

Ismo Kauppila

ÄLYKÄS TALOTEKNIikka

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2015

ÄLYKÄS TALOTEKNIikka

Kauppila, Ismo

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Kesäkuu 2015

Ohjaaja: Pulkkinen, Petteri

Sivumäärä: 80

Liitteitä:

Asiasanat: rakennusautomaatio, hajautetut järjestelmät, avoimet protokollat, väyläjärjestelmät, elinkaari

Opinnäytetyössä tutkittiin Elomatic Oy:n toimeksiannosta nykyaikaisen automaation käyttöä talotekniikassa ja sen tarjoamia mahdollisuuksia. Työssä perehdyttiin väyläpohjaisiin järjestelmiin, rakennusautomaation rakenteisiin, järjestelmien integrointiin sekä vallitseviin viranomaisvaatimuksiin. Työssä tutkittiin nykytilannetta sekä markkinoilla yleisesti että yrityksen sisällä, sekä näköpiirissä olevaa tulevaisuutta.

Tutkimuksessa näkökulmana oli automaation tekninen ja taloudellinen hyödyntäminen vaativien kohteiden suunnittelussa ja rakentamisessa. Yhtenä kiinnostuksen kohteena oli automaatio korjausrakentamisessa. Työn tavoitteena oli saada rakennusautomaation tilanteesta kokonaiskuva sekä kirjoittaa organisaatiolle aiheesta tietopaketti.

Rakennusautomaatio-osaamisen nykytilaa yrityksessä tutkittiin henkilökohtaisilla keskusteluilla. Markkinatilannetta tutkittiin tapaamisilla järjestelmätoimittajien kanssa, kirjallisuuden avulla sekä asiakastapaamisen kautta. Aiheen laajuuden ja kokonaiskuvan vuoksi sen rajaaminen osoittautui vaikeaksi tehtäväksi. Tuloksena on valtavasta aihealueesta pintaraapaisu, josta uskon yritykselle olevan hyötyä liiketoimintamahdollisuuksia kartoitettaessa.

SMART BUILDING AUTOMATION

Kauppila, Ismo

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical engineering

June 2015

Supervisor: Pulkkinen, Petteri

Number of pages: 80

Appendices:

Keywords: building automation, decentralized systems, open protocols, bus systems, life cycle

The purpose of this thesis was to study the usage and possibilities of modern building automation on behalf of Elomatic Ltd. Installation bus systems, building automation structures, system integration and requirements set by authorities were studied. The current state was analyzed both internally in the company and externally in the market. Also the visible trends were studied.

The viewpoint of the study was technical and economical utilization of automation in design and construction of demanding sites. One point of interest was automation in modernization. The objectives of the thesis were to have a general view of the state of building automation and generate an information package of the subject for the organization.

Current state in the company was studied with personal discussions. Market state was studied with supplier meetings, literature and a customer meeting. Confining the study turned out to be a difficult task due to the extent of the subject. The outcome is a scratch of surface, which I yet believe is of value to Elomatic when going through possibilities for business.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	ÄLYKÄS TALOTEKNIikka	8
3	RAKENNUSAUTOMAATION KEHITYS	9
3.1	Automaatiojärjestelmien rakenteet	10
3.2	Väylien rakenne	13
3.3	Väylien ja hajautuksen hyödyt.....	13
3.4	Valvomot.....	16
4	RAKENNUSAUTOMAATION NYKYTILA.....	16
4.1	Viranomaisvaatimukset, määräykset ja suositukset.....	16
4.1.1	SFS-käsikirja 670-5	17
4.1.2	Rakennusautomaatiojärjestelmien standardit	18
4.2	Talotekniikan järjestelmät ja toimin teet.....	19
4.3	Järjestelmän tietoturva	21
4.4	Rakennusautomaatiosuunnittelun nykytila	22
4.4.1	Automaatiosuunnittelu ja rajapinnat.....	24
4.4.2	Väyläpohjaisen rakennusautomaation suunnitteluprosessi	25
4.4.3	Dokumentointi	28
4.4.4	Rakennusautomaatiosuunnittelu Elomaticissa	31
4.5	Merkittävimmät tiedonsiirtoväylät.....	31
4.5.1	BACnet	31
4.5.1.1	Järjestelmärakenne	32
4.5.1.2	Järjestelmän ominaisuuksista	34
4.5.2	KNX	35
4.5.2.1	Tiedonsiirtotavat.....	36
4.5.2.2	Järjestelmärakenne	38
4.5.2.3	Käyttöönotto ja ohjelmointi.....	42
4.5.2.4	Suunnitteluaspekti ja järjestelmän edut.....	43
4.5.3	DALI valaistuksenohjausjärjestelmä.....	44
4.5.4	LonWorks	48
4.5.4.1	Rakenne	48
4.5.4.2	Tiedonsiirtotavat ja kaapelointi	49
4.5.4.3	Käyttöönotto	51
4.5.4.4	Suunnittelu.....	51
4.5.5	Modbus	52
4.5.6	Muita järjestelmiä.....	54
4.5.7	M-Bus	54

4.5.8 EnOcean	55
4.5.9 Profibus	56
4.6 Väylävalinta	57
4.7 Integrointi.....	58
4.7.1 Osajärjestelmien integrointi.....	59
4.7.2 Eri protokollien yhdistäminen	61
4.7.3 OPC ja yhteistoiminnallisuus	61
4.8 Rakennusautomaatio saneerausrakentamisessa sekä vaativissa kohteissa	63
4.8.1 Saneerauksen erityispiirteet.....	63
4.8.2 Vaativat kohteet.....	65
4.8.3 Rakennusautomaation ja prosessiautomaation integrointi	66
5 TULEVAT KEHITYSNÄKYMÄT	69
5.1 Rakennusautomaation leviämistä ohjaavat tekijät	69
5.2 Käytön nykyinen laajuus ja laajenemismahdollisuudet.....	72
5.3 Teknologiat	74
6 PÄÄTELMÄT JA EHDOTUKSET	76
6.1 Ongelmakohdat	77
6.2 Ehdotukset.....	77
LÄHTEET.....	78
LIITTEET (julkisesta versiosta puuttuvat liitteet 1-3)	

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

BACnet	Building Automation and Control network, rakennusautomaation integrointiin kehitetty protokolla
DALI	Digital Addressable Lighting Interface, valaisinohjaukseen tarkoitettu väyläjärjestelmä
DDC	Direct Digital Control, suora digitaalinen ohjaus, viittaa yleisesti keskitetyn järjestelmän toimintatapaan
EnOcean	Langaton teknologia antureita ja kytkimiä varten
KNX	Väyläpohjainen hajautettu rakennusautomaatiojärjestelmä
LonWorks	Väyläpohjainen hajautettu rakennusautomaatiojärjestelmä
M-Bus	Metering Bus, mittarien etäluentaan tarkoitettu väylä
Modbus	Väyläpohjainen rakennusautomaatiojärjestelmä
OPC	Open connectivity via open standards, avoimen tiedonsiirron standardi
Protokolla	Yhteyskäytäntö, määrittelee miten laitteiden välinen tiedonsiirto tapahtuu
RAU	Rakennusautomaatio
SELV	Protected Extra Low Voltage, maasta erotettu pienjännitepiiri
Topologia	Verkon perusrakenne, tapa jolla laitteet on liitetty
Twisted pair, TP	Kierretty parikaapeli

1 JOHDANTO

Automaation merkitys kiinteistöjen hallinnassa on ollut pitkään kasvussa. Ensimmäisiä kiinteistöjen automaatiosovelluksia käytettiin tyypillisesti LVI:n hallinnassa, ja tietokonepohjaiset järjestelmät yleistyivät 80-luvulta alkaen tietotekniikan kehityksen myötä. Tämän jälkeen kiinteistöautomaation kehitys on pitkälti seurannut yleistä tietotekniikan kehitystä järjestelmien kehittyessä yhä monipuolisemmiksi ja tarkemmiksi. Trendinä on ollut siirtyminen suljetuista yhden toimittajan järjestelmistä avoimiin ja standardoituihin automaatiojärjestelmiin.

Rakennusten pitkien elinkaarien vuoksi rakennusautomaation käytön yleistymisen on ollut rauhallista. Muun muassa kiristyvät rakennusten energiatehokkuusvaatimukset asettavat uusille rakennuksille tiukempia vaatimuksia, jotka käytännössä vaativat kiinteistöltä tietyn automaation tason. Rakennusten saneerauksissa tarve automaation parantamiselle tulee vastaan myös energian hinnan yleisen nousun vuoksi. Automaatiojärjestelmien elinkaari on talotekniikan muihin osa-alueisiin nähden selkeästi lyhyempi, joten automaatiojärjestelmät ovat yleisesti rakennuksen ensimmäisiä uusittavia tai päivitettäviä kohteita. Rakennustyyppistä riippuen on olemassa energiatehokkuuden lisäksi myös muita syitä automaatiotason parantamiselle kuten käytön joustavuus, kiinteistön arvonnousu, turvallisuus sekä helppokäyttöisyys.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan eri väyläpohjaisten rakennusautomaatiojärjestelmien käyttöä sekä uudis- että korjausrakentamisessa. Tavoite on saada selkeä kokonaiskuva mm. rakennusautomaatioon vaikuttavista standardeista, järjestelmien rakenteista ja eroista, markkinoiden nykytilasta, suunnittelun haasteista, eri rakennustyyppien automaatioiden eroista sekä alan tulevaisuudennäkymistä suunnittelutoimiston (Elo-matic Oy) näkökulmasta.

2 ÄLYKÄS TALOTEKNIikka

Talotekniikalla tarkoitetaan kaikkia rakennukseen liittyviä teknisiä järjestelmiä, laitteita ja palveluita joilla vaikutetaan rakennuksen käytettävyyteen, turvallisuuteen ja taloudellisuuteen. Perinteisimmillään talotekniikalla ymmärretään pelkästään LVI-toimintoja sekä sähköistystä. Rakennusautomaatiolla valvotaan ja ohjataan automaattisesti näitä talotekniikan prosesseja ja toimintoja. Kiinteistöautomaatiolla tarkoitetaan laajempaa kokonaisuutta, johon liittyy rakennuksen lisäksi mm. ympäröivä tontti ja siihen liittyvä automaatio.

Älykäs talotekniikka on liukuva käsite ja nimikkeellä ymmärretään hyvinkin erilaisia kokonaisuuksia. Esimerkiksi Smart Buildings Instituten määritelmän mukaan älykäs rakennus antaa ajantasaista tietoa järjestelmien ja kiinteistön tilasta, valvoo ja ennakoii virhetilanteita, yhdistää talotekniikan hallintotason järjestelmiin raportointia varten sekä mahdollistaa energianhallinnan ja kestävän kehityksen (www.smartbuildingsinstitute.org). Älykäs talotekniikka siis yhdistää rakennuksen kommunikaatiöväylien kautta kiinteistönhallintaan ja integroituun palvelunhallintaan. Määritelmän mukainen rakennuksen älykkyys saavutetaan käytännössä vasta laajan automaation avulla kokoamalla talotekniikan hallinta yhteen kokonaisuuteen eli integroinnilla.

Tarpeen mukainen ohjaus on eräs älykkään talotekniikan keskeisiä käsitteitä. Siihen kuuluvat esimerkiksi läsnäolotunnistus, erilaiset tilanneohjaukset esimerkiksi vuodenajan mukaan sekä ennakointi vaikkapa sääennusteen avulla. Esimerkiksi älykäs valonohjausjärjestelmä saattaisi sisältää normaalin päälle-pois -kytkennän lisäksi himmennuksen, läsnäolotunnistuksen, päivänvalotunnistuksen vakiovalosäädöllä, ajastukset, käyttöpaneelin sekä energiankulutuksen mittauksen. Älykkäissä järjestelmissä informaation määrä hallintotasolla lisääntyy ja sitä käytetään tehokkaasti rakennuksen hallintaan mahdollistamaan resurssien tehokkaan käytön, käyttäjien tyytyväisyyden sekä energian ja käyttökulujen säästön.

3 RAKENNUSAUTOMAATION KEHITYS

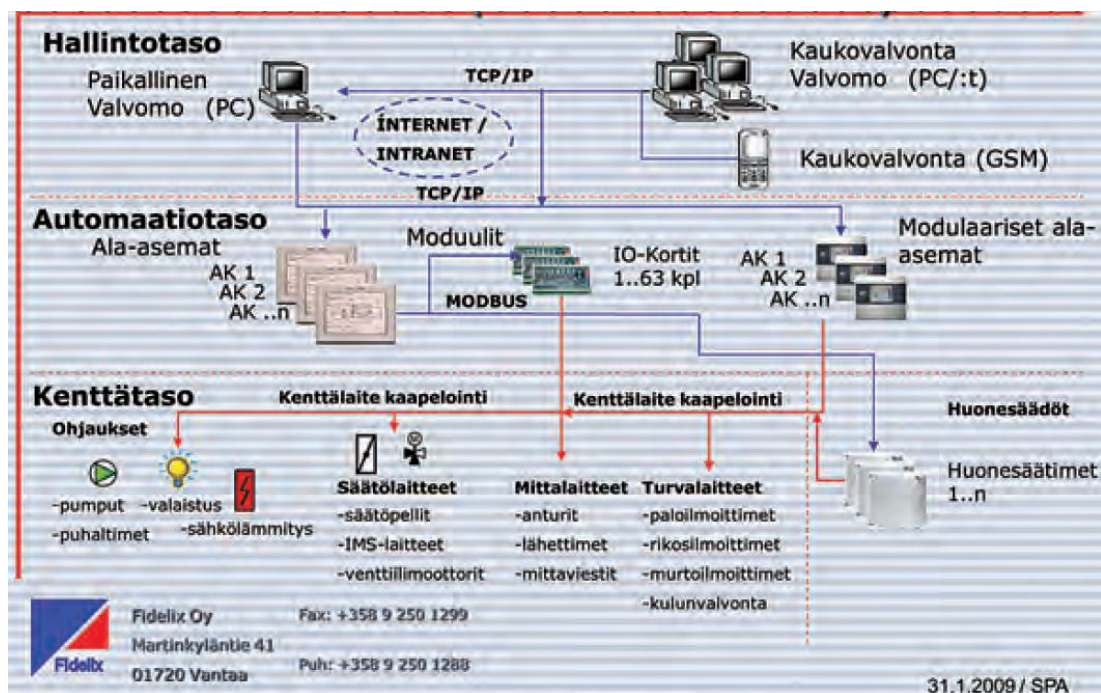
Rakennusautomaatiossa on käytetty erilaisia kenttäväyläratkaisuja jo 80-luvulta lähtien. Siirtymällä analogisesta signaloinnista väylien käyttämiin digitaaliseen tiedonsiirtoon jokainen laite ei tarvinnut omaa erillistä kaapeliaan ja kaapelointeja pystyttiin vähentämään merkittävästi. Vähentynyt kaapelointi puolestaan merkitsi vähempiä vikamahdollisuuksia. Väylien käyttö mahdollisti myös useiden rakennusten keskitettyjen valvomoiden käyttöönoton. Käytetyt ratkaisut olivat pääosin suljettuja valmistajakohtaisia toteutuksia, jotka eivät olleet keskenään yhteen sovitettavissa. Lisäksi samakin valmistaja saattoi käyttää erilaisia ratkaisuja automaation eri osaluille kuten valaistus tai murtosuojaus. Perinteiset 80- ja 90-luvun rakennusautomaatitoteutukset olivat ns. keskitettyjä ratkaisuja eli kaikkea toimintaa ohjasi keskustietokone. Vikatilanteiden kannalta yksi keskeinen solmu on ongelmallinen, koska tällöin koko järjestelmä saattaa lamaantua. Ns. verkon pollauksen eli jatkuvan tilatarkastuksen vuoksi myös järjestelmäkapasiteetti riippui pitkälti keskuskoneen ominaisuuksista.

1990-luvulta lähtien PC-tekniikka on yleistynyt jatkuvasti rakennusautomaation käytössä. Alussa käytettiin yleisesti modeemiyhteyksiä automaation etähallinnassa ja yleistynyt GSM-tekniikka puolestaan mahdollisti edullisemmän tavan hälytystietojen siirtoon paikasta riippumatta. Samaan aikaan alakeskukset kehittyivät itsenäisiksi yksiköiksi omine kontrollereineen ja niitä alettiin käyttää tiheämmin. Näihin aikoihin alkoi myös kehitys avoimille ja hajautetuille järjestelmille.

2000-luvulla internetin yleistymisen mahdollisti lähes reaaliaikaisen etähallinnan ja -valvonnan myös selainohjelmistojen kautta. Nykyaikaiset järjestelmät ovat tapahtumapohjaisia eli verkon kapasiteettia käytetään vain muuttuneen tiedon välittämiseen tai ajallisesti harvaan toiminnallisuustarkistukseen. Vallalla on vahva suuntaus avointen eli toimittajariippumattomien järjestelmien käytölle, jossa standardoinnilla on merkittävä rooli. Myös rakennusautomaation hallinnan siirto pilvipalveluihin on yleistymässä (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012, 25).

3.1 Automaatiojärjestelmien rakenteet

Perusmallina rakennusautomaatiojärjestelmien rakennetta kuvaamaan käytetään yhä 90-luvulta peräisin olevaa kolmitasosta hierarkiamallia, joka koostuu hallintotasosta, automaatiotasosta sekä kenttälaitetasosta (Kuva 1).



Kuva 1. Kiinteistöautomaation hierarkinen rakenne (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012, 94)

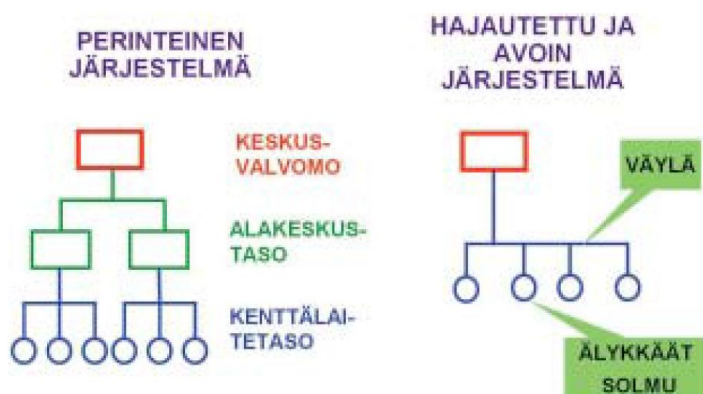
Hierarkiamallissa kenttälaitetasolla ovat ensisijaisesti toimilaitteet, anturit sekä itsenäiset säätimet. Näitä yhdistävän kenttälaittekaapeloinnin ei tarvitse olla yhtenäinen, vaan se voi olla ositeltu alakeskusten mukaisesti. Kenttälaitteet ovat yhteydessä alakeskukseen, mutta voivat väylän välityksellä keskustella myös suoraan keskenään. Tällaista hajautettua tekniikkaa käyttää mm. KNX sekä LonWorks.

Automaatiotasoa rakentuu pääosin itsenäisistä alakeskuksista, jotka I/O-moduulien avulla kokoavat kenttälaitteita yhteen. Alakeskuksia voidaan myös ajatella alkuaikojen hajautettuna järjestelmänä, jossa keskuskoneen tehtäviä jaettiin pienempiin osiin. Alakeskukset sisältävät ohjelmat, jotka kenttälaitetasolta saaduilla anturitiedoilla ohjaavat osatoimintoja kuten ilmanvaihtoa tai lämmitystä. Automaatioväylän avulla yhdistetään yhdeksi kokonaisuudeksi erilaiset prosessit kuten ilmanvaihto ja valaistus. Automaatiotasolla verkkona käytetään yleisimmin ethernetiä. Sekä kenttä- että

automaatiotasoilla voidaan käyttää paikallisohjausta prosessien parametrien säätöön ja ohjaukseen.

Hallintotaso toimii käyttörajapintana järjestelmään. Itse prosessien ohjaus tapahtuu edelleen itsenäisissä alakeskuksissa ja kentälaitteissa. Hallintotasolla sijaitsevat valvomot joko paikallisesti tai etäyhteydellä internetin kautta. Hallintotasolla pystytään muuttamaan prosessien parametreja, sinne saadaan tarvittavat hälytykset sekä voidaan tehdä raportteja alemmilla tasoilla kumuloitavan datan avulla. Tiedonsiirtoon käytetään ethernetiä sekä laajakaistayhteyksiä. Hallintotasolla näkyy prosessin kokonaiskuva ja se voidaan myös yhdistää yrityksen toiminnanohjausjärjestelmään (ERP).

Kehityksen myötä myös järjestelmien rakenne on kuitenkin muuttunut monimuotoisemmaksi kuin perinteinen kolmitasoinen hierarkiamalli. Hajautettu tekniikka siirtää perinteisesti alakeskuksille kuuluneita tehtäviä suoraan kentälaitetasolle (Kuva 2). Myös hallintotasolta voidaan ethernetin välityksellä samalla protokollalla ohjata suoraan kentätason laitetta, jolloin järjestelmä on täysin läpinäkyvä ja hierarkiatasojen olemassaolo voidaan unohtaa. Samaten rakennusta voidaan ohjata pilvipalvelun kautta, jolloin rakennuksessa ovat vain kentälaitteet, yksinkertainen käyttöliittymä sekä verkkopalvelin. Käytännössä modernit järjestelmät ovat siis hybridejä eri rakenteista.

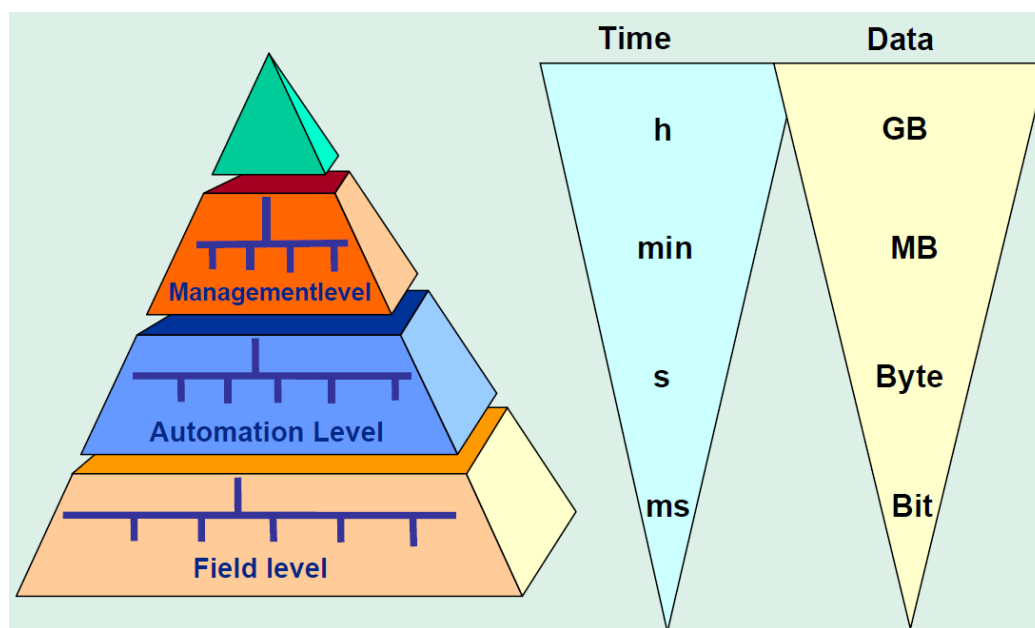


Kuva 2. Keskitetty ja hajautettu järjestelmä (Kiinteistöautomaation tiedonsiirtoväylät 2006, 17)

Rakennettaessa väyläpohjaista hajautettua järjestelmää se jaotellaan segmentteihin. Jaottelussa on eri lähestymistapoja kuten fyysisen sijainnin mukaan, toimintaryhmän mukaan tai datansiirron tehokkuusvaatimusten mukaan. Yleensä samaan segmenttiin kannattaa mahdollisuuksien mukaan ryhmitellä laitteet, jotka usein keskustelevat

keskenään tai jotka vaativat pientä vasteaikaa eli reaaliaikaisuutta. Ryhmittelyllä pystytään minimoimaan liikennettä reitittimien sekä runkoväylän kautta ja täten vähentämään järjestelmän mahdollisia pullonkauloja (Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät, 46). Ryhmittely tapahtuu kuitenkin tapauskohtaisesti mm. kaapelointimahdollisuuksien ja kaapelointikustannusten mukaan.

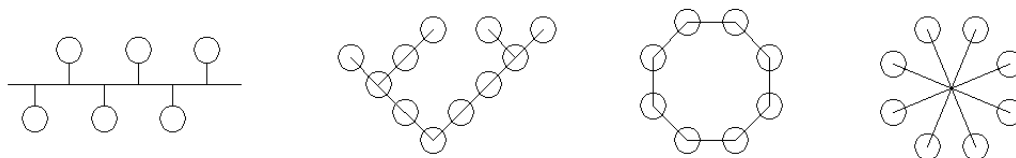
Rakennusautomaatiossa datanopeuden ei kenttälaitetasolla yleensä tarvitse olla suuri, koska siirrettävä datamäärä on pieni. Vastenopeudella sen sijaan on jonkin verran merkitystä sovelluksesta riippuen. Esimerkiksi valaistuksen kytkennässä viive on melko selvästi nähtävissä, mutta lämmityksen säädössä suuresta vastenopeudesta on puolestaan haittaa. Hallintotasolla käsitellään kenttälaitteista ja osajärjestelmistä kumuloitunutta dataa, jolloin siirrettävä datamäärä on huomattavasti suurempi. Sen sijaan hallintotason toiminnot eivät yleensä ole aikakriittisiä. Tämän vuoksi datanopeudella on suuri merkitys, mutta vasteajoilla puolestaan ei ole (Kuva 3).



Kuva 3. Aikakriittisyys ja datamäärä rakennusautomaation eri hierarkiatasoilla (Avoimen rakennusautomaation suunnittelu)

3.2 Väylien rakenne

Verkkotopologialla tarkoitetaan verkon fyysistä perusrakennetta. Yleisimmin käytetään väylä-, puu-, rengas sekä tähtitopologioita (Kuva 4). Myös näiden erilaisia yhdistelmiä voidaan käyttää. Nykyisissä automaatioväylissä rengasratkaisua ei juuri-kaan käytetä ja esimerkiksi KNX-järjestelmässä rengasrakennetta ei sallita lainkaan. Tähtitopologiassa kaikki liikenne kulkee keskipisteen kautta, jolloin sen luotettavuus nousee tärkeään rooliin. Puurakenne puolestaan voidaan nähdä väylän erikoistapauksena. Käytettävän väylän teknisistä vaatimuksista riippuu tarvitaanko kulloinkin kyseisessä tapauksessa väylän päätevastuksia. Järjestelmävaatimuksista riippuen väylän fyysinen rakenne on käytännössä monesti eri topografioiden yhdistelmä.



Kuva 4. Erilaisia verkkotopologioita: linja, puu, rengas sekä tähti.

Väyläprotokolla puolestaan määrittää miten laitteet kommunikoivat keskenään. Protokolla on riippumaton väylän rakenteesta tai fyysisestä kytkentätavasta.

3.3 Väylien ja hajautuksen hyödyt

Väyläpohjainen rakenne yksinkertaistaa ohjausjohdotuksia ja helpottaa muutostöiden tekemistä. Esimerkiksi valaistuksen ohjausryhmien muutokset eivät vaadi fyysisiä kytkentämuutoksia. Käyttämällä väylää myös väylälaitteiden sähkösyöttöön saadaan vähennettyä sekä komponenttien että kaapeloinnin määrää. Kaapeloinnin määrän vähentämisen myötä kytkentäpisteitä on vähemmän. Koska suurin osa vikapisteistä on kytkentäpisteissä, saadaan järjestelmän vikamahdollisuuksia pienennettyä huomattavasti. (Piikkilä 2004, 2-4)

Avoimen väylätekniikan vahva etu suljettuihin yhden toimittajan järjestelmiin nähden on riippumattomuus laitetoimittajasta. Järjestelmähankinta tai -päivitys voidaan

kilpailuttaa ja eri toimittajien laitteita käyttää keskenään. Standardoitu protokolla takaa, että laitteistopäivitykset ja korjaukset hoituvat mahdollisimman sujuvasti. On kuitenkin huomattava, että vaikka laitteet ovat fyysisesti yhteensopivia, ohjelmistoverselluksissa saattaa olla ominaisuuksia, jotka rajoittavat laitteiden vaihdettavuutta.

Hajautus automaatiojärjestelmässä tarkoittaa myös resurssien jakamista. Käyttämällä hajautettua väylätekniikkaa voidaan kiinteistöautomaatiojärjestelmässä hyödyntää tehokkaasti yhdessä pisteessä tai osajärjestelmässä kerättyä tietoa. Tällä yhteistoiminnallisuudella tarkoitetaan siis sekä fyysistä yhteensopivuutta että toimintojen yhteensopivuutta (Piikkilä 2004, 1-5). Yhteistoiminnallisuudella pystytään myös vähentämään tarvittavien komponenttien kuten anturien kokonaismäärää järjestelmässä. Esimerkiksi hämäräanturi voi jakaa mittaustuloksensa sekä valaistus- että kulunvalvontajärjestelmälle fyysisesti pitkiäkin etäisyyksiä verkon yli. Kerättyä dataa on myös helppo prosessoida erilaisiksi kokonaisuuksiksi ilmaisemaan uutta tietokokonaisuutta joka ei aiemmin ollut nähtävissä. Erilaiset ajantasaiset yhdistetyt tilankäyttö- ja energiankulutusraportit ovat esimerkkejä näistä. Integroimalla rakennusautomaation eri osa-alueita saadaan tekniikkaa hyödynnettyä yhä tehokkaammin. Esimerkiksi osajärjestelmien valvontaohjelmistoja voidaan yhdistää tai siirtää valvomo vaikkapa pilvipalveluun. Toimintoja yhdistämällä ja keskittämällä vähenee myös huolto- ja ylläpitohenkilöstön tarve, tosin keskitetty hallinta puolestaan vaatii henkilöstöltä laajempaa asioiden hallintaa. Jokaisen huoltomiehen kouluttamisen sijaan tämä voidaan kiertää esimerkiksi käyttämällä tukihenkilöä, joka tarvittaessa antaa tukea kenttähuollolle (Senaatti Kiinteistöt, palaveri 2015).

Hajautetun järjestelmän etuihin luetaan myös luotettavuus, laajennettavuus sekä muokattavuus. Koska kenttälaitteet pystyvät keskustelemaan suoraan keskenään, järjestelmäkatkoksen sattuessa ne toimivat edelleen normaalisti, mikäli niiden tietoliikennettä ei ole reititetty katkoskohdan kautta. Esimerkiksi reitittimen vikaantuessa samaan kanavaan ryhmitetyt laitteet toimivat edelleen. Koko järjestelmä ei siis kaadu, vaan osasia siitä toimii edelleen. Toisin kuin prosessiteollisuudessa, talotekniikassa on suotavaa että vian sattuessa muut osajärjestelmät jatkavat toimintaansa. Prosessiteollisuudessa tuotteen valmistuksessa tuloksena on todennäköisesti sekunda-tuotteita jonkun toimilaitteen vikaantuessa, jolloin hajautuksesta ei ole hyötyä. Pitkä-aikaisia trendejä seuraamalla ja automatisoimalla, esimerkiksi virrankulutusta, voi-

daan myös ennakoida laitteiden huollontarve ja estää hallitsemattomat käyttökatkokset.

Huomioiden rakennusten pitkät ja automaatiojärjestelmien lyhyet käyttöiät, on hyvin todennäköistä että automaatiojärjestelmiä on jossain vaiheessa tarve muokata tai laajentaa. Väyläpohjaisilla järjestelmillä selvittää yleensä vähemmällä fyysisillä johdotusten muutostöillä kuin perinteisillä järjestelmillä, koska osa ainakin muutoksista pystytään suorittamaan ohjelmallisesti esimerkiksi uudelleenryhmityksillä. Ohjelmallisesti pystytään myös johdotuksiin koskematta määrittämään toiminnallisuus erilaiseksi. (Piikkilä 2004, 1-6) Mikäli järjestelmä ei ole jo hyvin laaja ja kaikki järjestelmäositteet ole käytössä, voidaan olemassa olevaan väylään liittää tarvittaessa lisää laitteita ja hyödyntää laajennuksessa nykyistä järjestelmäosaa.

Vaikka monipuolisen väyläpohjaisen järjestelmän hankintakustannukset olisivat huomattavastikin korkeammat kuin perinteisen järjestelmän, on huomioitava monipuolisen automaatiojärjestelmän elinaikanaan tuomat kustannussäästöt, käyttömukavuus sekä helppokäyttöisyys. Helpoin mittari kustannussäästöille on energiankulutuksesta koostuva säästö, jota muodostuu mm. ohjausprosessien optimoinnista ja tarkemmasta hallinnasta. Tilojen valaistusta ja lämmitystä voidaan ohjata käytön mukaan läsnäoloanturin avulla kiinteän aikataulun sijasta, sähkönkulutuksen huipputehoja voidaan rajoittaa, markiisien käytöllä vähennetään ilmastoinnin tarvetta, raporttien avulla saadaan havainnollista tietoa käyttöasteesta ja -tavoista sekä pystytään tarkkojen käyttötuntimäärien sekä trendiseurannan avulla ennakoimaan tulevat huollot. Mm. edellä mainittujen toimintojen tuomien säästöjen laskeminen järjestelmän elinaikana muuttaa kannattavuuslaskelmia huomattavasti. Toimintojen yhdistämisellä aikaansaatu kiinteistön kokonaisvaltainen hallinta tuo myös mukanaan keskittämisen kautta saatavaa säästöä.

Järjestelmän hajautus ei koske kuitenkaan valvonnan hajautusta. Hajautettujen ja integroitujen järjestelmien monimutkaisuus vaatii nimenomaan keskitettyä hallintaa. Näissä järjestelmissä hallintotasolla tietomäärä kumuloituu yhä suuremmaksi ja sen käsittely eri osapuolia hyödyttäväksi on olennainen asia. Yhteen kerätyn ja käsitellyn tiedon avulla pystytään johtamaan kokonaisuutta yhä paremmin.

3.4 Valvomot

Valvomon kautta ohjataan ja seurataan automaatiojärjestelmien toimintaa. Paikalliset valvomot voivat sijaita joko niille erityisesti varatussa valvomotilassa tai vaikkapa kiinteistönhoitajan työhuoneen PC:llä. Oikein toteutettu valvomo-ohjelmisto on hallintatyökalu, jonka avulla voidaan paremmin ymmärtää kiinteistön ominaisuuksia sekä seurata ajan mittaan tapahtuvia muutoksia. Historiaseuranta antaa arvokasta tietoa, jolla voidaan ennakoida huoltotarpeita, ehkäistä äkillisiä toimintakatkoksia sekä selvittää jälkikäteen tapahtumia ja niiden syitä. Valvomo-ohjelmiston kautta voidaan muuttaa prosessien parametreja tarvittaessa.

Laajakaistayhteyden avulla kiinteistön hallinta voidaan siirtää etävalvomoon, jossa hallitaan useita kiinteistöjä yhä aikaa. Tällä keskittämällä voidaan aikaansaada kustannussäästöjä tai ylläpitää jatkuvaa miehitystä keskusvalvomossa. Useat valvomo-ohjelmistot on rakennettu internetselaimella toimiviksi, jolloin riippuvuus järjestelmätoimittajasta vähenee. Kiinteistönomistajan on tällöin helppo kilpailuttaa koko valvontatoiminta ulkopuoliseksi palveluksi kiinteistöpalveluyhtiölle. Vaihtoehtoisesti valvomo-ohjelmisto voidaan siirtää palvelimelle pilvipalveluun ja huolehtia edelleen itse valvonnasta. Tässä tapauksessa asiakkaan ei tarvitse itse huolehtia esimerkiksi ohjelmistopäivityksistä. Yksinkertaisen paikallisen palvelimen avulla kiinteistön hallinta voidaan toteuttaa myös kokonaan mobiilina esimerkiksi tablettitietokoneen ja selainohjelmiston avulla.

4 RAKENNUSAUTOMAATION NYKYTILA

4.1 Viranomaisvaatimukset, määräykset ja suositukset

Suoraan rakennusautomaatiojärjestelmiin liittyviä viranomaisvaatimuksia on vähän, mutta enemmän on sekä suoria että sivuavia viittauksia rakentamisen eri ohjeistuksissa. ST-kortti 710.00 kokoaa hyvin kattavasti lähteet, joissa viitataan rakennusautomaatioon liittyviin määräyksiin ja ohjeisiin.

Tärkeimmät rakennusautomaatioon liittyvät määräykset tulevat SFS 6000 -standardisarjan kautta sähköturvallisuuslaista ja -asetuksista. Sähkölaitteisiin ja -laitteistoihin liittyvät määräykset pätevät myös rakennusautomaatiojärjestelmien sähköisille osille.

Suomen rakentamismääräyskokoelma antaa määräyksiä ja ohjeita rakennukselle ja sen eri toiminteille, jotka voivat liittyä rakennusautomaatiojärjestelmiin automaatioasteesta riippuen. Kokoelman osa D1 antaa määräyksiä ja ohjeita vesi- ja viemärintilalaitteistoille, D2 ilmanvaihdolle ja sisäilmastolle, D3 rakennusten energiatehokkuudelle. Toimintojen ohjauksen kautta automaatiojärjestelmät voivat liittyä välillisesti näihin kaikkiin. Lisäksi kokoelman osa D5 antaa ohjeita energiankulutuksen sekä lämmitystarpeen laskentaan. Rakennuksen automaatioasteella voidaan vaikuttaa voimakkaasti sen energiatehokkuuteen ja sitä kautta myös lämmitystarpeeseen (ST 710.00 2014, 2).

Standardin olemassaolo ei tee sen noudattamisesta pakollista. Viranomaisvaatimuksissa voidaan kuitenkin viitata standardeihin, jolloin ne muuttuvat velvoittaviksi (SFS-käsikirja 670-5 2013, 8). Viranomaisvaatimukset voivat olla joko kansallisia tai koko EU:n kattavia. EU:n yhdenmukaistamispyrkimyksen mukaisesti kansallisten säädösten määrää pyritään vähentämään ja siirtymään koko unionia kattaviin säädöksiin. Näin sekä selkiytetään tilannetta että helpotetaan yritysten toimintaa EU:n sisämarkkinoilla.

Mikäli rakennusautomaatiojärjestelmät liittyvät henkilötietoja käsitteleviin järjestelmiin kuten kulunvalvonta tai kameravalvonta, on huomioitava myös henkilötietolain (Henkilötietolaki 523/1999) vaatimukset tietosuojan ja yksityisyyden suojan noudattamisesta.

4.1.1 SFS-käsikirja 670-5

SFS-käsikirja 670-5 kokoaa osaltaan sekä koti- ja rakennusautomaatiotuotteille että -järjestelmille asetettuja vaatimuksia.

Järjestelmään liitettävät laitteet on suunniteltu toimiviksi tietyissä ympäristöolosuhteissa. Järjestelmän suunnittelijan on tunnettava suunnittelun kohteena olevan tilan olosuhteet ja valittava käytettävät komponentit olosuhteiden asettamien vaatimusten mukaan. (SFS-käsikirja 670-5 2013, 66)

Sekä järjestelmän yksittäisten komponenttien että valmiin kokonaisuuden on täytettävä sähköturvallisuusvaatimukset. Järjestelmän turvallinen käyttö on varmistettava tarpeenmukaisilla suojauksilla mekaanisia, kemiallisia ja ympäristöstä johtuvia vaaroja vastaan. Turvallinen käyttö on taattava kaikissa normaaleissa sekä määritellyissä epänormaaleissa käyttöolosuhteissa. Näitä ovat esimerkiksi verkon ylijännitteet sekä asennustilan likaantuminen. Kaikkien asennusten on täytettävä SFS 6000 4-41 vaatimukset pienjänniteasennusten suojaukselta sähköiskuja vastaan. (SFS-käsikirja 670-5 2013, 90-102)

Järjestelmän toiminnallinen turvallisuus riippuu sekä verkon että siihen liitettyjen laitteiden ominaisuuksista, järjestelmän suunnittelusta ja asianmukaisesta asennuksesta. Järjestelmän tai minkään sen osan vikaantuminen ei saa aiheuttaa järjestelmän muuttumista turvattomaksi. Myöskään minkään osan turvallinen käyttö ei saa perustua pelkästään automaatiojärjestelmän ohjaukselle, ja sähkökatkoksen aiheuttamat erikoistilanteet on hallittava turvallisesti. Ohjelmistokehityksen on täytettävä ISO 9000 tai vastaavat vaatimukset ja etäkäytössä on oltava tarpeelliset paikalliset ohjaukset turvallisuuden takaamiseksi. (SFS-käsikirja 670-5 2013, 122-134)

Lisäksi SFS 670-5 määrittää rakennusautomaatiojärjestelmään liitettävien komponenttien EMC-vaatimukset sekä ohjeistaa asennusten testaukseen ja käyttöönottoon.

4.1.2 Rakennusautomaatiojärjestelmien standardit

Nykyaikaisista avoimista ja hajautetuista rakennusautomaatiojärjestelmistä suuri osa on standardoitu toiminnallisen ja fyysisen yhteensopivuuden takaamiseksi. Suosituimpien järjestelmien standardit on lueteltu alla (Taulukko 1). IEC ja ISO ovat kansainvälisiä standardeja. M-Bus:lla on eurooppalaisen tason EN standardi ja Modbus

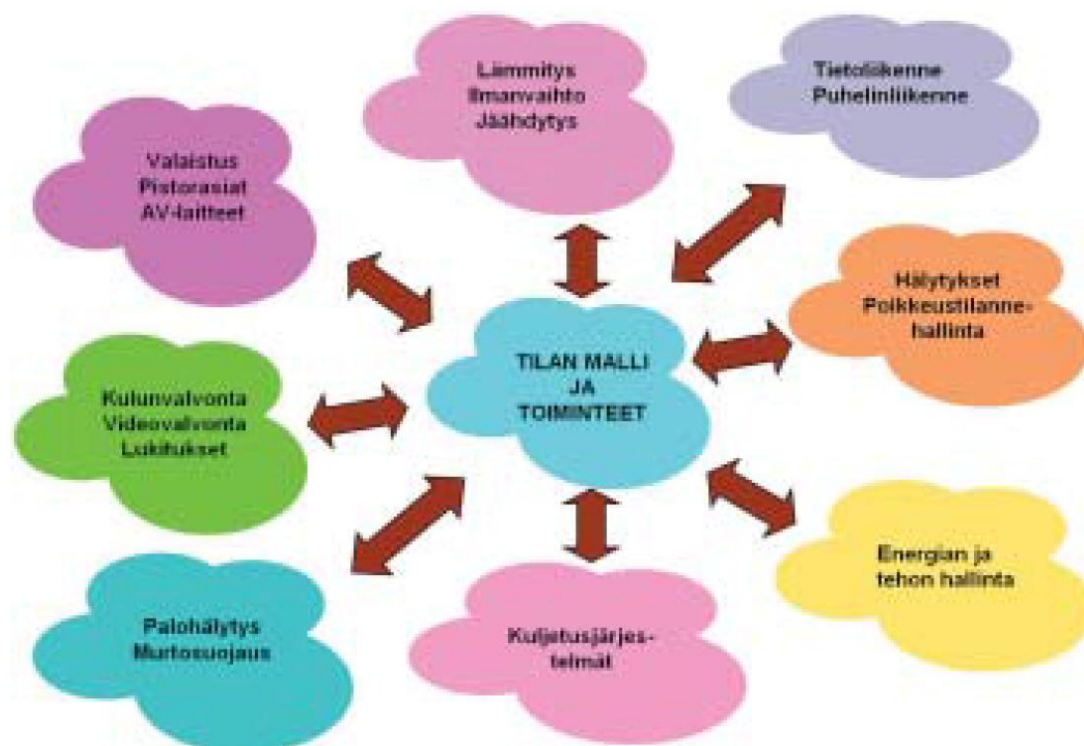
on standardoimaton. Listattujen standardien lisäksi osalla on lisäksi kansallisia tai jonkun maanosan kattavia standardeja.

BACnet	KNX	LonWorks	Modbus	DALI	M-Bus	EnOcean
ISO 16484-5	ISO 14543-3	ISO 14908-1	-	IEC 62386	EN 13757	ISO 14543-3-10

Taulukko 1. Rakennusautomaatiojärjestelmien standardeja

4.2 Talotekniikan järjestelmät ja toiminnot

Automaatiolla ohjataan yhä enenevässä määrin talotekniikan eri osajärjestelmiä. Näitä järjestelmiä ovat esimerkiksi rakennuksen LVI-toiminnot, valaistus, kulunvalvonta ja työajanhallinta, palonilmaisuus, poistumistievalaistus, palo-ovien ja hissien ohjaukset sekä murto- ja videovalvonta (Kiinteistöjen valvomojärjestelmät 2008, 111). Kaikkia näitä järjestelmiä voidaan mitata, säätää ja valvoa automatiikan avulla. Perinteisesti kutakin osajärjestelmää ovat ohjanneet erilliset automatiikkajärjestelmät eri laitetoimittajilta.



Kuva 5. Tyypillisiä kiinteistössä ohjattavia toimintoja (Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät, 11)

Uuden kokonaisuuden suunnittelussa kannattaa järjestelmälähtöisen ajattelutavan sijaan ajatella minkälaisilla toiminteilla (Kuva 5) täytetään käyttäjien tai tilojen tarpeita. Nämä toiminnot yleensä yhdistävät useampia eri talotekniikan osajärjestelmiä. Esimerkkejä tällaisista toiminnekokonaisuuksista ovat mm. huoneolosuhteiden hallinta tai palosuojaus. Ensinnä mainittuun vaikuttavat mm. sekä valaistuksen, lämmityksen että ilmanvaihdon ja ilmastoinnin asetukset, ja jälkimmäiseen mm. poistumistievalaistukset, hissien ja palo-ovien ohjaukset sekä ilmastoinnin ohjaukset. Molemmat esimerkit käyttävät hyväkseen tietoja muista osajärjestelmistä toteuttaakseen toiminnot. Tällainen ajattelutapa vaatii järjestelmien integrointia eli yhdistämistä siten, että ne pystyvät sujuvasti toimimaan yhteen. Matriisitaulukko (Taulukko 2) auttaa hahmottamaan mitkä laitteet (anturit, toimilaitteet jne.) osallistuvat kunkin toiminnan toteuttamiseen.

Käyttöliittymän hierarkiataso 1	o	o		o
Käyttöliittymän hierarkiataso 2			o	
	Toiminne 1	Toiminne 2	Toiminne 3	Toiminne 4
JÄRJESTELMÄ 1	T	T		
Kenttälaite	x		x	
Kenttälaite	x			
Kenttälaite		x		
Kenttälaite			x	
JÄRJESTELMÄ 2			T	
Kenttälaite	x		x	
Kenttälaite			x	
Kenttälaite		x		
JÄRJESTELMÄ 3				T
Kenttälaite				x
Kenttälaite		x		x

Taulukko 2. Esimerkki toimintojen muodostamisesta (Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät 2006, 44)

4.3 Järjestelmän tietoturva

Automaatiojärjestelmien kuten kaikkien tietotekniikkaan perustuvien järjestelmien tietoturvallisuus riippuu sekä järjestelmään sisäänrakennetusta turvallisuudesta että käyttäjien omasta toiminnasta. Huolellakin rakennetussa järjestelmässä saattaa olla tietoturva-aukkoja suunnittelun jäljiltä, mutta useasti käyttäjä joko tahallisesti tai tahattomasti vaarantaa järjestelmän turvallisuuden. Käyttäjäriskin pienentämiseen on käyttöliittymän helppokäyttöisyydellä merkittävä vaikutus.

Aalto-yliopiston tammikuussa 2013 tekemässä tutkimuksessa Suomesta löydettiin lähes 3000 automaatiolaitetta, jotka olivat julkisesti näkyvillä internetin kautta. Tutkijoiden arvion mukaan käytetyillä hakumenetelmillä käytiin läpi muutama kymmenen prosenttia mahdollisista osoitteista. Löydetyistä laitteista 60 %:ssa oli yleisesti tiedossa oleva haavoittuvuus. Laitteeseen murtautumisen vaikeusaste riippuu käytetyistä tietoturvaratkaisuista, mutta jo pelkästään laitteen jättäminen julkisesti nähtäväksi kasvattaa suuresti tietoturvariskiä. Löydetyt laitteet kuuluivat mm. teollisuuslaitosten prosessien hallintaan, asuintaloille, vedenkäsittelylaitokselle, vankilalle sekä sairaalalle. Esimerkiksi Stuxnet -madon kohteena oli Siemensin S7-laitteisto, ja Niagara-rakennusautomaatiojärjestelmästä löydettiin takaportti, jonka avulla järjestelmään pääsi ilman tunnuksia. Tutkimuksen mukaan erityisesti etähallinnan liittymien suojaamisessa on parantamisen varaa. (Suomen automaatioverkkojen haavoittuvuus 2013)

Laitteistojen tietoturvaan ja suojaamiseen on siis kiinnitettävä riittävästi huomiota. Hajautettujenkin järjestelmien käyttöliittymät tulisi suojata hierarkiakohtaisilla salasanoilla asiattoman pääsyn ja muutosten estämiseksi (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012, 147). Pelkkä laitteiston sisäänrakennettu tietoturvan hallinta, salaukset sekä laitteiston toimittaminen ja asennus eivät riitä, vaan käyttöönnotossa on huolehdittava mm. palomuurin käytöstä, tarpeettomien tietoliikenneporttien sulkemisesta ja käyttäjien opastuksesta. Käytettävyyssuunnittelulla ja helppokäyttöisyydellä voidaan vaikuttaa laitteiston käytönaikaiseen tietoturvaan mahdollisimman intuitiivisella ja selkeällä käyttöliittymällä, jolla tietoturvasta vastaavalla henkilöllä on riittävän matala kynnyks valvoa ja hallita järjestelmää säännöllisesti. Loppukäyttäjä voi omalta osaltaan huolehtia järjestelmän tietoturvasta esimerkiksi vaihtamalla oletustunnuksen se-

kä salasanaa säännöllisesti. Järjestelmän tietoturvaa ei pitäisi nähdä kertainvestointina järjestelmää asennettaessa, vaan sitä tulee ylläpitää jatkuvasti koko järjestelmän eliniän ajan.

Yhtenä tietoturvan aspektina on myös tiedon eheys ja sen saatavuus. Tarvittava tieto on tarpeen tullen oltava käyttäjien ja järjestelmävalvojen saatavilla oikeassa muodossa, ja järjestelmähäiriöidenkin sattuessa on tiedoista oltava riittävän tuoreet varmuuskopiot. Järjestelmien monimutkaistuessa kasvavat myös vaatimukset käyttökäyttäjien henkilöstölle tiedostaa tietoturvan merkitys jokapäiväisessä toiminnassa.

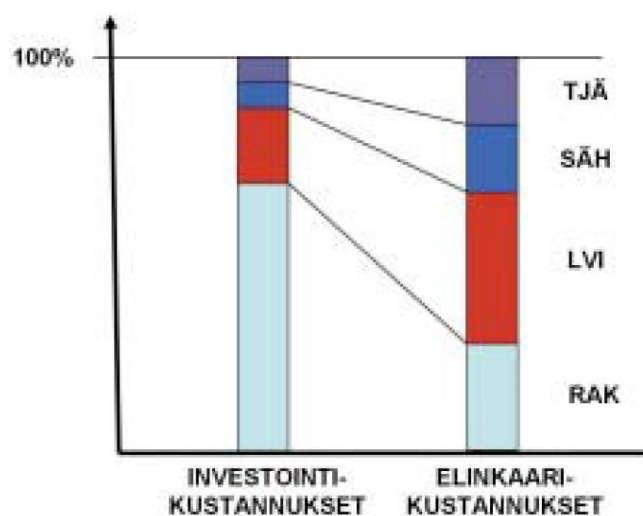
4.4 Rakennusautomaatiosuunnittelun nykytila

Rakennusautomaatiota suunnitellaan hyvin pitkälti vielä vanhan perinteen mukaisesti LVI-suunnittelun yhteydessä. Osasyynä tähän on myös se, että suunnittelun tarjouspyynnöissä on usein niputettu LVIA omaksi kokonaisuudekseen eikä rakennusautomaatiota kilpailuteta erikseen. Puhuttaessa rakennusautomaatiosta se monesti ymmärretäänkin LVI-automaatioksi unohtaen muun talotekniikkaan liittyvän automaation. Kannattaisikin ehkä puhua erikseen LVI-automaatiosta ja rakennusautomaatiosta.

Rakennusautomaatiosuunnittelun taso on melko kirjavaa ja eri suunnitelmien välillä on suuria eroja laadussa (Valli 2014, 12). Tiukasti kilpaillussa ja tiivistähtisessä projektimaailmassa suunnittelijoilla ei juuri ole aikaa opiskella uutta tekniikkaa. Tällöin suunnitelma saatetaan tehdä vanhalla tutulla tekniikalla ja työselostuksessa viitata väylän käyttöön siirtäen vastuun urakoitsijalle. Urakoitsijoilla onkin toisinaan parempi tietämys ja osaaminen uusista automaatoratkaisuista kuin suunnittelijalla (Valli 2014, 12). Pienemmissä kohteissa kokeilunhalua uusille tekniikoille on enemmän, mutta tällöin dokumentaation taso on usein jäänyt puutteelliseksi sekä asennustyön että linkaaren aikaisen ylläpidon kannalta. LVI-automaation taso on yleisesti ottaen hyvä jo perinteenkin ansiosta, samoin kuin rakennusautomaatioon erikoistuneiden toimistojen suunnitelmat. Pitkällä tähtäimellä suunnittelutoimistojen kannattaisi kuitenkin panostaa henkilöstön automaatio-osaamiseen ja mahdollisesti siirtää osa tehtävistä kuten järjestelmän ohjelmointi urakoitsijoilta takaisin itselleen. Tar-

jouspyyntömenettelyn vuoksi tämä ei aina ole mahdollista. Suunnittelijoiden puolestaan kannattaisi olla heti hankesuunnitteluvaiheessa yhteydessä laitetoimittajiin eri toteutustapojen kartoittamiseksi.

Rakennusautomaatiossa suunta on vakioratkaisujen käyttöön. Tätä tukee sekä väylien ja rajapintojen standardointi että käytettäville komponenteille saatavat valmiit ohjelmistokirjastot (Siemens palaveri 2015). Nykyään urakoitsija suorittaa useimmiten järjestelmän ohjelmoinnin ja automaatiosuunnittelijan vastuulla on päätason suunnittelu. Näin toimien suunnittelijan on vaikea hallita varsinkin järjestelmien integrointiin liittyviä monia suunnittelun detaljitietoja. Kuitenkin urakoitsijoillakin on haaste pysyä kehittyvän tekniikan ja energiamääräysten tasalla (Senaatti-kiinteistöt palaveri 2015). Elinkaaren kannalta tärkeän dokumentoinnin tason kannalta suunnittelijan tulisi hallita koko kokonaisuus. Tällöin ylläpito on kaikkein sujuvinta. Rakennusautomaation elinkaaren arviot liikkuvat arvioijasta riippuen välillä 10 - 20 vuotta. Toteutetun kokonaisuuden tulee kuitenkin olla hyvin toimiva ja ylläpidon hallittavissa. Elinkaaren aikaisiksi eli rakennusajan jälkeisiksi kustannuksiksi arvioidaan 75 % rakennuksen kaikista kustannuksista, jolloin rakennuttajan kannattaa panostaa hyvään suunnittelun tasoon katsomatta pelkkiä investointikustannuksia (Kumpulainen 2014, 22). Rakennusautomaation suunnittelun osuus kustannuksista on suhteessa pieni, mutta automaatio laajasti integroidussa kiinteistössä vaikuttaa lähes kaikkeen, jolloin sen merkitys korostuu. Eri toimintojen osuutta rakennusten kustannuksista havainnollistaa Kuva 6.



Kuva 6. Kustannusten jakautuminen investoinnissa ja elinkaaren aikana (Kiinteistöjen tiedonsiirtöväylät 2006, 152)

4.4.1 Automaatiosuunnittelu ja rajapinnat

Rakennusautomaatiojärjestelmä on kokonaisuus, joka perinteisesti sijoittuu LVI- ja sähkösuunnittelutoimintojen väliseen rajapintaan. Suunnittelun kannalta tämä on merkinnyt hankaluutta tehtäväjaossa ja tyypillisesti on päädytty hoitamaan automaatio-suunnittelu LVI-suunnittelun ohessa. Tätä tapaa on ylläpitänyt myös kilpailutustapa, jossa LVI- ja automaatio-suunnittelu kilpailutetaan yhtenä kokonaisuutena. Automaation suunnittelussa tarvitaan kuitenkin tietotaitoa molemmista osa-alueista, jolloin lopputuloksessa on usein parantamisen varaa. ”LVI- ja sähkösuunnittelijat suunnittelevat täysin itsenäisesti omia järjestelmiään perinteisellä DDC-tekniikalla, mutta tarjous pyydetään LonWorks-tekniikalla.” (Piikkilä 2004, 13-2). Edellinen lainaus automaatio-suunnittelusta kymmenen vuoden takaa pätee usein vielä nykyäänkin.

Tehtäväkentän laajuuden vuoksi rakennusautomaation suunnittelu pitäisi nähdä erillisenä suunnittelualanaan, jossa nykyään nivoutuvat yhteen sähkö- ja LVI-suunnittelun lisäksi monia muitakin osajärjestelmiä, mm. valaistuksen ohjaus, kulunvalvonta ja turvajärjestelmät. Keskittämällä automaation suunnittelu yhdelle toimijalle saadaan kokonaisuudesta paremmin toimiva ja helpommin kilpailutettava. Toisaalta mikäli erillistä automaatio-suunnittelijaa ei syystä tai toisesta haluta käyttää, voi myös olla kannattavaa jakaa automaatio-suunnittelu mahdollisuuksien mukaan kahteen osaan. Tällöin LVI-suunnittelija tekee pelkästään omaan alueeseensa liittyvän automaatio-suunnittelun ja sähkösuunnittelija sen automaatio-osan joka liittyy sähköjärjestelmiin. Tällaisia ovat mm. valaistuksen ohjaukset, saattolämmitykset sekä oviohjaukset.

Sähkösuunnittelijan vastuualueeseen kuuluu joka tapauksessa järjestää sähkökeskukseen tarvittavat sähkölähdöt joita automaatiojärjestelmät ohjaavat. Samaten automaatiojärjestelmien jännitesyötöt sekä automaatiokaapelointi kuuluvat luontevasti sähkösuunnittelijan tehtäviin. Tällä perusteella automaatio-suunnittelun toteuttaminen sopisi sähkösuunnittelun yhteyteen.

Organisaatioiden toiminnassa viestintä koetaan lähes aina erääksi pullonkaulaksi. Huomioiden tämän sekä automaatio-suunnittelun rajapinnat useaan eri toimintoon, tulee kommunikoinnin eri osa-alueiden suunnittelijoiden kesken olla sujuvaa ja kit-

katonta. Suunnittelun tason pitäisi pysyä samana riippumatta siitä missä organisaatiossa suunnittelu tehdään. Rakennuttajan näkökulmasta ongelmat LVI:n, sähkön ja rakennusautomaation rajapinnoissa eivät ole harvinaisia (Senaatti-kiinteistöt palaveri 2015). Mikäli suunnittelutoimisto pystyy tarjoamaan ja tarjouskissassa voittamaan useamman eri osa-alueen suunnittelupalvelun, helpottaa ja nopeuttaa tämä talon sisäinen synkronointi myös kokonaissuunnittelua.

Riippuen integroitavien automaatiojärjestelmien määrästä on suunnitteluhankkeeseen hyvä nimetä vastuullinen koordinaattori joka vastaa eri alueiden yhteistoiminnasta ja kokonaisuudesta. Koordinoija voi olla talotekniikan pääsuunnittelija tai erillinen nimetty henkilö. Koordinoijan valinnalla saadaan selkeät vastuut myös rakennuttajan suuntaan.

4.4.2 Väyläpohjaisen rakennusautomaation suunnitteluprosessi

Perinteisten järjestelmien suunnittelua voidaan kutsua järjestelmäpohjaiseksi suunnitteluksi, jossa lähtökohtana ovat suunniteltava järjestelmä ja sen tekniset ominaisuudet. Tila- ja toimintopohjaisessa suunnittelussa taas lähtökohtana ovat käyttäjän tarpeet ja tilalta vaadittavat toiminnot. Esimerkiksi KNX-järjestelmässä laadittavat huonekohtaiset toimintokortit kuvaavat hyvin perinteisen ja väyliin perustuvan toimintopohjaisen suunnittelun eroja. Toimintokorttiin merkitään kaikki tilaan liittyvät toiminnot, ohjaukset, tulot ja lähdöt. Toimintojen määrityksen avulla selviävät mm. väyläkomponenttien ryhmitykset sekä vuorovaikutukset (Piikkilä 2004, 14-1).

Koska väyläpohjaisissa järjestelmissä jossain laitteessa kerätty tieto on myös muiden laitteiden käytettävissä, matriisin käyttö helpottaa toiminnallisten yhteyksien hahmottamisessa (Taulukko 3). Erityisen hyödyllinen työkalu matriisi on osajärjestelmien integroinnissa.

TOIMINTO/ JÄRJESTELMÄ	Energia	Valaistus	Sähkölämmitys	Paloilmoitus	LVI-automaatio	Kulunvalvonta	Sähkölukitus	Murtoilmaisu	Olosuhteet	Käyttötunnit
Lämpötila	x		x	x	x				x	x
Hiilidioksidi					x			x	x	
Ilmanvaihto					x	x	x		x	x
Läsnäolo		x	x		x	x	x	x	x	x
Valaistus	x		x	x	x				x	x
Lukitus		x		x	x	x	x	x	x	x
Kaihtimet		x		x	x	x		x	x	
Käyttöliittymä	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Taulukko 3. Matriisin käyttö järjestelmäsidojen määrittämisessä (ST 710.01 2015, 4)

Suunnittelussa huomioitavia asioita ovat mm. käytettävyys, hallittavuus, vikasietoisuus, muunneltavuus, järjestelmän kapasiteetti sekä laajennettavuus. Jotta järjestelmä on helposti hallittavissa ja ylläpidettävissä, kannattaa verkko mieluummin rakentaa aliverkkojen avulla pienemmistä osista kuin rakentaa se yhdeksi suureksi kokonaisuudeksi. Sopivia jaotteluperusteita ovat esimerkiksi jako kerrokseen tai kerrososiin. Tämä jaottelu helpottaa myös vikaselvittelyä sekä parantaa luotettavuutta ja vaikuttaa myöhempään muunneltavuuteen. Kapasiteetin hallinnassa huomioitavia ovat mm. riittävä tiedonsiirtonopeus eri toiminteille sekä osoiteavaruus. Myöhempiä laajennus- ja muutostarpeita varten tulee jättää laajennusvaraa järjestelmään, kaapeloinneille sekä keskuksiin ja koteloihin.

Rakennusautomaation suunnittelussa on tärkeää, että kommunikointi eri suunnittelijoiden – esimerkiksi LVI-, sähkö- ja automaatio suunnittelijoiden - välillä on riittävä. Yhteisten osuuksien yhteisellä tarkistamisella vältetään ristiriitaisuudet ja päällekkäisyydet suunnitelmissa. Suunnitteluvaiheessa on myös määritettävä toimitusraajat, jotta toteutuksissa luovutukset urakoitsijoiden välillä sujuvat mahdollisimman yksinkertaisesti.

Talotekniikan suunnittelussa tehtävien laajuuden ja sisällön määrittämiseen käytetään yleisesti TATE12 -tehtäväluetteloa (Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo). Kyseinen luettelo löytyy sekä ST-, RT- että LVI-kortistoista. Luettelossa hankkeen suunnittelutehtävät on jaettu etenemisen mukaisiin kokonaisuuksiin (Kuva 7). Tarveselvityksessä tutkitaan hankinnan tarpeellisuus ja selvitetään erilaiset toteutusvaihtoehdot. Vaiheen tuloksena on päätös ryhtyä hankkeeseen. Hankesuunnittelussa hankkeelle asetetaan selkeät tavoitteet ja raamit mm. kustannuksille, aikataululle sekä toiminnalle ja luodaan hankesuunnitelma sekä investointipäätös. Tarve- ja hankesuunnitteluvaiheissa suunnittelijan tehtävät luetaan avustaviksi tehtäviksi. Suunnittelun valmistelussa organisoidaan ja tarpeen mukaan kilpailutetaan suunnittelu sekä tehdään suunnittelusopimukset sekä syntyy suunnittelupäätös. Ehdotussuunnittelussa selvitetään tekniset vaihtoehdot, joilla asetetut tavoitteet voidaan toteuttaa. Vaiheen tuloksena on ehdotussuunnitelma. Yleissuunnitteluvaiheessa luodaan toteuttamiskelpoinen yleissuunnitelma sekä pääpiirustukset. Rakennuslupatehtävissä selvitetään lupamenettely, laaditaan lupahakemus asiakirjoineen sekä varmistetaan suunnittelijoiden kelpoisuus tehtäviinsä. Toteutussuunnittelu tehdään kahdessa vaiheessa hankintoja ja toteutusta varten. Sen aikana suunnitelmat kehitetään yksityiskohtaisiksi ja määritetään käytettävä laitteisto. Rakentamisen valmisteluvaiheesta takuuajkaan suunnittelijoille kuuluu suunnittelua täydentäviä tehtäviä.

Myös tehtäväluettelon edellistä TATE95 -versiota käytetään edelleen. Tämä versio on hieman yksinkertaisempi kuin uusi, jossa suunnitteluprosessi on eritelty tarkemmin, eikä se sovellu sujuvasti hajautettujen järjestelmien suunnitteluun (Talotekniikan hajautetut tietojärjestelmät 2005, 4)



Kuva 7. TATE12-mukaiset suunnitteluvaiheet

4.4.3 Dokumentointi

Rakennusautomaatiojärjestelmissä dokumentaatio on avoimuuden perusta. Selkeän dokumentoinnin avulla tilaaja pystyy tehokkaasti kilpailuttamaan urakan ja saa keskenään vertailukelpoisia tarjouksia. Dokumentoinnin pohjalta korvaavien laitteiden valinta on helppoa ja tilaaja pystyy tarkistamaan, että on saanut tilaamansa ominaisuudet ja toiminnan.

Hajautettujen väyläjärjestelmien dokumentoinnin tulee olla yksityiskohtaisempi kuin perinteisillä järjestelmillä, ja fyysisen rakenteen lisäksi sen tulee kuvata myös ohjelmallinen rakenne. KNX-suunnitelmiin on hyvä liittää yksityiskohtainen laiteluettelo, koska komponentit on joka tapauksessa myöhemmin merkittävä yksilöityinä tasokuihin. Dokumentointia ja sen ylläpitoa helpottaa erillisten järjestelmien integrointi yh-

teen. Hankintarajojen ja urakkarajapintojen määrittäminen jo suunnitteluvaiheessa on tärkeää, koska avoimissa järjestelmissä urakoitsijoiden rajapinnat ovat hämärtyneet. Esimerkiksi liike- tai hämärätunnistin saattaa olla osajärjestelmällä yhteinen. Myös huoltosuunnitelmat kannattaa tehdä jo suunnitteluvaiheessa.

Rakennusautomaatiojärjestelmän teknisen suunnitteluosuuden tärkeimmät dokumentit ovat rakennusautomaatioselostus, järjestelmäkaavio, säätökaaviot, säätökaavioiden toimintaselostukset, laite- ja venttiililuettelot, pisteluettelo, ohjelmaluettelo, asennuspiirustukset sekä piirustusluettelo.

Rakennusautomaatioselostus on automaatiojärjestelmän yleiskuvaus, jossa selvitetään mm. järjestelmän pää rakenne, toteutustapa sekä järjestelmän toiminnan tavoitteet. Selostuksessa kuvataan järjestelmän toiminta, tekniset vaatimukset, suunnitteluun ja asennukseen liittyvät vaatimukset sekä laadunvarmistukseen liittyvät asiat. Saneerauskohteissa rakennusautomaatioselostuksessa selvitetään myös purkutytöt ja niiden suorittajat yksityiskohtaisesti.

Järjestelmäkaaviossa järjestelmän rakenne esitetään graafisesti. Kaaviosta käyvät selville mm. valvontakeskuksen pää rakenne ja sijainti, alakeskusten määrät ja sijainnit esimerkiksi kerroksittain, reitittimien ja toistimien paikat, tietoverkon rakenne, varavoimajärjestelyt, hälytysten siirrot, laitekotelot ja rasiat sekä etäkäyttöyhteydet. Hajautetuista järjestelmistä on syytä esittää myös topografia sekä segmentointi.

Säätökaavioissa eli toimintakaaviossa kuvataan järjestelmän prosesseja ja siinä laitteet on identifioitu positionumeroilla. Kaaviosta selviävät kenttälaitteiden, alakeskusten ja siihen liittyvän ryhmäkeskuksen väliset kytkennät ja kaapeloinnit. Säätökaaviossa esitetään alakeskuksen pisteet, jotka ovat ohjaus, säätö, mittaus, käyntitila sekä hälytys. Pisteet voivat olla joko fyysisiä tai ohjelmallisia. Myös väyläliitynnät esitetään tässä kaaviossa.

Säätökaavioiden toimintaselostukset ovat yleensä liitettynä suoraan säätökaavioiden oheen. Toimintaselostuksessa selvennetään kaavion toimintaa yksityiskohtaisesti mm. ohjausjärjestysten, lukitusten sekä ohjelmallisten toimintojen osalta. Myös liitännät muihin prosesseihin kuvataan.

Laite- ja venttiililuettelossa esitetään suunnittelutiedot kaikista käytetyistä kenttälaitteista säätöpiireittäin. Luettelossa laitteet esitetään selkeästi yksilöityinä positiotunnuksineen, määrineen, tyyppineen, mitoitusietoineen sekä hankintavastuullisineen. Laitteisiin mahdollisesti liittyvät erikoisvaatimukset esitetään tässä luettelossa.

Pisteluetelossa esitetään koottuna kaikki rakennusautomaation alakeskuksiin ja väylälaitteisiin liittyvät I/O-pisteet. Pistetietoon kuuluvat laite, rakennus, alajärjestelmä, yksilöivä laitetunnus, liitetty alakeskus, liitetty ryhmäkeskus, laitteen fyysiset pisteet sekä ohjelmalliset toiminnot. Tärkeysjärjestyksessä pisteluettelon tulee olla määräävä, jolloin sitä käytetään ristiriitatilanteissa tarkistusten pohjana.

Ohjelmaluettelossa esitetään kaikki ne yksityiskohtaiset ohjelmatoiminnot, jotka eivät käy ilmi säätökaavioiden toimintaselostuksista. Tällaisia voivat olla esimerkiksi järjestelmähälytykset, raportoinnit tai ohjelmalliset lukitukset.

Asennuspiirustuksissa eli tasopiirustuksissa esitetään järjestelmän laitteiden oikeat sijaintipaikat sekä tarvittaessa myös kaapelointi. Piirustuksen avulla urakoitsija löytää tarkalleen oikeat asennuskohdat rakennuksessa. Rakennusautomaation asennuspiirustuksissa mukaan piirretään kaikki siihen liittyvät laitteet myös LVI- sekä sähköpiirustuksista. Tällaisia ovat esimerkiksi erilaiset säätimet sekä ryhmäkeskukset.

Piirustusluettelo kokoaa yhteen listaan kaikki suunnitteluun liittyvät dokumentit. Luettelo auttaa asiakirjahallinnassa sekä suunnittelijaa että toteuttajaa varmentamalla mm. käytettävien asiakirjojen oikeat versionumerot.

Rakentamisaikana toteutussuunnittelun dokumentteja tarkennetaan tarvittaessa. Tilaajalle luovutettavat loppudokumentit sisältävät siis kaikki toteutusvaiheessa tehdyt muutokset siten, että dokumentointi vastaa tarkasti luovutettavaa kokonaisuutta. Noudattamalla dokumentoinnin ohjeistuksia saadaan aikaan toistettavia suunnittelutuloksia sekä urakointia että kilpailutusta varten

Avoimien väyläratkaisujen dokumentoinnissa voidaan hyödyntää ST-korttia 701.31 ”Sähköautomaatiototeutus KNX-järjestelmää käyttäen”. Loppudokumentointiin kuu-

luvut tällöin edellä esiteltyjen suunnitteludokumenttien lisäksi mm. KNX-järjestelmäkaavio topologioineen ja laiteosoitteineen, ryhmäkeskusten pääkaaviot ja piirikaaviot, KNX-väyläkaapelointi omassa piirustuksessaan, toimintokortit (huonekortit) sekä ETS-tietokanta.

Mallidokumentteja osasta edellä luetelluista on esitetty liitteissä 4-9.

4.4.4 Rakennusautomaatiosuunnittelu Elomaticissa

Rakennusautomaatiosuunnittelun nykytila Elomaticissa on kuvattu liitteessä 1 ja palvelimuistiinpanot liitteessä 2. Julkisesta versiosta liitteet on poistettu.

4.5 Merkittävimmät tiedonsiirtoväylät

Nykyisin asennettavat uudet rakennusautomaation väyläratkaisut pohjautuvat useimmiten BACnetin, KNX:n, LonWorks:n, Modbus:n sekä DALI:n käyttöön (ST 710.01 2015, 2). Eri väyläratkaisuja käyttävien järjestelmien rinnakkaiskäyttö on mahdollista käyttämällä tähän tarkoitukseen tehtyjä sovittimia eli yhdyskäytäviä. Niiden käytössä törmätään usein kuitenkin käytännön ongelmiin käyttöönotossa tai päivitysten yhteydessä. Sekä suunnittelun, käyttöönoton että elinkaaren aikaisen ylläpidon kannalta vaivattomin ratkaisu on pitäytyminen mahdollisuuksien mukaan yhden väyläratkaisun käytössä, jolloin eri protokollien välisestä tiedonvälityksestä ei tarvitse huolehtia. Saneerauksissa halutaan toisinaan kuitenkin säilyttää vanhaa automaatiota, jolloin eri väylien yhdistämiseltä ei aina voi välttyä.

4.5.1 BACnet

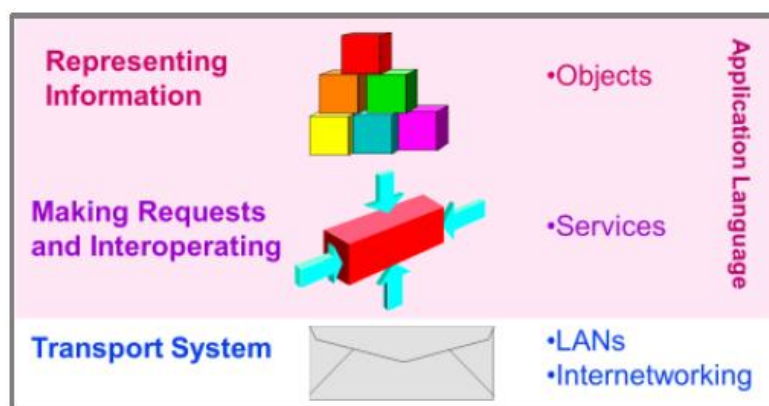
BACnet (Building Automation and Control network) on erityisesti rakennusautomaation osajärjestelmien integrointiin kehitetty tiedonsiirtoprotokolla. BACnet integroi mallinnuksen avulla yhden käyttöliittymän alle talotekniikan automaation eri osat alueet kuten mm. LVI, valaistus, kulunvalvonta ja paloilmoitus järjestelmätoimittajasta riippumatta. Protokolla on maailmanlaajuisesti standardoitu (ISO 16484-5) ja

avoin ilman erillisiä maksuja. BACnetia käytetään enimmäkseen rakennusautomaation hallinto- sekä automaatiotasolla, mutta myös kenttälaitetasolle joitain laitteita on tarjolla. Kenttälaitteina käytetään yleensä sekä perinteisiä analogisia I/O-laitteita että yhdyskäytävien kautta muita väyläprotokollia käyttäviä laitteita kuten KNX, Lon-Talk, EnOcean tai DALI.

BACnet-laitteet ovat sertifioituja eli standardin noudattaminen takaa eri laitteiden yhteensopivuuden. Tämä ei kuitenkaan takaa suoraa vaihtokelpoisuutta eri toimittajien laitteiden kesken, koska valmistajien omille lisäyksille on protokollassa edelleen mahdollisuus. Jokaisella järjestelmätoimittajalla on myös omat SW-työkalunsa. Nämä vapaudet mahdollistavat valmistajien erikoistumisen johonkin tiettyyn järjestelmäosaan, esimerkiksi kulunvalvonnan ratkaisuihin. Käytettäessä eri toimittajien BACnet-ratkaisuja yhdessä kokonaisuudessa saatetaan järjestelmän konfigurointiin kuitenkin tarvita kunkin toimittajan omaa ohjelmistoa eli useaa softatyökalua (Davis 2011). Viime vuosina BACnet on kasvattanut voimakkaasti suosiotaan.

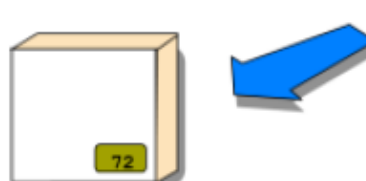
4.5.1.1 Järjestelmärakenne

BACnet-järjestelmässä laitteet mallinnetaan jakamalla ne kolmeen osaan: objekteihin, palveluihin sekä tiedonsiirtotapaan (Kuva 8). Mitä objekteja laite sisältää ja mitä palveluja se toteuttaa riippuu sen laiteprofiilista, joita ovat esimerkiksi anturi, kontrolleri, reititin, aktuaattori, näyttö jne.



Kuva 8. BACnet-järjestelmän mallinnus (BACnet introduction, 2014)

Objekteja on standardissa tällä hetkellä 54 kappaletta, esimerkiksi analoginen tulo, digitaalinen lähtö, ryhmä, kalenteri tai trendi. Objekti pitää sisällään ominaisuuksien (properties) muodossa laitteen sisältämät tiedot. Ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi tämänhetkinen mitattu arvo, raja-arvot ja statusliput (Kuva 9).



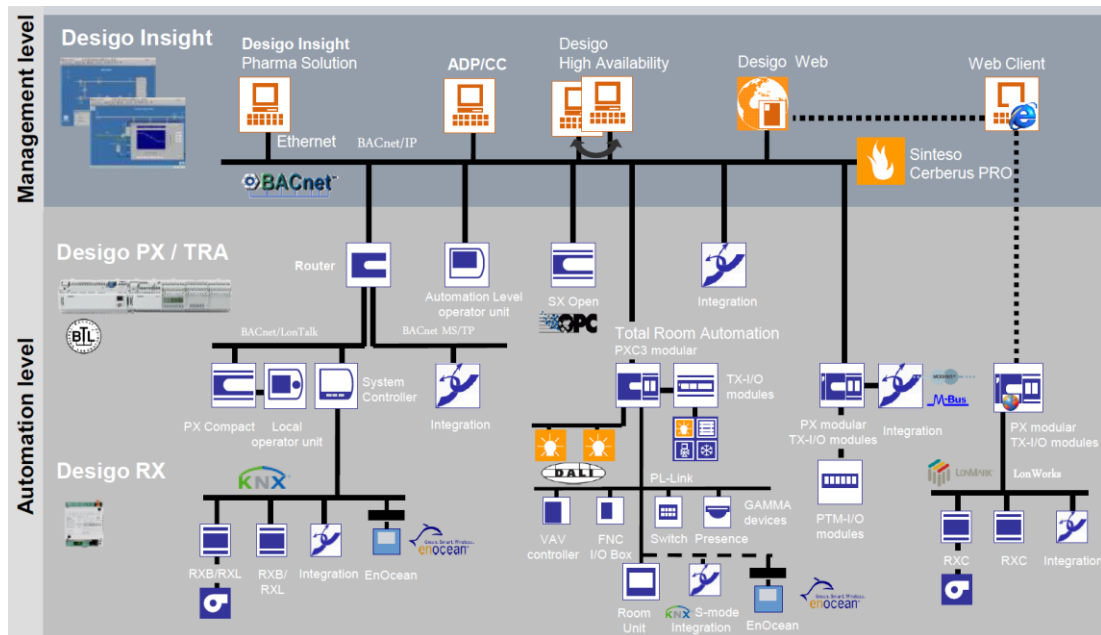
Object_Name	SPACE TEMP
Object_Type	ANALOG INPUT
Present_Value	72.3
Status_Flags	Normal, InService
High_Limit	78.0
Low_Limit	68.0

Kuva 9. Esimerkki BACnet-mallin objektista ja ominaisuuksista (BACnet introduction, 2014)

Palveluiden avulla määritellään miten laitteet kommunikoivat keskenään. Palveluesimerkkejä ovat luku- ja kirjoitustoiminnot, hälytykset ja tiedostonsiirrot (BACnet introduction 2014, 4). Objekteista ja palveluista muodostuu BACnetin käyttämä kieli.

Tiedonsiirtoon BACnet tarjoaa useampia tapoja, joista käytännössä nykyään käytetään kolmea. Nämä ovat BACnet/IP, BACnet/LonTalk sekä kenttälaitteille BACnet MS/TP. Järjestelmässä voidaan käyttää tarvittaessa kaikkia kolmea liitännätapaa reitittimien avulla. Ensin mainittu rakentuu fyysisesti normaaleille TCP/IP-verkoille, LonTalk-versio kierretylelle parikaapelille ja jälkimmäinen RS-485 väylälle. BACnet/LonTalk ja LonTalk-väylä eivät ole sama asia, vaan BACnet/LonTalk-väylässä olevien laitteiden on erikseen tuettava LonTalk Foreign Frames -käytäntöä (Swan 2009). Viime aikoihin asti Siemens on ollut ainoa toimittaja, joka valmistaa näitä laitteita. BACnet-järjestelmässä laiteosoitteet ovat staattisia.

Alla (Kuva 10) on esimerkki Siemensin Desigo-tuotteilla toteutetusta BACnet -järjestelmästä. Esimerkissä on käytetty kaikkia kolmea BACnetin tiedonsiirtotapaa ja yhdyskäytäviä KNX:ään, DALI:iin, M-Bus:iin, Modbus:iin, LON:iin sekä KNX:n kautta EnOcean:iin.



Kuva 10. Esimerkki automaatiojärjestelmän rakentumisesta (Siemens Building Technologies)

4.5.1.2 Järjestelmän ominaisuuksista

BACnetiä käyttämällä koko järjestelmä voidaan toteuttaa samalla protokollalla hallintotasolta jopa kenttälaitetasolle. Pitäytymällä yhdessä protokollassa osajärjestelmien integrointi ja järjestelmän hallinta on kaikkein toimivin sekä helpoin. Eri fyysisiä tiedonsiirtotapoja voidaan yhdistää käyttämällä BACnet-reitittimiä, joissa protokollaa ei muunneta ja tieto säilyy ehyenä. Yhdistettäessä BACnetiin eri protokollia tarvitaan kuitenkin yhdyskäytäväratkaisuja (gateway), jotka eivät välttämättä takaa tiedonkulun täydellistä läpinäkyvyyttä. Koska BACnet kehitettiin varta vasten integrointia varten, on siinä valmis tuki rakennusautomaation eri osajärjestelmille.

Mallintamalla väylälaitteet saadaan hyvä järjestelmän yhteensopivuus sekä taaksetta eteenpäin. Tämä yhdistettynä valmistajariippumattomuuteen selittää järjestelmän suosion kasvua ja antaa lupauksen vahvasta tulevaisuudesta. Kenttälaitetasolla ei ole näkyvissä suurta muutosta, vaan BACnetiä käytetään edelleen enimmäkseen hallinto- ja automaatiotasolla ja sen tukena ovat kenttälaitetasolla muut protokollat sekä analogiset toimilaitteet.

4.5.2 KNX

KNX on erityisesti rakennusautomaatiokäyttöön kehitetty digitaalinen väyläratkaisu. Järjestelmä tukee suoraan etäkäyttöä verkon yli ja on sekä avoin että täysin hajautettu. Järjestelmä toimii siis ilman keskuskoneen ohjausta ja anturit sekä toimilaitteet voivat keskustella väylän kautta suoraan keskenään. Järjestelmään liitetyissä laitteissa on jokaisessa tarkoitukseen sopiva prosessori sekä muistia johon applikaatio-ohjelma käyttönotossa tallennetaan. Tiedonsiirto on kaksisuuntaista eli vastaanottava laite lähettää kiittauksen onnistuneesta kommunikaatiosta. Väyläliikenne on tapahtumapohjaista eli väylä on vapaa, mikäli tapahtumia ei ole. KNX on ensisijaisesti viestintästandardi, joka määrittelee laitteiden välisen viestintäprotokollan sekä profiilit erilaisille ohjauskohteille. Esimerkkejä näistä kohteista ovat mm. valaistus, lämmitys, ilmastointi, hälytysjärjestelmät, AV-järjestelmät sekä energiamittaroinnit.

KNX-standardi on muodostettu kolmen vanhemman standardin EHS, EIB sekä BatiBUS yhteenliittymänä ja se on hyväksytty sekä kansainvälisenä (IEC 14543-3), eurooppalaisena että kiinalaisena standardina. Järjestelmää hallinnoi valmistajariippumaton yhdistys, johon kuuluu yli 300 tuotevalmistajaa. KNX-organisaatio valvoo järjestelmätuotteiden HW- ja SW-yhteensopivuutta. Jotta tuote saa KNX-sertifikaatin, on se testattava organisaation hyväksymässä riippumattomassa testauslaboratoriossa. KNX-hyväksyntä ei kokonaan estä laitetoimittajaa tekemästä omia laajennuksiaan laitteeseen, mutta näiden tulee olla standardin profiilien mukaisia. Myös muut toimittajat voivat halutessaan vapaasti käyttää näitä laajennuksia. (KNX koulutusmateriaali).

KNX-järjestelmä rakentuu järjestelmäkomponenteista sekä laitteista, joita ovat esimerkiksi anturit ja toimilaitteet. Järjestelmälaitteisiin luetaan mm. teholähteet, linjayhdistimet, reitittimet ja toistimet. Antureille riittää yleensä väyläkaapelin kautta tuotava 24V syöttö, mutta parikaapelin vapaata paria voidaan tarvittaessa käyttää myös apusyöttöön. Toimilaitteille tuodaan normaalisti väyläkaapelin lisäksi myös 230V syöttö. Mittariesimerkkinä ohessa on (Kuva 11) ABB:n valmistama kiskoasennettava 3 x 16A energiamittausmoduuli. Mittaustieto (E, P, U, I, f sekä $\cos\phi$) lähetetään väylää pitkin esimerkiksi paikalliselle näytölle, valvomoon tai molempiin.



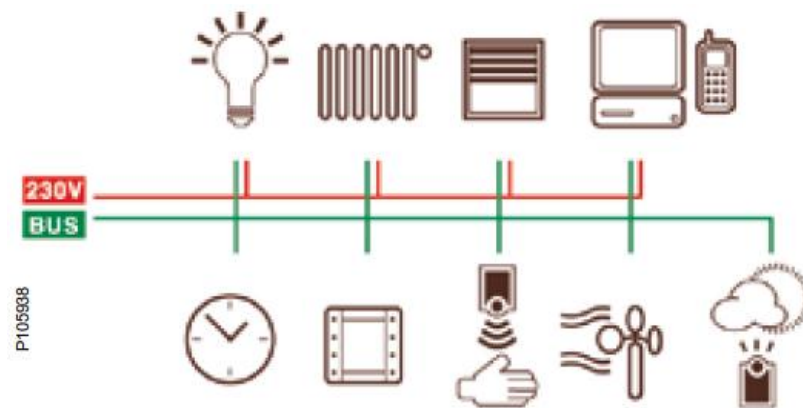
Kuva 11. Kolmikanavainen energiamittausmoduuli (ABB)

4.5.2.1 Tiedonsiirtotavat

Tiedonsiirtotapoina KNX voi käyttää joko kierrettyä parikaapelia (TP, Twisted Pair), sähköverkkoa (PL, Power Line), ethernetiä (IP) tai radiotaajuuksia (RF). Tiedonsiirtotavasta riippumatta laitteet keskustelevat keskenään aina samalla tavalla. Parikaapelia käytettäessä väylä on SELV-piiri, jonka nimellisjännite on 24VDC. KNX-organisaatio ylläpitää sivustollaan listaa eri valmistajien sertifioiduista väyläkaapeleista ja suosittelee kaapeleiksi mm. HCHM, YCYM sekä JY(St)Y 2x2x0,8. Väylällä ei tarvita päätevastuksia. Kaapelista toista paria käytetään väyläohjaukseen ja toinen jää vapaaksi omia SELV-sovelluksia, esimerkiksi ovikelloa, varten. Ohjauskaapelin (Kuva 12) kytkentä on yksinkertaista ja aina sama laitteesta riippumatta. Parikaapelin käyttö KNX-ohjaukseen onkin suosituin standardin tarjoamista tavoista.



Kuva 12. KNX ohjauskaapeli (www.knx.lv)



Kuva 13. KNX-järjestelmän perusrakenne TP-parikaapelia käytettäessä (Schneider Electric)

Käytettäessä sähköverkkoa signalointiin datasiinaalit ratsastavat syöttöjännitteen päällä S-FSK -moduloina eikä erillistä väyläkaapelia tarvita. Kaistanestosuotimilla estetään ohjaussignaalin vuoto syöttävään verkkoon, ja yhdistimillä signaali voidaan ohjata kaikkiin kolmeen vaihejännitteeseen. Saneerauksiin tämä tarjoaa kustannustehokkaan ratkaisun, mutta yleisesti ottaen tämän kommunikointitavan suosio on laskussa (KNX basics, 6; KNX koulutusmateriaali).

RF-käytössä vastaanottimien täytyy kyetä jatkuvaan kuunteluun ja ne ovat yleensä kytketty verkkojännitteeseen. Lähettimet voivat olla paristokäyttöisiä ja lähettää dataa vain tarpeen tullen. RF-väylää käytettäessä lähetin ja vastaanotin on paritettava keskenään, mutta siitä huolimatta kannattaa häiriöiden välttämiseksi huomioida mahdolliset muut lähistöllä olevat KNX RF-asennukset (KNX basics, 7).

Neljäs KNX:n tarjoama kommunikointitapa on IP-kommunikointi normaalien ethernet- ja WLAN-tietoverkkojen kautta. Jokaisen kenttälaitteen kytkeminen IP-väylään ei ole kannattavaa mm. kaapelointi- ja kytkentäkustannusten takia, mutta ylemmillä hierarkiatasoilla käytettäessä väylää runkoverkon tapaan sen tarjoama nopeus tuo mukanaan etuja (KNX basics, 10). Oheinen taulukko esittää eri kommunikointitapojen tiedonsiirtonopeudet (Taulukko 4).

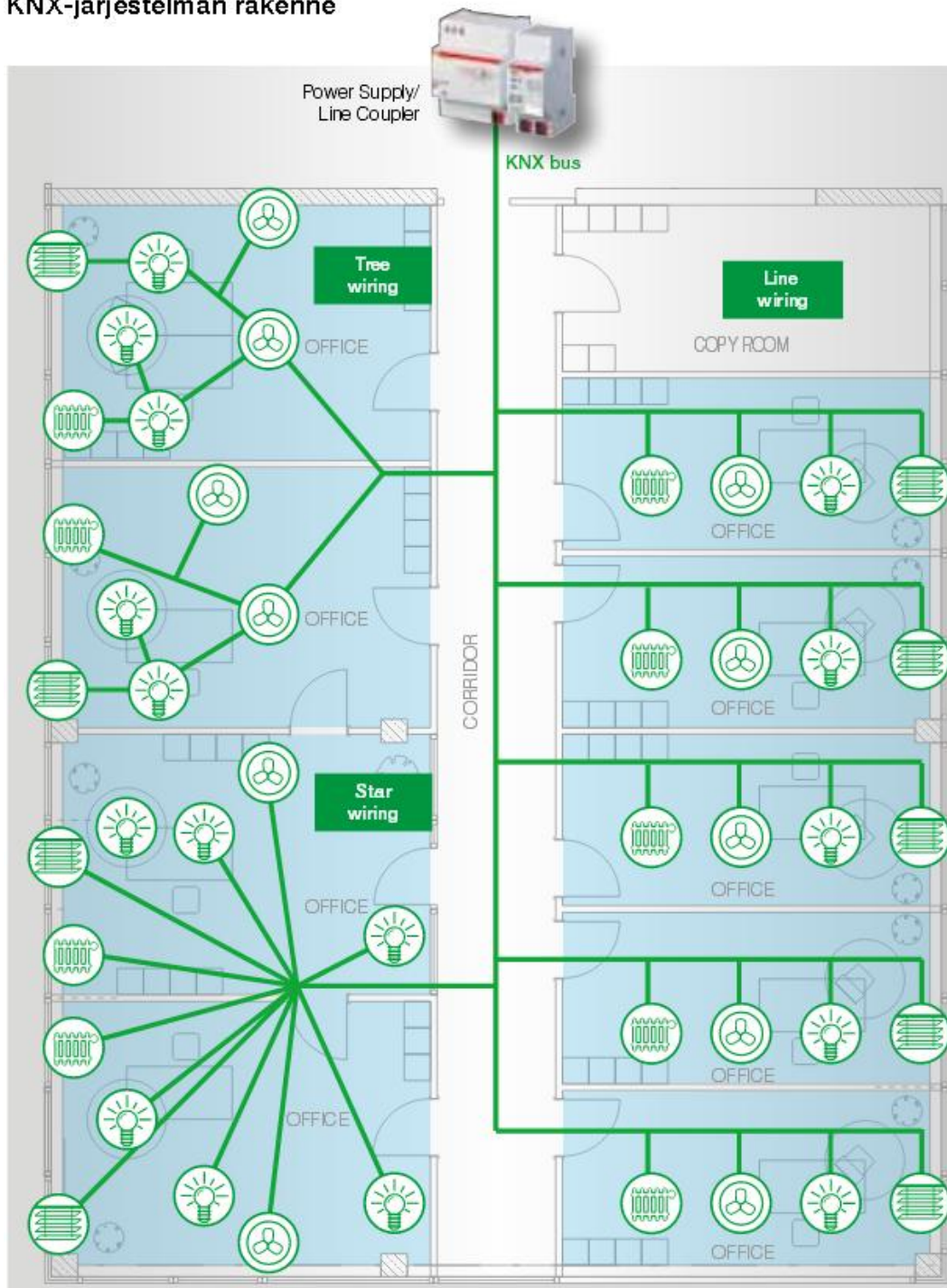
KNX TP	KNX PL	KNX RF	KNX IP
9600 b/s	1200 b/s	8192 / 16384k b/s	verkon nopeus

Taulukko 4. Tiedonsiirtonopeudet eri KNX-tiedonsiirtotavoilla

4.5.2.2 Järjestelmärakenne

KNX TP-järjestelmä rakentuu hierarkisesti. Järjestelmän perusrakenne on linja ja kaikki muut paitsi silmukat ovat ohjauspiirille sallittuja topografioita. Eri topografioita voidaan käyttää keskenään yhdessä järjestelmässä esimerkin mukaan (Kuva 14).

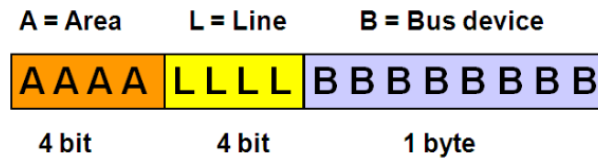
KNX-järjestelmän rakenne



Kuva 14. Esimerkki erilaisista topografioista (KNX-taloautomaatio, järjestelmäopas, 15)

Linjassa voi olla maksimissaan 64 laitetta. Linjoja voidaan yhdistää linjayhdistimillä alueeksi tai päälinjaksi maksimissaan 15 kappaletta. Linjayhdistimet tunnistavat osoitteen perusteella datan joka on pelkästään kanavakohtaista, ja suodattavat tämän pois läpikulkevasta liikenteestä. Edelleen 15 aluetta tai päälinjaa voidaan yhdistää aluelinjaksi. Linjat ovat galvaanisesti erotettuja toisistaan ja jokaisessa linjassa on

oltava teholähde. Esimerkiksi anturi ja toimilaite voivat olla keskenään myös eri linjassa tai alueella ja keskustella edelleen keskenään. Tällä hierarkialla järjestelmään voidaan kytkeä noin 15000 laitetta. Järjestelmässä olevien laitteiden laitekohtainen osoite muodostetaan alueen, linjan sekä laitteen kokonaisuudesta (Kuva 15) mukaan.

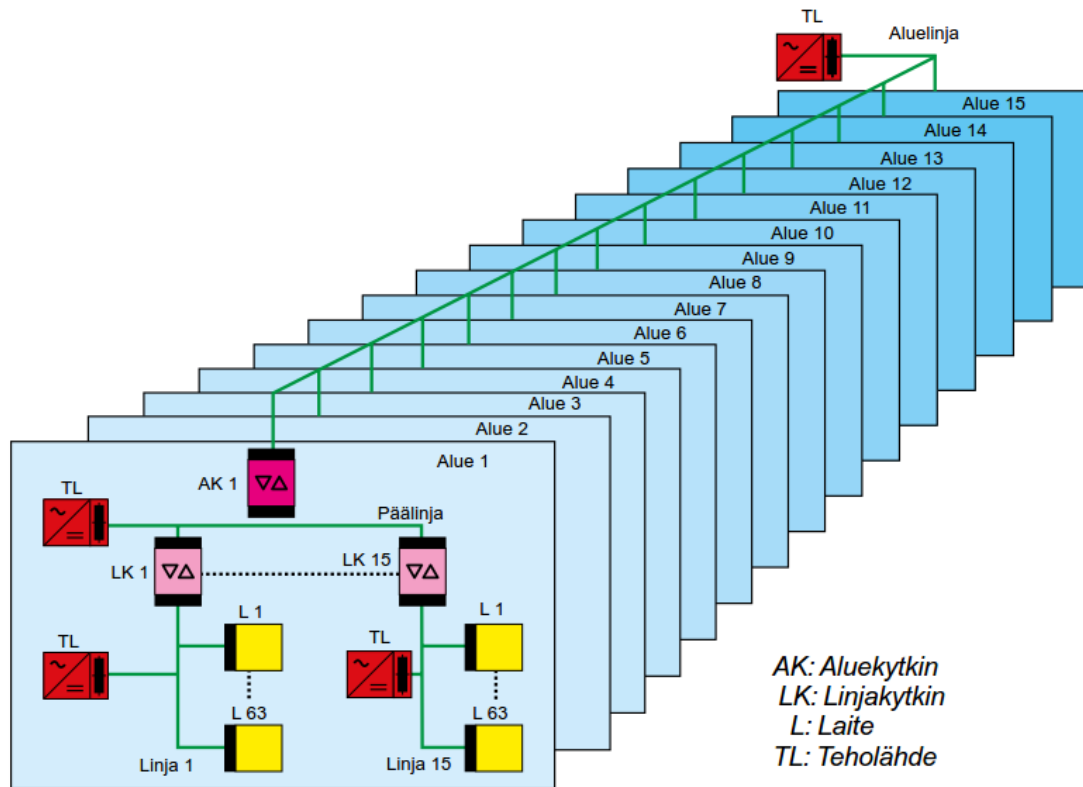


Kuva 15. KNX –laiteosoitteen muodostaminen (KNX Communication, 5)

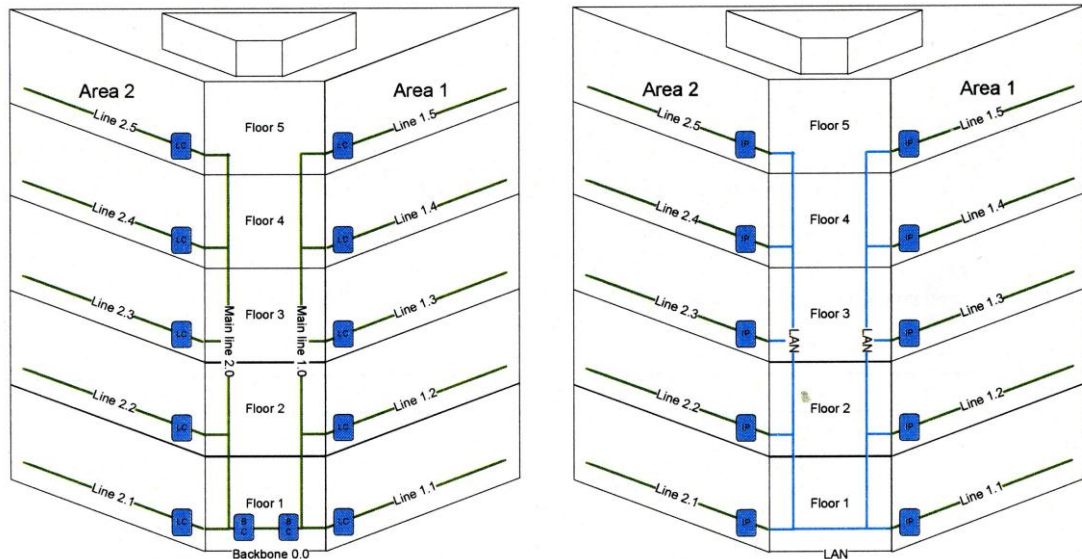
Taulukossa (Taulukko 5) on listattu KNX-järjestelmän parikaapelin maksimipituu-
det. Linjoja voidaan myös jatkaa maksimissaan kolmen toistimen avulla, jolloin yh-
dessä linjassa voi olla 256 laitetta ja linjan pituus teoriassa 4km. Toistimien käyttö
kuitenkin hidastaa signaalinvälitystä ja tekee järjestelmän hallinnasta vaikeampaa.
Häiriötilanteissa, esimerkiksi teholähteen pettäessä, linja- ja aluejako myös pienentää
ongelma-alueita. Tiedonsiirtonopeuden maksimoimiseksi järjestelmää suunniteltaes-
sa usein keskenään keskustelevat laitteet kannattaa mahdollisuuksien mukaan kytkeä
samaa linjaan, jolloin liikenne kytkimien tai reitittimien kautta samalla minimoituu.
Kuva 16 esitetään KNX-hierarkian periaate (KNX basics, 11) ja Kuva 17 toteu-
tusesimerkki kerrostalossa.

Maksimi kaapelipituus	
teholähde – laite	350m
laite – laite	700m
linja	1000m
teholähde – teholähde	valmistajan ohjeen mukaan

Taulukko 5. KNX parikaapelijärjestelmän kaapelipituuudet (muokattu: KNX basics, 12)



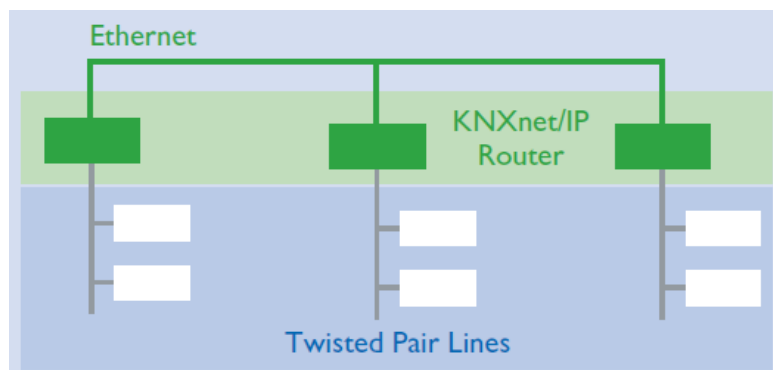
Kuva 16. Laajan KNX-järjestelmän jako linjoihin ja alueisiin (Schneider Electric)



Kuva 17. Esimerkki KNX-hierarkiasta kerrostalossa (Schneider Electric)

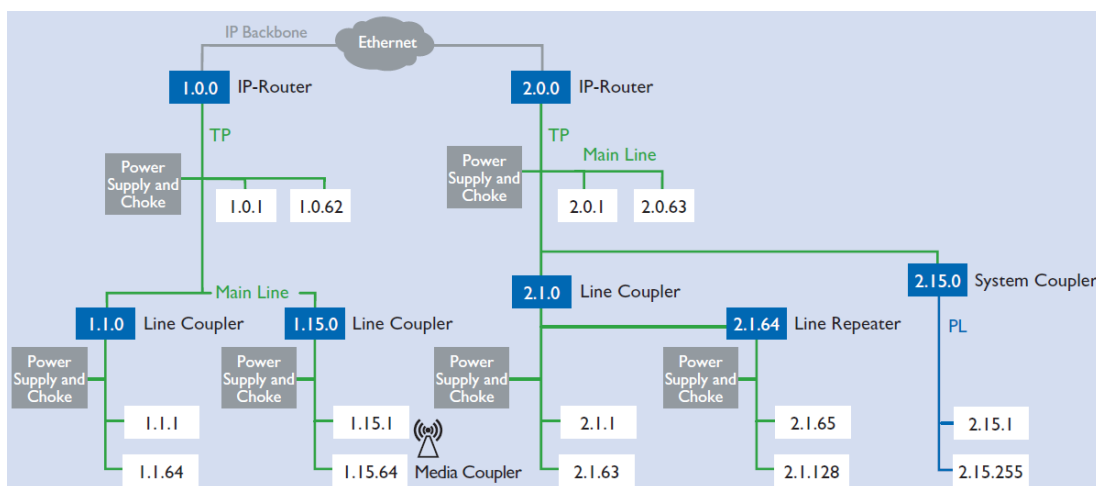
Käytettäessä sähköverkkoa ohjausväylänä (KNX PL) on topologia samanlainen kuin parikaapelia käytettäessä. Alueita voi kuitenkin olla maksimissaan 8 kappaletta ja linjayhdistimien sijaan käytetään PL järjestelmäyhdistimiä. KNX RF:llä radiosignaalien kuuluvuusalue on ratkaiseva tekijä eikä hierarkiarakennetta tarvitse noudattaa.

KNX IP:tä puolestaan voidaan käyttää korvaamaan TP-järjestelmän linjakaapelit käyttämällä signaalimuuntimena KNXnet/IP reititintä (Kuva 18).



Kuva 18. KNX IP:n yhdistäminen parikaapeliväylään (Schneider Electric)

Järjestelmän rakentamisessa voidaan tarvittaessa käyttää myös kaikkia neljää tiedon- siirtotapaa (Kuva 19).



Kuva 19. Esimerkki KNX-topologiasta kaikilla väylätavoilla sekä osoitteen muodostuminen (Schneider Electric)

4.5.2.3 Käyttöönotto ja ohjelmointi

Järjestelmän käyttöönotto tapahtuu KNX-organisaation tarjoaman ETS (Engineering Tool Software) ohjelman avulla. Muita ohjelmistoja tähän tarkoitukseen ei ole eli toiminta on tarkoin hallintoa. Ohjelman kertalicenssin hinta vuonna 2015 on noin 1000€ (professional). Ohjelmalla määritetään fyysistä asennusta vastaava linja- ja aluetopologia (topology view), määritetään rakennuksen osat (building view), tuo-

daan kojeet rakennuksen osiin, ohjelmoidaan laitekohtaiset osoitteet, asetetaan laiteparametrit, luodaan toimintoryhmät (group addresses) ja ladataan laiteohjelma laitteille. Kokonaisuudesta syntyy ETS:ään projektirakenne, joka kannattaa tallentaa huolella. Ilman sitä on ohjelmointi aloitettava alusta KNX-järjestelmään muutoksia tai päivityksiä tehtäessä. Projektirakenne voidaan luoda jo suunnitteluvaiheessa ja valmis ohjelmisto ladata laitteisiin kun asennus on tehty ja laitekohtaiset osoitteet ohjelmoitu laitteisiin. Laiteosoitetta asetettaessa varmistetaan oikea osoite piirustuksista tai sen puuttuessa merkitään se niihin. Osoiteohjelmointi vaatii asennusvaiheessa erityistä tarkkuutta, koska osoitevirheistä johtuvien ongelmien ratkominen on aikaa vievää. Laajoilla työmailla laiteosoite kannattaa ladata laitteisiin jo ennen asennusta (KNX koulutusmateriaali).

Jotkin elinkaaren aikana tehtävät muutokset, esimerkiksi väliseinien siirtojen aiheuttamat ryhmämuutokset, on helppo toteuttaa ohjelmallisesti ilman johdotusmuutoksia. Tämä edellyttää kuitenkin, että alkuperäinen projektirakenne on ohjelmistossa tallessa. KNX-järjestelmän ohjelmointi vaatii hyväksytyyn koulutuksen kautta saadun KNX partner -pätevyyden.

4.5.2.4 Suunnitteluaspekti ja järjestelmän edut

Suunnittelun kannalta KNX vaatii huolellisuutta ja hyvää dokumentointia. Tämä mahdollistaa sekä urakointivaiheessa tehokkaan kilpailutuksen, elinkaaren aikaisen ylläpidon ja huollon toimivuuden että myöhemmin tehtävien järjestelmämuutosten ja päivitysten sujuvuuden. Dokumentteihin kuuluvat sekä käyttöohjeet että tekninen dokumentaatio rakenteineen, kytkentöineen ja toimintoineen.

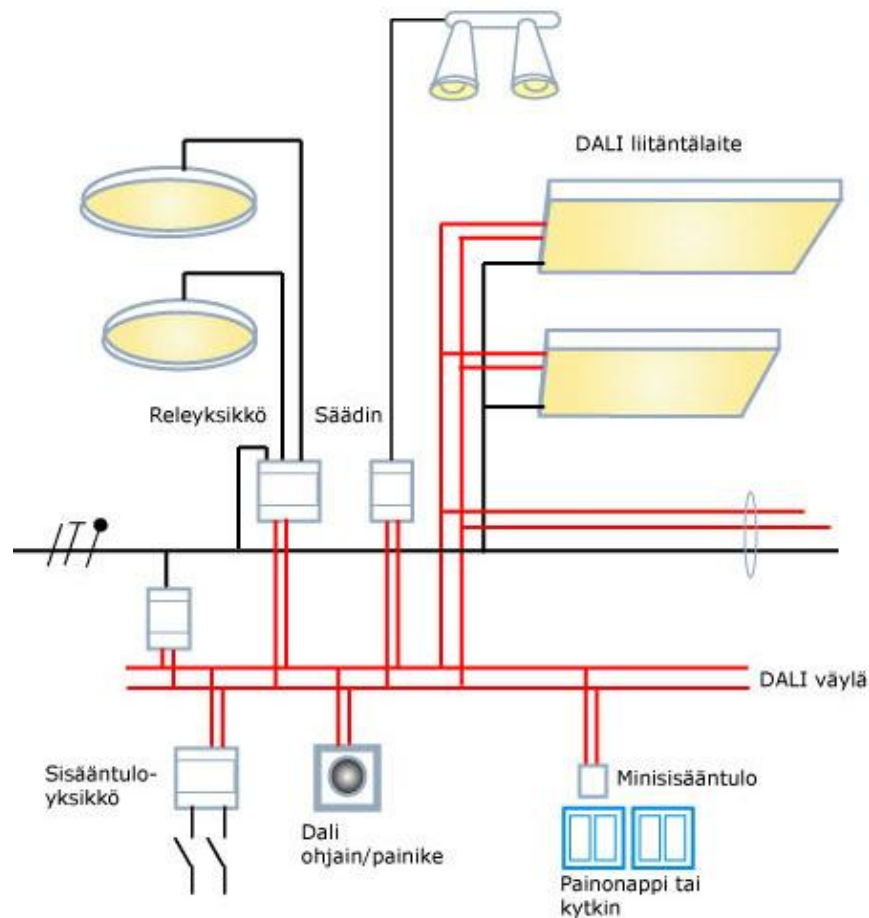
Toimintopohjaisen ajattelutavan vuoksi suunnitelman pitää olla valmis ja kaikkien tilojen toiminnallisuudet selvillä asennukseen ryhdyttäessä. Toiminnallisuuksien selvittäminen yhdessä tilaajan kanssa saattaa lisätä suunnittelu-aikaa. Järjestelmän muokkaaminen asennusvaiheessa ”lennossa” saattaa johtaa epätydyttävään tulokseen ja vaatii joka tapauksessa selkeää kokonaiskuvaa järjestelmän toiminnasta, laiteryhmittelyistä ja mitkä laitteet kommunikoivat keskenään. ST-kortti 701.31 ohjeistaa

tarkemmin KNX:ään pohjautuvan järjestelmän suunnitteluprosessia sekä tarvittavien piirustusten ja asiakirjojen suunnittelua.

KNX-järjestelmän etuina voidaan nähdä muun muassa yksinkertainen johdotus, neljä erilaista kommunikointimahdollisuutta samalla järjestelmällä sekä järjestelmän laajennettavuus ja muunneltavuus rakennuksen käyttötarpeiden muuttuessa. Myös laitekannan sertifiointitestaukset, rajapinnat yhdyskäytävien (gateway) avulla muihin rakennusautomaatiojärjestelmiin, yksi järjestelmään hallinnoiva organisaatio sekä laaja toimittajakanta ovat selkeitä etuja. Käyttöönottoa selkeyttää yksi hallintaohjelmisto. Selkeät kaapelisuositukset sekä väylälaitteille määrätty maksimivirrankulutus helpottavat väylän mitoittamista. Parikaapeli on myös kaksoiseristetty eikä sen sijoituksella vahvavirtakaapeleihin nähdä ole suurta merkitystä (ST 710.01 2015, 7). Saneerausrakentamisessa RF-väyläohjaukset saattavat tietyissä tapauksissa vaatimuksista riippuen helpottaa muutosurakkaa ja tuoda kustannusetua. Power Line -tiedonsiirtotapaa sen sijaan ei juurikaan enää käytetä. I/O-moduulien avulla voidaan käyttää hyväksi myös vanhaa toimivaa laitteistoa mukaan lukien analogiset kenttälaitteet. KNX-järjestelmä voidaan liittää osaksi laajempaa kiinteistöautomaatiota esimerkiksi sopivilla väylämuuntimilla.

4.5.3 DALI valaistuksenohjausjärjestelmä

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) on pelkästään valaistuksen ohjaukseen tarkoitettu yksinkertainen hajautettu väyläpohjainen järjestelmä. Valmistajariippumaton kansainvälinen IEC 62386 standardi määrittelee väylään liitettävien laitteiden väyläliittymän ominaisuudet ja induktiivisten kuormien yhteensopivuuden, mutta mm. sensorien ja ohjauslaitteiden kohdalla suunnittelijan tulee varmistaa yhteensopivuus (DALI manual, 23). Kuvassa (alla) näkyy järjestelmän perusrakenne.



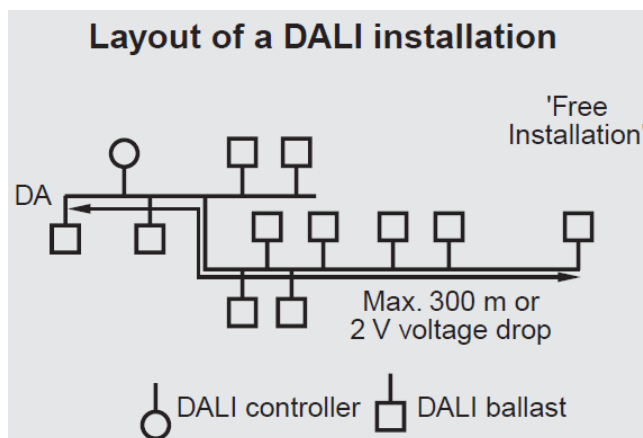
Kuva 20. Yksinkertainen valaistusjärjestelmä DALI:lla toteutettuna (Ensto Pro -sivusto)

Laitteita yhdessä DALI-verkossa voi olla 64kpl ja verkkoja voidaan tarvittaessa laajentaa yhdistämällä niitä reitittimien avulla. Järjestelmässä ei ole keskusyksikköä, vaan kaikki käyttönotossa ohjelmoitava toiminta, osoitteet ja ominaisuudet tallentuvat kyseessä oleviin väylälaitteisiin. Jokaiselle laitteelle määritellään oma osoitteensa sekä tarpeen mukaan esimerkiksi himmennysarvo ja -aika, syttymistaso ja ryhmämääritys eri käyttötilanteita varten. Vaikka ohjelmointi voidaan tehdä päätelaitteella painokytkimillä, kannattaa se kuitenkin tehdä tietokoneen avulla, jolloin kaikki määritetyt verkon ominaisuudet voidaan tallentaa varmuuskopioksi projektirakenteena.

DALI -järjestelmässä on ohjausväylä sekä erikseen syöttöjännite sitä vaativille laitteille. Vaikka ohjauspiiri on galvaanisesti erotettu pääpiiristä ja sen nimellisjännite on 16V, sitä ei kuitenkaan lueta pienjännitejärjestelmäksi (SELV) vaan sen on täytettävä verkkojännitteen vaatimukset kaksoiseristysten suhteen. Ohjaussignaalin polari-

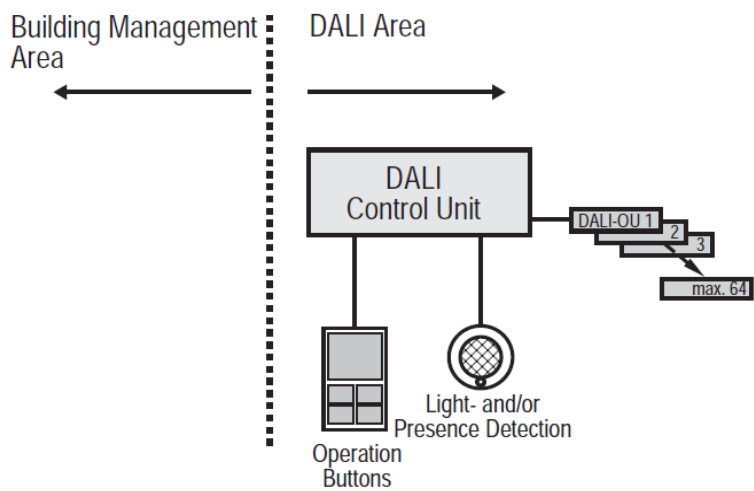
teetilla ei ole merkitystä ja eikä ohjauspiiri tarvitse parikaapelia, joten asennuksessa voidaan käyttää esimerkiksi MMJ 5x1,5 kaapelia.

Pienen väylänopeuden (1200 bit/s) ja väylän logiikkatasojen suurten toleranssien ansiosta datasiinaalit sietävät hyvin ympäristön häiriöitä. Väylälle ei myöskään tarvitse asentaa päätevastuksia. Topologialtaan DALI:n ohjausjärjestelmä on hyvin vapaa, mutta silmukkarakenteita ei suositella käytettävän. Ohjausjärjestelmässä ei suositella yli 300m etäisyyttä kommunikoivien laitteiden välillä jännitteenaleneman vuoksi (Kuva 21). Ohjattavia toimintoja ja parametreja ovat mm. päälle/pois, himmennysarvo ja -aika, syttymistaso. (DALI manual, 12)

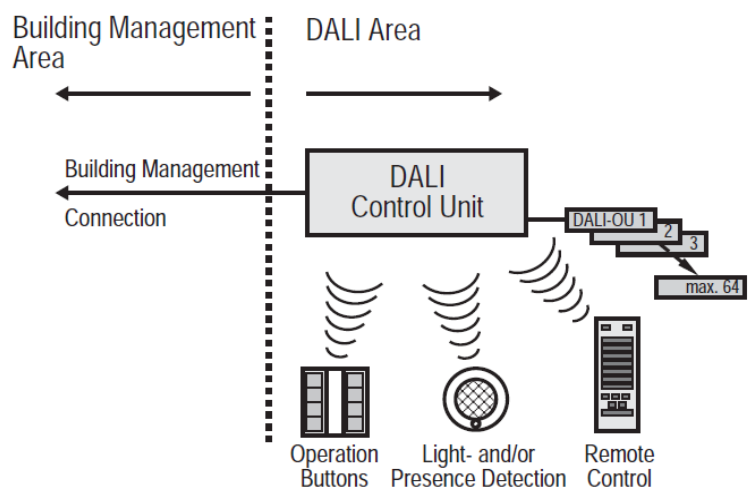


Kuva 21. DALI-asennus (DALI manual)

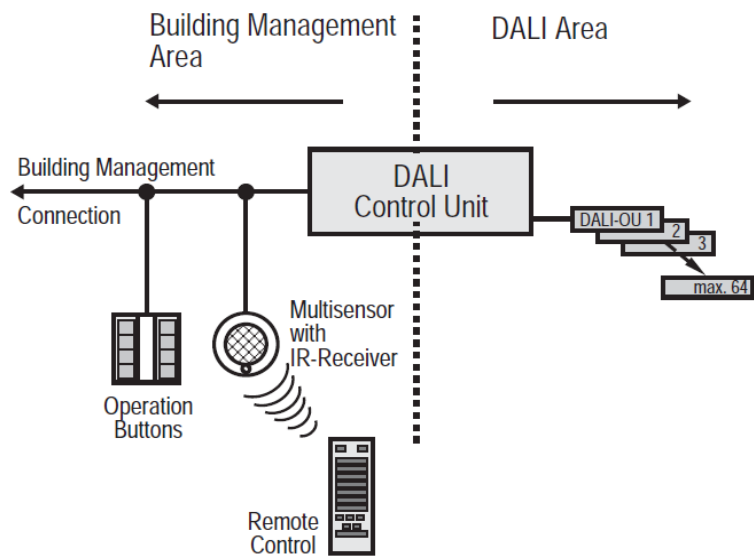
DALI-valaistusjärjestelmää voidaan käyttää joko itsenäisesti tai joko osittain tai täysin muuhun kiinteistönhallintajärjestelmään integroituna. Itsenäisessä käytössä kaikkia toimintoja mukaan lukien käyttöönotto-ohjelmointi käytetään paikallisesti ohjauspaneelin avulla (Kuva 22). Osittain rakennusautomaatiojärjestelmään integroituna DALI toimii edelleen paikallisen ohjauspaneelin kautta ja vain tärkeimmät tiedot kuten vikatilanteet välitetään järjestelmälle (Kuva 23). Mikäli DALI integroidaan alajärjestelmänä täysin muuhun rakennusautomaatioon, kaikki hallinta mukaan lukien käyttöönotto tapahtuu automaatiojärjestelmän kautta (Kuva 24).



Kuva 22. DALI itsenäisenä järjestelmänä (DALI manual)



Kuva 23. DALI osittain integroituna rakennusautomaatioon (DALI manual)



Kuva 24. DALI rakennusautomaatioon täysin integroituna (DALI manual)

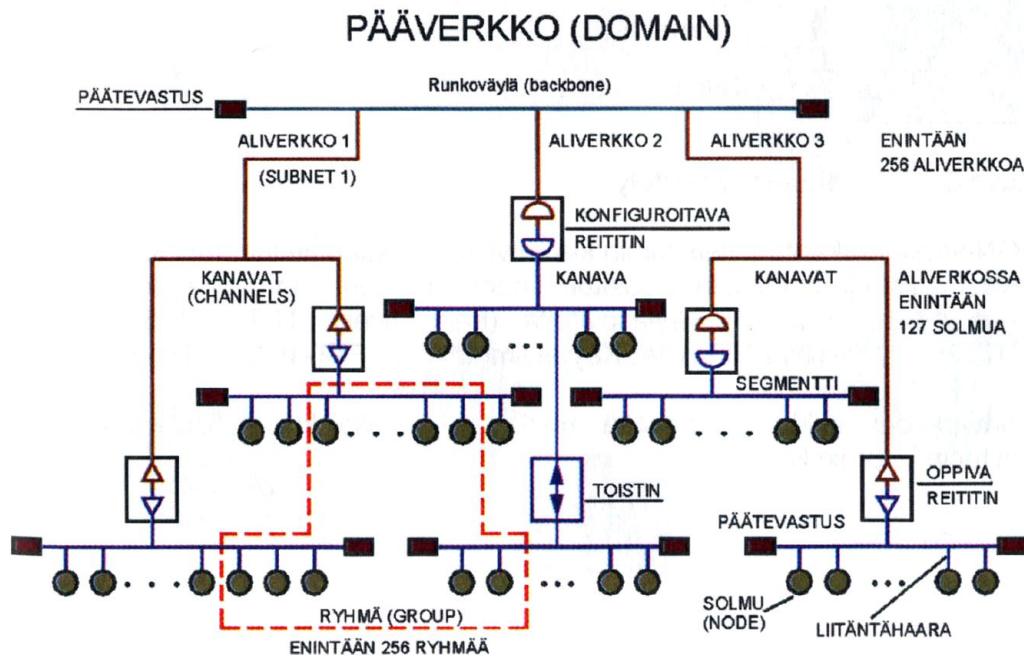
Suunnittelun ja asennuksen kannalta DALI-järjestelmän käytön eduiksi voidaan lukea selkeät järjestelmävaatimukset, yksinkertainen kaapelointi, järjestelmän muunneltavuus yksittäis- ja ryhmäohjauksineen sekä laajennettavuus. Järjestelmän yksinkertaisuus saattaa tuoda hintaetua, jolloin sitä kannattaa käyttää yhdyskäytävän avulla rakennusautomaatiojärjestelmien kuten BACnetin alajärjestelmänä. (DALI manual, 11)

4.5.4 LonWorks

LonWorks on yleisnimitys LON-teknologialle. Yleisesti käytetään termiä LON sekä protokollasta puhuttaessa käytetään nimitystä LonTalk. Alkujaan LonWorks on Echelon -yrityksen 1990 julkistama ja omistama tekniikka, joka nykyään on avoin kaikille valmistajille. Järjestelmällä on kansainvälinen standardi ISO 14908-1 ja järjestelmän käyttöä promotoi valmistajien LonMark -organisaatio. LON on hajautettu digitaalinen väyläjärjestelmä, jossa jokaisessa laitteessa olevalla prosessorilla on uniikki kiinteä osoitteensa kuten tietokoneen verkkokortilla. Kaikkien järjestelmässä käytettävien laitteiden tulee olla LonMark sertifioituja yhteensopivuuden varmistamiseksi. LON-järjestelmä mahdollistaa etähallinnan verkon kautta.

4.5.4.1 Rakenne

LON-laitteita kutsutaan solmuiksi. LON-verkko jaetaan pääverkkoon, aliverkkoihin, kanaviin, ryhmiin, segmentteihin ja solmuihin. LonTalk-protokollassa looginen laiteosoite noudattaa tätä hierarkiaa ja osoite muodostuu pääverkon ja aliverkon tunnistesta sekä laitteen ID-tunnuksesta. Pääverkossa voi olla aliverkkoja maksimissaan 255kpl. Aliverkot ovat looginen käsite, joka pitää sisällään kanavia. Yhdessä kanavassa voi olla maksimissaan 127 solmua eli laitetta. Kanava voidaan jaotella segmentteihin ja ryhmiä muodostamalla voidaan koota tilatoiminteita siten, että yksi solmu kuuluu maksimissaan kahteen ryhmään. Esimerkiksi anturi voi lähettää tilatietonsa vain yhteen toiseen ryhmään. Reitittimillä voidaan yhdistää eri tiedonsiirtotapaa käyttävät kanavat ja toistimilla voidaan lisätä kanavan pituutta. Kuva (Kuva 25) selventää tilannetta. (Piikkilä 2004, 5-1, 6-1)

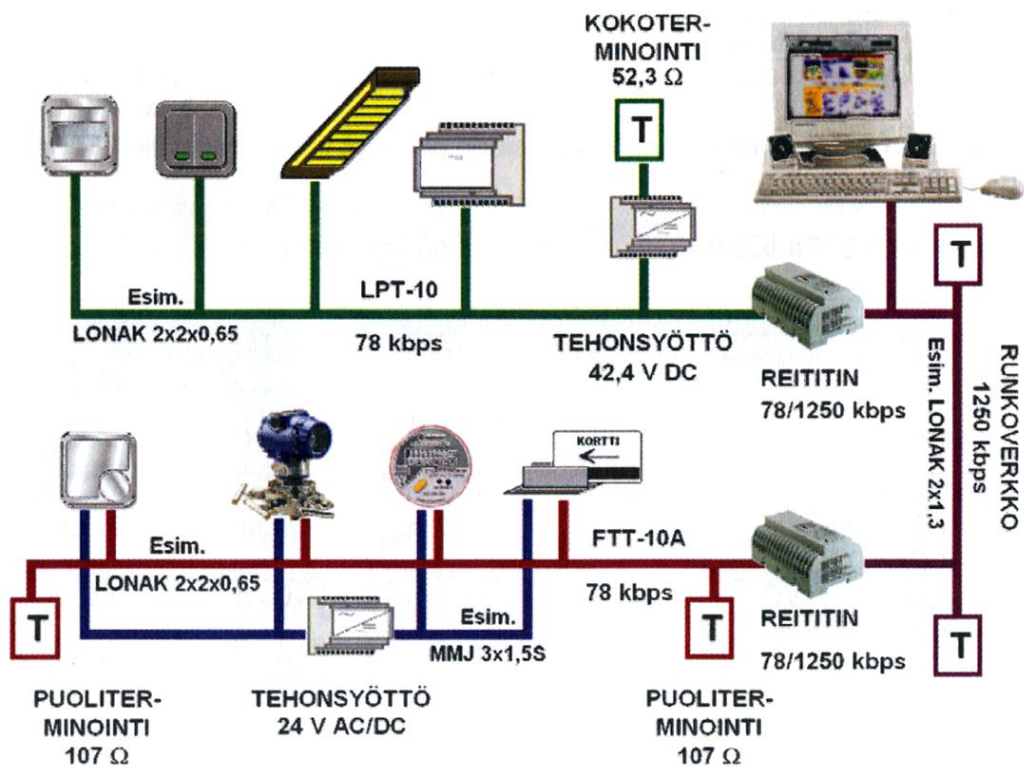


Kuva 25. LonWorks-verkon rakenne-esimerkki (Piikkilä 2004)

4.5.4.2 Tiedonsiirtotavat ja kaapelointi

LonWorks-tekniikalla tiedonsiirtoon voidaan käyttää joko kierrettyä parikaapelia, IP-verkkoa, sähköverkkoa, RF:ää, valokuitua tai koaksiaalikaapelia. Näistä yleisin on parikaapeli.

Kanavien topologia on joustava ja myös rengasrakenne on mahdollinen vaikkakaan sitä ei suositella. Väylän molemmissa päissä on oltava päätevastukset impedanssisovitusta varten. Jokaisessa väylään liitettävässä laitteessa eli solmussa, on sisäänrakennettuna ns. väyläsovitin. Laitteessa käytettävä väyläsovitin sekä asennukseen valittu topografia vaikuttavat mm. teholähteen valintaan sekä väyläkaapelille asetettuihin vaatimuksiin. Väylän maksimipituus riippuu puolestaan kaapelin ominaisuuksista sekä väylälaitteiden virrankulutuksesta. Suunnittelijan on siis tiedettävä tarkkaan mitä komponentteja lopullisessa asennuksessa tullaan käyttämään.



Kuva 26. Esimerkki kaapeloinnista ja tehonsyötöstä runkoverkolle ja kanaville (Piikkilä 2004)

Väyläsovittimen eräitä tyyppisiä ovat FTT sekä LPT. Alla olevat taulukot ovat esimerkkinä kaapelin, väyläsovittimen sekä topografian keskinäisistä vaikutuksista.

Parikierretyn kaapelin valinta			
FTT / LPT	FTT-10A / LPT-10 Vapaa/väylä	TP/XF-78 Väylä	TP/XF-1250 Väylä
Kategoria 5	X	-	X
JY(St)Y 2x2x0,8 LONAK 2x2x0,8	X	-	-
UL Level IV 22 AWG LONAK 2x2x0,65	X	X	X
Belden Type 8471 LONAK 2x1,3	X	-	-
Belden Type 85102	X	-	-

Taulukko 6. Kaapelivalinta laitteen sisäisen väyläsovittimen ja topografian mukaan (Piikkilä 2004)

Parikierretyn kaapelin pituudet FTT/LPT valinta				
FTT / LPT	Vapaa topologia		Väylätopologian kaapelipituudet	
	Solmujen etäisyys	Kaapelipituus	Vain FTT	FTT / LPT
Kategoria 5	250 m	450 m	900 m	
JY(St)Y 2x2x0,8 LONAK 2x2x0,8	320 m	500 m	900 m	750 m
UL Level IV 22 AWG LONAK 2x2x0,65	400 m	500 m	1 400 m	1 150 m
Belden Type 8471 LONAK 2x1,3	400 m	500 m	2 700 m	2 200 m
Belden Type 85102	500 m	500 m	2 700 m	2 200 m

Taulukko 7. Kaapelipituudet laitteen sisäisen väyläsovittimen ja topografian mukaan (Piikkilä 2004)

4.5.4.3 Käyttöönotto

Käyttöönotto tapahtuu verkonhallintaohjelmiston avulla. Siinä kullekin laitteelle annetaan looginen osoite järjestelmän rakenteen mukaisesti. Viittaamalla loogisiin osoitteisiin laitteen sisäänrakennetun kiinteän ID-tunnuksen sijaan voidaan laiterikon tapahtuessa kyseinen laite vaihtaa toiseen ilman suurta ohjelmointimuutosta. Lisäksi käyttöönotossa määritellään solmujen väliset yhteydet sekä niiden toiminnallisuus. Hallintaohjelmistoa käytetään myös järjestelmän kokoonpanon ja toiminnan dokumentointiin.

4.5.4.4 Suunnittelu

Kuten KNX:n kohdalla myös LON-verkko vaatii suunnittelijalta suurta huolellisuutta. Myös dokumentointivaatimukset ovat vastaavat. KNX:ään nähden lisähaastetta tuovat mm. väylän pituuden voimakas riippuvuus valitusta topografiasta sekä väyläkomponenttien vaikutus teholähteen valintaan. Suunnittelijan on siis tunnettava tarkemmin valittavien väyläkomponenttien ominaisuudet jotta sallittuja kaapelipituuksia ei ylitetä. Samalla suunnittelu vie enemmän aikaa eli suunnittelukustannukset ovat siis suuremmat kuin KNX:llä. Häiriöiden välttämiseksi väyläkaapelit on sijoitettava vähintään 30cm etäisyydelle vahvavirtakaapeleista (ST 710.01 2015, 7). Väyläohjattavana järjestelmänä LON tuo kuitenkin edelleen mukanaan yksinkertaisen johdotuksen, järjestelmän laajennettavuuden ja muunneltavuuden käyttötärpeiden muut-

tuessa sekä rajapinnat yhdyskäytävien (gateway) avulla muihin rakennusautomaatiojärjestelmiin. Myös laite toimittajia on useampia.

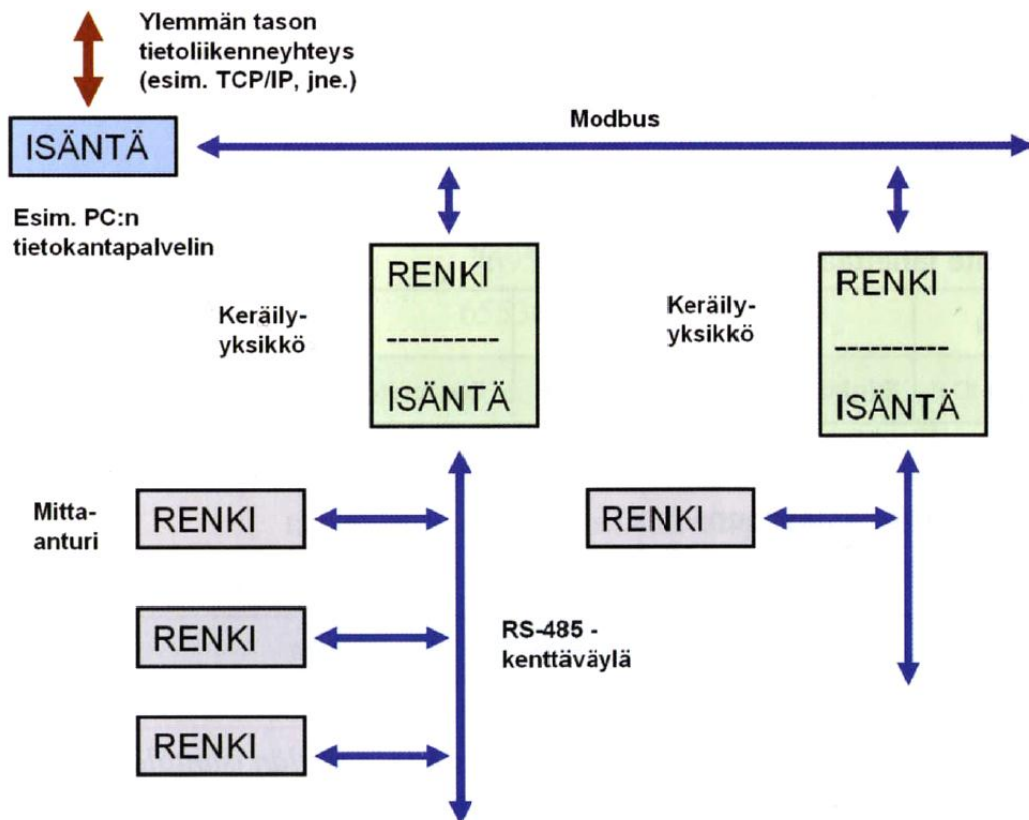
Eri laitevalmistajien toteutuksissa on toisinaan standardin sallimia lisäyksiä. Muilla valmistajilla ei kuitenkaan ole tukea näille protokollalisäyksille eli eri toimittajien laitteiden välisessä kommunikoinnissa on toisinaan ongelmia (Davis 2011). LON-pohjaisten järjestelmien käyttö uusissa sovelluksissa on vähenemässä (Siemens palaveri 2015 & ABB palaveri 2015).

4.5.5 Modbus

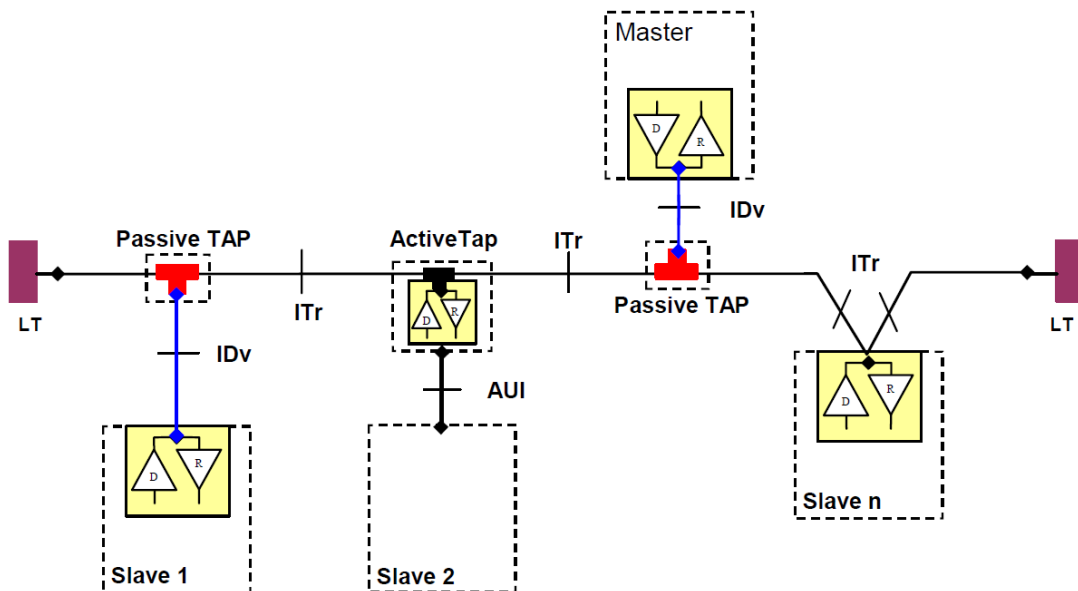
Modbus on 1979 julkaistu protokolla, joka oli alun perin tarkoitettu ohjelmoitavien logiikoiden liittämiseksi sarjaväylään. Protokolla on avoin ja siitä on olemassa kolme versiota, Modbus RTU, Modbus ASCII sekä Modbus TCP. Kahta ensin mainittua käytetään yleensä RS-485-väylällä ja jälkimmäistä ethernetiin liitettynä. Protokolla on avoin ja sen viimeisin spesifikaatioversio on vuodelta 2012. Modbus-protokolla ei ole standardisoitu. Modbus-laitteita käytetään kenttälaitetasolla. (Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät 2006)

Järjestelmä koostuu isäntä/orja -rakenteista. Näitä rakenteita voidaan koota yhteen suuremmiksi yksiköiksi (Kuva 27). Ilman toistinta yhdessä väylässä voi maksimissaan olla 32 laitetta ja järjestelmässä kokonaisuudessaan 247 laitetta. Väylään tulee asentaa päätevastukset (Kuva 28). (Modbus over serial line, 7, 27)

Modbus-väyläisiä laitteita käytetään edelleen melko paljon. Koska Modbus:a ei ole standardoitu eikä laitteille tehdä sertifiointitestausta, eri valmistajien välinen laitteiden yhteensopivuus on vaihtelevaa ja eri valmistajien laitteiden käyttö samassa väylässä saattaa aiheuttaa ongelmia (Davis 2011). Myös laitevaihtojen yhteydessä hallintaohjelmistoa saatetaan joutua usein muokkaamaan.



Kuva 27. Kaaviokuva Modbus-topologiasta (Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät 2006)



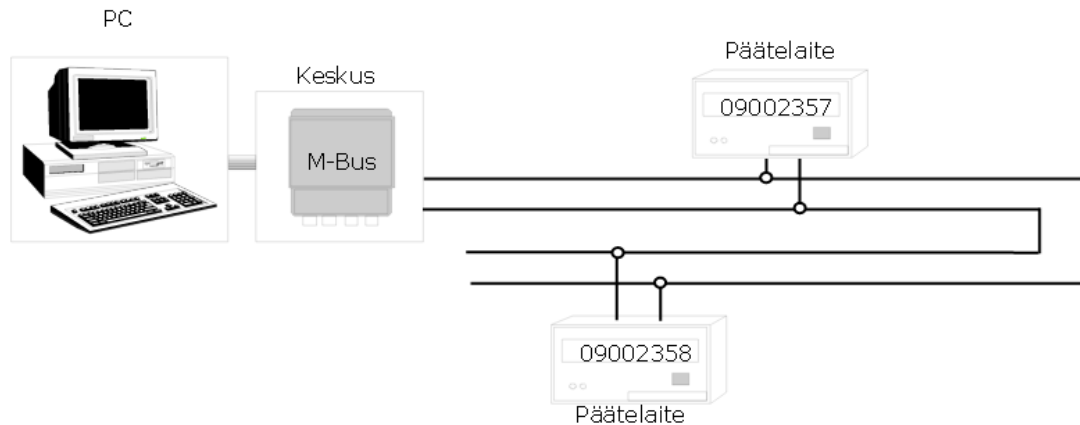
Kuva 28. Modbus-väylän rakenne (Modbus.org)

4.5.6 Muita järjestelmiä

4.5.7 M-Bus

M-Bus on kenttäväylä, joka on tarkoitettu kulutustietojen etäluentaan esimerkiksi sähkö, vesi tai kaasumittareilta. Kyseessä on avoin ja standardoitu (EN13757) sarjapäätelmä, jota ei enää aktiivisesti kehitetä. Järjestelmä on hierarkkinen, jossa isäntälaitte hallinnoi liikennettä aloittamalla keskustelun. Kenttälaitteet eivät keskustele keskenään. Väyläjännite on 42V eikä väyläkaapelille ole erityisvaatimuksia, esimerkiksi normaalia puhelinkaapelia voidaan käyttää (The M-Bus: A documentation rev 4.8). Topologiana voidaan käyttää tähteä, väylää tai näiden yhdistelmää. Väylän pituus riippuu voimakkaasti käytettävän kaapelin impedanssista ja kapasitanssista, tiedon siirtonopeudesta sekä väylällä olevien laitteiden määrästä. Kiinteää mittaa väylän pituudelle ei siis voi antaa, vaan arvot liikkuvat sadoista metreistä useisiin kilometreihin (M-Bus mittariluentajärjestelmä, suunnitteluohjeet 2009).

Yksinkertainen järjestelmä rakentuu keskuslaitteesta sekä päätelaitteista. Keskuslaitte toimii yhdyskäytävänä M-Bus -väylän sekä kiinteistöautomaatiojärjestelmän tai tietokoneen välillä. Kiinteistöautomaatioon yhdistämiseksi on olemassa yhdyskäytäviä mm. KNX, LON ja BACnet -väyliin. Väylän vaatima teholähde voi olla joko keskuslaitteeseen sisäänrakennettu tai ulkoinen. Päätelaitteita ovat erilaiset mittarit suoralla M-Bus -liitännällä, pulssinkeruuyksiköt joihin liitetään esimerkiksi impulssivesimittarit, sekä erilaiset anturit. Järjestelmään on päätelaitteina saatavissa myös analogiamuuntimia esimerkiksi virtaviestien lukemiseen. (M-Bus mittariluentajärjestelmä, suunnitteluohjeet 2009)

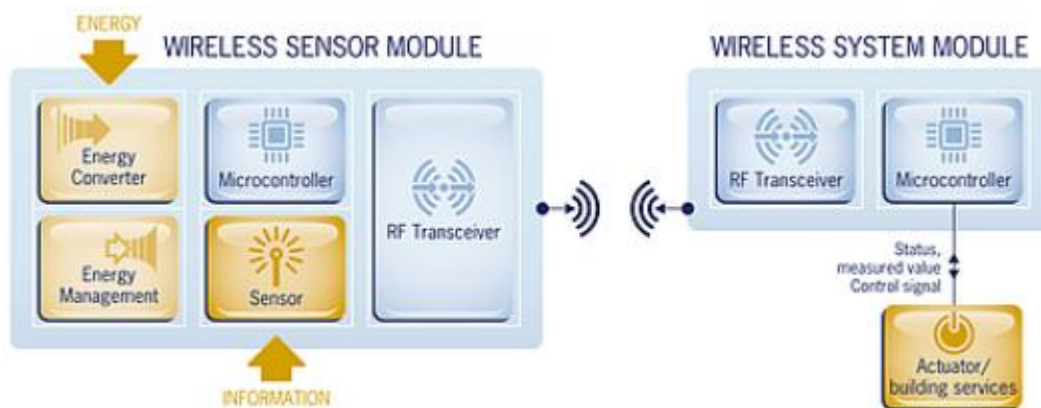


Kuva 29. M-Bus –järjestelmän perusrakenne (Saint-Gobain Pipe systems)

M-Bus järjestelmän etuja ovat mm. yksinkertainen rakenne ja kaapelointi, järjestelmän edullisuus, eri valmistajien laitteiden sopivuus väylään, parhaimmillaan verkon hyvä ulottuvuus sekä standardointi (M-Bus mittariluentajärjestelmä, suunnitteluohjeet. 2009).

4.5.8 EnOcean

EnOcean on standardoitu langaton teknologia antureita ja kytkimiä varten. Laitteet ovat omavoimaisia eli eivät sisällä paristoa, vaan laite kerää käyttöön tarvittavan energian ympäristöstä (energy harvesting). Energiaa voidaan kerätä ympäristöstä liike-, paine-, tai lämpötilaeroista sekä valaistuksesta ja muuntaa se sähköiseksi energiaksi. Vähäisen käytettävissä olevan energiamäärän vuoksi anturin lähettämät RF-signaalit ovat kestoaltaan hyvin lyhyitä, mutta signaalin kantavuus vapaassa tilassa on jopa 300m. Euroopassa järjestelmän käyttämä taajuus on 868MHz. Anturit yhdistetään muuhun rakennusautomaatiojärjestelmään kuten KNX:ään tai DALI:in sopivien yhdyskäytävien kautta (Kuva 31). EnOcean -teknologiaa voidaan käyttää sekä rakennus- että teollisuusautomaatiossa ja paristottomuutensa takia laitteet ovat huoltovapaita.



Kuva 30. EnOcean –anturin ja vastaanottimen rakenne (www.enocean.com)



Kuva 31. EnOcean –järjestelmän liityntä rakennusautomaatioon (www.enocean.com)

4.5.9 Profibus

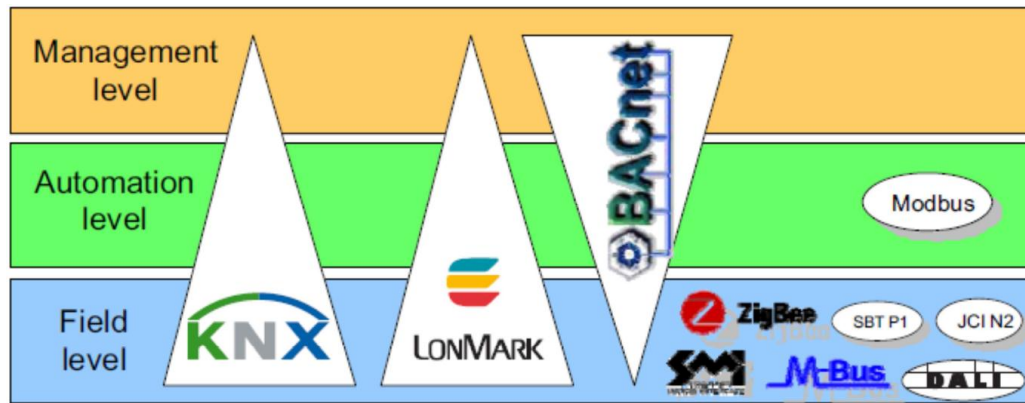
Profibus on prosessiteollisuuden kenttälaitteiden yhdistämiseen tarkoitettu väylä, jota käytetään jonkin verran myös rakennusautomaatiossa esimerkiksi taajuusmuuttajille. Väylä on standardoitu (IEC 61158), avoin ja toimittajariippumaton. Siitä on olemassa kolme profiilia: Profibus DP, Profibus DP sekä Profinet. Kaksi ensin mainittua käyttävät sarjaväylää ja jälkimmäinen ethernetiä. Muista väylistä poiketen Profibus voi olla topologiaaltaan myös rengas. Väylän etuja ovat mm. hinta sekä pieni vasteeika, jolloin se sopii aikakriittisiin sovelluksiin.

4.6 Väylävalinta

Rakennusautomaatiossa käytettävää väyläratkaisua valittaessa on tärkeää selvittää väylien teknisten ominaisuuksien lisäksi niihin sopivan laitetarjonnan määrä tarvittaviin sovelluksiin sekä kyseisen tekniikan yleisyys. Useampi laitevalmistaja helpottaa sekä työskentelyä suunnitteluvaiheessa että hankinnan kilpailutusta. Laitteiden saataavuudessa korostuu järjestelmän avoimuus. Elinkaaren ja ylläpidon kannalta on merkitystä onko järjestelmän suosio nousussa vai laskussa. Kansainvälisessä suunnittelu-toiminnassa kannattaa selvittää myös järjestelmien yleisyys alueittain. Myös laitteiden huolto- ja varaosatoiminnan pitää olla kunnossa ja se vaikuttaa suoraan järjestelmän elinkaareen. Arvokasta kokemusta järjestelmien ja laitteiden toimivuudesta käytännössä sekä yhteensovittamisesta löytyy alan urakoitsijoilta.

Väylävalinnan ja automaatiojärjestelmän suhteellinen paremmuus muihin nähden riippuu myös suunnittelun kohteesta sekä asiakkaan tarpeista. Pystyäkseen ehdottamaan asiakkaalle erilaisia ratkaisumalleja suunnittelijan tulisi siis olla perillä eri vaihtoehtojen tarjoamista mahdollisuuksista sekä eduista. Käyttäjää ei yleensä kiinnosta millä tekniikalla toteutus tehdään vaan mitä toimintoja se tarjoaa ja millä kustannuksilla.

Eri väyläratkaisut sijoittuvat käyttötarkoituksiltaan ja asemoinneiltaan hieman eri alueille. Osa, kuten mm. M-Bus, DALI sekä EnOcean sijoittuvat selkeästi kenttälaitetasolle, kun taas KNX sekä LON ovat käytössä myös automaatiotasolla. BACnet puolestaan on tarkoitettu pääosin hallinto ja automaatiotasolle, joilla suoritetaan korkeamman tason kontrolli sekä tehtävien koordinointi. Oheisessa kuvassa (Kuva 32) esitetyt pyramidit havainnollistavat asiaa.



Kuva 32. Automaatiojärjestelmät eri hierarkiatasoilla (Granzer, Kastner & Reinisch 2008)

4.7 Integrointi

Automaationjärjestelmien integroinnilla tarkoitetaan yleensä automaation eri osajärjestelmien kuten esimerkiksi kulunvalvonnan, lämmityksen tai valaistuksenhallinnan yhdistämistä toisiinsa siten, että tieto näiden välillä liikkuu molempiin suuntiin ja järjestelmät toimivat sujuvasti yhtenä kokonaisuutena. Integrointiin pyritään mm. keskittämisen tuomien pienempien investointikulujen, kokonaisuuden paremman hallinnan, pienempien käyttökustannusten sekä uusien energiansäästämahdollisuuksien vuoksi (Rakennusautomaatiojärjestelmät 2012, 96). Energiansäästö on kiristyvien energiamääräysten vuoksi jatkossa erityisen kiinnostuksen kohteena, ja erillisjärjestelmien käytöllä on vaikea päästä samoihin tuloksiin kuin integroidulla järjestelmällä. Yhdistämällä osakokonaisuudet saadaan kiinteistö kokonaisvaltaisesti hallintaan, jolloin myös olosuhteiden optimointi entistä tarkemmin ja myös tilanteiden ennakointi on mahdollista. Erityisesti kulunvalvonta on keskeinen toiminto suurimmalle osalle osajärjestelmistä. Kulunvalvonnasta saatavan tiedon avulla tiloja voidaan esimerkiksi valaista ja lämmittää vain käytön sekä tarpeen mukaan. Integroinnin mahdollistama optimointi tarkoittaa siis sekä energiansäästöä että mm. mukavampaa työympäristöä. Kiinteistöautomaatio voidaan myös yhdistää toiminnanohjausjärjestelmään (ERP), jolloin kaikkia resursseja voidaan hallita keskitetysti.

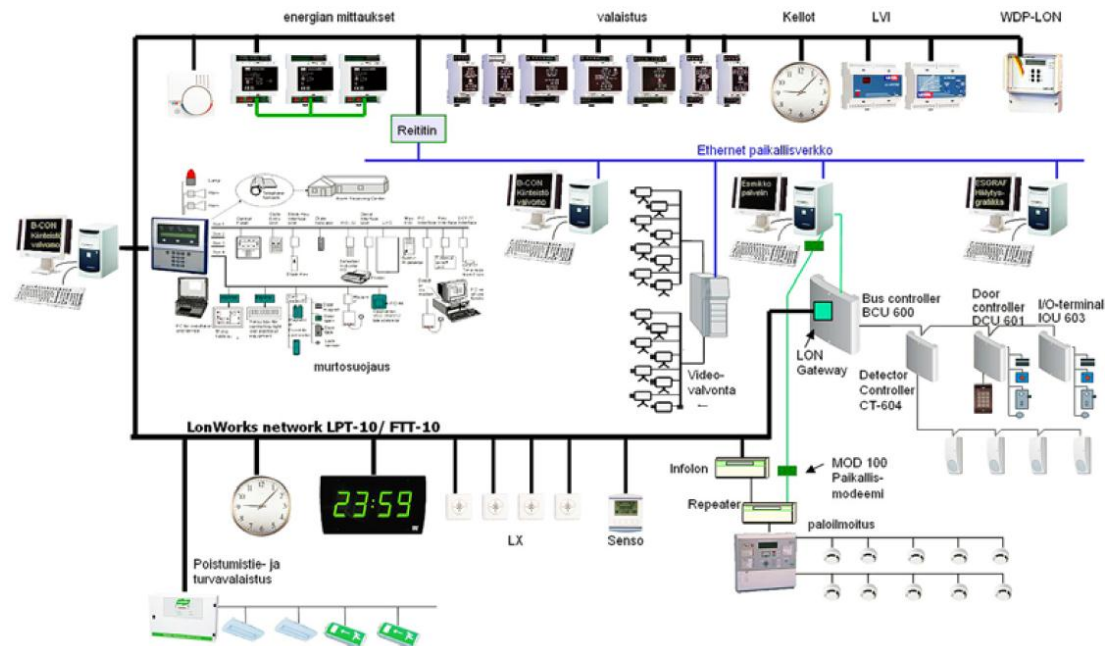
Monesti eri osajärjestelmät käyttävät erilaisia kenttäväyliä, jolloin integrointiin liittyy myös aspekti eri protokollien yhteensovittamisesta. Tällöin korostuu avoimien tiedonsiirtoprotokollien merkitys. Integraatio ja kokonaisuuden toimiva hallinta koko järjestelmän elinkaaren ajan voidaankin nähdä rakennusautomaation suurimpana

haasteena (ST 710.01 2015, 7). Teknisten haasteiden lisäksi mukana on osajärjestelmien yhdistämiseen vaadittava monipuolinen osaaminen ja sitä kautta integraatiotyön hinta. Erityisesti toteutusvaiheessa työn suorittavan tulee tuntea hyvin integroitavien järjestelmien sovituksessa tarvittavat erikoistapaukset sekä niksit. Järjestelmäintegroinnissa on huomioitava kokonaisuuden toiminta myös turvallisuuden kannalta.

4.7.1 Osajärjestelmien integrointi

Osajärjestelmien integraatiota voidaan tehdä kullakin eri automaation hierarkiatasolla. Esimerkiksi murtohälytyksen anturit voivat lähettää tiedon suoraan KNX-väylän kautta valaistusjärjestelmälle kentälaitetasolla, kulunvalvontajärjestelmän tieto avautuvasta ovesta voidaan kierrättää alakeskustasolla valaistusjärjestelmälle tai kiinteistön hallintaohjelmisto voi ohjata kaikkia osajärjestelmiä. On täysin tapauskohtaista millä hierarkiatasolla integrointi kannattaa tehdä.

Osajärjestelmien välisen integraation toimiessa tehokkaasti pystyvät rinnakkaiset järjestelmät käyttämään hyödyksi toisen järjestelmän anturitietoja (Kuva 33). Hallintotasolla integrointi mahdollistaa järjestelmistä saatavan tiedon yhdistämisen reaaliajassa uusiksi tietokokonaisuuksiksi ja järjestelmäkokonaisuuden paremman ymmärtämisen.



Kuva 33. Esimerkki eri osajärjestelmien integroinnista LON-väylässä (Kiinteistöjen valvomojärjestelmät)

Eri järjestelmien yhteensovittamisessa on monesti omat haasteensa myös elinkaarta ajatellen. Itse automaatio-ohjelmiston lisäksi ongelmia saattaa aiheuttaa käyttäjärjestelmä, jonka päällä sovellus toimii. Sovelluskehittäjä ei pysty ennakoimaan käyttäjärjestelmässä tai verkkoselaimessa tapahtuvia päivityksiä ja sen vaikutuksia automaatio-ohjelmistoon. Esimerkiksi BACnet -ohjelmistoa käytettäessä on törmätty Windows- ja IE -päivitysten jälkeisiin ongelmiin (Siemens palaveri 2015). Järjestelmäpäivitysten myötä asennuksen aikainen, ehkä räätälöimällä aikaansaatu eheys saattaa rikkoutua, jolloin myös automaatio-ohjelmisto vaatii päivityksen. Voidaan siis sanoa, että teknologian kehitys tuo osaltaan myös haastetta integroinnille, sillä vakaassa toimintaympäristössä integraatio saataisiin ajan myötä hiottua täydelliseksi. Niin kauan kuin käytetään erillisiä järjestelmiä omine protokollineen, jatkuva muutos vaikeuttaa datan siirtoa eri järjestelmärajapintojen yli ja hankaloittaa järjestelmien keskinäistä toimintaa. Loppuasiakkaan kannattaa siis aina huolehtia huolto- ja ylläpitosopimusten kattavuudesta.

Standardoiduista kommunikointiprotokollista huolimatta järjestelmien integrointi ei ole ongelmaton. Avoin protokolla kuten BACnet ei tarkoita samaa kuin avoin kontrollikieli. Tämä johtaa yleensä siihen, että automaation hallintaohjelmistot eivät ole keskenään vaihdettavia (Sinopoli 2011, 5). Kilpailutuksen ja järjestelmävalinnan jälkeen käyttäjä on siis käytännössä sidottu valitsemaansa ohjelmistotoimittajaan, vaik-

ka laitteistotasolla voitaisiinkin käyttää eri toimittajien tuotteita. Mikäli automaatio-ohjelmisto halutaan jossain vaiheessa vaihtaa toiseksi, vaatii se jälleen uuden ohjelmiston koko konfiguroinnin alusta alkaen. Täyttä toimittajariippumattomuutta loppuasiakkaalla ei siis edelleenkään ole.

4.7.2 Eri protokollien yhdistäminen

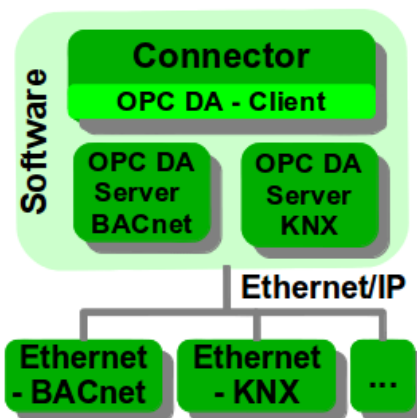
Kun halutaan liittää yhteen järjestelmiä jotka käyttävät eri väyläprotokollia, voidaan järjestelmien välillä siirtää tietoa yhdyskäytävien eli protokollamuuntimien kautta (gateway). Integroinnissa standardoitujen väylien käytön merkitys korostuu erityisesti. Vaikka muuntimia käytetään yleisesti, törmätään niiden käytössä kuitenkin usein odottamattomiin ongelmiin standardoinneista huolimatta. Laittevalmistajilla on standardien rajoissa mahdollisuus tiettyihin muokkauksiin, ja näitä valmistajakohtaisia ominaisuuksia protokollamuuntimet eivät aina osaa käsitellä.

BACnet-protokolla luotiin nimenomaan yritykseksi ratkaista integrointiongelmia luomalla XML-kuvauskieleen pohjautuva rajapinta laitteiden välille. BACnetissa laitteiden sisältämät tiedot puetaan objekteiksi ominaisuuksineen sekä niiden tarjoamiksi palveluiksi. Kaikille laitteille yhteinen tiedon esitysmuoto helpottaa erilaisten laitteiden keskinäistä keskustelua ja osajärjestelmien yhteensovittamista. Eri väyläprotokollien välistä integrointia BACnet ei kuitenkaan täysin ratkaise, vaan edelleen on käytettävä protokollamuuntimia. Esimerkiksi KNX:n ETS-käyttöönottotyökalusta järjestelmäkoonpano eli projekti voidaan siirtää XML-muodossa BACnet-palvelimelle helpottaen integrointia.

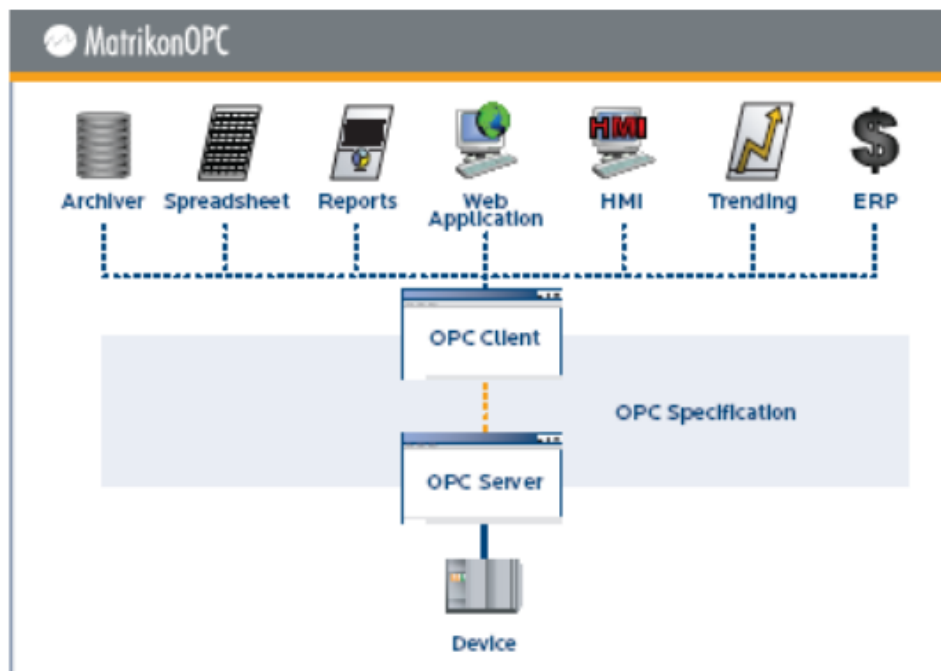
4.7.3 OPC ja yhteistoiminnallisuus

OPC-palvelin on erilainen tapa lähestyä laitteiden välistä tiedonvaihtoa. OPC-ratkaisussa laitteet eivät keskustele suoraan keskenään, vaan OPC-palvelin toimii puskurina jonka välityksellä tietoja välitetään (Kuva 34). Puskurointiin käytetään mallinnusta samaan tapaan kuin BACnetissä. Koska kyseessä ei ole väylämuunnin, kaikkea protokollien sisältämää dataa ei tässä ratkaisussa siis vaihdeta. OPC:n kohdalla voidaankin puhua enemmän yhteistoiminnallisuudesta kuin integraatiosta.

OPC-palvelimen molempiin rajapintoihin vaaditaan ajuri, joka keskustelee natiivisti toisen osapuolen kanssa (Kuva 35). Kukin väyläprotokolla (LON, KNX, BACnet jne.) vaatii oman OPC-ohjelmistopalvelimensa. OPC-ratkaisun käyttö vaatii myös laitevalmistajalta laitekohtaisen ajurin rajapintaa varten toimiakseen (MatrikonOPC). Alkuperäinen OPC pohjautuu Microsoftin teknologiaan, kun taas uudempi versio OPC UA on käyttöjärjestelmästä riippumaton ja sen tietoturva on huomattavasti alkuperäistä parempi.



Kuva 34. OPC-palvelimen rakenne (Vienna university of technology 2015)



Kuva 35. OPC-palvelinratkaisu (MatrikonOPC)

4.8 Rakennusautomaatio saneerausrakentamisessa sekä vaativissa kohteissa

Kehittyneillä alueilla kuten Suomessa infrastruktuuri on pitkälti jo olemassa, joka tarkoittaa että korjausrakentamisen suhteellinen määrä on suuri uudisrakentamiseen nähden. Saneerausta voidaan infran mittakaavassa pitää lyhyen tähtäimen ja uudisrakentamista pitkän tähtäimen toimintana. Rakennuksia uusittaessa automaatio on periaatteessa samassa asemassa kuin uudisrakennuksissakin. Automaatiolla ohjataan samoja toimintoja ja tavoitteet ovat vastaavat, mm. energiansäästö, mukavuus ja kokonaisuus hallittavuus. Saneerauksessa automaatiota koskevat myös vastaavat haasteet kuin muutakin talotekniikkaa eli esimerkiksi missä määrin vanhaa tekniikkaa käytetään hyödyksi sekä uuden ja vanhan tekniikan yhdistäminen. Rakennusautomaation kohdalla lisähaasteen tuo kuitenkin sen elinkaari, joka on talotekniikan lyhyimpiä eli arvioijasta ja tapauksesta riippuen 10 - 20 vuotta. ST-kortti 712.10 ohjeistaa osaltaan automaatiojärjestelmän uusimisessa huomioitaviin asioihin.

4.8.1 Saneerauksen erityispiirteet

Rakennusautomaation ja muun tietotekniikkaan liittyvän taloautomaation kehitys on ollut huomattavan nopeaa jolloin niiden elinkaaret jäävät lyhyiksi. Uusissa järjestelmissä on rakenteellisten erojen lisäksi uusia toimintoja joita ei enää ole saatavilla vanhoihin järjestelmiin edes päivitysten avulla. Tätä kautta rakennuttajan pohdittavaksi tulee missä määrin olemassa olevaa tekniikkaa kannattaa käyttää hyödyksi. Houkutus päivittää uutta tekniikkaa vanhan päälle on kustannussyistä suuri. Kokonaiskustannuksiin vaikuttavat kuitenkin pelkän tarvittavan tekniikan lisäksi myös tarvittavan työn määrä sekä vanhan tekniikan osaajien saatavuus. Osapäivitysten hinnoittelu on vaikeaa koska uuden ja vanhan tekniikan yhteensovittamiseen vaadittavaa työmäärää on monesti vaikea arvioida. Työmäärää lisää usein myös vanhojen automaatiojärjestelmien olematon tai heikkolaatuinen dokumentaatio. Alkuperäisissä järjestelmissä ei ehkä olekaan laajennusvaraa joko fyysisesti tai ohjelmallisesti. Keskkukset on ehkä tilanpuutteessa uusittava kokonaan, johtokanavissa ei olekaan tilaa tai järjestelmäosoitteet ovat kaikki käytössä. Tällöin uudistuksesta saattaa tulla huomattavasti suunniteltua kalliimpi ja toimittajien onkin usein helpompi tehdä tarjous koko järjestelmän uusimisesta (Senaatti Kiinteistöt palaveri 2015).

Päivitetessä uutta tekniikkaa olemassa olevan päälle kannattaa huomioida, että kokonaisuuden osat vanhenevat tällöin eri aikaan. Kokonaisuuden elinkaari ei siis ole sama kuin uuden asennettavan tekniikan. Vanhojen järjestelmäosien huolto ja varaosaanti saattaa olla puutteellista ja kokonaisuus huonosti hallittavissa myös käyttäjätasolla. Tällaiseen päivitykseen saattaa myös liittyä ennakoimattomia riskejä mm. käyttöjärjestelmiin, päivityksiin sekä rajapintoihin liittyen. Rakennuttajan tulee siis varautua uuteen järjestelmäsaneeraukseen ehkä ennakoitua aiemmin. Osapäivityksellä ei myöskään usein saada hyödynnettyä kaikkia uuden tekniikan tarjoamia ominaisuuksia, jolloin päivityksestä saatava hyöty on pienempi. Kaikki tämä vaikuttaa elinkaaren aikaisiin kustannuksiin, jotka pitäisi huolella punnita valintaa tehtäessä. Toisaalta mikäli olemassa oleva järjestelmä on edelleen käyttökelpoinen ja toimittajan tuki jatkossakin kunnossa esimerkiksi alaspäin yhteensopivalla uudemmallalla järjestelmällä, ei varsinaista syytä suureen vaihtoon ole.

Vanhat rakennusautomaation osajärjestelmät ovat yleensä usein erillisiä yhteensopimattomia järjestelmiä. Tällöin ei saada hyödynnettyä integroimisen kautta saatavaa kokonaishallintaa ja sen etuja. Osapäivityksessä on myös haaste urakoitsijan vastuun rajanvedon kannalta, koska osa järjestelmästä on vanhaa. Asiakas saattaa ajatella vastuun ja takuun kattavan koko järjestelmän, myös sen vanhat osat. Asiakkaalla ja urakoitsijalla on siis täysin erilainen käsitys siitä kuka on kokonaisuudesta vastuussa. Osapäivitetyn järjestelmän luotettavuus ei kuitenkaan ole vastaava kuin kokonaan uuden. Myös tietoturvan hallinta tällaisessa kokonaisuudessa saattaa olla vaikeampaa kuin kokonaan uudistetussa järjestelmässä.

Työkustannuksien vuoksi vanhojen automaatiojärjestelmien vaihto saattaa olla kannattavampi vaihtoehto kuin päivitys. Tämä on myös mahdollisuus päästä eroon ns. toimittajaloukusta, jossa asiakas on riippuvainen yhdestä ainoasta toimittajasta. Kokonaisuudistuksella saadaan hyödynnettyä kaikki uuden tekniikan mahdollisuudet mm. energiansäästöön liittyen. Tällöin myös kokonaisuuden hallittavuus on parempi ja vastuunjaot ovat selkeät.

4.8.2 Vaativat kohteet

Talotekniikassa vaativien kohteiden tyyppiesimerkkejä ovat mm. teollisuuden puhdistilat, sairaalat, lentokentät ja museot. Näissä rakennusautomaation suunnitteluun liittyy esimerkiksi asuintalojen suunnittelusta poikkeavia erityisvaatimuksia. Esimerkiksi lääke- ja puolijohdeteollisuudessa tuotantoympäristö vaikuttaa suoraan tuotteen laatuun ja turvallisuuteen. Tämä asettaa mm. lämpötilan ja tilojen ilmanpaine-erojen hallinnalle tiukat vaatimukset, jotka heijastuvat suoraan rakennusautomaatiolle asetettaviin vaatimuksiin. Suurimmassa osassa tapauksista käytettävä laitteisto on kuitenkin samaa kuin ns. helpommissa kohteissa. Kyse on enemmänkin suunnittelulle ja sen osaamiselle kohdistuvasta haasteesta kuin laitteistohaasteesta.

Rakennusautomaation laitteistovalintaan vaikuttavat mm. käyttöympäristön olosuhteet. Näitä ympäristömuuttujia ovat mm. lämpötila, pöly, kosteus, kaasut sekä suola. Räjähdyksivaarallisille tiloille (ATEX) on omat laitteistovaatimuksensa. Tällaisia tiloja on mm. energiantuotannossa, lääke-, kemian, elintarvike- sekä puunjalostusteollisuudessa. Ex-tiloissa käytettävien laitteiden säädökset koskevat myös räjähdysuojauksen kannalta oleellisia ohjaus-, suojaus- ja säätölaitteita vaikka ne sijaitisivat Ex-tilojen ulkopuolella.

Rakennusautomaation laitteistona myös pyritään käyttämään mahdollisimman paljon vakiokomponentteja. Validoitujen komponenttien käyttö luotettavuusvaatimusten takia on mahdollista, mutta näiden komponenttien hinta on huomattavasti korkeampi ja valikoima suppeampi. Myös laitteistojen kahdennus vikaantumisen vuoksi on mahdollista. Kustannussyistä sekä kahdennusta että validoituja komponentteja käytetään rakennusautomaatiossa harvoin.

Puhdastiloissa oleellisia ympäristömuuttujia ovat puhtausluokka, lämpötila, kosteus sekä paine-ero. Puhdastiloja käytetään mm. diagnostiikka- ja lääketuotteiden valmistuksessa, nano- ja avaruustekniikassa, elektroniikkatuotannossa, laboratorioissa sekä sairaala-apteekeissa. Lääketeollisuutta ohjaavat tiukat potilas- ja käyttäjäturvallisuuden liittyvät vaatimukset. Täten myös lääkevalmistuksen puhdistilat ja sitä ohjaavat järjestelmät ovat tiukan validoinnin alaisuudessa. Tämä koskee myös rakennusautomaatiota. Pelkillä kustannussäästöillä on erittäin vaikea perustella jotakin tiettyä tek-

nistä ratkaisua, vaan potilasturvallisuus ja sen parantaminen on kaikessa ohjenuorana. Muutokset prosesseissa ja toimintatavoissa sekä niiden vaikutukset on pystyttävä todistamaan tieteellisesti.

Lääketeollisuudessa on rakennusautomaation käytössä kaksi lähestymistapaa: erilliset valvonta- ja säätöautomaatiojärjestelmät tai yhdistetyt järjestelmät. Koska kaikki tuotteeseen vaikuttavat tekijät ovat tiukan validoinnin alaisena, tarkoittaa tämä samalla validointivaatimusta joko osalle tai koko automaatiojärjestelmälle. Mikäli järjestelmät ovat erilliset, validointivaatimus kohdistuu valvontajärjestelmän kriittisiin parametreihin. Tällöin riittää, että säätöjärjestelmä suunnitellaan ja toteutetaan vaikiintuneilla ja standardoiduilla käytännöillä (Good Engineering Practice) sekä normaalin rakennusautomaation komponenteilla. Mikäli säätö ja valvonta ovat samassa järjestelmässä, on tämä koko järjestelmä validoitava ja mahdollisesti on käytettävä myös validoituja automaatiokomponentteja. Jälkimmäinen tapa on edellistä huomattavasti kalliimpi ja vaikeampi toteuttaa.

Oma lukunsa ovat esimerkiksi suojellut ja historialliset rakennukset, joissa sallittujen muokkausten määrä on hyvin pieni. Näidenkin kiinteistöjen hallintaa voidaan automaatiolla parantaa huomattavasti, mutta toteutukset on tehtävä täysin olemassa olevien rakenteiden ehdoilla. Arkkitehtuurisista syistä sekä laitesijoittelu että kaapelointi on monesti huomattavan haastavaa. Näissä kohteissa langattomat ratkaisut, kuten esimerkiksi standardoidut KNX tai EnOcean helpottavat kaapelointiongelmia. Suojelluissa kohteissa kuten muussakaan vanhan korjauksessa ei kuitenkaan energiansäästöissä päästä edes kattavan automaation avulla vastaaviin tuloksiin kuin täysin uusilla energiataloudellisilla rakenteilla.

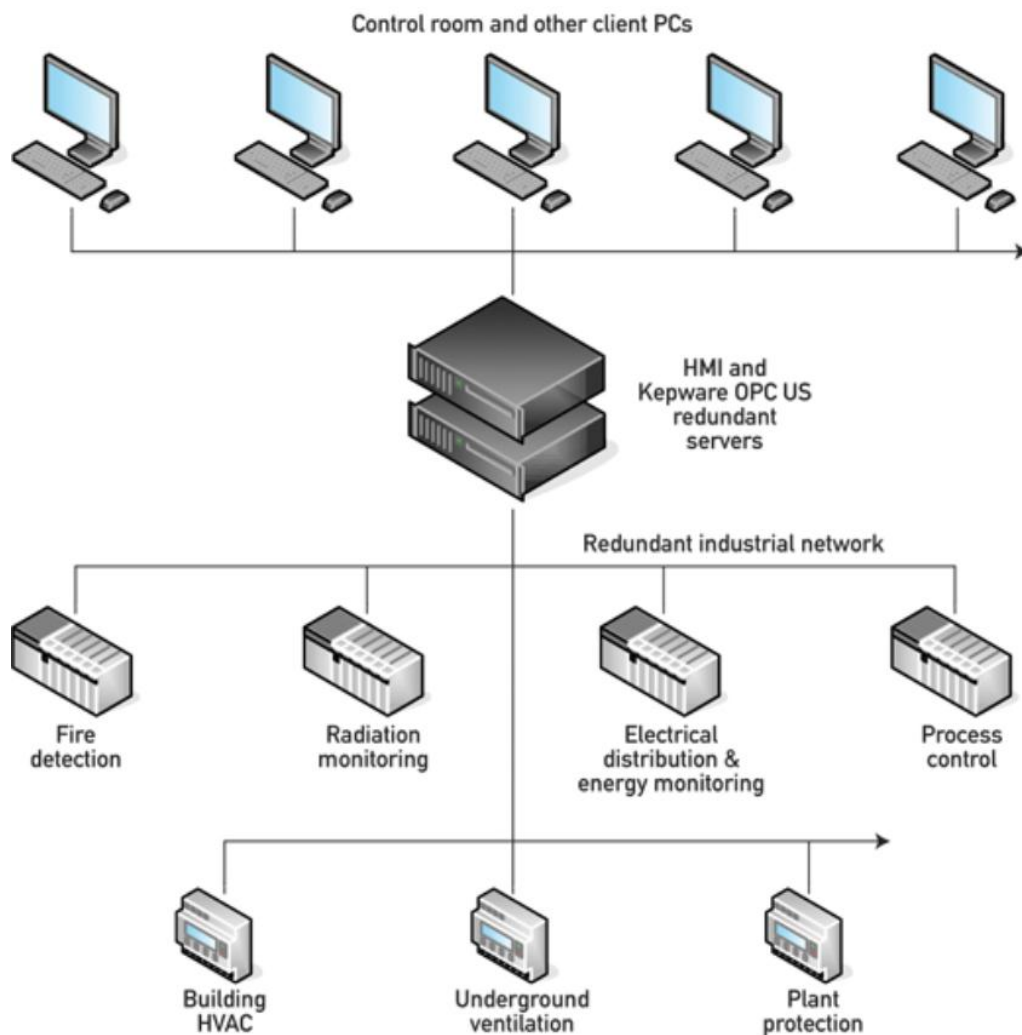
4.8.3 Rakennusautomaation ja prosessiautomaation integrointi

Teollisuuslaitoksissa on yleensä erilliset automaatiojärjestelmät ohjaamassa kiinteistöautomaatiota sekä prosessiautomaatiota. Joissakin tapauksissa saattaa olla hyötyä näiden kahden järjestelmän yhdistämisestä yhdeksi. Tällaisia voivat olla esimerkiksi yhdistämällä saatujen käyttökulujen pieneneminen, henkilöstökustannukset tai yhdistetyt järjestelmäkustannukset. Koska rakennusautomaatiojärjestelmät kykenevät oh-

jaamaan vain suppeita prosesseja, päädytään näissä tapauksissa käyttämään prosessi-automaatiojärjestelmiä kokonaisuuteen. Toisaalta esimerkiksi luotettavuusvaatimusten vuoksi saattaa olla, että normaalien rakennusautomaatiojärjestelmien laatutaso ei riitä. Tällöin on myös käytettävä luotettavamiksi koettuja prosessiautomaation laitteita kuten automaatiotason ohjelmoitavia logiikoita.

Ohjelmoitavien logiikoiden käyttö rakennusautomaation ohjaukseen on kuitenkin hyvin raskas ratkaisu, koska esimerkiksi normaalit LVI-toiminnot on erikseen ohjelmoitava logiikoille. Prosessiautomaation koodaajalla pitää tällöin olla hallussaan myös rakennuspuolen tietotaito. Rakennusautomaation laitteissa näille toiminnoille on valmiit kirjastot, jolloin käyttöönotto on helppoa.

Vaikka kokonaisuudessa käytettäisiin erilaisia järjestelmiä ja protokollia, on yhdestä käyttöliittymästä etua mm. sekä kokonaisuuden hallinnan että henkilöstökulujen kannalta. Nämä edut voidaan saada käyttämällä OPC-palvelinta järjestelmien väliseen tiedonvälitykseen. Tällainen järjestelmä on käytössä mm. Yhdysvalloissa New Mexicossa sijaitsevassa WIPP ydinjätteen loppusijoituspaikassa (Hebert 2014). Ratkaisussa useat eri protokollia käyttävät osajärjestelmät sekä valvontatietokoneet on yhdistetty palvelimella (Kuva 36).

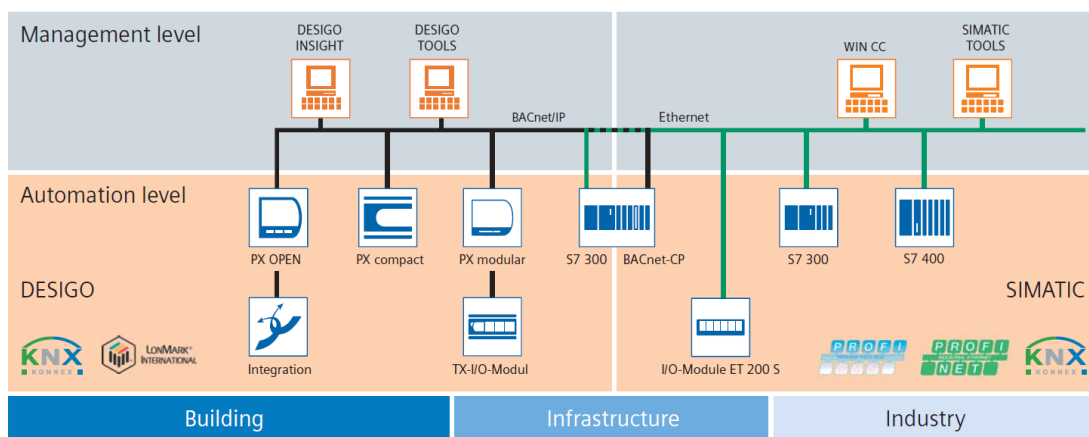


Kuva 36. OPC-serverin käyttö tarjoaa yhtenäisen protokollasta riippumattoman käyttöliittymän (Hebert 2104)

Siemensiltä löytyvä ratkaisu rakennus- ja prosessiautomaation yhdistämiseen on CP 343-1 BACnet -proessori (Kuva 37). Laitteen avulla voidaan Siemensin laajalti käytetyn S7-300 -sarjan logiikkaohjaimet liittää Siemensin BACnet-pohjaiseen DESIGO rakennusautomaatiojärjestelmään (Kuva 38). Saatavana on kaksi versiota, joista toisella uusi järjestelmä voidaan suunnitella S7-laitteita käyttäen valmiin LVI-toimintokirjaston avulla. Toisella versiolla olemassa oleva S7-300 -järjestelmä muunnetaan BACnet -objekteiksi erillisen työkaluohjelman avulla. Ratkaisut sopivat vaativiin kohteisiin, jossa rakennusautomaatiolle halutaan lisää toimintavarmuutta ja luotettavuutta, tai prosessi- ja rakennusautomaatio halutaan muista syistä yhdistää.



Kuva 37. Siemens CP 343-1 BACnet –prosessori



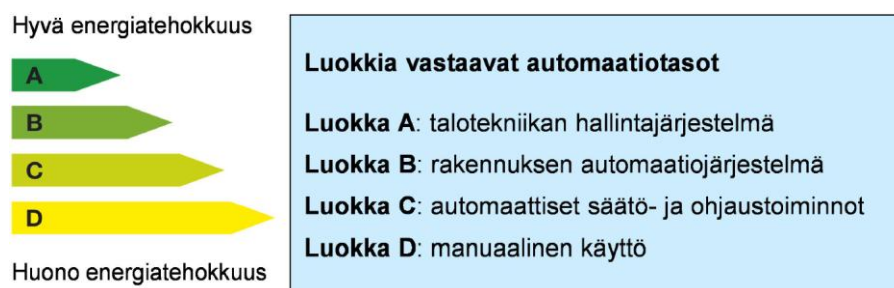
Kuva 38. Rakennus- ja prosessiautomaation yhdistäminen (Desigo S7, Siemens)

5 TULEVAT KEHITYSNÄKYMÄT

5.1 Rakennusautomaation leviämistä ohjaavat tekijät

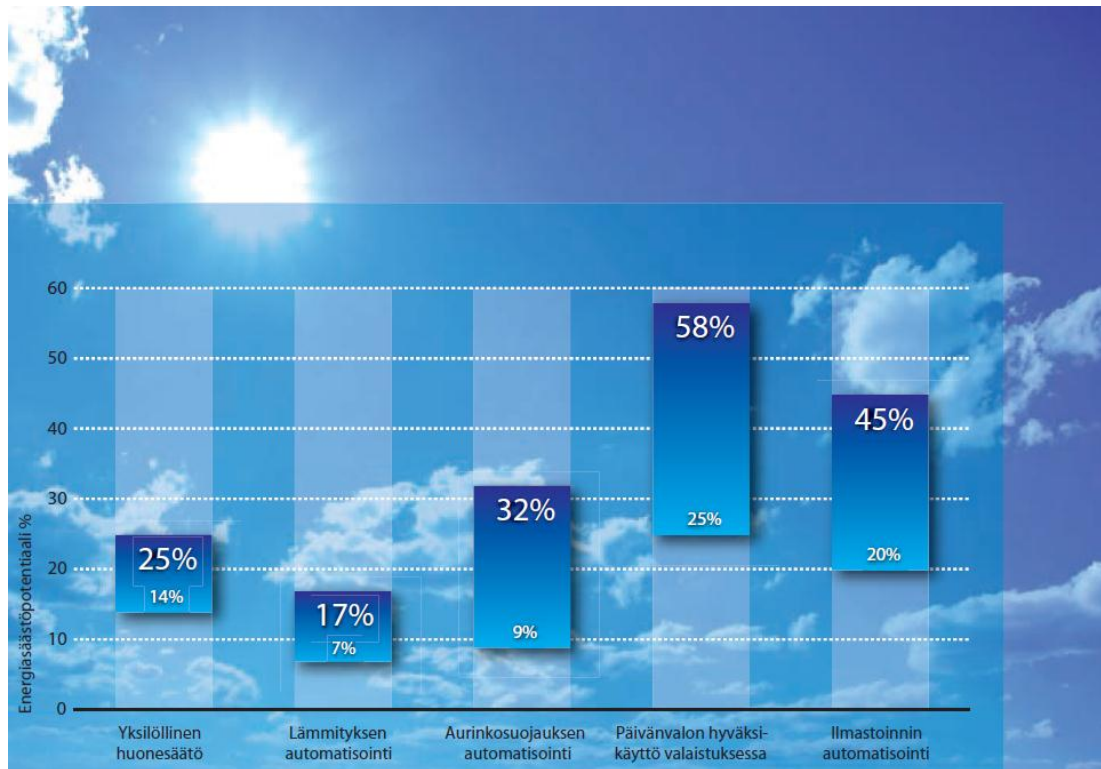
Suurimpana rakennusautomaation kehittymistä ja käyttöönottoa ohjaavina voimina ovat energian hinnan nousu sekä kiristyvät määräykset rakennusten energiankulutukselle. Kiristyvien määräysten takana puolestaan on tarve ympäristönsuojelulle. Vuonna 2012 voimaan tullut rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD) määrittää aikataulun, jolla uudisrakentamisessa siirrytään lähes nollaenergiarakentamiseen.

Sen mukaan lähes nollaenergiarakennuksia ovat vuoden 2018 lopussa viranomaisten käytössä olevat, ja 2020 lopussa kaikki uudet rakennukset. Eurooppalainen standardi SFS-EN 15232 käsittelee automaation vaikutusta rakennusten energiatehokkuuteen ja määrittelee energiatehokkuusluokat automaatiotason mukaan (Kuva 39). Asteikolla luokka C on referenssitaso, joka vastaa tavanomaisia automaattisia toteutuksia. Luokka B vaatii rakennusautomaation käyttöä kommunikoivilla huonesäädöillä, ja luokka A kattavaa hallintajärjestelmää, jossa energiatehokkuus on täysin huomioitu. Hyvä energiatehokkuus käytännössä siis vaatii rakennusautomaation käytön lisäämistä, jolloin myös tarve näille suunnittelupalveluille lisääntyy.

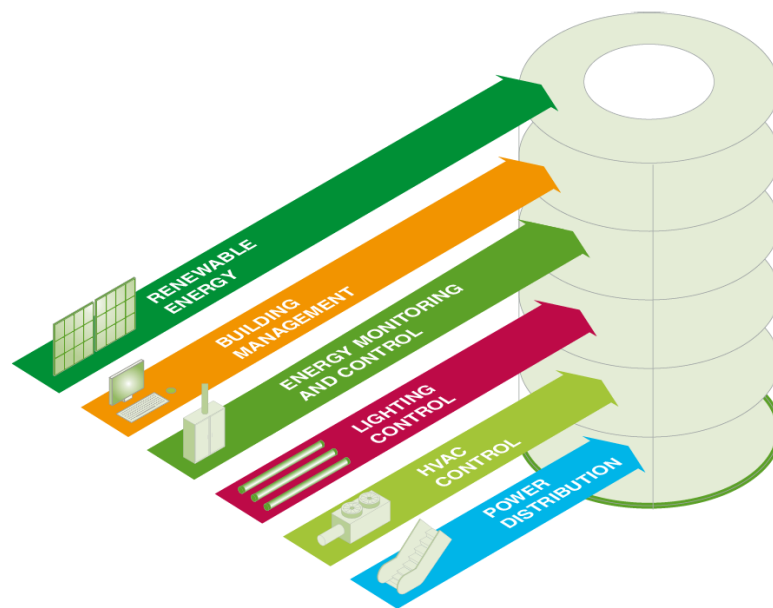


Kuva 39. Rakennusten energiatehokkuusluokitus (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 8)

FInZEB -hankkeessa luodaan kansallista tulkintaa energiatehokkuusdirektiivin lähes nollaenergiarakentamisesta. Automaatioon liittyvistä toimenpiteistä kannattavimmiksi on havaittu lämmön talteenotto sekä ilmanvaihdon ja valaistuksen tarpeenmukaisen toiminnan ohjaus. Suomen energiankäytöstä rakennusten osuus on lähes 40 % (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 4). Rakennuksissa energiaa kuluu eniten lämmitykseen, jäähdytykseen ja ilmanvaihtoon, valaistukseen sekä veden lämmitykseen. Nämä kaikki ovat toimintoja, joihin automaatiolla pystytään vaikuttamaan (Kuva 40, Kuva 41). Huomattavaa on myös vielä vähäisesti hyödynnettävien markiisien ja sälekaihtimien ohjauksella sekä vakiovalonsäädöllä saatavat vaikutukset valaistukseen ja lämmitykseen.



Kuva 40. Energiansäästömahdollisuudet nykyaikaisella automaatiotekniikalla (Rakennusten energiatehokkuus, ABB Oy)

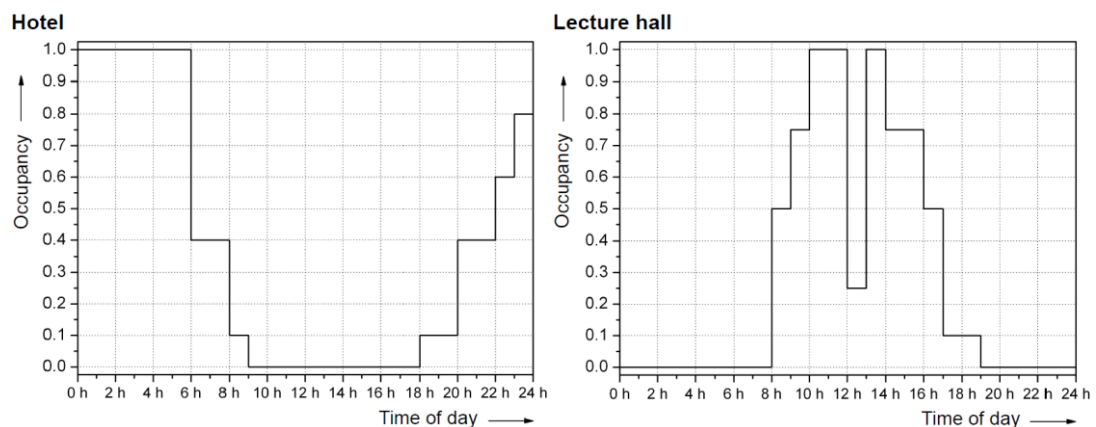


Kuva 41. Kokonaisenergian kulutukseen vaikuttavia tekijöitä (Genet & Schubert, 3)

Energiatehokkuus otetaan huomioon myös korjausrakentamisessa. Mikäli korjaustyössä vaaditaan rakennus- tai toimenpidelupa, lupaharkinnassa huomioidaan energiatehokkuuden parantaminen (Ympäristöministeriön asetus 4/13). Tämä asetus ei ota suoraan kantaa automaatiojärjestelmien tasoon, mutta antaa rakennusluokittain

arvot energiankulutusvaatimuksille. Asetuksen 1§ listaa poikkeukset, joita energiatehokkuuden parantamisvaatimus ei koske. Jo nyt on selvästi nähtävissä energiatehokkuuden merkitys korjaustoiminnassa (Senaatti Kiinteistöt palaveri 2015).

Esimerkiksi rakennuksen lämmityksen ohjauksessa on hitautta, jolloin mukavuuden kannalta on läsnäolotunnistuksen lisäksi suotavaa ennakoida tuleva käyttö. Rakennuskohtaisilla käyttäjäprofiileilla automaatioasetuksia pystytään optimoimaan sekä energiankulutuksen että käyttäjäkokemuksen kannalta (Kuva 42).



Kuva 42. Rakennusten erilaisia käyttäjäprofiileja (Building automation - impact on energy efficiency)

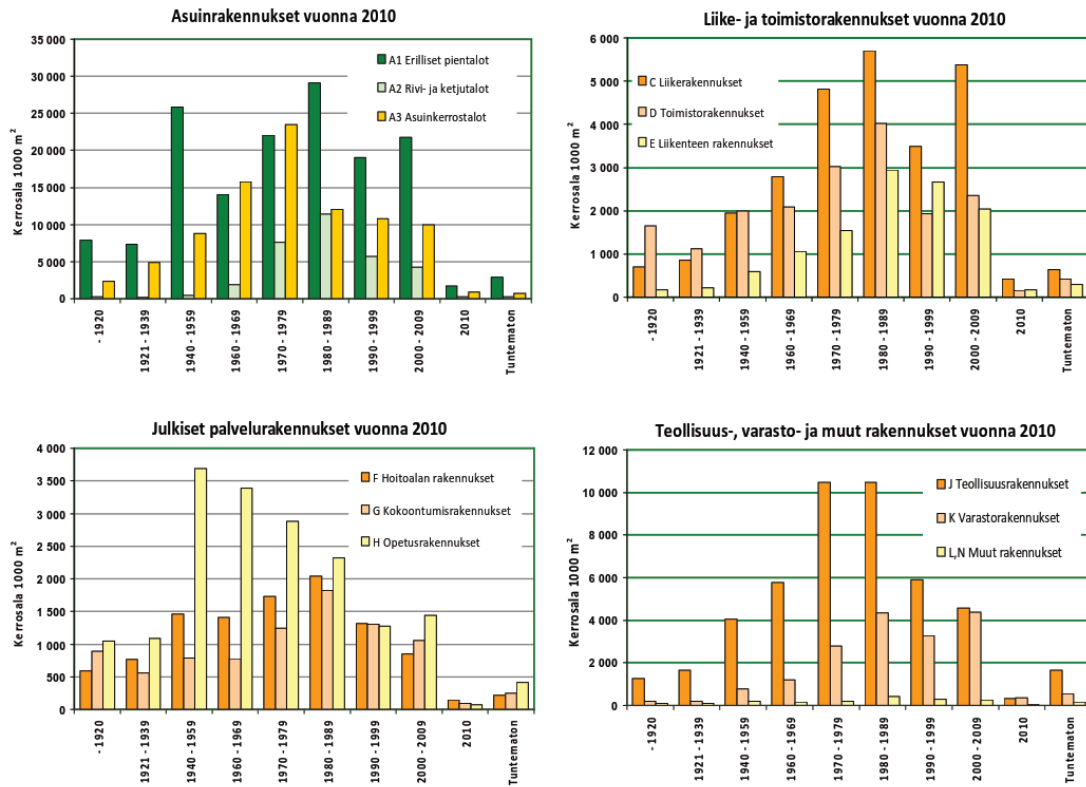
5.2 Käytön nykyinen laajuus ja laajenemismahdollisuudet

Edelleenkin jopa osa uudisrakennuksia rakennetaan käyttämällä useita rinnakkaisia automaatiojärjestelmiä, jos rakennuttajalla ei ole selkeää kuvaa rakennusautomaation mahdollisuuksista, eikä varsinkaan järjestelmien integroinnin eduista. Tehokkaasti toimivan automaatiojärjestelmän aikaansaamiseksi automaatio suunnittelijan olisi tärkeää osallistua hankkeen esisuunnitteluun mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Tällöin voidaan tarjota erilaisia vaihtoehtoja, huomioida integrointi sekä ennen kaikkea selvittää asiakkaan todelliset tarpeet.

Väyläpohjaiset hajautetut avoimet järjestelmät kuten KNX soveltuvat käytettäväksi kaikissa rakennustyypeissä. Perinteisiin sähkö- ja automaatio suunnitelmiin nähden hajautettujen järjestelmien suunnittelu vaatii kuitenkin lisätyötä, ja suunnitelmien yleisessä tasossa on vielä parantamisen varaa myös suunnittelutoimistoissa (Kumpulainen 2014, 21). Jotta lisääntynyt työmäärä pystytään veloittamaan asiakkaalta, on

hänen koettava saavansa selkeää lisäarvoa eli ratkaisujen edut on pystyttävä perustelemaan selkeästi. Toteutuksissa puolestaan urakoitsija yleensä suorittaa järjestelmän ohjelmoinnin. Sekä automaation suunnittelussa, integroinnin hallinnassa että järjestelmäohjelmoinneissa on suunnittelutoimistoille mahdollisuuksia laajentaa toimintaansa eri suuntiin, mm. ajallisesti, toiminnallisesti tai tiedollisesti. Myös energiatehokkuusvaatimusten kautta tarve kokonaisuuden ymmärtämiselle ja hallinnalle lisääntyy.

Suomen kuten pääosin muunkin Euroopan rakennuskanta on jo valmiiksi rakennettu. Täten rakennusten korjauksissa ja saneerauksissa on merkittävät markkinat suhteessa uudisrakentamiseen. Rakennustyypistä riippuen merkittävin osuus kiinteistökannasta on rakennettu 1970 - 80 -luvulla (Kuva 43), jolloin rakennusautomaatio oli lapsenkengissään. Vaikka energiatehokkuusvaatimukset eivät vielä koske suoraan olemassa olevaa rakennuskantaa, luvanvaraisessa korjauksessa ne kuitenkin huomioidaan. Uudisrakentamisen lisäksi energian hinnan yleinen nousu tulee kasvattamaan kiinnostusta automaation tarjoamiin säästömahdollisuuksiin myös pienemmissä korjauksissa. Lisäksi uudetkin asennukset vanhenevat suhteellisen nopeasti rakennusautomaation lyhyen tehollisen elinkaaren vaikutuksesta, jolloin järjestelmien päivitykset tulevat vaatimaan suunnittelutyötä myös jatkossa.



Kuva 43. Rakennuskanta Suomessa 2010 (Korjausrakentaminen Suomessa, 14)

5.3 Teknologiat

Siirtyminen erillisjärjestelmistä yhä tiiviimmin integroituihin järjestelmiin on jo selvästi nähtävissä. Laitetoimittajat markkinoivat tehokkaasti integrointia ja käyttäjien tietoisuus sen tuomista eduista on lisääntynyt. Tarvelähtöinen ajattelutapa tulee ohjaamaan myös teknologian kehitystä hajauttamalla älykkyyttä edelleen kenttälaitteille ja alakeskuksille, eli perinteinen hierarkia-ajattelu hämärtyy yhä enemmän erityisesti pienemmissä kohteissa.

Etähallinta tuo käytön helppoutta järjestelmäohjaukseen ja käyttäjien kiinnostus paikasta riippumattomaan hallintaan esimerkiksi tablettitietokoneilla on kasvussa. Tämä tuo painetta järjestelmien tietoturvan hallintaan. Tietoturvan lähtökohta on oltava sisäänrakennettuna järjestelmään jo suunnitteluvaiheessa ja järjestelmien standardeissa onkin panostettu myös tietoturvaan. Tietoturvan perusteet rakennetaan jo ohjelmistosuunnitteluvaiheessa. Valvonnan siirtäminen pilvipalveluihin helpottaa ylläpitotehtäviä ja mahdollistaa uusia palvelukonsepteja.

Rakennusten kiristyvät energiankulutusvaatimukset tarkoittavat käytön optimointia eli käytännössä tarkempaa mittausta, ohjausta sekä valvontaa. Tämä saattaa vaatia käyttäjäprofiilien ymmärtämisen lisäksi esimerkiksi automaatiota useammille toiminnoille ja useampien tai erilaisten anturien käyttöä parametrien hallintaan. Esimerkiksi ilmanvaihdon optimointiin voidaan ottaa lisäksi CO₂-mittaus. Optimoinnin vuoksi myös läsnäolotunnistuksen käyttö tulee lisääntymään, mutta toisaalta integrointi vähentää järjestelmien päällekkäisiä ominaisuuksia ja laitteita. Kokonaisuuden hallinta tuo myös uusia mahdollisuuksia kuten rajoitukset kiinteistön tehonkulutukseen. Kiinteistön huipputehomaksua voidaan hallita pudottamalla osa kuormista kuten osa valaistus- tai lämmitysryhmistä hallitusti verkosta ilman, että toiminta rakennuksessa rampautuu. Kenttätasolta asti kerätty yksityiskohtainen data auttaa kehittämään rakennuksen automaatiojärjestelmää yhä tarkemmin toimivaksi. Tarkoilla käyttöaikatiedoilla voidaan parantaa huollon tarkkuutta ja ajantasaisilla vikailmoituksilla minimoida käyttöhäiriöiden ajat.

Järjestelmätoimittajilta saatujen kommenttien perusteella voidaan vetää joitakin johtopäätöksiä nykyisten rakennusautomaatiojärjestelmien tulevaisuudesta. BACnetin suosio integroivana hallinta- ja automaatiotason järjestelmänä osoittaa vahvaa kasvua etenkin laajoissa hankkeissa. Järjestelmän suosio perustuneekin juuri sen tarjoamiin integrointimahdollisuuksiin. Myös KNX:n tulevaisuus näyttää lupaavalta. LonWorks:n käyttö sen sijaan on kaikkien toimittajakeskustelujen mukaan selvässä laskussa. M-Bus:n suosio näyttää vakaalta, mutta DALI:n ja Modbus:n käytössä ei ollut selvää trendiä. Siirtoväylänä käytetään yhä enemmän IP-verkkoja. Langattomien tiedonsiirtoväylien käyttö rakennusautomaatiossa on kaksitahoista. Toisaalta langattomuus helpottaa suunnittelua ja mahdollistaa maksimaalisen jouston sekä muutoksissa että saneerauksissa, mutta toisaalta langaton verkko kuluttaa energiaa silloinkin kun signaaleja ei kulje. Sekä energiatehokkuuden että tietoturvan kannalta langalliset ratkaisut ovat parhaita.

6 PÄÄTELMÄT JA EHDOTUKSET

Rakennusautomaation tarve tulee lisääntymään sekä energian hinnan nousun vuoksi että rakentamissäästöjen vuoksi. Uusien rakennuskohteiden määrää kompensoi luvanvarainen korjausrakentaminen, jossa lupaharkinnassa huomioidaan myös energiatehokkuuden parantaminen. Vuonna 2015 voimaan tullut energiatehokkuuslaki velvoittaa suuryritykset katselmoimaan säännöllisesti energiankäyttöään ja etsimään säästökohteita. Teollisuustuotannon väheneminen Suomessa näkyy puolestaan rakennuskannassa uuden kerrosalan vähenemisenä (Kuva 43).

Osajärjestelmien integrointi kiinnostaa sekä käyttäjiä että laitetoimittajia. Olemassa olevasta rakennusautomaatiokannasta suurin osa on erillisjärjestelmiä, jolloin kokonaisuudenhallinnassa tulee riittämään haastavaa työtä. Integroidun ja hajautetun järjestelmän hankintakustannukset saattavat olla perinteisiä erillisjärjestelmiä suuremmat. Ymmärtämällä kustannusten jakautuminen elinkaarelle sekä kokonaisuudenhallinnalla saatava lisähyöty, osoittautuu integroitu järjestelmä todennäköisimmin ajan mittaan myös taloudellisesti edullisemmaksi vaihtoehdoksi.

Taloudelliset vastuut rakennusalalla ovat suuret ja ala on tiukasti kilpailtu, jonka vuoksi useat toimijat pelaavat varman päälle. Riskien minimoimiseksi ja aikataulujen lyhentämiseksi sekä suunnittelutoimistoilla että urakoitsijoilla on houkutus käyttää tuttua ja koeteltua tekniikkaa uusien järjestelmien sijaan. Kiireen vuoksi lyhyen ajan kustannukset puolestaan mielellään minimoidaan jättämällä uusien järjestelmien koulutustarpeet huomiotta. Tällä hetkellä ala on kasvussa, mutta toiminnan ja osaamisen taso alalla on melko kirjavaa ja parantamiselle on varaa.

Rakennusautomaation käsite on liukuva. Joillekin se tarkoittaa edelleen pelkästään perinteistä LVI-automaatiota, mutta laajemmin ajatellen se kattaa kaiken rakennuksen toimintoihin liittyvän automaation. Osasyynä epäselvyyteen on kilpailuttamista, jossa automaatiosuunnittelu usein kilpailutetaan yhdessä LVI-suunnittelun kanssa. Rakennuksen kokonaisautomaatioon kuuluu kuitenkin useita erilaisia järjestelmiä. Tämä onkin herättänyt kysymyksen kannattaako rakennusautomaatiosuunnittelua tehdä LVI-osastolla, sähköosastolla vai kokonaan omana toimintonaan.

6.1 Ongelmakohdat

Rakennusautomaation rajapinnat muihin osa-alueisiin ovat melko yleinen kipupiste sekä suunnittelussa että toteutuksessa. Koska rakennusautomaatio nivoutuu useaan eri järjestelmään, on osapuolten välinen hyvä kommunikointi työn sujuvan etenemisen edellytys. Vastuut, aikataulut sekä luovutusprosessit tulee määrittää tarkasti ja projektipäällikön tulee olla tehtäviensä tasalla. Vastuumäärittely pätee myös hankintamenettelyyn.

Hajautettujen järjestelmien suunnittelussa osaamisen taso on vielä vaihtelevaa. Rakennusautomaatiota opetetaan Suomessa harvassa oppilaitoksessa, totuttujen suunnittelutapojen painolasti on suuri ja myös kilpailutustapa on ylläpitänyt vanhoja toimintamalleja. Vaikka hajautetut järjestelmät eivät ole uusia tekniikoita, ovat ne vasta viime vuosina alkaneet selvästi yleistyä, jolloin myös tarve suunnitteluosaamiselle on kasvanut. Hajautettujen järjestelmien suunnittelun dokumentointiin on myös panostettava enemmän työtä ja aikaa. Tiukasti kilpaillulla alalla tämän lisätyön veloittaminen tilaajalta voi aiheuttaa tappion tarjouskilvassa perinteisen järjestelmän eduksi.

Osajärjestelmien integroinnissa törmätään käytännön ongelmiin eri protokollia käyttävien laitteiden yhteensopivuudessa. Gatewayn käyttö järjestelmien välillä toimii periaatteessa hyvin, mutta varmintä toiminta on samaa protokollaa käyttävien laitteiden välillä. Pitkällä aikavälillä integroiduissa laitteistoissa tehtävien päivitysten vaikutus kokonaisuuden toimivuuteen herättää käyttäjissä epäilyjä, ja toisinaan ohjelmapäivitysten takia joudutaankin räätälöimään muita osa-ohjelmistoja. Räätälöinti puolestaan toimii avoimuutta ja laitteiden vaihdettavuutta vastaan. Integroitujen laitteistojen huolto ja ylläpito vaatii monipuolista osaamista, jolloin myös huollon koulutukseen on panostettava.

6.2 Ehdotukset

Opinnäytetyössä syntyneet Elomatic Oy:tä koskevat ajatukset on esitetty liitteessä 3. Julkisesta versiosta liite on poistettu.

LÄHTEET

Avoimen rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelu. 2008. ABB, BACnet forum Helsinki 2008. Viitattu 14.4.2015.

https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/as-0.1502/luennot/AS-0_1502_bacnet_avoimen_rakennusautomaation_suunnittelu.pdf

Building automation – impact on energy efficiency. Siemens Ltd. Viitattu 15.5.2015.
<http://www.siemens.com/bt/file?soi=A6V10258635>

Communication in building automation. Siemens Ltd. Viitattu 5.5.2015.
<http://www.siemens.com/bt/file?soi=A6V10209534>

DALI manual. DALI working party. Viitattu 23.3.2015.
http://www.dali-ag.org/fileadmin/user_upload/pdf/news-service/brochures/DALI_Manual_engl.pdf

Davis, A. 2011. Open Systems - Is an Open Protocol Enough? AutomatedBuildings.com October 2011. Viitattu 14.4.2015. <http://www.automatedbuildings.com>

DESIGO S7 – industrial building automation. Siemens Ltd. Viitattu 5.5.2015.
<http://www.siemens.com/download?A6V10222412>

EnOcean www-sivut. Viitattu 11.4.2015.
<https://www.enocean.com/en/energy-harvesting-wireless/>

Ensto Pro www-sivut. Viitattu 23.3.2015.
<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/enstopro.html>

Esimerkki liikerakennuksen järjestelmäkaaviosta. ABB Oy. Viitattu 27.3.2015.
http://www.asennustuotteet.fi/documents/Attachments/Esimerkki_liikerakennuksen_kaaviosta_netti.pdf

Genet, J-P., Schubert, C. Designing a metering system for small and medium sized buildings. Schneider Electric. Viitattu 15.5.2015. <http://www.schneider-electric.com/ww/en/download/1555889-WhitePaperLanding>

Granzer, W., Kastner, W. & Reinisch, C. 2008. Gateway-free Integration of BACnet and KNX using Multi-Protocol Devices. Wien. Vienna University of Technology.

Hebert, D. 2014. Combining building and process automation systems. Control Global November 2014. Viitattu 15.5.2015. <http://www.controlglobal.com/>

Introduction to BACnet. 2014. BACnet International. Viitattu 20.4.2015.
<http://bacnet.membershipsoftware.org/files/Homepage-Introduction%20to%20BACnet/BACnet%20Introduction%20-%20V3-1.pdf>

Introduction to BACnet for building owners and engineers. 2014. BACnet International. Viitattu 20.3.2015.

<http://bacnet.membershipsoftware.org/files/Homepage-Introduction%20to%20BACnet/BACnet%20Introduction%20-%20V3-1.pdf>

Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät, ST-käsikirja 21. 2006. Tampere: Sähköinfo Oy

KNX basics. KNX Association. Viitattu 25.3.2015.

http://www.knx.org/media/docs/downloads/KNX-Flyers/KNX-Basics/KNX-Basics_en.pdf

KNX communication, basic course. KNX association. Viitattu 15.4.2015.

<http://www.knx.org/media/docs/KNX-Tutor-files/Summary/KNX-Communication.pdf>

KNX kiinteistöautomaattioratkaisuja kaikenlaisiin rakennuksiin. Schneider Electric. Viitattu 25.3.2015.

http://www.schneider-electric.fi/documents/fi_luettelot/KNX_luettelo.PDF

KNX -taloautomaatio, järjestelmäopas. ABB. Viitattu 15.4.2015.

http://installationsprodukter.se/documents/Esitteet/KNX_Jarjestelmaopas_92012.pdf

Korjausrakentaminen Suomessa. 2013. Työterveyslaitos. Viitattu 8.4.2015.

http://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/Documents/Korjausrakentaminen_Suomessa.pdf

Kumpulainen, V. 2014. Kiinteistöautomaation ratkaisujen yhteensopivuus edistää järjestelmien integraatiota. Plaani 4, 20-25.

Kumpulainen, V. 2014. Rakennusautomaatio ja sähkösuunnittelu. Plaani 4, 8-11.

M-Bus mittariluentajärjestelmä, suunnitteluohjeet. 2009. Saint-Gobain Pipe Systems. Viitattu 1.4.2015.

<http://www.sgps.fi/linkkitiedosto.asp?taso=2&id=24>

MatrikonOPC. Introduction to OPC for Building Automation. Viitattu 22.4.2015.

<http://www.automation.com/library/articles-white-papers/building-automation/introduction-to-opc-for-building-automation>

Modbus over serial line. Specification and implementation guide v.1.02. 2006. Viitattu 1.4.2015

http://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf

Piikkilä, V. 2004. LonWorks-tekniikan perusteet. Tampere: Tammertekniikka

Rakennusautomaatiojärjestelmä Siemens Desigo. 2013. Aalto-yliopiston luentomateriaali, Automaatio 2, luento 3. Viitattu 15.4.2015.

https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/as-0.1502/luennot/AS-0_1502_rakennusautomaatiojarjestelma_siemens_desigo.pdf

Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen. Perusteet ja opas. 2012. ympäristöministeriö. Viitattu 20.5.2015.

http://www.avoinautomaatio.fi/doc/standardi_sfs-en_15232/Rakennusten-automaaation-vaikutus-energiatehokkuuteen.pdf

Rakennusten energiatehokkuus. ABB Oy. Viitattu 20.5. 2015.

http://www.asennustuotteet.fi/documents/Esitteet/rakennusten_energiatehokkuus_FI_N_11-2011.pdf

Schneider Electric, Kalevi Härkönen. 2013. Schneider Electric KNX koulutusmateriaali 11.2013.

Senaatti Kiinteistöt. Palaveri 2015.

SESKO ry 2013. SFS-käsikirja 670-5. Helsinki: SFS ry

Sinopoli, J. 2011. The unstoppable momentum for open and integrated building systems. Smart Buildings, LLC. Viitattu 15.4.2015.

<http://www.smart-buildings.com/uploads/1/1/4/3/11439474/2011novercriticalmas.pdf>

Smart Buildings Institute www-sivut. Viitattu 14.4.2015.

<http://www.smartbuildingsinstitute.org/>

ST 710.00. Rakennusautomaatiojärjestelmän säädökset, määräykset, standardit ja ohjeet. 2014. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 1.4.2015.

<http://severi.sahkoinfo.fi/>

ST 710.01. Avointa väyläteknikkaa hyödyntävän hankkeen yleisohje. 2015. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 1.4.2015. <http://severi.sahkoinfo.fi/>

ST 710.30. Talotekniikan hajautetut tietojärjestelmät. Peruskäsitteet ja suunnittelun yleisohje. 2005. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 1.4.2015.

<http://severi.sahkoinfo.fi/>

Suomen automaatioverkkojen haavoittuvuus. 2013. Aalto-yliopisto. Viitattu 1.4.2015. <https://research.comnet.aalto.fi/public/Aalto-Shodan-Raportti-julkinen.pdf>

Swan, B. Internetworking with BACnet. 2009. Viitattu 23.4.2015.

<http://www.bacnet.org/Bibliography/ES-1-97/ES-1-97.htm>

Sähköisen talotekniikan järjestelmät, yleiskaapelointi. 2014. Aalto-yliopiston luentomateriaali, sähkö- ja valaistustekniikan perusteet. Viitattu 15.4.2015.

https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/s-118.2240/luennot/S-118_2240_kalvot.2240_sahkoisen_talotekniikan_jarjestelmat_yleiskaapelointi_2014.pdf

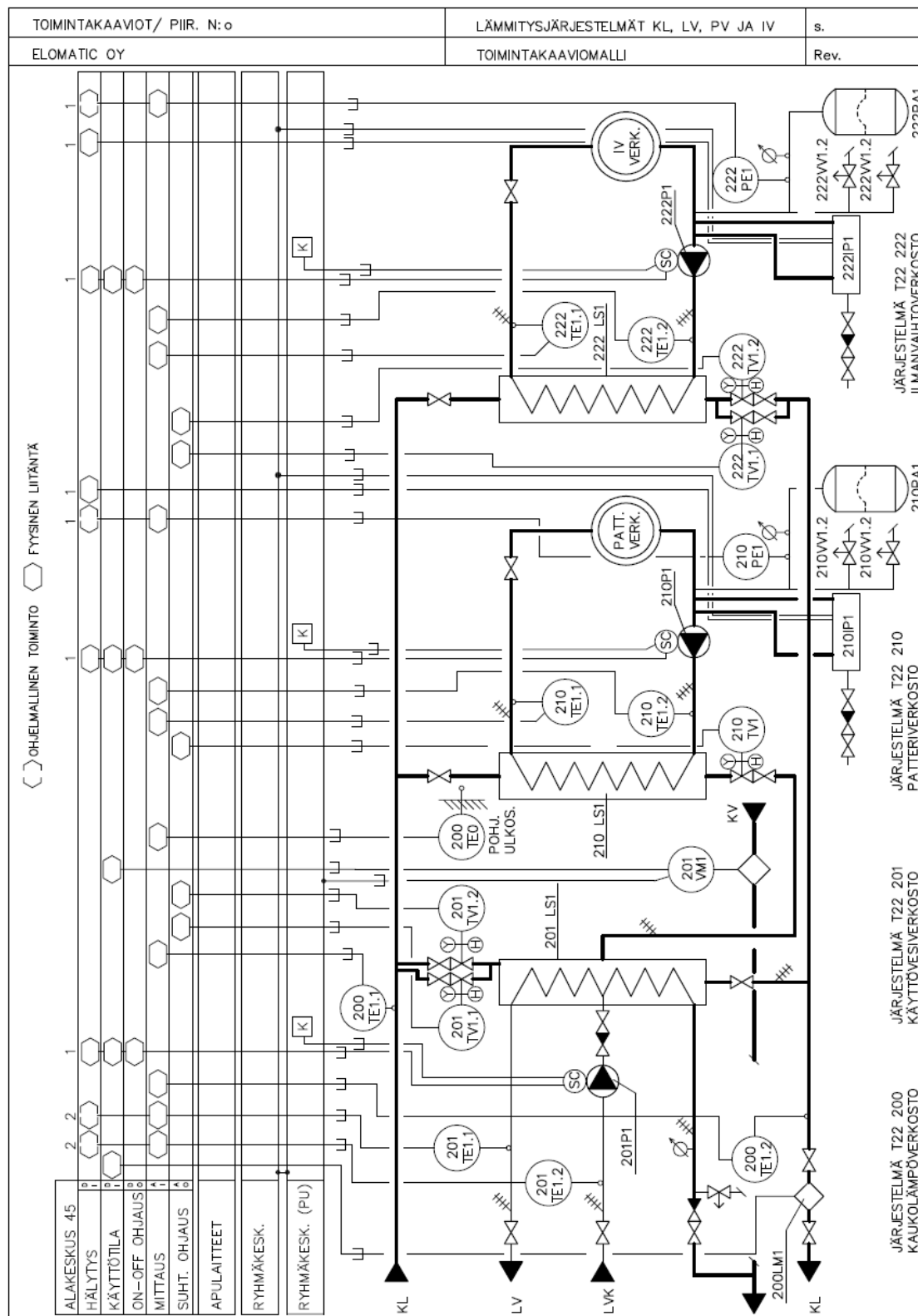
The M-Bus: A documentation rev 4.8. 1998. Viitattu 1.4.2015.

<http://www.m-bus.com/>

Valli, M. 2014. Veijo Piikkilä laajentaisi suunnittelijoiden työmaata. Plaani 4, 12-13.

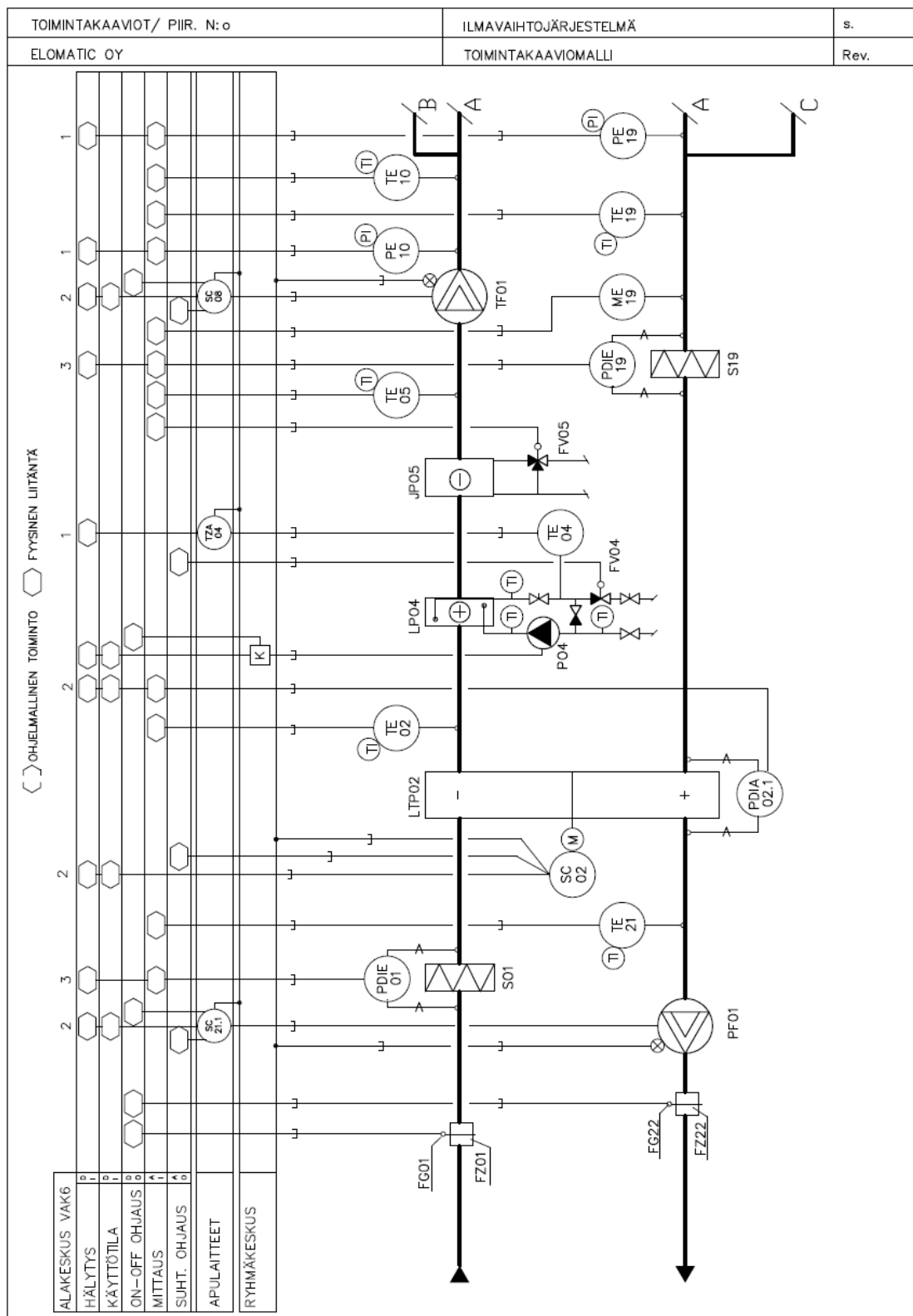
LIITE 4

DDC-SÄÄTÖKAAVIO, LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT



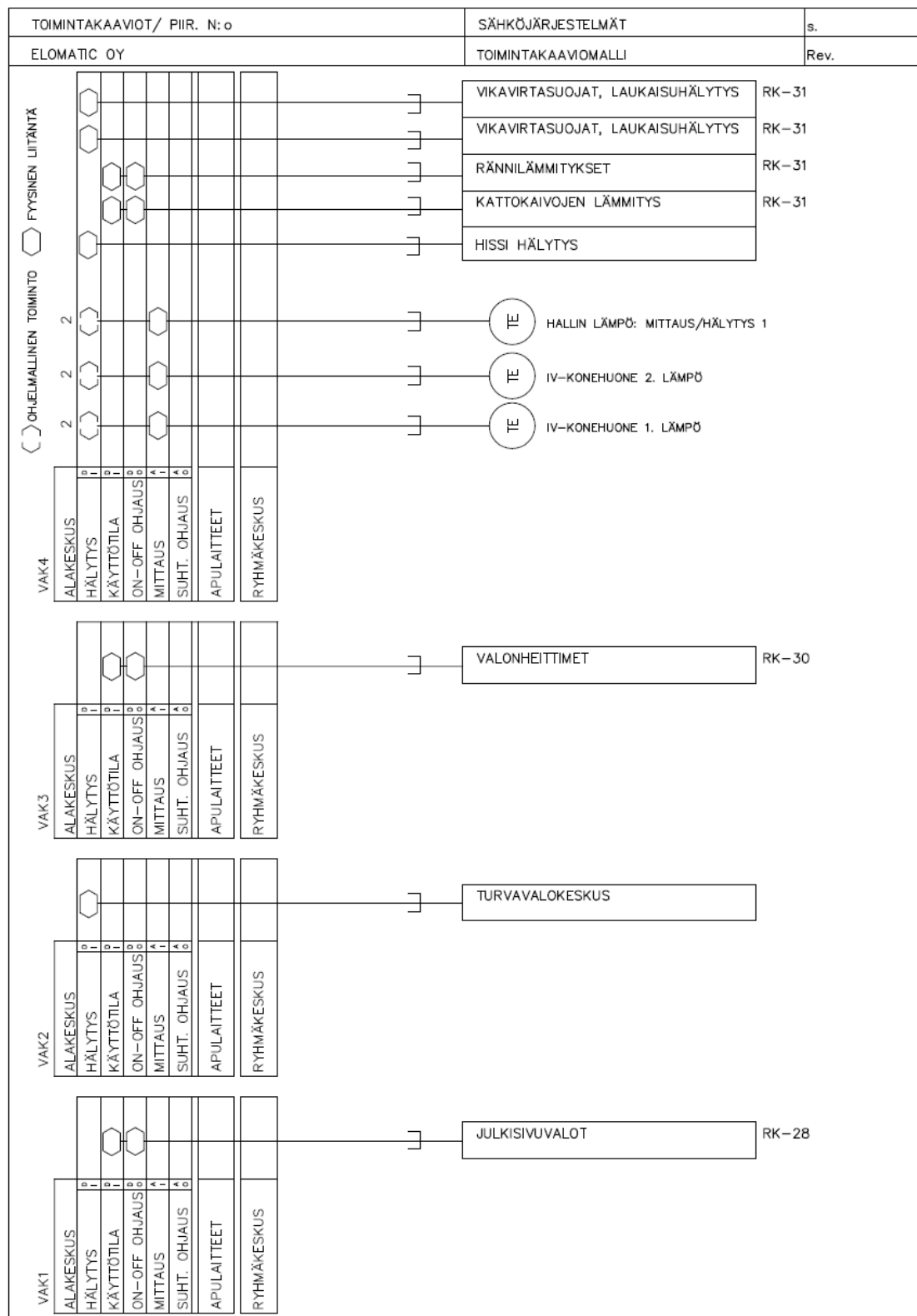
LIITE 5

DDC-SÄÄTÖKAAVIO, ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄ



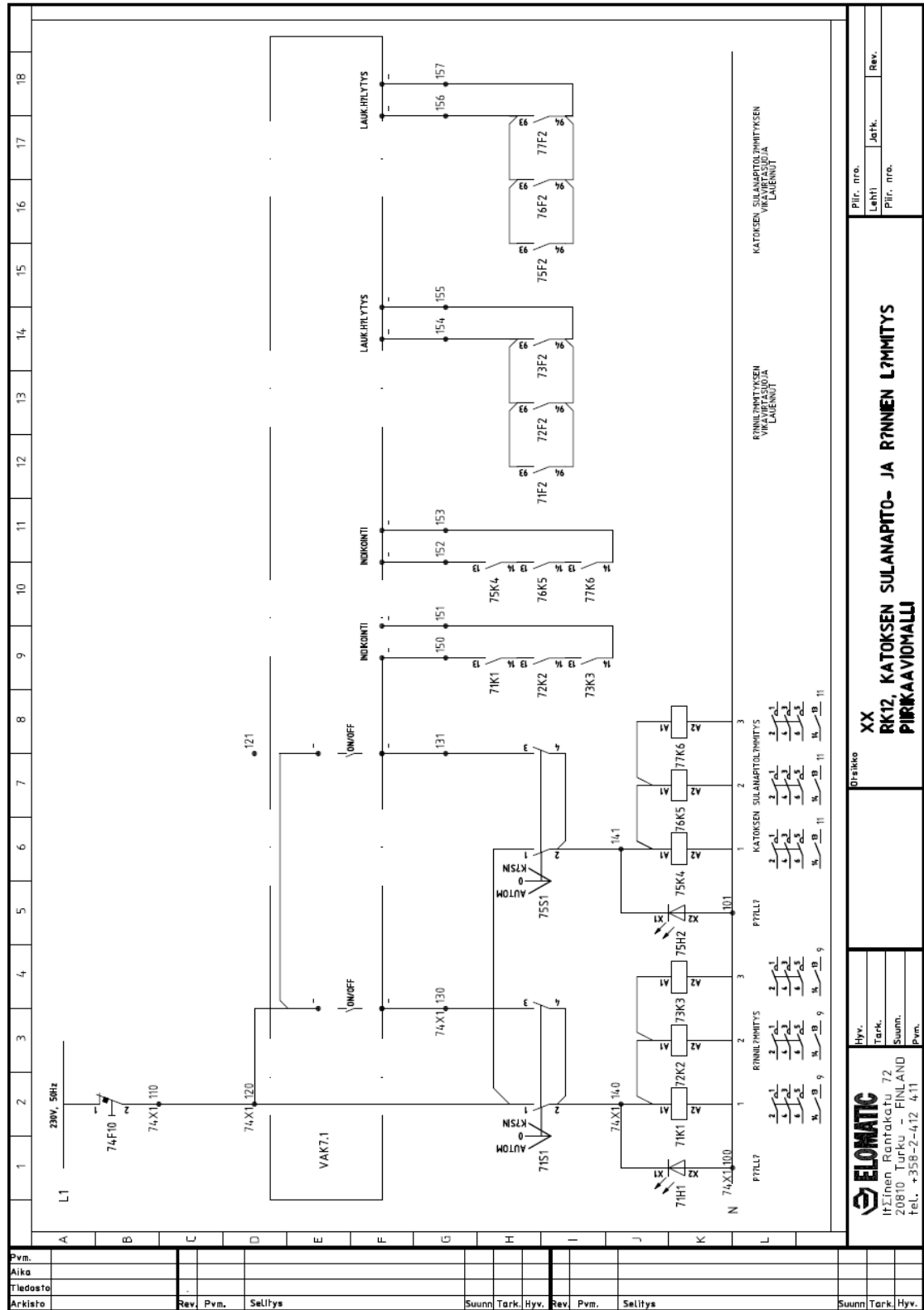
LIITE 6

DDC-SÄÄTÖKAAVIO, SÄHKÖJÄRJESTELMÄT



LIITE 7

RYHMÄKESKUKSEN PIIRIKAAVIO



Pvm.		Rev.		Selitys		Suunn.		Tark.		Hyv.		Pvm.		Rev.	
Aika		Lehti		Jatk.		Pilt. nro.		Pilt. nro.		Pilt. nro.		Pilt. nro.		Rev.	
<p>ELOMATIC Inženierintalon 20810 Turku - FINLAND Tel. +358-2-412 411</p>														<p>Otsikko XX RYNNÄLÄMMITYS KATOKSEN SULANAPITO- JA RYNNEN LÄMMITYS PIIRIKAAVIO</p>	

LIITE 9

Esimerkki liikerakennuksen järjestelmäkaaviosta KNX:llä

ABB Oy

