asennustyöt	25,00 €	1	25,00 €
			1 751,20 €

Casambin investointikustannukset nousivat kaikista korkeimmiksi, mutta tähän on mahdollisesti tulossa muutosta lähitulevaisuudessa, jos järjestelmän käyttö alkaa lisääntymään Suomen markkinoilla. Kyseessä kuitenkin on melko uusi valaistusohjauksjärjestelmä.

Investointikustannusten osalta paikallinen DALI-järjestelmä on muita huomattavasti halvempi jo yhden luokkatilan osalta ja näin ollen suuressa koulukohteessa se tulee monin verroin halvemmaksi kuin muut järjestelmät. Kuitenkaan teknisesti koko koulurakennuksen valaistusta ei voida toteuttaa pelkästään sillä, koska suurempiin tiloihin vaaditaan enemmän ohjaustilanteita ja -tapoja mitä kyseenomaisella järjestelmällä voidaan toteuttaa. Tämän lisäksi väylävirta ja väylän maksimi osoitemäärä tulevat nopeasti vastaan rajoittavina tekijöinä.

7.3 Sähköenergia

Tutkimuksessa sähköenergian käyttömäärä pysyy samana järjestelmän vaihtuessa, koska valaisin tyyppi on sama ja kolmessa ensimmäisessä vaihtoehdossa valaisimen liitäntälaittekin on täsmälleen sama. Ainut komponentti, joka voisi vaikuttaa energiakustannuksiin eroavasti, on Casambi-järjestelmässä käytettävä erilainen liitäntälaitte. Muissa järjestelmissä on keskenään samanlainen DALI-liitäntälaitte. Kuitenkin valaisimissa itse liitäntälaitte käyttää niin pienen määrän sähköenergiaa, ettei sen vertailu ole olennaista tässä tarkoituksessa.

Sähköenergiaa vertailtaessa määritettiin laskentatyökaluun rakennuksen vuosittaiseksi käyntiajaksi 1000 tuntia, rakennuksen pitoajaksi aikaisemmin mainittu 20 vuotta ja sähköenergian hinta-arvioksi 10 senttiä per kilowattitunti. Vertailussa käytetyn LED-moduulivalaisimen teho oli 40 W ja niitä oli kohdetilassa 9 kappaletta. Näillä tiedoilla vuotuisesti sähköenergiaksi saatiin laskurista 360 kWh, kaavalla 1.

$$lkm * P * h = E$$

(1)

lkm = valaisimien lukumäärä

P = yhden valaisimen sähköteho

h = arvioitu vuotuinen käyntiaika

E = vuotuinen sähköenergian määrä

7.4 Kunnossapito

Kunnossapitokustannukset lasketaan sen oletuksen pohjalta, että järjestelmä saneerataan kokonaan kerran palvelujakson aikana, ennen kuin elinkaarikohde luovutetaan. Kohteella tulee olla elinkaarta jäljellä vähintään 10 vuotta sen luovutuksen jälkeen. Sillä, että järjestelmä saneerataan esimerkiksi laskelmissa käytetyn 15 vuoden jälkeen kohteen valmistumisesta, palvelun tuottaja ehtii saada hyödyn esimerkiksi energiatehokkaammista valaisimista.

Järjestelmien kunnossapidon nykyarvo on laskettu järjestelmäkohtaisesti investointikustannukset kerrottuna kunnossapidon diskonttaustekijällä. Sen arvoksi laskentatyökalussa on määritetty 0,642 15 vuoden päähän uudisrakentamisen ajankohdasta.

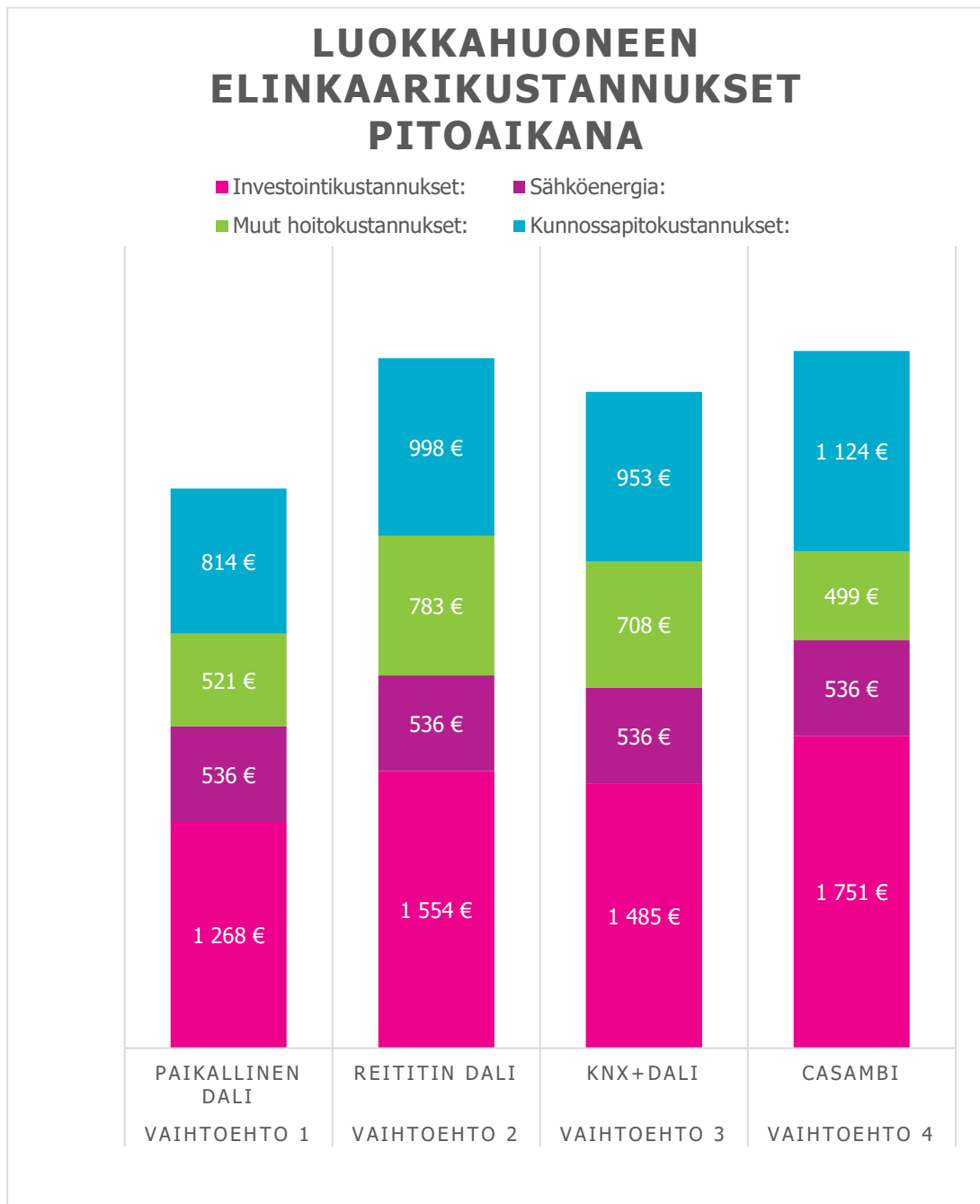
7.5 Muut hoitokustannukset

Muut hoitokustannukset muodostuvat yksittäisten vikaantuvien valaisimien, liiketunnistimien ja painikkeiden vaihdosta ja hankinnasta, sekä tarvittaessa komponenttien ja järjestelmän uudelleen ohjelmoinnista. Kaikkia järjestelmiä ei tarvitse ohjelmoida uudestaan; joitain komponentteja vaihdettaessa tämä voidaan toteuttaa mobiiliapplikaation avulla langattomasti asentajan tai käyttäjän itsensä toimesta. Tietokonepohjaisella ohjelmointityökalulla tehtävä ohjelmointi on otettu huomioon hoitokustannuksissa.

7.6 Tulokset

Yhteenvetokaaviosta (kaavio 2) nähdään, että kokonaisuudessaan halvimmaksi järjestelmäksi osoittautui paikallinen DALI-järjestelmä. Kuitenkin tulee muistaa, että tämä järjestelmä ei sovellu suurien tilojen, kuten esimerkiksi liikuntasalin valaistusohtausjärjestelmäksi. DALI-väylän rajoittavat tekijät tulevat esteeksi paikallisen DALI:n käyttämisessä suurissa tiloissa, joissa myös yleensä tarvitaan monimutkaisempaa ohjausta. Tällöin luonnolliselta tuntuisi käyttää DALI-reititinjärjestelmää toisena rakennuksen valaistusohtausjärjestelmänä. KNX-järjestelmä voisi olla toisena mahdollisena järjestelmänä DALI:n reititinversion sijaan, jolloin voisi kuvitella saatavan järjestelmästä mahdollisimman edullinen, mutta tarkempaa tarkastelua tästä tulisi silloin tehdä.

KNX/DALI-väylämuunnos vaikutti työvaiheen aikaan todella kalliilta vaihtoehdolta, mutta vähäisen KNX-tuntemuksen takia se vain vaati enemmän tutkimista ja asiaan perehtymistä. Näin ollen väylämuunnos kuitenkin osoittautui toiseksi edullisimmaksi ratkaisuksi. Väylämuunnoksissa toki on riskinä väylämuuntimen kohdalla, jos se komponentti lakkaa toimimasta, ei tällöin kaksi eri väylää enää toimi yhteen, vaikka kaikki muut komponentit olisivat täysin toimivia. KNX-järjestelmässä olisi kuitenkin etuna valaistuksen parempi yhdistettävyyys rakennusautomaatioon ja sillä ylipäätään voitaisiin toteuttaa koko kiinteistön rakennusautomaatio. Tällä hetkellä kuitenkin elinkaarikoulujen kokonaisissa kohteissa rakennusautomaatio toteutetaan lähes aina valvonta-alakeskuksilla perinteisen rakennusautomaation tapaan.



KAAVIO 2. Elinkaarikustannusten yhteenvetodiagrammi

Taulukosta 5 nähdään, ettei DALI-reititinjärjestelmä jää enää kauaksi Casambin kokonaiskustannuksista. Tällä hetkellä näistä kahdesta kuitenkin DALI on uudisrakennuksiin kannattavampi ratkaisu, koska se on huomattavasti käytetympi ja useammalta laitevalmistajalta on saatavissa DALI-komponentteja kuin Casambi-järjestelmään kuuluvia. Hoitokustannuksiltaan edullisin Casambi järjestelmä osoittautui kuitenkin kalleimmaksi pääsääntöisesti sen takia, koska järjestelmän komponentit, lähinnä valaisimet, ovat huomattavasti muissa järjestelmissä käytettyjä DALI-valaisimia kalliimpia. Sen takia Casambin investointi ja kunnossapitokustannukset nousivat muita järjestelmiä korkeammaksi.

TAULUKKO 5. Elinkaarikustannusten yhteenvetotaulukko

Elinkaarikustannukset pitoaikana, nykyarvo	Vaihtoehto 1 Paikallinen DALI	Vaihtoehto 2 Reititin DALI	Vaihtoehto 3 KNX+DALI	Vaihtoehto 4 Casambi
Investointikustannukset:	1 268 €	1 554 €	1 485 €	1 751 €
Sähköenergia:	536 €	536 €	536 €	536 €
Muut hoitokustannukset:	521 €	783 €	708 €	499 €
Kunnossapitokustannukset:	814 €	998 €	953 €	1 124 €
Yhteensä	3 139 €	3 871 €	3 682 €	3 910 €

Laskelman tuloksia vertailtaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon, ettei siinä ole käsitelty keskuksen ja luokkatilan välistä kaapelointimatkaa, koska sen arviointi olisi hyvin vaikeaa. Matka voi olla huomattavankin pitkä, tai keskus voi olla luokkahuoneen seinän toisella puolella. Tämä kaapelointimatka toki vaikuttaa vain investointikustannuksiin ja näin ollen ei merkittävästi elinkaarilaskennan kokonaissummaan.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää eri valaistushausjärjestelmien investointi-, sähköenergia-, kunnossapito-, sekä hoitokustannuksia ja vertailla niitä, sekä järjestelmiä koulukohteessa. Kohteena toimi Granlund Kuopio Oy:n suunnittelema elinkaarikoulu. Lisäksi tehtiin jokaisesta järjestelmästä oma tasopiirustus havainnollistamaan järjestelmien eroja.

Työn tuloksena saatiin Granlundin elinkaarilaskentatyökalulla tuotettu yhteenvetodiagrammi ja taulukko edellä mainituista kustannuksista. Paikallinen DALI-järjestelmä osoittautui edullisimmaksi versioksi kaikilla kustannuksien osa-alueilla, mutta järjestelmänä sitä ei pystytä käyttämään kaikissa koulurakennuksen tiloissa, joskin lähes kaikkiin tavanomaisiin luokkatiloihin se soveltuu.

Granlund Kuopio Oy on suunnitellut viimeisimpiin elinkaarikoulu kohteisiinsa valaistushaukseen pääsääntöisesti paikallista DALI-järjestelmää ja sen rinnalle DALI:n reititinversiota. Laskelmat osoittivat, että he ovat valinneet kannattavan ratkaisun niihin kohteisiin, joissa valtaosaan luokkatiloista tuli paikallinen DALI. Lopputulosta Granlundin suunnittelijat voivat jatkossa käyttää suunnitellessaan uusia elinkaarirakentamisen kohteita. Tarvittaessa investointikustannuksen määrää muuttamalla saadaan uudet laskemat ja näin ollen hintojen muuttuessa laskema on helppo toteuttaa uudestaan.

Opinnäytetyö on ollut opettava ja hyvin haastava kokonaisuus, jonka kautta on perehdytty tarkemmin valaistushausten suunnitteluun ja valaistushausjärjestelmiin. Monimutkaisesta laskentatyökalusta huolimatta työ onnistui hyvin ja sillä saatiin odotettuja tuloksia, joskin KNX/DALI-järjestelmä osoittautui odotettua edullisemmaksi vaihtoehdoksi. Jatkotutkimuksena opinnäytetyölle voisi toteuttaa tarkemman tutkimuksen siitä, miten hyvin väylämuunnokset toimivat ja kuinka luotettavia ne nykyään ovat. Sitä kautta voisi tutkia myös sitä, olisiko elinkaarikoulun valaistushaus järkevää suunnitella käyttäen paikallisen DALI:n rinnalla KNX/DALI-väylämuunnosta.

Tutkimusta ja laskelmaa voisi kehittää tarkkailemalla kustannuksia kaapeloinnin osalta keskuksesta luokkatilaan, jolloin saataisiin entistä tarkemmat kustannusarvot. Tulevaisuudessa langattomat järjestelmät varmasti yleistyvät ja niitä tulee yhä useampia avoimia järjestelmiä, tällöin oletettavasti langattomat järjestelmät tulevat entistä edullisemmiksi. Tämä tarkoittaa, että tutkimus kannattaisi toteuttaa silloin uudestaan, jotta kustannuksissa pysyttäisiin ajan tasalla, koska esimerkiksi viiden vuoden kuluttua järjestelmien hinnat ovat varmasti muuttuneet uusien ja uudistuneiden järjestelmien takia.

9 LÄHDELUETTELO

ABB Oy. (2020). *Asennustuotteet: Valonsäätimet*. Haettu 30.8.2020 osoitteesta

http://www.asennustuotteet.fi/catalog/16005/Valons%C3%A4%C3%A4timet_FIN1.html

Casambi Technologies Oy. (2020). *Ecosystem: Casambi Xpress*. Haettu 7.9.2020 osoitteesta Casambi:

<https://casambi.com/ecosystem/xpress/>

Casambi Technologies Oy. (2020). *The Cornerstones of the Casambi Solution: Casambi*. Haettu 6.9.2020

osoitteesta <https://casambi.com/about-us/>

Casambi Technologies Oy. (2020). *User Interfaces: Casambi*. Haettu 28.4.2020 osoitteesta

<https://casambi.com/user-interfaces.html>

Digital Illumination Interface Alliance. (2020). *Introducing DALI: Digital Illumination Interface Alliance*. Haettu

28.4.2020 osoitteesta <https://www.digitalilluminationinterface.org/dali/>

Digital Illumination Interface Alliance. (2020). *Product database: Digital Illumination Interface Alliance*. Haettu

17.6.2020 osoitteesta

https://www.digitalilluminationinterface.org/products?Default_submitted=1&brand_id=&part_number=&product_name=&family_products%5B%5D=&product_id=>in=&Default-submit=Search

Glamox Oy. (2020). *DALI: Glamox Oy*. Haettu 28.4.2020 osoitteesta <https://glamox.com/fi/dali>

Helvar Oy. (2020). *Case Studies: Helvar Oy*. Haettu 27.4.2020 osoitteesta Helvar Oy: [https://helvar.com/wp-](https://helvar.com/wp-content/uploads/case_studies/2047/pdf/Trust-Tower-WTC_DATASHEET_EN.pdf)

[content/uploads/case_studies/2047/pdf/Trust-Tower-WTC_DATASHEET_EN.pdf](https://helvar.com/wp-content/uploads/case_studies/2047/pdf/Trust-Tower-WTC_DATASHEET_EN.pdf)

Helvar Oy. (2020). *Tuotteet: 910 Reititin*. Haettu 12.7.2020 osoitteesta <https://helvar.com/fi/product/910-router/>

Härkönen, K.;& Liedes, R. (2019). *ST-käsikirja 23: KNX-järjestelmän perusteet*. Espoo: Sähkötieto ry. Haettu

30.8.2020

KNX Finland Ry. (2020). *Kansainvälinen KNX-standardi: KNX Finland Ry*. Haettu 28.4.2020 osoitteesta

<http://www.knx.fi/index.php?k=224571>

KNX Finland Ry. (2020). *KNX - ratkaisusi nykyaikaiseen rakentamiseen ja ohjauksiin*. Haettu 17.6.2020 osoitteesta

<http://www.knx.fi/index.php>

KNX Finland Ry. (2020). *Muunneltava järjestelmä: KNX Finland Ry*. Haettu 28.4.2020 osoitteesta

<http://www.knx.fi/index.php?k=220442>

Kuntarahoitus Oyj. (5.9.2018). *Elinkaarimallin ABC – Osa 1: Mikä on elinkaarimalli?* (J. Paananen, Toim.) Haettu 14.8.2020 osoitteesta <https://www.kuntarahoitus.fi/ajankohtaista/elinkaarimallin-abc-osa-1-mika-on-elinkaarimalli/>

Motiva Oy. (2019). *Valaistuksen ohjaus*. Haettu 30.8.2020 osoitteesta Energiatehokas valaistus: <https://valaistustieto.fi/energiatehokas-valaistus/valaistuksen-ohjaus/>

Oy Flinkenberg Ab. (2020). *Casambi valaistuksen ohjausjärjestelmä*. Haettu 7.9.2020 osoitteesta <https://www.flinkenberg.fi/energy/casambi/>

Oy Nylund-Group Ab. (2020). *DALI-läsnäolotunnistimet: PD4-M-TRIO-2DALI-1C*. Haettu 18.9.2020 osoitteesta <https://nylund.fi/tuotteet/valaistuksen-ohjaus/dali-lasnaolotunnistimet/pd4-m-trio-2dali-1c/>

Rakennusteollisuus RT ry. (2020). *Elinkeinoasiat: Elinkaarimallit*. Haettu 23.7.2020 osoitteesta <https://www.rakennusteollisuus.fi/Rakennusteollisuus-RT/Elinkeinoasiat/Elinkaarimallit/>

Sandström, L. (18.10.2017). Älykäs sähköverkko kiinteistöissä -webinaari. *KNX-taloautomaatiojärjestelmä*. ABB Oy. Haettu 30.8.2020

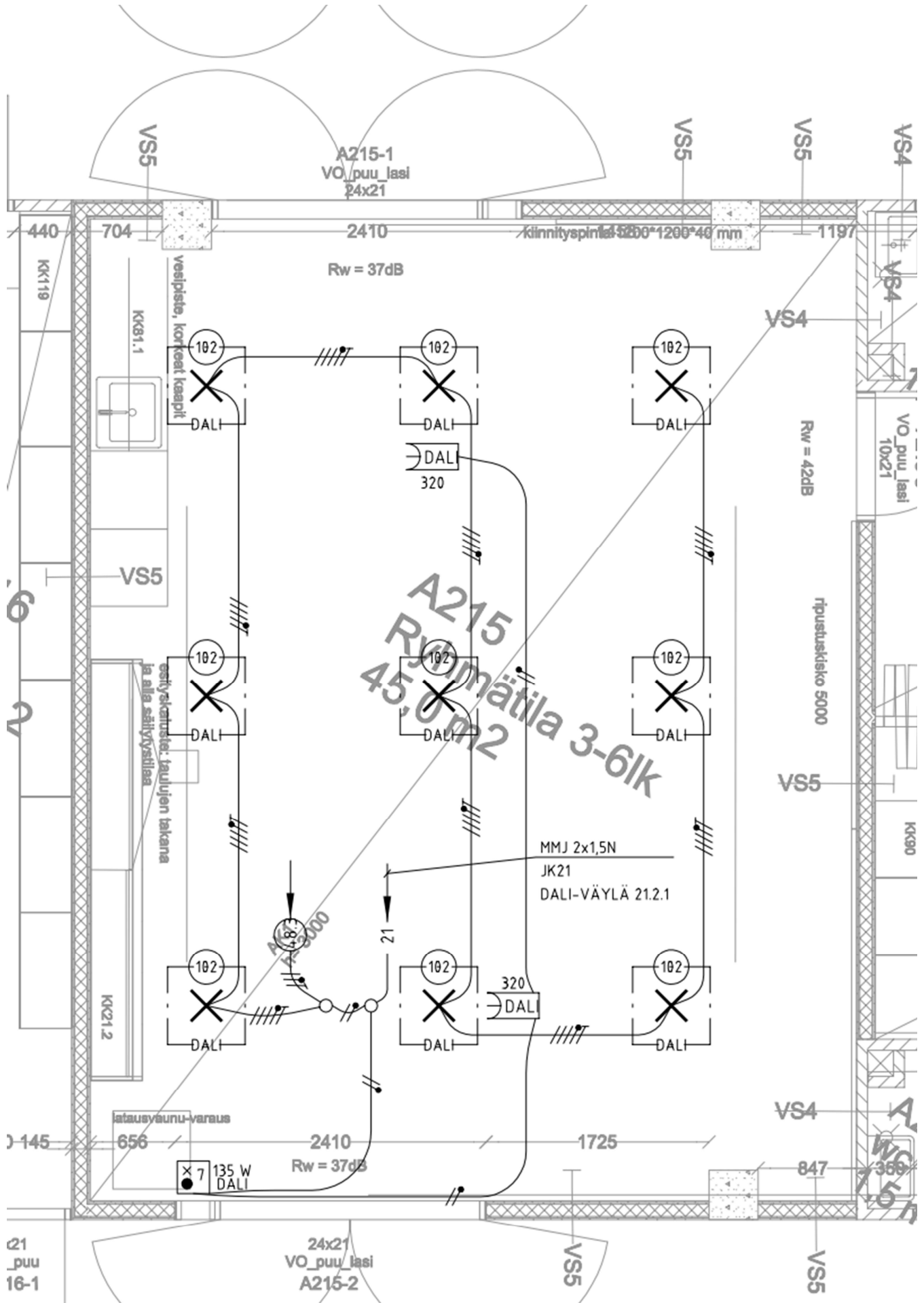
Suomen Standardisoimisliitto SFS. (10.10.2011). Osa 1: sisätilojen työkohteiden valaistus. *Valo ja valaistus, Työkohdeifen valaistus, 2., 10, 60*. Haettu 29.8.2020

Sähköinfo Oy. (15.6.2017). ST 58.16. *Opetustilojen valaistus, 2-7*. Espoo: Sähkötieto Ry. Haettu 29.8.2020

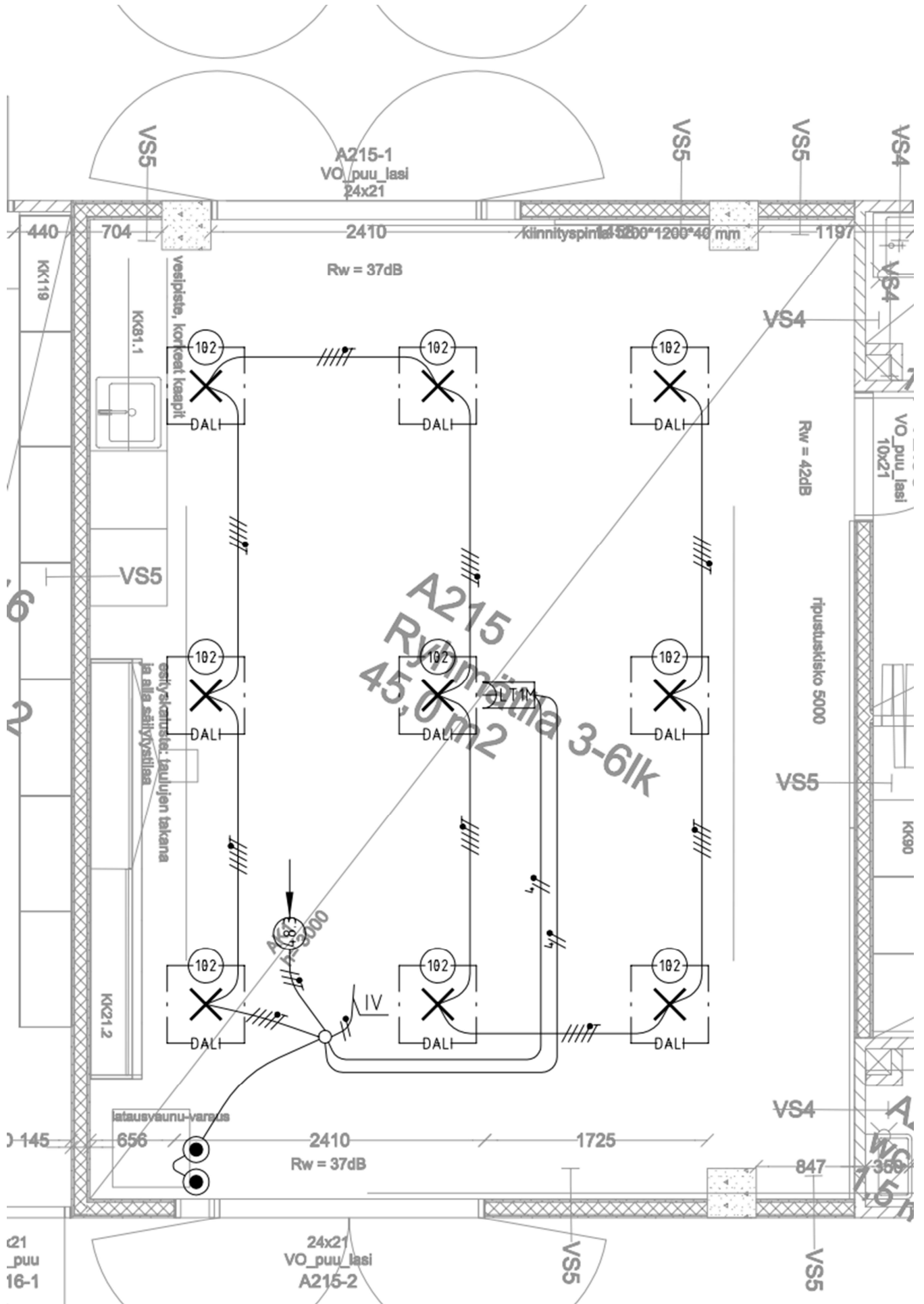
Tridonic GmbH & Co KG. (7/2018). DALI. *Comparison between DALI & DALI-2*. Haettu 28.4.2020 osoitteesta https://www.tridonic.com/com/en/download/technical/DALI-Comparison-between-DALI-and-DALI-2_en.pdf

Tridonic GmbH & Co KG. (3/2020). DALI Manual. Haettu 1.9.2020 osoitteesta https://www.tridonic.it/it/download/technical/DALI-manual_en.pdf

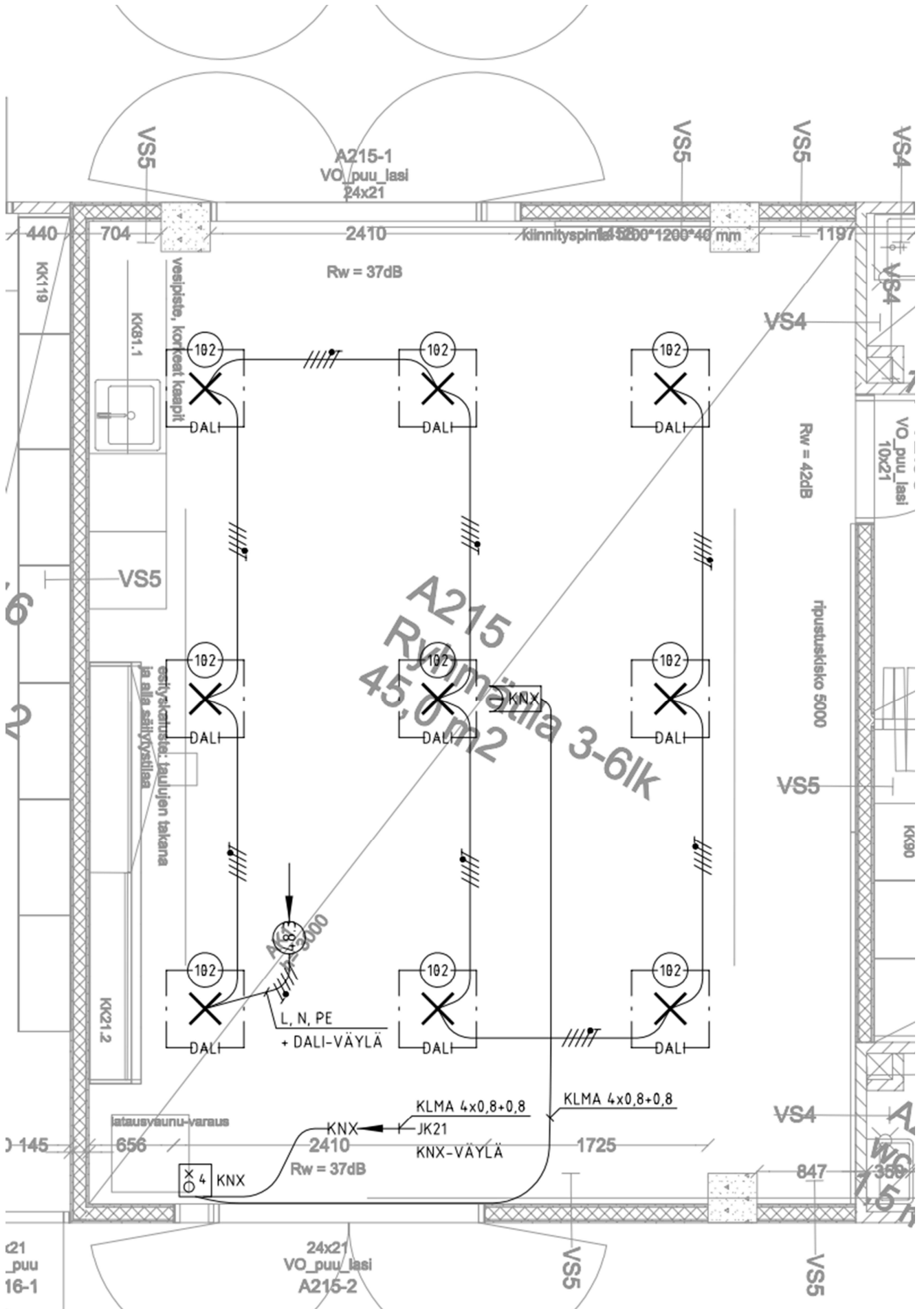
LIITE 1: DALI REITITINJÄRJESTELMÄN TASOPIIRUSTUS



LIITE 2: PAIKALLISEN DALIN TASOPIIRUSTUS



LIITE 3: KNX+DALI TASOPIIRUSTUS



LIITE 4: CASAMBI TASOPIIRUSTUS

