



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Janne Sironen

PERUSKORJATUN KIINTEISTÖN
SÄHKÖSUUNNITTELU KNX-DALI-
VALAISTUKSEN OHJAUKSELLA

Tekniikka
2020

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Janne Sironen
Opinnäytetyön nimi	Peruskorjatun kiinteistön sähkösuunnittelu KNX-DALI-valaistuksenohjauksella
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	59 + 4 liitettä
Ohjaaja	Timo Männistö

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä sähkösuunnitelmat kiinteistöön, jossa suoritetaan peruskorjaus. Kiinteistössä sijaitsee toimisto- ja neuvottelutiloja, joihin haettiin muuntojoustavuutta. Kiinteistön valaistuksenohjaukseen käytettiin DALI-valaisimia sekä KNX-järjestelmää. Opinnäytetyön aihe valikoitui omasta kiinnostuksesta valaistuksenohjaukseen, ja tähän sopiva projekti oli suunnitteilla. Opinnäytetyö tehtiin Granlund Pohjanmaa Oy:lle.

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin tutustumalla julkaisuihin toimistojen valaistuksesta sekä DALI-järjestelmän perusteista. Opinnäytetyössä tutkittiin myös DALI2-standardia ja ihmiskeskeistä valaistusta. Tämän jälkeen käytiin KNX-järjestelmän rakennetta, tiedonsiirtoa, suunnittelun eri vaiheita sekä dokumentteja läpi. Lopuksi esitellään KNX-järjestelmän ohjelmointiin ja käyttöönottoon käytettävää ETS-sovellusta. Suunnitelmat tehtiin MagiCAD 2019 -sovelluksella.

Opinnäytetyön tuloksena kohteeseen saatiin suunniteltua tasopiirustukset, keskuskaaviot sekä järjestelmäkaavio, joiden avulla urakoitsija pystyy toteuttamaan asennukset. Kiinteistön tiloihin saavutettiin hyvä muuntojoustavuus väyläpohjaisella valaistuksenohjausjärjestelmällä ja langattomilla tuotteilla. Laaja teoriapohja antoi hyvän lähtökohdan suunnittelulle sekä tuleville projekteille.

ABSTRACT

Author	Janne Sironen
Title	Electrical Planning with KNX-DALI Lighting Control for a Renovated Property
Year	2020
Language	Finnish
Pages	59 + 4 Appendices
Name of Supervisor	Timo Männistö

The purpose of the thesis was to make electrical plans for a renovated property. The property has an office and conference facilities. The objective was to achieve a good conversion flexibility in the facilities. The lighting control system was the DALI - digital addressable lighting interface and the KNX system. The topic of the thesis was selected due to my own interest in lighting control system. The thesis was done for Granlund Pohjanmaa Oy.

The thesis was started by studying the relevant publications on office lighting and the basics of DALI. In addition, the research of the subject was DALI2-standard and human centric lighting. The next phase was to get familiar with the KNX- system and programming in ETS. The electrical drawings were done with MagiCAD 2019.

The results of this thesis were electrical plans including floor plans, switchboard schematics and system diagram. With the help of a bus-based lighting control system and wireless products, good conversion flexibility was achieved for the property. The electrical plans allow the contractor to complete the installations. The broad theoretical basis provided a good starting point for planning as well as upcoming projects.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄYTETYT LYHENTEET

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

LIITELUETTELO

1	JOHDANTO	10
2	GRANLUND OY	11
3	VALAISTUS TOIMISTOISSA	12
	3.1 Valaistuksen säätö.....	12
	3.2 Valaistuksen peruskäsitteitä ja raja-arvoja.....	13
4	DALI-VALAISTUKSENOHJAUS	15
	4.1 Järjestelmän rakenne	15
	4.2 DALI-standardi	17
	4.3 Datan siirto.....	19
	4.4 Kaapelointi ja topologiat.....	21
	4.5 Laitteet	23
	4.6 Ihmiskeskeinen valaistus	25
	4.6.1 Värilämmön säädön tekniikka.....	27
5	KNX-JÄRJESTELMÄ	29
	5.1 Yleistä	29
	5.2 Järjestelmän rakenne	30
	5.2.1 Linja	30
	5.2.2 Alue	30
	5.2.3 Runkolinja.....	31
	5.2.4 Yksilöllinen osoite	32
	5.2.5 Väylälaitteet pää- ja runkolinjoissa.....	33
	5.2.6 Linjatoistimet	33
	5.3 Tiedonsiirto	34
	5.4 Tiedonsiirtoväylät	35
	5.4.1 Parikaapeli.....	35
	5.4.2 Ethernet	37

5.4.3	Radiotaajuus.....	39
5.4.4	Sähköverkko.....	40
5.5	KNX/DALI-rajapinta.....	41
5.6	Suunnittelu.....	42
6	KNX-OHJELMOINTI.....	46
6.1	ETS5 yleisesti.....	46
6.2	Ohjelmointi.....	46
7	KOHTEEN SUUNNITTELU.....	49
7.1	Kohteen esittely.....	49
7.2	Tasopiirustukset.....	49
7.2.1	Törmäystarkastelu.....	52
7.3	KNX-järjestelmäkaavio.....	53
7.4	Keskuskaavio.....	54
8	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	55
	LÄHTEET.....	57

LIITTEET

KÄYTETYT LYHENTEET

DALI	Digital Addressable Lighting Interface, standardisoitu digitaalinen valonohjausprotokolla.
DCA	Device Configuration App, lisäohjelma esimerkiksi DALI-käyttöön.
EIB	European Installation Bus, standardoitu asennusväylä, jota myöhemmin käytettiin KNX:n perustana.
ETS	Engineering tool software, KNX-ohjelmointisovellus.
HCL	Human Centric Lighting, ihmiskeskeinen valaistus.
IP	Internet Protocol, verkkoprotokolla.
KNX	Maailmanlaajuinen standardi kotien ja rakennusten ohjaukseen.
LVI	Lämpö, vesi, ilma.
MHz	Megahertsi, radiokanavan taajuus.
RF	Radio frequency, radiotaajuus.
RGB	Red, Green, Blue, väritila, jossa eri värejä sekoitetaan, jotta saadaan haluttu sävy.
SELV	Safety extra low voltage, jännite, joka ei ylitä pienoisjännitteen (ELV) raja-arvoja normaaliolosuhteissa mukaan luettuna maasulut toisissa piireissä.
TP	Twisted pair, kierretty parikaapeli.

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. DALI-osoitteet ja -ryhmät.	16
Kuva 2. IEC 62386 -standardin osat.	17
Kuva 3. Ensimmäinen DALI 2 -sertifioitu tuote.	18
Kuva 4. DALI-väylän jännitetasot.	20
Kuva 5. Valotason logaritminen muutos.	21
Kuva 6. DALI-johdotus.	22
Kuva 7. DALI-yhdistelmätopologia.	23
Kuva 8. DALI-järjestelmän osia.	24
Kuva 9. DALI-reititinjärjestelmä.	25
Kuva 10. Valaistusvoimakkuuden, värilämmön ja ajoituksen säätö.	27
Kuva 11. Tunable white ennen ja nyt.	28
Kuva 12. Alue, jossa 15 linjaa.	31
Kuva 13. Runkolinja, johon voidaan yhdistää enintään 15 aluetta.	32
Kuva 14. KNX-sanoman rakenne.	35
Kuva 15. KNX-kaapeli ja väyläliitin.	37
Kuva 16. KNX-topologia, jossa runkolinja on korvattu Ethernet-yleiskaapeloinnilla.	38
Kuva 17. Yksi- ja kaksisuuntaiset KNF RF -laitteet.	40
Kuva 18. KNX/DALI-rajapinta.	41
Kuva 19. Huonekortti ETS-ohjelmassa.	43
Kuva 20. Ryhmäosoitteen linkitys ryhmäobjektiin.	48
Kuva 21. Spacelynk-logiikkayksikkö ja EnOcean USB-antenni.	50
Kuva 22. Tasopiirustuksen KNX-seliteosa.	51
Kuva 23. Yhteensovitus NavisWorks-ohjelmassa.	52
Kuva 24. Laiteluettelo järjestelmäkaavion sivussa.	53
Kuva 25. KNX/DALI-rajapinta Basic REG-K/1/16/64.	54

Taulukko 1. Toimistotilojen tilakohtaisia raja-arvoja standardista SFS-EN 12464-1.	14
Taulukko 2. DALI 2:n merkittävimmät lisäominaisuudet.	18
Taulukko 3. IEC 62386 -standardin tilanne osille 301-333.	19
Taulukko 4. Kaapelin maksimipituudet eri poikkipinta-aloilla.	23

LIITELUETTELO

LIITE 1. Ote vahvavirtakuvasta

LIITE 2. Ote heikkovirtakuvasta

LIITE 3. Järjestelmäkaavio

LIITE 4. Ote keskuskaaviosta

1 JOHDANTO

Kiinteistöissä valaistuksen säädettävyydellä ja muunnettavuudella voidaan vaikuttaa niin energian kulutukseen, kustannuksiin kuin ihmisen viihtyvyyteen ja hyvinvointiin. Perinteisesti valaisimia on ohjattu seinällä olevalla kytkimellä. Jos muutoksia valaistuksen ohjaukseen on haluttu tehdä, on se vaatinut kaapeloinnin uudelleenjärjestämistä.

Väyläohjaus ja digitaaliset osoitteelliset liitäntälaitteet mahdollistavat säädettävyyden ja muutosten tekemisen ohjelmallisesti kaapelointia muuttamatta. Näin esimerkiksi toimiston muuttaminen esitystilaksi on vaivatonta. Näihin on kehitetty useita eri ratkaisuja, joista DALI ja KNX ovat käytetyimmät.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä nykyaikainen sähkösuunnitelma kiinteistöön, jossa suoritetaan peruskorjaus. Kiinteistön kerroksiin 2-4 tulee toimistoja ja neuvotteluhuoneita, joiden valaistusta ohjataan KNX-DALI-valaistuksenohjausjärjestelmällä. Kiinteistössä on myös muita tiloja, jotka rajataan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle, koska niihin ei tule valaistuksenohjausjärjestelmää. Työssä keskitytään kyseisiin järjestelmiin eikä käydä läpi muita ohjaus- tai väyläjärjestelmiä. Opinnäytetyössä saadaan kattava peruskäsitys DALI- ja KNX-järjestelmistä. Työssä kerrotaan myös KNX-ohjelmointiin ja käyttöönottoon tarkoitettusta ETS-ohjelmasta.

Suunnitelmat tehdään MagiCAD-ohjelmistolla, joka on suomalainen CAD-ohjelmisto talotekniseen suunnitteluun. LVIS-yhteensovitus- ja törmäystarkasteluun käytetään Navisworks-ohjelmaa, jolla saadaan tarkasteltua kohdetta 3D-tilassa.

2 GRANLUND OY

Granlund Oy on jatkuvasti kehittyvä kiinteistö- ja rakennusalan asiantuntijakonserni, jonka tärkein tavoite on parantaa kiinteistöjen toimivuutta, älykkyyttä ja samalla ihmisten hyvinvointia rakennetussa ympäristössä. Granlund on perustettu vuonna 1960 ja se työllistää yli 1000 työntekijää vuoden 2020 alussa. 60-vuotisjuhlaa vietetään syksyllä 2020. Talotekninen suunnittelu on toiminnan kivijalka. Granlund on markkinajohtaja esimerkiksi LVI-, sairaala- ja konesalisuunnittelussa. Toisena toimialana on ohjelmistokehitys; Granlund Manager on kotimaan johtavalla ylläpidon hallintajärjestelmä. Granlund tarjoaa myös konsultointipalveluita kiinteistö-, energia- ja ympäristöjohtamisen sekä rakentamisen toimialoilla. Neljäntenä toimialana on korjausrakentaminen. Granlundilla on 23 toimipistettä Suomessa ja emoyhtiö sijaitsee Helsingissä. /1/

Granlund Pohjanmaa Oy aloitti toimintansa Vaasassa vuonna 1972 ja siitä lähtien toiminta on laajentunut tasaisesti. Seinäjoella yritys on toiminut noin 20 vuotta ja Kokkolan toimipiste avattiin vuoden 2016 lopussa. Alavudella toimiva Insinööri-toimisto Sartekno Oy yhdistyy osaksi Granlund Pohjanmaa Oy:tä kevään 2020 aikana. Yrityskaupan myötä Granlund Pohjanmaa Oy vahvistaa talotekniikan toimijana markkina-asemaa Pohjanmaan alueella. Asiakkaina ovat alueen kunnat ja kaupungit, Senaatti-kiinteistöt, rakennusliikkeet, teollisuuden yritykset ja sairaanhoitopiirit. Palveluita ovat LVI-, sähkö- ja rakennusautomaatiosuunnittelu sekä valvonta, Kuntoarviot ja selvitykset, energiatodistukset ja -katselmukset sekä Granlund Manager. Granlund Pohjanmaa Oy työllistää 74 henkilöä, joista Vaasassa 39 henkilöä. Granlund Pohjanmaan liikevaihto vuonna 2019 oli 7,2 M€ /2, 3/

3 VALAISTUS TOIMISTOISSA

3.1 Valaistuksen säätö

Valaistuksen säädölle on monia erilaisia syitä. Valaistuksen kuluttama energia muodostaa suuren osan koko toimiston sähkönkulutuksesta, siksi siinä saavutetut säästöt elinkaaren käyttökustannuksissa voivat olla merkittävät. Esimerkiksi käytettäessä vakiovalo- ja läsnäoloantureita sekä valonlähteenä ledejä, voidaan päästä 30-70 % energiansäästöön lähtötasosta riippuen. /4,6/

Toimistoissa työskentelee eri ikäisiä ihmisiä ja kaikilla on yksilöllinen valon tarve. Tyypillisesti valon tarve on merkittävästi suurempi yli 45-vuotiailla kuin nuoremmilla. Myös näyttöpäätetyöskentely edellyttää erilaista valaistusta kuin perinteinen toimistotyö. Jotta erilaiset työtehtävät sekä yksilölliset valontarpeet voidaan huomioida, toimistoissa olisi oltava mahdollisuus yksilölliseen ja helppoon valonsäätöön. /4/ Uusimpana osa-alueena valonsäätöön on värilämpötilan säätö. Tästä kerrotaan tarkemmin kappaleessa 3.5

Työtilojen valaistusta suunniteltaessa on tärkeää ottaa huomioon työntekijän omat mieltymykset liittyen valaistusvoimakkuuteen, häikäisyn estoon, valon väriin ja värinistöön. Työtilavalistus toteutetaan yleensä yhdistämällä epäsuoraa ja suoraa valoa. Mitä vaaleammat pinnat ovat, sitä tehokkaammin valo heijastuu huoneen seinistä ja katosta. /5/

Työtilan valaistusolosuhteilla on vaikutus ihmisen suorituskykyyn ja henkiseen vireyteen. Näkeminen vaatii sitä enemmän keskittymistä, mitä heikompi valaistus on. Tämä ilmenee siten, että huonossa valaistuksessa työskentely alkaa väsyttää nopeammin kuin hyvässä valaistuksessa työskentely. Toisaalta liian kirkas valaistus voi aiheuttaa häikäisyä ja silmien väsymistä. Virheellisellä valaistuksella on vaikutuksia myös työskentelyn ergonomiaan. Häikäisevä pinta näkökentässä saattaa työntekijän huomaamatta aiheuttaa esimerkiksi virheasentoja selän ja niskan alueelle. /6/

3.2 Valaistuksen peruskäsitteitä ja raja-arvoja

Valaistusvoimakkuus on valaistusjärjestelmän tehokkuutta kuvaava suure, joka määrittelee määrätyle pinnalle kohdistuvan valon määrän pinta-alayksikköä kohden. Sen yksikkö on lux (lx). Valaistusvoimakkuus on käytetyin ja tärkein arviointikriteeri standardeissa ja valaistussuosituksissa. /6/

Luminanssi ilmaisee kohdekappaleen pinnan valotiheyden eli pinnan kirkkauden. Mitä suurempi pinnan luminanssi on, sitä kirkkaammalta pinta näyttää. Näin ollen luminanssi on valaistustekniikan ainut suoranaisesti nähtävissä oleva suure ja silmää aistii vain luminanssin. Sen yksikkö on kandela per neliömetri (cd/m^2). /6/

Häikäisy on yksi valaistuksen pahimmista epäkohdista. Häikäisyä syntyy, jos luminanssi on niin suuri, ettei silmä enää sopeudu siihen. Päivänvalo on yksi merkittävä häikäisyn aiheuttaja myös sisätiloissa. Sisätilojen kiusahäikäisyä arvioidaan tyypillisesti UGR-häikäisyindeksin (Unified Glare Rating) avulla. /6/

Väriämpötila ilmoittaa valon värisävyä. Sen yksikkö on Kelvin (K). Lämpimäksi koetaan alle 3300 K:n väriämpötila ja viileäksi yli 5300 K. Näiden välinen alue koetaan neutraalin valkoiseksi. /6/

Lamput eivät toista kaikkia värejä luonnollisina. Värintoistoindeksillä (R_a) mitataan, kuinka paljon tietyn valonlähteen keskimääräinen värintoisto poikkeaa vertailulähteen värintoistosta. Vertailulähteenä alle 5000 K lampuilla käytetään Planckin (musta kappale) säteilijää. Yli 5000 K lampuilla vertailu tehdään vastaavan väriämpötilan päivänvalospektriin. Sen yksikkö on 1-100, jossa 100 vastaa täysin samanlaista värintoistoa. /6/

Standardi SFS-EN 12464-1 ”Sisätilojen ja työkohteiden valaistus”, määrittelee henkilöiden sisätyötilojen valaistusvaatimukset alkaen normaalinäkökykyisten henkilöiden näkömukavuuden ja -tehokkuuden tarpeista. Standardissa esitetään valaistusvaatimuksia erilaisille tiloille, mutta siinä ei esitetä ratkaisuja valaistuksen toteutukseen, eikä se näin ollen rajoita suunnittelijan vapautta soveltaa erilaisia teknisiä ratkaisuja. Standardissa annetaan tilakohtaiset raja-arvot keskimääräisen valaistusvoimakkuuden, UGR-indeksin yleistasaisuuden ja värintoistoindeksin osalta.

Mikäli tila tai tehtävä aiheuttaa erityisvaatimuksia, myös niistä huomautetaan. Taulukossa 1 on esimerkki toimistotilojen tilakohtaista raja-arvoista standardista. /7/

Taulukko 1. Toimistotilojen tilakohtaisia raja-arvoja standardista SFS-EN 12464-1.

Tila, tehtävä tai toiminta	E_m lx	UGRL	U_o	R_a	Erityisvaatimukset
Arkistointi, kopiointi jne.	300	19	0,4	80	
Kirjoittaminen, konekirjoitus, lukeminen, tietojenkäsittely	500	19	0,6	80	Tietokonenäytöt, ks. kohta 4.9
Tekninen piirtäminen	750	16	0,7	80	
CAD-työasemat	500	19	0,6	80	Tietokonenäytöt, ks. kohta 4.9
Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	0,6	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
Vastaanottotiski	300	22	0,6	80	
Arkistot	200	25	0,4	80	

Selitykset:

E_m = valaistusvoimakkuuden keskiarvon vähimmäisarvo (lx)

UGRL= häikäisyn suurin sallittu arvo

U_o =valaistuksen yleistasaisuuden vähimmäisarvo (E_{min}/E_m)

R_a =värintoistoindeksin vähimmäisarvo

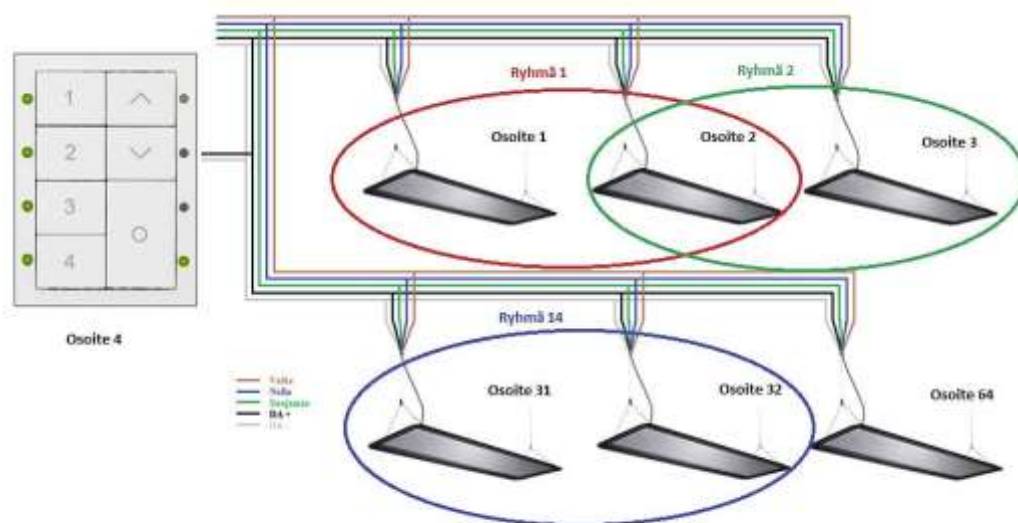
4 DALI-VALAISTUKSENOHJAUS

4.1 Järjestelmän rakenne

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) on standardisoitu digitaalinen valaistuksenohjausjärjestelmä, johon eri valmistajat voivat kehittää omia tuotteitaan. Sen kehittivät Euroopan johtavat EL-liitäntälaitteiden valmistajat Helvar, Osram, Philips ja Tridonic. Myöhemmin muita valaistusalan yrityksiä on liittynyt DALI-valmistajien joukkoon. /8/

DALI-järjestelmässä jokaisella valaisimella ja laitteella on oma yksilöllinen osoite. Tämä mahdollistaa yksittäisen valaisimen ohjauksen erikseen, vaikka ne ovatkin kytketty samaan DALI-väylään. Yhdessä väylässä voi olla enintään 64 osoitetta/laitetta. Näistä voidaan muodostaa 16 ryhmää ja tietty laite voi samanaikaisesti kuulua useampaan ryhmään (**Kuva 1.**) /9/ Järjestelmässä on ryhmää kohden käytössä 16 tilannetta. DALI on ns. hajautettu järjestelmä eli erillistä keskusyksikköä ei tarvita. Jokaisessa laitteessa on muisti, johon tallentuu sen kaikki asetukset: osoite, jäsenyys eri ryhmissä ja valaistustilanteet. Valaistustilanteisiin voidaan määrittää esimerkiksi himmennysarvot ja -ajat sekä syttymistasot. /4, 10/

DALI-ohjauksessa on huomioitava, että valaisimissa olevat elektroniset liitäntälaitteet voivat olla eri valmistajien tuotteita, mutta ohjauskomponentit vain yhden valmistajan tuotteita. Jos käytetään DALI 2-laitteita, myös ohjauskomponentit voivat olla eri valmistajilta. Tästä kerrotaan tarkemmin kappaleessa 4.2. /4, 10/



Kuva 1. DALI-osoitteet ja -ryhmät.

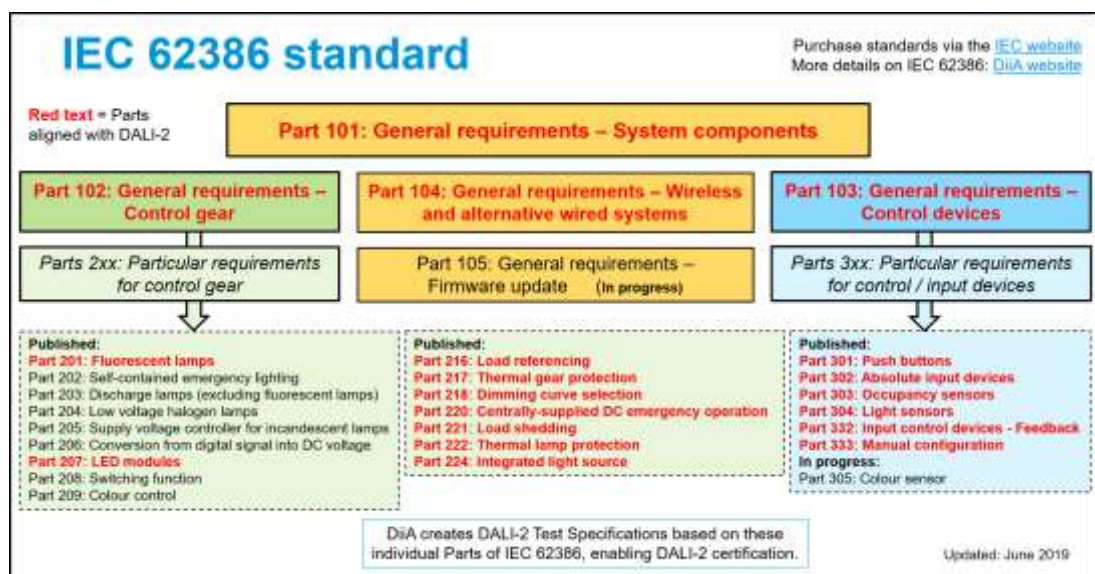
DALI-ohjauksen käyttöönotossa tarvitaan yleensä ohjelmointia, jotta halutut ohjaukset saadaan suoritettua. Ohjelmointi suoritetaan tietokoneohjelmalla (esimerkiksi Helvar DIGIDIM Toolbox), kaukosäätimillä ja ohjauspaneelilla tai älypuhelinsovelluksella. Erillistä ohjelmointia ei kuitenkaan tarvita, jos riittää, että kaikki ohjattavat valaisimet toimivat yhdessä ja samaan aikaan ilman osoitetietoa. Tällöin ohjaus toteutetaan ns. broadcast-komennolla. Tällainen voi olla esimerkiksi kiertosäätimellä tai läsnäolotunnistimella varustettu yksittäinen toimistotila. Ohjelmointiin voidaan tehdä muutoksia jälkeenpäin ilman kytkentämuutoksia. /4, 10/

DALI-järjestelmä tarvitsee erillisen virtalähteen. Väylän maksimivirta on 250 mA. Virtalähteitä on esimerkiksi DIN-kiskoasennukseen ja uppo- tai pinta-asennukseen. Niiden tuottama virta on tyypillisesti 90-250 mA. Väylässä ei saa olla kahta virtalähdettä syöttämässä samaa väylää. Vanhoissa pienissä järjestelmissä voi olla myös käytössä vanhanmallinen DALI-liitäntälaitte, joka pystyy syöttämään väylään tyypillisesti 20 mA. Myös joissain liiketunnistimissa, jotka on tarkoitettu yksittäisen alueen broadcast-ohjaukseen, voi olla oma virtalähde. Yhden DALI-liitäntälaitteen virrankulutus on rajoitettu 2 mA:iin. Muut komponentit vaativat yleensä 2-20 mA. Tämä voi rajoittaa yhden väylän laitemäärän pienemmäksi kuin 64. /4, 10/

4.2 DALI-standardi

DALI-standardi IEC 62386 koski alun perin vain ohjattavia kuormia eli loistelamppujen ja ledien liitäntälaitteita, turvavalaisimia, muuntajia, säätimiä ja releitä, mutta ei ohjauspuolen komponentteja. Eri valmistajien DALI-liitäntälaitteet sekä muut ohjattavat laitteet ovat keskenään yhteensopivia, mutta tunnistimet ja ohjauslaitteet eivät. /4/

Vuonna 2014 julkaistiin uusi versio standardista, joka käsittelee myös ohjauspuolen ja se tunnetaan nimellä DALI 2. Standardi on jaettu eri osiin, joista jokainen käsittelee vaatimuksia laitteille (**Kuva 2.**)



Kuva 2. IEC 62386 -standardin osat.

Laitteet tulee erikseen sertifioida, jotta ne olisivat DALI 2:n mukaisia. Sertifiointin tekee Digital Illumination Interface Alliance (DiiA). DiiA on voittoa tavoittelematon organisaatio, joka edistää ja tukee DALIn käyttöä ja standardin kehittämistä. DALI 2 -logo tuotteessa todistaa, että se on standardien mukaisten protokollien mukainen. Ensimmäisen DALI 2 -sertifiointin sai Helvar LED-ohjaimelleen vuonna 2017 (**Kuva 3.**) /4, 11/



Kuva 3. Ensimmäinen DALI 2 -sertifioitu tuote.

Eri valmistajien DALI 2 -laitteita voidaan käyttää sekaisin samassa kohteessa. Laitteet toimivat myös ensimmäisen version DALIn kanssa, mutta ilman DALI 2:n tuomia lisäominaisuuksia (**Taulukko 2.**) /4/

Taulukko 2. DALI 2:n merkittävimmät lisäominaisuudet.

1) Siirtyminen 24-bittiseen kehykseen (varattuna sekä 20- että 32-bittiset kehykset)	6) Valittavat viimeinen taso- ja mene edelliselle tasolle -komennot
2) Liitäntälaitteen salliminen toimia väylävirtalähteenä	7) Laajennettu säätöaika 16 minuuttiin saakka
3) Sähkökatkonjälkeiset tilanteet lyhyt ja pitkä katko erikseen	8) Sallitaan valmistajakohdaiset erityisominaisuudet sekä standardisoitu tapa palauttaa normaaliin tilaan
4) Väyläjännitteen minimin salliminen 10 V	9) Laitekohtainen muistipankki
5) Säätöajan ja ajastuksen selvennys	10) Valonlähde tyyppin kysely laitteelta

DiiA kehittää sertifiointia ja testausprotokollia edelleen koko ajan. Viimeisimmät päivitykset tulivat helmikuussa 2020. Taulukossa 3 esitetään standardin osat 301-333. Osa käsittää painonapit sekä läsnäolo- ja valoisuusanturit. DALI 2 sertifioitu tuote ei siis vielä takaa kaikkia ominaisuuksia ja täydellistä yhteensopivuutta. DiiA ylläpitää verkkosivuillaan listaa sertifioituista tuotteista ja mitä standardin osia

sertifiointi koskee. Näin järjestelmää suunniteltaessa voidaan varmistaa yhteensovitus. /12/

Taulukko 3. IEC 62386 -standardin tilanne osille 301-333.

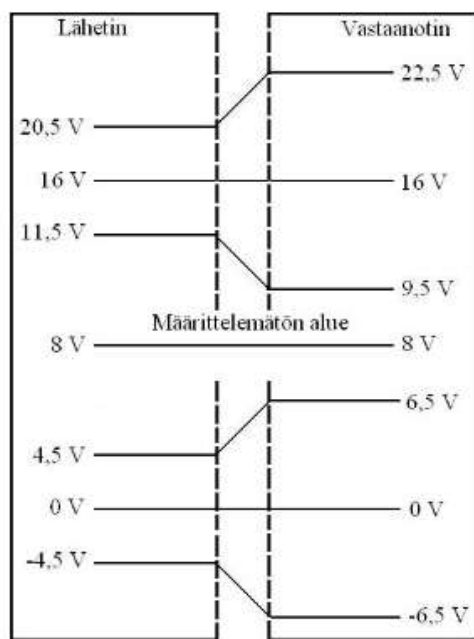
PARTS 3XX - SPECIFIC REQUIREMENTS FOR CONTROL / INPUT DEVICES					
All Parts 3xx are aligned with DALI-2. These Parts were not included in DALI version-1					
IEC 62386 part	Description	Status of published standard	Available for DALI version-1 testing?	Available for DALI-2 certification?	Notes
301	Push buttons	Aligned with DALI-2	n/a	✓	Updated test sequences - December 2019
302	Absolute input devices	Aligned with DALI-2	n/a	✓	Updated test sequences - December 2019
303	Occupancy sensors	Aligned with DALI-2	n/a	✓	Updated test sequences - December 2019
304	Light sensors	Aligned with DALI-2	n/a	✓	Updated test sequences - December 2019
305	Colour sensor	In progress	n/a	-	
332	Input control devices - Feedback	Aligned with DALI-2	n/a	-	
333	Manual Configuration	Aligned with DALI-2	n/a	-	

4.3 Datan siirto

DALI-väylässä käytetään Manchester-koodausta datan siirtoon. Siinä muutos signaalissa tapahtuu jokaisen bitin keskellä, vaikka datassa olisi useampi sama bitti peräkkäin. Tiedonsiirtonopeus on 1200 bit/s. Datan siirto on kaksisuuntaista. Järjestelmässä voidaan lähettää statusviestejä tai liitäntälaitteen vian tunnistusviestejä. /13/

Lähettimen 0-bittiä vastaa jännitetaso 0 V ($\pm 4,5$ V) ja 1-bittiä jännitetaso 16 V ($\pm 4,5$ V). Vastaanottimen 0-bittiä vastaa jännitetaso 0 V ($\pm 6,5$ V) ja 1-bittiä jännitetaso 16 V ($\pm 6,5$ V). Määrittelemättömällä alueella bittiä ei luokitella ykköseksi eikä nolaksi. Perustilassa väylän jännite on 16 V ($\pm 4,5$ V). Jännitetasot on esitetty kuvassa

4. Alemman ja ylemmän suuri jännitetason ero sekä suhteellisen pieni siirtonopeus tekee DALI-väylän signaalista lähes immuunin sähkömagneettisille häiriöille. /13/



Kuva 4. DALI-väylän jännitetasot.

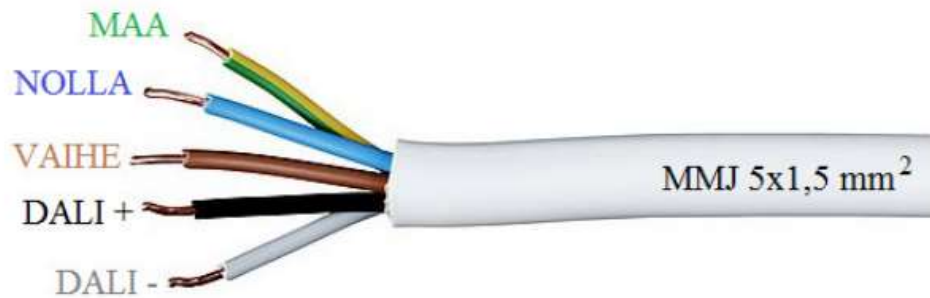
DALI-sanoman viestikehyksessä liitännälaitteen esittämiseen käytetään 6 bitin osoitetta. Näin vaihtoehtoja on 64 kappaletta ($2^6=64$). Ryhmään kuulumisen välittämiseen käytetään 4 bitin osoitetta. Jokainen liitännälaitte voi kuulua enintään 16 ryhmään. Valaistustilanteet esitetään 4 bitillä. Jokaisella liitännälaitteella voi olla 16 valaistustilannetta. Valaisimen valotasotietoon käytetään 8 bittiä. Valotasoa voi olla 255 kpl, joista 0 on pois päältä ja 254 on kirkkaudeltaan 100 % valaistustaso. Valotasot säätyvät logaritmisesti, jolloin ihmissilmä aistii valotason muutoksen lineaarisena, sillä ihmissilmän havaintokyky on logaritminen. **(Kuva 5.)** /13/



Kuva 5. Valotason logaritminen muutos.

4.4 Kaapelointi ja topologiat

DALI-väylän tiedonsiirtoon käytetään kahta johdinta, joilla signaali siirretään laitteiden välillä. Suuren häiriökestoisuuden vuoksi kaapeloinnin ei tarvitse olla parikierrettyä eikä siihen myöskään tarvita päätevastuksia. Liitälaitteisiin tulee ohjauskaapelin lisäksi 230 VAC syöttö. Vaikka ohjauspiiri on galvaanisesti erotettu pääpiiristä ja sen nimellisjännite on 16 voltia, se ei kuitenkaan ole pienjännitejärjestelmä (SELV) vaan sen on täytettävä verkkojännitteen vaatimukset kaksoiseristyksen suhteen ja oltava verkkojännitteen kestäviä. Yleisesti käytetty kaapeli on MMJ 5x1.5 S, jonka kaksi ylimääräistä johtoa varataan DALI-väylän käyttöön **(Kuva 6.)** /9/



Kuva 6. DALI-johdotus.

Väylän polariteetilla ei ole väliä, väylän plussan ja miinuksen sekoittuminen laitteiden välillä ei haittaa. Tämä vähentää riskiä virhekytkennöille. DALI-väylän enimmäispituus on riippuvainen käytettävän kaapelin poikkipinnasta. Enimmäispituus on kuitenkin 300 m. Järjestelmä sallii 2 voltin jännitteenaleneman. Jännitteenalenema voidaan laskea kaavalla 1. /14/

$$U_V = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\gamma \cdot S} \quad (1)$$

Jossa U_V = Jännitteenalenema voltteina

l = Kaapelin pituus metreinä

I = Väylän virta

γ = Sähköjohtavuus ($\text{m} / (\Omega \cdot \text{mm}^2)$)

S = Kaapelin poikkipinta-ala (mm^2)

Kuparikaapelin sähköjohtavuus on $56 \text{ m} / (\Omega \cdot \text{mm}^2)$, jolloin $1,5 \text{ mm}^2$ kaapelilla jännitteenalenemaksi saadaan:

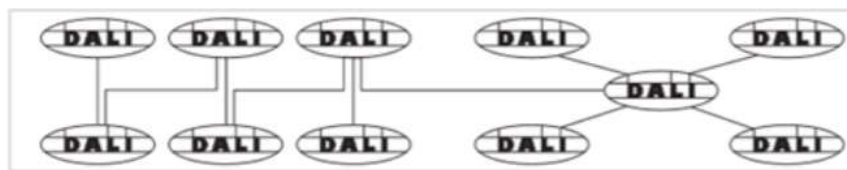
$$U_V = \frac{2 \cdot 300 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ A}}{56 \text{ m} / (\Omega \cdot \text{mm}^2) \cdot 1,5 \text{ mm}^2} = 1,786 \text{ V} \quad (2)$$

Lisäksi, kun otetaan huomioon jännitteenalenema liitoksissa, päästään noin 2 voltin jännitteenalenemaan. Muiden kaapelikokojen maksimipituudet esitetään taulukossa 4.

Taulukko 4. Kaapelin maksimipituudet eri poikkipinta-aloilla.

Poikkipinta	Etäisyys
0,5 mm ²	< 100 m
0,75 mm ²	100-150 m
1,5 mm ²	150-300 m

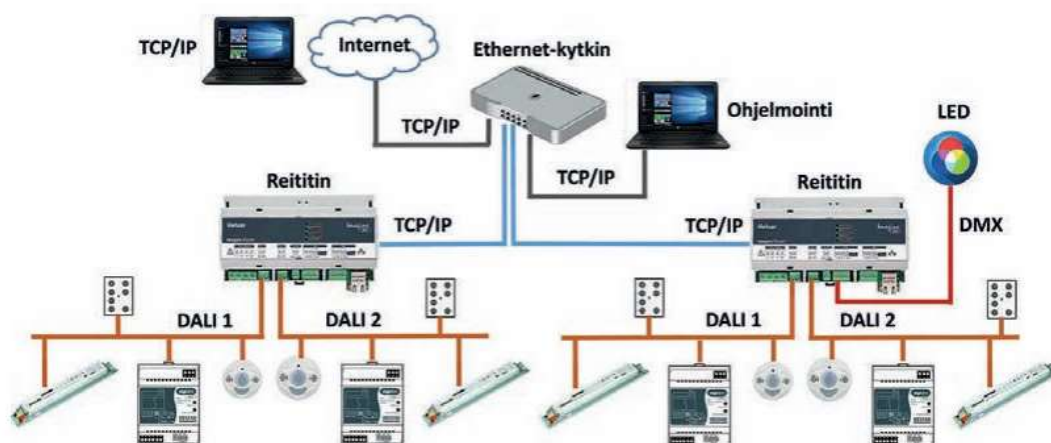
DALI-väylän topologia voi olla tähti, sarja tai näiden yhdistelmä (**Kuva 7.**) Rengas-topologia ei ole sallittu. Topologian vapaudesta johtuen, kaapelointikustannukset pysyvät kohtuullisina. /14/



Kuva 7. DALI-yhdistelmätopologia.

4.5 Laitteet

Yksinkertainen DALI-järjestelmä koostuu teholähteestä, ohjainlaitteesta, valaisimen DALI-liitäntälaitteesta sekä DALI-väylästä. Teholähteitä on sekä pieniä kojerasiaan asennettavia että keskuksen DIN-kiskoon asennettavia. Painikkeita, liukusäätimiä, kiertosäätimiä sekä kosketusnäyttöjä on saatavilla useita erilaisia. Näillä voidaan hoitaa tilanneohjaukset sekä valaistustason säädön. Tavalliset painonapit ja kytkimet voidaan liittää sisääntuloyksikön kautta järjestelmään. Langattomia kytkimiä voidaan liittää esimerkiksi EnOcean-vastaanottimella. Tunnistimia ovat läsnäoloanturit ja valosensorit, jotka voivat olla yhdessä samassa



Kuva 9. DALI-reititinjärjestelmä.

Reititin tuo myös ohjelmallista kapasiteettia toimintoihin. Yhdellä reitittimellä voi olla 256 ryhmää eli enemmän kuin siihen voidaan kytkeä laitteita. Reitittimellä voidaan suorittaa loogisia operaatioita, toimitilan vaihtoja sekä käytöstä aktivointeja ja poistoja. Toimitilan vaihtoja voi olla esimerkiksi läsnäolo- ja vakiovaloanturit, joiden asetuksia muutetaan aikaperusteisesti, jolloin anturin tekemä havainto käsitellään eri vuodenaikoina erilaisena ohjaustarpeena. /10/

DALI-järjestelmä voidaan liittää muihin valaistuksenohjausjärjestelmiin, esimerkiksi 1-10V, DMX ja DSI. Se voidaan liittää myös kiinteistöautomaatioon rajapinnan kautta erillisenä alajärjestelmänä. DALI-väylä voidaan liittää Modbus-, LON- tai KNX-väylään. Kappaleessa 5.5 kerrotaan tarkemmin KNX-DALI-rajapinnasta. /10/

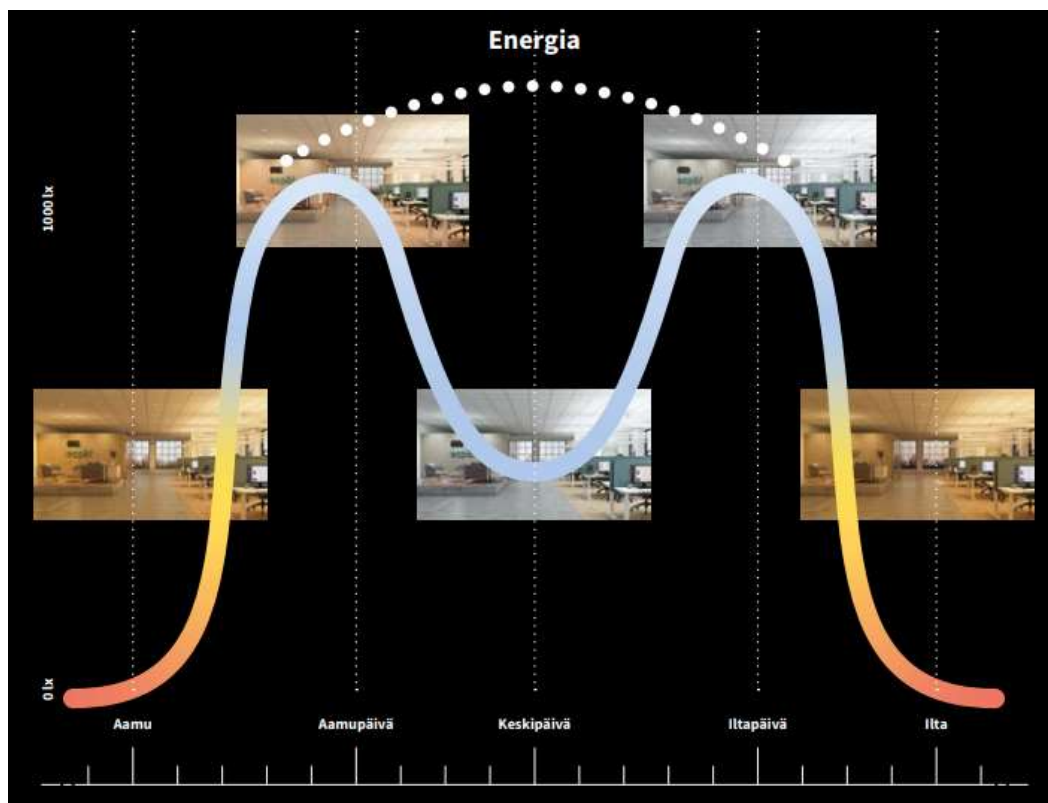
4.6 Ihmiskeskeinen valaistus

Ihmiskeskeisessä valaistuksessa (Human Centric Lighting, HCL) on kyse valaistuksesta, jolla voidaan tukea ihmisen vuorokausirytmää, parantaa keskittymistä, estää unihäiriöitä ja parantaa yleistä hyvinvointia. Ihmisen biologista vuorokausirytmää ohjaa pääasiassa luonnonvalo. Dynaamisella valaistuksella voidaan tukea tätä rytmää etenkin vuoden pimeinä kuukausina ja sisätiloissa, joihin ei tule paljon

valoa. Pelkkä dynaaminen valaistus värilämpötilan säätöineen (tunable white) ei vielä tee valaistuksesta ihmiskeskeistä. Valon spektrin ja voimakkuuden muokkauksen ohella olennaista on valoaltistuksen kesto ja sen oikea ajoitus. /16, 17/

Valon kylmän valkoiset aallonpituudet estävät melatoniinin eli ”unihormonin” erittymistä, mikä liittyy yleensä parempaan keskittymiskykyyn. Lämpimät sävyt taas rauhoittavat. Valaistusvoimakkuudessa keskitytään erityisesti sylinterivalaistusvoimakkuuteen, joka kuvaa silmien tasolle kaikista suunnista kohtisuoraan tulevaa valoa. Valo on tehokkainta aamulla. Se kertoo sisäiselle kellollemme, että päivä on alkanut ja elintoiminnot täytyy aktivoida. Ajoituksessa voidaan esimerkiksi toimistossa aamulla ja lounaan jälkeen altistaa kylmän viileälle sävyille. Altistumisen keston ajoitus on vaikeaa. Valinta on kompromissi henkilökohtaisten mieltymysten, halutun vuorokausirytmien siirtymän ja energiankulutuksen kesken. Kuvassa 10 on esimerkki valon säädöstä. Yksilöllisen hallinnan ja automaattisen säädön kesken täytyy etsiä tasapaino, jonka avulla varmistetaan mahdollisimman suuri vaikutus vuorokausirytmiiin ja mahdollisimman pieni väärinkäytön vaara. /16-18/

Sisätyöpaikkojen valaistustandardia EN12464-1 ollaan opinnäytetyön kirjoitushetkellä parhaillaan uusimassa. Uusi standardi on määrä julkaista vuonna 2020. Tavoitteena on nostaa esiin ihmiskeskeisen valaistuksen kannalta tärkeitä asioita. Valaistussuosituksen hienosäätämiseksi tarvitaan kuitenkin lisätutkimuksia siitä, miten erityyppisissä olosuhteissa saadaan optimaalinen valaistuksen vaihtelu. /17/



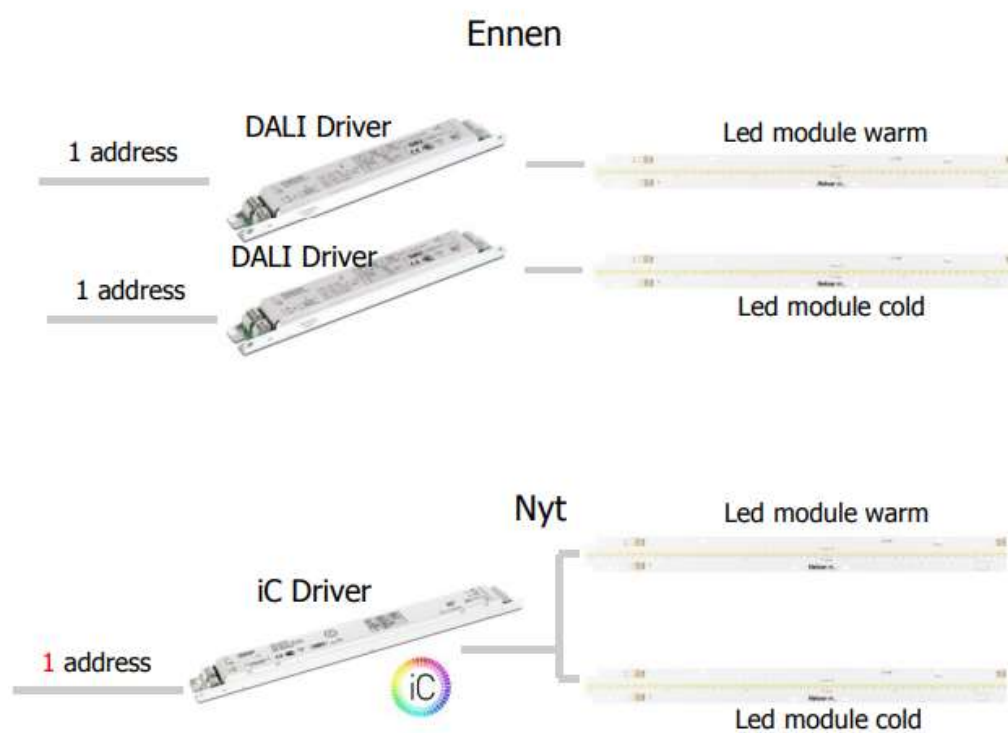
Kuva 10. Valaistusvoimakkuuden, värilämmön ja ajoituksen säätö.

4.6.1 Värilämmön säädön tekniikka

Valaisimien värilämmön säätöön (tunable white) käytetään tekniikkaa, jossa valaisimessa on sekä kylmää että lämmintä valoa tuottavia ledejä. Kun näitä sekoitetaan, saadaan valaisimeen 2700-6500 K värilämpötila-asteikko. Ohjaukseen voidaan käyttää esimerkiksi kaksiosaista liukusäädintä, josta toisesta vaihtuu valoteho ja toisesta värisävy. Haluttaessa automaattisesti säätävä järjestelmä, tarvitaan reititin, jossa on kello-ominaisuus. /19/

DALI-standardin lisäys, osa 209, joka tunnetaan myös nimellä DALI Device Type 8 (DT8), mahdollistaa säädön käyttäen vain yhtä osoitetta ja liitäntälaitetta. Aikaisemmin tähän on tarvittu 2 liitäntälaitetta ja osoitetta, joista toisella ohjataan kylmiä ja toisella lämpimiä ledejä (**Kuva 11.**) Tämä vaatii lisäksi ohjelmointia ja tarkastusmittauksia, jotta saadaan halutut värilämpötilat. Käytettäessä DALI DT8:n mukaista liitäntälaitetta, ei vaadita erillistä värisävyjen ohjelmointia, koska logiikka

kylmien ja lämpimien diodien sekoittamiseen on valmiina liitäntälaitteessa. Standardin osa 209 koskee myös valon värin säätöä (RGB), jolloin saadaan yhdellä osoitteella vaihdettua valon väriä, mikäli valaisimessa ja liitäntälaitteessa käytetään RGB-LED-teknologiaa. /9, 19/



Kuva 11. Tunable white ennen ja nyt.

5 KNX-JÄRJESTELMÄ

5.1 Yleistä

KNX on avoin, maailmanlaajuinen standardi kotien ja kiinteistöjen ohjaukseen. Jos avoimet standardit puuttuisivat, olisi rakennuksen ohjausjärjestelmän toteuttamiseen ainoa vaihtoehto valmistajakohtaisen suljetun järjestelmän käyttö. KNX-tekniikka periytyy EIB (European Installation Bus) -järjestelmästä, jonka kehittivät 1980-luvun lopulla saksalaiset sähköasennustarvikevalmistajat. Avointa KNX-standardia ylläpitää ja kehittää KNX Association, joka on voittoa tuottamaton organisaatio. Sen jäseniä ovat KNX-laitevalmistajat. /20/

Älykkäiden järjestelmien suunnittelussa ja käyttöönotossa vaaditaan perinteisestä sähköurakoinnista poikkeavaa osaamista. KNX-koulutusjärjestelmään kuuluu kolme tasoa, joista KNX-sertifiointikoulutus on lähtötaso. Se on viikon kestävä peruskurssi, johon ei vaadita aikaisempaa kokemusta KNX-järjestelmistä. Ohjausjärjestelmien soveltaminen edellyttää teknistä osaamista, jonka hankkimiseen sertifiointikoulutus antaa hyvät lähtökohdat. Se ei silti ole pakollinen, vaan KNX-tuotteet ja -ohjelmat ovat kenen tahansa vapaasti hankittavissa ja hyödynnettävissä. KNX Advanced on viikon kestävä jatkokurssi, jonka lähtötasona on hyväksytysti suoritettu sertifiointikoulutus. Advanced-kurssilla painotetaan käytännön harjoituksia keskeisten sovellusten ympärillä. KNX Tutor on korkein taso koulutusjärjestelmässä. Sen suorittaminen on edellytyksenä, jos haluaa perustaa KNX-koulutuskeskuksen. Edellä mainittujen koulutusten lisäksi KNX-tekniikan ja ETS-ohjelmoinnin perusteita voi harjoitella ilmaisessa KNX eCampus -verkkokoulutuksessa. /20/

KNX:n periaatteena on, että väyläkaapeli korvaa perinteisen asennustavan. Väyläkaapelilla toteutetaan laitteiden välille fyysinen yhteys, mutta toiminnot määritellään käyttöönoton yhteydessä ohjelmallisesti. Toimintojen muuttaminen myöhemmin on helppoa, ja monesti muutokset voidaan tehdä kytkentöjä muuttamatta. /20/

KNX-järjestelmällä on useita käyttösovelluksia. Sitä voidaan käyttää kaihtimien ja markiisien ohjaukseen, energian mittaukseen tai ohjata jäähdytystä, lämmitystä ja ilmanvaihtoa. Visualisointiin voidaan käyttää kosketusnäyttöjä, tietokoneen

selainta, tablettia tai älypuhelinta. Valaistuksen automaatio on yleisin KNX-järjestelmän käyttösovellus. /20/

Valaistuksen päällekytkentä voidaan tehdä käsikäyttöisesti painikkeilla tai läsnäolotunnistin voi kytkeä valot automaattisesti. Energiatehokkaassa toteutuksessa voidaan valot kytkeä päälle painikkeella, mutta läsnäolotunnistin huolehtii valojen sammutuksesta, jos käyttäjä on poistunut tilasta jättäen valot päälle. Toimiston valaistuksen energiatehokkuus on parhaimmillaan, kun sinne asennetaan läsnäolotunnistimet vakiovalo-ohjauksella, jolloin hyödynnetään luonnonvaloa. /20/

5.2 Järjestelmän rakenne

Seuraavissa kappaleissa kerrotaan KNX-järjestelmän fyysisestä rakenteesta sekä laitteiden yksilöllisistä osoitteista

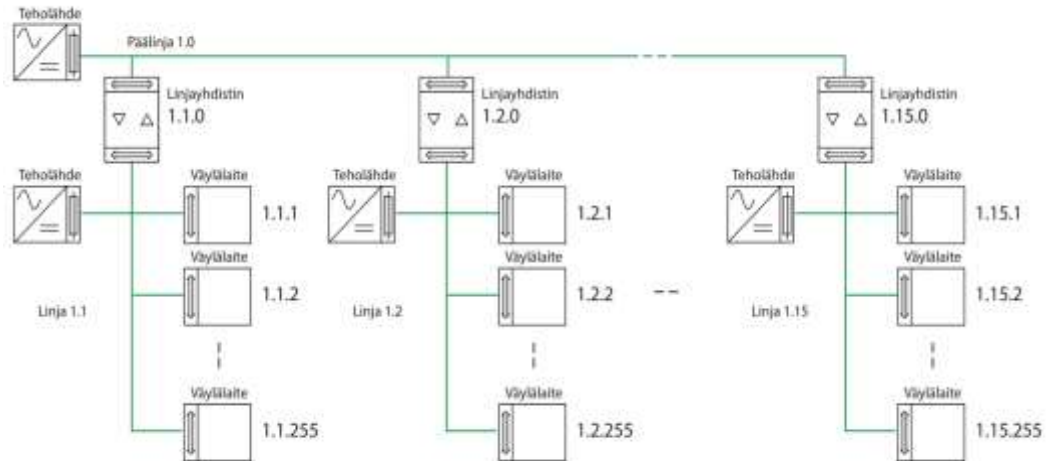
5.2.1 Linja

KNX-järjestelmä jaetaan vyöhykkeisiin, joista pienin osa on linja. Se koostuu teholähteestä, väyläkaapelista sekä väylälaitteista. Linjan topologia voi olla tähti, sarja tai näiden yhdistelmä, mutta ei rengas. Väylälaitteiden maksimimäärä linjassa on 256 kpl. Ennen vuotta 2019 järjestelmä salli 64 laitetta linjassa. Jos laajennetaan tällaisia järjestelmiä, on maksimimäärä edelleen 64 laitetta. Yhdessä linjassa käytettävän kaapelin kokonaispituus on enintään 1000 m. Kaapelin pituus väylälaitteelta teholähteelle ei saa olla suurempi kuin 350 m. /20/

5.2.2 Alue

Kohde jaetaan useaan linjaan, jos väylälaitteita tarvitaan enemmän kuin yhdellä linjalla on mahdollista toteuttaa tai väyläkaapelin kokonaispituus ylittää 1000 metriä. Näin muodostuu kokonaisuus, jonka nimi on alue (**Kuva 12.**) Yhdessä alueessa voi olla 15 kpl linjasegmenttejä. Jokainen linja toteutetaan erillisenä ja ne yhdistetään keskenään päälinjan ja linjayhdistimen kautta. Linjayhdistimen tehtävä on välittää ainoastaan tarpeelliset sanomat linjalta päälinjalle ja toisinpäin. Linjayhdistin sisältää galvaanisen erotuksen päälinjan ja linjan välillä. Tämä

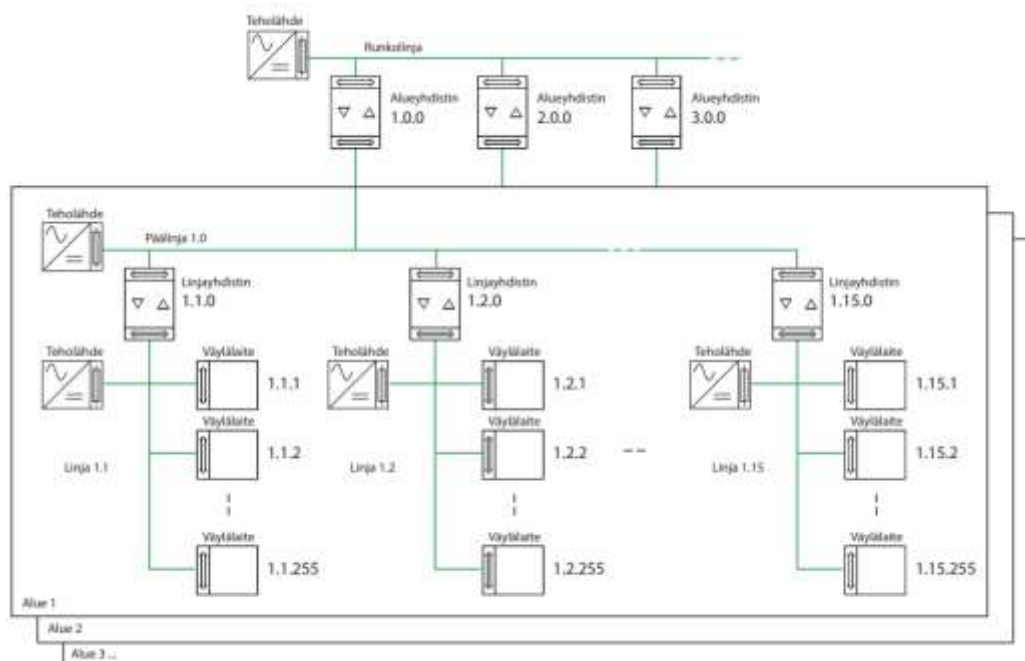
parantaa suuren järjestelmän häiriökestoisuutta. Jokainen linja sekä päälinja tarvitsevat oman teholähteen. /20/



Kuva 12. Alue, jossa 15 linjaa.

5.2.3 Runkolinja

Tarvittaessa KNX-järjestelmän rakennetta voidaan kasvattaa vielä yksi taso ylöspäin. Enintään 15 aluetta voidaan yhdistää alueyhdistimillä yhteen runkolinjaan (**Kuva 13.**) Runkolinja on edelleen fyysisesti samanlaista parikaapelia päälinjan ja linjojen kaapelien kanssa. Alueyhdistin on fyysisesti sama laite kuin linjayhdistin. Väylälaitteiden suurin määrä runkolinjan kanssa on 15*15*256 kpl. /20/



Kuva 13. Runkolinja, johon voidaan yhdistää enintään 15 aluetta.

5.2.4 Yksilöllinen osoite

KNX-järjestelmässä on käytössä kahdenlaisia osoitteita, yksilöllinen osoite ja ryhmäosoite. Yksilöllinen osoite osoittaa väylälaitteen sijainnin järjestelmässä. Yksilöllistä osoitetta käytetään käyttöönottoaiheessa, kun ohjelma syötetään väylälaitteille. Järjestelmän käytön aikana yksilöllisillä osoitteilla ei ole merkitystä, sanomien välittämiseen käytetään ryhmäosoitteita. Tästä kerrotaan tarkemmin kappaleessa 5.3. Käyttöönotossa kullekin väylälaitteelle annetaan yksilöllinen osoite. Poikkeuksena on KNX-teholähde, joka ei lähetä sanomia. Yksilöllinen osoite esitetään kolmen pisteellä erotetun luvun sarjana. Yksilöllisen osoitteen koko on 16 bittiä, joita ensimmäiselle ja toiselle luvulle on varattu 4 bittiä ja kolmannelle 8 bittiä. Tästä seuraa, että ensimmäisen ja toisen luvun lukualue on 0-15 ja kolmannen 0-255. /20/

Ensimmäinen luku ilmaisee, millä alueella väylälaitte sijaitsee. Toinen luku ilmaisee alueen alaisen linjan. Kolmas numero on väylälaitteen numero linjassa. Tavalliset väylälaitteet käyttävät yksilöllisiä osoitteita, joiden kaikki luvut ovat suurempia

kuin nolla. Viimeisen luvun ollessa nolla, on kyseessä linjayhdistin. Kahden viimeisen luvun ollessa nolla, on kyseessä alueyhdistin. Osoite 0.0.0 voi olla käytössä TCP/ IP -rajapinnalla. Kuvissa 12 ja 13 on alueissa käytetty yksilöllisiä osoitteita. /20/

5.2.5 Väylälaitteet pää- ja runkolinjoissa

Väylälaitteita voidaan kytkeä myös päälinjaan 256 kpl. Päälinjassa oleva alueyhdistin ja linjayhdistimet pitää kuitenkin ottaa huomioon. Päälinjaan asennettujen väylälaitteiden yksilölliset osoitteet ovat muotoa X.0.1-X.0.240. Selkeyden vuoksi väylälaitteiden sijoittamista päälinjaan tulisi harkita tarkasti. Poikkeuksena esimerkiksi kahden linjan järjestelmä kannattaa lähtökohtaisesti jakaa yhteen päälinjaan ja yhteen linjaan, ja tasata väylälaitteet näiden välillä. Väylälaitteita voidaan asentaa myös runkolinjaan. Niiden yksilölliset osoitteet ovat muotoa 0.0.1-0.0.241. /20/

5.2.6 Linjatoistimet

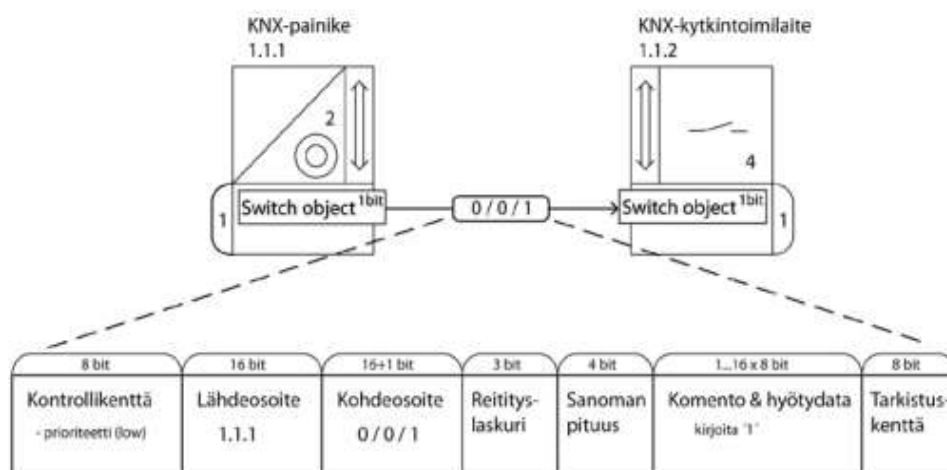
Linjatoistimia voidaan käyttää, jos linjan kaapelipituus tai väylälaitteiden virrankulutus teholahteeseen nähden kasvaa liian suureksi. Ennen vuotta 2019 käyttöönottuissa asennuksissa pitää käyttää linjatoistimia, jos linjassa on yli 64 laitetta. Linjatoistin on fyysisesti samanlainen laite kuin linjayhdistin. Myös jokainen linjasegmentti tarvitsee oman virtalähteen. Linjatoistin ei suodata sanomia, vaan kopioi kaikki sanomat linjasegmentiltä toiselle. Linjatoistimia ei saa ketjuttaa, eikä pää- ja runkolinjassa saa käyttää linjatoistimia. Linjatoistimen käytössä on omia käytännön hankaluuksia, esimerkiksi ETS-ohjelman topologianäkymä ei tunnista linjasegmenttejä vaan sijoittaa kaikki samaan linjaan. Tällöin väylälaitteiden sijoittelusta eri linjasegmentteihin pitää huolehtia käsin. Uudiskohteen järjestelmäsunnittelu suositellaan tehtäväksi ilman linjatoistimia. Myöhemmin laajennuksia tehtäessä voi osoittautua tarpeelliseksi käyttää linjatoistinta. /20/

5.3 Tiedonsiirto

Väylälaitteet käyttävät ryhmäosoitteita sanomien välittämiseen. Ryhmäosoitteet esitetään yleensä kolmen tason esitystapana, jossa se esitetään kolmen vinoviivalla erotetun luvun sarjana. Myös kahden tason tai vapaata esitystapaa voidaan käyttää, mutta vain poikkeustapauksissa. Ryhmäosoite koostuu pääryhmästä, keskiryhmästä ja alaryhmästä. Ryhmien nimeämisestä kerrotaan tarkemmin kappaleessa 6.2. Esitystapa on olemassa vain ohjelmointityön helpottamiseksi, se ei vaikuta väylälaitteiden väliseen kommunikointiin. /20/

Väylälaitteiden kanavat esitetään ryhmäobjekteina. Esimerkiksi kaksiosaisen vipupainikkeen molemmilla kytkimillä on oma ryhmäobjekti. Ryhmäobjektien välityksellä väylälaitte lähettää ja vastaanottaa sanomia. Käyttöönnotossa ryhmäosoitteet yhdistetään väylälaitteiden ryhmäobjekteihin. Ryhmäobjekteissa on muistipaikka, jonka koko määräytyy käyttötarkoituksen mukaan. Esimerkiksi kytkintoimilaitteissa käytetään yhden bitin kokoista ryhmäobjektia, jolloin sillä on kaksi vaihtoehtoista arvoa, 0 tai 1. Säädintoimilaitteissa käytetään yhden tavun (=8 bittiä) kokoista ryhmäobjektia. Tällöin valonlähteelle asetetaan kirkkaus 0-100% ryhmäobjektin arvoilla 0-255. Muistipaikkojen kokoa ei voi muuttaa eikä erikokoisia ryhmäobjekteja voi yhdistää samaan ryhmäosoitteeseen. /20/

Sanomia on käytössä kahdenlaisia: ryhmälähetys- ja täsmälähetys-sanomia. Täsmälähetys-sanomia käytetään käyttöönnoton aikana ohjelman syöttämiseen väylälaitteelle. Järjestelmän käytön aikana käytetään ryhmälähetys-sanomia, joilla voi olla yksi tai useampi vastaanottaja. Sanomassa kuljetetaan komentoja ja hyötydataa. Sanoman kenttien nimet ja koko esitetään kuvassa 14. Jokaisen linjan sanomakapasiteetti on noin 20 sanomaa sekunnissa. Järkevästi toteutetussa järjestelmässä sanomia ei menetetä. Joidenkin sanomien prioriteettia voidaan tarvittaessa muuttaa korkeammaksi kuin toisten. KNX-parikaapelissa tiedonsiirtonopeus on 9600 bit/s. /20/



Kuva 14. KNX-sanoman rakenne.

Lämpötilan, kirkkauden, päällä-tilan ja muiden suureiden ilmaisemiseen käytetään datapistetyyppejä. KNX-järjestelmässä ne on standardoitu, jolloin eri valmistajien laitteet ilmaisevat datan samalla tavalla. Kaikille keskeisille toiminnoille on olemassa sovitut datapistetyypit, joita laitevalmistajien täytyy käyttää. Datapistetyypeille on annettu nimi sekä kaksi lukua käsittävä tunnus (ID). Tunnuksen ensimmäinen numero kertoo datapistetyypin koon. Yhden bitin datapistetyyppejä ovat esimerkiksi 1.001 DPT_Switch, jota käytetään pois päältä/päällä -tilanteisiin, tai 1.019 DPT_Window_Door, jota käytetään ikkunan ja oven suljettu/avoin -tilaan. Kahdeksan tavun datapistetyypillä 19.001 DPT_Time ilmaistaan sekä päivämäärä, kellonaika että viikonpäivä. Täydellinen luettelo KNX-datapistetyypeistä on saatavana KNX Associationin verkkosivuilta. /20/

5.4 Tiedonsiirtoväylät

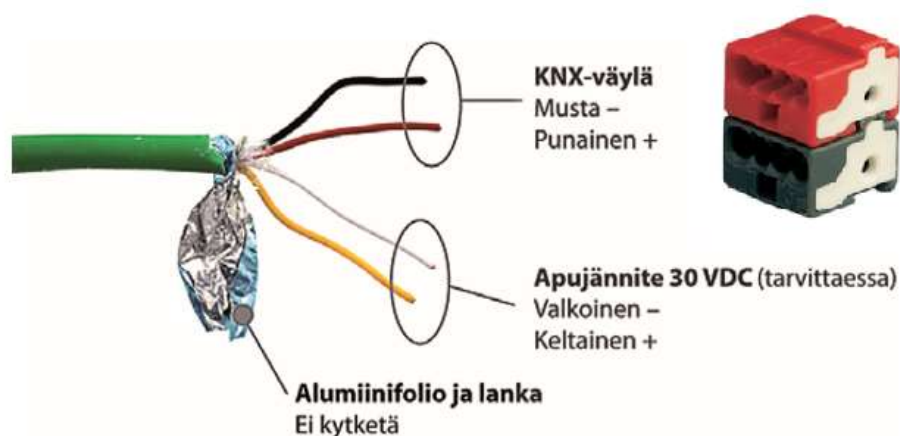
Tiedonsiirtoväylinä voidaan käyttää parikaapelia, Ethernetiä, radiotaajuutta tai sähköverkkoa. Seuraavissa kappaleissa kerrotaan tiedonsiirtoväylistä tarkemmin.

5.4.1 Parikaapeli

Kuten muutkin digitaaliset järjestelmät, KNX kommunikoi lähettämällä viestejä binäärikoodina. KNX-parikaapelissa samalla kahdella johtimella hoidetaan sekä

väylälaitteiden välinen kommunikointi että niiden käyttöjännitteen syöttäminen. KNX-parikaapelilaitteet käyttävät 30 VDC:n pienoisjännitettä (SELV). Väylälaitteet syöttävät väylään tasajännitteen ”päällä” näkyviä jännitepulsseja ja taukoja. Looginen tila ”0” ilmaistaan jännitepulsseina ja ”1” samankestoisena taukona. Jännitepulssit ovat $\pm 2V$ ja ne lähetetään symmetrisesti. Samanaikaisesti, kun plusjohtimessa jännitepulssi näkyy positiivisena jännitteenä, se näkyy miinusjohtimessa negatiivisena jännitteenä. Vastaanottavan laitteen signaalin tunnistus perustuu jännite-eron muutokseen. Tämä kasvattaa luotettavuutta ja häiriökestoisuutta. Väylässä käytetään ennakoivaa törmäyksen tunnistusta. Jos väylä on vapaa, sanoma lähetetään välittömästi, muussa tapauksessa odotetaan väylän vapautumista. Yhdessä KNX-linjassa voidaan välittää noin 20 sanomaa sekunnissa. /20/

KNX-järjestelmään on saatavilla sertifioituja väyläkaapeleita, joiden vaippa on vihreä ja niissä on KNX- ja/tai EIB-merkintä. Tällaisia ovat YCYM2x2x0.8 tai halogeeniton J-H(ST)H 2x2x0,8. Väyläkaapelista käytetään yleisesti nimitystä TP (Twisted Pair). Väyläkaapelissa on kaksi johdinparia; puna-musta sekä kelta-valkoinen pari. Puna-mustaa käytetään KNX-väylään ja kelta-valkoista voidaan käyttää apujännitteen syöttöön antureille, joilla on suuri virrankulutus, esimerkiksi kosketusnäytöt. Väyläkaapelin kytkemiseen ja haaroittamiseen käytetään vain KNX-väyläliittimiä (**Kuva 15.**) Väyläkaapelin ylimääräistä paria ei saa käyttää linjan kahdentamiseen, se lisää linjasegmentin kapasitanssia ja siten vaimentaa signaalia. Myös muiden kuin sertifioitujen kaapelien käyttö on yleistä. Suomessa on usein käytetty automaatiokaapelia KLMA 4x0.8+0.8. Sen johdinvärit eivät kuitenkaan ole yhteensopivat KNX-väyläliittimen kanssa. Vakiintuneen käytännön mukaan keltaista käytetään linjan ”+”-johtimena ja sinistä ”-”-johtimena. /20/

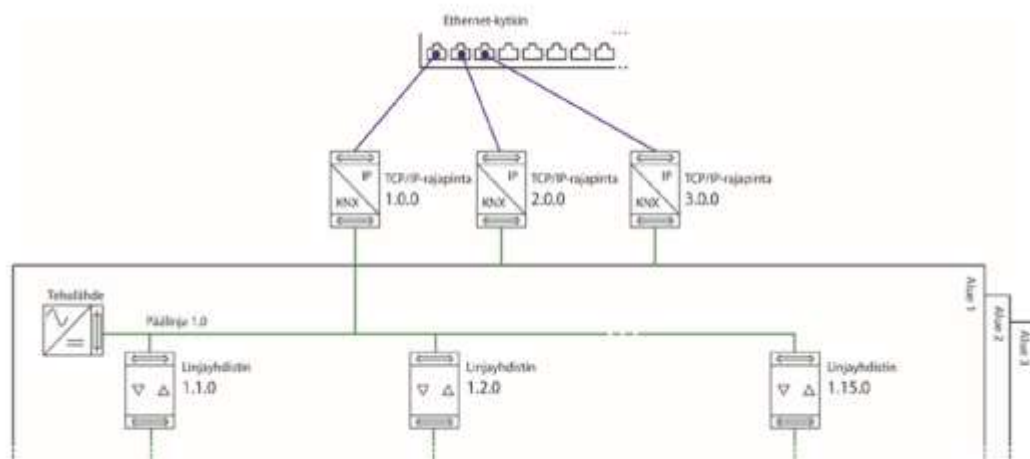


Kuva 15. KNX-kaapeli ja väyläliitin.

5.4.2 Ethernet

Suurikokoisessa järjestelmässä voi pelkkää parikaapelia käytettäessä muodostua pullonkaula, jos runkolinjan kautta kulkee suuri määrä sanomia. Sanomaruuhkien seurauksena voidaan menettää sanomia. Nämä riskit saadaan eliminoitua toteuttamalla topologian ylätasot Ethernet-tietoverkolla. Sen sanoman välityskapasiteetti on suuruusluokaltaan 1000-kertainen KNX TP -parikaapeliin verrattuna. Ethernet-verkkoa voidaan käyttää myös kohteissa, joissa yksittäisen linjan suurin kaapelipituus osoittautuu riittämättömäksi. Näin voi käydä esimerkiksi lentokentällä, jossa samaan järjestelmään liitettyjen rakennusten välimatka on suuri. Myös visualisointiohjelmat sekä etäkäyttö edellyttävät Ethernet-verkkoa. Muunnos TP-parikaapelista tehdään KNX TCP/IP -rajapinnalla.

Jos topologian runkolinja korvataan Ethernet-pohjaiseksi, korvataan alueyhdistimet TCP/IP -rajapinnalla (**Kuva 16.**). Linjayhdistimet säilyvät tällöin ennallaan.



Kuva 16. KNX-topologia, jossa runkolinja on korvattu Ethernet-yleiskaapeloinnilla.

Myös linjayhdistimet voidaan korvata TCP/IP -rajapinnalla, jolloin myös päälinja korvataan yleiskaapeloinnilla. TCP/IP -rajapinnat käyttävät yleensä 10/100Mbit/s nopeutta. Suojaamaton CAT5-tasoinen ratkaisu on tavallisissa kiinteistöissä riittävä. KNX:n käyttöön varataan oma erillinen Ethernet-verkko, jota ei yhdistetä osaksi muuta IT-infrastruktuuria. Poikkeuksena ovat talojen kotiautomaatiojärjestelmät, joissa visualisointia ja etäkäyttöä varten KNX ja talon sisäinen tietoverkko kytetään yhteen. Jos KNX-järjestelmästä pitää olla julkiseen internetiin yhteydessä, toteutetaan tämä joko TCP/IP -rajapinnalla turvallisella VPN-yhteydellä tai laitevalmistajien omilla palvelinratkaisuilla, josta oletuskäyttäjätunnukset ja -salasanat on vaihdettava. KNX Association on myös julkaissut KNX-protokollaan tietoturvalaajennukset KNX Data Secure ja KNX IP Secure, joissa sanomat salataan. Tällöin ulkopuolinen ei pysty väylän sanomia kuuntelemalla selvittämään järjestelmän toimintaa. Pelkästään IP-reititintä vaihtamalla saadaan vaikeasti ohitettava ylä-tason tietosuojaja. /20/

5.4.3 Radiotaajuus

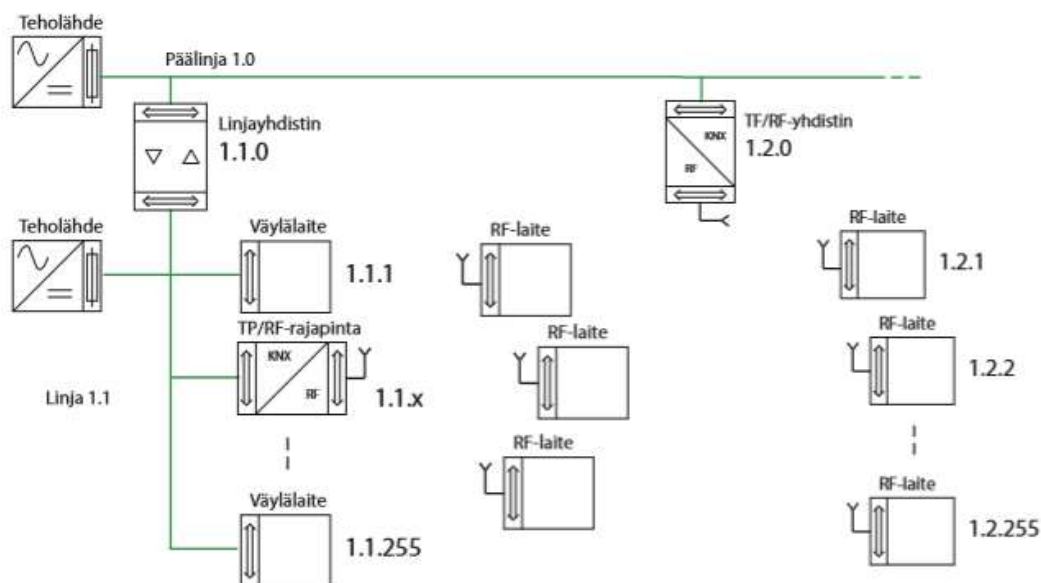
Radiotaajuustekniikalla laitteiden sijoittelu on lähes vapaata. Radiosignaalin vaimennus lähettävän ja vastaanottavan laitteen välillä täytyy kuitenkin ottaa huomioon. Esimerkiksi kipsilevy vaimentaa signaalia noin 10 %, raudoitettu betoni noin 70 % ja metallilevy tai -ritilä noin 90 %. Esteet saattavat myös heijastaa signaalia, josta voi seurata hyötyjä tai haittoja. Signaali voi heijastua esteen taakse tai vastaanottavalle laitteelle voi kulkeutua suora ja heijastunut signaali samanaikaisesti. Sanomatoistimen käyttö on mahdollista, tai sanomatoistin voi olla integroitu laitteeseen, jolloin voidaan kattaa laaja alue rakennuksesta. /20/

Vuonna 2010 KNX RF -standardiin esiteltiin laajennuksia, joiden mukainen tekniikka sai nimen ”KNX RF multi”. KNX RF multi -tuotteet käyttävät taajuusaluetta 868,0 MHz... 869,525 MHz. Tämä on jaettu kolmeen nopeaan ja kahteen hitaaseen kanavaan. Nopeat kanavat on tarkoitettu painikkeille ja tunnistimille, hitaat esimerkiksi LVI-laitteille. /20/

RF-laitteita on yksisuuntaisia ja kaksisuuntaisia. Yksisuuntaiset pelkästään lähettävät tai vastaanottavat sanomia. KNX-linjasegmenttiin asennetaan TP/RF -rajapinta. Käyttöönottovaiheessa rajapinnalle annetaan yksilöllinen osoite siitä linjasegmentistä, johon se on asennettu. RF-laitteille ei anneta yksilöllistä osoitetta, vaan RF-laitteet paritetaan TP/RF -rajapinnan kanssa. Lopputuloksena kukin yksittäinen RF-laitte kommunikoi yhden tai useamman TP/RF -rajapinnan ryhmäobjektin välityksellä. Saman periaatteen mukaan toimitaan, kun KNX-järjestelmään integroidaan toista protokollaa käyttäviä langattomia järjestelmiä tai laitteita, esimerkiksi EnOcean. EnOcean-laitteet eivät käytä paristoja, vaan painikkeet tuottavat tarvitsemansa energian painikkeen painamisesta ja läsnäolotunnistimet ja muut anturit valokennosta. Järjestelmä perustuu keskeisiltä osin saksalaisen EnOcean GmbH:n patenteihin. EnOcean-laitteet yhdistetään KNX-järjestelmään rajapinnan kautta opettamalla. Kutakin rajapinnan kanavaa vastaa KNX:n puolella yksi tai useampi ryhmäobjekti. /20/

Kaksisuuntaiset komponentit voivat sekä lähettää että vastaanottaa sanomia. Niiden avulla saadaan parempi luotettavuus, koska vastaanottaja voi antaa virheellisestä

sanomasta negatiivisen kuittauksen, jonka seurauksena lähettäjä voi toistaa sanoman. Kaksisuuntaisille KNX RF -laitteille muodostetaan KNX-topologiassa oma langaton linja. Langaton linja yhdistetään päälinjaan TP/RF -yhdistimellä, jolla on sekä mediamuuntimen että linjayhdistimen tehtävät. Kaksisuuntaisille RF-laitteille annetaan yksilölliset osoitteet langattoman linjan osoitealueella. Langattomassa linjassa voi olla 255 laitetta. Kuvassa 17 on esimerkki yksi- ja kaksisuuntaisista RF-laitteista topologiassa. /20/



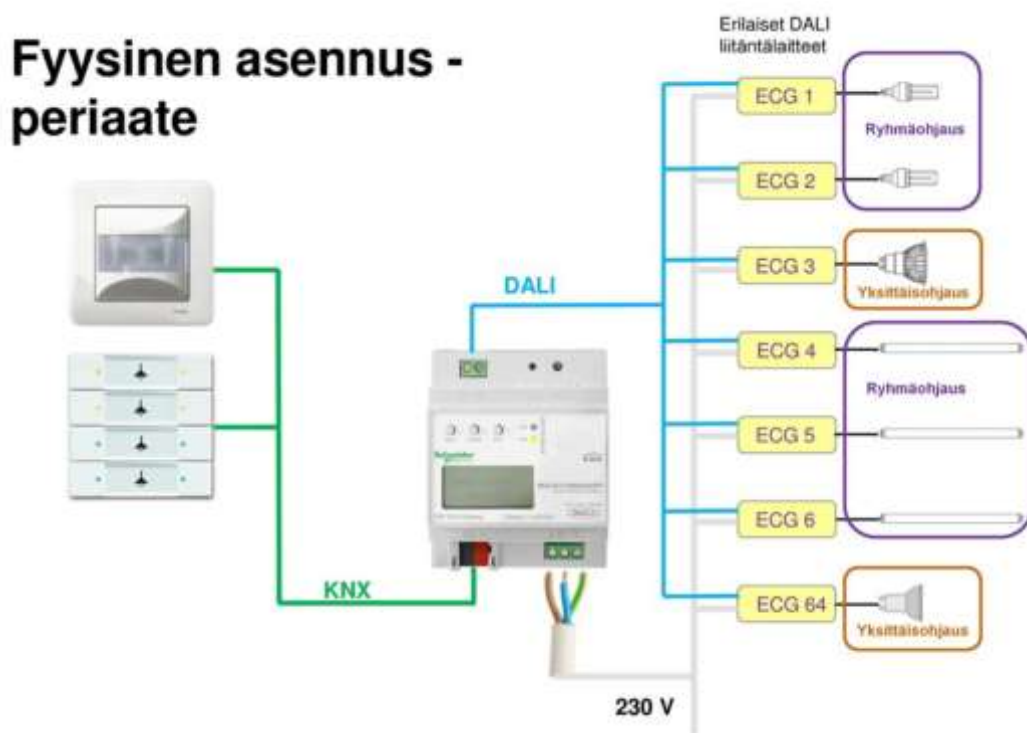
Kuva 17. Yksi- ja kaksisuuntaiset KNF RF -laitteet.

5.4.4 Sähköverkko

Saneerauskohteisiin tarkoitettu PL110 Powerline -siirtomedia esiteltiin vuonna 1996. Siinä laitteet käyttävät sähköverkkoa siirtotienä ja lähettävät sanomia 110 kHz:n taajuudella. Tiedonsiirtonopeus on 1200 bit/s. Koska sähköverkkoa ei alun perin ole tarkoitettu tiedonsiirtomediaksi, on PL110-siirtomedian luotettavuus merkittävästi heikompi kuin TP-parikaapelin. Myös langattomien järjestelmien yleistyminen on vähentänyt Powerline-tekniikan kysyntää ja tuotteet ovat käytännössä poistuneet markkinoilta. /20/

5.5 KNX/DALI-rajapinta

DALI yhdistetään KNX-väylään rajapinnan kautta. Eri valmistajien rajapinnoissa voi olla eroja sekä fyysisessä mitoituksessa että ohjelmallisella puolella. Rajapinta toimii DALI-linjan tehonlähteenä, eikä erillistä DALI-tehonlähdettä käytetä. DALI-linjan puolelle ei asenneta muita kuin valaisimia. Ohjauksessa käytetyt anturit ja painikkeet ovat KNX-antureita KNX-väylässä (**Kuva 18.**) /13, 20/



Kuva 18. KNX/DALI-rajapinta.

Kuvassa 18 oleva Schneiderin rajapinta ei tue moniryhmällokaatiota tai jos valaisin on määritetty ryhmään, sitä ei voida enää ohjata erikseen.

DALI-linjan käyttöönotto tehdään rajapinnan kautta ETS-ohjelmalla, eikä DALI-työkalua tarvita. Käyttöönotto on mahdollista vasta sen jälkeen, kun valaisimet ja väylä on asennettu ja virrat kytketty päälle. ETS-ohjelmassa on käytössä DCA-lisäohjelma (Device Configuration App). DCA asennetaan osaksi ETS-ohjelmaa. Aikaisemmin käytettiin Plug-in-lisäohjelmia. Ne ovat kuitenkin itsenäisiä ohjelmia,

mistä seurasi yhteensopivuusongelmia ja vuoden 2016 jälkeen Plug-in-lisäohjelmaa käyttäviä väylälaitteita ei ole enää hyväksytty tuotesertifioinneissa. /20/

Uusi asennus -komennolla rajapinta tunnistaa DALI-linjaan kytketyt valaisimet. Tunnistetut valaisimet ilmaistaan yksi kerrallaan valoa vilkuttamalla, jolloin käyttöönottaja yhdistää ne niiden vastineisiin KNX-projektissa. DALI-linjan käyttöönotto voidaan tehdä myös suoraan laitteesta näytön ja ohjelmointipainikkeiden avulla tai integroidun verkkopalvelimen kautta. Kuitenkin KNX-laitteiden käyttöönottoon tarvitaan ETS-ohjelmaa, joten on järkevää tehdä kaikki samalla ohjelmalla. /13, 20/

DALI-valaisimia voidaan ohjata yhden bitin, neljän bitin ja yhden tavun KNX-sanomilla. DALI-järjestelmä tuottaa yhden bitin ja yhden tavun statuspalautteet. DALI-valaisimia voidaan ohjata yksittäin tai niistä voidaan muodostaa ryhmiä, jolloin KNX-sanomat ohjaavat kaikkia ryhmän valaisimia samanaikaisesti. Jos halutaan ryhmiä enemmän kuin DALI-linjassa on mahdollista (16 kpl) tai valaisinta halutaan ohjata sekä ryhmässä että yksittäin, voidaan ryhmittely tehdä myös KNX:n puolella. Tällöin toiminnan nopeudessa on eroa: DALI-ryhmän valaisimet säätyvät, syttyvät ja sammuvat täysin samanaikaisesti. Jos ryhmittely tehdään KNX:n puolella, voivat ryhmään kytketyt valaisimet toimia eriaikaisesti DALI-linjan hitauden takia. /13, 20/

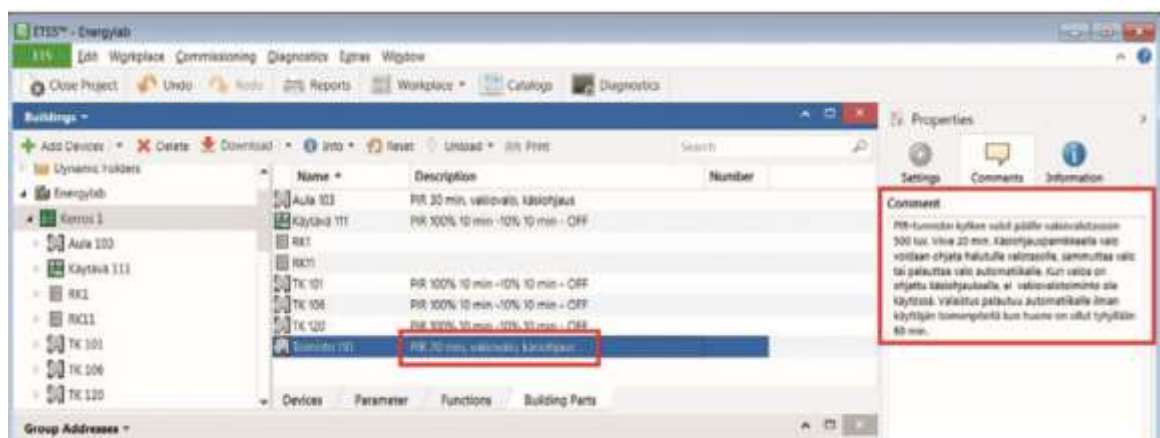
KNX-järjestelmän näkökulmasta rajapinta toimii kuten 64-kanavainen säädintoilmaite, paitsi että kanavat eivät sijaitse fyysisesti sähkökeskuksessa vaan hajautetuna rakennuksen tiloihin. Rajapinnassa on käyttötuntilaskuri jokaiselle liitäntälaitteelle ja se voi varoittaa eliniän lopun saavuttamisesta. Vaihdettaessa vioittunutta liitäntälaitetta ei uudelleenohjelmointia tarvita. /13, 20/

5.6 Suunnittelu

KNX-järjestelmän suunnittelu alkaa hankesuunnitteluvaiheesta. Silloin määritellään projektin tavoitteet ja sovitaan pääpiirteittäin, millaista automaatiota kohteeseen halutaan sekä käytettävät toiminnot. /21/

Ehdotussuunnitteluvaiheessa esitetään rakennuttajalle ja käyttäjälle automaation toteutusmallit tiloista ja toiminnoista. Tilakohtaiset toiminnot kuvataan tekstimuotoisesti toimintokorteissa. Osa toiminnoista voidaan jättää varauksiksi. /21/

Yleissuunnitteluvaiheessa tehdään yksityiskohtaisemmat suunnitelmat ehdotussuunnittelun pohjalta. Tässä vaiheessa toimintokortit muutetaan huonekohtaisiksi kortteiksi, joihin päivitetään mahdolliset tilakohtaiset tarkennukset. Rakennuksen jokainen tila ei välttämättä tarvitse omia huonekorttejaan, vaan kortteja voidaan tehdä huonetyyppien mukaan. Huonekorttien muokkaamiseen voidaan käyttää esimerkiksi ETS-ohjelmaa, jonka demoversio riittää tähän tarkoitukseen. Tällöin ETS-projektiin luodaan rakennuksen osat, ja tilan toiminnallisuuden kuvaus syötetään Comment-kenttään (**Kuva 19.**) Projektista saadaan tulostettua raportti, jota voidaan käyttää toimintaselostuksena. Kun käyttöönotto myöhemmin aloitetaan, käytetään samaa ETS-projektia pohjana. /20, 21/



Kuva 19. Huonekortti ETS-ohjelmassa.

Toteutussuunnitteluvaiheessa tuotetaan tarvittavat dokumentit hankintaan ja toteutukseen. Suunnitteludokumentoinnissa on hyvä käyttää KNX-komponenttien tunnuksina niiden yksilöllisiä osoitteita. Anturien osalta ne merkitään tasokuviin ja keskuskomponenttien osalta pääkaavioihin. /21/

Automaatiokomponentit piirretään ryhmäkeskuksen pääkaavioihin kootusti loppuosaan. Ryhmäkeskuksen sisäiset väyläjohtotukset voidaan esittää pääkaaviossa. Pääpiireissä suoraan olevat lähdöt piirretään pääpiirissä olevana koskettimena. Komponentin tunnus kirjoitetaan toimilaitteeseen, jonka lisäksi yksittäiset lähtökanavat voidaan tarpeen mukaan tunnistaa. Varsinaista keskuksen sisäistä johdotusta liittimien tarkkuudella ei kannata piirtää suoraan pääkaavioon, vaan tarvittaessa piirretään erilliset piiri- ja johdotuskaaviot. /21/

Tasopiirustuksiin piirretään muualla kuin keskuksissa ja muissa mahdollisissa koteloissa olevat komponentit. Automaation johdotus voidaan yhdistää samaan piirustukseen muiden tietoteknisten järjestelmien kanssa, jos esitys saadaan pysymään selkeänä. Piirrosmerkkeinä käytetään esimerkiksi korteissa ST 13.51 ja ST 13.52 esitettyjä piirrosmerkkejä. Komponentin ominaisuudet voidaan kuvata tasopiirustuksen marginaalissa, mikäli komponentille ei löydy piirrosmerkkiä näistä ST-korteista. /21/

Järjestelmäkaaviossa rakennus jaetaan osiin tarvittavaan määrään linjoja ja alueita. Jos järjestelmässä on niin vähäinen määrä väylälaitteita, että yksi linja riittää, ei järjestelmäkaavio ole välttämätön. Järjestelmät jaetaan linjoihin siten, että kukin linja saa mahdollisimman itsenäisesti hallinnoitavan alueen ja yhdistimien kautta välitettävien sanomien määrä on mahdollisimman pieni. Samaan tilaan tai rakennuksen osaan liittyvien anturien ja toimilaitteiden pitää sijaita samassa linjassa. Laajennusvarana KNX Association suosittelee asuinrakennuksiin 10 % ja muihin kiinteistöihin vähintään 40 %. Suurissa kohteissa kenttälaitteita voi olla hyvin paljon, jolloin järjestelmäkaaviossa esitetään vain järjestelmän alueet ja linjat sekä toteutustapa eli kierretty parikaapeli vai IP-verkko. Piirrosmerkkeinä käytetään DIN 40900 -standardin mukaisia piirrosmerkkejä, joissa väylälaite esitetään neliöllä ja liityntäelektronikka suorakulmiolla, jossa on ”väylänuoli” /20/

Yleinen käytäntö on, että suunnittelija valitsee käytettävät KNX-komponentit ja urakoitsijalle jää mahdollisuus kilpailuttaa komponentit. KNX-järjestelmä voidaan suunnitella myös ilman, että laitevalmistajaa valitsee etukäteen, jos pitäytyy

tavanomaisimmissa laitetyyeissä. Tällöin toimintokuvauksessa pitää riittävän tarkasti olla selvitetty, mitä toimintoja laitteen pitää tukea. /20/

Teholähde tulee mitoittaa linjassa olevien väylälaitteiden virrankulutukselle. Käytännössä virrankulutuksen selvittäminen voi olla työlästä. Yleisen tavan mukaan turvaudutaan nyrkkisääntöön, jossa lasketaan 10 mA väylälaitetta kohden. Myös ETS-ohjelma osaa laskea virrankulutukset, jos laitevalmistaja on sisällyttänyt ne tuotetietokantaan. /20/

Suunnittelijan on syytä tuntea valitsemiensa laitteiden keskeiset toiminnot, ettei tarpeettomia kustannuksia synny. Esimerkiksi kytkintoimilaitteista on saatavilla eri versiot virranmittauksella ja ilman tai läsnäolotunnistimissa erikseen vakiovalo-ohjauksella. /20/

6 KNX-OHJELMOINTI

6.1 ETS5 yleisesti

KNX käyttöönotto-ohjelmointiin käytetään PC-ohjelmaa nimeltä ETS (Engineering Tool Software). Tällä hetkellä on käytössä ETS5-ohjelmaversio, joka on julkaistu vuonna 2014. ETS6 on tarkoitus lanseerata markkinoille lokakuussa 2020. ETS-ohjelmaa kehittää ja myy KNX Association. Lisenssejä ovat maksuton demoversio, lite-versio, jossa rajoitus on 20 väylälaitetta, sekä rajoittamaton Professional. /20, 22/

ETS5 ei sisällä valmiiksi mitään tuotetietokantoja, vaan ne täytyy ladata. Tuotetietokannat ovat valmistaja- ja tuotenumerokohtaisia. Ne ovat tavallisesti saatavilla valmistajien verkkosivuilta tai teknisestä tuesta. Riittää, että tuotetietokannan tuo kerran, sen jälkeen se on käytettävissä kaikissa projekteissa samalla tietokoneella. /20/

6.2 Ohjelmointi

Ohjelmointi alkaa projektin luomisella. Tässä valitaan käytetty runkolinjan siirtomedia (Ethernet IP tai parikaapeli TP). Projektin voidaan liittää oheistietoa, esimerkiksi tasokuvat ja keskuskaaviot. Kun projekti on luotu, sitä käsitellään muokausnäytössä yhdessä tai useammassa paneelissa. Topologianäkymässä määritellään linja- ja aluetopologia. Rakennukset-näkymässä lisätään rakennuksen kerrokset, huoneet, portaikot ja muut rakennuksen osat. Väylälaitteet lisätään rakennuksen osiin ”lisää laitteita” -painikkeesta, josta aukeaa luettelo tietokantaan lisätyistä tuotteista. Laitteet raahataan luettelosta oikeisiin tiloihin tai valitsemalla oikea kohde luettelo-paneelistä ja painamalla ”lisää”. Ohjelma antaa laitteelle seuraavan vapaan yksilöllisen osoitteen automaattisesti ja sitä voidaan muokata valitsemalla laite aktiiviseksi. Laitteisiin voi lisätä myös kuvauksen, esimerkiksi jos saman yhdistelmäpeitelevyn alle tulee kaksi painiketta, voidaan ilmaista, kumpi on ylempi ja kumpi alempi. /20/

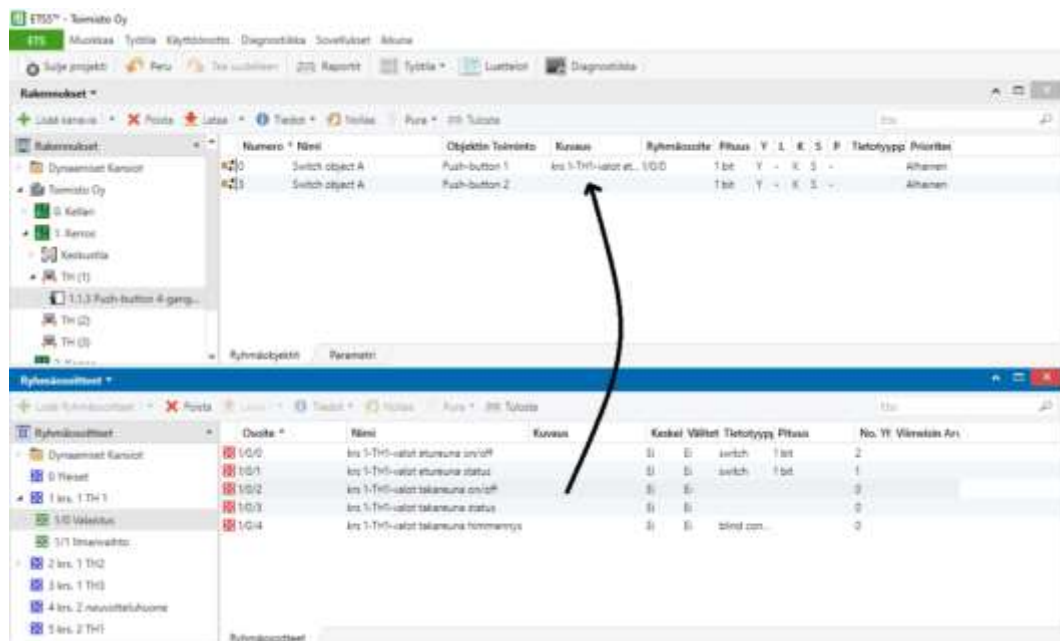
Laitteiden yksilölliset osoitteet voidaan tässä vaiheessa ladata kojeille, jos käytössä on virtalähde ja ohjelmointirajapinta. Tällöin laitteet toimitetaan käyttöönotajan kautta työmaalle ja niihin kirjoitetaan yksilöllinen osoite. Toinen vaihtoehto on lähettää osoitteet kojeille asentamisen jälkeen. /20/

Kun väylälaitte valitaan rakennus- tai topologianäkymässä, sen toiminnot määritellään kahdella välilehdellä: ryhmäobjektit ja parametrit. Ryhmäobjektien määrä riippuu valituista parametreista. Jos painike asetetaan toimimaan himmentimenä, on sillä eri määrä ryhmäobjekteja kuin päälle-komennolla. KNX-standardi ei rajoita parametrivalintoja, vaan ne ovat laitevalmistajien itsensä kehittämiä. Täten saman niminen parametri voi toteuttaa eri toiminnon. /20/

Ryhmäosoitteita käsitellään ”ryhmäosoitteet”-paneelissa. Ryhmäosoitteiden selkeä ryhmittely ja nimeäminen on perusedellytys hyvin dokumentoidussa projektissa. Ryhmäosoitteiden kolmitasoisessa esitystavassa hyväksi havaittu esitystapa on, että pääryhmät jaetaan rakennuksen tilan mukaan ja keskiryhmät toimintojen mukaan, esim. 0= valaistus, 1= lämmitys ja jäähdytys, 2= turvatekniikka jne. Pää- ja keski-ryhmistä huolimatta, jokainen ryhmäosoite nimetään siten, että se kertoo käyttötarkoituksen täydellisesti. Jokaista sytymisryhmää kohden kannattaa kerralla luoda ohjauksiin yleisesti tarvittavat ryhmäosoitteet, vaikka ensivaiheessa kaikille ei olisiakaan tarvetta. Näin laajentaminen ja ylläpito on helppoa. Esimerkiksi valaistuksen päälle-pois -ryhmille tehdään vähintään kaksi ryhmäsoitetta (päälle/pois ja statuspalaute). Säädettäville valaistusryhmille tehdään vähintään viisi ryhmäsoitetta (päälle/pois 1 bit, säätö 4 bit, arvo 1 tavu, statuspalaute 1 bit ja statuspalaute 1 tavu). Suuren ryhmäsoitemäärän muokkaaminen ETS-ohjelmassa voi olla työlästä. Vienti- ja tuontitoiminnoilla ryhmäsoiteluettelon voi siirtää Excel-ohjelmaan ja päinvastoin, jolloin muokkaus on helpompaa. /20/

Ryhmäosoitteet yhdistetään ryhmäobjekteihin hiirellä vetämällä (**Kuva 20.**) Vain samankokoiset ryhmäobjektit voidaan yhdistää. Ensimmäinen ryhmäosoitteeseen yhdistetty ryhmäobjekti määrää ryhmäosoitteen koon. Ryhmäobjekti voi lähettää sanomia vain yhteen ryhmäosoitteeseen. Tämä on lähettävä ryhmäosoite. Jos ryhmäobjektiin on yhdistetty monta ryhmäsoitetta, on lähettävä osoite luettelon

ensimmäinen. Jos lähetävä osoite pitää vaihtaa, voidaan ryhmäosoite muuttaa lähettäväksi klikkaamalla ryhmäosoitetta ryhmäobjektit-välilehdeltä ja valitsemalla ”Aseta lähetys” /20/



Kuva 20. Ryhmäosoitteen linkitys ryhmäobjektiin.

Kun kaikki parametrit on aseteltu ja ryhmäosoitteet linkitetty ryhmäobjekteihin, voidaan sovellus ladata kojeille. Lataamiseen on useampi vaihtoehto, joista ”lataa kaikki” lataa yksilöllisen osoitteen ja sovellusohjelman väylälaitteilla. Yhden ohjelmointirajapinnan kautta on mahdollista ohjelmoida koko KNX-järjestelmä. Yksilöllisiä osoitteita ladattaessa on kuitenkin painettava laitteen ohjelmointipainiketta, mikä voi olla haastavaa, jos laite sijaitsee eri puolella ja eri kerroksessa kuin ohjelmointirajapinta. Ohjelmoinnin jälkeen koekäytetään asennus, esimerkiksi läsnäolotunnistimien ajastin on helppo vaihtaa parametreista 10 sekuntiin ja testata kävelytestillä oikea toiminta. Tämän jälkeen vaihdetaan parametri oikeaksi ja ladataan sovellus uudestaan. Hyvän käytännön mukaan käyttöönoton päätyttyä tehollähteeseen tuotetaan jännitekatkos, sillä väylälaitteiden muisti saattaa pirstoutua peräkkäisten ohjelmalatausten seurauksena. Jännitekatkos eheyttää niiden muistin.

/20/

7 KOHTEEN SUUNNITTELU

7.1 Kohteen esittely

Suunniteltavana kohteena oli vuonna 1987 rakennettu kiinteistö, johon suoritetaan peruskorjaus. Peruskorjauksen tavoitteena on nykyaikaistaa monitilatoimistoja. Toimistoissa tulee olemaan vuokralla eri yrityksiä. Kolmen toimistokerroksen lisäksi rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa on liiketiloja ja kellarissa on parkkihalli. Koko kiinteistön kerrosala on n. 1400 m². Vain toimistokerrokseen tulee KNX/DALI-järjestelmä, joten tässä opinnäytetyössä keskitytään niihin. Suunnittelu tehdään suoraan sähköurakoitsijalle, jolloin urakkatarjousvaihetta ei ole. Näin asennettavuuteen ja hankintaan kiinnitetään huomiota jo suunnitteluvaiheessa.

7.2 Tasopiirustukset

Suunnittelu tehtiin MagiCAD 2019 -versiolla, joka on suomalainen AutoCADin päälle tehty ohjelmisto talotekniseen suunnitteluun. Työ alkoi 3. kerroksen tasopiirustusten teolla, jossa aluksi laitettiin keskus paikalleen ja mietittiin kaapeliyhlyreittejä. Tämän jälkeen laitteet sijoitettiin paikoilleen. Pisteiden sijoittelun jälkeen kuva lähetettiin urakoitsijalle kommentoitavaksi, muutoksia tuli lähinnä keittiön pistorasioihin. Tämän jälkeen piirrettiin kaapelointi kuviin ja lisättiin ryhmät, josta generoitiin keskuskaavio. Kerrokset 2 ja 4 tehtiin samalla periaatteella. Kerroksissa on pieniä eroja, esimerkiksi 4. kerrokseen tuli hieman enemmän isompia neuvotte-luhuoneita.

Tiloissa on ajateltu hyvää muuntojoustavuutta. Jokaisen tilan valaistusta ohjataan läsnäolotunnistimella, jossa on vakiovalo-ominaisuus. Näin saadaan luonnonvalo hyödynnettyä. Työpisteiden sähkönjakelu hoidetaan ”liaaneilla” katonrajassa olevista RJ45-rasioista ja pistorasioista. Pistorasioita ei ohjata KNX-järjestelmällä, eli kytkintoimilaitteita kohteeseen ei tullut. Tilat varustettiin myös langattomilla 2-vipuisilla EnOcean-painikkeilla, joilla käyttäjä voi manuaalisesti säätää valaistusta. Painikkeiden sijoittelu on hyvin vapaata, ne voidaan esimerkiksi asettaa neuvotte-lupöydän päälle tai liimata lasiin kiinni. Täten tasopiirustuksessa esitetty paikka painikkeelle on vain ohjeellinen. Kevyet väliseinät vaimentavat vain vähän

radiosignaalia, joten vaimenemisesta ei muodostu ongelmaa. KN/EnOcean-rajapintana toimi Schneiderin SpaceLynk-logiikkayksikkö, johon liitetään EnOcean-USB-antenni (**Kuva 21.**) /23, 24/ Antennille voidaan tarvittaessa etsiä optimaalinen sijainti käyttämällä enintään 5 metrin pituista tavallista USB A-A -tyypin jatkokaapelia. Antenneja sijoitettiin 2 kerrosta kohden. Sähköurakoitsija valitsi muutkin KNX-tuotteet Schneiderin valikoimasta.

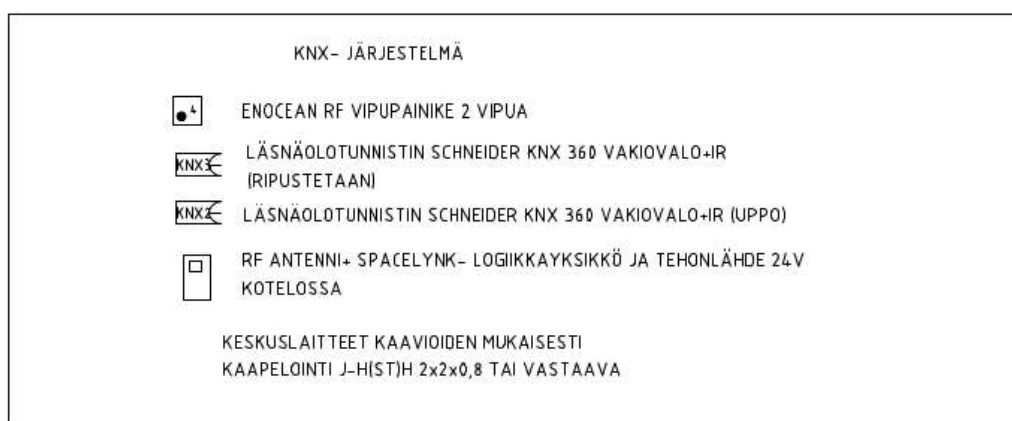


Kuva 21. Spacelynk-logiikkayksikkö ja EnOcean USB-antenni.

Urakoitsija teetätti valaistuskannan kolmannella osapuolella, joten valaisimet sijoitettiin sen mukaisesti. Kaikki valaisimet ovat DALI-liitäntälaitteella, lukuun ottamatta WC-tiloja, siivouskomeroa ja muita pieniä tiloja. Jokainen liitäntälaitte käyttää yhtä osoitetta. Porrashuoneisiin ei tule muutoksia, vain vanhat valaisimet uusitaan. Toimistohuoneisiin tuli NVC:n Tula 600x600 LED -paneelit, jotka ripustetaan roikkumaan katosta. Käytävälle/ aulaan, jossa on alas laskettu katto, tuli samanlaiset valaisimet T-listaan upotettuna. Myös läsnäolotunnistimet asennetaan roikkumaan toimistohuoneissa katosta, jotta valaisimet sekä ilmanvaihtolaitteet eivät aiheuttaisi katvealueita. Tunnistimien havaitsemisalue on 7 metriä 2,5 metrin asennuskorkeudella. DALI-valaisimia tuli kerrokseen noin 69 kpl riippuen kerroksesta, joten tarvittiin 2 linjaa. Kerros jaettiin keskeltä poikki, josta vasen reuna on

DALI 1 -linja, ja oikea reuna DALI 2 -linja. Ryhmiä voi olla 16, joten jokainen työhuone on oma ryhmänsä, ja neuvotteluhuoneet voidaan jakaa kahteen ryhmään. Myös keittiö on oma ryhmänsä ja käytävä voidaan jakaa useampaan ryhmään. DALI-liitännälaite ottaa vain 2 mA virtaa, joten yhden DALI-väylän virrat jäävät selvästi alle 250 mA, mikä ei aiheuta toimenpiteitä. Myös kaapelipituudet ovat alle 300 metriä. Ote 2. kerroksen vahvavirtapiirustuksesta on liitteessä 1.

KNX-laitteet sijoitettiin piirustuksessa omalle tasolle, jotta ne saadaan näkymään omassa tulosteessa. Läsnaolotunnistimia tuli n. 20 kpl/kerros, EnOcean-painikkeet ovat omina kanavinaan, joten laajennusvaraa löytyy reilusti. Laitteet esitetään samassa heikkovirtakuvassa yleiskaapelointijärjestelmän kanssa. Kaapelointina käytetään J-H(ST)H 2x2x0,8 -kaapelia. Laitteet ja kaapelointi tarkennettiin kuvan sivussa olevassa seliteosassa (**Kuva 22.**) Urakoitsijan kanssa sovittiin, että ne merkitsevät työn aikana väyläjohtotukset kuviin. Topologian vapaudesta johtuen tämä sopi hyvin, kunhan renkaita ei muodostu. Laitteet esitetään samassa heikkovirtakuvassa yleiskaapelointijärjestelmän kanssa, koska laitteita ei ole kovin paljon. Ote heikkovirtapiirustuksesta on liitteessä 2.

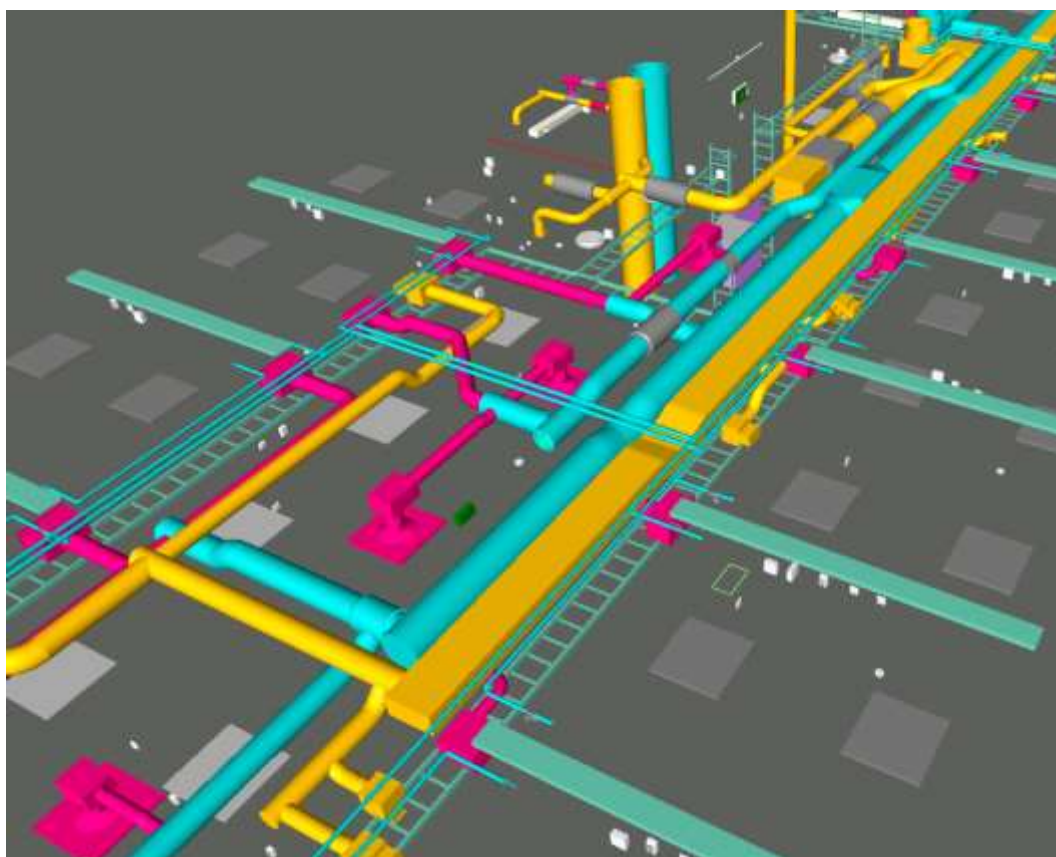


Kuva 22. Tasopiirustuksen KNX-seliteosa.

7.2.1 Törmäystarkastelu

Kun kaapelireitit ja pisteet saatiin paikalleen, tehtiin kohteesta 3D-malli, jonka avulla tarkasteltiin risteämiä LVI-tekniikan kanssa. LVI- ja sähkösuunnitelmien yhteensovittamiseen käytettiin Navisvorks Manage -ohjelmaa. Kyseessä ei ole tietomallinnuskohde, eikä arkkitehti tehnyt kohteesta 3D-mallia.




Saneerauskohteissa on yleensä uudiskohteita vähemmän tilaa taloteknisille järjestelmille, joten yhteentörmäyksien sovittaminen suunnitteluvaiheessa säästää resursseja työmaalla. Toimistoihin tuli valkoiset levyhyllyt lämmitys- ja jäähdytyspaneelien yläpuolelle. Koron tarkastaminen onnistuu kätevästi mallista. Kaapeliyhlyllyjen ja valaisimien törmäilyt LVI-putkien ja laitteiden kanssa tarkastettiin myös ohjelmalla (**Kuva 23.**) Mallista näkee myös helposti sopivan tilan alakatosta EnOcean-rajapinnalle.



Kuva 23. Yhteensovitus NavisWorks-ohjelmassa.

7.3 KNX-järjestelmäkaavio

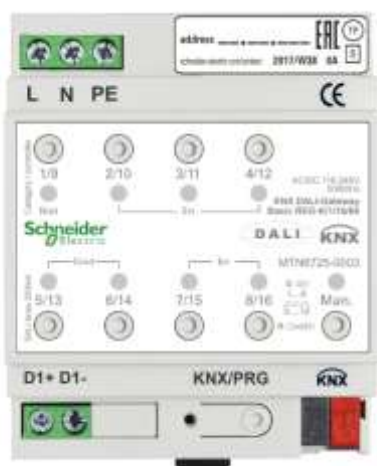
Järjestelmäkaaviossa rakennus jaettiin siten, että rakennus on alue ja jokainen kerros 2-4 saavat oman linjansa, jotka yhdistetään linjayhdistimellä päälinjaan. Päälinjan siirtomediana on kierretty pari, Ethernet-järjestelmälle ei ollut tarvetta, koska päälinjassa ei välitetä paljoa sanomia. Päälinjan teholähde sijoitettiin kellarikerroksen pääkeskukseen, jolloin päälinja kattaa koko rakennuksen ja mahdollistaa tulevaisuudessa myös KNX-järjestelmän laajentamisen kellarin ja 1. kerrokseen. Työn loppuvaiheessa päälinja jatkettiin vielä IV-konehuoneeseen. Tällöin pystytään hyödyntämään läsnäolotietoa ilmanvaihdon tehostuksessa. Järjestelmäkaaviossa esitettiin myös keskuslaitteet sekä periaate rakennuksessa olevista antureista. Tarkemmin ne on esitetty tasopiirustuksessa. Näin saadaan hyvä kokonaiskuva järjestelmästä. Isommissa kohteissa on järkevää sijoittaa järjestelmäkaavioon vain linja- ja alueyhdistimet ja näiden välinen siirtomedia. Laitteiden yksilölliset osoitteet kirjoitettiin keskuslaitteiden osalta järjestelmäkaavioon. Järjestelmäkaavion reunaan koottiin laiteluettelo (**Kuva 24.**) Laiteluettelossa on listattuna laitteiden tuotekoodit. Itse järjestelmäkaavio on liitteessä 3.

KNX- LAITTEET SCHNEIDER:	
	TEHOLÄHDE 640 mA DIN MTN6484064
	LINJA-/ ALUEYHDISTIN DIN-K MTN680204
	KNX/ BALI RAJAPINTA BASIC REG-K/1/16/64 MTN6725-0003
	SPACELYNK LOGIIKKA/VISUALISOINTIYKSIKKÖ L55100208 + ENOCEAN RF USB ANTENNI L5510020040
	ENOCEAN RF VIPUPAINIKE 2 VIPUA L5510020048
	LÄSNÄOLOTUNNISTIN 360 VAKIOVALO-IR MTN630919
TUNNISTIMET JA PAINIKKEET TASOKUVIEN MUKAISESTI	
KAAPELOINTI J-H(STI) 2x2x0,8	

Kuva 24. Laiteluettelo järjestelmäkaavion sivussa.

7.4 Keskuskaavio

KNX-järjestelmän laitteet koottiin keskitetysti keskuksen pääkaavion loppuosaan. Keskukseen laitettiin linjayhdistin, USB-ohjelmointirajapinta, teholähde 640 mA sekä 2 kpl KNX/DALI-rajapintoja (**Kuva 25.**) /25/ Kyseinen rajapinta tukee DALI DT8 -väriohjausta, joten dynaaminen valaistus voitaisiin toteuttaa kohteeseen vaihtamalla valaisimet ja asentamalla keskuksen KNX-kellokytkin. Teholähteelle ja rajapinnalle laitettiin C6-tyypin johdonsuojakatkaisijat, RF-antennit/SpaceLynk -yksiköt tarvitsivat myös 24 VDC:n syötön. Teholähde näille ei ole KNX-tuote. Teholähteet sijaitsevat kotelossa alakaton yläpuolella, koteloihin laitettiin 230 VAC-syöttö.



Kuva 25. KNX/DALI-rajapinta Basic REG-K/1/16/64.

KNX-väyläkaapeli esitettiin pistekatkoviivana. DALI-linjoihin viitataan DA1- ja DA2-teksteillä ja samanlaiset tekstit löytyvät valaistusryhmien kohdalta. Valaistusryhmiin laitettiin C10-johdonsuojakatkaisijat. Johdotus on keskukselta asti MMJ 5x1,5S ja DALI-väylä ketjutetaan keskuksessa riviliittimillä. Tilavaraus mahdollisille tulevaisuudessa asennettaville keskuslaitteille otettiin huomioon. Jos tulevaisuudessa halutaan lisätä esimerkiksi kytkintoimilaite, on tälle tila valmiina. Ote keskuskaaviosta on liitteessä 4.

8 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä nykyaikainen sähkösuunnitelma olemassa olevaan kiinteistöön, jossa suoritetaan peruskorjaus. Opinnäytetyön aihe lähti liikkeelle omasta kiinnostuksesta DALI-järjestelmään. Tämän jälkeen aihe yhdistettiin suunniteltavaan kiinteistöön, jossa mukaan tuli KNX-järjestelmä. Aiheen rajaus haki hieman paikkaansa, sillä aluksi aioin tehdä opinnäytetyön koskien koko kohteen suunnittelua. Tämä olisi kuitenkin paisunut liian laajaksi, joten työ rajattiin koskemaan KNX-DALI-järjestelmää, jolla ohjattiin valaistusta kiinteistön kerroksissa 2-4. Aiheen valinnan jälkeen tehtiin työlle alustava aikataulu ja sisällysluettelo, jotka tarkentuivat työn edetessä.

Teoriaosuudessa käytiin aluksi läpi yleisesti valaistuksen säätöä toimistotiloissa. Tämän jälkeen kerrottiin DALI-valaistuksenohjauksesta sekä KNX-järjestelmästä. Lopussa kerrotaan kohteen suunnittelusta käytännössä. Kohteeseen tuli läsnäolotunnistimet vakiovalotoiminnolla, joilla saadaan säästettyä energiaa. Käsinohjausmahdollisuus toteutettiin langattomilla EnOcean-painikkeilla. Työ oli hieman normaalista poikkeava, sillä se tehtiin suoraan urakoitsijalle. Työssä käsiteltiin myös KNX-ohjelmointia, mutta käytännön toteutus siitä tehdään myöhemmin opinnäytetyön julkaisemisen jälkeen.

Lopputuloksena saatiin tasokuvat, keskuskaaviot ja järjestelmäkaavio suunniteltua kohteeseen. Suunnitelmat onnistuivat mielestäni hyvin. Järjestelmän tuntemus on tärkeässä roolissa suunniteltaessa kohteita, sillä eri valmistajien tuotteissa voi olla merkittäviäkin eroja toiminnallisuuksissa. Turhia kustannuksia voi syntyä, jos valitaan laitteet, joissa on ylimääräisiä ominaisuuksia. Opinnäytetyö vahvisti ammatillista osaamista kyseisten järjestelmien suunnittelusta.

Tietoa haettiin etenkin ST-korteista sekä ST-käsikirjoista. Tässä tuli esille tiedon ajantasaisuus, esimerkiksi KNX-järjestelmään tulleet muutokset vuodelta 2019 ja DALIn käyttöönottosovellus DCA eivät olleet vielä päivittyneet kaikkiin ST-kortteihin. Myös DALI-järjestelmästä tietoa piti etsiä monesta lähteestä. Kuitenkin mielestäni opinnäytetyöhön saatiin koottua kattava peruskäsitys sekä DALI- että KNX-järjestelmästä sekä siitä, miten nämä toimivat yhdessä.

KNX-DALI-järjestelmällä saadaan toteutettua helposti muuntojoustava järjestelmä. Avoimeen standardiin perustuva valmistajariippumaton KNX on hyvä vaihtoehto moderniin kiinteistön sähköistykseen. Väyläpohjainen järjestelmä antaa vapauden kaapelointiin ja DALI säästää tilaa keskukselta, kun kaikkia syttymisryhmiä ei tarvitse erikseen johdottaa keskukselta asti. DALI 2 -standardin mukaiset laitteet tuovat myös uusia mahdollisuuksia toteuttaa ohjauksia valmistajariippumattomasti. Täytyy kuitenkin muistaa, että DALI 2 -sertifikaatti ei vielä takaa kaikkien ominaisuuksien yhteensopivuutta, sillä sertifiointiin kuuluvat standardin osat päivittyvät koko ajan.

Dynaaminen valaistus tulee varmasti tulevaisuudessa lisääntymään, kun aiheesta saadaan lisää tutkimustietoa. Tämä onkin otettu huomioon tulevassa, vielä julkaisemattomassa valaistusstandardissa. Tämä olisikin hyvä jatkotutkimuskohde.

Opinnäytetyössä tuli esille paljon ajankohtaisia ja juuri päivitettyjä asioita. Jatkuva oppiminen ja ajantasaisen tiedon ylläpito onkin tärkeä osa ammattitaitoa. Opinnäytetyö antaa hyvän pohjan tuleville projekteille. Opinnäytetyön aikana tuntemus järjestelmistä kasvoi huomattavasti ja työ oli opettavainen. Opinnäytetyö opetti myös aikatauluttamaan omaa työtä. Jos nyt aloittaisin tekemään opinnäytetyötä, käsitteaisin DALI-osuutta enemmän osana KNX-järjestelmää.

LÄHTEET

- /1/ Granlund – hyvinvointia rakennetussa ympäristössä. Granlund Oy verkkosivut. Viitattu 10.2.2020. <https://www.granlund.fi/granlund/meista/>
- /2/ Granlund Pohjanmaa Oy. Yritysesittely. Viitattu 10.2.2020. <https://www.granlund.fi/yhteys/vaasa/>
- /3/ Pajuniemi, P. Toimitusjohtaja. Granlund Pohjanmaa Oy. Haastattelu 17.4.2020
- /4/ ST 58.31 Valonlähteiden säätö ja ohjaus. 2016. Sähköinfo Oy.
- /5/ Toimisto- ja työtilojen valaistus. Innolux verkkosivut. Viitattu 16.2.2020 <https://www.innolux.fi/fi/toimisto-ja-ty%C3%B6tilojen-valaistus>
- /6/ ST 58.04 Ohjeita valaistuksen suunnitteluun ja toteutukseen. 2017. Sähköinfo Oy.
- /7/ ST 58.02 Valaistuksen toteutus standardin SFS-EN 12464-1 mukaisesti. 2017. Sähköinfo Oy.
- /8/ DALI–standardisoitu digitaalinen valonohjausprotokolla. Fagerhult verkkosivut. Viitattu 16.2.2020. <https://www.fagerhult.com/fi/Valaistustietoutta/lighting-control/Control-methods/dali/>
- /9/ Justlen, H. DALI Taustaa, olevaa, uutta ja tulevaa. Helvar PP-esitys. Viitattu 19.2.2020. <http://www.nsoy.fi/uploads/asiantuntijaseminaarin%20materiaali%202015/Henri%20Helvar%20Dali.pdf>
- /10/ Piikkilä, V. & Sahlstén, T. 2017. Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät ST-käsikirja 21 8.10 DALI. Espoo. Sähköinfo Oy
- /11/ Helvar is the first in the world to launch DALI-2 certified LED driver. Helvar. Verkkouutinen. 2017. Viitattu 22.2.2020. <https://helvar.com/fi/helvar-is-the-first-in-the-world-to-launch-dali-2-certified-led-driver/>
- /12/ IEC 62386 the international standard for DALI technology. DiiA verkkojulkaisu. Viitattu 22.2.2020. <https://www.digitalilluminationinterface.org/dali/standards.html>

- /13/ Kallioharju, K. DALI-koulutus, teoriaosio. Tampereen ammattikorkeakoulu. 2012. Viitattu 22.2.2020. <https://docplayer.fi/2189683-Dali-koulutus-teoriaosio.html>
- /14/ DALI manual, Tridonic. 2013. Donbirt, Austria. Viitattu 21.2.2020 https://www.tridonic.se/se/download/technical/DALI-manual_en.pdf/
- /15/ Valaistuksenohjausjärjestelmät katalogi 2020. Helvar. Viitattu 23.2.2020. <https://helvar.com/wp-content/uploads/2020/01/FIN-Catalogue-2020.pdf/>
- /16/ Ihmislähtöinen valaistus. Glamox-verkkosivut. Viitattu 1.3.2020. <https://glamox.com/fi/ihmislhtinen-valaistus>
- /17/ Puolakka, M. 2019. Ihmiskeskeinen valaistus on pian valtavirtaa. Artikkelit Sähköala.fi verkkosivuilla. Viitattu 1.3.2020. https://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/valaistus/fi_FI/Ihmiskeskeinen_valaistus/
- /18/ Human Centric Lighting. 2019. Fagerhult-verkkojulkaisu. Viitattu 1.3.2020. https://www.fagerhult.com/globalassets/global/downloads/brochures/fi/hcl-fol-der_fi_lowres.pdf
- /19/ Kuinka tekniikka toimii käytännössä? Fagerhult-verkkosivut. Viitattu 1.3.2020. <https://www.fagerhult.com/fi/Tunable-white/Henkilokohtaista-valoa/Kuinka-tekniikka-toimii-kaytannossa/>
- /20/ Härkönen, K. 2019. KNX-järjestelmän perusteet. ST-käsikirja 23. Espoo. Sähköinfo Oy
- /21/ ST 701.31 Kotiautomaatiojärjestelmän suunnittelu ja toteutusperiaatteet. 2018. Sähkötieto Ry
- /22/ KNX Journal 2020. KNXtoday-verkkojulkaisu. Viitattu 29.3.2020. https://www.knx.org/wAssets/docs/downloads/Marketing/KNX-Journal/International-Journals/English/KNX-Journal-2020_en.pdf

/23/ Schneider KNX spaceLYnk monirajapinta. Viitattu 11.4.2020.

<https://www.se.com/fi/fi/product/LSS100200/knx-spacelynk-monirajapinta/>

/24/ Schneider EnOcean USB antenni. Viitattu 11.4.2020.

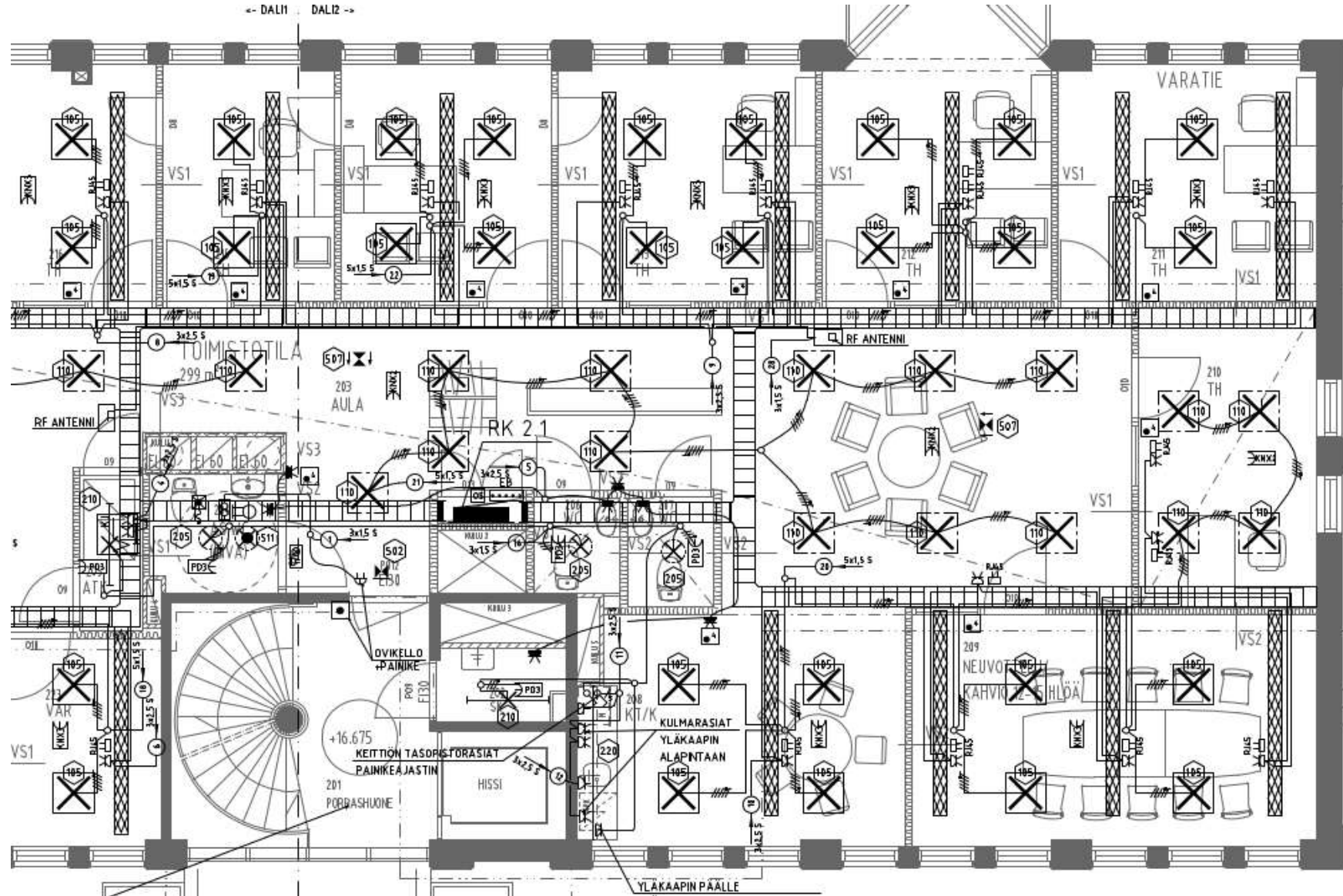
<https://www.se.com/fi/fi/product/LSS10020040/enocan-usb-antenni-868mhz/>

/25/ Schneider KNX DALI-Gateway Basic. Viitattu 11.4.2020.

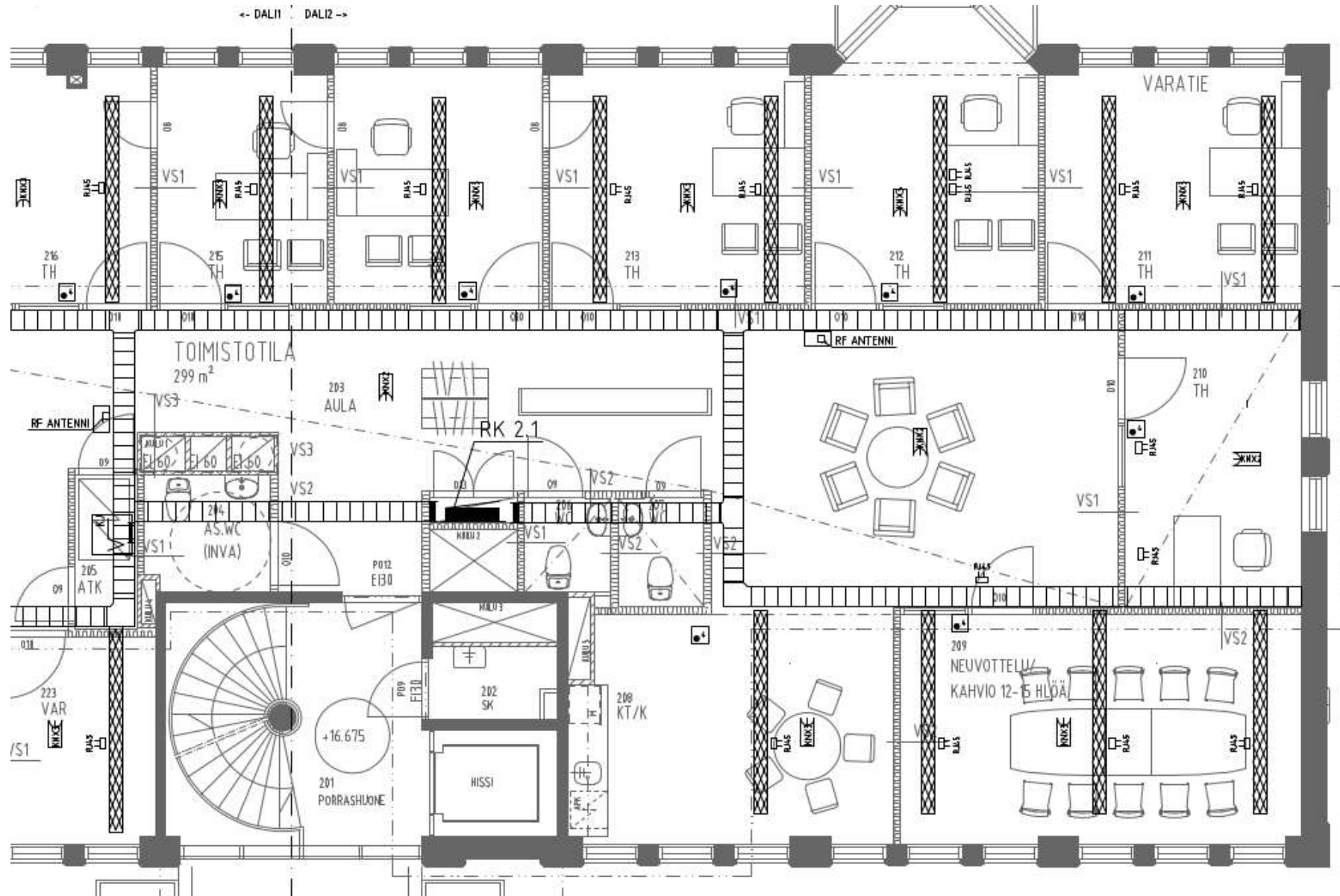
<https://www.se.com/fi/fi/product/MTN6725-0003/knx-dali-gateway-basic-reg-k-1-16-64/>

LIITE 1. Ote vahvavirtakuvasta.

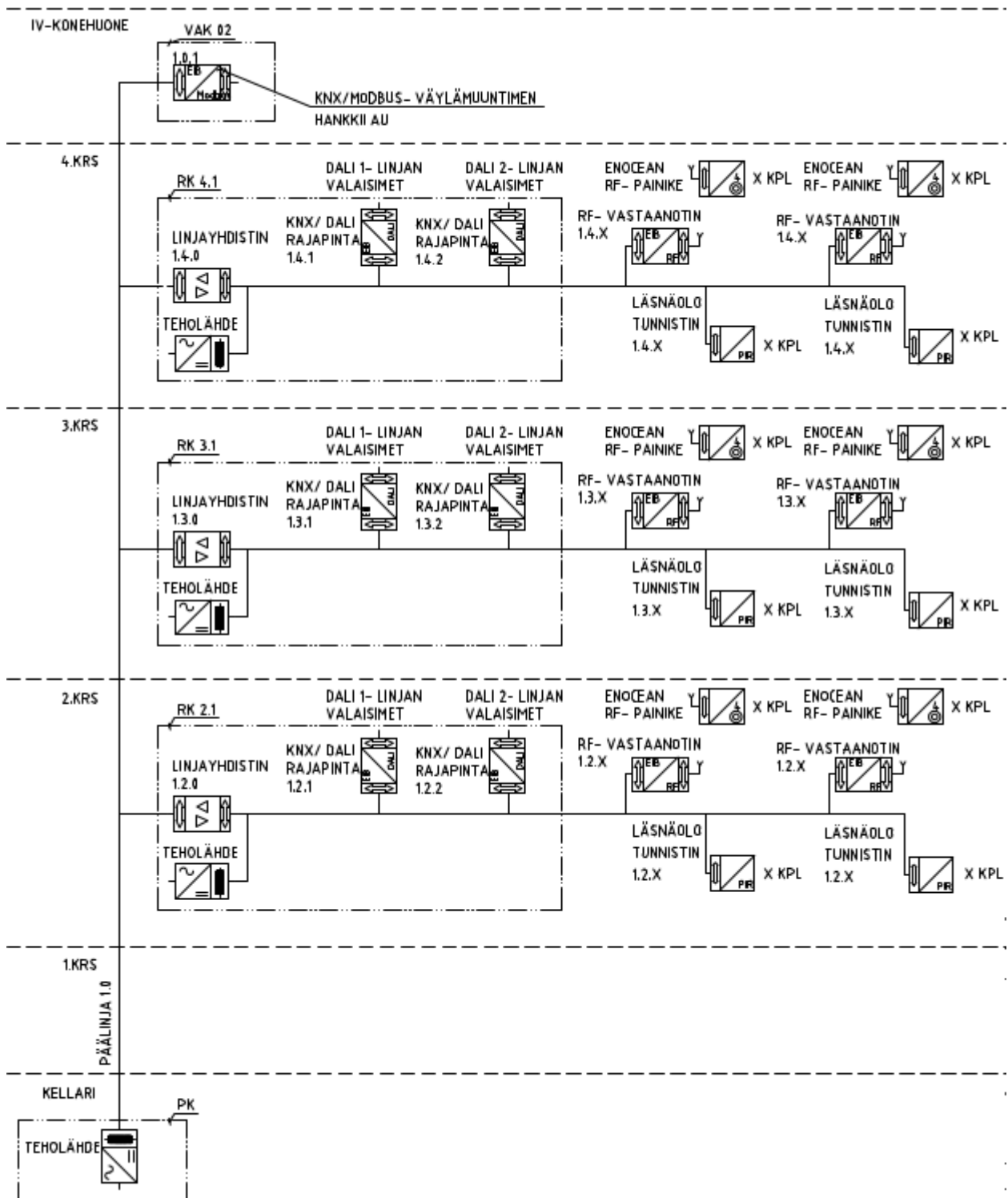
← DALI1 DALI2 →



LIITE 2. Ote heikkovirtakuvasta.



LIITE 3. Järjestelmäkaavio.



Nro	Kaavio	Nimitys	kW	Sulake	Kaapeli
		Linjayhdistin			J-H(ST)H 2x2x0,8
		KNX- USB ohjelmointirajapinta			
26		KNX tehonlähde 640 mA		C6	
27		KNX- DALI gateway DALI1 DALI2		C6	
28		RF antennit (KNX- tehonlähde 24 V)		C10	MMJ 3x1,5 5
		KNX- väylä			J-H(ST)H 2x2x0,8
		Varahila KNX-laitteille 12 modulia			