

# Kiinteistöautomaatio

Suunnittelun haasteena ja kunnossapidon tulevaisuutena



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Valkeakoski, Sähkö- ja automaatiotekniikka

Syksy, 2018

Tero Haverinen

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Valkeakoski

---

Tekijä	Tero Haverinen	Vuosi 2018
Työn nimi	Kiinteistöautomaatio - Suunnittelun haasteena ja kunnossapidon tulevaisuutena	
Työn ohjaaja	Timo Väisänen	

---

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa kiinteistöautomaatiojärjestelmien nykytilaa, tulevaisuuden näkymiä sekä niiden tarjoamia mahdollisuuksia. Työn lähtökohtana tutustuttiin kiinteistöautomaation tiedonsiirtoon hajautetun järjestelmän kannalta, sekä rakennettiin testiympäristö, jolla haettiin käytännönläheisyyden tuomaa näkökulmaa eri toteutustapojen ja tekniikoiden hyödynnettävyydelle.

Työn tavoitteena oli toteuttaa myös esimerkkisuunnitelma, jossa pyrittiin luomaan perinteisestä sähkö- ja automaatio suunnitelmasta sellainen kokonaisuus, joka täyttää myös tietomallipohjaisen suunnittelun kriteerit. Jatkotutkimuksena selvitettiin myös sitä, kuinka toteutettua tietomallia voidaan tulevaisuudessa hyödyntää paremmin niin suunnittelun kuin kunnossapidonkin näkökulmasta.

Lopputuloksena saatiin rakennettua toimiva testiympäristö havainnollistamaan työn teoriaosuudessa tutkittuja tekniikoita ja niiden variaatioita. Testiympäristöön läheisesti liittyvän suunnitelman toteutus tietomallipohjaisena itse rakennuksen digitaalisessa mallissa, koettiin myös olevan käyttökelpoinen monilta osin. Siihen onnistuttiin tuomaan sellaisia ominaisuuksia, joita voidaan tulevaisuudessa hyödyntää suunnittelun tukena sekä myöhemmin soveltaa kunnossapidon apuvälineenä.

Avainsanat BACnet, langaton tiedonsiirto, tietomallinnus

Sivut 56 sivua

Electrical and Automation Engineering  
Valkeakoski

---

Author	Tero Haverinen	Year 2018
Subject	Building automation - The challenge of design and the future of maintenance	
Supervisors	Timo Väisänen	

---

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to explore the current state of overall building automation systems, their prospects of the future and the opportunities they offer. The starting point for this study was to examine the data communication techniques of a decentralized building automation system. The test environment was also built in order to gain a pragmatic perspective on the usability of different implementation methods and techniques.

An additional aim of this project was to carry out a plan from a traditional electrical and automation design, which also meets the criteria for building information modeling. A further study also explored how the building information model could be better utilized in the future, from both a design and a maintenance point of view.

As a result, a working test environment was created to illustrate the techniques and their variations studied in the theoretical part of the work. The implementation of the plan which closely related to the test environment in the form of a building information model was also found to be useful in many respects. The plan succeeded in pointing out the features that could be used in the future to support the design work and would later be used as a maintenance tool.

Keywords BACnet, wireless automation, BIM

Pages 56 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	HAJAUTETUN KIIINTEISTÖAUTOMAATION RAKENNE.....	2
3	KIIINTEISTÖAUTOMAATION TIEDONSIIRTO .....	3
3.1	BACnet .....	3
3.2	BACnet ja IoT.....	9
3.3	Zigbee .....	10
3.4	EnOcean .....	13
3.5	DALI .....	16
3.6	DALI-BACnet integraatio.....	17
4	KÄYTÄNNÖN TESTIYMPÄRISTÖ .....	19
4.1	Automation Server .....	20
4.2	SE8300 .....	21
4.3	Multi Purpose Manager.....	21
4.4	Smartlink.....	27
4.5	Power Monitor Expert.....	29
5	CADS ELECTRIC PRO .....	32
6	KIIINTEISTÖN SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOSUUNNITTELU .....	35
6.1	Kiinteistöautomaation suunnittelu .....	35
6.2	LVI-suunnitelmasta tuotavat tiedot .....	40
6.3	Valaistuksen suunnittelu .....	42
7	BIM JA TIETOMALLINNUS.....	42
7.1	IFC-malli .....	43
7.2	Kiinteistöautomaation tietomalli.....	44
7.3	Yleinen tietomallivaatimus YTV2012 .....	46
8	TIETOMALLIN HYÖDYNNETTÄVYYS.....	47
8.1	Tietomallintiedon käyttö .....	48
8.2	DIALux.....	53
8.3	BIM soveltuvuus.....	54
9	YHTEENVETO.....	55
	LÄHTEET.....	57

## 1 JOHDANTO

Nykypäivän kiinteistöautomaatio on kehittynyt vuosien varrella verrattain hitaasti olemassa olevien tekniikoiden mahdollisuuksiin verrattuna. Teollisuudessa automaation kehitys on huomattavasti nopeampaa ja alan uudet trendit myös saavat useasti alkunsa sieltä. On toki huomioitava, että kun teollisuudessa käytetyt tekniikat pyrkivät optimoimaan tuotantolinjoja ja tehostamaan niiden toimintaa, on kyseessä yleensä suora tuotto prosessista. Kiinteistöautomaation tuomat edut eivät ole aistittavissa välittömästi, joka osaltaan on hidastanut niiden kehitystä. Nykypäivän tiukentuneet vaatimukset esimerkiksi energiatehokkuuden ja sisäilman laadun suhteen ovat kuitenkin edesauttaneet uusien tekniikoiden kehitystä. Tämä on luonut myös tarpeen valmistajille alkaa kehittämään tuotteitaan enemmän juuri kiinteistöautomaation tarpeisiin.

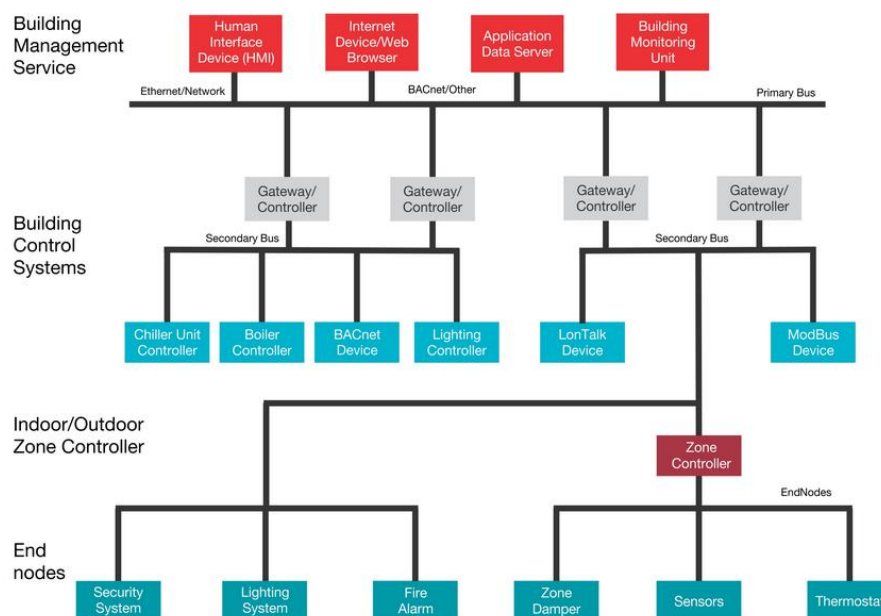
Tänä päivänä ollaankin tilanteessa, jossa teknologiat älykkäiden kokonaisuuksien toteuttamiseksi on olemassa. Seuraava askel on se, miten näitä tekniikoita pystytään ja halutaan hyödyntää niin, että ne palvelevat paremmin kiinteistöjä niiden hallinnan, seurannan ja kunnossapidon kannalta. Suunnittelun kannalta tämä luo uuden haasteen uusien teknologioiden ja useiden eri protokollien tiedostamisen ja käyttötarkoitusten osalta. Koska nykypäivän kiinteistöautomaatio sisältää lähes kaikki rakennuksen automatisointiin ja valvontaan liittyvät osa-alueet, vaatii alan asiantuntijuus myös useiden eri kokonaisuuksien hahmottamista sekä niiden ymmärtämistä myös käytännön tasolla. Työn tavoitteena onkin saada peruskäsitys nykypäivän kiinteistöautomaation rakenteesta ja siihen käytetyistä tekniikoista niin teorian kuin käytännönkin avulla.

Kiinteistöautomaation suunnittelu on myös rakenteeltaan menossa yhä etenevässä määrin tietomallipohjaiseksi, joka osaltaan luo uutta osaamisen tarvetta myös suunnittelijoilta. Perinteisesti rakennusten tietomallit keskittyvät pääosin itse rakentamiseen ja sen eri vaiheiden analysointiin. Sähkö- ja automaatio suunnittelun osuus mallien yhtenä merkittävänä osana on kasvamassa, mutta sen käyttö rakennuksen valmistumisen jälkeen on vielä verrattain vähäistä. Siitä syystä myös sen käytön hyödynnettävyyden tutkimiselle nähtiin olevan tarvetta. Työssä tutkitaankin tietomallin käyttöä juuri siitä näkökulmasta, mitä sen tehokkaalla käytöllä voidaan saavuttaa ja kuinka sitä pystytään hyödyntämään paremmin

## 2 HAJAUTETUN KIIINTEISTÖAUTOMAATION RAKENNE

Perinteisesti kiinteistöautomaatio on rakentunut vahvasti siihen, että järjestelmä koostuu valvonta-alakeskuksista, jossa tilojen automaatiolaitteet on kaapeloitu keskuksen I/O-pisteisiin. Koko keskus on yksi toimiva kokonaisuus, josta tieto päivitetään valvomoon erilaisia tiedonsiirtoprotokollia hyväksi käyttäen. Tämä on kohtalaisen selkeä rakenne koko järjestelmälle, mutta kohtalaisen työläs toteuttaa suuren kaapelointi- ja kytkentämäärän ansiosta. Lisäksi yhteen pisteeseen kytkettyjen pisteiden suuri määrä tarkoittaa myös sitä, että vikaantuessaan se aiheuttaa myös monen osa-alueen toimintojen lamaantumisen samanaikaisesti. Tällaisten järjestelmien muunneltavuus ja skaalautuvuus ovat myös vaikeammin toteuttavissa, eivätkä ne palvele tulevaisuuden tarpeita niin hyvin kuin olisi mahdollista. (Piikkilä 2017, 63)

Automaatiojärjestelmän rakenne, jota tässäkin työssä tarkastellaan, perustuu perinteisestä keskitetystä mallista poiketen nykyään enemmän käytettyyn itsenäiseen, avoimeen ja hajautettuun malliin. Hajautetussa järjestelmässä kiinteistöautomaation rakenne muodostuu pääosin erilaisista älykkäistä solmupisteistä, joihin kaikki kentällä olevat laitteet linkittyvät eri protokollia hyväksi käyttäen, joko langattomasti tai valitun väylän kautta. Nämä pisteet taas liittyvät niin sanottuihin ylemmän tason operaattoreihin, jotka valvovat osakokonaisuuksia sekä vaihtavat tarvittavat tiedot ylimmän hallintatason kanssa (Kuva 1). Tällaisessa järjestelmässä äly on hajautettu palvelemaan aina tietyn osan tai osa-alueen toimintoja, jotka eivät ole riippuvaisia toisistaan. (Piikkilä 2017, 135).



Kuva 1. Hajautetun mallin periaatekaavio. (ElectronicDesign n.d.)

Hajautetussa järjestelmässä valvomotasokaan ei aina tarkoita ainoastaan sitä fyysistä valvomoa, josta kiinteistön tapahtumia tarkastellaan. Sen tehtävänä on enemmänkin kerätä kaikki tieto yksittäisiltä osa-alueilta, jotka toimivat itsenäisesti ja muodostaa niistä ymmärrettävä kokonaisuus. Korkeamman tason hallintapalvelut ovat myös lähes poikkeuksetta serveripohjaisia ja tietokantoihin perustuvia. Tällaiset järjestelmät mahdollistavat myös suuren datamäärän keräämiseen ja raportoinnin määriteltujen tietojen perusteella. Data-analyytit ovatkin osa älykkään kiinteistön tulevaisuutta ja kehittyvät pienin askelin kohti enemmän ja enemmän automatisoituja käytäntöjä.

### 3 KIINTEISTÖAUTOMAATION TIEDONSIIRTO

Nykypäivän kiinteistöautomaation tiedonsiirto perustuu hyvin pitkälle tekniikkaan, joka hyödyntää kiinteistön olemassa olevaa Ethernet-verkkoa. Vanhat kiinteistöautomaation protokollat kuten BACnet ja Modbus ovat edelleen vahvasti osana järjestelmää, mutta uudistuneet suurimmalta osin TCP/IP -rajapintaan, joka on mahdollistanut niiden monipuolisemman käytön. Pitkä kehitystyö esimerkiksi BACnetin soveltuvuudesta kiinteistöautomaatiossa, on tekemästä siitä yhtä voimakkaimmin kasvavaa tiedonsiirtoprotokollaa. (Salo 2017, 12). Tämän perusteella se on myös laajimman tarkastelun alla, tutkittaessa kiinteistöautomaation tiedonsiirtoa.

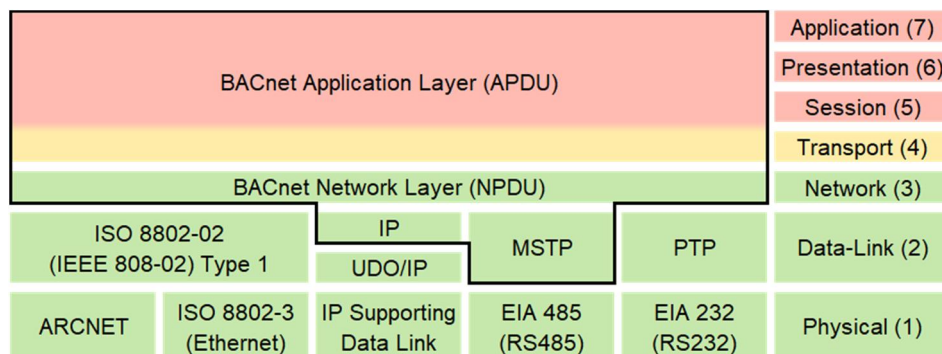
Toimilaitteiden edelleen ollessa suurimmaksi osaksi kytkettyinä kiinteään sähkönsyöttöön, on niiden liittämiseksi kiinteistöautomaatiojärjestelmiin tullut useita langattomia tekniikoita kuten Zigbee, EnOcean ja Zwave. Langattomien tekniikoiden kehitys on myös tullut siihen pisteeseen, että niiden käyttövarmuus pystyy palvelemaan haastavampienkin kohteiden toteutusta. Langattomien tekniikoiden käytön suurimpia etuja onkin luonnollisesti kaapeloinnin väheneminen, helpompi muokattavuus ja parempi skaalautuvuus.

#### 3.1 BACnet

BACnet (Buildin Automation and Control Network) protokolla on kehitetty vastaamaan nimenomaan kiinteistöautomaation asettamiin haasteisiin. Se on tarkkaan standardisoitu, koska sen päätarkoituksena on ollut luoda yhteinen kieli kiinteistöautomaation kaikille osa-alueilla laitevalmistajasta riippumatta. BACnet ei ole varsinaisesti kenttäväylä, vaan nimenomaan tiedonsiirtoprotokolla. Sen tehtävänä ei ole pelkästään tarjota väylää lait-

teiden liittämiseen, vaan toimia älykkäänä kokonaisuutena, joka tarjoaa eri tasojen välille tarvittavia toimintoja ja palveluita. (Salo 2017, 11)

BACnet-verkon rakenne on määritelty OSI-mallin (Kuva 2) mukaan niin, että sovelluskerros toimii aina tiedon pääasiallisena lähteenä. Tähän liittyvä tiedonsiirtokerros käsittelee itse tiedon välityksen ja sen, mitä fyysistä rajapintaa eri laitteiden tiedonsiirron välillä käytetään. BACnetin sovelluskehys on siis aina samanlainen, oli se kytkettynä väylään sitten kierrettyä parikaapelilla tai Ethernet-verkkoon IP-pohjaisena. Tämä tekee myös väylän tiedon välittämisen eri tasojen välillä yksinkertaisemmaksi.



Kuva 2. BACnet OSI-malli. (Bacnetstack n.d.)

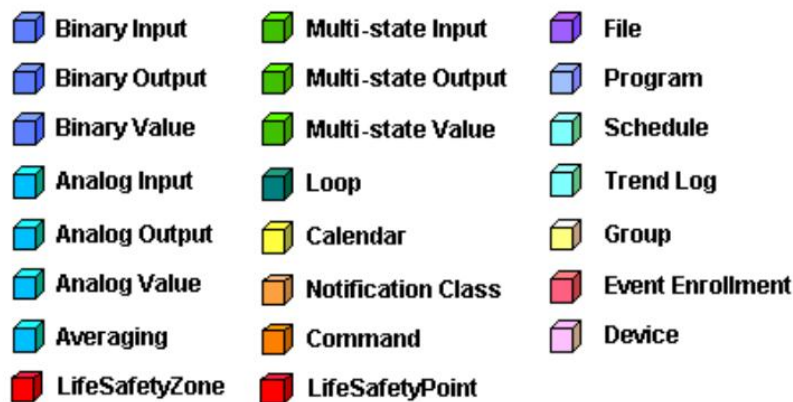
BACnet -arkkitehtuuri on ryhmitelty eri tasoihin sen mukaan mitä toiminnallisuuksia tietty laite sisältää ja minkä tason operaatioita se pystyy suorittamaan (Kuva 3). Kaikkien laitteiden ei siis tarvitse ymmärtää toisiaan, vaan ainoastaan niitä ominaisuuksia, jotka ovat niiden toiminnan kannalta oleellisia. Verkon hierarkia on kuitenkin selkeä niiltä osin, että ylemmän tason laite hallitsee aina kokonaisuuksia, joihin alemman tason laitteet liittyvät. Hallintataso erottuu alemmista tasoista selkeästi sillä, että ne sisältävät kaikki ominaisuudet hälytysten, tapahtumien ja aikataulutusten hallintaan sekä erilaisten datan historiatietojen esitykseen. (BACnet international 2014)

	B-OVS	B-BC	B-AAC	B-ASC	B-SA	B-SS
<b>Data Sharing</b>	DS-RP-A,B	DS-RP-A,B	DS-RP-B	DS-RP-B	DS-RP-B	DS-RP-B
	DS-RPM-A	DS-RPM-A,B	DS-RPM-B	DS-WP-B	DS-WP-B	
	DS-WP-A	DS-WP-A,B	DS-WP-B			
	DS-WPM-A	DS-WPM-B	DS-WPM-B			
		DS-COVU-A,B				
<b>Alarm, Event Management</b>	AE-N-A	AE-N-B	AE-N-B			
	AE-ACK-A	AE-ACK-B	AE-ACK-B			
	AE-INFO-A	AE-INFO-B	AE-INFO-B			
	AE-ESUM-A	AE-ESUM-B				
<b>Scheduling</b>	SCHED-A	SCHED-E,B	SCHED-I-B			
<b>Trending</b>	T-VMT-A	T-VMT-I-B				
	T-ATR-A	T-ATR-B				
<b>Device &amp; Network Management</b>	DM-DDB-A,B	DM-DDB-A,B	DM-DDB-B	DM-DDB-B	DM-DDB-B <sup>1</sup>	DM-DDB-B <sup>1</sup>
	DM-DDB-B	DM-DDB-B	DM-DOB-B	DM-DOB-B	DM-DOB-B <sup>1</sup>	DM-DOB-B <sup>1</sup>
	DM-DCC-A	DM-DCC-B	DM-DCC-B	DM-DCC-B		
	DM-TS-A	DM-TS-B or DM-UTC-B	DM-TS-B or DM-UTC-B			
	DM-UTC-A					
	DM-RD-A	DM-RD-B	DM-RD-B			
	DM-BR-A	DM-BR-B				
	NM-CE-A	NM-CE-A				

Kuva 3. BACnet Interoperability Building Blocks. (Ccontrols n.d.)

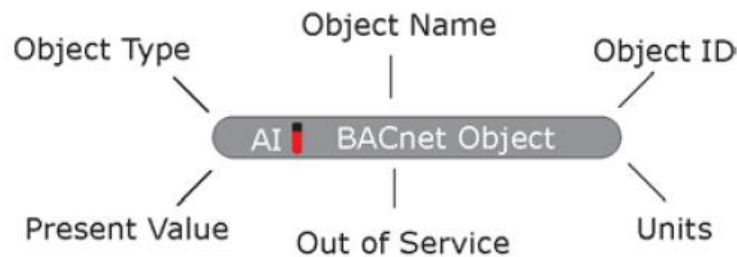
BACnet-verkko muodostuu siis aina ylemmän tason operaattorista, jolla on ominaisuudet hallita verkkoa. Tämä taso tiedustelee verkosta, mitä laitteita siihen kuuluu. Väylän muodostumisessa määritellään osoitealue laitteille, joille lähetetään yhteislähetystenä (broadcast) kysely, johon kaikki tätä komentoa ymmärtävät laitteet vastaavat paluuviestinsä. Tieto sisältää vähintään osoitteen, laitteelle annetun informatiivisen nimen sekä laitteen tarjoamat palvelut. Palveluilla tarkoitetaan käytännössä juuri niitä tietoja, jotka liittyvät laitteen sisältämiin ominaisuuksiin.

BACnet-verkon rakenne perustuu monen muun protokollan tapaan osoitteellisuuteen. Yksilölliset osoitteet, eli niin sanotut instanssit muodostuvat itse BACnet-laitteista, sekä niiden sisältämistä objekteista. Perusobjekteja on yhteensä 23 (Kuva 4), jotka jokainen sisältävät erilaisia ominaisuuksia niiden käyttötarkoituksen mukaisesti. Objekteja voidaan määrittellä myös erikseen, tiettyjen standardin alaisuuksien puitteissa. Perusobjektit ovat kuitenkin suurimmalta osin riittävät perustoimintojen suorittamiseen. (BACnet International 2014).



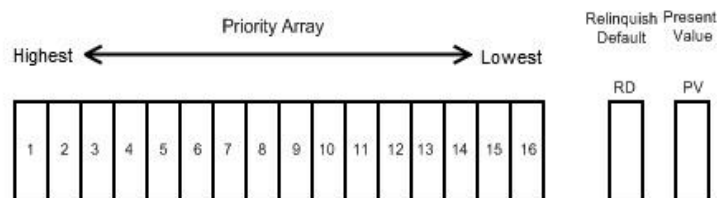
Kuva 4. BACnet-perusobjektit. (BACnetOrg n.d.)

Yksinkertaisimmillaan laite muodostuu yhdestä arvosta, eli objektista (Kuva 5) kuten lämpötila ja siihen liittyvistä ominaisuuksista. Objektien tärkein ominaisuus niiden ohjauksen ja valvonnan kannalta on present value -arvo, joka kertoo sen nykyisen tilan. Tästä arvosta luetaan esimerkiksi anturin analoginen arvo tai digitaalinen tila. Lisäksi se sisältää tiedon objektin statuksesta, nimestä ja arvon mittayksiköstä.



Kuva 5. BACnet-objektin tiedot. (Carrier n.d.)

Yksi olennainen osa BACnet-järjestelmän ominaisuuksia on eri tasojen suorittamien komentojen prioriteetti. Priority array -omaisuus (Kuva 6) sisältää tiedon siitä, mikä ohjainlaitetaso suorittaa korkeimman tason käskyt. Taso 1 on määräävin ja 16 vähiten määräävä. Koska järjestelmä perustuu eri tasojen suorittamiin käskyihin, on ohjelmoijassa valittava mikä taso suorittaa määrittävimmän arvon ohjauksen.



Kuva 6. BACnet Priority array. (Chipkin n.d.)

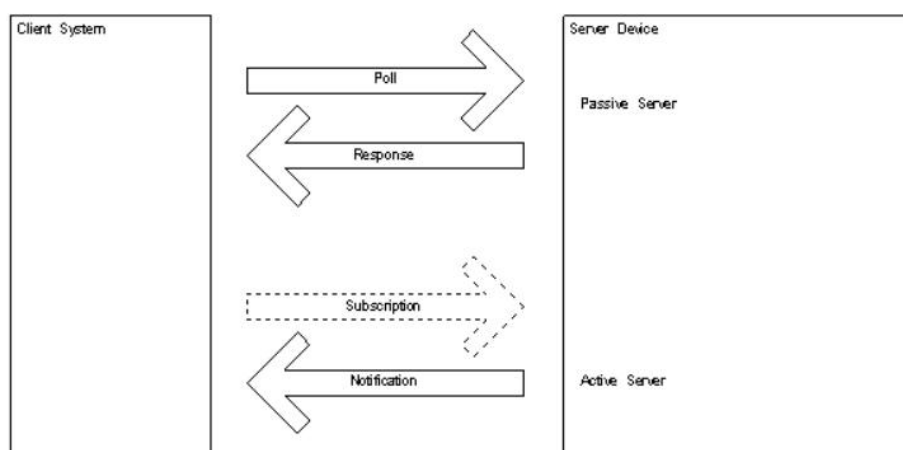
Yleisesti ylemmän tason laite suorittaa ohjauksen korkeammalla prioriteetilla. Asetelma ei kuitenkaan voi olla tällainen, jos alemman tason laite sisältää ohjauksia jotka liittyvät turvallisuuteen tai sen on muuten tarkoitus toimia itsenäisesti, eikä siihen haluta ulkopuolisen ohjaukseen tuomaa haittaa. Siksi näille toiminnoille on myös asetettu joitain oletuskäytömäärittäjiä, jotka selkeyttävät prioriteettien käyttöä (Kuva 7).

Priority	BACnet Priority	Priority	BACnet Priority
1	Manual-Life Safety	9	Available
2	Automatic-Life Safety	10	Available
3	Available	11	Available
4	Available	12	Available
5	Critical Equipment Control	13	Available
6	Minimum On/Off	14	Available
7	Available	15	Available
8	Manual Operator	16	Available (Default)

Kuva 7. BACnet prioriteetit. (Siemens 2009)

Suuremmissa kokonaisuuksissa dataliikenteen määrällä on myös vaikutusta koko järjestelmän toimivuuteen. Tästä syystä tuleekin tarkkailla, kuinka paljon valvottavia objekteja yksi hallintataso sisältää. Kiinteistöautomaatiossa kaikkien arvojen ei tarvitse välttämättä päivittyä kokoajan tietyin väliajoin, vaan voidaan odottaa niiden muutosta. Esimerkiksi lämpötilatiedon ei tarvitse päivittyä jatkuvasti, jos se ei muutu.

Perinteisesti käytössä on niin sanottu passiivinen tapa toteuttaa arvojen kysely. Silloin tietoja kysytään tietyn väliajoin alemmalta tasolta, joihin saadaan vastaus. Tämä ei kuitenkaan ole kovin tehokasta, jos tietoa on paljon, ja lisäksi se aiheuttaa turhaa dataliikennettä väylään. Älykkäämpi tapa toteuttaa kysely on käyttää aktiivimallia, jossa tiedonvaihto laitteen välillä tapahtuu vain silloin kun siihen on tarvetta (Kuva 8).

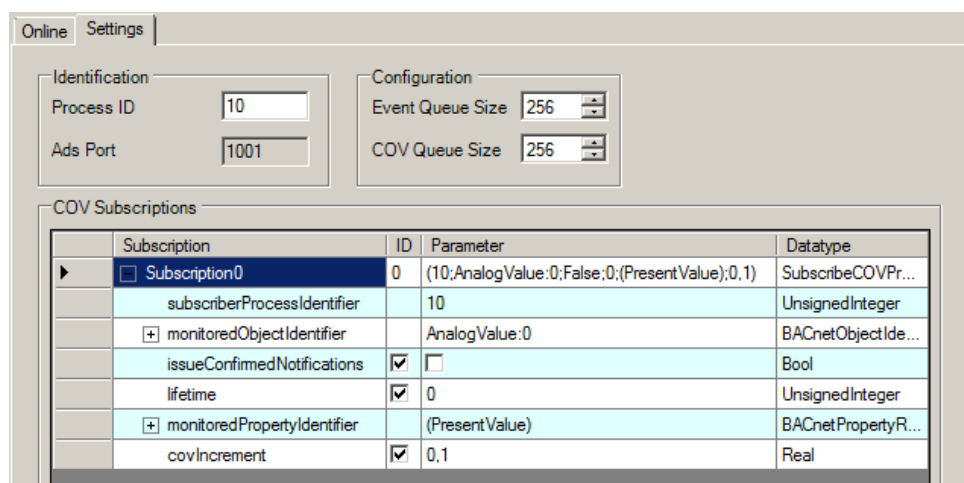


Kuva 8. Aktiivinen ja passiivinen tiedonsiirto. (Chipkin n.d.)

COV (Change Of Value) on BACnet-väylän ominaisuus, joka perustuu nimenomaan aktiivimallin tiedonsiirtoon. Tämä on toiminto, jolla määritel-

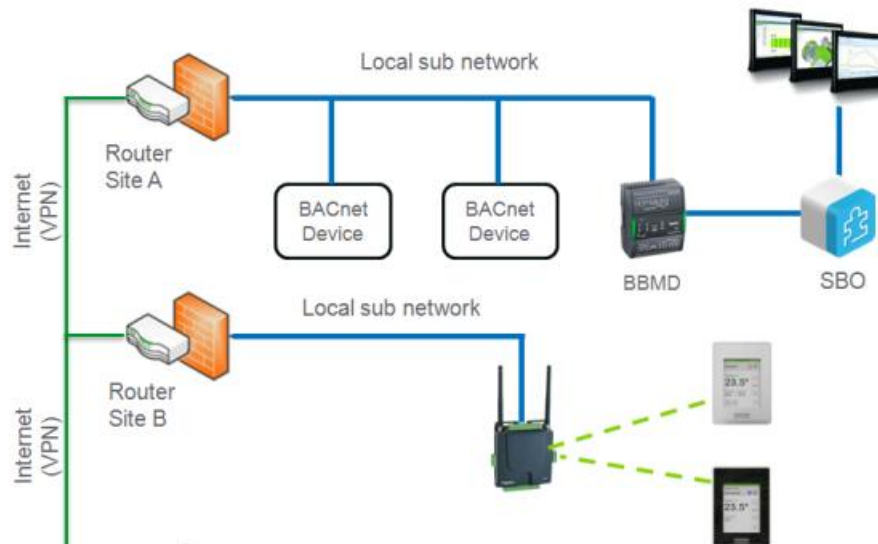
lään laitteen objektin arvolle tieto siitä, että se ilmoittaa oman arvonsa toiselle tasolle vain arvon muuttuessa. Näin eri tasojen välisestä tiedonvaihdosta ei tarvitse kokoajan lähettää pyyntöä kaikista arvoista, vaan yksittäiset arvot päivittyvät automaattisesti vain silloin kun ne muuttuvat. (BACnet International 2014, 8).

Arvolle määritellään myös muuttuja COV-increment tieto siitä, kuinka paljon arvon tulee muuttua, jotta se päivitetään. Vikatilanteiden varalta voidaan määritellä myös muuttujaan jokin aika, jonka jälkeen arvoa yrittään päivittää, jos sitä ei ole automaattisesti saatu. Tämä menetelmä kokonaisuudessaan vähentää väylän dataliikennettä, mutta tieto on kuitenkin olosuhteisiin nähden kokoajan reaaliaikaista.



Kuva 9. BACnet-COV. (Beckhoff n.d.)

BBMD (BACnetIP Broadcast Management Device) hallintateknikka, joka palvelee BACnet-verkon osia, jotka ovat eri aliverkoissa. Koska reitittimet eivät perinteisesti tue suoraan broadcast-lähetystä, on laitteiden data tunnettuva reitittimen läpi. Näin esimerkiksi yhdestä verkon laitteesta tehdään BBMD-yhdyskäytävä, joka välittää broadcast-viestin reitittimen toisella puolella oleville laitteille (Kuva 10).



Kuva 10. BBMD-verkon periaatekuva. (Schneider Electric n.d.)

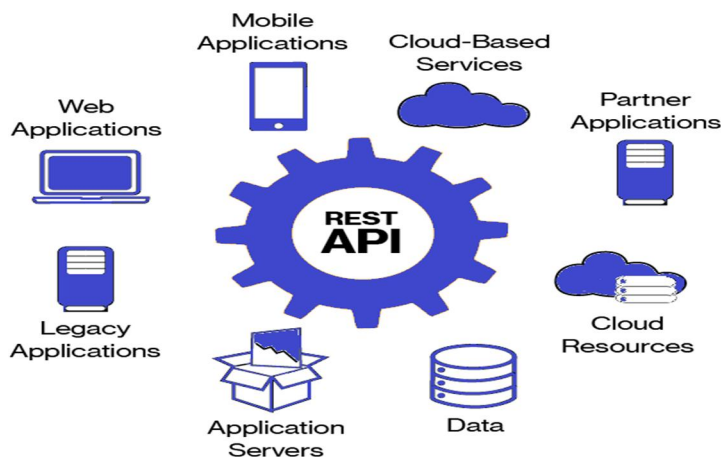
Kaikkien BACnet-laitteiden tulee olla BTL-laboratorion hyväksymiä ja niiden tiedot voidaan myös tarkistaa virallisesti hyväksytyjen laitteiden listauksesta. Tällä taataan avoimen konseptin toimivuus ja se, että kaikki kyseistä protokollaa tukevat laitteet soveltuvat järjestelmiin valmistajasta riippumatta.

### 3.2 BACnet ja IoT

IoT (Internet of Things) on yksi nopeammin kasvavista trendeistä automaatioalalla monessakin yhteydessä. Siksi sen merkitystä on syytä tarkastella myös BACnet-protokollaan liittyen. IoT mielletään yleisesti älykkääksi laitteeksi tai anturiksi, jolle on määritelty jokin tiedonsiirtotapa, jolla sen kommunikoi eri rajapintojen välillä luomalla yhteyden muihin palveluihin ja laitteisiin verkon välityksellä. Se mikä lopulta tekee jostain laitteesta IoT-laitteen, on usein tulkinnanvaraista.

BACnet WS (Web Services) on rajapinta, jolla eri sovellukset voivat vaihtaa tietoja keskenään. Tämä tekniikka mahdollistaa käytännössä myös BACnet-väylään liitettyjen laitteiden käytön IoT-määritelmän mukaisesti (Kuva 11). BACnet-protokollan uusin päivitys käyttää tietojenvaihtoon REST-arkkitehtuuria (Representational State Transfer), joka on http-protokollaan perustuva malli eri ohjelmointirajapintojen toteuttamiseen. (Salo 2017, 17).

Kun taas API (Application Programming Interface) on määritelmä, jonka avulla itse sovellukset voivat vaihtaa tietoja keskenään. Tämä on hyvin yleisesti käytössä oleva menetelmä, joihin monien eri applikaatioiden kommunikointi erilaisten sovellusten tai palveluiden kanssa perustuu.



Kuva 11. REST API. (DZone n.d.)

Yleisin käyttötarkoitus rajapinnoilla onkin luoda yhteys käyttäjien ja järjestelmien välillä, sekä saada tarvittavat arvot linkittymään niihin. API-rajapintaa voidaan myös hyödyntää suoraan kommunikoinnissa esimerkiksi sellaisten palveluiden kanssa, jotka tarjoavat erilaisia analyysejä siihen syötetyn datan perusteella. (Kivisaari 2016).

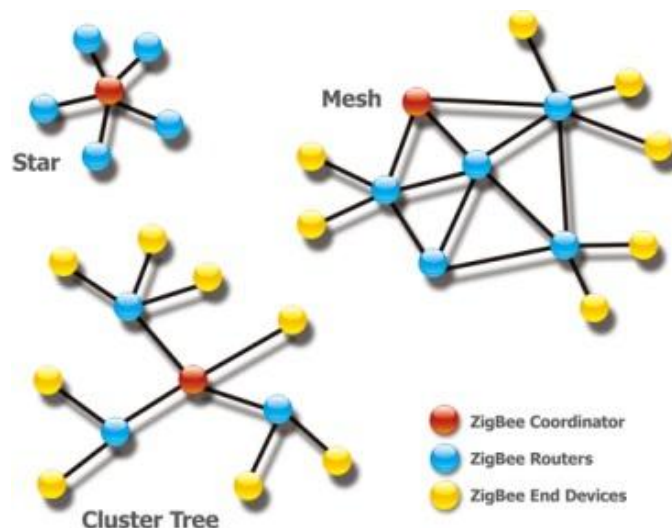
Data-analyysien avulla voidaan suorittaa esimerkiksi ennakoivia huolto-toimenpiteitä tai muuta energiankulutukseen liittyvää seuranta eri muuttujien perusteella. Käsite "big data" on tutumpi sana teollisuusautomaation puolella, mutta on tekemässä tuloaan myös kiinteistöautomaation saralla. Analyysit, joiden tulos on monimutkaisten matemaattisten algoritmien antama arvio siitä, miten se käyttäytyy siihen syötettyihin muuttujiin nähden, ovat hyödynnettävissä parhaiten silloin, kun tietoa on paljon. Suuremman kokonaisuuden automaatiojärjestelmät ovat jo tänä päivänä osittain sellaisia järjestelmiä, joilla kyseisiä arvioita voidaan josain määrin toteuttaa. Se kannattaako integraatio ulkopuolisten data-analyysien tekemiseksi aloittaa, riippuu myös siitä nähdäänkö järjestelmän tarjoaman datan olevan sellaista, että se oikein käytettynä antaa arvokasta lisätietoa kiinteistön tilasta.

### 3.3 Zigbee

Zigbee on 2.4 GHz taajuusalueella toimiva langaton ja vähävirtainen tekniikka, jonka ominaisuudet on määritelty IEEE 802.15.4 standardissa. Zigbee käyttää itseorganisoituvaa tekniikka, joka tarkoittaa myös sitä, että se on vikasietoinen ja pystyy järjestäytymään itsenäisesti viallisten pisteiden yli. Tästä syystä sen vahvimmat ominaisuudet keskittyvätkin nimenomaan erilaisten anturiverkoston muodostamiseen.

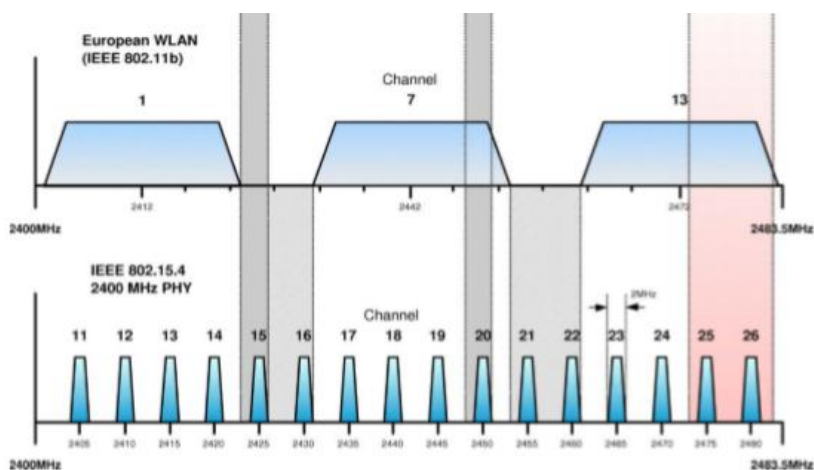
Zigbee-verkko rakentuu aina yhdestä koordinaattorista, joka huolehtii verkon muodostumisesta ja tietoturvasta sekä on yhdyskäytävä kaikille sen laitteille ulospäin. Zigbee tukee kokoonpanosta riippuen lähes kaikkia

mahdollisia verkkotopologioita (Kuva 12). Tietoturvan osalta Zigbee käyttää symmetristä 128 bittistä AES-salausta, sekä pakettien koskemattomuuden varmistamista ja lähettäjän luotettavuuden tarkistamista. (Tomar 2011).



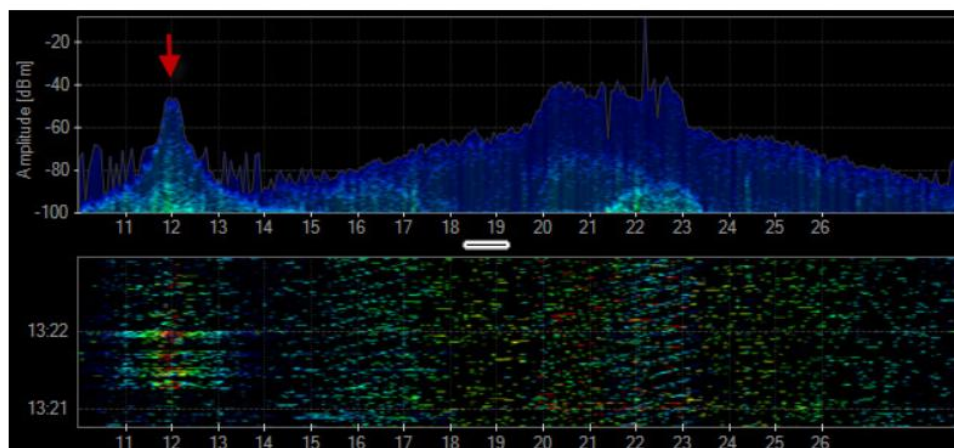
Kuva 12. Zigbee-verkon topologiat. (ICPDAS n.d.)

Zigbee-verkon määrittelyssä sen tärkeimpiä asetuksia ovat koordinaattorin PAN-ID ja käytettävä kanava. Tarkoittaen sitä, että kaikilla samaan koordinaattoriin liitettävillä laitteilla on oltava sama PAN-ID, jotta ne voivat keskustella toisilleen. Osoitteen lisäksi yhden Zigbee-verkon laitteet määritellään käyttämään joitain tiettyjä kanavia, jotka jakautuvat 2 MHz taajuusalueelle kanavaa kohden. Suurimpana ongelmana kanavien valinnassa on yleisesti se, että ne toimivat samalla taajuusalueella langattoman WLAN-verkon kanssa. Tästä syystä laitteiden, jotka ovat WLAN-verkkojen kanssa samalla taajuusalueella, tulee valita eri kanavat. Zigbee-verkolle otollisia kanavia Euroopan taajuusalueella ovat 15, 16, 21 ja 22 (Kuva 13).



Kuva 13. Wifi ja Zigbee-kanavien taajuuskaista. (NXP 2013)

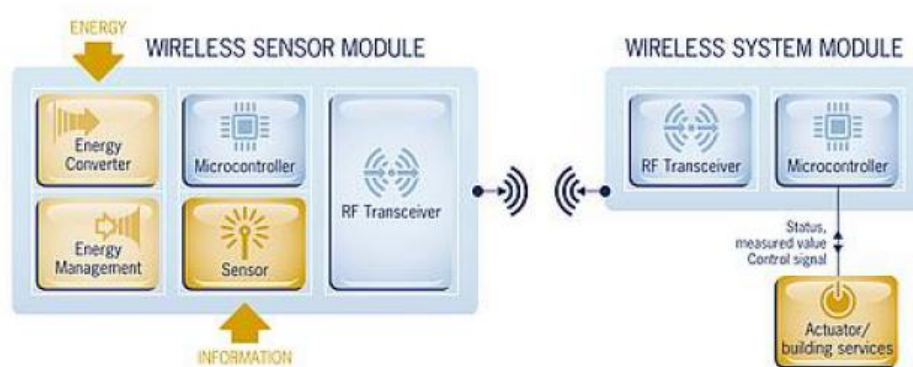
Suurempien kokonaisuuksien hallinnassa, jossa tilat sisältävät useiden eri järjestelmien langattomia WLAN-tukiasemia sekä Zigbee-koordinaattoreita ja päätelaitteita, voi olla suuri todennäköisyys, että dataliikenne häiriintyy puutteellisen suunnittelun ansiosta. Verkon analysointiin onkin muutamia työkaluja, joilla pystytään kartoittamaan verkon rakennetta, kanavien tasoja ja häiriötä spektriesityksenä (Kuva 14). Tällaisen analyysin tärkein tehtävä on pääasiassa verkkojen kartoitus, kun niitä laajennetaan, mutta se toimii myös ominaisuuksista riippuen erilaisien vikatilanteiden selvittämiseen ja analysointiin.



Kuva 14. Metageek analyzer. (Metageek n.d.)

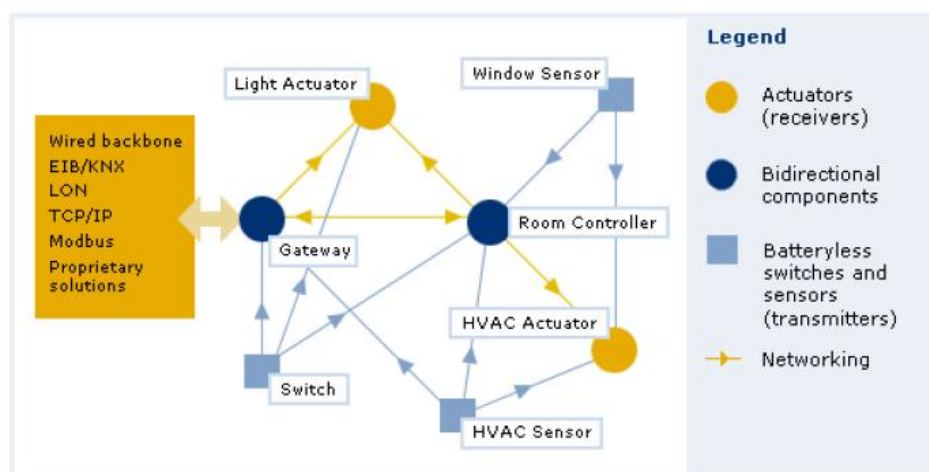
### 3.4 EnOcean

EnOcean on 868 MHz-taajuudella toimiva langaton tekniikka, jonka pääsääntöinen käyttötarkoitus on tarjota täysin johdoton järjestelmä eri automaatiosovelluksien käyttöön. EnOcean-laitteet keräävät kaiken käyttöenergiansa ympäristöstä, joko valon, lämmön, paineen, värinän tai mekaanisen liikkeen avulla (Kuva 15).



Kuva 15. EnOcean periaate. (EnOcean Alliance 2016)

EnOcean-verkko muodostuu aina yhdestä tai useammista hallintalaitteista, joilla on ominaisuus muodostaa verkko. Nämä laitteet toimivat joko yhdyskäytävänä tai pelkästään yksittäisinä liityntöinä verkon muille laitteille. Näihin pisteisiin liittyvät esimerkiksi anturit ja painikkeet, jotka pysyvät pelkästään lähettämään tietoa, tai toimilaitteet ja releet, jotka pysyvät vain vastaanottamaan tietoa. Lisäksi on myös laitteita, kuten huonesäätimet, jotka sisältävät molemmat ominaisuudet. Laitteiden lisääminen yhdyskäytävään suoritetaan opettamalla jokainen laite erikseen yksilöidyn ID-tunnuksen perusteella ohjaavalle laitteelle. (EnOcean Alliance 2016).



Kuva 16. EnOcean-verkon esimerkki. (EnOcean Alliance 2016)

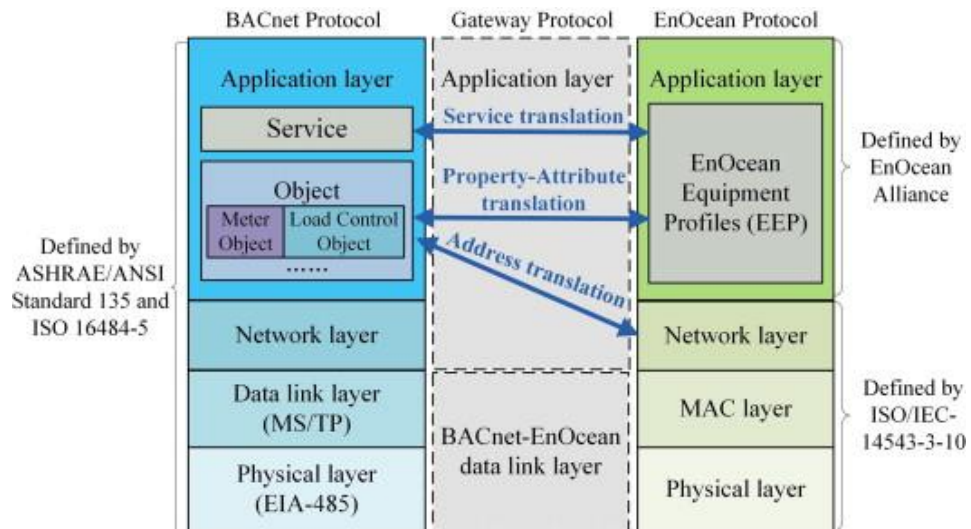
Koska Enoceanin päätarkoitus on toimia vähävirtaisena tiedonvälityskanavana, ei sen topologia tue monimutkaisia verkkorakenteita. Koska tiedot pyritään lähettämään vain silloin kun se on tarpeellista, ei dataliikenne voi olla jatkuvaa. Yhteydenmuodostus tapahtuu siis yleisesti point-to-point tyyppisesti, jossa yksittäinen anturi voi kuitenkin lähettää viestinsä useammalle vastaanottimelle.

Enocean-laitteet on jaettu useisiin eri profiileihin, sen mukaan mitä ominaisuuksia ja toimintoja ne sisältävät (Kuva 17). Laitteen profiili on merkittävin ominaisuus yhdyskäytävälle, koska se kertoo millaista tietoa anturilta tulisi saada. Se sisältää esimerkiksi lämpötilan mittausalueen, joka väärin valittuna antaa virheellisen lukeman. Kaikki profiilit on määritelty Enocean Alliancen verkkosivuilla, josta ne voidaan tarvittaessa tarkistaa. Näin voidaan varmistaa myös antureiden oikeanlainen toiminta.

<b>RORG</b>	A5	<b>4BS Telegram</b>
<b>FUNC</b>	02	Temperature Sensors
<b>TYPE</b>	05	Temperature Sensor Range 0°C to +40°C

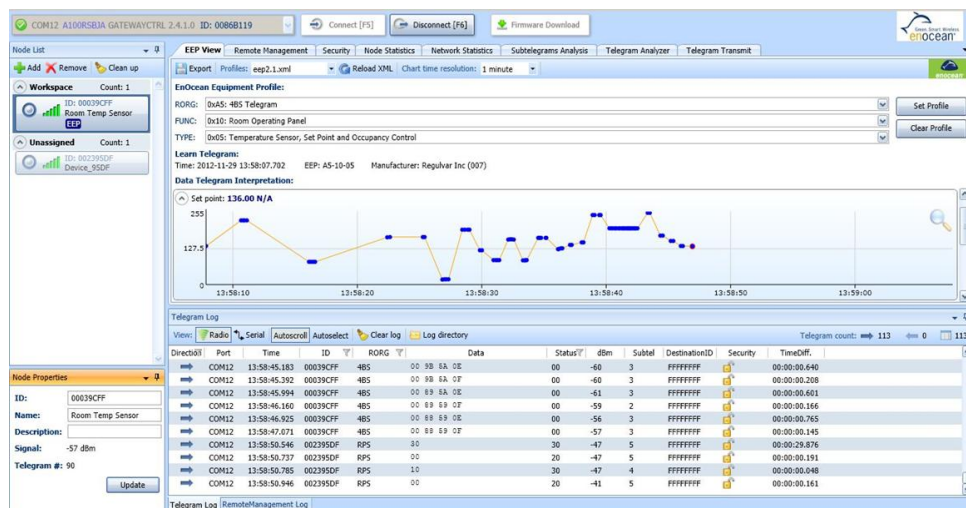
Kuva 17. Laitteprofiilin muodostuminen A5-02-05. (Enocean Alliance 2016)

Enocean-verkko voi toimia täysin itsenäisesti muodostaen kaikki toimintonsa suoraan eri laitteiden välisesti. Tällainen verkko toimii vain passiivisesti, eli anturit ja toimilaitteet lähettävät aina tiedon päätelaitteelle, jotka toimivat sen perusteella. Kun Enocean-verkon laitteita halutaan liittää muihin järjestelmiin, vaatii se aina yhdyskäytävän, joka pystyy suorittamaan erilaiset muunnokset protokollien välillä. Näitä ovat esimerkiksi laiteprofiiliin liittyen ominaisuus- ja palvelumuunnokset sekä kommunikointiin liittyvät osoitemuutokset (Kuva 18). Suunnittelun kannalta on aina siis tunnettava käytettävät laiteprofiilit ja selvitetävä mitä ominaisuuksia yhdyskäytävä sisältää, jotta sillä voidaan toteuttaa toiminnot, joita sen tehtäväksi on suunniteltu.



Kuva 18. EnOcean-tiedonsiirto BACnet-protokollaan. (Siencedirect n.d.).

EnOcean-verkon laiteprofiilien sekä verkon muodostumisen kannalta oleellisten tietojen tarkasteluun on myös olemassa käyttökelpoinen työkalu. EnOcean Dolphin View (Kuva 19) on hallinta- ja testiohjelmisto, jossa laitteiden profiileja ja ominaisuuksia voidaan tarkastella ja muokata. Se sisältää myös työkaluja verkon kantomatkan ja kuuluvuuden arviointiin. Lisäksi sillä voidaan luoda seurattavien pisteiden historiatietoja, jotka ovat hyödyllisiä vikatilanteiden ja ristiriitojen selvittämisessä.



Kuva 19. EnOcean Dolphin view työkalu. (Schneider Electric 2016)

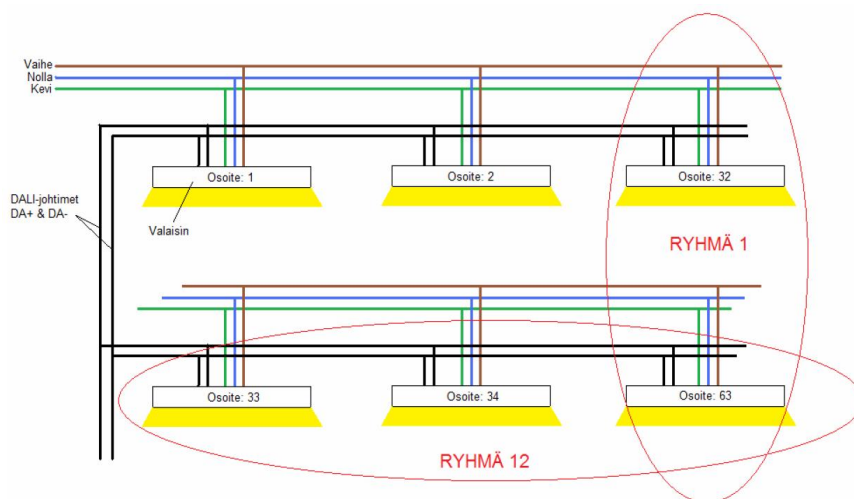
### 3.5 DALI

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) on avoin digitaaliseen tiedonsiirtoprotokollaan perustuva ohjelmoitava valonohjausjärjestelmä. Se sopii hyvin niin pieniin kuin suuriinkin kohteisiin ja on vapaan rakenteensa ja laajennettavuutensa ansiosta helposti muunneltavissa käyttötärpeen mukaan. DALI-väylän kaapelointi on helppo toteuttaa, koska se voidaan johdottaa verkkojännitteisten johtimien kanssa samassa kaapelissa. Se ei myöskään vaadi raskaita päätelaitteita, koska kaikki ohjelmoidut tiedot tallennetaan jokaisen laitteen omaan muistiin. Tämä vähentää myös väylässä siirrettävän datan määrää. Lisäksi kaksisuuntaisen väylän ansiosta laitteiden vikatietojen ja kulutuksen seuranta onnistuu helposti ja keskitetysti. (Kallioharju 2012, 3)

DALI-järjestelmä muodostuu yleisesti teholähteestä, joka syöttää jännitteen dataväylää pitkin ohjaus- ja toimilaitteille sekä valaisimien liitännälaitteille. Yhden ryhmän väylän maksimivirta on rajoitettu 250 mA:in. Liitännälaitteilla virtaraja on 2 mA ja ohjainlaitteilla 10 mA. Toimiakseen järjestelmä tarvitsee vähintään yhden ohjainlaitteen. Ohjainlaitteeseen tallennetaan tiedot siitä mitä laitteita järjestelmään kuuluu, miten niitä ohjataan ja mitä komentoja se lähettää. Pienikokoinen järjestelmä ei välttämättä vaadi ohjelmointia, vaan ohjainlaitteelle "opetetaan" sen tehtävät ja laitteet joita se ohjaa. Vastaanottavana osana järjestelmässä toimii itse valaisimet tai paremminkin niiden liitännälaitteet. (Kallioharju 2012, 18)

Jokaisella järjestelmään liitettävällä laitteella on oma 24-bittinen osoite, jolla varmistetaan sen identifiointi. Tätä osoitetta ei kuitenkaan käytetä sen ohjauksessa, vaan se liitetään johonkin ryhmään ja ohjainlaite kutsuu sitä pelkästään lyhytosoitteella (0-63). Liitännälaitteisiin voidaan tallentaa 16 erilaista valaistustilannetta ja ne voivat kuulua 16 eri ryhmään (Kuva 20).

Väylään voidaan liittää korkeintaan 64 erilaista laitetta. Mutta tarvittaessa se on laajennettavissa myös kahden verkon yhdistelmäksi erillisen kytkimen avulla (128 laitetta) tai suuremmaksi verkoksi linkittämällä verkkoja toisiinsa aina 200 verkkoon asti (12800 laitetta). (Kallioharju 2012, 13)



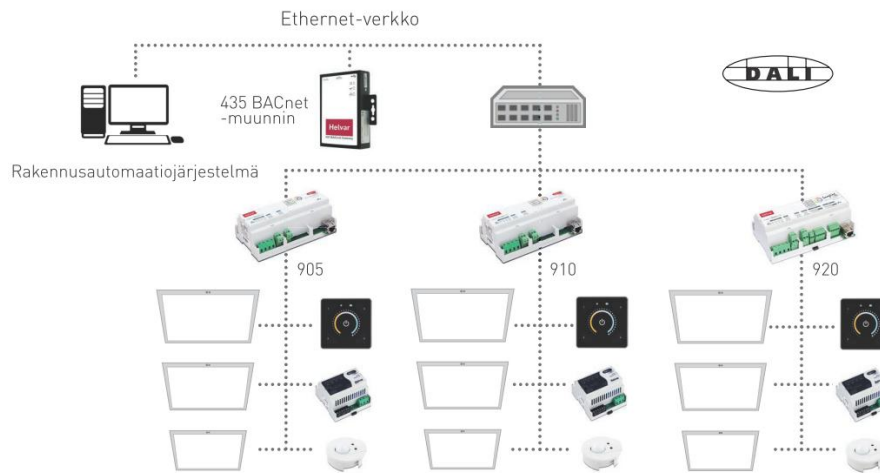
Kuva 20. DALI-väylän rakenne. (Kallioharju 2012)

Valaisimien valotehoa säädetään logaritmisesti niin, että arvo 0 vastaa sammutettua valaisinta ja arvo 254 vastaa 100 % valotehoa. Liitäntälaitte osaa myös kertoa järjestelmälle kysyttäessä sen hetkisen valotehonsa ja mahdolliset vikatilanteet. (Kallioharju 2012, 28)

### 3.6 DALI-BACnet integraatio

DALI-valaistuksenohjaus voidaan toteuttaa normaalisti omana lohkona jossain kiinteistön osassa, jolloin sen toiminnallisuus on ohjelmoitu reitittimeen. Tällöin kiinteistöautomaatio antaa reitittimille käskyjä sen sisään-tuloihin, jolloin ohjelmaan on määritelty mitä toimintoja suoritetaan, kun ulkopuolinen ohjaus aktivoituu. Tällainen järjestelmä on yksinkertainen ja toimiva, mutta ei välttämättä hyödynnä kaikkia DALI-väylän tekniikan tarjoamia hyötyjä.

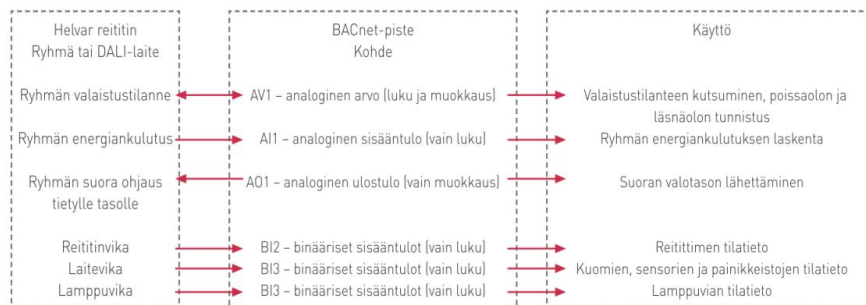
Toinen tapa liittää valaistuksenohjaus osaksi kiinteistöautomaatiojärjestelmää on yhdistää eri lohkojen reitittimet suuremmaksi kokonaisuudeksi, josta tehdään protokollamuunnos johonkin paremmin kiinteistövalvontaa hyödyntävään protokollaan (Kuva 21). Tällainen ratkaisu tarjoaa laajemman käytettävyyden järjestelmälle, kun DALI-reitittimet yhdistetään Ethernet-väylän kautta esimerkiksi BACnet-yhdyskäytävään. Yhdyskäytävä luo jokaiselle reitittimelle oman instanssin, jota voidaan ohjata ja seurata valvomon kautta.



Kuva 21. Valaistuksen liittäminen BACnet-väylään. ( Helvar n.d.)

Ohjaustapa ei muuta käytössä olevan reitittimen toimintaa mitenkään, vaan ohjainlaitteeseen rakennettu ohjelma toimii aina itsenäisesti. Yhdyskäytävä toimii ainoastaan älykkäänä solmupisteenä DALI-järjestelmän laitteille. Näin myöskään valaistuksenohjaus ei lamaannu, vaikka yhdyskäytävä olisi vikatilassa, koska kaikki ohjainlaitteet toimivat itsenäisesti.

Ohjaus yhdyskäytävän kautta toimii lähettämällä ohjainlaitteelle tietoa siitä, mikä valaistustilanne halutaan aktivoida. Kutsumalla DALI-ryhmiä (1-16), saadaan ohjaus ajettua aina reitittimen esiohjelmoituun tilanteeseen. Vaihtoehtoisesti voidaan lähettää myös suora valotason ohjaus eri ryhmille, joka ei ole riippuvainen laitteen esiohjelmoitusta tilanteesta. Muita oleellisia tietoja, joita valvomoon halutaan päivittää, on luonnollisesti valaistuksen sen hetkinen tila sekä energiankulutus. Lisäksi voidaan seurata kunnossapidon kannalta eri laitteiden mahdollisia vikatilanteita, joista saadaan myös tehtyä hälytyspisteitä (Kuva 22).



Kuva 22. DALI BACnet -objektien ominaisuudet. (Helvar n.d.)

## 4 KÄYTÄNNÖN TESTIYMPÄRISTÖ

Käytännön testiympäristö (Kuva 23) rakennettiin, jotta eri laitteiden ominaisuuksista ja liitettävyydestä saataisiin sellaista tietoa, jota voidaan mahdollisesti hyödyntää suunnitellessa uusi tiloja ja niiden ohjaustapoja. Testiympäristössä oli tavoitteena toteuttaa kokonaisuus, joka sisältää langattoman Zigbee ja EnOcean-verkon laitteita, niihin liitettyjä ohjauspis- teitä sekä Modbus-väylän kautta ohjattavia etäpisteitä. Lisäksi selvitettiin energianmittaukseen ja sähköverkon valvontaan käytettävän analysaattorin toimintaa sekä sen tarjoamia mahdollisuuksia.

Testiympäristössä käytetyt laitteet:

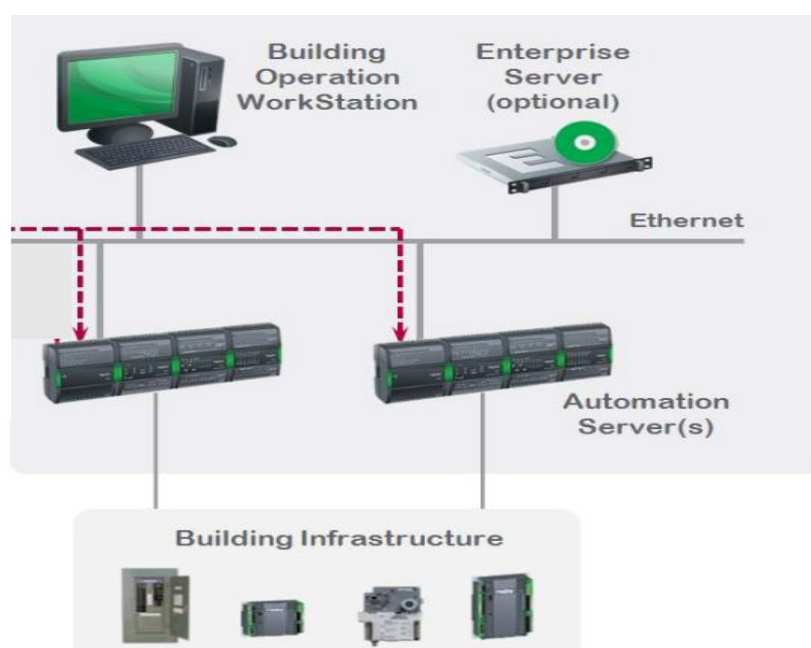
- Multi Purpose Manager
- SE8350- Zigbee huonesäädin
- EnOcean langaton painike
- EnOcean langaton ohjausrele
- EnOcean vesivuotovahti
- EnOcean lämpömittarit sisä/ulko
- Smartlink Modbus I/O
- PoweLogic PM5300 energiamittari / analysaattori



Kuva 23. Käytännön testiympäristö.

## 4.1 Automation Server

Automation Server (AS) on Schneider Electricin Linux-pohjainen serveriympäristö kiinteistöautomaation eri osa-alueiden laitteiden ohjelmointiin ja yhdistämiseen. AS toimii BACnet-protokollan toiseksi ylimmällä tasolla B-BC, eli sillä on kaikki ominaisuudet hallita verkkoja, ohjata niitä ajastetusti sekä kerätä tarvittavia historiatietoja (Kuva 24). AS sisältää myös täyden ominaisuuden työkalut siihen valinnaisesti liitettävien I/O-moduulien ohjelmointiin. Tästä syystä sitä hyvin usein käytetään suoraan myös ohjelmoitava logiikkana suurempien kiinteistöautomaation tilalaitteiden ohjauksiin ja seurantaan.



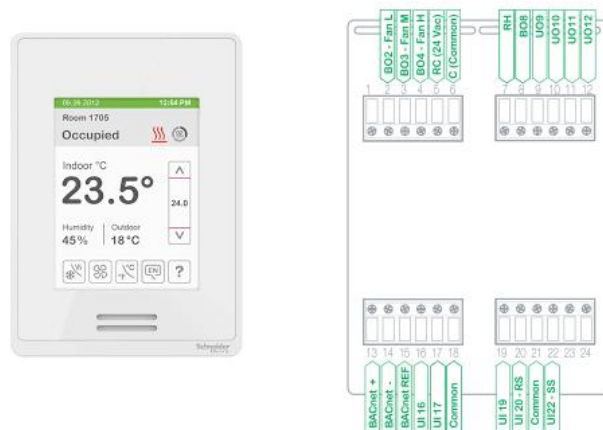
Kuva 24. Automation server (Schneider Electric n.d.)

Automaatioserveri siis muodostaa alemman hallintatason, johon kentältä kerätyt tiedot tuodaan. Rakennuksen kaikki serverit taas muodostavat kokonaisuuden, jotka liitetään yleensä valvomotason servereihin, kuten Schneider Electricin Enterprise Server, tai valvomon työasemille, jossa kaikki tieto tuodaan kootusti yhteen.

Automaatioserverin käyttöönotto ei sisälly käytännön testiympäristöön tämän työn puitteissa, mutta koska se on olennainen osa suurempien kokonaisuuksien tiedonsiirrossa, on se käyttötarkoituksesta hyvä olla tietoinen.

## 4.2 SE8300

Schneider Electricin SE8300-sarjan kosketusnäytöllinen huonesäädin on nimensä mukaisesti tarkoitettu ensisijaisesti huoneen lämmityksen ja jäähdytyksen säätöön (Kuva 25). Huonesäädin voidaan liittää joko langattomaan koordinaattorin Zigbee-verkon välityksellä tai kiinteän väylän kautta suoraan BACnet MS/TP -protokollan avulla.



Kuva 25. SE8350-huonesäädin. (Schneider Electric 2018)

Säädin on vapaasti ohjelmoitavissa tietyin ohjelmamuistin kokoon liittyvin rajoituksin. Ohjelmointikielenä toimii Lua-scriptikieli, jolla voidaan muokata ohjelmista halutunlaisia eri käyttötarkoituksiin. Laitteen tulo- ja lähtökanavat voidaan ohjelmallisesti valita joko digitaalisiksi tai analogiseksi jänniteviestiksi. Erillinen releyksikkö voidaan myös liittää osaksi säädintä jos sillä halutaan ohjata suoraan 230 V -liitännäisiä laitteita.

Huonesäätimeen voidaan liittää myös erillisiä langattomia Zigbee Pro -laitteita mittaamaan esimerkiksi tilan hiilidioksidipitoisuutta tai muita sisäilman laatuun tai vaikuttavia tekijöitä. Mallista riippuen laite sisältää myös integroituna läsnäolo- ja valoisuusanturin, joilla tilaa pystytään säätämään tarpeenmukaisesti esimerkiksi ilmanvaihdon, lämmityksen ja valaistuksen osalta.

## 4.3 Multi Purpose Manager

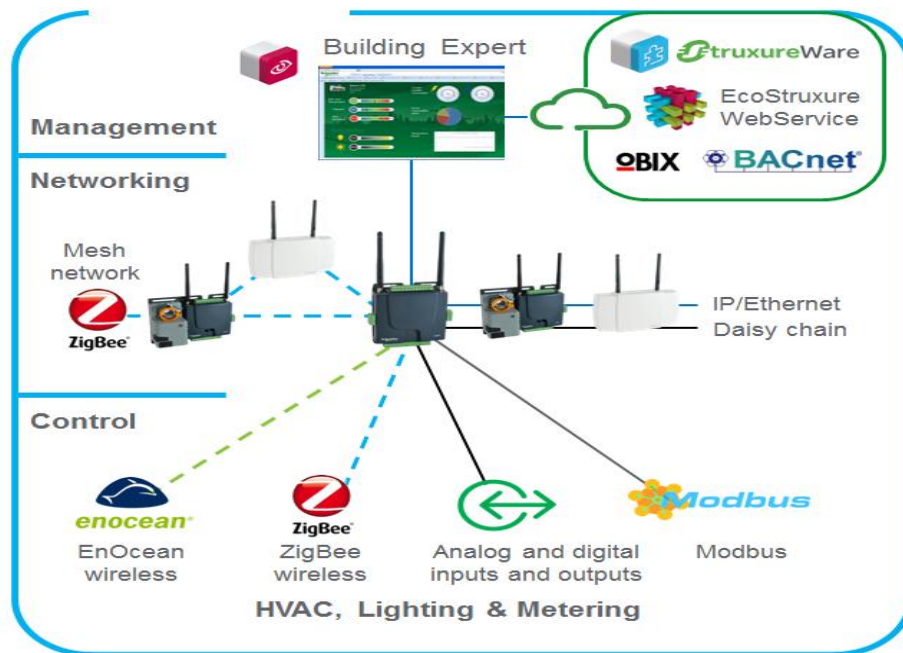
MPM (Multi Purpose Manager) on vapaasti ohjelmoitavissa oleva verkoselainpohjaisella Building Expert -käyttöliittymällä varustettu hallintalaitte. MPM toimii BACnet-protokollan tasolla B-AAC, joka pystyy myös suorittamaan tarvittaessa aikaohjauksia, hälytyksiä sekä mittausarvojen trendiseurantaa.

Manageri tukee suoraan myös EnOcean ja ZigbeePro -protokollien langattomia laitteita tietyin rajoituksin. Laitetyypistä riippuen laite sisältää myös vaihtoehtoisesti omat I/O-pisteet, Modbus-väylän kautta ohjattavat erillispisteet tai IV-sovelluksiin tarkoitetun toimilaitteen integroituna itse laitteeseen (Kuva 26). Laitteeseen voidaan liittää myös langattomia toimilaitteita kuten, ilmamääräsäätimiä, magneettiventtiilejä tai releyksiköitä.



Kuva 26. MPM-tuotepihe. (Schneider Electric 2016)

MPM -laitteita voidaan liittää myös isommaksi kokonaisuudeksi tekemällä yhdestä laitteesta isäntä, johon sen alilaitteet liittyvät joko langattomasti Zigbee-verkon avulla tai CAN-väylän kaapeloinnin kautta. Tällainen ratkaisu tulee kyseeseen lähinnä niissä tapauksissa, joissa MPM toimii itsenäisesti myös valvomon käyttöliittymänä. Liitettäessä järjestelmää olemassa olevaan suurempaan kokonaisuuteen, on hallinnan kannalta kuitenkin selkeämpää, jos kaikki yksittäiset MPM-laitteet ovat itsenäisiä ja keskustelevat suoraan automaattioserverin kanssa. Näin ei myöskään synny pullonkauloja, jotka aiheuttaisivat suuren datamäärän katoamisen yhden isäntälaitteen vikaantumisen takia.



Kuva 27. Multi Purpose Manager periaatekuva. (Schneider Electric 2016)

Kun järjestelmään liitetään langattomia huonesäätimiä, tapahtuu niiden lisääminen luomalla uusi Zigbee-verkko, joka automaattisesti etsii langattoman verkon laitteita. Kuitenkin sillä edellytyksellä, että MPM on asetettu koordinaattoriksi, muut laitteet päätelaitteiksi ja ne kuuluvat saman PAN-ID:n ja kanavan alaisuuteen. Lisäksi laitteet tulee asettaa tilaan, jossa verkkoon liittyminen on mahdollista.

100.ZBC1 ZigBee Configuration	
Name:	ZigBee Configuration
Node:	N00AB87
Object BACnet ID:	ZBC1
Edit Settings:	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Settings</b>	
Tx Power (dBm):	18
Channel:	15
Node Type:	Coordinator
Permit Join Broadcast:	<input type="checkbox"/>
Treat Extended Network ID as a Hexadecimal:	<input type="checkbox"/>
Extended Network ID:	ZBC-BPAC
PAN ID (hex):	1
PAN ID (dec):	1
Stack Profile:	2 - ZigBee Pro
Security Profile:	Home Automation
Trust Center Link Key:	ZigBeeAlliance09
<b>Current Configuration</b>	
Network Status:	formed
Channel:	15
Extended Node ID:	000D6F000538E2DD
Node ID (hex):	0
Extended Network ID:	ZBC-BPAC
Network ID (hex):	1
Version:	4.6.C5

Kuva 28. Zigbeenin käyttöönotto.

Uuden laitteen luonti Manageriin luo aina uuden instanssin, jonka sisältämät tiedot näkyvät BACnet-objekteina valvomoon. MPM on siis peri-

aatteessa läpinäkyvä BACnet-yhdyskäytävä siihen liitetyille laitteille. Kaikki huonesäätimeltä saadut objektit näkyvät automaattisesti listassa, joka luetaan managerin käyttöliittymään. Tämän jälkeen käyttäjän tehtäväksi jää päättää, mitä arvoja mistäkin laitteesta halutaan seurata. BACnet-protokollaan liittyen myös arvojen päivitys voidaan valita aktiivisesti tai passiivisesti päivittyväksi. Suurin osa objekteista sisältääkin ominaisuuden COV, jonka valinnalla voidaan päättää, halutaanko tietyn arvon tilaa seurata jatkuvasti vai tarvitaanko tieto vain silloin kun sen tila muuttuu.

The screenshot shows the Building Expert software interface. On the left, a 'Devices' tree lists various components like 'SmartStuure Controller 1 (100)', 'Langaton painike 1 (101)', 'Modbus TCP Gateway (102)', 'Vestuutovähti (103)', 'Langaton lämpömittari sisä (104)', 'Huonesäädin 1 (105)', 'Langaton lämpömittari ulko (106)', 'Langaton rele (107)', 'Smartlink Modbus:22 kanava1 (108)', and 'Smartlink Modbus:22 kanava2 (109)'. The main window displays a table of objects with columns for Object, Value, Name, Description, and Units. Below this, the 'ZigBee Room Controller Configuration' window is open, showing a search bar and a table for assigning points and COVs to controller objects.

Object	Value	Name	Description	Units
105.A/3	14	Room Humidity	Room Humidity	Percent relative humidity
105.A/4	2	Occupancy Command	1 = Loc. occ; 2 = Occupied; 3 = Unocc.	No units
105.A/11	1	Effective Occupancy	1 = Occupied; 2 = Unoccupied; 3 = Override; 4 = Standby	No units
105.A/12	21.3	Room Temperature	Room Temperature	Degrees Celsius
105.A/17	251	Light Sensor Level	Huoneen valoisuus	Luxes
105.A/21	0	UI10 Analog Output	Lisäjäähdytys 0-10V	No units
105.A/23	0	UI11 Analog Output	IMS Jäähdytys 0-10V	No units
105.A/25	0	UI12 Analog Output	UI12 Analog Output	No units
105.A/26	4.7	UI9 Analog Output	Lämmitys 0-10V	No units
105.A/29	0	UI23 Raw Value	IMS Tilatieto 0-10V	No units
105.A/34	-1.5	Outdoor Temperature	Ulkoämpölä Enocean	Degrees Celsius
105.A/37	3	Program Status	1 = Idle; 2 = Loading; 3 = Running; 4 = Waiting; 5 = Halted; 6 = Unloading	No units
105.BV2	1	UI19 Binary input	0 = Häilytys 1 = Norm. tila	No units
105.BV3	1	UI9 Binary Output	0 = Off; 1 = Lämmitys päällä	No units
105.BV4	1	UI12 Binary Output	0 = Jäähdytys päällä; 1 = Off	No units
105.BV13	0	Service Alarm	0 = Off; 1 = On	No units

Device data points	Auto	Controller object	COV
Purge Sample Period	<input type="checkbox"/>	Unassigned	<input type="checkbox"/>
Release Override	<input type="checkbox"/>	Unassigned	<input type="checkbox"/>
Room Humidity	<input checked="" type="checkbox"/>	A/3	<input checked="" type="checkbox"/>
Room Humidity Display	<input type="checkbox"/>	Unassigned	<input type="checkbox"/>

Kuva 29. Lisätyt laitteet Building Expert näkyvässä.

Suurempien kokonaisuuksien hallintaan laitteen ominaisuuksien tunteminen on myös tärkeää. Ohjelmointia tehdessä onkin hyvä miettiä mitä tietoja oikeasti tarvitaan. Ei siis kannata automaattisesti valita kaikkia tarjolla olevia pisteitä yhteen instanssiin, koska suuremmassa mittakaavassa se kuormittaa laitteen resursseja. Suurin sallittu määrä datapisteille yhtä laitetta kohden on 400.

Jos Manageriin halutaan lisätä omaa toiminnallisuutta, voidaan ohjelmointi suorittaa Lua-scriptikielellä tai graafisella ohjelmointityökalulla. MPM-laitteen omien fyysisten I/O-pisteiden käyttöönotto tapahtuu lisäämällä kontrollerille uusia BACnet-objekteja tarpeen mukaan. Lisättyyn objektiin voidaan määritellä analogisten tulojen ja lähtöjen osalta tarvittavat skaalaukset, muunnokset tai tarvittaessa esimerkiksi niihin liittyvien PID-säätimen viritysarvot.

Object ↑	Value	Name	Description
100.AIC1	0	Ilmamäärä l/s taukokuone	Ilmamääräsäätin 0-10V / 53-130l/s. Taukokuone
100.AIC2	0	Analog Input Configuration 2	
100.AO1	0	Analog Output Voltage 1	
100.AV18	0	scale x1	

### Analog Input Configuration

Save Import Export

Description: Ilmamääräsäätin 0-10V / 53-130l/s. Taukokuone

Name: Ilmamäärä l/s taukokuone

Node: N00AB87

Object BACnet Id: AIC1

Input Type: Volts

Output Units: Liters per second

Inputs/Outputs: Add

Input ↑	Output
0	53
10	130

**Output vs Input**

Kuva 30. Analogiatulon määrittely.

Laitteen luotettavan toiminnan kannalta on tärkeää, että siinä käytettävien objektien määrän tai eri ohjelmalohkojen käyttö ei ylitä laitteelle asettuja resursseja. Building Expert sisältääkin kohtalaisen kattavasti erilaisia työkaluja sekä prosessorin tehonkäytön että määriteltävien muuttujien suhteen. Lisäksi langattomien verkkojen signaalien tasojen sekä objektin seuranta voidaan suorittaa suoraan käyttöliittymän kautta.

Laite tukee myös kolmannen osapuolen laitteiden lisäämisen järjestelmään. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi Modbus TCP -yhdyskäytävän laitteet, jotka voidaan lisätä manageriin tuomalla niiden I/O-rekisteritiedot csv-muotoisena tiedostona laitteelle. Erilliset anturit ja toimilaitteet, jotka eivät oletuksena sisälly laitteen tietokantaan, voidaan lisätä Lua script -ohjelmoinnin avulla. Näiden laitteiden lisäämiseksi on luotava aina oma objekti, johon scriptin tuottama mittausarvo tallennetaan, jos se halutaan päivittää myös valvomoon.

```

1  if cycle == 2 then
2
3      nameEnable = true      -- Objekin automaattinen nimeäminen
4
5      eo_device = {}
6
7
8
9
10     -- Thermokon SR65TF (EEP A5-02-14)
11     eo_device[0x019BE13E] = { tag = "lampotila ulko", -- Enocean ID-numero
12                             sensor_type = "temperature",
13                             processFun = A5_2_14, --Laiteprofiili
14                             units = "C",
15                             tmp = "AV100", -- BACnet objektin linkitys
16                             }
17
18     -- Alustus
19     nameRef = true
20     while nameRef do
21         nameIndex, nameRef = next(eo_device, nameIndex)
22         if nameRef then
23             varTable(nameRef, nameEnable)
24         end
25     end
26
27     display("Alustus suoritettu")
28
29     elseif cycle == 1 then
30
31
32
33     -- Temperature sensor (EEP A5-02-14)
34     function A5_2_14(device, eo_packet)
35         temperature_tmp = scl.nodes.ME[device.tmp .. "_Present_Value"]
36         temp_packet = math.abs(eo_packet.bytes[7])
37         if device.units == "C" then
38             temperature_tmp.value = scale(temp_packet, 0, 0, 60, 255, -20) -- Temperature C
39         elseif device.units == "F" then
40             temperature_tmp.value = scale(temp_packet, 0, 0, 60, 255, -20) / 5 * 9 + 32 -- Temperature F
41         end
42         display(device.tag .. " , " .. " Temperature: " .. temperature_tmp.value .. " °" ..
43             device.units)
44     end --end of function

```

Kuva 31. Enocean-anturin Lua Script -ohjelma.

Laitteiden testaaminen BACnet-verkon toiminnan kannalta toteutettiin luomalla protokollaa tukevalla ohjelmistolla projekti, johon kaikki MPM-yhdyskätävään liitetyt laitteet linkitettiin. Ohjelman ominaisuuksia haluttiin myös testata siitä näkökulmasta, että se voisi toimia kentällä työkaluna BACnet-verkon vianhaussa tai testityökaluna.

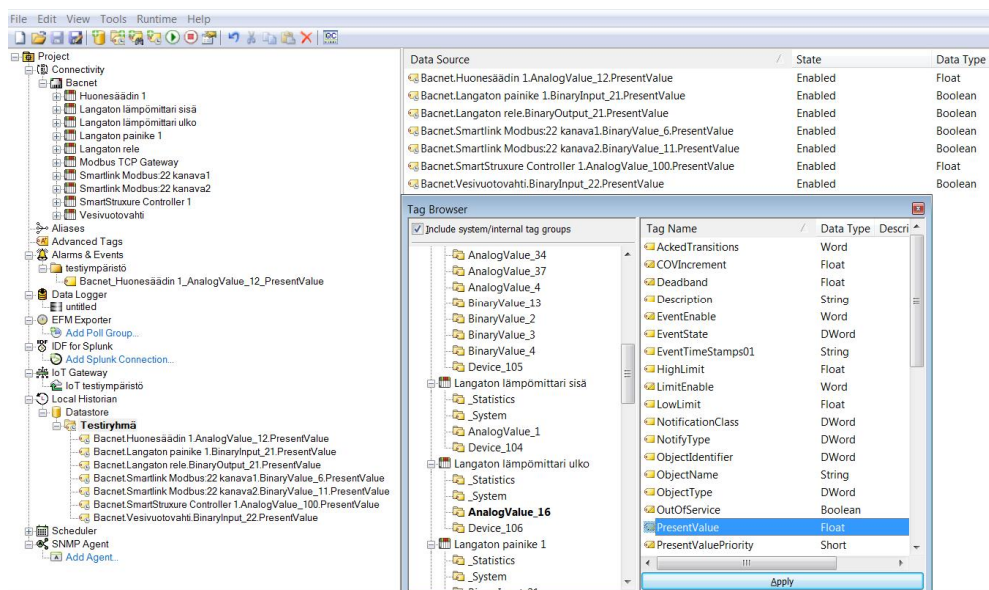
SmartStructure Controller 1	BACnet	1.100	SmartStructure Controller 1
Langaton painike 1	BACnet	100.101	Langaton painike 1
Modbus TCP Gateway	BACnet	100.102	Modbus TCP Gateway
Vesivuotovahti	BACnet	100.103	Vesivuotovahti
Langaton lämpömittari sisä	BACnet	100.104	Langaton lämpömittari sisä
Huonesäädin 1	BACnet	100.105	Huonesäädin 1
Langaton lämpömittari ulko	BACnet	100.106	Langaton lämpömittari ulko
Langaton rele	BACnet	100.107	Langaton rele
Smartlink Modbus 22 kanava1	BACnet	100.108	Smartlink Modbus 22 kanava1
Smartlink Modbus 22 kanava2	BACnet	100.109	Smartlink Modbus 22 kanava2

Item ID	Data Type	Value	Timestamp
BACnetHuonesäädin 1.AnalogValue_11	Float	0	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.AnalogValue_12	Float	Unknown	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.AnalogValue_17	String	Ulkoämpötila Enocean	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.AnalogValue_21	Word	Unknown	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.AnalogValue_23	DWord	0	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.AnalogValue_25	String	Unknown	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.AnalogValue_26	Float	Unknown	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.AnalogValue_29	Word	Unknown	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.AnalogValue_3	Float	Unknown	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.AnalogValue_34	DWord	Unknown	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.AnalogValue_37	DWord	Unknown	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.AnalogValue_4	DWord	838642	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.BinaryValue_13	String	Outdoor Temperature	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.BinaryValue_2	DWord	2	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.BinaryValue_3	Boolean	0	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.BinaryValue_4	Float	8.86275	14.36.31
BACnetHuonesäädin 1.Device_105	Short	0	14.36.31
BACnetLangaton lämpömittari sisä_System	Boolean	1	14.36.31
BACnetLangaton lämpömittari sisä_AnalogValue_1	String	NULL	14.36.31
BACnetLangaton lämpömittari sisä_Device_104	String	NULL	14.36.31
BACnetLangaton lämpömittari ulko_System	String	NULL	14.36.31
BACnetLangaton lämpömittari ulko_AnalogValue_16	String	NULL	14.36.31
BACnetLangaton lämpömittari ulko_Device_106	String	NULL	14.36.31
BACnetLangaton painike 1_System	String	NULL	14.36.31
BACnetLangaton painike 1_Statistics	String	8.862745	14.38.03
BACnetLangaton painike 1_Rinnavirta 21	String	NULL	14.36.31

Kuva 32. Linkitetyt BACnet-laitteet ja yksittäisen objektin tiedot.

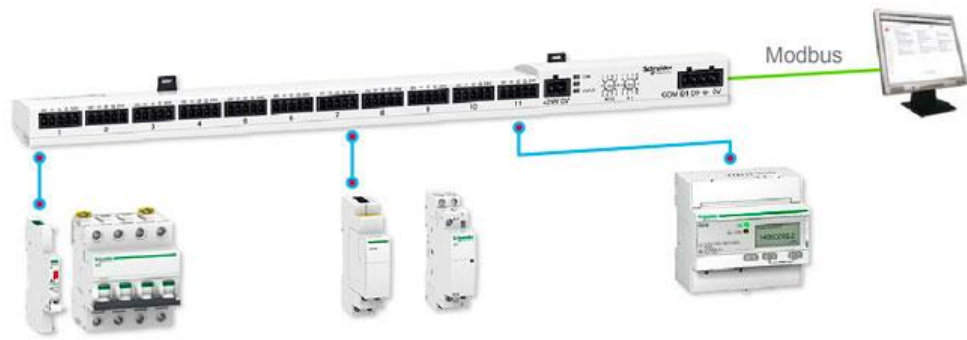
BACnet-verkon laitteiden linkitys valvontaohjelmiin toimii yleisesti hyvin samankaltaisella periaatteella. Protokollan luonteeseen liittyen verkosta haetaan aina tietyn osoitealueen laitteiden tiedot ja ominaisuudet, jotka ne tarjoavat. Jotta objektien valvontaan ja ohjaukseen saadaan jotain toiminnallisuutta, valitaan niille jokin tapahtuma, joka sisältää mahdolliset ajastetut ohjaukset tai tietyn arvon seurannan. Lisäksi arvolle määritellään jotain raja-arvoja, jonka perusteella tehdään hälytyksiä sekä siirretään tietoa mahdollisesti eteenpäin.



Kuva 33. BACnet-objektin arvon linkitys seuranta.

#### 4.4 Smartlink

Smartlink on Schneider Electricin Modbus-väylään liitettävä I/O-moduuli, jolla voidaan ohjata ja valvoa erillispisteitä suoraan alemman- tai ylemmän tason hallintalaitteilla, joko Modbus-RS485 tai Ethernet-väylän kautta. Smartlink sisältää jokaista porttia kohden tietyn määrän rekistereitä, joilla voidaan seurata esimerkiksi keskuksien ohjauskomponenttien tilaa, käyttötunteja sekä tilatietoja. Se tukee myös suoraan osaa energiankulutusmittareista, joilla pienempien kokonaisuuksien mittaukset on helppo toteuttaa.



Kuva 34. Acti9 Smartlink. (Schneider Electric n.d.)

Smartlinkin käyttöönotto tapahtuu luomalla MPM-laitteelle uusi instanssi, jokaista erillistä laitteen kanavaa kohden, jossa Smartlink Modbus-rekisterit ovat valmiiksi määritellyt. Lisättäessä laitteita Buildin Expertiin, täytyy olla tietoinen Smartlink-laitteen Modbus-osoitteesta, joka määritellään manuaalisesti laitteeseen. Lisäksi on tiedettävä kaikki kanavat, joihin kytketyt erillispisteet on johdotettu. Tämän jälkeen määritellään itse BACnet-objektit, joita yhdestä kanavasta halutaan välittää eteenpäin, mahdollisesti ohjata tai asettaa seurantaan.

Object ↑	Value	Name	Description	Units
108.AV30	9	Käyttötunnit	LoadRunningTime	Hours
108.AV31	15	OpenCloseCycles	Open/Close Cycles	No units
108.BV5	0	Kanava 1 päälle	Close command	No units
108.BV6	1	DevicePresent	Device Present	No units
108.BV7	0	Kanava 2 pois	Open command	No units
108.BV8	1	Tilatieto kanava 1	Open/Closed Status	No units
108.SLC1		Smartlink-Ohjauskanava 1	Smartlink Acti 9	

Smartlink Configuration					
Description:	Smartlink Acti 9				
Name:	Smartlink-Ohjauskanava 1				
Acti9 Modbus ID:	22				
Acti9 Channel:	1				
Status:	0				
Software Version:	V1.0.2				
Serial Number:	3N132340016				
Last Communication Time:	2018-11-13 22:52:00				
Acti9 Status:	<table border="1"> <tr> <td>Activated list (1)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Device is in operating phase</td> <td></td> </tr> </table>	Activated list (1)		Device is in operating phase	
Activated list (1)					
Device is in operating phase					

Kuva 35. Smartlink konfigurointi.

## 4.5 Power Monitor Expert

Toimivan sähköjakeluverkon perustana on aina hyvä suunnittelu ja sen perustana suunnitelman toteutuman tarkistaminen konkreettisesti sekä soveltuvin mittauksin. Kaikkeen ei kuitenkaan voida varautua, koska sähköverkkoon liitettävät erilaiset kuormat aiheuttavat aina jonkun tyyppistä epälineaarisuutta verkon komponenttien käyttäytymismalleista johtuen.

Se kuinka hyvin jakeluverkon toimivuutta seurataan, on kiinteistöhuollon aktiivisuudesta kiinni. Automatisoimalla näitäkin toimintoja, voidaan tätä tehtävää helpottaa. Hyvin useasti pääkeskuksiin liittyvässä mittaroinnissa ollaan kiinnostuneita lähinnä energiankulutuksesta ja siitä aiheutuvista kuluista. Kulutusmittarit ovat usein varustettu myös laadun varmistamiseen käytettävillä ominaisuuksilla, joita kuitenkin tutkitaan lähinnä siinä vaiheessa, kun jokin ei enää toimi. Tästä syystä varsinkin parempaa käyttövarmuutta tavoitellessa, tulisi sähkö laadun mittauksiin kiinnittää enemmän huomiota.

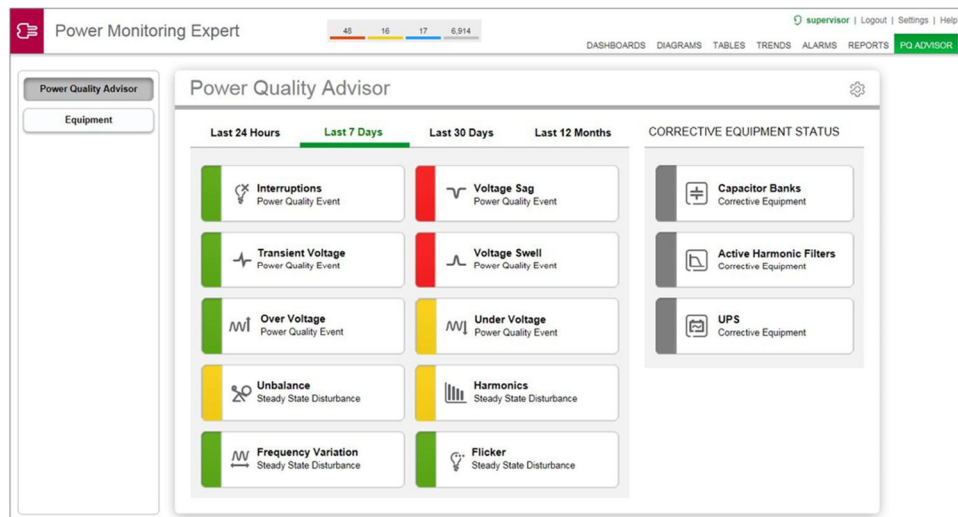
Schneider Electricin Power Monitor Expert (PME) on serveripohjainen ja tietokantaan perustuva ohjelmisto, ensisijaisesti sähköverkon valvontaan ja analysointiin. Siihen voidaan liittää kootusti kiinteistön eri sähkökeskusten mittaustietoja esimerkiksi Modbus tai BACnet-protokollia hyväksi käyttäen. PME-käyttöliittymän perusajatus on tarjota yksinkertainen ja helppokäyttöinen ympäristö lähinnä suurempien kiinteistöjen tarpeita mukailleen. Verkkoselainpohjaiseen näkymään kerätään kootusti kaikki mittaustiedot, joista käyttäjä voi valita mistä tiedoista seurattavat grafiikat ja analyysit muodostuvat. Tehonkulutus on energiaseurannan ja kustannuksien kannalta se tärkein suure jota mitataan. Energiankulutuksesta on helppo rakentaa myös kaaviot eri aikajaksojen ja alueiden seurantaan.

Se mikä kuitenkin kiinnostaa kunnossapidon kannalta enemmän, on itse sähkö laatu ja siihen liittyvät häiriötekijät. Sähkö laadun vaatimukset ovat tarkoin määritelty standardissa EN-50160, joka sisältää yksityiskohtaiset vaatimukset pienjännitteisen sähköverkon laadusta. Tämän työn osalta ei kuitenkaan paneuduta standardin sisältöön, vaan pyritään löytämään muutamia tärkeitä asioita, jotka palvelevat mittausten hyödynnettävyyttä enemmänkin kunnossapidon kannalta.

Tällaisia suureita ovat pääsääntöisesti jännitteen tasot, ylijännitepiikit, jännitekuopat sekä erilaiset keskeytykset sähköjakelussa. Epälineaaristen kuormien osalta luonnollisesti seurattava kompensointilaitteistojen toimintaa, jos sellaiset on keskuksiin asennettu. Myös niissä tapauksissa, joissa kompensointia ei ole toteutettu, voidaan verkon epäsymmetrian seurannalla tunnistaa olemassa oleva tarve kompensoinnin lisäämiselle myöhemmin. Erilaisten muiden kuin suoraan vaihesiirtoa aiheuttavien laitteiden häiriöt ovat enemmänkin tilanteita, joissa virran ja jännitteen aaltomuoto poikkeavat merkittävästi perustaajuudesta, aiheuttaen har-

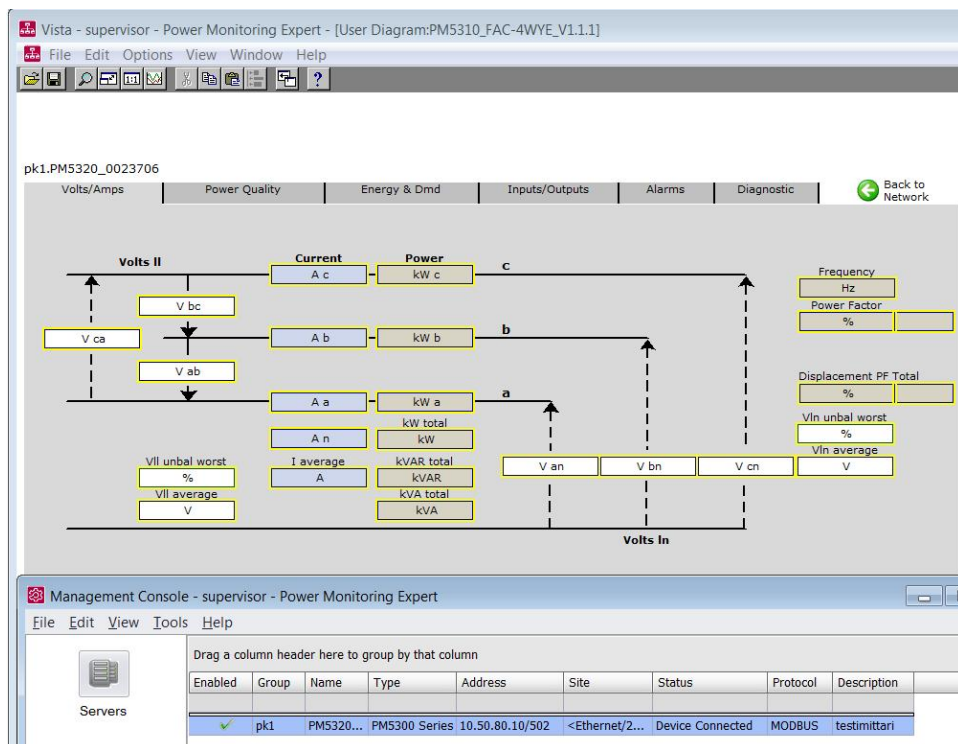
monisia yliaaltoja ja niiden summautumista nollajohtimeen tai muita häiriöitä. Harmonisten yliaaltojen osalta tulisi seuranta toteuttaa standardin mukaisten tasojen ja esiintymistiheyden mukaan määriteltyjen keratuvun parittomille yliaalloille. (ABB 2001).

Power Monitor Expert sisältää myös tämän kaltaisesti suoritettujen mittauksien perusteella analysointityökalun, joka pystyy tunnistamaan tiettyjen mittausten esiintymistiheyden tai muun muuttujan avulla tarpeen erilaisille ratkaisuille sähkönverkon paremman toimivuuden lisäämiseksi.



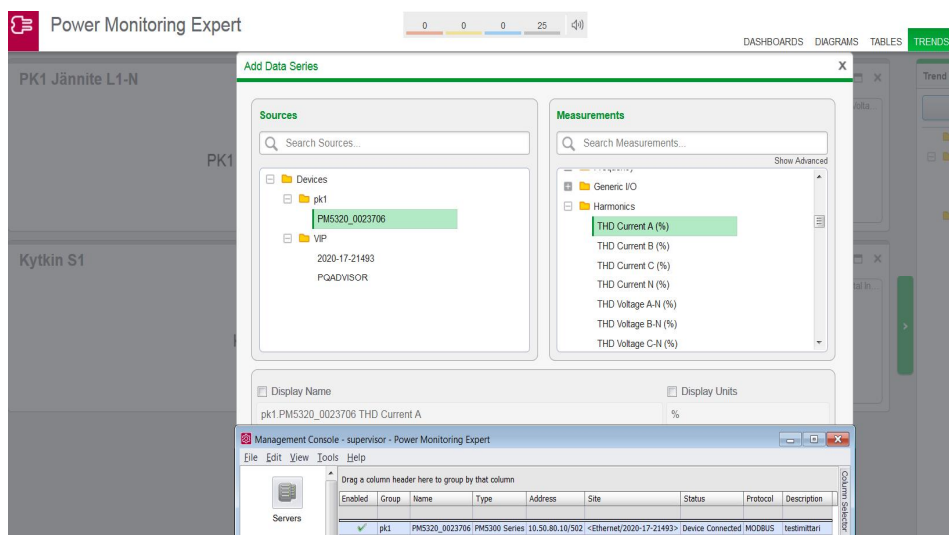
Kuva 36. PME Power Quality Advisor. (Schneider Electric n.d.)

Power Monitor Expertin käyttöönotto tapahtuu luomalla ohjelman asennuksen yhteydessä tietokanta, johon tulevien mittarien tiedot tallennetaan. Kun ohjelma on asennettu, määritellään mittareiden osoitteet, jonka jälkeen ne näkyvät hallintakonsolista valittujen ryhmitysten mukaisesti. Käyttäjädiagrammista (Kuva 37), voidaan tarkistaa kaikki ominaisuudet joita mittarit tarjoavat. Lisäksi voidaan seurata kaikkia sen tietokantaan tallentamia tietoja ja tapahtumia, joita ovat esimerkiksi erilaiset hälytykset ja diagnostiikkaan liittyvät ilmoitukset.



Kuva 37. Lisätty mittari Power Monitor Expertiin.

Selainpohjaisesta käyttöliittymästä voidaan kaikille tarvittaville trendeille, hälytyksille ja muulle seurannalle rakentaa halutunlaiset grafiikat tai valvonta. Mittaukset tulevat suoraan näytölle valittujen skaalauksien ja päivitystiheyden valinnoilla, jokaisesta mittarista erikseen. Käyttäjän tehtäväksi jää siis määrittellä kaikki ne yksittäiset mittauspisteet, joista halutaan tarkempi seuranta ja mahdollisten raporttien muodostuminen. Ohjelmointia tehdessä onkin hyvä olla tietoinen, mitä kaikkea mittauksien tulee sisältää, jotta niiden käyttö palvelee paremmin ohjelman tarjoamia ominaisuuksia. Ja ennen kaikkea sitä, että se hyödyntää verkonvalvonnan tarjoamaa dataa myös paremman toimintavarmuuden saavuttamiseksi.

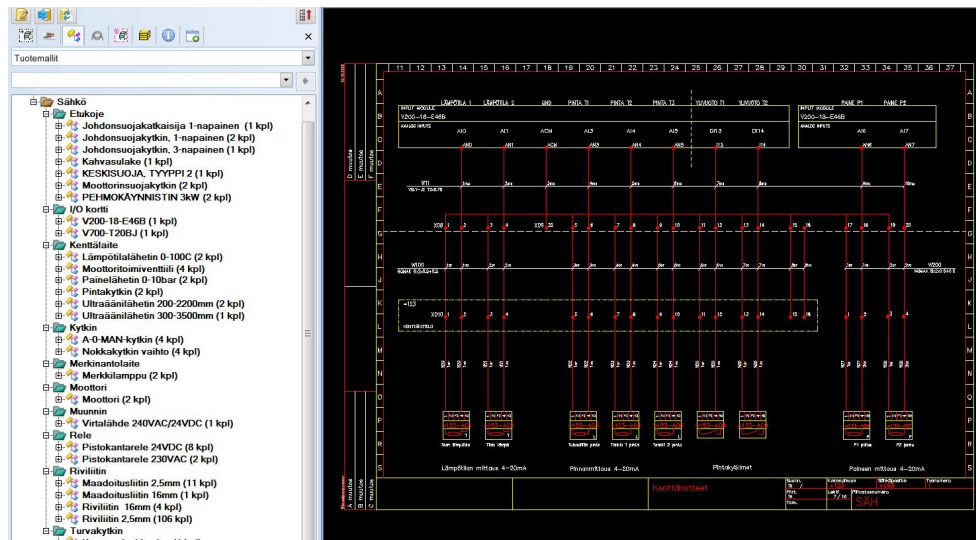


Kuva 38. Selainpohjaisen käyttöliittymän trendiseurannan asetus.

## 5 CADS ELECTRIC PRO

CADS Electric Pro on tietokantapohjainen suunnitteluohjelmisto sähkö- ja automaatio suunnitteluun. Se sisältää erilliset sovellukset tasokuvien, piirikaavioiden, keskuskaavioiden sekä layouttien piirtämiseen. CADSin tärkein ominaisuus tämän työn kannalta on kuitenkin sen tietokantapohjainen ja tuotemalleihin tukeutuva ajattelutapa.

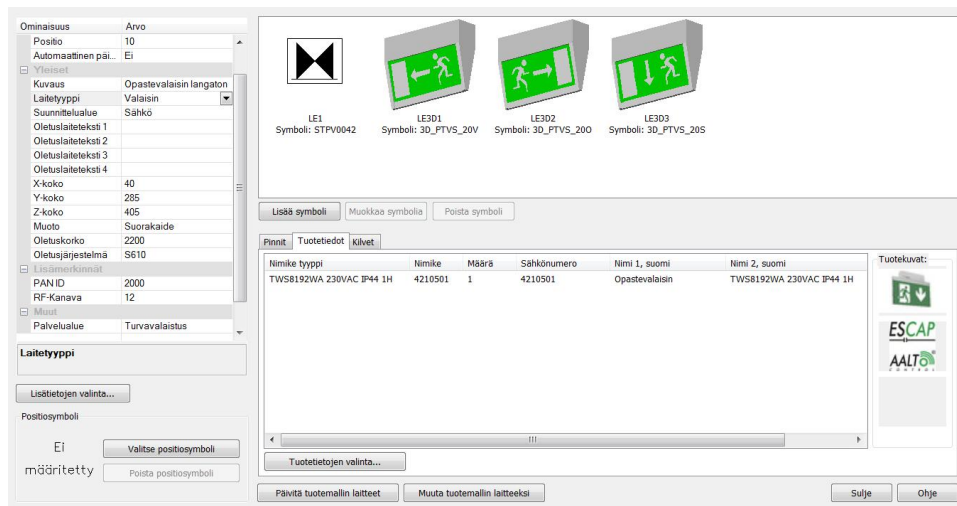
Tietokantapohjaisessa tuotemalleihin perustuvassa suunnittelussa pääpiirteensä on se, että kaikki käytetyt komponentit mallinnetaan tuotteen oikeilla tiedoilla. Luotu tieto kulkee tuotemallin mukana ja sitä voidaan esittää ja muokata useassa eri paikassa. Sama asia koskee kaikkia tuotemalliin liittyviä tietoja, kuten laite- ja kaapelitunnukset, osoitteet, sijoituskorot, symbolit ja muut mahdolliset lisätiedot, jotka suunnittelija näkee tarpeelliseksi. Tietokantapohjaisen suunnittelun suurimpana etuna onkin juuri sen helppo muokattavuus ja tiedon välittyminen eri suunnittelalueiden välillä.



Kuva 39. CAD-suunnittelutila.

Varsinkin suurista massoista tietojen muuttaminen jälkikäteen on hyvin työlästä. Muutos tuotemalliin päivittää sen tiedot kaikkiin samassa projektissa oleviin laitteisiin automaattisesti. Lisäksi kaikkien tietojen laittaminen tulostettavaan muotoon helpottuu, koska ne tulevat automaattisesti tietokannasta kerätyistä tiedoista, asetettujen määritysten mukaisesti. Tämä helpottaa myös kustannusten arvioinnissa, kun kaikista laitteista sekä kaapeloinneista saadaan helposti tarkat määrälaskelmat. Kun suunnitelma toteutetaan projektimaisesti, saadaan myös tasokuvien, piirikaavioiden ja keskussuunnittelun dokumentit päivittymään samoilla ja ajantasaisilla tiedoilla. Tietokantaan tehtyä tuotemallikonaisuuksia pystytään myös helposti käyttämään uudestaan, kun tuodaan aiemmin luodut tuotemallit seuraavaan projektiin suoraan tietokannasta.

Suunnitellessa koko projektia tietomalliin ensimmäistä kertaa on se huomattavasti työläämpää kuin perinteinen malli, koska tietojen syöttö sekä tarvittavien lisätietojen selvittämiseen kuluva aika on huomattava. Tätä asiaa helpottaa kuitenkin se, että CAD sisältää kaikki valmiit tuotetiedot sähkönumerot.fi -sivuston materiaalipankista, joka on kokoajan ajantasainen ja päivittyy jatkuvasti. Lisäksi tarjolla on kohtalaisen kattava valikoima 3D-symboleita, jotka ovat tärkeitä elementtejä, kun suunnitelma yhdistetään myöhemmin itse rakennuksen tietomalliin.



Kuva 40. Tuotemallin esimerkki.

Kaikkia käytettäviä laitteita ei kuitenkaan löydy valmiina, joten ne joudutaan määrittelemään itse. Tärkein merkitys suunnittelussa tietomalliin on laitteen perustiedot, joista selviää vähintään valmistaja ja tyyppimerkintä. Lisäksi voidaan määrittellä muita lisätietoja tuotemalliin tuotetietona. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi tiedonsiirto, ohjaustapa, palvelualueet tai asennustekniikkaan liittyvät asiat. Suurin osa tuotemallin tiedoista on sidottuna suoraan tuotemalliin, jolloin kaikki tiedot päivittyvät kaikille kyseisen tuotemallin laitteille. Joissain tapauksissa on kuitenkin tarpeellista, että tuotemalliperheen yksittäinen laite saa pelkästään sitä koskevia lisätietoja, kuten yksilöity osoite tai muu tunnus. Siinä tapauksessa lisätiedot on vietävä lisätietona laitteen symbolin attribuutteihin.

Nimi, suomi	Teksti	Attribuutti	Tyyppi	Käännetään	Attribuutti luo lisätiedon	Luo lisätiedon objektityypeille
Osoite		E_ADDRESS	Lisämerkinnät	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Laitte
Huonetonnum		E_ROOMID	Lisämerkinnät	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Laitte
Valmistaja		E_MANUFACTURER	Tuotetiedot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Tyyppi		E_TYPE	Tuotetiedot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Jännite		E_VOLTAGE	Sähkötekniiset tiedot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Palvelualue		E_SERVICEAREA	Muut	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
PAN ID		E_SPARE1	Lisämerkinnät	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Laitte
RF-Kanava		E_SPARE3	Lisämerkinnät	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Laitte
Teho		E_POWER	Sähkötekniiset tiedot	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Laitte
Asennustapa		E_INSTSTYLE	Asennustiedot	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Laitte,Sijainti,Kaapeli,Johdotuspaketti,Johtotie

Kuva 41. Tuotetiedon lisätiedot.

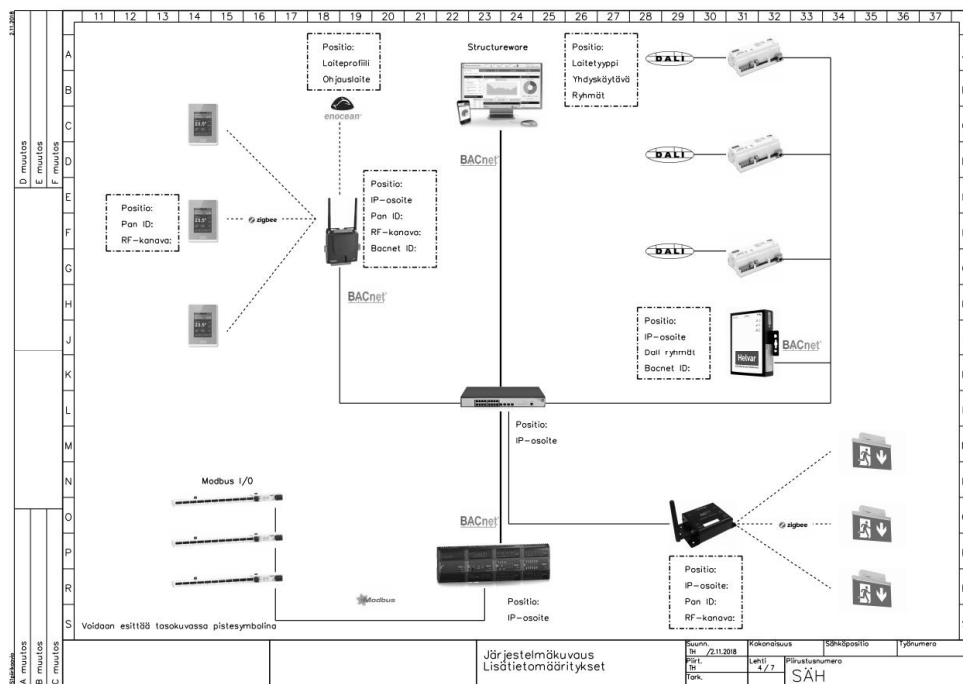
Näin tiedot ovat myös käytettävissä, kun tuotemallin sisältö viedään johonkin muuhun sitä tukevaan ohjelmaan. CADs tukeekin tietomallipohjaista suunnittelua siinä määrin, että sillä tuotettuja suunnitelmia voidaan viedä esimerkiksi myöhemmin esitettyyn rakennuksen tietomalliin oikeassa tiedostomuodossa.

## 6 KIINTEISTÖN SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOSUUNNITTELU

Sähkösuunnittelu toteutetaan usein erillään kiinteistöautomaatiosta, eikä se ota kovinkaan paljon kantaa esimerkiksi LVIA-suunnitelmien toteutukseen tai tarkenna niiden yhteensovittamista. Sähköurakoitsija toimii josain määrin yhteistyössä LVIA-suunnittelun kanssa, mutta monesti tietoisuus toisen osapuolen käyttämistä järjestelmistä ja suunnitteluohjeista ovat puutteellisia. LVIA-suunnitelman osalta toteutetaan tasokuvan osalta lähinnä paikannuskaavio, jossa automaatiolaitteiden sijainnit on suunniteltu. Suuremmat kokonaisuudet, kuten IV-koneet suunnitellaan automaation osalta säätökaavion muodossa, mutta pienempien kokonaisuuksien osalta käytännöt vaihtelevat. Myöskään piirikaavioiden piirtäminen ei kuulu LVIA-suunnittelijan vastuulle, joten ne jäävät hyvin usein toteuttamatta.

### 6.1 Kiinteistöautomaation suunnittelu

Suunnittelu olisi kokonaisuudessa hyvä toteuttaa niin, että suurin osa laitteiden ohjelmista ja konfiguroinneista voidaan toteuttaa ennen asennusta ja käyttöönottoa. Tällaisia asioita ovat esimerkiksi ohjaus- ja päätelaitteiden langattomien verkkojen kanavat, osoitteet ja ohjelmaversiot. Lisäksi kaikkien laitteiden tunnukset tulisi nimetä johdonmukaisesti, jotta niistä pystytään muodostamaan selkeät listat, joista voidaan lukea tilan huonenumero, laitteen tunnus, osoite ja kanava. Tämän työn puitteissa rajattiin tietomallia varten tiettyjä lisäattributteja helpottamaan työtä.

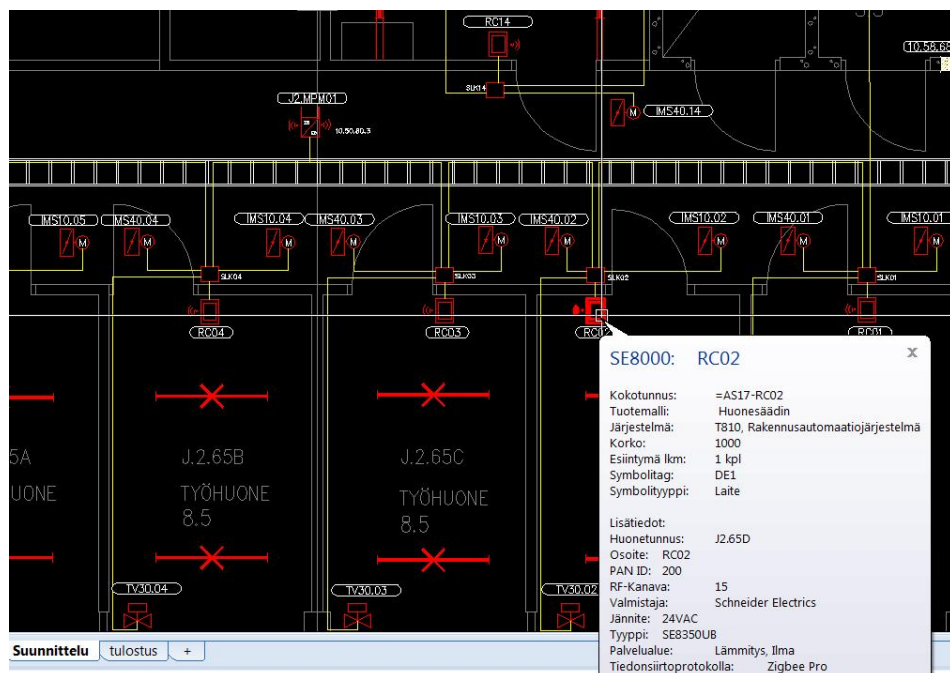


Kuva 42. Järjestelmäkuvaus ja alustavat lisätiedot laitteille.

Suunnittelun malliesimerkki keskittyi pääasiassa käytännön testiympäristössäkin käytettyihin MPM-laitteisiin, Zigbee-huonesäätimiin sekä niihin kytkettyjen toimilaitteiden suunnitelmaan. Työssä pyrittiin tuomaan esiin suunnittelun niitä käytännön asioita, joita aiemmin tutkittiin liittyen langattomiin tekniikoihin. Suunnittelu pyrittiin myös tekemään niin, että kaikki lisätiedot luodaan tuotemalleihin, niin että ne ovat käytettävissä myöhemmin myös koko rakennuksen tietomallissa.

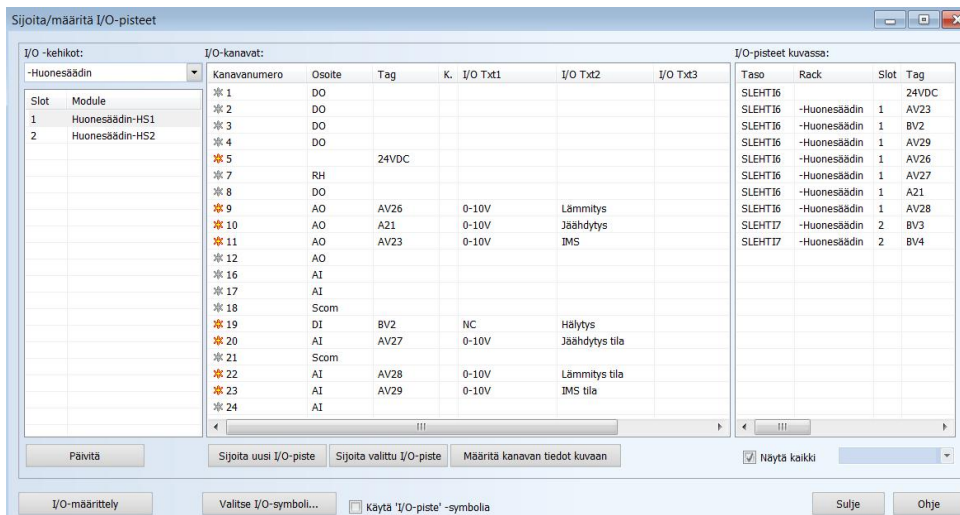
DALI-valaistuksenohjauksen sekä turvavalaistuksen osalta keskityttiin niiden osoitteiden merkitykseen käyttöönnoton, ohjelmoinnin ja tietomallin näkökulmasta. Hieman vanhoista käytännöistä poiketen, myös LVIA-suunnitelmassa olleet toimilaitteet, ilmamääräsäätimet ja säätölaitekotelot pyrittiin tuomaan osaksi suunnittelua, koska niiden kaapelointi on olennainen osa sähköurakkaa. Lisäksi ne ovat kiinteistöautomaation ohjauksen kannalta oleellinen osa, joten niiden poisjättäminen tekisi suunnitelmasta puutteellisen. Perinteinen symboliikkakaan ei täysin tue nykypäiväisen suunnittelun vaatimuksia esimerkiksi langattomien verkkojen osalta. Standardoitu käytäntö olisikin tarpeen tulevaisuudessa, jotta saataisiin yhteneväinen linja siitä, kuinka esimerkiksi langattomien lähettimien ja vastaanottimien symbolit tulisi esittää tasokuvissa.

Langattoman verkon suunnittelun lähtökohtana on huomioitava ennen kaikkea laitteiden sijainnit. Sijoittamalla kaikki ohjain- ja päätelaitteet tasokuvaan, antaa se hyvän kuvan verkon rakenteesta jo suunnitteluvaiheessa (Kuva 43). Tasokuvasta on myös helppo mitata laitteiden mahdolliset etäisyydet lähetystehon ja mahdollisten esteiden osalta, jotta voidaan varmistua niiden kuulumisesta kaikkiin verkon osiin.



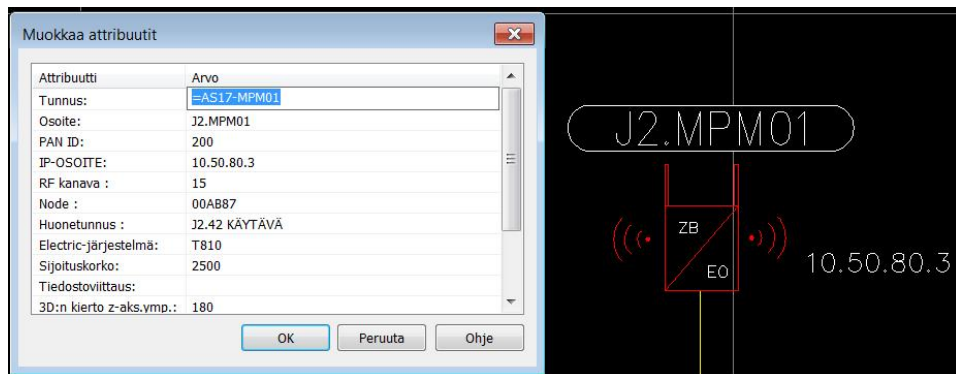
Kuva 43. SÄH/RAU-tasokuva.

Langattoman verkon laitteille luotiin lisämäärityksenä attribuutit niiden ohjaustapaan, osoitteisiin ja käytettäviin kanaviin liittyen. Huonesäätimille luotiin tietokantaan myös oma I/O-kortti, jotta sen käyttö helpottuu jatkossa, kun käytettyjä kanavia ja liittimiä ei tarvitse tarkistaa ja piirtää joka kerta erikseen. Kortille määriteltiin myös huonesäätimen BACnet-objektien tiedot, jotta niistä saadaan suoraan tieto myös käyttöönottoa varten eri sovelluskohteiden mukaan.



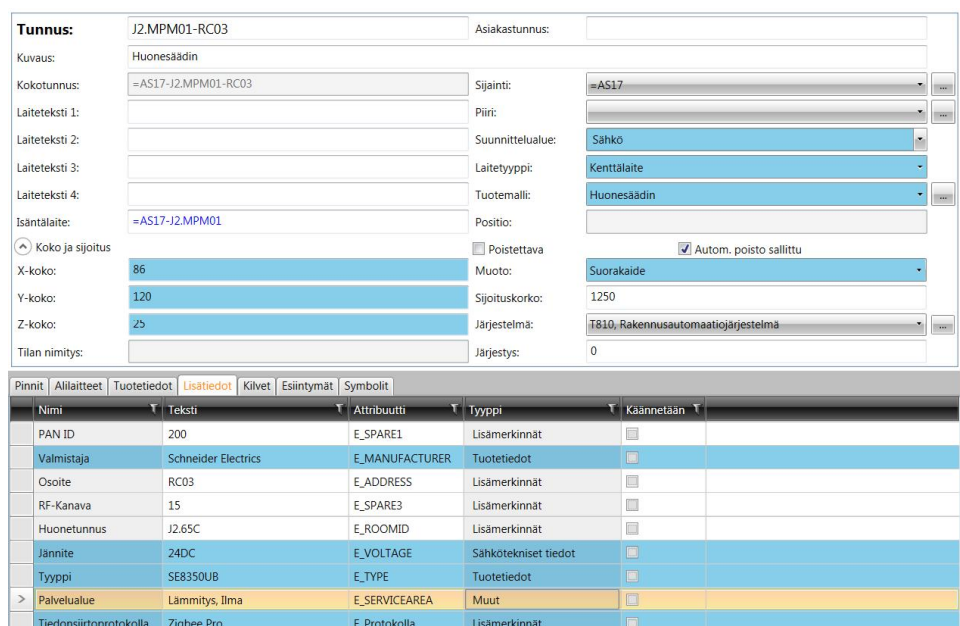
Kuva 44. SE8350-huonesäätimen I/O-kortti.

Koska yksi kerros tai osasto sisältää yleisesti useampia langattomia verkkoja, jotka toimivat samalla taajuusalueella on välimatkat eri järjestelmien kanavien lähetyspisteiden välillä tarkistettava. Perussääntönä 2.4 GHz taajuusalueella toimivien lähettimien vähimmäismatkasta on 3 metriä. Myös lähetyskanavien ja osoitteiden päällekkäisyys on tarkistettava. Kuten jo aiemmin havaittiin, WLAN-yhteyden käyttämiä kanavia tulisi välttää Zigbee-verkon laitteilla. Suositeltuja kanavia ovat 15, 16, 21 ja 22. Tästä syystä myös MPM-laitteiden tuotemalliin määriteltiin laitekohtaiset attribuutit PAN ID:lle ja kanaville. Tämä selkeyttää niiden käyttöä, kun laitteita on suunnitelmassa paljon tai kun tietoa halutaan myöhemmin hyödyntää muuhun käyttötarkoitukseen.



Kuva 45. MPM lisätiedot ja symboli.

Koska MPM-laitteella on tiettyjä rajoituksia siihen liitettyjen laitteiden lukumäärän suhteen, ovat ne huomioitava myös suunnittelussa. Yhteen koordinaattoriin voi liittää enintään 20 huonesäädintä, joten alueet on suunniteltava sen mukaisesti. Jos laitteita on enemmän, täytyy niille varata uusi liittymispiste. Laitteiden linkitys toteutettiin niin, että ohjaava laite toimii aina isäntänä ja siihen liitetyt laitteet alilaitteena. Tällä menetelmällä on helpompi hahmottaa jo pelkän laitetunnuksen perusteella, mitkä laitteet kuuluvat mihinkin ohjausryhmään ja minkä automaatioserverin alaisuuteen (Kuva 46).

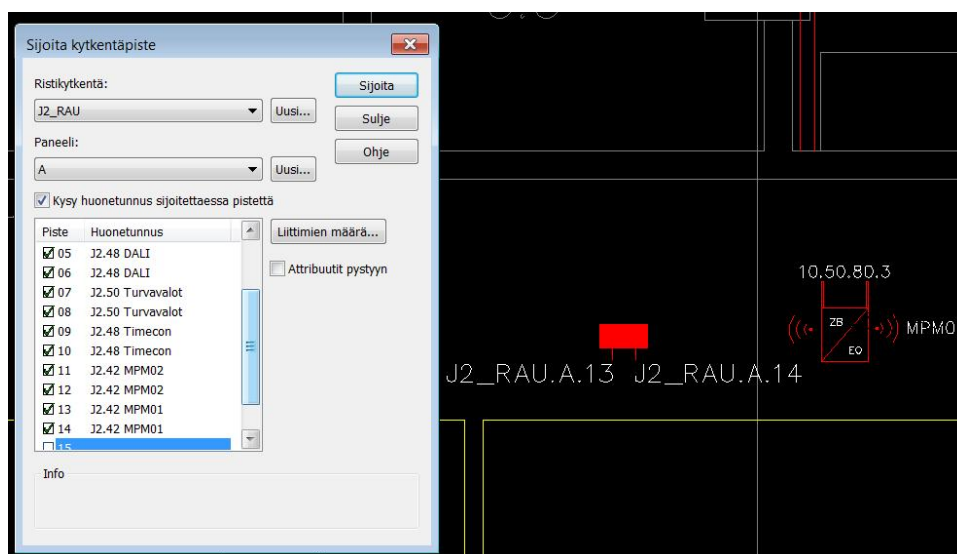


Kuva 46. Laitteiden osoitteen kokotunnuksen muodostuminen.

Automaatioväylään kytketyt erillispisteet liitetään yleisesti keskuksien I/O-pisteisiin, jolloin niiden selkein esitystapa on piirikaaviomuotoinen. Jos liittyvän pisteen I/O-pisteille on luotu omat kanavat, voidaan niitä esittää tarvittaessa myös tasokuvassa, käyttämällä I/O-kortin tietoja suo-

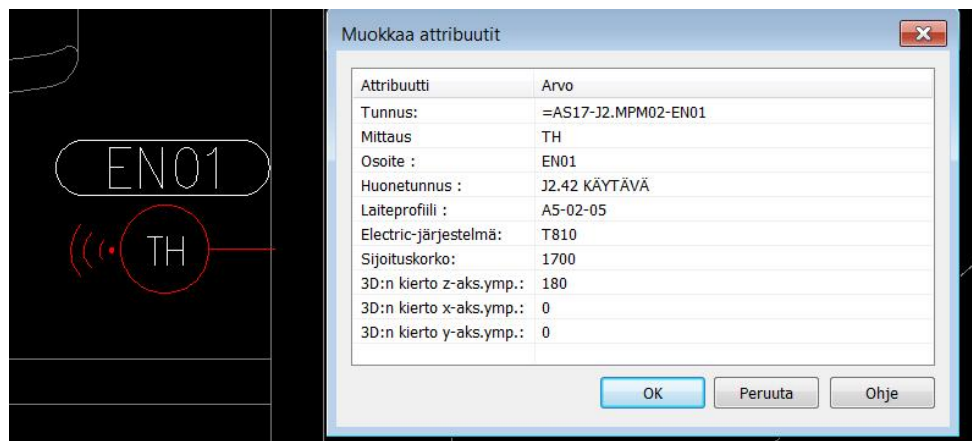
raan tietokannasta. Tuomalla pisteen tieto siihen paikkaan, missä kohdassa tiloja mittauspiste oikeasti sijaitsee, saadaan helposti tieto liitettyä myös sen fyysiseen sijaintiin kuvassa.

Suurempina kokonaisuuksina kiinteistöautomaatio sisältää myös hyvin paljon laitteita, jotka ovat kytkettyinä kiinteistön Ethernet-verkon keskitinpisteisiin. Tästä syystä haluttiin myös ATK-pisteiden luonnissa käyttää tietokantapohjaista ratkaisua, josta saadaan helposti ATK-pisteiden listaus ristikytkentärimalle (Kuva 47). Tämä helpottaa myös kunnossapidon työtä jatkossa, kun kiinteistöautomaatiolaitteille on varattu oma osa ATK-kaapeista, missä niiden kytkentäpisteet ovat selkeästi tiedossa.



Kuva 47. ATK-ristikytkentä tietokantaan.

Enocean-laitteita lisättäessä on huomioitava luonnollisesti verkon kantomatka ja laiteprofiilit. Enocean-laitteille määriteltiin lisätiedoiksi mittauksen tyyppi, osoite, huonetunnus ja laiteprofiili (Kuva 48). Nämä asiat kertovat riittävällä tarkkuudella tietomallissa ne asiat, jotka ovat laitteiden kannalta oleellista.

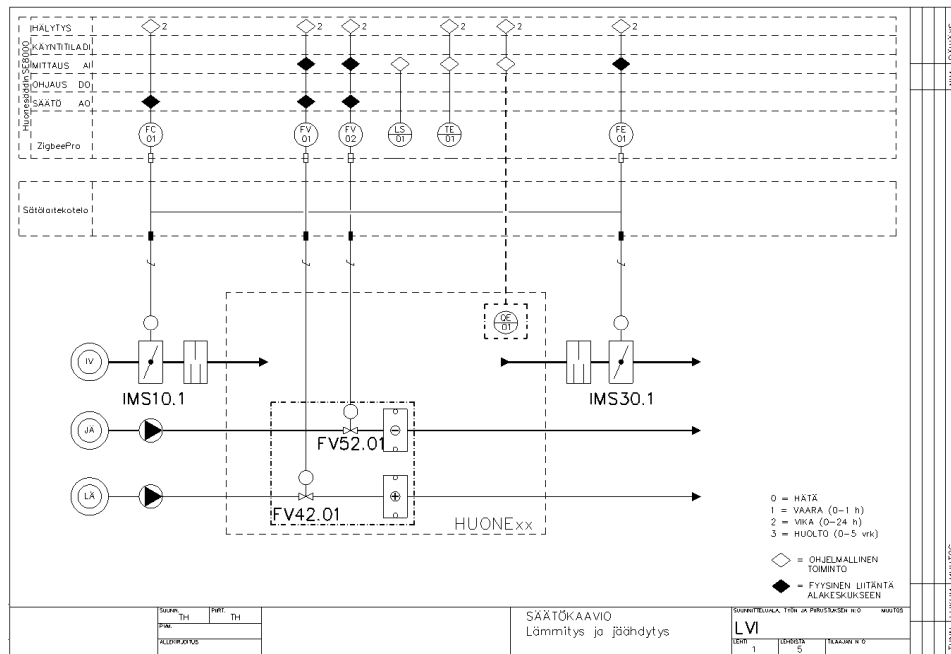


Kuva 48. EnOcean-anturin lisätiedot ja symboli.

## 6.2 LVIA-suunnitelmasta tuotavat tiedot

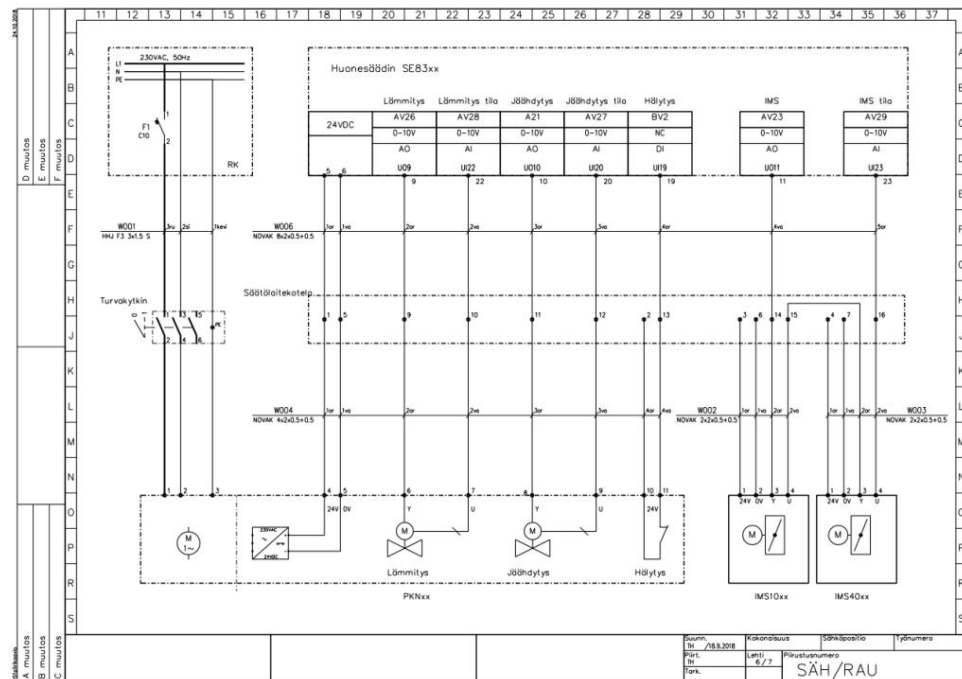
Tilojen lämpötilaan ja ilmanvaihtoon liittyvät suunnitelmat toteuttaa yleisesti LVIA-suunnittelija, joka on myös mitoittanut ohjaukseen käytettävät päätelaitteet. Se kuinka hyvin suunnitelma palvelee automaation tarpeita, on pitkälti toteutustavasta kiinni. Automaation kannalta esimerkiksi huonekohtaisen säätökaavion tiedoista tulisi selvittää kaikki ne asiat, jotka liittyvät tilan mittauksiin, ohjauksiin ja valvontaan.

Esimerkissä toteutettiin huonekohtainen säätökaavio (Kuva 49) tilasta, jossa huoneen ilmanvaihtoa säädetään tarpeenmukaisena. Joko Hiilidioksidipitoisuuden (Co2) perusteella tai läsnäolon mukaan. Ilmamääräsäätimet säättävät myös huoneen poistoilmaa suhteessa tuloilman määrään. Huonesäädin säättää suoraa tilan lämpötilaa käyttäjän asetusten mukaisesti, joko jäähdytykseen tai lämmitykseen. Läsnäoloanturin perusteella säädetään myös huoneen lämpötila tiettyyn asetusarvoon, jos huone on ollut tyhjiä määrätyn ajan. Myös huoneen kosteuden mittausarvo vaikuttaa säätöihin.



Kuva 49. CADS Hepac LVIA- huonekohtainen säätökaavio.

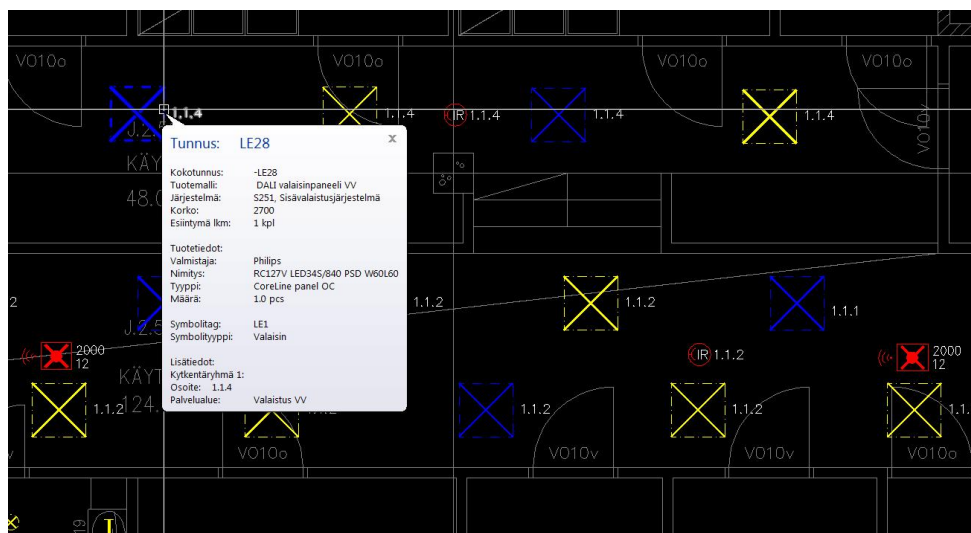
Säätökaavio ei yleisesti tarkenna esimerkiksi huonekohtaisen säädön kytkentää säätölaitekoteloon. Tästä syystä piirrettiin aiemmin luodun I/O-kortin avulla säätökaavion pohjalta myös piirikaaviokuva (Kuva 50). Tämä on kohtalaisen selkeä esitys siitä, miten tilan laitteet tulee kytkeä. Kun kaikkien eri tilojen ohjauksista tehdään valmiit piirikaaviomallit, joita käytetään johdonmukaisesti, palvelee se niin asennusaikaista kuin myöhemmin kunnossapidonkin työtä.



Kuva 50. RAU-piirikaavio esimerkki.

### 6.3 Valaistuksen suunnittelu

Valaistuksenohjaus joka liitetään DALI-väylään, vaatii perinteiseen valaistussuunnitelmasta poiketen muutamia perusasioita, joita tulee ottaa huomioon suunnittelussa. Sama koskee myös turvavalojen suunnittelua siinä tapauksessa, kun turvavalot muodostavat tiedonsiirtonsa langattoman verkon välityksellä. DALI-valaisimille ja ohjauslaitteille määriteltiin lisätietoina osoiteattribuutti, jotta ryhmien hallinta ja valaistustilanteet olisi helpompi toteuttaa. Lisäksi valaisimien palvelualueeseen määriteltiin kuuluvatko ne normaalijakelun vai varavoiman piiriin (Kuva 51). Turvavalojen osalta attribuuteiksi annettiin aiemminkin Zigbee-tekniikkaan liittyen PAN-ID ja RF-kavava. Tämä selkeyttää verkon rakennetta ja helpottaa käyttöönottoa, kun eri alueet voidaan helposti muodostaa Zigbee-verkon tietojen perusteella.



Kuva 51. Valaistuksenohjauksen lisätiedot.

## 7 BIM JA TIETOMALLINNUS

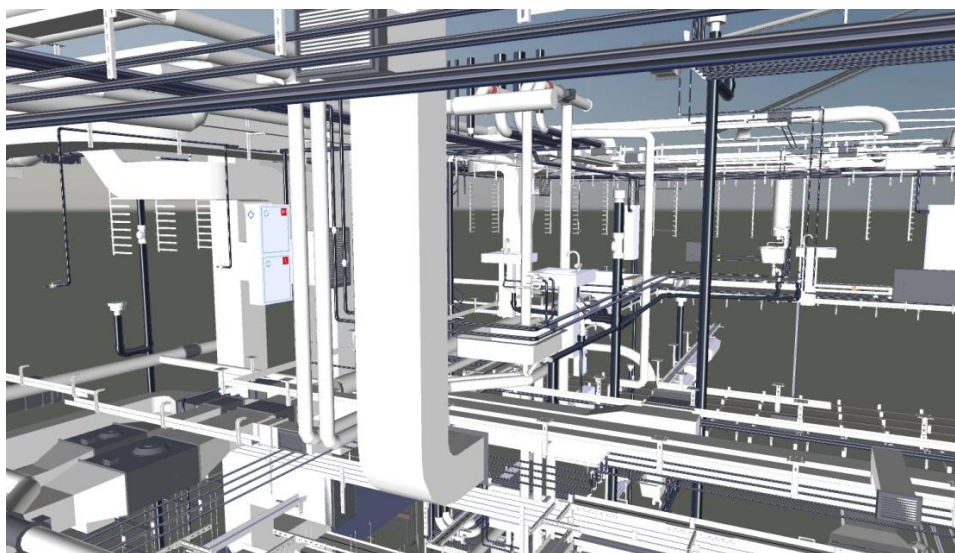
BIM (Building Information Model) on yleisesti käytetty tietomalli rakennusten digitaalisesta mallista. Tietomalli liitetään yleisesti 3D-mallintamiseen ja sen eri sovelluksiin, ja sitä se myös pääosin on. Sen suurin hyöty keskittyykin nimenomaan rakennustekniseen suunnitteluun, rakenteiden mallintamiseen ja rakennuksen digitaaliseen, kokonaisvaltaiseen mallin luomiseen. Vaikka sen suurin hyöty onkin suoranaisesti sähkö- ja LVI-suunnittelun kannalta putkistojen ja kaapelihyllyjen törmäys-

tarkastelussa sekä tilalaitteiden tilavaraustietona, on sen tuomia mahdollisuuksia hyödynnetty vielä verrattain vähän.

## 7.1 IFC-malli

Perinteinen tasokuva on hyvin toteutettuna yleensä riittävä kertomaan kaikki tarvittavat asiat aina yhdestä pienemmästä alueesta, mutta suuresta kokonaisuudesta eri asioiden löytäminen on hankalampaa. Eri suunnittelualojen tiedot joudutaan myös etsimään useista erillisistä tasokuvista, joten kokonaisuuden hahmottaminen on vaikeampaa. Lisäksi ongelmaksi muodostuu usein myös se, että kun tasokuvat ovat suunniteltu eri ohjelmistoilla, katoaa niistä ohjelmanvaihdon mukana suurin osa tuotemalleihin määritellyistä ominaisuuksista, eikä niitä voida hyödyntää enää avatessa kuvia toisella sovelluksella. Tällöin suunnitteluvaiheessa toteutettu lisätiedon arvo ei ole hyödynnettävissä niin hyvin jatko käyttöä ajatellen.

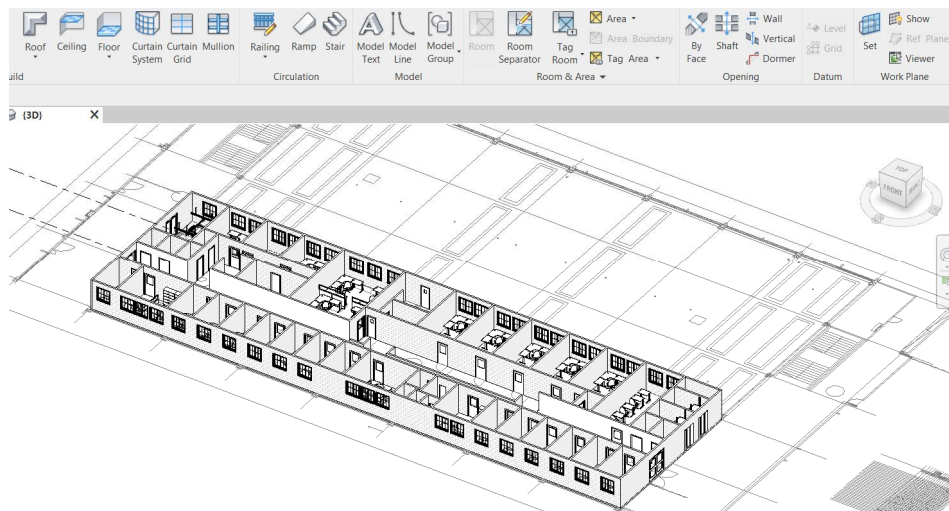
IFC(Industrial Foundation Classes) on tietomallipohjaisen rakennussuunnittelun standardi, jolla siirretään tietomallitieto yhteiseen tuettuun tiedostomuotoon ohjelmistoista riippumatta. Tämä standardi takaa sen, että useiden eri suunnittelualojen mallit voidaan yhdistää yhdeksi yhdistelmämalliksi, jossa kaikki suunnittelun tuottama tieto on tarkasteltavana yhdestä kokonaisuudesta. (Wikipedia n.c.)



Kuva 52. Rakennuksen teknisten järjestelmien BIM-malli. (BIMexe n.d.)

Jotta tietomallin käyttöä pystyttäisiin kokeilemaan paremmin myös käytännössä, työssä suunniteltiin aiemman tasokuvan pohjalta IFC-tilamalli, johon sähkö- ja automaatio suunnitelmat voidaan yhdistää (Kuva 53). Malli toteutettiin Autodesk Revit ohjelmistolla, joka on yleisesti käytössä oleva ohjelmisto rakennuksen BIM-mallien tuottamiseen. Yksinkertai-

simmillaan malli luodaan dwg-muotoisen pohjakuvan päälle, johon rakennuksen kerrokset, lattiat, katot, seinät sekä ovet ja ikkunat mallinnetaan. Lisäksi malliin luodaan tarkkuuden tasosta riippuen myös pohjakuvaan mallinnetut huonekalut tai muut kalusteet.

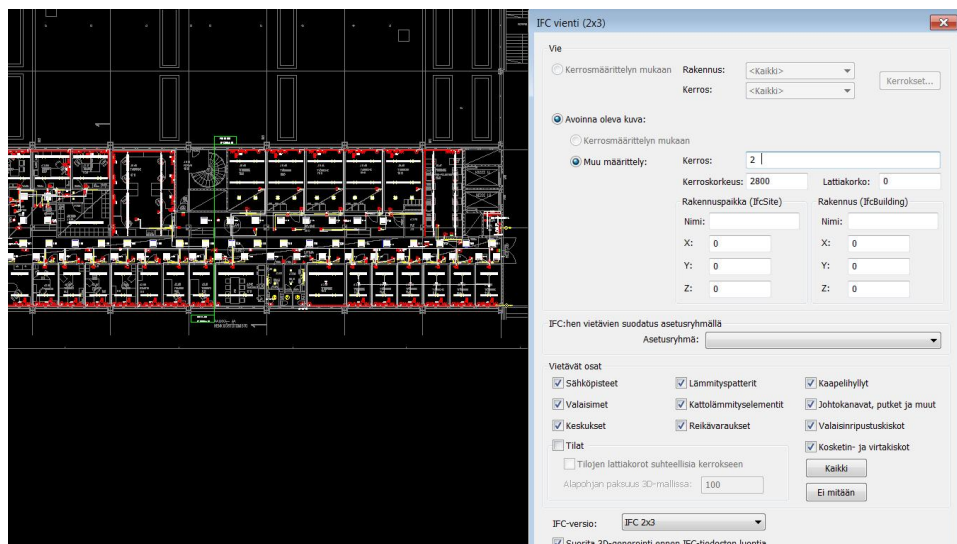


Kuva 53. Autodesk Revit suunnittelutila.

## 7.2 Kiinteistöautomaation tietomalli

Tietomallipohjainen suunnittelu kiinteistöautomaation kohdalla keskittyy selkeästi itse tietomallin tietosisältöön. Koska rakennusautomaation laitteiden tilantarve on hyvin pieni, ei niiden sijoittamisessa esimerkiksi 3D-malliin törmäystarkastelun näkökulmasta katsottuna ole muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta juurikaan hyötyä.

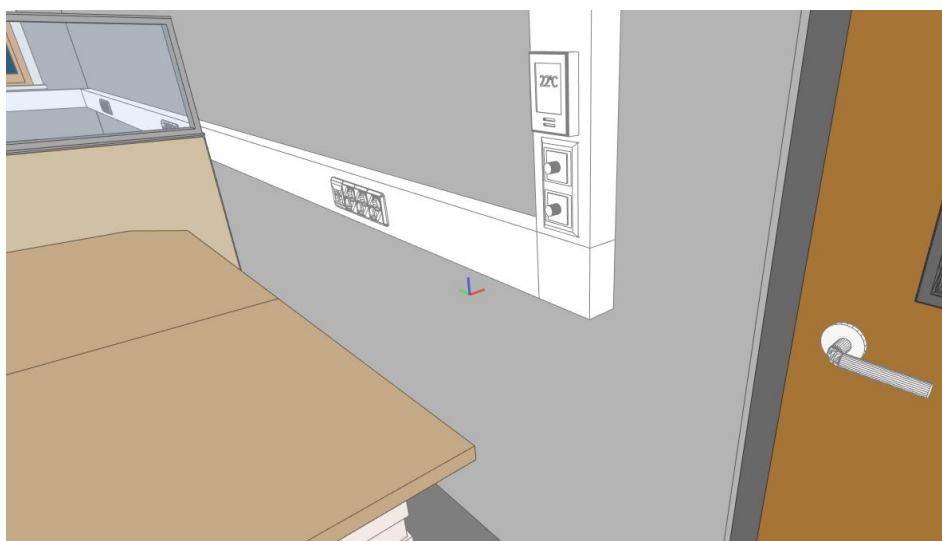
Kiinteistöautomaation tietomallin esimerkin toteutuksessa käytettiin hyväksi aiemmin tehtyä sähkö- ja automaatio suunnitelmaa, joka vietiin sellaisenaan CADS Electricistä IFC-malliksi (Kuva 54). Kaikkien tuote- ja lisätietojen tarkoitus oli tarjota laajempi käytettävyys tietomalliin viennillä. IFC-formaatin luonteesta johtuen, oli kaikille laitteille luotava myös jokin geometria 3D-malliin, koska se on ainoa tapa, jolla tietosisältö siirtyy itse malliin.



Kuva 54. CADs IFC-vienti.

Visuaalisen vaikutelman luomisessa malliin, tulisi laitteiden 3D-mallin ulkomuotojen vastata vähintään mitoiltaan oikeaa laitetta. Useat valmistajat myös tarjoavat tuotteilleen valmiit BIM-mallit, joten niiden käyttö on suositeltua, jos siihen on mahdollisuus. Oikeilla ulkomuodoilla toteutetut laitteet luovat myös ulkopuoliselle katsojalle selkeämmän kuvan tilojen toiminnasta.

Aina malleja ei ole saatavana, joten ne on luotava itse. Omien tuotemalliobjektien luonnissa IFC-kelpoiseen muotoon, on huomioitava käytetyn ohjelman tuetut tiedostomuodot sekä tärkeimpänä ominaisuutena itse symbolin kohdistuspiste, jotta ne asettuvat korkeus- ja syvyysuunnassa oikeaan paikkaan mallissa (Kuva 55).

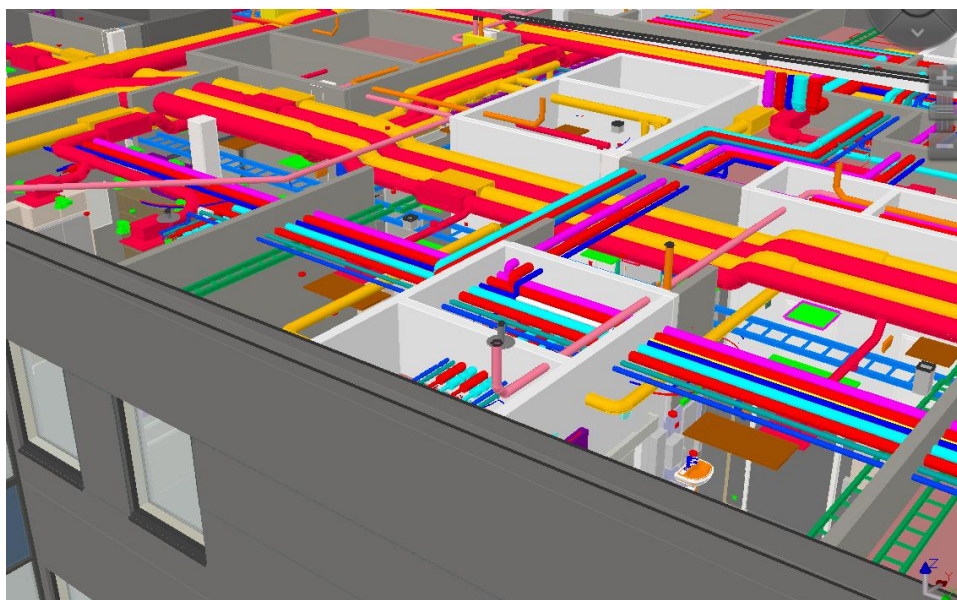


Kuva 55. Esimerkki huonesäätimelle luodusta BIM-mallista.

### 7.3 Yleinen tietomallivaatimus YTV2012

Tietomallin käyttö eri osapuolten välillä vaatii muutamien yhteisten pelisääntöjen määrittelyä. Yleisesti tietomallinnus määrittellään sähkösuunnittelun osalta YTV2012 mukaan, jossa käsitellään lähinnä mitä asioita mallinnetaan, millä tarkkuudella ja mitä lisätietoja tilaaja mahdollisesti haluaa malliin lisätä. Sähkösuunnitelman perusvaatimustaso on se, että mallinnetaan vähintään kaikki käytettävät kaapelireitit, läpiviennit, keskuskeskukset ja valaisimet niiden oikeilla mitoilla sekä korkoasetuksilla. Pistorasiat ja kytkimet sekä muut tiloihin liittyvät sähkökalusteet mallinnetaan vain mallihuoneisiin, ellei toisin vaadita.

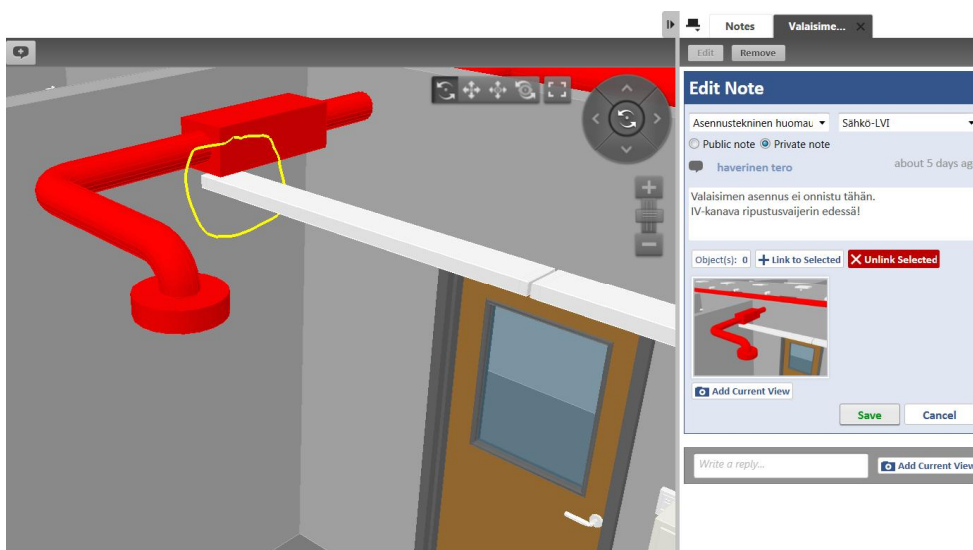
Projektikohtaisesti on myös sovittava kaikki tiedonvaihtoon ja kommunikointiin liittyvät seikat, kuten tiedostojen nimeämiskäytännöt, statustiedot sekä muut käytännön asiat mahdollisimman selkeästi. Tärkein perusta toimivan mallin edellytykselle on, että kaikki mallinnukseen liittyvät kuvat piirretään samaan arkkitehdin tietomallipohjaan samoilla origo, kerros- ja lattiakorkoasetuksilla. Yksittäisistä kuvista viedään IFC-tiedostoon ainoastaan mallinnetut asiat, eikä erikseen tilatietoja. Näin kaikki yhdistelmämalliin mallinnettavat asiat ovat oikeassa positiossa toisiinsa nähden, eikä jokaisesta erillismallista synny yhteismalliin uusia tiloja. Yhdistelmämalli tuotetaan siis erikseen tilamallista, johon yhdistetään eri suunnittelualueiden tuotetut tietomallit (Kuva 56). (YTV2012, 2012).



Kuva 56. Yhdistelmämalli Sähkö- ja LVI-tietomalleista.

## 8 TIETOMALLIN HYÖDYNNETTÄVYYS

Työssä tutustuttiin myös IFC-malleja tukeviin katseluohjelmiin, joilla pystytään tuottamaan rakennuksen yhdistelmämallit ja käyttämään niitä rakennuksen digitaalisen mallin tietojen tarkastamiseen. Tämän kaltaiset ohjelmat palvelevat ehkä paremmin rakennuttajia suunnitteluvaiheessa sekä rakennustyömaan edetessä eri suunnittelualojen törmäystarkastelujen ja työvaiheiden määrittelyssä sekä kommenttien jakamisessa epäkohdientien merkitsemiseksi (Kuva 57).



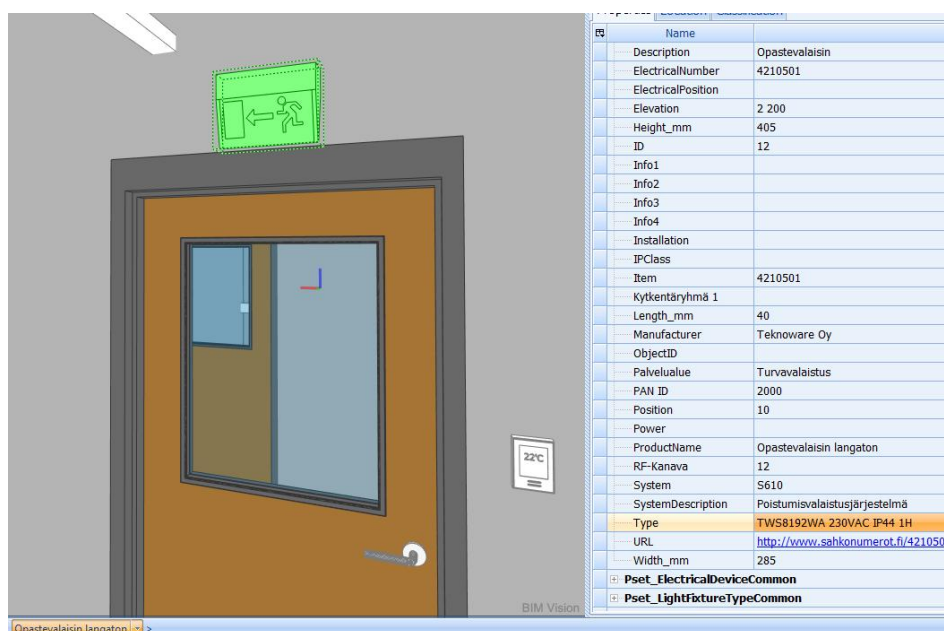
Kuva 57. Tekla BIMsight. Asennusteknisten ongelmien merkitseminen.

Tämän työn kannalta tärkeimmät ominaisuudet liittyivät kuitenkin siihen, miten näillä ohjelmilla voidaan tarkastella aiemmin luodun suunnitelman tietoja mahdollisimman tehokkaasti. Ja ennen kaikkea sitä, miten tietomallin käyttöä voidaan hyödyntää myös rakennuksen valmistumisen jälkeen. Työssä käytetyt ohjelmat olivat Autodesk BIM 360 Glue, Tekla BIMsight sekä Datacomp BIMvision.

Kaikki ohjelmat ovat pilvipalvelupohjaisia tietomalliohjelmistoja, joiden perusideana on tarjota käyttäjille yhteinen alusta, josta kaikki projektiin osallistuvat voivat tarkastella yhdistelmämallin kokonaisuutta. Yhdistelmämallit luodaan jo aiemminkin mainitulla tavalla, tuomalla kuvaan itse rakennuksen malli ja siihen liittyvät tietomallit erikseen.

## 8.1 Tietomallintiedon käyttö

Kuten aiemmassa kappaleen suunnittelussa perusteltiin, tärkein merkitys laitteiden suunnittelussa tietomalliin on sen perustiedot, joista selviää vähintään valmistaja, tyyppimerkintä ja tieto siitä, minkä tyyppinen laite on kyseessä. Näillä tiedoilla ei kuitenkaan saada tietomallin hyödynnettävyyttä käytettyä kovin moneen tarkoitukseen. Lisätiedot ovatkin niitä tietoja, joita tietomallin hyödynnettävyys palvelee paremmin, kun siihen halutaan lisätä toiminnallisuutta. Lisäksi esimerkiksi tuotemalliin tuleva linkki tuotteen tarkempiin tietoihin on helposti avattavana kun sitä tarkastellaan IFC-mallista (Kuva 58). URL-linkit ovatkin yksi hyvä tapa lisätä toiminnallisuutta tietomallin tietosisältöön. Linkin voimassaolon kannalta on kuitenkin huomioitava, että se on tuotu sellaisesta lähteestä, joka on hyvin ylläpidetty.

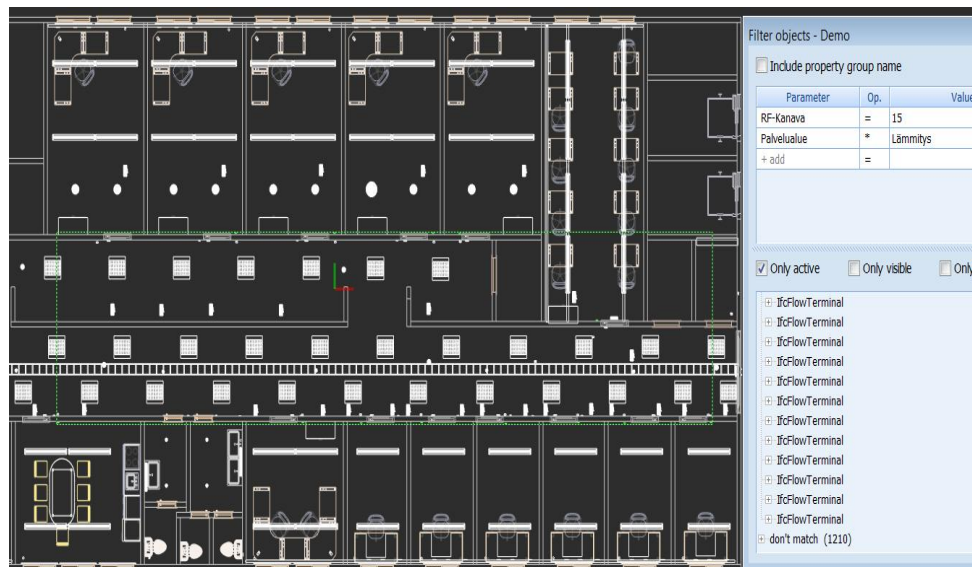


Kuva 58. Tuotemalli BIM-mallissa määritetyillä tiedoilla sekä URL-linkillä.

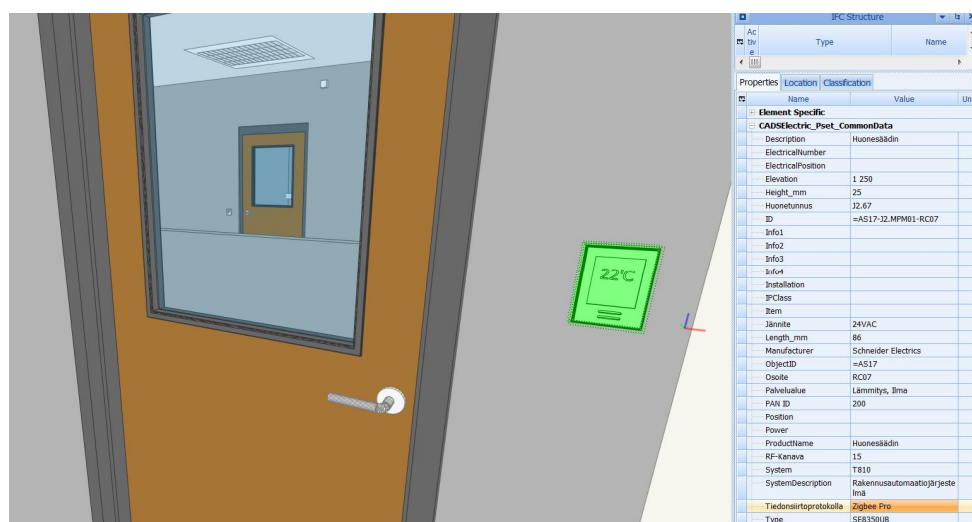
Kun malli rakentuu tietyistä attribuuteista, jotka sisältävät toiminnan tai asennuksen kannalta oleellista tietoa, voidaan niiden perusteella tehdä erilaisia suodatuksia etsittävien asioiden suhteen. Tuotemalleja suunniteltaessa onkin pyrittävä miettimään mitä laitteiden viennillä tietomalliin halutaan saavuttaa. Millaisia tietoja mallista tahdotaan etsiä niin suunnittelun kannalta silloin kun tiloja rakennetaan ja myöhemmin kunnossapidon tarpeita mukaillen.

Mallista voidaan esimerkiksi suodattaa langattomien verkkojen laitteita rajaamalla niitä käytetyn osoitteen, kanavan tai tiedonsiirtoprotokollan perusteella (Kuva 59). Tällöin pystytään helposti hahmottamaan tietyn

verkon laitteet ja kokonaisuus. Sama koskee myös automaatioverkon rakenteen tarkastelua. Mikä laite kuuluu mihinkin alakeskukseen ja miten kokonaisuus rakentuu (Kuva 60). Muita hyödyllisiä tietoja joita voidaan rajata mallista, ovat esimerkiksi eri palvelualueet, kuten lämmitys, ilmanvaihto, valaistus ja ohjausjärjestelmät. Suodatuksia voidaan tehdä yhden tai useamman määritteen perusteella. Suodatuksessa voidaan myös hakea suoraan jotain arvoa tai määritellä mallista kaikki asiat jotka sisältävät tietyn arvon jossain muodossa.



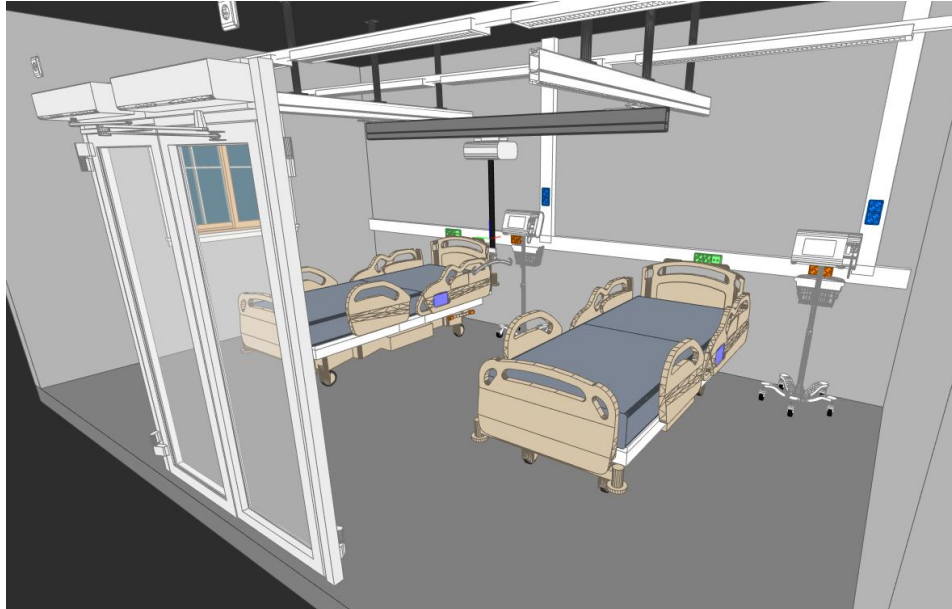
Kuva 59. Kuvasta suodatettu RF-kanavan 15 laitteet.



Kuva 60. Kanvasuodatuksen yksittäinen laite ja lisätiedot

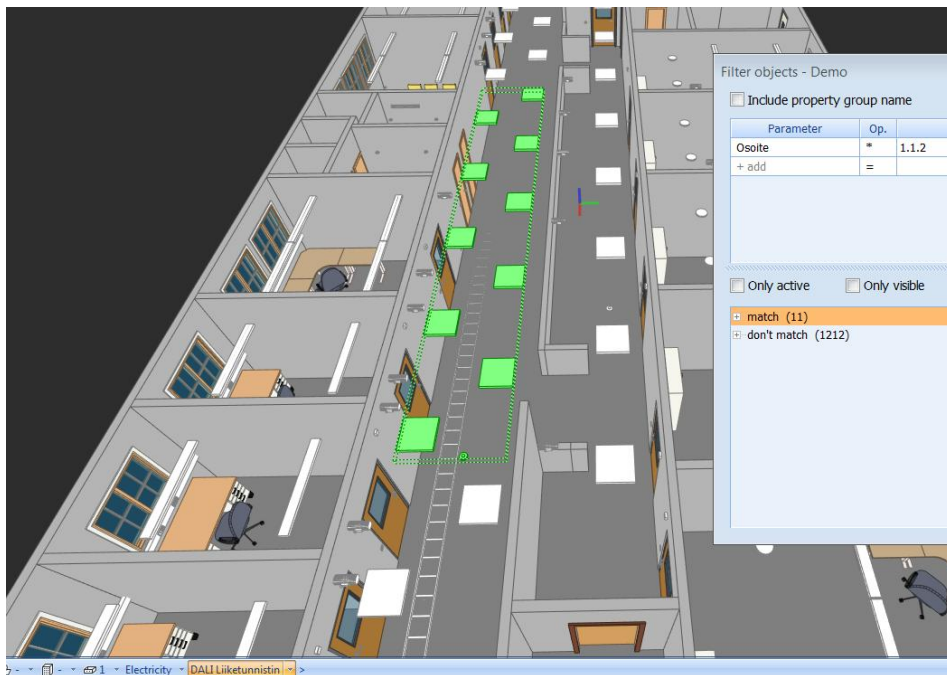
Kiinteistöt, jotka sisältävät erityyppisiä sähköverkon jakelualueita, voidaan rajata järjestelmäkoodin avulla esimerkiksi sähköpisteitä sen mukaan kuuluvatko ne varavoiman, UPS-jakelun tai IT-verkon alaisuuteen

(Kuva 61). Sama koskee myös esimerkiksi kaikkia ryhmäkeskuksia ja UPS-laitteita, jotka sijaitsevat niille määritellyissä tiloissa. Jakelualueet muodostuvat helposti kun kaikille järjestelmille on määritelty omat palvelualueet niiden toiminnan mukaan.



Kuva 61. Kuvasta suodatettu UPS, IT ja varavoiman pistorasiat eri väreillä.

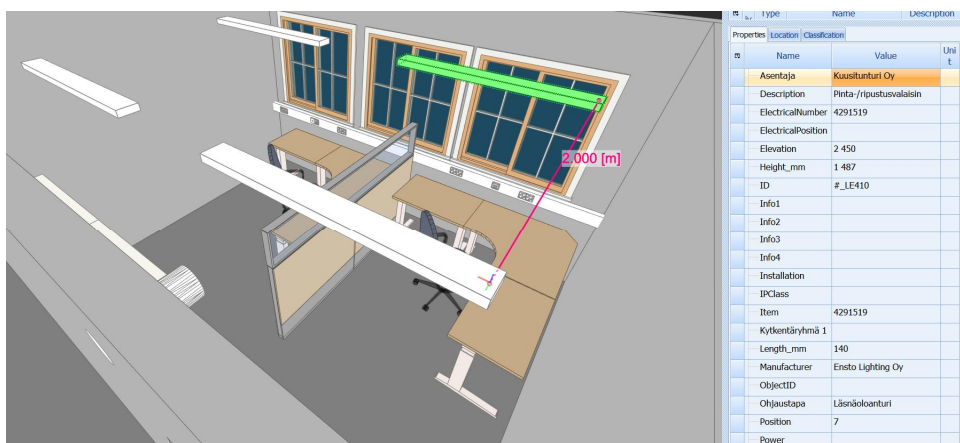
Kuten aiemmin perusteltiin DALI-valaistuksen osoitteiden määrittelyn tärkeydestä ryhmien osoitteiden perusteella, voidaan mallista etsiä suoraan tietyn valaistusryhmän kaikki valaisimet ja ohjauslaitteet (Kuva 62). Myös suunnitelman käyttö siinä vaiheessa, kun joku ulkopuolinen tulee suorittamaan järjestelmän ohjelmointia ja käyttöönottoa, voidaan helposti suodattaa erilaiset valaistustilanteet mallista, jos ne ovat huomioitu suunnitelmissa.



Kuva 62. DALI-valaistusrhmien tarkistaminen mallista.

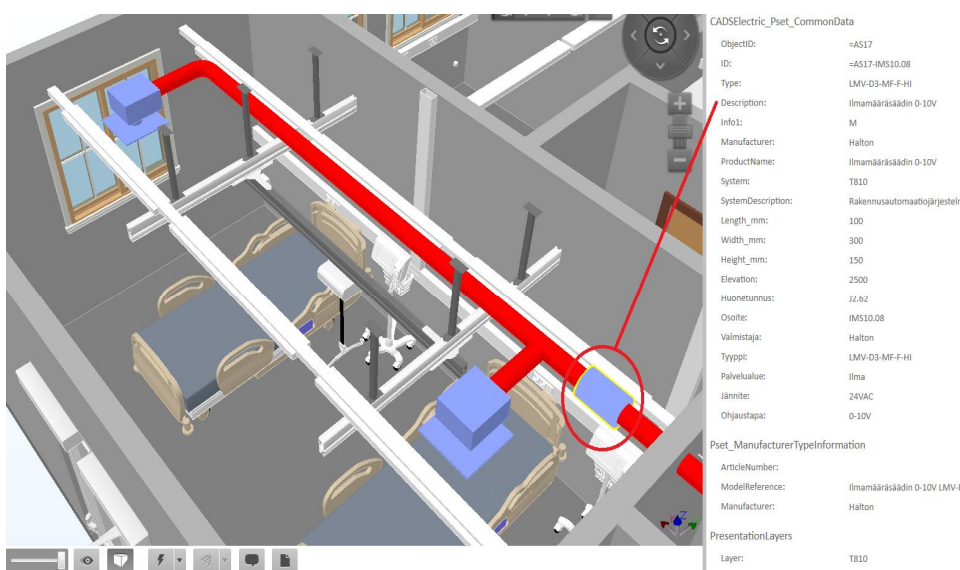
Muita erillisjärjestelmien suodatuksia ovat esimerkiksi kameravalvonta, kulunvalvonta, palojärjestelmät sekä keskuskuulutusjärjestelmät. Erillisjärjestelmien suodatus toimii helpoiten käyttämällä järjestelmänimikkeistöä, joka luodaan automaattisesti useimmissa suunnitteluohjelmissa, kun laitteita sijoitetaan tasokuvassa oikeille tasoille. Nämä suodatukset helpottavat eri järjestelmien tarkastelua siinä mielessä, että niiden avulla on helppo rajata mallista ainoastaan ne asiat, joista kyseisellä hetkellä ollaan kiinnostuneita.

Rakentamisen ja kunnossapidon kannalta visio oli myös vahvasti nykypäivän suuntauksia mukaillen sen kaltainen, että esimerkiksi asentaja voi työmaalle saavuttuaan avata sovelluksella työmaata koskevan suunnitelman ja tarkastaa siitä tarvittavat asiat. Visuaalisesta mallista pystytään tarkastamaan tilojen sähkö- tai automaatiolaitteiden asennuspaikat ja tarvittavat korot tai etäisyydet sekä itse tuotteet, jotka tiloihin on määritetty. Asentaja voi myös suodattaa mallista kaikki omaa yritystä koskevat osa-alueet, jos niin on määritetty (Kuva 63).



Kuva 63. BIM-mallin tuotetieto ja mittatyökalun käyttö.

Sama periaate toimii myös myöhemmin kun kunnossapidon henkilöstö voi käyttää sovellusta huoltotöiden yhteydessä. Esimerkiksi tiettyjen toimilaitteiden etsiminen huonetunnuksen avulla, alakattojen yläpuolelta helpottuu, sekä lisäksi päästään suoraan kiinni laitteen oikeisiin tietoihin edes kattoja avaamatta (Kuva 64).

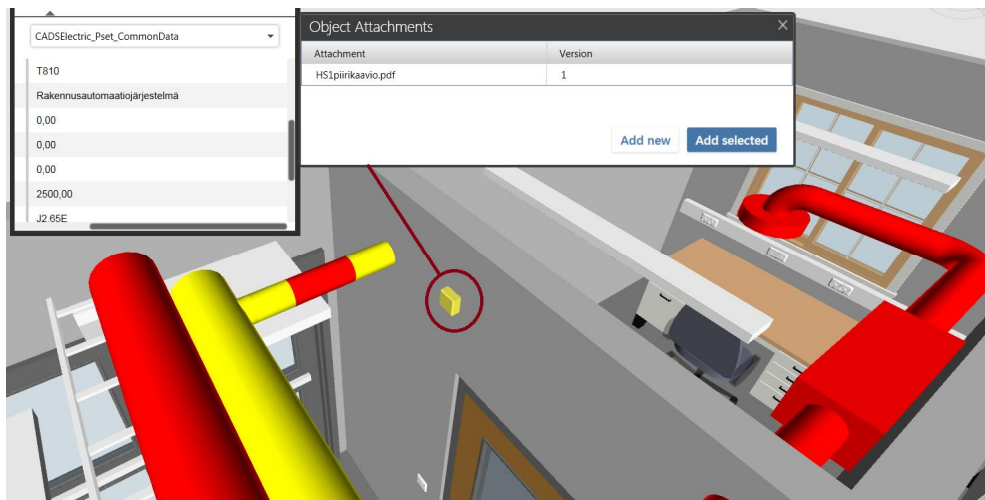


Kuva 64. Tietomallin käyttö kunnossapidossa.

Tietomallitiedon käyttö kunnossapidon kannalta varsinkin siinä tilanteessa, kun kohde sijaitsee jossain kauempana, voidaan mahdollisesti varautua tarvittaviin varaosiin sen perusteella, mitä mallista tarkastetut tiedot kertovat.

Ohjelmasta riippuen kuvaan voidaan liittää sen laitteille myös liitetiedostoja, jotka eivät ole suoraan tuotemalliin liittyviä (Kuva 65). Tällaisia tietoja voivat olla esimerkiksi aiemmin työssä tehdyn säätölaitekotelon kyt-

kentäkaavio. Jos toiminnallisuutta halutaan laajentaa, voi tieto sisältää myös laitteiden huolto-ohjeita tai muuta tuotemalliin liittyvää yksityiskohtaisempaa tietoa.

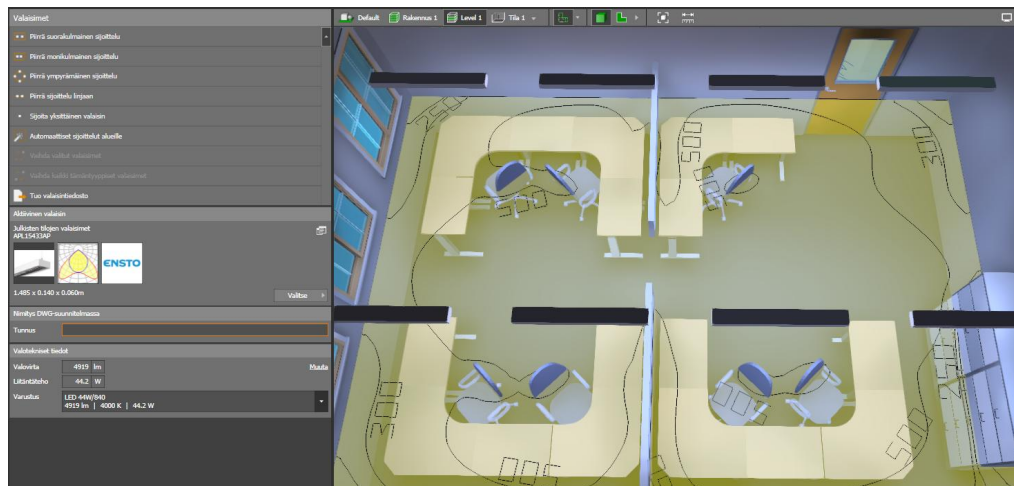


Kuva 65. Yksittäiselle laitteelle lisätty pdf-tiedosto.

## 8.2 DIALux

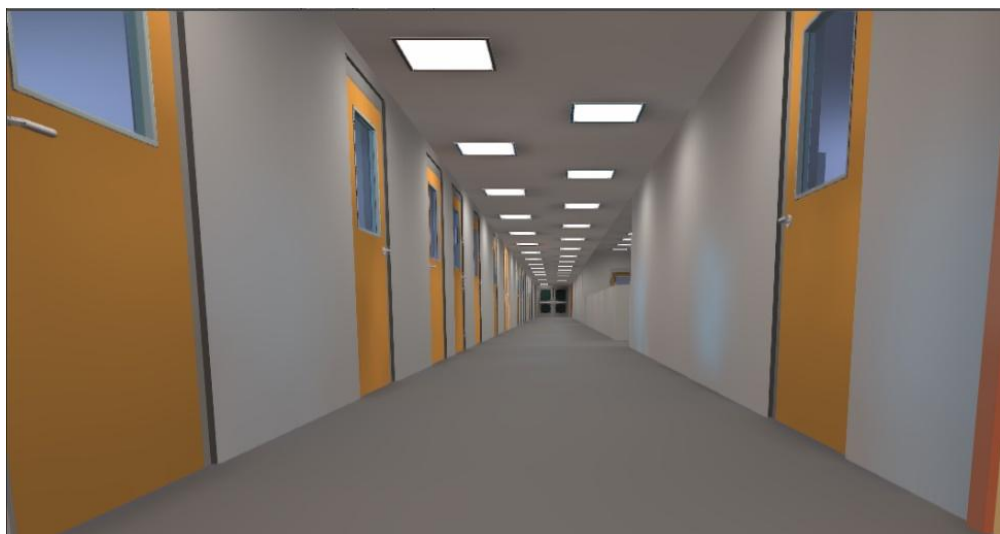
Työssä tutkittiin myös tietomallin käyttöä valaistussuunnittelun kannalta. Perustelu mallin kannalta liittyi lähinnä DALI-valaistuksenohjauksen tasojen määrittämiseen sekä energiankulutuksen arviointiin. Kun valaistuksenohjaus on liitetty kiinteistöautomaatiojärjestelmään, jossa sen energiankulutusta seurataan, on sille oltava myös joku lähtökohtainen suunnitelma, mihin kulutusta verrataan. Lisäksi voidaan etukäteen kokeilla erilaisia asetusryhmiä ja niiden valaistustilanteita. Tämä helpottaa myös kohteen järjestelmän käyttöönotto, kun esiohjelmointi voidaan suorittaa pitkälle jo ennen varsinaista käyttöönottoa. Tilojen käyttötarkoituksen muuttuessa, voidaan mallia käyttää myös uusien valaistussuunnitelmien toteuttamisessa.

DIALux-malli on kohtalaisen helppo luoda, kun käytetään jo aikaisemmin luotua IFC-mallia, johon tuodaan tasokuvassakin suunnitellut valaisimet (Kuva 66). Dialux tukee laajasti myös eri valmistajien tuotteita, joten suurin osa valaisimista on linkitettävissä suoraan ohjelmaan oikeilla tiedoilla.



Kuva 66. DIALux käyttötasolle laskettu valoteho.

Myös tilojen visualisoinnin kannalta Dialux-malli antaa kohtalaisen hyvän kuvan siitä, miltä tilat näyttävät tietyillä valotason määrityksillä tai asetusryhmillä (Kuva 67).



Kuva 67. DIALux-mallin laskennan visuaalinen näkymä.

### 8.3 BIM soveltuvuus

Monet BIM-mallien tarkasteluun käytetyistä ohjelmista eivät ole suoraan suunniteltu kaikkiin toimintoihin, joita tässäkin työssä on esitelty. Tarkoituksena oli kuitenkin tuoda esiin mallin kannalta niitä asioita, joita mahdollisesti voidaan hyödyntää. Sähkö- ja automaatio suunnittelun osalta mallit eivät ainakaan vielä ole korvaamassa perinteisten tasokuvien

käyttöä, koska tietomallin sisältö ei ota kantaa esimerkiksi yksittäisiin kaapeleihin ja niitä syöttävien keskuksien ryhmiin.

Mallien käyttöön kunnossapidon näkökulmasta katsoen on olemassa joitain valmiita ohjelmistoja, mutta niitä ei voitu tämän työn puitteissa kokeilla niiden maksullisuuden vuoksi. BIM-Vision osoittautui lopulta käytökelpoisimmaksi työkaluksi mallien hyödyntämiseen. Sen sisältämät ominaisuudet olivat sellaisia, joilla pysytään kohtalaisen tehokkaaksi suodattamaan mallista etsittäviä asioita. Myös visuaalisen tarkastelun kannalta sen käyttömukavuus muihin vastaaviin ohjelmiin on parempi. Tässä työssä käytetyt IFC-malliin liittyvät ohjelmistot eivät myöskään käytön helppouden kannalta olleet vielä sellaisella tasolla, että vähemmän teknisten ohjelmistojen käyttökokemusta omaavat voisivat niitä ilman erillistä ohjeistusta käyttää.

Yksi merkittävä huomio käytettäessä BIM-malleja rakennuksen valmistuksen jälkeen on myös se, että niiden päivittäminen tilojen muuttuessa vaatii aina jonkun tietomalleihin erikoistuneen osaajan. Tietomallista käytetäänkin yleisesti nimityksiä toteutuma- ja ylläpitomalli. Jotta mallin käytettävyys olisi parempi koko rakennuksen elinkaaren aikana, on ylläpitomallia myös päivitettävä aina kun tiloja muutetaan ja saneerataan, jotta mallin tarjoama tieto on ajantasaista ja luotettavaa.

BIM-mallien käyttö valvomo-ohjelmistojen pohjakuvana olisi myös yksi kehityskelpoinen idea. Jos mallinnettu rakennus on jo tehty, voitaisiin samaa mallia käyttää myös suoraan valvomossa, josta kaikki tiedot voidaan tuoda kootusti yhteen. Varsinkin suuremmissa kokonaisuuksissa pohjakuvien tuonti ja niiden sovittaminen koko rakennuksen kannalta on kohtalaisen työlästä. Lisäksi ohjauksiin liittyvät tilalaitteet näkyisivät suoraan mallissa jo valmiiksi. Myös kokonaisuuden kannalta yhdistelmämalli antaisi paremman kuvan rakennuksesta ja lisäksi IFC-formaatin tuomaa lisätietoa voitaisiin hyödyntää vieläkin laajemmin.

## 9 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tutkimuksen pohjalta, kiinteistöautomaation tämän hetken suuntaus on vahvasti järjestelmien avoimuudessa ja valmistajariippumattomuudesta. Kenttätasolla laitteiden helppo liitettävyys, muokattavuus ja laajennettavuus ovat niitä asioita, joita esimerkiksi langattomilla järjestelmillä halutaan saavuttaa. Järjestelmätasolla arvostettavia ominaisuuksia taas ovat useiden eri protokolien tukeminen ja tiedon helppo välittyminen. Hallintason palveluilta taas odotetaan hyviä ominaisuuksia järjestelmäintegraatioiden osalta, koska niiden avulla voidaan luoda älykäs kokonaisuus, jonka eri osa-alueet ymmärtävät toisiaan.

Kokonaisuuden muodostuminen luo myös mahdollisuuden parempaan analysointiin ja siitä saatavien tulosten hyödyntämiseen kokonaisvaltaisesti myös ennakoivaa kunnossapitoa ajatellen.

Suunnittelun kannalta suurin muutos on varmasti tietomallinnuksen tuleminen peruskäytännöksi myös sähkö- ja automaatio suunnittelun osalta. Varsinkin suurempien kiinteistöjen uudisrakentamisessa on auttamatta putoamassa pelistä, jos tietomallipohjaisia suunnitelmia ei pystytä toteuttamaan. Rakennusten digitaalinen mallintaminen tehdään nykypäivänä hyvinkin pitkälle ja yksityiskohtaisesti vastaamaan oikeaa rakennusta. Tämä tarkoittaa myös sitä, että kaikkien eri osa-alueiden suunnittelijoiden on kyettävä tuottamaan mallin vaatima taso. Käytännöt vaihtelevat vielä hyvin paljon, mutta tulevat varmasti muuttumaan, kun tietomallistandardit ja osaaminen tulevaisuudessa päivittyvät niidenkin osalta.

Samalla kun mallintaminen viedään siihen pisteeseen, että se pystyy antamaan myös kohtalaisen tarkan arvion rakennuksen energiakäyttäytymisestä ja siihen vaikuttavista tekijöistä, pitää myös kiinteistöautomaation olla sillä tasolla, että ohjaus ja seuranta voidaan toteuttaa tarkasti ja luotettavasti. Ja ennen kaikkea se, että se palvelee niitä käyttötarkoituksia, joita sille on asetettu. Ei sitä, että kaikki mahdollinen on tehty siksi, että se on mahdollista. Vaan siksi, että sille on jokin merkityksellinen käyttötarkoitus.

Opinnäytetyö oli aihealueeltaan kohtalaisen laaja, johtuen kiinteistöautomaation nykytilasta, joka luonnostaan sisältää monen eri osa-alueen järjestelmiä ja niiden yhteensovittamista. Työn vaikeimmaksi osuudeksi myös muodostui lopulta kaikkien aihealueiden oleellisen sisällön saaminen tiiviiseen informatiiviseen muotoon. Monet aihealuista olivat myös sellaisia kokonaisuuksia, joista monesti on tehty koko opinnäytetyö. Lopujen lopuksi työstä saatiin kuitenkin kohtalaisen tiivis kokonaisuus, ajatellen olemassa olevaa skaalaa ja lähdemateriaalia. Se miten hyvin työ niiltä osin onnistui, on varmasti jokaisen ulkopuolisen nähtävä itse. Oma kokemus jäi kuitenkin positiivisen puolelle. Tutkittu tieto opettaa, pelkkä näkemys yleensä vähemmän.

## LÄHTEET

- ABB (2001). Vaihtovirtakäyttöjen yliaalto-opas. Tekninen opas nro 6. Haettu 25.11.2018 osoitteesta [https://library.e.abb.com/public/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/Tekninen\\_opas\\_nro\\_6.pdf](https://library.e.abb.com/public/9aaf3178627952c7c1256d2800411f8d/Tekninen_opas_nro_6.pdf)
- BACnet International (2014). Introduction to BACnet - For building owners and engineers. Haettu 25.11.2018 osoitteesta [www.big-eu.org/fileadmin/downloads/Introduction\\_to\\_BACnet-V3-1.pdf](http://www.big-eu.org/fileadmin/downloads/Introduction_to_BACnet-V3-1.pdf)
- BacnetOrg (n.d.). BACnet objektit. Haettu 25.11.2018 osoitteesta <http://www.bacnet.org/Tutorial/HMN-Overview/sld021.htm>
- Bacnetstack (n.d.). BACnet OSI-malli. Haettu 25.11.2018 osoitteesta <https://www.bacnetstack.com/>
- Beckhoff (n.d.). BACnet COV. Haettu 25.11.2018 osoitteesta [https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcbacnet/html/bacnet\\_examples\\_notificationclass.htm&id=](https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcbacnet/html/bacnet_examples_notificationclass.htm&id=)
- BIMexe (n.d.). Rakennuksen teknisten järjestelmien BIM-malli. Haettu 25.11.2018 osoitteesta <https://bimexe.com/services/cad-design-and-engineering/mep-drafting-and-design>
- Carrier (n.d.). BACnet objektin tiedot. Haettu 25.11.2018 osoitteesta [dms.hvacpartners.com](http://dms.hvacpartners.com)
- CControls (n.d.). BACnet Interoperability Building Blocks. Haettu 25.11.2018 osoitteesta <https://www.ccontrols.com/ieu/courses/ie501.html>
- Chipkin (n.d.). Aktiivinen ja passiivinen tiedonsiirto. Haettu 25.11.2018 osoitteesta <https://store.chipkin.com/articles/bacnet-what-is-the-bacnet-change-of-value-cov>
- Chipkin (n.d.). BACnet Priority Array. Haettu 25.11.2018 osoitteesta <https://store.chipkin.com/articles/bacnet-why-doesnt-the-present-value-change>
- Dzone (n.d.). REST-API. Haettu 25.11.2018 osoitteesta <https://dzone.com/articles/an-introduction-to-restful-apis>
- EnOcean Alliance (2016). Introducing the EnOcean ecosystem.

[https://www.enocean-alliance.org/wp-content/uploads/2017/04/Introducing\\_the\\_EnOcean\\_Ecosystem\\_175.06.005.pdf](https://www.enocean-alliance.org/wp-content/uploads/2017/04/Introducing_the_EnOcean_Ecosystem_175.06.005.pdf)

ElectronicDesign. Hajautetun mallin periaatekaavio. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

<https://www.electronicdesign.com/embedded/advanced-building-automation-sensors-save-energy-enhance-safety>

Helvar (n.d.). Valaistuksen liittäminen BACnet-väylään. DALI BACnet objektien ominaisuudet. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

[https://www.helvar.com/media/pd/2017/20170331/BACnet\\_gateway\\_FI.pdf](https://www.helvar.com/media/pd/2017/20170331/BACnet_gateway_FI.pdf)

Icpdas (n.d.) Zigbee verkon topologiat. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

[http://www.icpdas.com/root/product/solutions/industrial\\_wireless\\_communication/wireless\\_solutions/zigbee\\_introduction.html](http://www.icpdas.com/root/product/solutions/industrial_wireless_communication/wireless_solutions/zigbee_introduction.html)

IE501: Achieving BACnet Compliance (n.d.). How BACnet Devices Are Constructed. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

<https://www.ccontrols.com/ieu/courses/ie501.html>

Kallioharju, K (2012). DALI-koulutus, teoriaosio. Haettu 25.11.2018 osoitteesta <https://docplayer.fi/2189683-Dali-koulutus-teoriaosio.html>

Kivisaari, T. (2016). API:t ovat modernin integraatiostrategian ydin. Digiarjessa Blogi. Haettu 25.11.2018 osoitteesta <http://blog.digia.com/rest-api>

Metageek (n.d.). Metageek analyser. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

<https://support.metageek.com/hc/en-us/articles/200628894-WiFi-and-non-WiFi-Interference-Examples>

Piikkilä, V (2017). Kiinteistöautomaation integraatioprosessi. Automaation ammattilaisten näkökulma. Licensiaattityö. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/24783/Piikkilä.pdf>

Salo, E (2017). Talotekniikan avoimet tiedonsiirtorajapinnat. Diplomityö. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

[https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/27955/master\\_Salo\\_Eemi\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/27955/master_Salo_Eemi_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Schneider Electric. Power Monitoring Expert Power Quality Advisor Configuration Guide. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

[https://www.schneiderelectric.com/resources/sites/SCHNEIDER\\_ELECTRIC/content/live/FAQS/291000/FA291129/en\\_US/POAdvisor\\_Configuration\\_Guide.pdf](https://www.schneiderelectric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/291000/FA291129/en_US/POAdvisor_Configuration_Guide.pdf)

Schneider Electric. BBMD-verkon periaatekuva. Haettu 25.11.2018 osoitteesta.

<https://exchangecommunity.schneider-electric.com/t5/Knowledge-Base/Multi-Purpose-Manager-MPM-as-a-BBMD/ta-p/2086>

Schneider Electric (n.d.). PME Power Quality Advisor. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

[https://www.schneiderelectric.com/resources/sites/SCHNEIDER\\_ELECTRIC/content/live/FAQS/291000/FA291129/en\\_US/POAdvisor\\_Configuration\\_Guide.pdf](https://www.schneiderelectric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/291000/FA291129/en_US/POAdvisor_Configuration_Guide.pdf).

Schneider Electric (n.d.) Acti 9 Smartlink. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

[https://download.schneiderelectric.com/files?p\\_enDocType=User+guide&p\\_File\\_Name=DOCA0004EN-06.pdf&p\\_Doc\\_Ref=DOCA0004EN](https://download.schneiderelectric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=DOCA0004EN-06.pdf&p_Doc_Ref=DOCA0004EN)

Schneider Electric (n.d.). MPM-tuoteperhe. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

<https://www.slideshare.net/SchneiderElectric/energy-efficiency-for-midsized-buildings-22563249>

Schneider Electric (2016). SmartStruxure Lite Introduction.

Haettu 25.11.2018 osoitteesta

<https://www.scribd.com/presentation/326583727/1-SmartStruxure-Lite-Training-Introduction-Ver-1-1-0-0>

Schneider Electric (n.d.) Automation Server. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

<https://www.se.com/fi/fi/work/solutions/system/s4/building-systems-smartstruxure/architecture.jsp>

Schneider Electric (2018). Huonesäädin. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

<https://ecobuilding.schneider-electric.com/documents/10807/236048/SE8300+-Low+Voltage+Fan+Coil+Room+Controller+-Specification+Sheet/48c3efc0-2b78-4a99-8610-eb001fa3d78d>

Siemens (2009). BACnet prioriteetit. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

[https://www.controlmanagement.com/content/products/BA/153-912P10\\_BacnetInfoGuide.pdf](https://www.controlmanagement.com/content/products/BA/153-912P10_BacnetInfoGuide.pdf).

Siencedirect (n.d.). Enocean tiedonsiirto BACnet protokolla. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814003326>

Tomar, A (2011). Introduction To Zigbee Technology. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

<https://www.cs.odu.edu/~cs752/papers/zigbee-001.pdf>

YTV2012 (2012). Yleiset tietomallivaatimukset. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

<https://buildingsmart.fi/yleiset-tietomallivaatimukset-ytv/>

Wikipedia (n.d) Industry Foundation Classes. Haettu 25.11.2018 osoitteesta

[https://fi.wikipedia.org/wiki/Industry\\_Foundation\\_Classes](https://fi.wikipedia.org/wiki/Industry_Foundation_Classes)