

Verner Uhlbäck

RAKENNUSAUTOMAATION VÄYLÄT JA NIIDEN YHTEENSOVITTAMINEN NY- KYPÄIVÄN KIIINTEISTÖSSÄ

RAKENNUSAUTOMAATION VÄYLÄT JA NIIDEN YHTEENSOVITTAMINEN NY- KYPÄIVÄN KIIINTEISTÖSSÄ

Veneri Uhlbäck
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkötekniikka

Tekijä: Verner Uhlbäck

Opinnäytetyön nimi: Rakennusautomaation väylät ja niiden yhteensovittaminen nykypäivän kiinteistöissä

Työn ohjaaja: Ismo Pitkänen ja Jussi Keränen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 37 + 6 liitettä

Opinnäytetyön tilaajana toimi Enmac Oy, joka on usean eri alan suunnittelutoimisto, kuten esimerkiksi sähkö- ja automaatiotekniikan sekä putkisto- ja laitossuunnittelun. Suunnittelun lisäksi Enmac tekee myös muun muassa järjestelmätoimituksia suoraan asiakkaille avaimet käteen periaatteella. Työn aihe valikoitui tilaajan käynnissä olevasta projektista, jossa oli keskeisessä osassa rakennusautomaatiotäylät ja niiden suunnittelu.

Opinnäytetyö tarkoituksena oli syventyä tilaajan kohteessa oleviin rakennusautomaation väyläratkaisuihin sekä pyrkiä muodostamaan ymmärrys niiden yhteensovittamisesta sekä suunnittelusta. Tavoitteena oli oppia kyseisten väyläratkaisujen tärkeimmät ominaisuudet ja pyrkiä hyödyntämään opittua tietoa suunnittelussa. Lisäksi tavoitteena oli kehittyä suunnittelijana ja pyrkiä muodostamaan tilaajalle laadukasta dokumentaatiota.

Työskentelymenetelminä oli itsenäinen tiedonkeruu pyrkimyksenä käyttää useita eri lähteitä ja vertailla niiden sisältöjä. Tiedonkeruuseen ja sisällön ohjaukseen sisältyi myös kokeneempien suunnittelijoiden havainnot ja neuvot. Itse suunnittelu sisälsi useiden eri tietokoneohjelmien hyödyntämistä, joista käytetyimmät olivat Excel ja AutoCAD.

Opinnäytetyön tekemisen myötä Enmacille syntyi suunnitelmapiirustuksia asiakkaalle sekä suunnitteluohjeistus, jossa on koottuna työssä esiintyvien väylien perustiedot ja suunnittelussa huomiioon otettavat asiat. Suunnitteluohjeen tarkoitus on helpottaa suunnittelua, sekä varmistaa laadukas työnjälki. Tämän myötä opinnäytetyössä saavutettiin tavoitteet ja tilaaja oli tyytyväinen työhön.

Rakennusautomaatio, väyläprotokolla, KNX, BACnet, Modbus, M-Bus, CAN, DALI

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Electrical and Automation Engineering, Option of Electrical Engineering

Author: Verner Uhlbäck

Title of thesis: Coordination of Building Automation Busses in Today's Properties

Supervisor: Ismo Pitkänen ja Jussi Keränen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 37 + 6 appendices

The subject of this thesis is building automation busses and combining them. The thesis was commissioned by Enmac Oy, which operates in several fields such as electrical and automation engineering and piping and plant design. The topic of the thesis was selected on the basis of the commissioner's ongoing project, which involves substantially different building automation busses. The busses in the thesis are limited to the ones that were involved in the project.

The goal of the thesis was to understand the differences of the busses and to learn the most important properties of them. One of the goals was also to produce plan drawings for the commissioner's client and produce informative document for the commissioner.

Information retrieval methods used were independent information collection from the internet and interviewing experienced designers. Various computer programs, such as Excel and Autocad were also utilized to design and process information. The thesis achieved the objectives in terms of learning and documentation.

Keywords: Building automation, bus protocol, Knx, BACnet, Modbus, M-Bus, CAN, DALI

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	RAKENNUSAUTOMAATIO JA VÄYLÄTEKNIIIKAT	8
2.1	Rakennusautomaation hyödyt.....	8
2.2	Väylätekniikoiden merkitys rakennusautomaatiossa	8
3	VÄYLÄPROTOKOLLIEN TOIMINTAPERIAATTEET JA RAKENTEET	10
3.1	Väyläprotokolla.....	10
3.2	Tiedonsiirron mallinnukset	10
3.2.1	OSI-malli	11
3.2.2	TCP/IP	12
3.3	Topologiat	12
3.3.1	Väylä- eli linjatopologia	12
3.3.2	Tähtitopologia	13
3.3.3	Rengastopologia.....	14
3.3.4	Mesh-topologia	14
3.3.5	Yhdistelmätopologiat	15
4	RAKENNUSAUTOMAATIOVÄYLIEN PERUSTIEDOT	16
4.1	RS-485-standardin perusteet	16
4.2	BACnet.....	17
4.2.1	BACnet MS/TP	18
4.2.2	BACnet IP	19
4.3	Modbus	19
4.3.1	Modbus RTU.....	20
4.3.2	Modbus TCP/IP	21
4.4	KNX.....	21
4.5	M-Bus.....	23
4.6	CAN	25
4.7	DALI	27
5	ERI VÄYLÄTYYPPIEN YHTEENSOVITTAMINEN JA HYÖDYT	29
5.1	Rakennusautomaatioväylien integraatio	29
5.2	Integraation hyödyt ja tarve.....	30
6	RAKENNUSAUTOMAATIOVÄYLÄN SUUNNITTELU	31

6.1	Suunnittelun eteneminen	31
6.2	KNX-väylän suunnitteluesimerkki.....	32
7	YHTEENVETO	35
	LÄHTEET.....	36
	LIITTEET	38

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan kiinteistöjen rakennusautomaation väyläratkaisuja sekä niiden yhteensovittamista ja niistä saatavia hyötyjä. Opinnäytetyö painottuu erityisesti ilmanvaihtoon, lämmitykseen ja jäähdytykseen sekä huonesäätöihin suuressa kiinteistössä, jossa on myös erilaisia erikoistiloja ja ratkaisuja. Nykyisin käytetään useita eri väyläprotokollia, ja usein niitä myös yhdistetään toisiinsa, joten kiinteistön väyläratkaisut voivat mennä toisinaan monimutkaisiksi ja haastaviksi. Tämän työn tarkoitus on syventyä eri väyläratkaisuihin ja näin edesauttaa laadukasta suunnittelua, jolla saavutetaan hyvä lopputulos koko rakennuksen elinkaaren ajaksi. Opinnäytetyö rajataan sisältämään pääasiassa tilaajan suunnittelukohteessa esiintyvät rakennusautomaation väyläratkaisut. Käsiteltäviä väyläratkaisuja tässä työssä ovat muun muassa KNX, BACnet, Modbus, Mbus, CAN ja DALI.

Opinnäytetyön tilaajana toimii Enmac Oy, joka on useamman eri alan suunnittelutoimisto, kuten esimerkiksi mekaniikka-, laitos-, putkisto-, prosessi- sekä sähkö- ja automaatio suunnittelun. Suunnittelun lisäksi Enmac tekee myös muun muassa järjestelmätoimituksia suoraan asiakkaille avaimet käteen -periaatteella. Enmac toimii kuudella eri paikkakunnalla ja sen pääkonttori sijaitsee Tampereella. (1.)

Opinnäytetyön tavoitteena on saada lisää tietoa ja käsitystä erilaisista rakennusautomaation väyläratkaisuksista, sekä oppia niiden tärkeimmät ominaisuudet. Tämän myötä tavoitteena on tuottaa Enmacille suunnitteluopas, jossa on koostettuna tärkeimmät suunnittelun lähtökohdat tässä työssä esiintyvistä väyläjärjestelmistä, mitä suunnittelijat voivat hyödyntää tulevaisuudessa. Lisäksi tavoitteena on tuottaa tilaajalle toteutuspiirustuksia asiakkaan kohteeseen, johon hyödynnetään opittua tietoa.

2 RAKENNUSAUTOMAATIO JA VÄYLÄTEKNIIKAT

Rakennusautomaation rooli on nykyään suuremmissa kiinteistöissä merkittävä, ja se on otettava huomioon suunnittelussa myös muilla rakentamisen osa-alueilla. Rakennusautomaatiolla tarkoitetaan yleisesti erilaisia toimintojen automatisointeja, joista tyypillisimpiä ovat esimerkiksi ilmanvaihdon ja lämmityksen säätö, sekä näiden mittaus kiinteistössä. Rakennusautomaatiota hyödyntämällä nämä toiminnot tapahtuvat rakennuksessa automaattisesti, eivätkä ne siten vaadi käyttäjiltä toimenpiteitä arjessa. Myös muita järjestelmiä tyypillisesti liitetään rakennusautomaatioon, kuten esimerkiksi valaistus, kulunvalvonta sekä paloilmajärjestelmät.

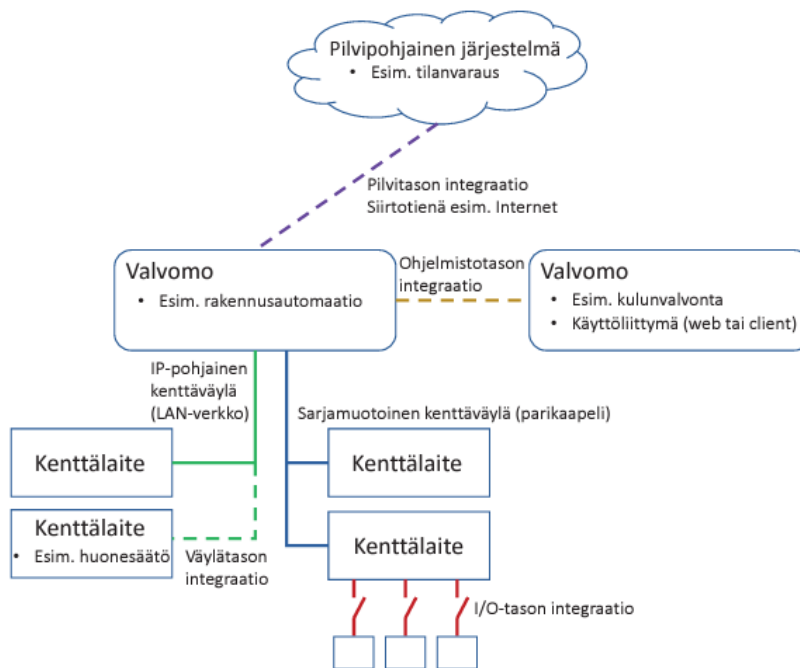
2.1 Rakennusautomaation hyödyt

Rakennusautomaatiolla ja sen järjestelmillä saavutetaan kiinteistöön useita erilaisia hyötyjä. Rakennusautomaatiolla on mahdollista saavuttaa esimerkiksi kustannussäästöjä, koska rakennuksen energian käyttöä voidaan optimoida tarkkojen mittausten ja ohjausten ansiosta, josta seuraa energian kulutuksen vähenemistä. Yksinkertaisimmillaan tämä onnistuu esimerkiksi toteuttamalla valaistuksen ja ilmanvaihdon ohjaus läsnäolotunnistuksen perusteella, jolloin huoneen ollessa tyhjiin ilmanvaihto pienenee ja valot sammuvat automaattisesti. Rakennusautomaatiolla lisätään myös kiinteistön turvallisuutta ja viihtyisyyttä sekä mahdollistetaan reaaliaikainen valvonta, joka auttaa reagoimaan nopeasti esimerkiksi erilaisiin hälytyksiin. Lisäksi rakennusautomaatio voi myös nostaa kiinteistön arvoa ja edesauttaa sen arvon säilymistä, koska rakennuksilta haetaan yhä enemmän käyttömukavuutta ja energiatehokkuutta. (2.)

2.2 Väylätekniikoiden merkitys rakennusautomaatiossa

Rakennusautomaatio on mahdollista toteuttaa kiinteistöön usealla eri tavalla, joista jokainen soveltuu omaan käyttötarkoitukseensa. Yksinkertaisimpia sovelluksia ovat esimerkiksi omakotitalossa esiintyvät erilaiset releet, jotka ohjaavat lämmitystä termostaatin säätöjen mukaan. Kuitenkin kun siirrytään suurempiin kiinteistöihin, vaatimukset kasvavat, ja dataa halutaan usein myös talteen seurantaan varten. Yksi tapa tähän on I/O-järjestelmät eli tulo/lähtö-järjestelmät, joilla on mahdollista toteuttaa jo haastavampia sovelluksia sekä käsitellä mittausdataa. I/O-järjestelmien tulokanaviin

tuodaan yleensä mittausdataa ja erilaisia tilatietoja, joiden perusteella ohjelmoidaan lähtöjä ohjaamaan haluttuja laitteita. Nykyisin on kuitenkin tarjolla useita väyläprotokolliin perustuvia ratkaisuja, joilla saadaan tietoa siirrettyä suurempia määriä vähemmällä kaapeloinnilla. Väylien etuja on yleensä myös suurempi tiedonsiirtonopeus. Väylillä toteutettava rakennusautomaatio on siis nykyä päivää, mutta usein suurissa kiinteistöissä rakennusautomaatio on yhdistelmä näitä kaikkia. Kuvassa 1 on havainnollistettu erilaisia tekniikoiden yhdistämisen eli integraation tasoja.



KUVA 1. Esimerkki integraation erilaisista tasoista (3, s.3)

3 VÄYLÄPROTOKOLLIEN TOIMINTAPERIAATTEET JA RAKENTEET

Väyläprotokollia vertaillen useassa eri protokollassa on paljon samankaltaisuuksia ja usein niiden toiminnan mallintamiseen käytetään samoja malleja. Tässä luvussa käsitellään väyläprotokollan käsitteen tarkoitusta sekä muutamaa erilaista mallia, joilla voi kuvailla eri protokollien toimintaperiaatteita. Lisäksi käydään läpi erilaiset väylien topologiat eli rakenteet.

3.1 Väyläprotokolla

Jokaisella erilaisella väylällä voidaan kuvitella olevan taustalla omat säännöt eli protokolla. Protokollan voidaan ajatella olevan väylän sääntökirja, joka luo määrittelyn tai mahdollisuuden laitteiden ja ohjelmien välisille yhteyksille. Protokollassa on myös määritetty muun muassa viestien rakentuminen sekä viestien yhteys toimintalogiikkaan. Toisin sanoen protokolla tarkoittaa siis yhteiskäytäntöä, jotta järjestelmät ja sen laitteet ymmärtävät toisiaan. Yleensä protokollan taustalla on siihen luotu standardi, jota esimerkiksi laitevalmistajat noudattavat. (4, s.71.)

Väyläprotokollia on useita erilaisia ja rakennusautomaatiosuunnittelussa on tärkeää ymmärtää erilaisten väyläprotokollien perusominaisuuksia, jotta varmistutaan toimivasta kokonaisuudesta. Suurissa kiinteistöissä, kuten esimerkiksi hotelleissa tai sairaaloissa käytetään lähes poikkeuksetta avoimia protokollia, mikä mahdollistaa tiedonsiirron useiden eri valmistajien laitteiden välillä, ja siten kokonaisuuden rakentamiseen on tarjolla enemmän vaihtoehtoja.

Avoin protokolla on kaikkien saatavilla oleva standardi, jonka yleisesti suunnittelee useampi valmistaja yhteistyössä. Avoimen protokollan vastakohtana voidaan pitää suljettua protokollaa, joka on yleensä laitevalmistajan oma, joka antaa myös siten myös valmistajalle oikeuden esimerkiksi muokata sitä tai periä maksua sen käytöstä. Luonnollisesti suljettua protokollaa on täten haastava integroida eli yhdistää suurempaan laitekokonaisuuteen. (5.)

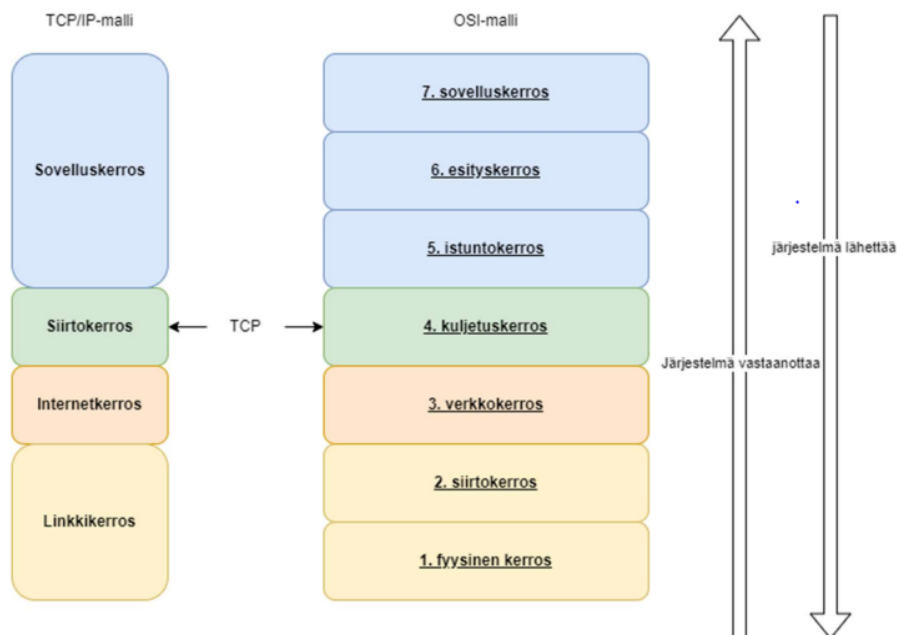
3.2 Tiedonsiirron mallinnukset

Erilaisia väyläratkaisuja ja niiden toimintaa tutkiessa tulee usein vastaan viittauksia tiedonsiirron malleihin ja usein myös protokollan toimintaa havainnollistetaan näiden avulla. Näistä malleista

yleisimmät on OSI-malli ja osittain samaan malliin perustuva TCP/IP, joka on yleinen Ethernet-pohjaisissa väyläprotokollissa.

3.2.1 OSI-malli

OSI-malli (the open systems interconnection model) on ISO-standardin mukainen mallinnus, jolla voidaan kuvata erilaisia verkkoprosesseja ja tiedonsiirtoa. OSI-mallissa kaikki kerrokset käyttävät yhden alemman kerroksen palveluita ja tarjoavat palveluita yhdelle seuraavalle ylemmälle kerrokselle. OSI-malli koostuu seitsemästä tasosta, jotka näkyvät kuvassa 2. Ensimmäisen kerros eli fyysinen kerros sisältää fyysiset laitteet ja esimerkiksi kaapelit, joita tiedonsiirrossa tarvitaan. Toinen kerros eli siirtokerros huolehtii tiedonsiirrosta laitteiden välillä. Verkkokerros on mallin kolmas kerros, joka huolehtii tiedon jakamisen sopiviksi paketeiksi sekä niiden nopean ja tehokkaan tiedonsiirron reitin etsimisen. Neljäntenä kerroksena on kuljetuskerros, joka nimensä mukaisesti kuljettaa tietoa verkon yli. Viidennen kerroksen eli istuntokerroksen tehtävä on hallita erilaisia laitteiden välisiä väliaikaisia viestintäkanavia. Kuudes kerros on esitystapakerros, jonka tehtävä on muokata tieto luettavaan ja esitettävään muotoon mallin viimeiselle eli seitsemännelle kerrokselle, joka on sovelluskerros. Sovelluskerroksen voidaan ajatella edustavan protokollia, joita hyödyntämällä saadaan tieto siirrettyä käyttäjän sovelluksiin. (6.)



KUVA 2. TCP/IP-malli ja OSI-malli (7)

3.2.2 TCP/IP

TCP/IP (transmission control protocol / internet protocol) on pino erilaisia verkoissa käytettyjä viestintäprotokollia. TCP/IP-protokolla on nimensä mukaisesti verkkopohjainen ja se on hyvin käytetty protokolla Ethernet -verkkopohjaisissa väylissä. Sekä TCP:llä ja IP:llä on kummallakin omat vastuualueensa, joista TCP sisältää määrittelyt viestien jakamisesta osiin, sekä kuinka sovellukset voivat tehdä viestintäkanavia. IP vuorostaan muodostaa paketin reitin ja huolehtii sen perille pääsyn. Toisin kuin OSI-malli TCP/IP sisältää vain neljä kerrosta, joiden mukaan protokollia sovelletaan. Nämä kerrokset ovat sovelluskerros, kuljetuskerros, verkkokerros ja siirtokerros, jotka myös esiin-tyvät kuvassa 2. (8.)

3.3 Topologiat

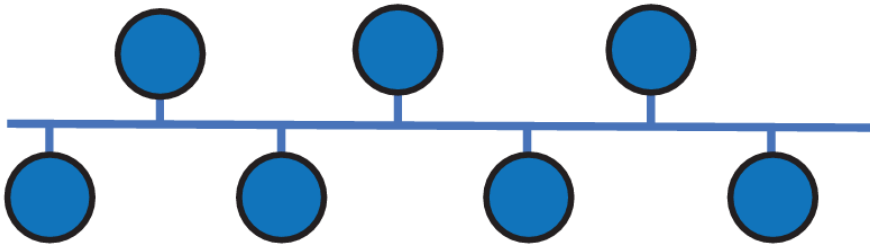
Topologiat eli verkon rakenteet tai muodot voivat tarkoittaa loogista tai fyysistä topologiaa. Looginen topologia kertoo väylän toimintaperiaatteen laitteiden välillä. Fyysinen topologia tarkoittaa vuorostaan nimensä mukaisesti väylän fyysistä rakennetta eli toisin sanoen kaapelointitapaa, joista kerrotaan seuraavissa luvuissa lisää. Fyysinen topologia on ulkoisesti nähtävissä, mutta looginen topologia ei. Väylässä kulkevat tiedot ja laitteiden ominaisuudet määrittelevät käytettävän väylän muodon ja rakenteen. Väylä voi olla langaton tai langallinen, mutta teoriassa parhaaksi verkon rakenteeksi voidaan ajatella, että laitteiden välillä olisi aina omat kaapelit, eli väylä olisi täysin kyt-etty. (4, s.16.)

3.3.1 Väylä- eli linjatopologia

Väylätopologia tarkoittaa, että laitteet ovat samassa väylässä eli linjassa ja linja kiertää laitteelta laitteelle eli laitteet ketjutetaan toisiinsa. Väylän loppupäätä ei liitetä takaisin alkupäähän, vaan väylä päättyy yleensä viimeiseen laitteeseen tai joissain tapauksissa vastukseen. Väylän alkupiste on väylän päätelaitteella. Väylätopologia on esitetty kuvassa 3.

Väylätopologiassa kaikki laitteet käyttävät samaa tiedonsiirtokaapelia, joten se rajoittaa laiteparien viestimisen yksi pari kerrallaan, mutta väylälle lähetetyn sanoman voivat yleensä kaikki laitteet lu-kea heti. Suurimmat edut ovat yksinkertaisuus ja laaja levinneisyys, jolloin myös laitesaatavuus on

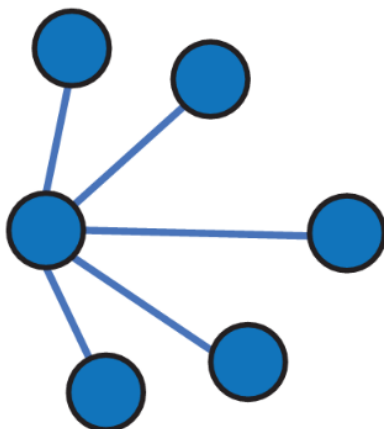
kattava sekä väylän täydentäminen uusilla laitteilla on helppoa. Laitteiden ketjutus toisiinsa voi myös vähentää kaapelointia, jos laitteet sijaitsevat lähekkäin ja päätelaite on edellistä laitetta kauempana. Suurin heikkous vuorostaan on, että tieto liikkuu yhtä kaapelia pitkin, joten sen katketessa väylän toiminta luonnollisesti estyy. (4, s.16.)



KUVA 3. Väylätopologia (4, s.17)

3.3.2 Tähtitopologia

Tähtitopologiassa (kuva 4) laitteet kytketään nimensä mukaisesti niin sanottuun tähtipisteeseen eli yleensä väylän päätelaitteeseen jokainen omana kaapelina. Suurimmat hyödyt ovat, että yhden laitekaapelin rikkoontuessa muut voivat jatkaa toimintaansa normaalista eikä koko väylä lamaudu. Huono puoli vuorostaan on, että tähtikytkentä ei ole välttämättä kustannustehokas, sillä kaapelointia voi syntyä esimerkiksi väylätopologiaa enemmän, koska ketjutus ei ole mahdollista. Lisäksi heikkous on keskuslaitteen suuri merkitys: sen rikkoontuessa väylästä häviää toimintakyky, sillä kaikki tieto liikkuu sen kautta, mukaan lukien laitteiden väliset viestit. (4, s.17.)

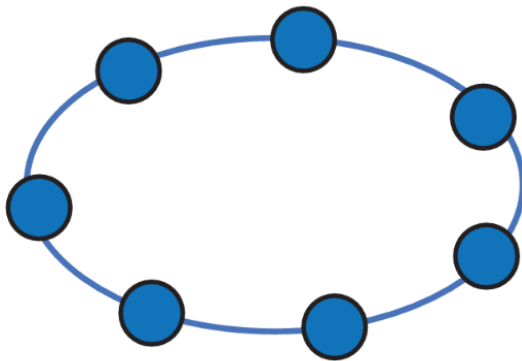


KUVA 4. Tähtitopologia (4, s.17)

3.3.3 Rengastopologia

Rengastopologia vuorostaan muistuttaa hyvin vahvasti aiemmin esiteltyä väylätopologiaa, mutta rengastopologiassa kaapeli muodostaa ikään kuin renkaan, sillä sen loppupää kytketään takaisin alkupisteeseen. Rengastopologia on esitetty kuvassa 5.

Rengastopologiassa viesti kulkee laitteelta toisella, joten viestin kuulee yksi laite kerrallaan. Rengastopologiassa, jossa viestit kulkevat vain yhteen suuntaan on omat heikkoutensa. Yksi laite voi rikkoontuessaan lamauttaa koko väylän, sillä usein laitteiden liittimet toimivat väylässä signaalitoistimina, joten laiterikossa signaalin toistaminen voi olla estynyt, ja signaali ei kulje seuraavalle laitteelle. (4, s.18.)

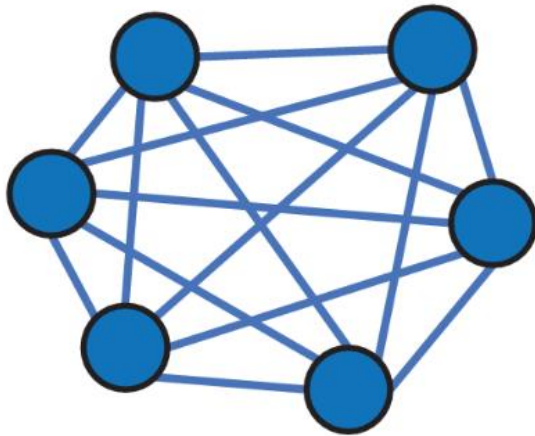


KUVA 5. Rengastopologia (4, s.18)

3.3.4 Mesh-topologia

Mesh-topologiassa (kuva 6) osa laitteista tai kaikki laitteet voivat olla yhteydessä toisiinsa ja tätä rakennetta käytetään yleensä vain langattomissa väylissä. Mesh mahdollistaa myös viestinnän suoraan laitteelta laitteelle. Kaapeloitavissa väylissä tämä ei ole yleensä kustannustehokasta, koska se tarkoittaisi suuria kaapelointimääriä. (4,18.)

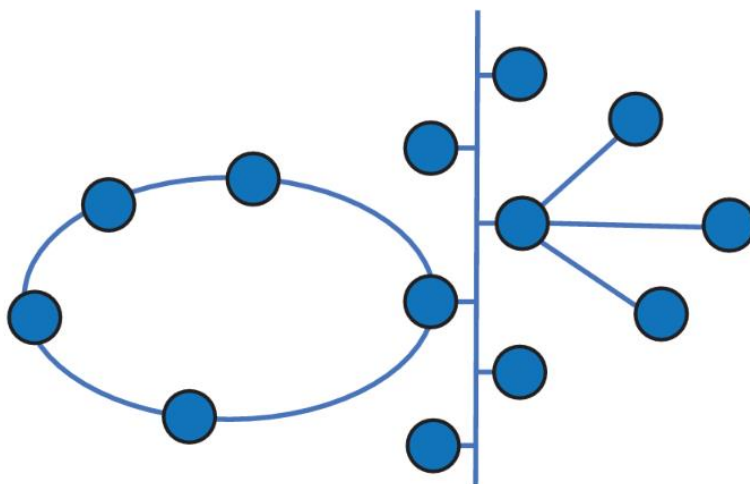
Mesh-topologian etuna voidaan pitää sitä, että väylä ei ole yhden laitteen varassa, koska yksi laite on yhteydessä useamman laitteen kanssa, joten yhden laitteen rikkoontuessa viesti voidaan lähettää toisen laitteen kautta, ja näin koko väylä ei kaadu. Tämä on myös hyvä ottaa huomioon suunniteltaessa Mesh-topologiaa, että jokaisella laitteella olisi useampi laite, johon on hyvä yhteys.



KUVA 6. Mesh-topologia (4, s.19)

3.3.5 Yhdistelmätopologiat

Edellä esiteltyjen topologioiden lisäksi on vielä muitakin, mutta nämä esitellyt ovat olleet yleisimmin käytetyt. Muut topologiat sisältävät muun muassa erilaisia yhdistelmätopologioita, jotka luovat erittäin joustavat asennus- ja tiedonsiirtomahdollisuudet kohteelle. Yhdistelmätopologia on yhdistelmä muista topologioista ja sitä kutsutaan myös usein vapaaksi topologiaksi. Useammat väyläprotokollat noudattavat vapaata topologiaa (kuva 7) eli ne sallivat eri topologioiden yhdistelmät, mutta varjopuolena voidaan pitää sitä, että väylän rakenne voi mennä monimutkaiseksi ja täten sen ymmärtäminen ja hallinta on vaikeampaa. Yhdistelmätopologia on kuitenkin järkevästi suunniteltuna toimiva ratkaisu, ja se tekee asennustyön kustannustehokkaaksi, sillä kaapelointi voidaan optimoida tarpeen mukaan. (4, s.19.)



KUVA 7. Vapaa- eli yhdistelmätopologia (4, s.20)

4 RAKENNUSAUTOMAATIOVÄYLIEN PERUSTIEDOT

Tässä luvussa käsitellään työssä käsiteltävien väylien perusteet ja yleisimmät käyttökohteet. Väyläprotokolliin sisältyy paljon tietoa, joten tähän on rajattu väylästä yleistietoa sekä suunnittelun näkökulmasta oleellisia tietoja ja huomioita. Rakennusautomaatiossa esiintyy myös muita väyläratkaisuja, mutta ne on rajattu tämän työn ulkopuolelle. Luvussa 4.1 käsitellään RS-485-standardia, koska se liittyy oleellisesti myöhemmin esiteltäviin väyläprotokolliin.

4.1 RS-485-standardin perusteet

RS tulee sanoista ”recommended standard”, joka tarkoittaa suositeltua standardia. Standardin on kehittänyt Electronics Industries Association (EIA) vuonna 1983 (9). RS-485-standardi koskee OSI-mallilla kuvattuna ensimmäistä eli fyysistä kerrosta. Standardi määrittelee muun muassa ominaisuudet väylässä käytettävälle kaapelille sekä kytkennälle ja laitemäärille. Myös väylän maksimipituus kerrotaan standardissa. Standardi tukee vain väylätopologiaa eli laitteiden on oltava sarjassa.

Standardi ei suoraan määrittele maksimilaitemäärää, vaikka usein suunnittelussa törmää siihen, että 32 laitetta on maksimi. Standardin mukaan väylän maksimikuormitus on 32 UL (unit load), joka kuvaa väylän kuormitettavuutta. Nykyisin laitteet ovat energiatehokkaita ja siten laite voi viedä esimerkiksi 0,5 UL, joka tällöin tarkoittaisi 64 laitetta väylässä. (10.)

Tärkein ominaisuus RS485-standardin mukaiselle kaapelille on, että se on häiriösuojattu parikierretty kuparikaapeli, jonka ominaisimpedanssi on 120 ohmia. Kaapelin paksuus vaikuttaa enimmäiskaapelointimatkaan, joka on kuitenkin maksimissaan 1 200 m. Tällöin johdinpaksuuden olisi oltava 0,82 mm². Standardin mukainen kaapeli on muun muassa Belden 3074F, joka täyttää kaikki vaatimukset. Suomessa kuitenkin usein käytetään helposti saatavilla olevia Nomak- tai Jamak-tyypin kaapeleita, jotka on todettu myös toimiviksi. (10.)

Standardi määrittelee myös ohjeet ja vaatimukset kytkennälle. Muun muassa väyläliittimien täytyisi olla galvaanisesti eristetty tehonsyötöstä tai vaihtoehtoisesti tehonsyötön nollajohdin on kuljetettava ehjänä läpi koko tehonsyötön. Myös häiriösuojan maadoituksen kytkemiselle on omat vaati-

mukset, jotka ovat esimerkiksi suojan kytkeminen vain yhdestä päästä ja sen jatkaminen aina viimeiselle laitteelle asti. Häiriösuojan maadoitus on lisäksi jatkettava aina muista eristetyssä liittimessä. (10.)

4.2 BACnet

BACnet (building automation and control network) on avoin tiedonsiirtoprotokolla, jonka kehitys on alkanut vuosikymmeniä sitten ja ajan saatossa sitä on kehitetty uusien innovaatioiden avulla. Protokolla on luotu yhdistämään eri automaatiojärjestelmät toisiinsa ja sen taustalla on laitevalmistajien yhteinen standardi. BACnet on nykypäivänä hyvin yleinen ja tunnettu protokolla, sekä se on hyvin laitevalmistajien tietoisuudessa. Tämä on yksi BACnet-protokollan suurimmista eduista, sillä laitevalmistajia ja siten myös erilaisia rajapintoja on useita, joilla saadaan laajennettua siihen myös muita väyläprotokollia. Myös uusien laitteiden lisääminen on helppoa ja yksinkertaista. BACnet-protokollalla on hyvät tulevaisuuden mahdollisuudet, sillä se soveltuu hyvin erilaisiin integraatioihin laajan ja monipuolisen laitevalikoiman ansiosta. BACnet-protokolla sisältää useampia eri väyläntoetustapoja, mutta tässä keskitytään kahteen käytetyimpään, jotka ovat BACnet MS/TP sekä BACnet IP.

BACnet MS/TP:tä käytetään yleisesti vain kenttäväylänä esimerkiksi erilaisten mittausviestien lukemiseen. BACnet IP:tä käytetään myös kenttätasolla, mutta BACnet IP on myös yleinen ratkaisu keskusten väliseen tiedonsiirtoon sekä yhdistämään alakeskukset ja tarvittaessa muut protokollat valvomoon ja hallintapalvelimeen. Esimerkiksi antureiden mittausväylä voidaan toteuttaa MS/TP-väylänä, mutta päätelaitteelta tieto viedään IP-väylänä valvomoon.

BACnet-protokolla käyttää tiedon käsittelyyn erilaisia tieto-objekteja, jotka edustavat esimerkiksi laitteen osaa tai tietokokoelmaa. Objektit voivat edustaa joko fyysistä tai virtuaalista tietoa. Objekteilla on useita erilaisia ominaisuuksia, jotka perustuvat kohteen tarkoitukseen tai tehtävään. BACnet määrittelee objektien lisäksi 32 erilaista palvelua, jotka jaetaan seuraavaan viiteen kategoriaan: hälytykset ja tapahtumat, tiedostojen käyttö, objektien käyttö, etälaitteenhallinta ja virtuaalipäätepalvelut. Suunnittelussa oleellista on kuitenkin ymmärtää eri laitetypit, joita standardi määrittelee ja jotka vaikuttavat siihen, mitä kaikkea tietoa kyseinen laite saa tai voi käsitellä. Nämä on esitetty taulukossa 1. (11.)

TAULUKKO 1. BACnet-laitetyypit (4, s.74)

Standardoitu laiteprofiili	Kuvaus
BACnet Operator Workstation (B-OWS)	Valvomotyöasema eli operaattorin ikkuna BACnet-järjestelmään
BACnet Advanced Operator Workstation (B-AWS)	Kehittynyt valvomotyöasema teknisesti haastavampiin toimintoihin
BACnet Building Controller (B-BC)	Vapaasti ohjelmoitava säädin eli yleiskäyttöinen, kentällä ohjelmoitava laite, joka pystyy erottelemaan rakennusautomaation ja säädön
BACnet Advanced Application Controller (B-AAC)	Ohjelmoitava piensäädin eli jossain määrin B-BC:hen verrattavissa oleva säädin, joka on tarkoitettu tiettyihin sovelluksiin ja niiden ohjelmointiin
BACnet Application Specific Controller (B-ASC)	Sovelluskohtainen piensäädin eli jossain määrin B-AAC:hen verrattavissa oleva yksinkertaisempi säädin
BACnet Smart Actuator (B-SA)	Älykäs toimilaite
BACnet Smart Sensor (B-SS)	Älykäs anturi
BACnet Gateway (B-GW)	Protokollamuunnin eli portti muihin järjestelmiin

4.2.1 BACnet MS/TP

BACnet MS/TP on sarjaliikenneväylä, joka toteutetaan parikaapelilla ja se on isäntä-orja-periaatteellinen eli väylällä on yksi päätelaite (isäntä), josta lähtee väylätopologian mukainen väylä, jossa toimilaitteet (orjat) on ketjutettu toisiinsa. Kaapelointi noudattaa yleensä aiemmin esiteltyä RS-485-standardia, joka tällöin määrittää muun muassa väylän maksimipituuden ja laitemäärät sekä käytettävän kaapelin. Väylälaitteiden virran syöttö toteutetaan erillisestä virtalähteestä, eikä se siten saa käyttöjännitettä väylästä.

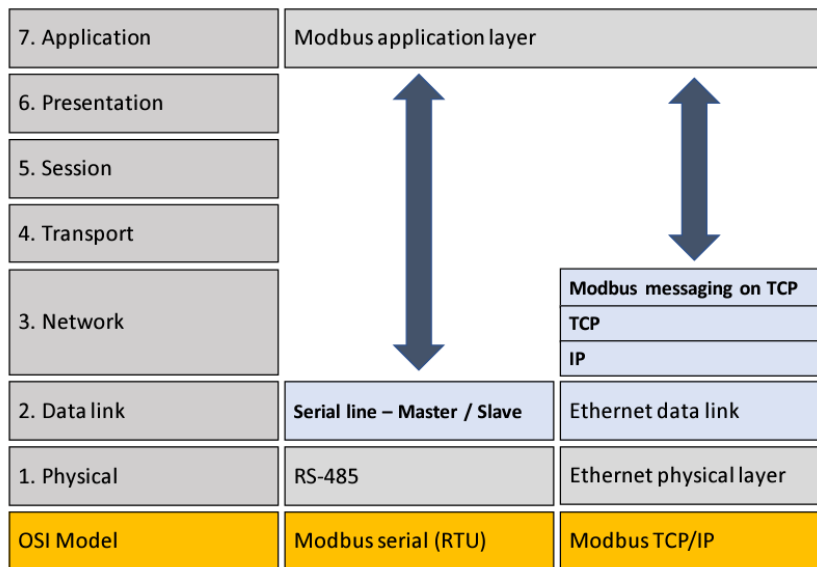
MS/TP sisältää useita eri tiedonsiirtonopeuksia, joista standardi tukee seuraavia: 9600, 19200, 38400 ja 76800 baudia. Baudi on tiedonsiirtonopeutta kuvaava yksikkö, joka usein myös ajatellaan samana käsitteenä kuin bittiä sekunnissa. Se ei kuitenkaan välttämättä ole sama asia, koska yksi baudi voi sisältää useamman bitin. Tiedonsiirtonopeus on hyvä ottaa huomioon, sillä valittua nopeutta kannattaa tarkastella väylän pituuden kannalta. Pitkällä väylällä ei kannata välttämättä yrittää maksiminopeutta, koska se voi tehdä väylän toiminnasta epävarmemman. Yleensä kannattaa myös harkita pitkän ja useita laitteita sisältävän väylän jakamista kahteen eri väylään, sillä laajasta väylästä vian etsintä voi olla työlästä. Laitteita valittaessa on myös otettava huomioon, että ne käyttävät samaa nopeutta. (11.)

4.2.2 BACnet IP

BACnet IP on verkkopohjainen väylä eli se perustuu internetprotokollaan ja fyysiseen Ethernet -verkkoon. Tämän etuna on nopeampi tiedonsiirto ja myös verkon rakenne saadaan järkevämmäksi, koska kaikki laitteet voidaan kaapeloida suoraan fyysiseen verkkoon eli laitteiden välisille kaapeloinnille ei ole tarvetta ja siten kaikkien laitteiden toiminta ei ole yhden kaapelin varassa. BACnet IP on sen vuoksi myös toimintavarmempi. Toisaalta yleensä IP-verkon rakennus on kalliimpaa kuin sarjaliikenteisen väylän, vaikka periaatteessa väylänä voisi käyttää olemassa olevaa tai rakennuksen yleistä verkkoa, mutta se on kuitenkin tietoturvan kannalta riskialtista. Nykyään kuitenkin BACnet IP on nostanut suosiotaan nopeasti hyvien ominaisuuksiensa vuoksi ja MS/TP-väylä on alkanut jäädä taustalle. (11.)

4.3 Modbus

Modbus on hyvin alan laitevalmistajien tietoisuudessa, sillä se on laajalle levinnyt ja tunnettu väyläprotokolla. Rakennusautomaation väylistä puhuttaessa voi tuskin välttyä kuulemasta Modbus-protokollasta tai -väylästä. Modbus on BACnet-protokollan tavoin isäntä-orja-perustainen avoin protokolla. Modbus-väylän laitteilla jokaisella on oma osoite ja myös viestiminen tapahtuu laitteen yksilöllisen osoitteen perusteella. Modbus-väylässä laitteet eivät tee spontaaneja hälytyksiä palvelimelle eli isännälle, vaan laitteet vastaavat tai lähettävät viestin vain, jos palvelin sitä kysyy. Olenaisista on myös se, että vain se laite vastaa, jolta palvelin kysyy. BACnet-protokollan tavoin Modbus jakautuu useampaan eri toteutustapaan, mutta tässä keskitytään kahteen yleisempään, jotka ovat sarjaliikennepohjainen Modbus RTU sekä IP-pohjainen Modbus TCP/IP. Sarjaliikenteisestä Modbus-väylästä on kaksi eri versiota, jotka ovat Modbus ASCII ja RTU. Modbus ASCII on harvinaisempi ja muistuttaa paljon RTU:ta, mutta siinä data on tekstiperusteista, kun taas RTU:ssa se on binääristä. Tässä työssä kuitenkin keskitytään vain Modbus RTU-väylään. Modbus-protokolla käyttää kuvan 8 mukaisia OSI-mallin tasoja sen mukaan, onko kyseessä sarjaliikenne- vai verkkoon perustuva versio (12.)



KUVA 8. Modbus-protokollat sovellettuna OSI-malliin (12)

Modbus-protokollan osoitekenttä on kokonaislukujen 1 ja 247 välillä ja ne ovat vapaasti valittavissa eri laitteille. Teoreettisesti Modbus-protokolla mahdollistaa siis 247 laitteen liittämisen samaan väylään. Usein tämä ei kuitenkaan toteudu muiden rajoitteitten takia, josta kerrotaan seuraavassa luvussa lisää. Modbus-laitteille osoitteita määriteltäessä on hyvä olla tarkkana ja ottaa huomioon, että sama osoite ei esiinny kahdesti, sillä se aiheuttaa väylään vikatilaa.

4.3.1 Modbus RTU

Modbus RTU (remote terminal unit) on toinen yleisimmistä Modbus-väylistä, jossa tieto kulkee sarjana kahta johdinta pitkin yleensä RS-485-standardin mukaisesti. Tieto luetaan pääteyksiköllä johdinten jännite-eroista, jotka muodostavat joko arvon 1 tai 0.

Tyypillisimmät tiedonsiirtonopeudet Modbus RTU:lla ovat 9600 ja 19200 baudia, mutta protokolla sisältää paljon muitakin nopeuksia kuten 300, 600, 1200, 2400, 4800, 14400, 38400, 57600, 115200, 12800, ja 256000 baudia (12). Tiedonsiirron nopeuden tarve kannattaa arvioida tapauskohtaisesti, että väylä olisi toimintavarmempi. Myös väylän pituutta täytyy arvioida suhteessa nopeuteen, sillä mitä pidempi väylä on, sitä hitaampaa nopeutta kannattaa käyttää. Tärkeää on myös, että kaikki laitteet on asetettu samalla nopeudelle väylässä, sillä muuten seuraa ongelmia väylän toimivuudessa.

Modbus RTU vastaa OSI-mallin fyysiseltä kerrokseltaan kuvan 8 mukaisesti RS-485-standardia, josta määräytyvät sen kaapelointivaatimukset ja etäisyydet sekä laitemäärät väylässä. Tämän takia teoreettiseen maksimilaitemäärään on haastava päästä. RS-485-standardista poiketen väyläkaapelina kannattaa käyttää vähintään kolmejohtimista kaapelia, sillä Modbus-laitteissa on myös yleensä maadoitusliittimet, joita on suositeltavaa käyttää. Maadoituksen käyttöön voi olla myös laitevalmistaja kohtaisia vaatimuksia ja ohjeita. Modbus RTU-väylässä ei myöskään MS/TP-väylän tavoin kulje väylälaitteen käyttöjännitettä.

4.3.2 Modbus TCP/IP

Modbus TCP/IP muistuttaa BACnet IP:tä aivan kuten Modbus RTU BACnet MS/TP:ta. Modbus TCP/IP on väyläteknikka, jossa käytetään Ethernet-verkkoa laitteiden mittaustulosten käsittelyyn ja hallintaan. Modbus TCP/IP-väylän hyödyt vastaavat BACnet IP:n hyötyjä, mutta laajoissa rakennusautomaatio kohteissa se ei ole niin käytetty väylä kokoamaan muut väylät ja järjestelmät kuin BACnet IP, vaan se on enemmän hyödynnetty kenttätasolla. Modbus TCP/IP mahdollistaa myös langattoman tiedonsiirron erilaisten väylään liitettävien lähettimien avulla, edellyttäen että toimilaite soveltuu langattomaan tiedonsiirtoon.

4.4 KNX

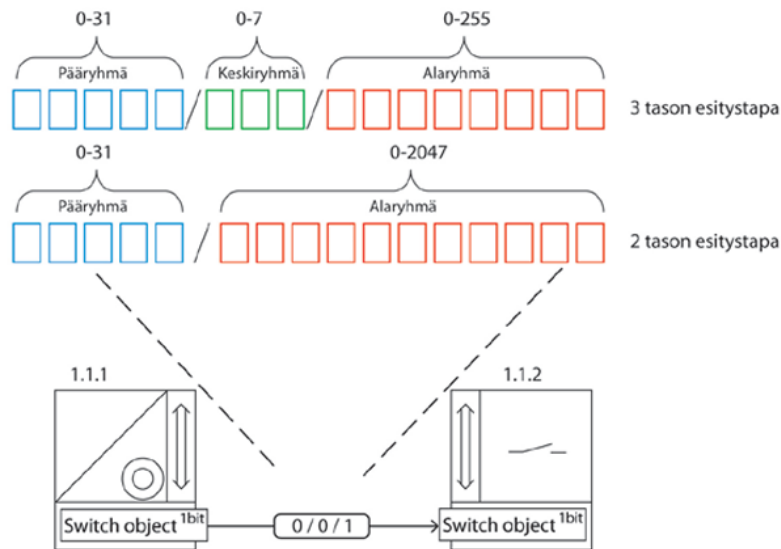
KNX on hyvin yleinen rakennusautomaatioon kehitetty avoin standardi, joka on käytössä ympäri maailmaa. Nykyistä KNX-standardia kehittävät laitevalmistajat yhdessä KNX Association -organisaatiossa. KNX Association tuottaa myös järjestelmiin liittyviä opetusmateriaaleja ja koulutuksia sekä hallinnoi koulutuskeskuksia. Tyypillisimpiä KNX-väylän sovelluksia ovat muun muassa valaistus, lämmitys, jäähdytys, ilmanvaihto ja energiankulutuksen hallinta. (13, s.15.)

KNX-väylän suosio perustuu muun muassa sen laajaan laitevalikoimaan ja monipuolisuuteen sekä joustavaan asennukseen. Väylässä voidaankin käyttää yhdistelmä- eli vapaata topologiaa, mikä mahdollistaa hyvin joustavan asentamisen ja kaapeloinnin. Suljettua rengasta ei kuitenkaan ole

suotavaa käyttää. KNX-väylän joustavan asennustavan vuoksi kannattaa kiinnittää erityistä huomiota suunnittelussa väylän rakenteeseen ja pyrkiä muodostamaan kaapelointiin jonkinlainen periaate, jota noudattaa koko kohteen osalta. Muuten lopputulos saattaa olla vaikeasti ymmärrettävä ja hallittava. Väylän etuja on myös, että väylälaitteet saavat käyttöjännitteen väylästä ja siten erilliselle virransyöttökaapeloinnille ei ole tarvetta.

KNX-väylän laitemäärät määräytyvät standardista. Vuoden 2019 jälkeisissä kohteissa yhteen linjaan on mahdollista asettaa teoriassa 256 laitetta, kun taas vuoteen 2019 mennessä asennetuissa järjestelmissä pidetään rajana 64 laitetta ilman vahvistinta. Vaikka uudiskohteisiin saa teoriassa yhteen linjaan laittaa 256 laitetta, tämä kuitenkin harvoin onnistuu ilman vahvistimia, sillä yleensä verkon kuormitus nousee liian suureksi. Aikaisemmin siis lisättiin vahvistin, jos laitteita oli yli 64, nykyisin vahvistin lisätään, jos väylänkuormitus ylittää sallitun. Maksimilaitemäärä teoriassa on molemmissa kuitenkin 256 laitetta yhdessä linjassa. KNX-standardi määrittelee alueita, joissa voi olla enintään 15 väylää yhdessä alueessa ja alueita enintään 15, jotka yhdistetään toisiinsa runkolinjalla. Tästä seuraa, että maksimilaitemäärä on 256x15x15 laitetta. Lisäksi runkolinjaan on mahdollista asettaa vielä erikseen 256 laitetta, mutta se ei ole suositeltavaa kokonaisuuden selkeyden kannalta. (13.)

KNX-väylässä on kahdenlaisia osoitteita, jotka ovat laitteiden yksilölliset ja ryhmäosoitteet, joista yksilöllisiä osoitteita käytetään ohjelmointiin ja laitteiden sijainnin määrittämiseen. Ryhmäosoitteita käytetään viestien lähettämiseen väylän sisällä. Ryhmäosoitteita on olemassa kahta esitystapaa, jotka ovat toisen tason esitystapa ja kolmannen tason esitystapa (kuva 9). Suomessa on käytössä lähes poikkeuksetta kolmannen tason esitystapa. (13, s.36.)



KUVA 9. Ryhmäosoitteen esitystapa (13)

Kaapelointia ja laitteiden osoitteiden määrittämisestä ajatellen on hyvä myös muodostaa järjestelmäkaavio, josta voi tarkkailla suunniteltua rakennetta. Kaapelointi kannattaa suunnitella niin, että saman tilan kaikki laitteet olisivat samassa väylässä, koska väylässä viestintä tapahtuu pääasiassa linjan sisällä laitteelta laitteelle. Tähän voi käyttää rajauksena eri tiloja tai kerroksia. Väylässä on myös mahdollista lähettää sanomia toiseen linjaan, mutta se ei ole suositeltavaa, sillä se vaatii aina sanoman kopioinnin ensin päälinjaan ja sieltä toiselle linjalle. Sanoman lähettäminen linjasta toiseen aiheuttaa myös lisää työtä käyttöönotossa, sillä kopioitavien sanomien osoitteet täytyy ladata linjayhdistimien suodatintaulukoihin etukäteen. Osoitteiden määrittämisessä on myös hyvä noudattaa jotain järkevää periaatetta, että virheiden määrä vähenisi, sekä uusia laitteita lisättäessä olisi tiedossa, mitkä osoitteet ovat mahdollisesti jo käytössä. (13, s.59.)

4.5 M-Bus

M-Bus eli meter-bus on erilaisiin energian mittauksiin erikoistunut kenttäväylä. M-Bus-väylällä tyyppisiä sovelluksia on muun muassa vesi- ja sähkömittarit ja lisäksi sillä voidaan mitata myös muun muassa erilaisia kaasuja ja lämmitystä. M-Bus-väylä on kehitetty alun perin tarjoamaan toimintavarma ja edullinen mittausväylä (14). Tämä näkyy myös väylän toteutuksessa, sillä muun muassa väylälaitteet ottavat käyttöjännitteen väylästä ja siten pelkkä väyläkaapeli riittää, eikä erillistä virransyöttökaapelointia tarvita.

M-Bus-väylän ominaisuudet ja rajoitteet riippuvat hyvin pitkälti sen käytöstä. Jos laitteita on kytketty protokollan mukainen maksimimäärä, joka on 250 laitetta, ja nopeus on 300–9600 baudia, niin maksimipituus toistimelta laitteelle on vakioasetuksilla 350 m. Etäisyyttä voidaan kuitenkin kasvat-
taa, jos laitteita vähennetään ja nopeutta pienennetään. Vakioasetuksilla kaapelointi ei kuitenkaan
saisi ylittää 1000 metriä, ettei kaapelin maksimikapasitanssi ylittyisi. Tämä koskee siis vakioase-
tuksia, sekä varmasti turvallista ja toimivaa verkkoa. (14.)

M-Bus-väylä kuitenkin mahdollistaa jopa kilometrien mittaisen toimivan mittausväylän. Suurin vai-
kutis on käytettävä nopeus ja laitemäärä. Väylän suunnitteluun voi käyttää taulukon 2 mukaisia
arvoja, joista selviää, että jopa 12 kilometrin pituinen väylä on mahdollinen. Tärkeää on kuitenkin
ottaa huomioon myös laitemäärät sekä jännitehäviö, sillä väylän jännite ei saa laskea alle 24VDC
toimiakseen. (15.)

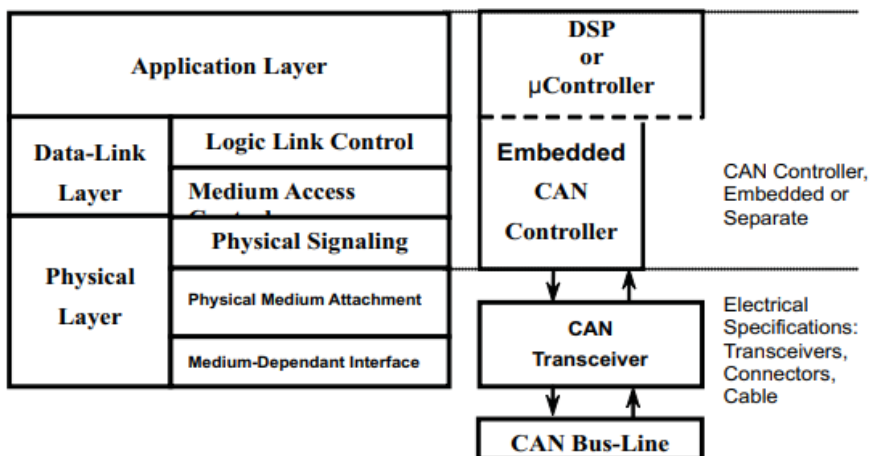
TAULUKKO 2. Väylän pituus suhteessa nopeuteen (15)

Liikennöinti nopeus (baudia)	Verkon maksimi kokonaispituus (parikapasitanssi 150 nF/km)
9600	1 km
2400	4 km
300	12 km

Väylän rakenne on vapaatopologia suljettua rengasta lukuun ottamatta, mikä mahdollistaa kustan-
nustehokkaan kaapeloinnin. Kuitenkin luotettavinta olisi käyttää väylätopologiaa (14). Kaapelina M-
Bus-väylässä riittää kaapeli, jossa on kaksi signaalijohdinta, eikä tarkempia vaatimuksia ole. Kaa-
pelina voi käyttää yleisimmissä sovelluksissa esimerkiksi KLM 2x0,8. Jos kaapelissa halutaan käyt-
tää häiriösuojauksia, niin se kytketään vain keskusyksikön päästä. Häiriösuojauksen käyttö voi olla
suositeltavaa, jos ympäristö voi aiheuttaa poikkeuksellisen paljon häiriöitä. (15.)

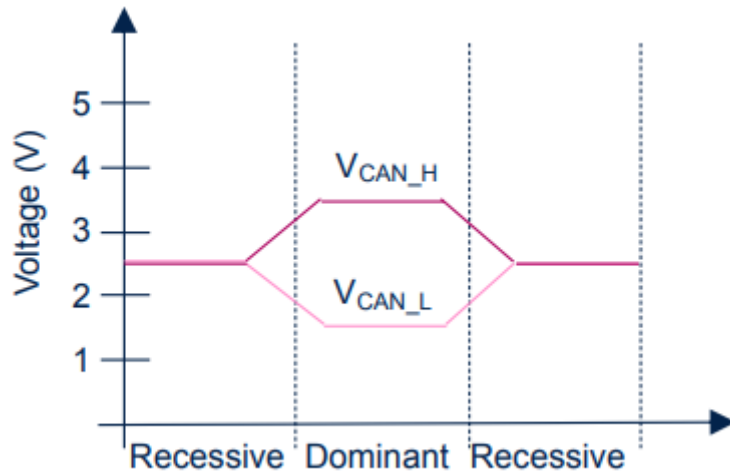
4.6 CAN

CAN eli Controller area network -väylä on hyvin tunnettu etenkin ajoneuvo- ja työkoneteollisuuden keskuudessa, mutta sitä käytetään myös muihin sovelluksiin sen toimintavarmuuden ansioista. Rakennusautomaatiossa CAN-väylää käytetään muun muassa osana rakennusautomaatiota erilaisen erikoisjärjestelmien kenttäväylänä, eikä niinkään laajojen väyläkokonaisuuksien hallintaan. CAN-väylä on ISO-standardin määrittelemä ISO-11898:2003 tiedonsiirtoprotokolla. CAN-väylä on toiminnaltaan multimaster-väylä, joka tarkoittaa, että väylässä voi olla useita isäntiä. CAN-väylässä toimilaitteet kykenevät luomaan itse viestejä sekä toimimaan niiden mukaisesti, eikä siten viestien tarvitse kulkea keskusyksikön kautta, mikä myös nopeuttaa tiedonsiirtoa. CAN-väylässä viestit saavuttavat kerralla kaikki laitteet, mikä mahdollistaa laitteiden toimimisen samanaikaisesti edellyttäen, että viesti koskee kyseisiä laitteita. CAN-väylään voi myös soveltaa OSI-mallia, joka näkyy kuvassa 10. (16.)

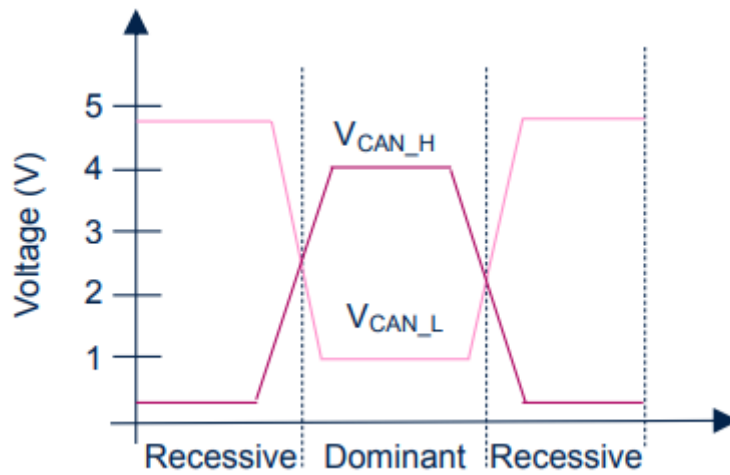


KUVA 10. CAN-väylä sovellettuna OSI-malliin (16)

CAN-väylän tiedonsiirto perustuu johdinten jännite-eroihin tai -vaihteluihin. CAN-väylä jakautuu nopeaan ja hitaaseen CAN-väylään. Molemmissa väylissä kulkee parikierrettyä kaapelia pitkin CAN-low- ja CAN-high-johdot, joiden jännitteen mukaan muodostuu joko arvo 1 tai 0. Kuvasta 11 näkee viestin muodostumisen nopeassa CAN-väylässä ja kuvassa 12 hitaassa. Kuvissa "recessive" tarkoittaa arvoa 1 ja "dominant" arvoa 0. Kuvasta näkyy myös, että jännitteet ovat symmetriset toisiinsa nähden, mikä estää häiriöiden vaikutuksia signaalin lukuun. (17.)



KUVA 11. Nopean CAN-väylän viestin muodostuminen (17)



KUVA 12. Hitaan CAN-väylän viestin muodostuminen (17)

CAN-väylän suurimmat edut sen sovelluksille ovat kestävyys häiriöitä vastaan sekä kyky itse diagnosoida ja tarvittaessa korjata tietovirheitä. Myös tiedonsiirtonopeus ja aiemmin mainittu viestien lähettäminen kaikille laitteille samanaikaisesti luetaan kyseisen väylän eduksi. Maksimitiedonsiirtonopeus on 1 megabitti sekunnissa nopeassa CAN-väylässä. Lisäksi myös uusien laitteiden lisääminen väylään on yksinkertaista. (16.)

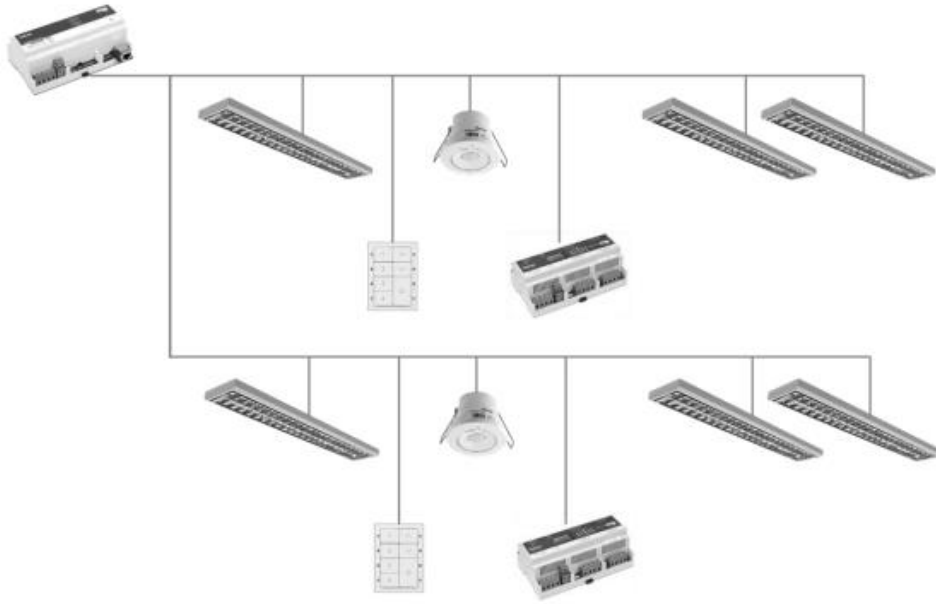
4.7 DALI

DALI (digital addressable lighting interface) on valaistuksenohjauksessa hyvin laajasti käytetty standardi, josta on nykyisin kaksi eri versiota, DALI ja uudempi DALI 2. DALI:n ovat kehittäneet tunnetut valaisinliitäntälaittevalmistajat, kuten Helvar, Osram, Philips ja Tridonic (18). Vaikka valaistusta ei välttämättä aina katsota varsinaiseksi rakennusautomaatioksi, on se kuitenkin yleensä jollain tasolla osana sitä esimerkiksi erilaisten ohjauskäskyjen ja tilatietojen välittämisessä. Usein DALI-järjestelmä liitetään suoraan osaksi rakennusautomaatiota erilaisten rajapintojen avulla, mikä helpottaa tiedonsiirtoa väylien avulla. DALI-järjestelmä soveltuu myös toimimaan täysin itsenäisesti irrallaan muusta rakennusautomaatiosta.

DALI-järjestelmä toimii kahdella signaalijohtimella, jotka yleensä ovat valaisimen syötön vapaat johtimet edellyttäen, että syöttökaapelina käytetään vähintään viisijohtimista kaapelia. Signaalijohtimet kytketään DALI-virtalähteeseen, joka syöttää väylään n. 16 V tasavirran. Signaalijohtimien ainoat tekniset vaatimukset ovat 1,5 mm²:n paksuus sekä verkkojännitteen kesto (19). DALI-järjestelmää pidetään luotettava muun muassa sen rakenteen ansiosta, sillä erilaiset ohjelmoinnit ja käskyt tallentuvat eri laitteisiin itsessään eikä siten kaikki ole yhden keskusyksikön varassa. Järjestelmän muuntautumiskyky erilaisiin sovelluksiin on myös hyvä, sillä se on helposti uudelleen ohjelmoitavissa, jos käyttötarpeet muuttuvat.

Järjestelmä on osoitteellinen ja osoitteita käytetään eri toimilaitteiden ohjelmointiin. DALI-standardissa määritellään 64 osoitetta yhdelle väylälle ja DALI 2 -standardissa 128 osoitetta, joista 1–64 käytetään valaisimille ja 65–127 ohjauslaitteille. Suunnittelussa on otettava huomioon, että osoitemäärä ei välttämättä tarkoita laitemäärää, sillä yksi laite voi viedä useamman osoitteen, mutta yleensä yksi laite vie vain yhden osoitteen. Väylän pituutta on myös syytä tarkkailla, sillä väylän maksimipituus on 300 metriä, mutta väylävahvistimen kanssa se on mahdollista jatkaa 600 metriin. Väylän maksimivirta on vuorostaan 240 mA, jota on myös mahdollista kasvattaa vahvistimella. Väylätopologia on vapaatopologia, mutta suljettu rengas ei ole sallittu. Kuvassa 13 on esitetty esimerkki DALI-väylästä. (19.)

DALI reititin/teholähde



KUVA 13. Esimerkki DALI-väylästä (19)

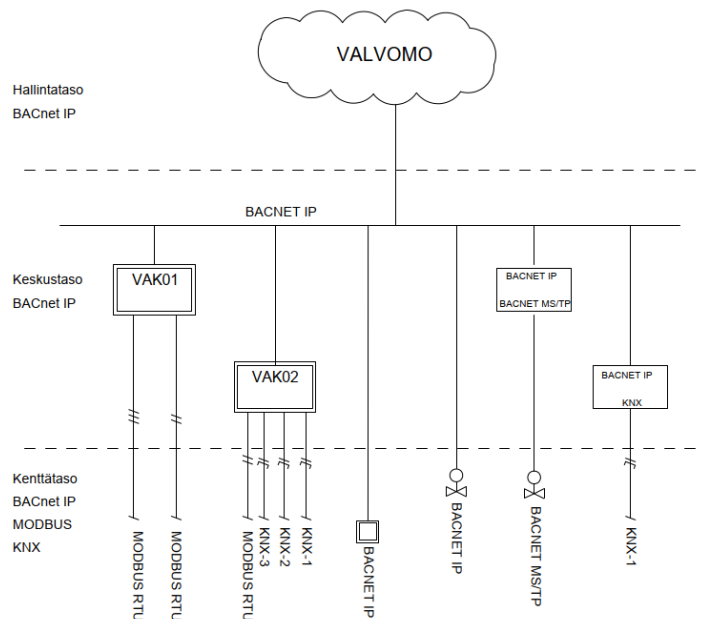
5 ERI VÄYLÄTYYPPIEN YHTEENSOVITTAMINEN JA HYÖDYT

Rakennusautomaatiossa esiintyy paljon erilaisia järjestelmiä ja varsinkin erilaisilla erikoisrakennuksilla on omat vaatimuksensa. Tällöin voi törmätä tilanteeseen, ettei yhdestä väyläprotokollasta löydy yhteensopivia tilanteen vaatimia laitteita, tai sitten yksinkertaisesti toinen väyläratkaisu soveltuu paremmin. Lopputulos on kuitenkin se, että tarvitaan useampia eri väyliä, jotta toimilaitteiden käytöstä saadaan toimintavarmaa ja tehokasta. Sen vuoksi tarvitaan erilaisia rajapintoja ja muuntimia, joilla voidaan yhdistää eri väyläprotokollia toimimaan yhdessä. Tästä käytetään nimitystä integraatio.

5.1 Rakennusautomaatioväylien integraatio

Kuten aikaisemmassa kappaleessa mainitaan, tarvitaan erilaisia rajapintoja, joilla saadaan toteutettua väylien integraatio. Tilaajan kohteessa esiintyy useita eri väyläprotokollia ja silloin toimivan kokonaisuuden merkitys korostuu, koska tietoa halutaan kasata yhteen, jotta saavutetaan selkeä ja helposti hallittava kokonaisuus. Rajapinnoista puhuttaessa tarkoitetaan kahden eri väyläprotokollan rajaa, eli sitä kohtaa, missä protokolla vaihtuu. Tämä vaatii väylämuuntimen, joita on tänä päivänä saatavilla kattavasti eri protokollien välillä. Väylämuuntimen tehtävä on muodostaa rajapinta esimerkiksi BACnet IP:n ja KNX:n välille niin, että KNX-väylästä saadaan tiedot muutettua sellaiseen muotoon, että niitä voidaan siirtää ja lukea BACnet IP-väylästä. BACnet IP on rakennusautomaatiossa yleinen hallintatason väylä, johon löytyy kattavasti eri rajapintoja muihin väyläprotokolliin.

Väyläprotokollien integraatioon kohteissa, joissa niitä on useampia, käytetään yleensä yhtä protokollaa, johon yhdistetään muut väylät eli asiaa voisi ajatella tähtiverkkona, jossa keskuslaitteena on rakennuksen hallintatasolla käytetty protokolla, ja siitä lähtisivät muut yksittäiset protokollat. Näin rakenne pysyy selkeämpänä ja tiedonsiirto luotettavampana, kun se ei joudu menemään usean eri väylämuuntimen kautta. Kuvassa 14 asiaa on havainnollistettu periaatekuvalla. Kuvassa valvonta-alakeskukset (VAK) sisältävät useampia väylämuuntimia.



KUVA 14. Esimerkki väyläkaaviosta

5.2 Integraation hyödyt ja tarve

Integraatiolla saavutetaan useita eri hyötyjä, jotka ovat muun muassa laaja laitevalikoima ja tiedonsiirron optimointi. Mahdollisuudella yhdistää eri väyläprotokollia toisiinsa saavutetaan todella laaja laitevalikoima, jolla mahdollistetaan sopivimman laitteen löytäminen tilanteeseen. Myös eri tilanteissa vaaditaan erilaista nopeutta tai kykyä siirtää tietoa, jolloin voidaan valita kyseiseen sovellukseen sopivin vaihtoehto. Useissa sovelluksissa etenkin teollisuudessa myös rakennusautomaation puolella on järjestelmiä, joilta vaaditaan toimintavarmaa tiedonsiirtoa. Tällöin väylien integraatio mahdollistaa juuri kyseiseen käyttötarkoitukseen parhaiten soveltuvan väylän ja protokollan.

Väylien integraatiomahdollisuudet ovat ohjanneet myös laitetoimittajia suunnittelemaan laitteet niin, että ne hyödyntävät tiettyä protokollaa, joka soveltuu siihen parhaiten. Tämä johtaa siihen, että rakennuksessa saatetaan tarvita useita eri väyläratkaisuja yksittäisten laitteiden osalta, mikä osaltaan tekee rakennusautomaatiosta monimutkaisemman ja hankalamman ymmärtää. Nykypäivänä rakennusautomaation tarpeen kasvaessa ja sovelluksien lisääntyessä väylien integroinnille on kuitenkin tarve. Yhden väyläprotokollan löytäminen, joka sisältää kaiken tarpeellisen, on haastava ellei jopa mahdoton löytää, etenkin kun mennään erikoisrakennuksiin, kuten esimerkiksi sairaalat ja tuotantolaitokset.

6 RAKENNUSAUTOMAATIOVÄYLÄN SUUNNITTELU

Rakennusautomaatioväylän suunnittelu on usein laaja kokonaisuus, varsinkin kun väyliä on useita. Tässä luvussa on lähinnä omia väyläsuunnittelua koskevia havaintoja, jotka ovat syntyneet suunnittelussa tilaajan kohdella.

6.1 Suunnittelun eteneminen

Rakennusautomaatioväylien suunnittelu etenee hyvin pitkälti samalla tavalla kuin mikä tahansa suunnittelu. Suunnittelu lähtee liikkeelle tarpeesta ja sen määrittelystä eli siitä, mitä ja miksi ollaan tekemässä. Täytyy myös saada ajatus siitä, mikä olisi onnistunut lopputulos. Lisäksi on syytä miettiä, mitä kaikkea varsinaisen rakennusautomaation ulkopuolelta halutaan liittää osaksi rakennusautomaatiota. Tarpeen määrittelyn jälkeen on hyvä tutkia eri vaihtoehtoja ja kerätä tietoa sekä lopulta valita sopivin ratkaisu. Myös mahdolliset tulevaisuuden muutokset on hyvä ottaa huomioon koko suunnittelun ajan.

Väyläprotokollan tai -protokollien valinnan jälkeen täytyy perehtyä kyseisen väylän toteutukseen ja sovelluksiin huolella, jotta saa käsityksen erilaisista toteutusvaihtoehdoista sekä varmistuksen, että suunnittelu lähtee oikeille raiteille. Myös laite- ja valmistajakohdaisia vaatimuksia kannattaa tarkkailla sekä erilaisia esimerkkejä eri toteutuksista. Myös muut kohteeseen liittyvät suunnitelmat, kuten sähkösuunnitelmat, täytyy muistaa huomioida.

Kun riittävät perustiedot on saavutettu, voidaan alkaa luoda karkeaa suunnittelua ja erilaisia hahmotelmia toteutustavasta ja laitesijainneista. Myös väyläjakoa ja kaapelointia kannattaa hahmotella sekä tarkkailla erilaisia vaatimuksia, joita ovat muun muassa väylälaitteiden maksimimäärä ja kuormitus väylässä. Karkean suunnittelun valmistuttua kannattaa tarkastaa, että suunnitelmat ovat standardien ja laitevalmistajien mukaiset. Karkean suunnittelun perusteella luodaan tarvittavat toteutussuunnitelmat, joiden mukaan väylää päästään asentamaan ja toteuttamaan. Suunnittelussa kannattaa varautua muutoksiin työmaalla, joihin joutuu etsimään korvaavia vaihtoehtoja, sekä muokkaaman suunnitelmia.

Lopulliset dokumentit tehdään yleensä käyttöönnoton ja testauksen jälkeen. Lopullisia dokumentteja tehdessä tarkastetaan vielä työmaalta tulleet muutoskuvat, jotta varmistutaan, että ne täsmäävät suunnitelmiin. Suunnitelmia kannattaa myös suunnittelun aikana vertailla muihin aiheeseen liittyviin suunnitelmiin, jotta ne täsmäävät keskenään. Esimerkiksi liitântöjen rakennusautomaatiosta rakennussähköistykseen täytyy täsmätä molemmissa dokumenteissa. Rakennusautomaatiosuunnittelu sisältää paljon yhteistyötä eri suunnittelijoiden kanssa, sillä kuten jo aikaisemmin on tullut ilmi, rakennusautomaatioon liitetään paljon tietoja muista eri järjestelmistä.

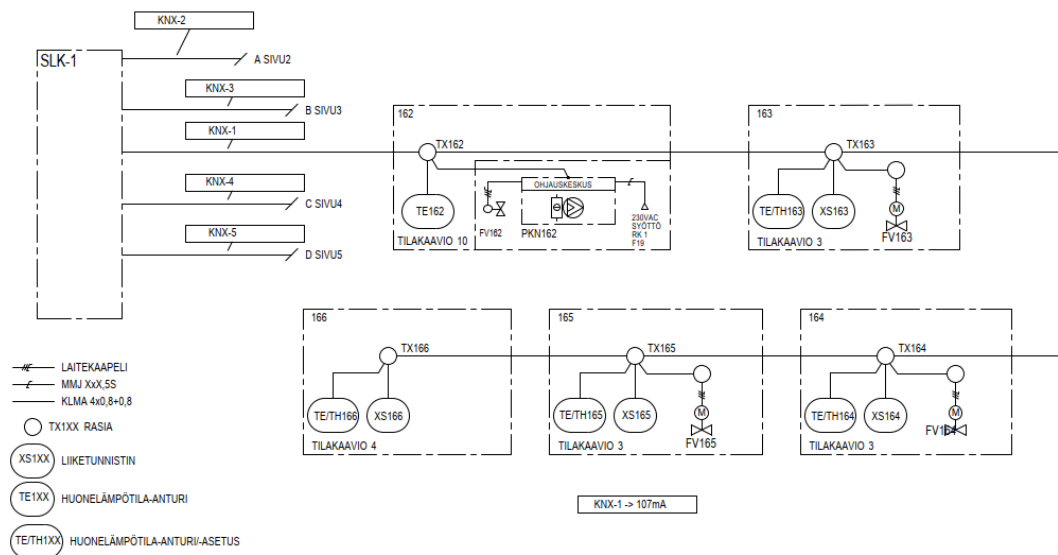
6.2 KNX-väylän suunnitteluesimerkki

Tilaaajan asiakkaan kohde on suuri kiinteistö, jossa on käytössä useita eri väyläprotokollia eri käyttötarkoituksiin. Suunnittelukohteen hallintason väylänä käytetään BACnet IP:tä, jolla kootaan muut väylät yhteen. Kyseisen rakennuksen huonekohtaiset säädöt on toteutettu hyvin pitkälti KNX-väylällä, jotka on yhdistetty BACnet IP-väylään väylämuuntimilla. Jokaiselle yksittäiselle KNX-väylälle on oma väylämuunnin, joten KNX-väylärakenne on selkeä ja yksinkertainen. Kohteessa ei ole lähdetty rakentamaan laajoja KNX-väyliä vaan on päädytty käyttämään useampia yksittäisiä väyliä. Väylämuuntimet, väylälaitetyypit ja väylärakenne ovat tulleet tilaaajan asiakkaalta.

Kuvassa 15 näkyy väyläsuunnitelma viiden eri tilan huonesäädöistä. Väylän huonejako on suoritettu huoneiden laitteiden ja fyysisen sijainnin perusteella käyttäen hyödyksi rakennusautomaatiosuunnittelijan pohjakuvaa. Tilojen käyttötarpeet ja määrittelyt on kuvattu tilakaavioissa, joista määrittyy myös huoneessa tarvittavat laitteet. Kyseinen toteutus on tehty KNX-väylällä ja väylän teholähde sijaitsee SLK-1-keskuksessa eli säätölaittekeskuksessa. Teholähde on tässä tapauksessa samalla väylämuunnin, sillä keskustason väylänä on aiemmin mainittu BACnet IP. Kuvasta näkee, että keskuksessa on viisi eri BACnet IP/KNX -rajapintaa, joista jokaisesta lähtee yksi KNX-väylä. KNX-väylämuuntimen maksimikuormitus on 160 mA, joka selviää laitteen teknisistä tiedoista. Seuraavaksi jokaisesta väylästä täytyy laskea väylän kuormitus, ettei valmistajan ohjeita ylitetä. Taulukosta 3 nähdään, että KNX-1-väylän kuormitus on 107 mA, joka tarkoittaa, ettei väylän vahvistimelle ole tarvetta. Myöskään KNX-3- ja KNX-4-väylät eivät tarvitse vahvistinta. KNX-2- ja KNX-5-väylät vuorostaan vaativat myös vahvistimen, sillä niissä kuormitus ylittää valmistajan antaman 160mA kuormituksen. Laitteiden tarvitsemat virrat ovat taulukossa 4, joiden mukaan laskenta on suoritettu. Väylän pituus on myös huomioitu, ettei se ylitä sallittua.

Kaapelointi suoritetaan jakorasioita hyödyntäen siten, että jokaisessa huoneessa on jakorasia, johon kaapeloidaan kyseisen tilan väylälaitteet. Topologiana on siis yhdistelmätopologia, joka on tässä tapauksessa väylä- ja tähtitopologian yhdistelmä. Ensimmäisessä huoneessa on lisäksi laite, joka tarvitsee myös verkkojännitteen, joka on merkattu otettavaksi RK 1:sta eli ryhmäkeskus yhdestä. Tässä täytyy myös pitää silmällä sähkösuunnittelijan dokumentteja ja seurata muutoksia, jotta tiedot sähkönsyötöstä pitävät paikkaansa.

Kuvan 15 suunnitelman lisäksi kyseiseen väylään liittyy keskuksen SLK-1 johdotussuunnitelma, jossa ovat merkattu väylämuuntimen virransyöttö ja BACnet IP-, sekä KNX-väylän liityntä. Keskuksesta on myös layout-piirustus eli kansikuva, jossa näkyy keskuksen sisäisten laitteiden sijainnit keskuksessa. Järjestelmäkaaviota KNX-väylästä ei ole sillä kuten kuvasta 15 näkee, sen rakenne on hyvin yksinkertainen sekä vastaavia KNX-väyliä on kohteessa useita, joten jokaisesta kaavion tekeminen olisi työlästä, eikä se antaisi juurikaan lisäarvoa dokumentaatiolle.



KUVA 15. Esimerkki yksittäisestä KNX-väylästä

TAULUKKO 3. Väylien kuormitukset

SLK-1/KNX-1	SLK-1/KNX-2	SLK-1/KNX-3	SLK-1/KNX-4	SLK-1/KNX-5
10	10	7.5	10	7.5
7.5	7.5	7.5	7.5	6
6	6	7.5	6	10
10	10	7.5	10	7.5
7.5	7.5	7.5	7.5	6
6	6	7.5	6	10
10	7.5	6	10	7.5
7.5	6	6	7.5	6
6	7.5	6	6	10
10	5	6	10	7.5
7.5	7.5	6	7.5	6
6	6	7.5	6	10
7.5	7.5	7.5	7.5	6
5	6	7.5	6	7.5
	7.5	7.5	7.5	10
	6	7.5	6	6
	10	7.5		7.5
	7.5	6		7.5
	5	6		6
	7.5	6		6
	6	6		6
	7.5			7.5
	6			5
106.5	163	144	121	169

TAULUKKO 4. Väylälaitteiden virrankulutus (mA)

Laitteiden virrankulutus (mA)	
TE	7.5
TE/TH	7.5
XS	10
FV	6
PKN	5

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyö toteutui suunnitelmien mukaan ja tilaajalle luotiin sovitut suunnitelmat, jotka ovat suunnitelmapiirustukset tilaajan kohteesta. Suunnitelmapiirustuksina valmistui toteutuspiirustukset kiinteistön valvonta-alakeskuksesta eli VAK-keskuksesta (liite 1 ja 2), sekä säätölaitekotelosta (liite 3,4 ja 5), jotka ovat ohjauskoteloita ja ne koskevat esimerkiksi yhden tilan ilmanvaihtoa ja lämmitystä. Työssä valmistui myös suunnitteluohjeistus (liite 6) tässä työssä käsitellyistä väyläprotokollista, joita myös suunnitelmat tukevat. Suunnitteluohjeistuksen tarkoitus oli luoda yrityksen käyttöön aineisto, jota suunnittelijat voisivat hyödyntää työskentelyssään. Suunnitteluohjeistus on suunniteltu väylän rakennetta, kaapelointia ja kytkemistä ajatellen, eikä se ota kantaa esimerkiksi ohjelmointiin. Liitteet ovat salassa pidettäviä, joten ne eivät ole julkisesti nähtävillä.

Opinnäytetyössä opin paljon muun muassa tiedon hakua, sillä toisinaan tietoa oli saatavilla asiasta paljon, jolloin myös eri lähteiden tiedot poikkesivat toisistaan ja aikaa kului selvittäessä, mikä on totta ja mikä ei, sekä toisinaan tieto oli vähissä eikä sitä tahtonut löytyä juuri ollenkaan. Väyläprotokollien taustalla on yleensä standardeja, mutta ne ovat lähtökohtaisesti maksullisia, joten niiden hyödyntäminen oli hankalaa. Lisäksi työtä tehdessä opin luonnollisesti selvittämään eri laitteiden ominaisuuksia ja soveltuvuuksia sekä kytkentätietoja, joita tarvitsee toteutuspiirustuksiin. Yksi merkittävämmistä oppimisen aiheista on kuitenkin ollut työn aikataulutus, sekä sen hahmottaminen ja lisäksi erilaisten yhteistyötaitojen kehittyminen. Työtä ja suunnitelmia tehdessä törmäsi usein ongelmiin ja ristiriitoihin, joiden selvittäminen vaati muiden suunnittelijoiden kanssa yhteistyötä.

Opinnäytetyön loppusuoralla tulee väistämättä mieleen, olisiko jotain voinut tehdä paremmin ja missä olisi eniten kehitettävää. Taustatiedon selvittäminen on tärkeä osa suunnittelua ennen varsinaista suunnittelun aloittamista ja siihen panostaminen voi säästää aikaa ja resursseja myöhemmin. Tässä asiassa on kuitenkin vielä kehitettävää, että malttaa tutkia vaihtoehdot kunnolla läpi ennen kuin alkaa suorittamaan suunnittelua, kuten esimerkiksi selvittämään väylään ja käyttötaroitukseen soveltuvaa laitetta, ettei myöhemmin tule vastaan tilannetta, että se ei olekaan sovelias. Lisäksi kehitettävää olisi työn johdonmukaistamisessa järjestyksen löytymiseksi, jossa suorittaa suunnittelua ja siten erilaiset virheet vähenevät suunnittelua tehdessä.

LÄHTEET

1. Enmac Oy. Hakupäivä 5.2.2024. <https://enmac.fi/>.
2. Aro Systems Oy. Rakennusautomaation ja kiinteistöautomaation ratkaisut. Hakupäivä 5.2.2024. <https://www.arosystems.fi/palvelut/rakennusautomaatio/>.
3. ST 682.10. 2028. Tietoteknisten järjestelmien integrointi. Sähkötieto ry. Hakupäivä 4.2.2024. <https://severi.sahkoinfo.fi/item/772?search=682.10>. Vaatii kirjautumisen.
4. ST-käsikirja 21. 2022. Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto. Tietotekniset järjestelmät. Sähkötieto ry. Hakupäivä 4.2.2024. <https://severi.sahkoinfo.fi/item/231?search=st%2021>. Vaatii kirjautumisen.
5. Infosec. Open vs proprietary protocols. Hakupäivä 5.2.2024. <https://resources.infosecinstitute.com/topics/scada-ics-security/open-vs-proprietary-protocols/>.
6. Higgins, Malcolm 2023. OSI model: 7 OSI layers explained, NordVPN. Blogi. <https://nordvpn.com/fi/blog/osi-model/>.
7. Heiska, Miika 2021. TCP:n toteutussuunnitelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tieto- ja viestintätekniikan tutkinto-ohjelma. Ohjelmistotekniikka. Opinnäytetyö. Hakupäivä 10.2.2024. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/749090/Heiska_Miika.pdf?sequence=3.
8. Klusaitė, Laura 2022. TCP IP - mikä se on, mihin sitä tarvitaan ja mitä se tekee? NordVPN. Blogi. <https://nordvpn.com/fi/blog/tcp-ip-protokolla/>.
9. Texas Instruments. The RS-485 design guide. Hakupäivä 19.2.2024. [The RS-485 Design Guide \(Rev. D\) \(ti.com\)](https://www.ti.com/lit/guide/tid015).
10. Czajka, Maciej 2022. RS485 cabling. Produal Oy. Yrityksen sisäinen dokumentti.
11. Salli, Antti 2020. BACnet basics. Produal Oy. Yrityksen sisäinen dokumentti.
12. Salli, Antti 2020. Modbus basics part 1. Produal Oy. Yrityksen sisäinen dokumentti.
13. ST-käsikirja 23. 2019. KNX-järjestelmän perusteet. Tietotekniset järjestelmät. Sähkötieto ry. Hakupäivä 19.2.2024. [Sähköinfo Severi \(sahkoinfo.fi\)](https://severi.sahkoinfo.fi/item/231?search=st%2023). Vaatii kirjautumisen.
14. M-BUS. 4 Physical layer. Hakupäivä 19.2.2024. [4 – Physical Layer – M-Bus](https://www.m-bus.org/4-Physical-Layer-M-Bus).
15. Saint-Gobain PAM Finland Oy. M-BUS-etäluennan suunnitteluohje. Hakupäivä 19.2.2024. [Ohje MIT M-Bus -etäluenta.pdf](https://www.m-bus.org/Ohje-MIT-M-Bus-etaluenta.pdf).
16. Texas Instruments. Introduction to the controller area network (CAN). Hakupäivä 19.2.2024. [Introduction to the Controller Area Network \(CAN\) \(Rev. B\)](https://www.ti.com/lit/guide/tid015).

17. ST. How to design a robust automotive CAN system. Hakupäivä 19.2.2024. [How to design a robust automotive CAN system - Application note.](#)
18. Fagerhult. DALI-standardisoitu digitaalinen valonohjausprotokolla. Hakupäivä 19.2.2024. [DALI - Fagerhult \(Suomi\).](#)
19. Helvar. DALI-järjestelmän suunnittelun perusteet. Hakupäivä 19.2.2024. [Helvar DALI järjestelmän suunnittelun perusteet 1 2021.pdf \(aalto.fi\).](#)

LIITTEET

Valvonta-alakeskus VAK johdotuskaavio liite 1

Valvonta-alakeskus VAK layout liite 2

Säätölaitekotelo SLK johdotuskaavio liite 3

Säätölaitekotelo SLK väylänperiaatekuva liite 4

Säätölaitekotelo SLK layout liite 5

Rakennusautomaatioväylien suunnitteluohjeistus liite 6