

Teemu T. Heikkilä

Aurinkosähkövaihtosuuntaajien väyläliitännät

Rakennusautomaation integraatio

Tekijä Otsikko	Teemu T. Heikkilä Aurinkosähkövaihtosuuntaajien väyläliitännät Rakennusautomaation integraatio
Sivumäärä Aika	58 sivua + 2 liitettä 20.11.2011
Tutkinto	Insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	Automaatioteknologia
Suuntautumisvaihtoehto	-
Ohjaajat	Suunnittelupäällikkö Mika J. Kärnä Lehtori Jukka Pirinen
<p>Älykkäät sähköverkot ja kehittyvä energiatehokkuus luovat tarpeita aurinkosähkövaihtosuuntaajien ja rakennusautomaation sovellus- ja laiteintegraatiolle. Opinnäytetyössä tutkitaan rakennusautomaation sekä aurinkosähkövaihtosuuntaajien (aurinkosähköinvertteri) yhteistoimintamahdollisuuksia asiakasvaatimusten sekä standardoinnin näkökulmista. Tavoitteena on tuottaa laite- ja sovellusintegraatiokonsepteja, joiden avulla älykkäiden sähköverkkojen ja kehittyvien rakennusautomaatiojärjestelmien yhteistoimintaa kyettäisiin mallintamaan.</p> <p>Työn kautta esille nousi merkkejä standardoinnin hitaudesta verrattuna teknologisen kehittymisen nopeuteen, mikä luonnostaan johtaa avointen järjestelmien ylivertauuteen esimerkiksi kommunikointiprotokollista puhuttaessa. Avoimet kommunikointiprotokollat BACnet ja KNX ovat selkeästi edellä rakennusautomaation integraatiomahdollisuuksien tarjoajina, mikä johtuu tiukoista kommunikaatiosääntöjen määritelmästä. Kumpikaan protokolla ei ota kantaa aurinkosähköinvertterin sovellusrajapinnan määrittelyyn, mikä tarjoaa laitevalmistajille ja toimijoille protokollan vapaan soveltamisen mahdollisuuden.</p> <p>Integraatioteknologioiden käyttömahdollisuudet ovat huikeat, sillä älykäs sähköverkko integraation ajurina ei ole vielä arkipäiväistynyt. Toisaalta älykkäämpiä rakennusautomaatiojärjestelmiä rakennetaan ekotehokkaisiin rakennuksiin vailla varsinaisia älykkäitä ohjaustoimintoja. Aurinkosähköjärjestelmät joutuvat kohtaamaan paikallisen mikrotuotannon, kehittyvän rakennusautomaatiojärjestelmän sekä älykkään sähköverkon viimeistään rakennusten energiaomavaraisuusvaateen tullessa velvoittavaksi.</p>	
Avainsanat	rakennusautomaatio, aurinkosähköinvertteri, kenttäväylä, laiteintegraatio, sovellusintegraatio, älykkäät sähköverkot

Author Title Number of Pages Date	Teemu T. Heikkilä Fieldbus Connectivity of the Photovoltaic Inverters with intelligent building automation systems 58 pages + 2 appendices 20 November 2011
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	-
Instructors	Mika J. Kärnä, Design Manager Jukka Pirinen, Lecturer
<p>Photovoltaic solar power can help meet increasing requirements for Smart Grid and higher energy efficiency in buildings. This thesis examines the collaborative opportunities of intelligent building automation systems and photovoltaic solar inverters from the perspective of standardization. The goal of this thesis is to produce concepts which specify a future device and its application, and how this device can interoperate with smart grids, intelligent building automation systems and photovoltaic solar inverters.</p> <p>During the research for this thesis, it was discovered that there was very slow progress in standardization in comparison to the speed of technological development. This gap in standardization compared the speed of development often led to the development of the use of open communications protocols.</p> <p>Open communication protocols, such as BACnet and KNX, are clearly preferred in the integration of products in building automation systems. This is due to the strict definitions of the rules of communication. Because communication protocols do not specify an application integration interface, device manufacturers and service providers are able to implement applications on their own by following the latest standards.</p> <p>Open integration technologies with scalable platforms provide new opportunities in areas where smart grid technology is non-existent or is limited to grid automation. On the other hand, intelligent building automation systems are being built only in new eco-efficient buildings with no actual intelligent control functions for energy management. Photovoltaic systems, local energy production and intelligent building automation systems need to be prepared for the future's requirement for self-sufficient energy production with seamless integration into smart grids.</p>	
Keywords	building automation, photovoltaic inverter, fieldbus, device integration, application integration, smart grid

Sisälllys

1	Johdanto	1
1.1	Aiheen rajaus ja tutkimuskysymykset	2
1.2	Rakenne	3
2	Älykkäät sähköverkot	4
2.1	Perinteinen sähköverkko	5
2.2	Älykäs sähköverkko	7
2.3	Vikasietoisuus ja turvallisuus	9
2.4	Kiinteistöjen rooli älykkäässä sähköverkossa	11
3	Rakennusautomaatiojärjestelmät	17
3.1	Automaatiojärjestelmien älykkyyys	18
3.2	Tiedonsiirtomediat	21
3.3	Avoimet rakennusautomaatiojärjestelmät	25
3.3.1	BACnet-protokolla	29
3.3.2	KNX-kotiautomaatiojärjestelmä	29
3.3.3	Sovellusintegraatio	30
3.4	Muut teknologiat	31
3.5	Rakennusautomaatio ja älykkäät sähköverkot	32
4	Aurinkosähkövaihtosuuntaajien integraatio	36
4.1	Laiteintegraatio	36
4.2	Sovellusintegraatio	40
4.2.1	Rakennusautomaatiojärjestelmät	40
4.2.2	Älykkäät sähköverkot ja sähkönjakeluautomaatio	43
4.2.3	Etävalvonta- ja raportointijärjestelmät	43
5	Esimerkkitoteutukset	44
5.1	Tutkimuksen tavoitteet	44
5.1.1	Paikallisvalvontajärjestelmä pienikiinteistökäyttöön	45
5.1.2	Tietokantaratkaisu	47
5.1.3	BACnet-integraatiokonsepti	49
5.2	Tulokset	51

5.3	Päätelmät	51
6	Yhteenveto	52
6.1	Lopputulos	52
6.2	Jatkotoimet	53
	Lähteet	55
	Liitteet	
	Liite 1. Kuluttajajärjestelmän raporttiesimerkki	
	Liite 2. Keskitetyn tietokannan käyttöliittymä	

Lyhenteitä ja käsitteitä

ANSI/ASHRAE 135	EN ISO 16484-5, BACnet, Building Automation and Control networks. Rakennusautomaation kommunikointiprotokolla.
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
BACnet	Building Automation and Control networks. Rakennusautomaation kommunikointiprotokolla EN ISO 16484-5 ja ANSI/ASHRAE 135 -standardi.
BACS	Building Automation and Control System.
BAS	Building Automation System. Rakennusautomaatiojärjestelmä.
BMS	Building Management System. Rakennusautomaatiojärjestelmä.
CEN/TC247	European Committee for Standardization, Work Programme 247, Building automation, controls, and building management.
CENELEC	European Committee For Electrotechnical Organization.
COV	Change of Value. Rakennusautomaation tiedonsiirron toimintokonaisuus.
DDC	Direct Digital Controller. Rakennusautomaation säädin.
EIA-232, EIA-485	Electronics Industries Alliance. Sarjamoitoista tiedonsiirtoliikennettä määritteleviä standardeja.
EIB	European Installation Bus. Koti- ja kerrosautomaation automaatioprotokolla. Vertaa KNX-protokolla.
EN ISO 16484-5	BACnet, Building Automation and Control networks. Rakennusautomaation kommunikointiprotokolla.
H2M	Human to Machine. Järjestelmän tai koneen käyttäjäkäyttöliittymä.
HVAC	Heating, Ventilating and Air-Conditioning. Ilmanvaihtojärjestelmä.
IEC	International Electrotechnical Commission.
ISO	International Organization for Standardization.
ISO/IEC 14543	KNX. Koti- ja kerrosautomaation protokolla.
KNX	Koti- ja kerrosautomaation protokolla.

LonTalk	LonWorks-kommunikointiprotokolla.
OPC	OLE for Process Control. OPC-integraatioprotokolla.
OPC UA	OLE for Process Control - Unified Architecture. OPC-integraatioprotokolla.
PAN	Private Area Network. Likiverkko.
PLC	Power Line Communication. Tiedonsiirto sähköverkossa.
PTP	Point to Point. Kommunikaatioyhteys kahden pisteen välillä.
SESKO	Suomen sähkö- ja elektroniikka-alan standardisointijärjestö.
SFS	Suomen standardisointiliitto.
TP	Twisted pair. Parikaapeli.
UPS	Uninterruptible Power Supply. Varavirtalähde.

1 Johdanto

Älykkäistä sähköverkoista puhutaan yhä enemmän lainsäädännön muuttumisen pakotamana. Etäluettavat sähkömittarit ovat arkipäivää monessa teollisuus-, liike- ja asuin-kiinteistössä, mikä viimein tuo kiinteistön eri käyttäjäryhmille mahdollisuuden seurata omaa energiankulutustaan ja edelleen hiilidioksidipäästöjään. Kiinteistön omistajaa saattaa kiinnostaa valaistuksen energiatehokkuus tai energiatehokkuusremontin kustannusten takaisinmaksuajan toteutuminen, kun esimerkiksi kiinteistön käyttäjä vaatii sisäilman ja valaistuksen täyttävän yleiset mukavuusvaatimukset. Edellä kuvatut vaatimukset ovat usein riittäviä perusteita älykkäälle rakennus- tai kotiautomaatiojärjestelmäinvestoinnille, joka mahdollistaa energiankulutuksen keskitetyn tai hajautetun ohjauksen perinteisten ohjaustoimintojen, esimerkiksi valaistuksen ohjauksen lisäksi.

Kiinteistösektorilla puhutaan kiinteistön energiaomavaraisuudesta usein epä johdonmukaisessa kontekstissa. Perinteinen kerrostalokiinteistö voi hyvin pienin toimin olla energiaomavarainen tai hiilineutraali, sillä määritelmä sisältää vain kiinteistön yleistöimintojen energian kulutuksen. Huoneistojen sähkön-, lämmön- tai käyttöveden kulutus jätetään laskelmien ulkopuolelle, koska ne ovat kiinteistön energiatehokkuudesta riippumattomia. Energiatehostustoimet ja paikallinen energiantuotanto ovat lähes poikkeuksetta painottuneet aurinkolämpöjärjestelmiin, joissa auringosta kerättävä energia siirretään kiinteistön käyttöön vesikiertoisena lämpöenergiana.

Aurinkosähkön tuotantoon on viimeisen vuosikymmenen aikana panostettu erityisesti tutkimusrintamalla, ja tulokset ovat olleet rohkaisevia. Kansallisesti aurinkosähkön osuus on tällä hetkellä merkityksetön, sillä ilmastomme tai kansalliset kompensatiot eivät nykyisellään tue kaupallista aurinkosähkötuotantoa. Aurinkoenergia nähdään kenties potentiaalisimpana mahdollisuutena erityisesti lämmön- mutta myös sähköntuotannossa (1, s. 12). Pohjoismaisia tutkimushankkeita käynnistetään kiihtyvällä tahdilla tavoitteena kiinteistöjen tai jopa kokonaisten kaupunginosien energiaomavaraisuus, korkea energiatehokkuus, rakennusautomaatiojärjestelmien dynaamisuus ja ehkä tärkeimpänä tavoitteena täydellinen hiilineutraalius. Helsingin Kalasatama -hanke on ensimmäisiä kansallisia kohteita, jossa laajasti tutkitaan älykkäitä rakennusautomaatiojär-

jestelmiä sekä aurinkosähköjärjestelmiä. Hanke sai Vuoden 2010 ilmastoteko -kilpailussa kunniamaininnan (2) pilottiluonteensa vuoksi.

Energiateollisuus ry:n Energiavuosi 2010 -raportti kertoo kansallisesta tilanteestamme:

- Sähkön kokonaiskulutus on viimeisten vuosien aikana pysynyt lähes samana 80-90 TWh:ssa.
- Teollisuuden sähkönkulutus on viime vuosina laskenut vajaalla 10 TWh:lla noin 40 TWh:n tasolle.
- Asumisen, maatalouden, palveluiden ja rakentamisen osuus vuosittaisesta sähköenergian kulutuksesta on 50 prosenttia.
- Kotitaloussähkön käyttö Suomessa on Euroopan huippua. EU-27-keskiarvo on noin 1500 kWh vuodessa, kun Suomen keskiarvo on lähes 4400 kWh vuodessa.
- Sähkönenergian pienasiakashinta on viimeisen 12 vuoden aikana lähes kolminkertaistunut.
- Suomen sähköntuotannon CO₂-päästöt eivät ole vähentyneet viime vuosien aikana.

(3)

1.1 Aiheen rajausta ja tutkimuskysymykset

Opinnäytetyö esittelee älykkäitä kiinteistö- ja kotiautomaatiojärjestelmiä sekä aurinkosähkön tuottamiseen soveltuvia vaihtosuuntaajia eli inverttereitä. Päättävöitteenä on tutkia ja konseptoida aurinkosähköninverttereiden laite- ja sovellusintegraatiomahdollisuuksia rakennus- ja kotiautomaatiojärjestelmiin siten, että tulevaisuuden älykkäät rakennusautomaatiojärjestelmät on otettu huomioon visionäärisestä näkökulmasta. Opinnäytetyö pyrkii vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mitä vaatimuksia älykkäät ja kehittyvät sähköverkot tuovat pientehoisten aurinkosähköninverttereiden ohjaamiseen ja valvomiseen?
2. Miten tekniikoita rakennusautomaatiojärjestelmien ja aurinkosähköninverttereiden yhteistoimintaan on käytettävissä laiteintegraatiotasolla?
3. Miten sovellusintegraatio järjestelmien ja inverttereiden välillä olisi asiakaslähäinen?

Käsiteltävän aiheen moninaisista mahdollisuuksista ja laajentumissuunnista johtuen työn sisällön rajausta on tiukka. Älykkäistä rakennusautomaatiojärjestelmistä pääkäsitteeseen on valittu kaksi parhaiten avoimia rakennusautomaatiojärjestelmiä edustavaa kommunikointiprotokollastandardia, EN ISO 16484-5 BACnet (Building Automation and Control networks) ja ISO/IEC 14543 eli KNX-protokolla. Sähköjakeluautomaation tai teollisuusautomaation integraatioteknologiat eivät kuulu työn tavoitteisiin muilta osin kuin tutkimuskysymyksen 1 tapauksessa. Aurinkosähköinverttereiden osalta työ rajautuu string-inverttereihin, jotka tavallisesti ovat yksi- tai kolmevaiheisia sähköverkkoon kytkettäviä enintään 100 kW:n yksittäislaitteita. Järjestelmälaajuisena sähköteho voi nousta useihin satoihin kilowatteihin, mutta kiinteistöasennuksissa harvoin päästään usean sadan kilowatin teholuokkiin rakennusten rajallisen kattopinta-alan vuoksi. Tehoelektroniikka tai sähköntuotantoteknologia eivät lukeudu tutkimuskohteisiin, vaan aurinkosähköinverttereitä käsitellään kontekstin mukaisesti laiteintegraation näkökulmasta, mikä samalla tarkoittaa, että älykkäiden sähköverkkojen ja kiinteistöjen yhteyttä tutkitaan nimenomaan sähköntuotannon eikä esimerkiksi energiatehokkuuden tai ennakoidun sähkönkulutuksen näkökulmasta.

1.2 Rakenne

Pääluvuissa käsitellään aurinkosähköinverttereiden integraatioympäristöä seuraavasti:

Luku 2 käsittelee älykkäitä ja kehittyviä sähköverkkoja (smart grid) vertailupohjana sähköjakeluverkot ennen sähkön mikrotuotannon ja sähkömittareiden etäluettavuuden aikakautta.

Luvussa 3 luodaan katsaus kehittyviin rakennusautomaatiojärjestelmiin, kommunikointitekologioihin ja laiteintegraatioon.

Luvussa 4 käsitellään aurinkosähköinverttereiden integraatiomahdollisuuksia lukujen 2 ja 3 luomassa viitekehyksessä sekä rakennetaan konsepteja ja visioita asiakasvaatimusten ja innovaatioiden pohjalta.

Käytännön koelaitteisto esitellään luvussa 5 ja viimeisessä, kuudennessa luvussa yhteenvedon lisäksi on kirjattuna loppupäätelmät.

2 Älykkäät sähköverkot

Älykäs sähköverkko (smart grid) on käsitteenä uusi, ja määritelmä voitaneen ymmärtää monin eri tavoin. Wikipediassa (4) älykäs sähköverkko määritellään ratkaisuna, jossa energian välittämisen rinnalla on mahdollista toteuttaa digitaalinen tiedonsiirto kahdensuuntaisena. Määritelmä on hyvin arveluttava, sillä nykyisin on olemassa lähes reaaliaikaista sähköenergian mittausta, joka voi tarvittaessa käyttää sähköverkkoa yhtenä vaihtoehtoisena tiedonsiirtomediana. Älykäs sähköverkko ei siten absoluuttisesti tarkoita powerline-kommunikoinnin läsnäoloa. Toisaalta yritykset ovat määrittelemässä älykkään sähköverkon käsitettä liiketoimiensa mukaiseksi (5) vedoten niin kokemuksiinsa kuin standardisointiin.

Älykäs sähköverkko määritellään kansainvälisesti älykkyyden, toimintojen, ohjelmistojen ja laitteistojen integraatiokokonaisuutena, jonka avulla pyritään tehokkaampaan sähkön reititykseen tuotannosta kulutukseen. Hajautettu ja keskitetty tuotantokapasiteetti optimoidaan ylituotannon välttämiseksi. (6)

Määritelmien kaupallista ääripäätä edustaa kotimainen näkemys, jossa älykäs sähköverkko "on asiakasvetoinen markkinapaikka hajautetulle tuotannolle ja kuluttajille: Älykäs sähköverkko mahdollistaa kustannustehokkaan verkon ja markkinayhteyden kuluttajille ja hajautetulle tuotannolle, keskitetyn ja hajautetun tuotannon tehokkaan käytön ja tarjoaa palveluita edistääkseen kuluttajan energiatehokkuutta ja energian säästämistä sekä varmistaa keskeytymättömän korkealaatuisen energianjakelun" (7).

Julkisuudessa on verrattain vähän esitetty suunnitelmia sähkönjakelun kehittämisestä kohti yhteensopivampaa ja älykkäämpää mikrotason jakelujärjestelmää (micro grid), joka käsittäisi mikrotason sähköntuotannon ja -kulutuksen. Energiapolittiset linjaukset mikro- ja makrotasolla odotuttavat valmistuvia megaluokan sähköntuotantoyksiköitä ja uusien tuotantolaitosten rakentamislupia. Älykkäitä sähköverkkoja ja jakelujärjestelmiä koskeneet hankkeet ovat toistaiseksi olleet pääosin verkko-operaattorin tai tutkimuslaitosten omia hankkeita vailla viitekehystä standardoituihin teknologioihin. Nykyisin esimerkiksi suomalaiseseen sähköverkkoon energiaa jarruttavat taajuusmuuttajat nostureissa ja hisseissä, konvertterit tuuliturbiineissa tai aurinkosähköinvertterit sähköntuotannossa vaativat vielä paikallisen sopimisen ja teknisen yhteensopivuuden arvioinnin paikallisen verkonhaltijan kanssa (7, s. 149-163).

Älykkäillä sähköverkoilla on laajempi merkitys, jota harva kuluttaja, kiinteistönomistaja tai investoija havaitsee. Energiateollisuuden hiilineutraali visio vuodelle 2050 kuvaa sähköverkon älykkyyttä nimenomaan kulutuksen ohjaamiseen pyrkivänä tavoitteena, mikä on erittäin luontevaa varsinkin rakennuksista puhuttaessa. Sähköverkon siirtokapasiteetista ovat jatkossa kilpailemassa sähköautojen latauspisteet, sähköavusteiset lämmitysmuodot, esimerkiksi lämpöpumput, jäähdytyskompressorit sekä perinteisemmät kulutuskojeet kuten viihde-elektroniset laitteet ja valkoisen linjan tuotteet. Sähköistyvä julkinen liikenne lisää sähkönkulutusta, kun linja-autoliikenne ja raideliikenne entistä enemmän siirtyvät sähköenergian käyttäjäksi tavoitteena vähentää kansallisia hiilidioksidipäästöjä. Toisaalta energiavajetta ennakoidaan kompensoitaman paikallisesti mikrotuotantona, johon lasketaan kuuluvaksi kiinteistöjen aurinkosähköjärjestelmät, paikalliset mikrokoon tuuliturbiinit, sähköautojen akkukapasiteetti ja jopa kiinteistöjen hissit ja rullaportaat. (1, s. 29-38)

Sähköenergian mikrotuotannolla tarkoitetaan pienten, jopa muutaman kilowatin, jakeluverkkoon kytkettävien tuotantoyksiköiden ryhmää tai yksittäistä energiaa verkkoon syöttävää laitetta. Aurinkosähköinvertteri lukeutuu edelliseen joukkoon edustaen energiaa sähköverkkoon siirtävää laitetta niin omakotitalo-, kiinteistö- kuin julkinen rakennus -kontekstissa. Mikrotuotanto ei varsinaisesti lukeudu älykkään sähköverkon välittömään tunnusmerkistöön, vaikka tuotanto on dynaamista. Vaihteleva tuotantoprofiili on useimmiten seurausta vallitsevasta säätilasta tai muista ympäristöolosuhteesta. Yhtä lailla energiaa tuottava hissi voisi olla älykäs energiantuotantolaitte, mutta energiantuotantokyky jäänee marginaaliseksi ja mahdollisuudet löytyvät energiatehokkuudesta. Verkon älykkyydestä voidaan puhua vasta, kun energiavirtojen hallintaan saadaan mukaan ohjauskomponentti, esimerkiksi ennakoidun tai vallitsevan aurinkosähkötuotannon mukaan säätyvä rakennuksen energiankulutus. Sähkön hinta älykkyyden määrittäjänä on kyseenalainen, sillä hintatariffeilla enemmän pyritään vaikuttamaan kulutustottumuksiin kuin tehostamaan energiankulutusta.

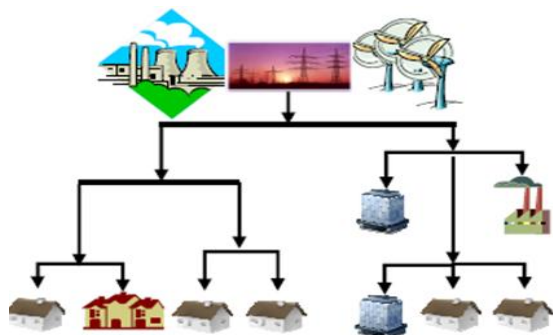
2.1 Perinteinen sähköverkko

Sähkönjakelun ohjaustekniikkaa on Suomessa pyritty kehittämään vasta viime vuosien aikana. Tätä ennen on tietenkin ollut sähkönjakelua automaatiota, jonka avulla esimer-

kiksi vikatilanteiden indikointiin on tullut älykkyyttä ja helppokäyttöisyyttä. Vikapaikat voidaan moderneilla sähköjakelukäyttöön suunnitelluilla automatiojärjestelmillä paikallistaa käyttäen hyväksi vikahetken nopeaa tiedonkeruuta tai mallintamalla sähköverkko reaaliaikaisesti. Varsinaisesti älykkyudesta ei sähköjakeluautomaatiossa vielä voida puhua, sillä sähköjakeluautomaatio on ensisijaisesti suunniteltu palvelemaan sähköverkkoyhtiöiden käyttö-, kunnossapito- ja huoltohenkilöstöä.

Perinteisessä sähköjakelujärjestelmässä energiavirrat ovat yhdensuuntaisia tuotantoyksiköiltä kulutuspisteille, esimerkiksi kuluttajille. Järjestelmä on hierarkkinen, jossa energiantuotanto on keskitetty verkon ylemmille tasoille kuin alimpiin 230/400 V pienjänniteverkkoihin. Hajautetun sähköntuotannon osuus on vähäinen tai olematon, sillä verkkoyhtiöt ovat historiallisesti pyrkineet liittämään hajautettua energiantuotantoa keskijänniteverkkoihin asianmukaisen voimalaitos- ja sähköjakeluautomaation kautta.

Siirtoverkon hallinnoija, siirtoyhtiö, on kyennyt siirtämään yksinkertaisia ohjaus- ja valvontakomentoja, kuten katuvalojen ohjauksia. Näistä on viime aikoina pyritty luopumaan valaistusjärjestelmien siirryttyä kunnalliseen omistukseen. Siirtoyhtiöt ovat myös siirtäneet jakelunverkkonsa automaatioliikennettä valtaosin sähkösiirtoverkon ulkopuolisiin langattomiin yhteyksiin tai erillisiin, sähköverkon kannalta rinnakkaisiin tietoverkkoihin parantaakseen verkostoautomaation toimintakykyä poikkeustilanteissa. Sähköverkosta riippumattomalla kommunikointiratkaisulla saavutetaan jonkin verran parempi luotettavuus ja vikasietoisuus, jos vikaskenaarion sisältönä olisi puun kaatama sähkölinja ja seurauksena lamaantuva sähköjakeluverkko ohjauksien jäämättä välittymättä pylväskatkaisijoille tai kytkinasemille vioittuneen sähköjakeluverkon kautta.



Kuva 1. Perinteinen sähköjakeluverkko (9, s. 8).

Kuvassa 1 esitetty järjestelmäkuva energiavirtojen suunnista pätee valtaosin myös kommunikaatioon. Aiemmin esitetty katuvalojen ohjausesimerkki tai sähkömittarin tariffinohjaus on perustunut täysin yhdensuuntaiseen kommunikaatioon eikä näin ollen jakeluverkonhaltijalla ole ollut mahdollisuutta todentaa kommunikoinnin toimivuutta tai käskyjen ja ohjaukskomentojen toteutumista.

Hajautetun sähkötuotannon liittäminen perinteisiin, suljettuihin ja verkonhaltijan täysin hallinnoimiin sähköverkkoihin tuli viimeistään mahdolliseksi vuonna 2004 päivitetyn sähkömarkkinalain myötä, jossa 9 §:n mukaisesti verkonhaltijan tulee mahdollistaa hajautetun sähköntuotannon kytkeminen hallitsemaansa sähköverkkoon (10). Toisaalta sähkömarkkinalaki ei ota kantaa liitettävien laitteiden sähkötekniseen yhteensopivuuteen. Aihe on vähintään epämiellyttävä monille verkkoyhtiöille, ja vaatimusmäärittelyt lienevät vielä paikallisten verkkoyhtiöiden sovellettavissa (8).

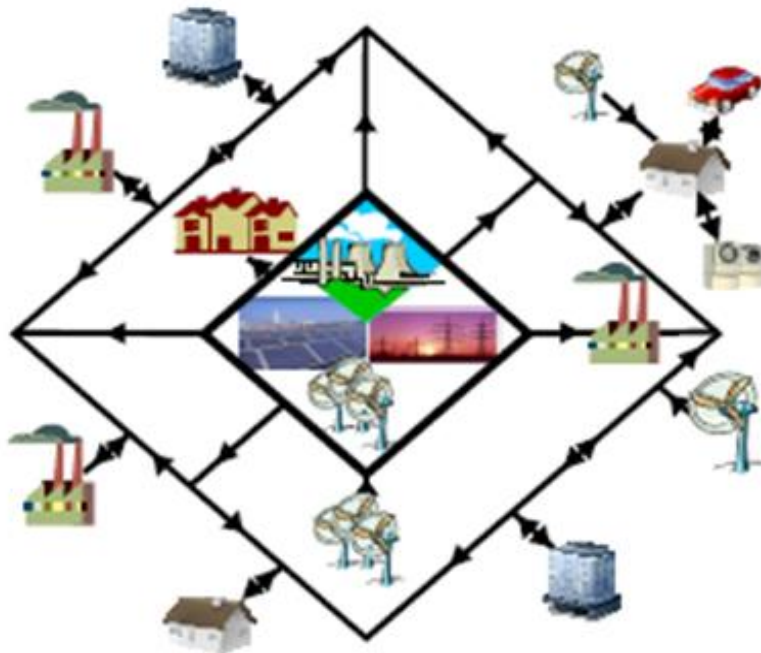
2.2 Älykäs sähköverkko

Älykäs sähköverkko (smart grid) on käsitteenä tällä hetkellä yksiselitteisesti määrittelämättä. Useista asiantuntijalähteistä on johdettavissa tulkinta, että älykäs sähköverkko tarkoittaisi älykkäämpää kuorman ja tuotannon ohjaamista (9). Toisaalta osa toimijoista näkee älykkään sähköverkon ehkä hieman rajallisesti ainoastaan siirtotienä, joka mahdollistaa sähkönsiirtoyhtiön palvelutuotannon tavoitettavuuden (11, s. 2-4). Yksikäsitteisen määritelmän puuttuessa älykkään sähköverkon eroavuuksia joudutaan kuvaamaan ominaisuuksien kautta:

- Älykäs sähköverkko on yhteensopiva kaikenkokoisten ja -tyyppisten tuotantomuotojen kanssa riippumatta energian tuottajatahosta (yksityinen/yritys).
- Älykkyys mahdollistaa tuotannon ja kulutuksen välisen reaaliaikaisen yhteistoininnan ja verkko kykenee automaattisesti mukautumaan nopeasti muuttuviin kulutus ja tuotantotilanteisiin.
- Verkko on luotettava, vikasietoinen ja vikatilanteissa automaattisesti järjestyvä ja korjautuva (self healing).

(9)

Edellä esitetyt ominaisuudet ovat suoraan seurausta uusista ja hajautuvista energiantuotantopisteistä. Etäluettava sähkömittari ei edellisten määritelmien mukaan tuo sähköverkkoon lainkaan älykkyyttä, sillä älykäs sähkömittari ei suoraan tarjoa uusia mahdollisuuksia liittää mikrotuotantoa, ohjata energiankulutusta tai mahdollistaa vikatilanteiden automaattista korjautuvuutta. Välillisesti kuluttaja voi energianyhtiön tarjoaman palvelun kautta seurata etäluettavan mittarin välittämiä energiakulutustietoja tai sähköverkkoyhtiö valvoa jännitteettömiä liittymiä, mutta yleisesti ottaen etäluettavien mittareiden ominaisuudet eivät vielä yllä älykkään sähköverkon määritelmien mukaiselle toiminnallisuuden tasolle.



Kuva 2. Esimerkki älykkästä sähköverkosta ja energiavirroista (9, s. 8).

Hajautettu energiantuotanto luonnostaan muuttaa sähköenergian kulkusuuntia tavallisten kulutusvoittoisten sähkökäyttäjien tapauksessa. Pienkiinteistö ja sen aurinkosähköjärjestelmä voi kauniina kesäpäivänä tuottaa energiaa enemmän kuin itse kiinteistö ja asuminen kuluttavat, tai aiemmin pelkästään sähköä kuluttava maatila voi oman biotai tuulivoimalan avulla pienentää ostosähkön osuutta ja olosuhteista riippuen toimia sähkön nettotuottajana verkon suuntaan.

2.3 Vikasietoisuus ja turvallisuus

Sähkönjakelussa ei yleisesti käytetä staattisia rengasverkkoja vikasietoisuutta parantamaan. Vikasuojauksen ja sähköturvallisuuden vuoksi jakeluverkko on jaettu yhdestä pisteestä syötettyihin segmentteihin, joiden hierarkisuutta ja yhteistoimintaa voidaan valvomoista hallita. Kiinteästi segmentoitu jakelujärjestelmä tarkoittaa samalla heikkoa vikasietoisuutta ja virhetilanteissa aina sähkökatkoa, kunnes sähköverkko saadaan uudelleen järjestettyä ja vikapaikka eristettyä.

Älykäs sähköverkko ei ole tuomassa välitöntä muutosta sähkökatkojen esiintymistiheyteen ja yleisyyteen, sillä nykyisin käytettävä suojaustekniikka vaatii sähkövikojen kuten maa- ja oikosulun mittaamista segmenttitasolla. Mikrotuotannolle, esimerkiksi aurinkosähköinvertterille, on kohdistettu vaatimus, ettei se saa ylläpitää sähköverkon suureita vikatilanteessa. Kaikki energiantuotanto verkkoon tulee keskeyttää vikatilanteessa ja laitteen tulee itse seurata verkon parametreja ja kuntoa. Tapauskohtaisesti mikrotuotannolle on saatettu jopa määritellä verkkoyhtiön toimesta tehokerroinvaatimus, joka päivittyy verkonhaltijalta reaaliaikaisesti tai kiinteän määritelmän mukaisesti mikrotuotantolaitteen tekemän verkkoanalyysin kautta. Voitaneen todeta mikrotuotannon olevan sähköverkon siirtokykyä ylläpitävää ja kasvattavaa tuotantoa siten, että itse energian mikrotuottaja ei oman tuotantonsa kautta saa parannettua vikatilanteen energiaomavaraisuuttaan. Aurinkosähköinvertterit eivät näin ollen kohota älykkään sähköverkon vikasietoisuutta.

Tekniset järjestelmät suunnitellaan nykyisin oletuksella, että sähköverkko on aina olemassa toimintakykyisenä. Aiemmin esimerkkinä käytetty verkkoon jarruttava hissi ei voisi toimia sähkökatkotilanteessa verkkoon jarruttavana, vaan vikatilanteita varten uuden teknologian hissi tulisi edelleen varustaa perinteisillä sähkövastuksilla, jotka siirtävät jarrutuksessa syntyvän energian lämmöksi. Uuden teknologian laitteet joudutaan rakentamaan entistä monimutkaisimmiksi ja hintavimmiksi, sillä lähtökohtaisesti hissien tulisi kyetä liikkumaan painovoiman suuntaan sähköverkon ollessa vioittunut ja muissa poikkeusolosuhteissa.

Sähköverkon vikasietoisuutta on mahdollista parantaa rakentamalla verkko saarekkeisiin (micro grid), jotka verkon vikatilanteissa voisivat toimia itsenäisesti vailla yhteyttä valtakunnanverkkoon. Sähköverkot segmentoitaisiin siten, että saarekkeet voisivat toi-

mia itsenäisesti ja linkkiasema tai erotinlaite huolehtisi saarekkeiden kytkemisestä valtakunnanverkkoon ja irralleen omaksi pienverkkojärjestelmäksi. Näin kukin kyläyhteisö tai entinen muuntopiiri voisi olla vikatilanteessa itsenäinen ja verkkosaarekkeeseen kytketyt aurinkosähköinvertterit, tuuliturbiinit ja sähköautojen akustot voisivat ylläpitää sähköverkkoa vika- tai kysynnänjoustotilanteiden yli.

Rakennusten kriittiset järjestelmät on usein varmennettu varavoimajärjestelmillä, jotka voivat olla akustoja ja generaattoreita. UPS (uninterruptible power supply) -varavoimajärjestelmä toimii luonnostaan paikallisen mikrokoon sähköverkon ylläpitävänä komponenttina paikallisten akustojen toimiessa energiavarastoina, mutta generaattorit varsin usein kytketään kiinteistön sähköverkkoon tai sen osaan verkkovaihtokytkimellä ja tällöin valtakunnanverkko on sähkömekaanisesti erotettu paikallisesta sähköverkosta. Älykkästä sähköverkosta ei edellisessä tapauksessa voitane puhua, sillä varmennetun sähköjärjestelmän tarkoituksena on varmistaa katkeamaton sähköjakelu kriittisiin järjestelmiin. Toisaalta varmennettu sähköjärjestelmä on käytännön esimerkki saareketyyppisestä sähköverkosta, joka kykenee omatoimisesti takaamaan paikallisen sähköverkon toiminnan esimerkiksi kiinteistötasolla ilman valtakunnanverkon läsnäoloa.



Kuva 3. Saarekekäyttöesimerkki.

Sähköverkon käytönaikainen turvallisuus on mikrotuotannon myötä muuttumassa. Tähän ei vielä välttämättä ole herätty. Energiaa syöttävä mikrotuotanto sekä varavoimajärjestelmät tuovat 230/400 voltin pienjännitejärjestelmiin lukuisia uusia vaaroja. Työ-

turvallisuuteen joudutaan panostamaan entistä enemmän, sillä aiemmin kuluttava sähköpiste, esimerkiksi omakotikiinteistö, voi aurinkosähkötuotannon myötä muuttua tuottavaksi pisteeksi ja sähköverkkoon saattaa muodostua ennakoimattomia takajännitteitä (12), jos mikrotuotantolaitteet vioittuvat tai eivät toimi vaaditulla tavalla. Vaara tulee entistä todellisemmaksi laitteistojen ikääntyessä, sillä aurinkosähköteknologia on kuitenkin verrattain nuorta ja toimijat ja laitevalmistajat operoivat markkinoilla vailla vuosikymmenten kokemusta. Nähtäväksi jää, milloin myös pienjänniteasennuksissa sähkötyöturvallisuusmääräyksiin otetaan vaatimus käyttö- ja kunnossapitotöiden aikaisesta työmaadoituksesta. Sähkötyöturvallisuusmääräyksissä jännitetöiden tekoa on äskettäin helpotettu, mikä mahdollistaa jännitteettömissä laitteistoissa työskentelyn jännitetyönä silloin, kun takajännitteen mahdollisuutta ei voida sulkea pois (13).

2.4 Kiinteistöjen rooli älykkäässä sähköverkossa

Kiinteistöt nähdään älykkäässä sähköverkossa tietenkin sähköenergiaa kuluttavina yksikköinä, mutta myös sähköenergiaa omiin tarpeisiin tuottavana yksikköinä. Lähtökohteisesti erittäin harva näkee kiinteistöt omavaraisina sähköntuottajina siten, että yksittäisinä ne kykenisivät tuottamaan enemmän sähköenergiaa kuin kuluttamaan. Skenaarit sähköntuotannon tarkoituksesta ovat mielenkiintoisia ja voidaan jaotella seuraavasti:

1. Kiinteistö pyrkii kuluttamaan kaiken tuottamansa sähköenergian paikallisesti siten, että ulkoiseen sähköverkkoon ei syötetä energiaa kuin poikkeustilanteissa eikä kiinteistön sähkönkulutusta ohjata tuottoerusteisesti.

Kiinteistön automaatiojärjestelmä ei välttämättä ole missään yhteydessä energian tuotantojärjestelmän kanssa, koska laitteistojen välillä ei ole riippuvuuksia. Lähtökohteisesti aurinkosähköjärjestelmän alimitoituksella kulutukseen nähden pyritään vähentämään kiinteistön ulkopuolelta hankittavan sähköenergian määrää, mutta ei poistamaan riippuvuutta ulkoisesta sähköntuotannosta. Kiinteistön omaa sähkönkulutusta ei ohjata esimerkiksi omaa tuotantokapasiteettia seuraten.

2. Kiinteistö pyrkii kuluttamaan kaiken tuotetun energian siten, että energiankulutus suunnitellaan arvioidun tuoton perusteella ja kiinteistön mukavuustaso säilytetään omasta tuotannosta riippumatta.

Energiankulutuksen ohjauksen ajureina käytetään omaa sähköntuotantoa siten, että kulutusvoittoisessa tilanteessa kiinteistö nojaa ulkoiseen sähköntuotantokapasiteettiin eikä sisäolosuhteista tingitä energiansäästösyistä. Tuottovoittoisissa tapauksissa tuotettu sähköenergia voidaan käyttää paikallisesti siten, että olosuhteet kyetään pitämään omalla sähkötuotannolla ja tehoreservi käytetään esimerkiksi lisäjähdytykseen tai -lämmitykseen. Automaatioasteen tulisi olla korkea, sillä energiankulutusta ohjaa tuottoennuste sekä hetkellinen tuotantoteho.

3. Sähköenergian tuottoa rajoitetaan vastaamaan paikallista kulutusta tai ylimääräinen teho ohjataan kiinteistön oheistoimintoihin kuitenkin siten, että energiaa ei syötetä ulkoiseen sähköverkkoon.

Automaatioasteen tulee olla korkea, sillä kiinteistön sähköenergian kulutusta ohjaa oma tuotantokyvykyys. Tuotantohuippuja varten automaation tulee kyetä ohjaamaan energiaa kiinteistön oheistoimintoihin, sähköautojen lataamiseen, energiavarastoihin tai lisälämmitykseen ja -jäähdytykseen.

Edellä kirjattuja esimerkkejä voidaan vertailla automaation integraation vaatimusnäkökulmasta taulukon 1 avulla:

Taulukko 1. Automaation ja sähkötuotannon integraatio.

	1. Rajoittamaton tuotanto ja kulutus	2. Rajoittamaton tuotanto ja omatarvekulutus	3. Tuoton rajoitus ja omakäyttökulutus + oheistoiminnat
Automaatiojärjestelmä (koti/kiinteistö)	- ei vaadittu	- ajanmukainen	- ajanmukainen - yhteensopiva tulevaisuuden järjestelmien kanssa
Laiteintegraatio	- ei laiteintegraatiota - järjestelmät toimivat rinnakkain	- laiteintegraatio rakennuksen automaatiojärjestelmässä	- sisäinen laiteintegraatio - liityntä ulkoisiin järjestelmiin (akustot, sähköautot)
Sovellusintegraatio	- ei sovellusintegraatiota - järjestelmillä erilliset käyttöliittymät - kulutus ei ohjautu tuotantoa seuraten	- älykäs sovellusintegraatio rakennuksen automaatiojärjestelmässä	- älykäs sovellusintegraatio rakennuksen automaatiojärjestelmässä - integraatorajapinta ulkoisiin järjestelmiin - integraatio sähkönjakeluautomaatioon
Ohjausfunktiot	- ei ulkoisia ohjaustoiminnallisuuksia	- rakennusautomaatiojärjestelmä ohjautuu energiatuoton säätämänä	- rakennusautomaatiojärjestelmä ohjautuu energiatuotannon ja ulkoisten järjestelmien säätämänä
Käyttöliittymä	- ei yhteisiä käyttöliittymiä	- rakennusautomaation käyttöliittymä	- rakennusautomaation käyttöliittymä - ulkoisten järjestelmien käyttöliittymät
Ylläpito	- erillinen	- yhteinen rakennuksen sisällä	- yhteinen + ulkoiset järjestelmät
Asennus	- pienikiinteistö – ei automaatiojärjestelmää	- keskiuuri ja suuri automaatiojärjestelmä	- keskiuuri ja suuri automaatiojärjestelmä - tietoverkotettu automaatio

Taulukosta 1 havaitaan, että pienkiinteistöjen ja keskisuurten ja suurten kiinteistöjen tapauksessa lähes kaikki integraatioon sidoksissa olevat seikat eivät ole yhteneviä tai skaalautuvia. Päätelmää tukee johtopäätös pienkiinteistöjen ohjaustoimintojen mahdottomuudesta ilman älykästä kotiautomaatiojärjestelmää, mikä mahdollistaisi kulutuksen ohjaamisen tuotantoperusteisesti. Pienikiinteistöissä on lisäksi erittäin vähän ohjausmahdollisuuksia tarjoavaa sähkönkulutusta, jos rakennus ei ole sähkölämmitteinen. Viihde-elektroniikka, valkoisen linjan tuotteet tai pyykinpesukoneet eivät tällä hetkellä eivätkä jatkossakaan kovin paljoa ohjaustoiminnallisuuksia tarjoa.

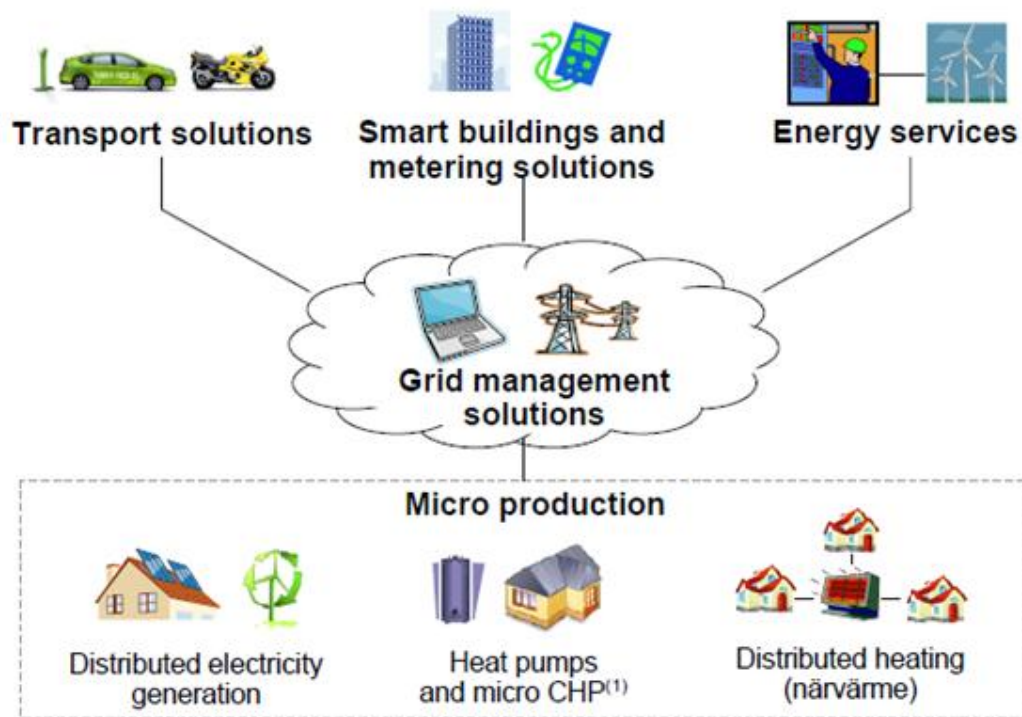
Keskisuurten ja suurten kiinteistöjen tapauksissa automaatiojärjestelmän läsnäolo on enemmän sääntö kuin poikkeus, ja aurinkosähköjärjestelmän integraatio olisi luonnollinen askel integraation välttämisen sijasta. Integraatiomahdollisuutta tukee myös kiinteistöjen energiankulutuksen jakautuminen enemmän ylläpidollisiin kulueriin kuin käytöstä johtuvaan kulutukseen. Esimerkiksi suurikiinteistössä merkittävämpi osa sähköenergiasta kuluu ilmanvaihdon puhallinmoottoreissa, vesipumpuissa ja valaistuksessa kuin kylmälaitteissa tai viihde-elektroniikassa. Kiinteistön energiankulutukseen ei tavallisesti lasketa käytöstä aiheutuvaa energiankulutusta, toimistokiinteistön ATK-laitteiden kuluttamaa sähköä tai kerrostaloissa pyykinpesuun kuluva energiaa.

Edellisestä esimerkistä voidaan johtaa myöhempää kriittistä käsittelyä varten kaksi päätelmää:

- Älykkäässä kiinteistössä älykkyydellä tarkoitetaan automaatiojärjestelmän ohjauskyvykkyyttä, joka perustuu sisäisten ja ulkoisten järjestelmien välittämiin tietoihin ja mittaustuloksiin. Älykkyys on siten ohjaamista.
- Älykkyys rajautuu vain ja ainoastaan paikalliseen kiinteistöön, eli rakennuskonaisuuksien muodostamat automaatioverkot eivät ole älykkäämpiä kuin kukin kiinteistö itsessään. Älykkyyden täytyy olla enemmän paikallista kuin hajautettua.

Älykkään sähköverkon mahdollisuuksia voidaan tutkailla myös palvelunäkökulmasta, mikä on kansallinen tapamme. Kansainvälisesti katsoen palveluiden kautta tapahtuva lähestyminen on varsin poikkeuksellinen ja verrattavissa enemmänkin puhelinoperaattoreiden palveluliiketoimintamalleihin kuin tavoitteisiin luotettavista siirtoyhteyksistä.

Älykäs sähköverkko on palvelumallissa jaettu ratkaisukokonaisuuksiin, joita edustavat energiaa tarvitsevat sovellukset, rakennukset tai sähköautot. Rakennuksista puhuttaessa aiemmin esitetty älykkyyden määritelmä joutuu heti kyseenalaiseen valoon, sillä esimerkiksi Fortum määrittelee mikrotuotannon ja kulutuksen väliin verkonhallintakerroksen, joka voidaan kuvitella palveluliiketoiminnaksi. Kuvan 4 kautta esitetty konsepti tukee täydellisesti kansallista tavoitetta käyttää sähköverkkoa verkkopalveluiden tiedonsiirtoväylänä, tosin verkonhaltijalla kansallisessa mallissa olisi täydellinen valta verkonhallintaan, palvelutarjontaan ja edelleen kaikkeen hinnoitteluun.



Kuva 4. Älyverkkopalvelut (11, s. 10).

Palveluliiketoimintaa pohdittaessa ensimmäiseksi esille nousevat mahdolliset riskit niidenomaan rakennusten automaation älykkyyden kehittämisessä. Fortumin kuvaamassa älyverkkopalvelumallissa mikrotuotannon ja sähkönkulutuksen väliin on sijoitettu jakelujärjestelmän ylläpitoratkaisu. Tämä käytännössä voisi tarkoittaa sähköverkkoyhtiön tarjoamaa palvelua, joka sijoittuisi mikrotuotannon ja kiinteistön sähkönkulutuksen, esimerkiksi rakennusautomaation hallinnoimien sovellusten väliin. Edellä esitetty malli ei siten tue lainkaan älykkäiden kiinteistöjen energiaomavaraisuustavoitteita, jos mikrotuotannon ja sähkönkulutuksen säätövastuu siirrettäisiin jakeluverkkopalvelun piiriin.



Kuva 5. Fortum-koti näyttö.

Ensimmäisiä merkkejä Fortumin suunnitelmista älykkäistä sähköverkkopalveluista edustavat etäluettavat sähkömittarit. Verkkoyhtiö voi sähköverkon kautta lukea sähkömittareista energiankulutustiedot laskutusta varten, joten palvelu tukee nimenomaan jakeluverkkoyhtiön omaa liiketoimintaa. Kuluttajalla on ilmeisesti tulevaisuudessa mahdollisuus Internet-sivujen kautta nähdä sähkönkulutustietonsa lähes reaaliaikaisena, mutta tällä hetkellä palveluja energiankulutuksen monitorointipalveluja ei verkkoyhtiöiltä kuluttajille ole tarjolla. Kuluttajan tulee mittaustietoja saadakseen hankkia verkkoyhtiöltä oma koti näyttö, jolla energiankulutusta voidaan havainnollistaa. Näyttö ei ennakkokäsityksistä poiketen visualisoi mittarin tallentamia ja verkkoyhtiölle lähetettäviä mittaustietoja vaan lukee pelkästään sähkömittarissa vilkkuvaa energiankulutuksesta kertovaa merkkivaloa. Vuorokausittaiset energiankulutuslukemat koti näyttön ja sähkömittarin välillä eivät ole vertailukelpoisia, sillä mittarissa ja koti näyttössä on omat reaaliaikakellot, joita ei synkronoida. Koti näyttön tiedonkeruutoiminnallisuus perustuu mittariin asennetun lähetinyksikön ja näyttöyksikön välisen langattoman kommunikaation häiriöttömään toimintaan.

Sähköverkkoyhtiöillä on verkon siirtokyvyn pakottamana mahdollisuus hinnoittelun keinoin tarjota sähkön kuluttajille kysynnänjoustomahdollisuutta. Tämä tarkoittaa, että verkkoyhtiö hinnoittelee siirrettävän sähkön vallitsevan siirtokapasiteetin mukaisesti sekä tarvittaessa rajoittaa sähkön kulutusta luomillaan malleilla. Sarvaranta (7) näkee kysynnänjoustolla mahdollisuuden säästää energiaa ja pienentää kasvihuonekaasupäästöjä.

3 Rakennusautomaatiojärjestelmät

Kiinteistöissä on käyttötarkoituksesta riippuen jonkintasoinen toimintoja ohjaava järjestelmä. Omakotikiinteistöjen tapauksessa automaatio on sovellukseen kiinteästi rakennettu ja vakioitu. Ilmanvaihtokone tai kaukolämpöjärjestelmän lämmönvaihdin ovat tavallisimpia esimerkkejä. Suurikiinteistöjen tapauksissa automaation tarve kasvaa johdettujen useammista sovelluksista. On tavallista, että kiinteistössä on oheiset sovelluskohdattaiset järjestelmät tai toiminnot:

- lämmitys ja lämmityksen ohjaus
- jäähdytys ja jäähdytyksen ohjaus
- ilmanvaihto
- valaistus
- kulunvalvonta
- paloilmoitus ja sprinklerijärjestelmä
- kameravalvonta
- rikosilmoitus.

(14, s. 27-32)

Historiallisesti lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmät ovat olleet samaa kokonaisjärjestelmää, jota kutsutaan rakennusautomaatiojärjestelmäksi (Building Automation System, Building Management System). Yhteinen tekijä edellisten välillä on tietenkin ilma; lämmitysjärjestelmän tulee lämmittää ja jäähdytysjärjestelmän jäähdyttää ilmanvaihtojärjestelmän kautta kiinteistöön puhallettavaa ilmaa.

Rakennuksessa olevat automaatiojärjestelmät voidaan kategorioida tai jaotella älykkyyden mukaisesti kolmelle tasolle seuraavasti:

- Hallinnollinen taso (management level) tarkoittaa poikkeuksetta järjestelmän valvomoa.
- Automaatiotaso (automation level) pitää sisällään sovelluksen tai prosessin ohjauksen. Ilmanvaihdon ilmankäsittelykoneen ohjaussäädin (Direct Digital Controller, DDC) on tyypillinen automaatiolaite.
- Kenttälaitetasolla (field level) sijaitsevat vallitsevia olosuhteita mittaavat anturit, esimerkiksi läsnäolo- tai hiilidioksidianturit.

3.1 Automaatiojärjestelmien älykkyys

Kehittyvän rakennusautomaation myötä on tarve rakennusautomaation osajärjestelmien mutkattomaan integraatioon kasvanut. Ilmanvaihto, hissit tai kulunvalvontajärjestelmä nähdään nykyisin yhtenä kokonaisjärjestelmänä, joka sisältää lukuisia osajärjestelmiä toiminnoittain jaoteltuina. Fyysisen laiteintegraation sijasta on ajankohtaisemmaksi käsitteeksi muodostumassa sovellusintegraatio ja alijärjestelmien välinen yhteistoiminta (interoperability), joista kaikista muodostuu avoin rakennusautomaatiojärjestelmä.

Avoimeen rakennusautomaatiojärjestelmään on helppo kunkin toimintokokonaisuuden liittyä siten, että ristikkäinen kommunikaatio alijärjestelmien välillä mahdollistuu järjestelmätason laiteintegraation kautta. Yksi tavallisimmista sovellusesimerkeistä lienee toimistokiinteistö, jossa on useampia kerroksia ja nimenomaan kiinteistön normaalista käytöstä poikkeavaa toimintaa. Avoimen ja älykkään rakennusautomaatiojärjestelmän toimintaa voidaan havainnollistaa kuvitteellisella esimerkillä:

Kiinteistön käyttäjä avaa ulko-oven lukon kulunvalvontajärjestelmään kytkeytyllä sähköisellä avaimella. Lukijasta välittyy tieto rikosilmoitinjärjestelmään, joka kytkeytyy pois liiketunnistuksen osalta, ja kulunvalvontajärjestelmä avaa tämän jälkeen ulko-oven.

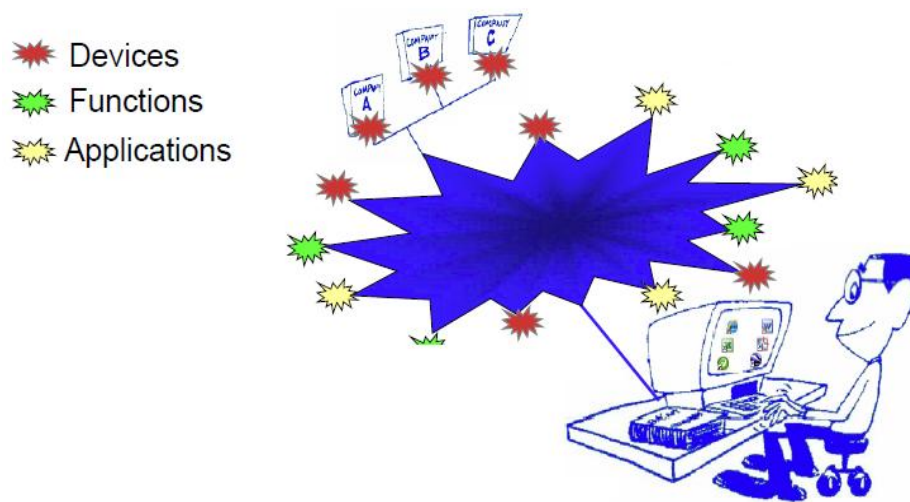
Valaistuksenohjausjärjestelmä saa tiedon tulijasta ja sytyttää kiinteistön ala-aulaan valot, mikäli vallitseva valaistusvoimakkuus on heikko. Tulijasta kulkeutuu tieto myös hissille, joka tilautuu automaattisesti aulakerrokseen, sillä historiatietojen mukaan tulija on aiemmin toistuvasti käyttänyt hissiä saapuessaan ala-aulaan. Hissin valaistus kytkeytyy päällä vasta hissien ovien avautuessa.

Tulija kulkee hissiin ja kerrosvalinnasta välittyy tieto hissien lisäksi myös kulunvalvontajärjestelmään, joka tarkistaa henkilön luvallisen kulkemisen kyseiseen kerrokseen. Hissin saapuessa kerrokseen ilmanvaihtojärjestelmä on käynnistynyt, samoin kuin kulkuvalaistus hissiaulaan on kytketty päälle. Kerrokseen asennetut rikosilmoitinjärjestelmän liiketunnistimet välittävät järjestelmille tietoa henkilön liikkeistä, ja näin valaistusta voidaan

ohjata paikallisesti samoin kuin ilmanvaihdon vyöhykepeltejä, jotka ohjaavat ilmanvaihdon kyseisen henkilön sijaintialueelle.

Edellinen esimerkki kuvaa, miten laiteintegraatiohaaste on kyetty avoimilla rakennusautomaatiojärjestelmillä voittamaan. Haasteeksi ei ole tullut niinkään sovellusten toteuttaminen, vaan toimintojen määrittäminen sovellusten ja järjestelmän sisälle. Nykyisin rakennusautomaatiossa keskitytään edelleen lähes täysin energiatehokkuuden parantamiseen muutoin kuin automaatioastetta kohottamalla. Energiatehokkuuden parantamisen lääkkeeksi käytetään enemmän lämpöpumppuja, aurinkolämmitystä, energiatehokkaampia valaisimia ja moottoreita kuin rakennettaisiin ilmanvaihtoon mahdollisuus puhallinnopeuden säätöön tai kello-ohjaukseen. Vaikka rakennusautomaatiojärjestelmät ovat entistä hienompia, tällä hetkellä kotiautomaation älyhankkeissa korostetaan kulutetun sähköenergian mittauksen visualisointia pyrkimyksenä luoda uusia energiansäästötottumuksia (15). Automaatiolla ei siten pyritä automatisoimaan prosesseja tai sovelluksia.

Kehittyvän rakennusautomaation ajuriksi voidaan energiatehokkuuden kehittämisen lisäksi laskea tavoite entistä suurempien kiinteistökokonaisuuksien keskitetystä ylläpidosta, kunnonseurannasta ja raportoinnista. Energiankulutuksen seurantajärjestelmä on asiakaslähtöinen esimerkki automaation hallinnollisen tason toiminnallisuudesta, joka käyttää hyväksi jo olemassa olevaa mittauspisteiden verkkoa, esimerkiksi vesi- ja energiamittareita.



Kuva 6. Rakennusautomaation sovellus- ja toimintointegraatio (16).

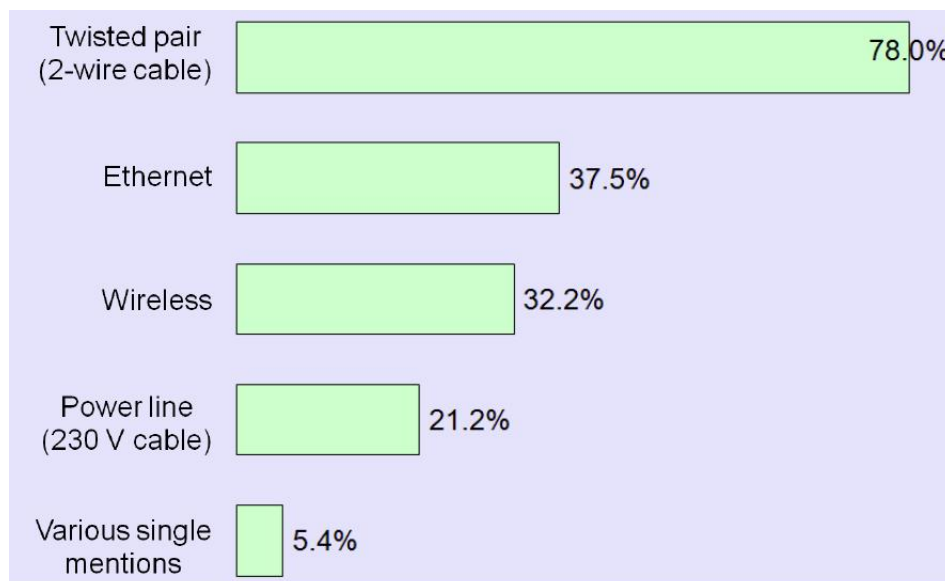
Energiatehokkuutta tutkittaessa mittarit asetetaan usein mitattaviin energiankulutussuureisiin kuten kaukolämmön, käyttöveden, sähköenergian tai kaukokylmän kulutukseen. Tämä on seurausta kiinteistöihin vaadituista energiatodistuksista ja pakottaa luokittelemaan kiinteistöt energiankulutuksen mukaisesti paremmuustaulukkoon. Energiatohokkuuskeskusteluissa ei useasti sivuta kiinteistön sisäolosuhteita eli mikroilmastoa. Rakennusautomaatiojärjestelmien ensisijainen tehtävä on mukavuustason (comfort zone) säilyttäminen sekä vasta toissijaisesti energian säästäminen. Valitettavasti kovin harva rakennusautomaatiojärjestelmä on ohjelmoitu raportoimaan sisäilman lämpötilasta, hiilidioksidipitoisuudesta, ilmankosteudesta tai ilmavirtojen suuruuksista, joita kuitenkin mitataan reaaliaikaisesti. Rakennusten sisäolosuhteilla ei näin ollen liene vaikutusta energiatehokkuuslukuihin tai -kategorisointiin.

Rakennusautomaatiossa älykkyydellä tarkoitetaan aina oloarvosuureen mittaamista. Järjestelmä ei ole älykäs, jos esimerkiksi ilmanvaihtoa ohjataan vuorokausikellolla tai läsnäolotunnistimella, sillä kumpikaan edellisistä vaihtoehdoista ei tarkoita olosuhteen mittaamista. Lisääntyvä älykkyys eli mittaus tarjoaa uusia mahdollisuuksia energiatehokkuuden parantamiseen, mutta myös olosuhteiden laadun kohentamiseen ja todentamiseen. Aina energiansäästöllä ei voida ratsastaa auringonlaskuun, vaan mukavuustekijät useimmissa tapauksissa ovat energiatehokkuutta tärkeämpiä.

3.2 Tiedonsiirtomediat

Rakennusautomaation ensimmäinen integraatiovaatimus on fyysinen integraatio eli mitä tiedonsiirtomediaa hyödynnetään protokollan siirtotienä. Älykkäiden sähköverkkojen tapauksessa on käyty keskustelua jakeluverkon, Internetin sekä radio- ja TV-verkon rooleista tiedonsiirtomediaana. Internet todennäköisesti näyttelee kuluttajien ja sähköyhtiön välisessä tiedonsiirrossa merkittävää osaa, mutta Internet itsessään ei sisällä siirtotien määrittystä. Internet on nykyisin tarjolla monin eri tietoliikennetekniikoin.

Rakennuksen sisätiloissa tiedonsiirtomediaan on vähemmän realistisia vaihtoehtoja. Kaikissa kiinteistöissä on jonkintasoinen Ethernet-tietoverkko, mutta rakennusautomaation alatasoilla ja nimenomaan kenttälaitetasolla Ethernet on vielä tuntematon. Perinteinen sarjamuotoinen EIA-485 tai vastaava kaksijohdinkommunikointi on kenttälaitetasolla tunnettu, joskin langaton teknologia tarjoaa paljon houkuttelevia uusia mahdollisuuksia.



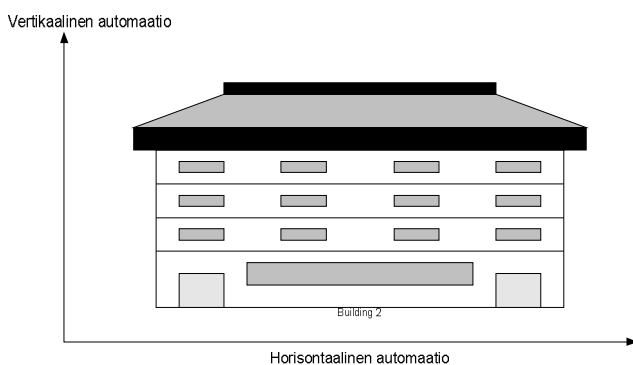
Kuva 7. Tiedonsiirtomedioiden kiinnostavuus (17, s. 28).

Markkinatutkimuksia on puolesta ja vastaan, mutta edellisessä kuvassa esitetty tutkimustulos tiedonsiirtomedioiden kiinnostavuudesta kertoo karua kieltä rakennusautomaatio toimijoiden ja asiakkaiden konservatiivisuudesta: suurin kiinnostavuus kohdistuu perinteiseen parikaapeliin (Twisted air, TP), joskin Ethernet, tutkimuksessa tarkemmin yksilöimättömät langattomat siirtotiet ja sähköverkko ovat selkeästi kiinnostavia siirto-

teitä. Toisaalta tutkimuksen otantaan voidaan suhtautua kriittisesti, sillä muiden kuin pienkiinteistöjen automaatio ja hallinnollisen tason laitteet ovat nimenomaan Ethernet-liitäntäisiä. Siten Ethernetin kiinnostavuus kyseenalaistaa edelliset tulokset muiden kuin omakotikiinteistöjen viitekehyksessä. (17)

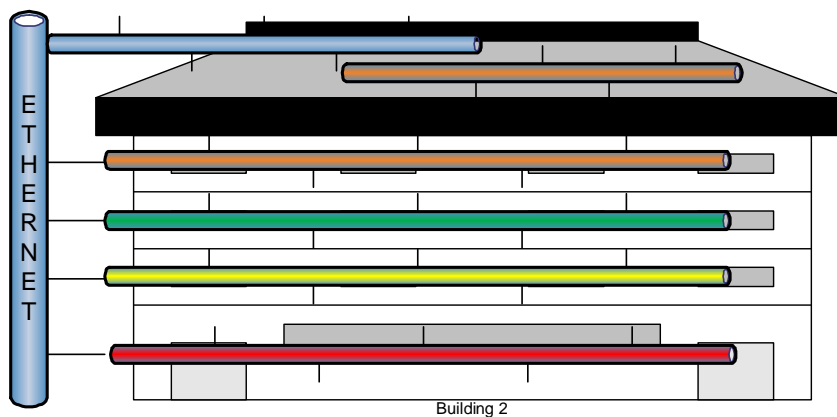
Kun katse käännetään tulevaisuuteen, tiedonsiirtomedian valintaan vaikuttaa nimenomaan käytettävä kommunikointiprotokolla sekä järjestelmän laajuus ja käyttötarkoitus. Viimeistään tässä vaiheessa rakennusten automaatiotasot tarvitsevat uuden kategorioinnin ilman sovellus- tai hierarkiamallia. Kuvassa 7 esitetyjä tuloksia voidaan jaloistaa jakamalla tiedonsiirtomediat käyttötarkoituksen mukaan kahteen pääluokkaan, horisontaaliseen ja vertikaaliseen.

- Horisontaalinen eli vaakasuora automaatio keinotekoisessa mallissa sisältää kaikki pienkiinteistöjärjestelmät, joissa ei ole valvomoratkaisuja, sekä suurkiinteistöjen tapauksessa kunkin kiinteistökerroksen kerrosautomaation.
- Vertikaalinen eli pystysuora automaatio integroi suurkiinteistöjen tapauksessa kerrosautomaatiot ratkaisut ja -järjestelmät sekä pienkiinteistöjen tapauksissa automaation ja valvomontietokoneen.



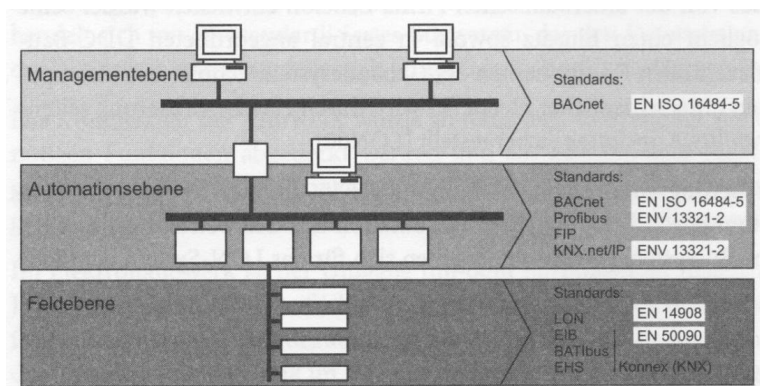
Kuva 8. Automaatiomalli.

Edellä luotu malli voisi käytännössä tarkoittaa, että kiinteistössä olisi kullakin kerroksella oma kiinteistöautomaation väyläsegmentti tai peräti jopa automaatiojärjestelmä. Valtajärjestelmät kuten hissien ohjausjärjestelmät tai ilmanvaihtojärjestelmät yleensä muutenkin integroidaan vertikaaliseen automaatioon silloin, kun tiedonsiirron määrän ja integroitavuusmahdollisuuksien vuoksi on perusteltua.



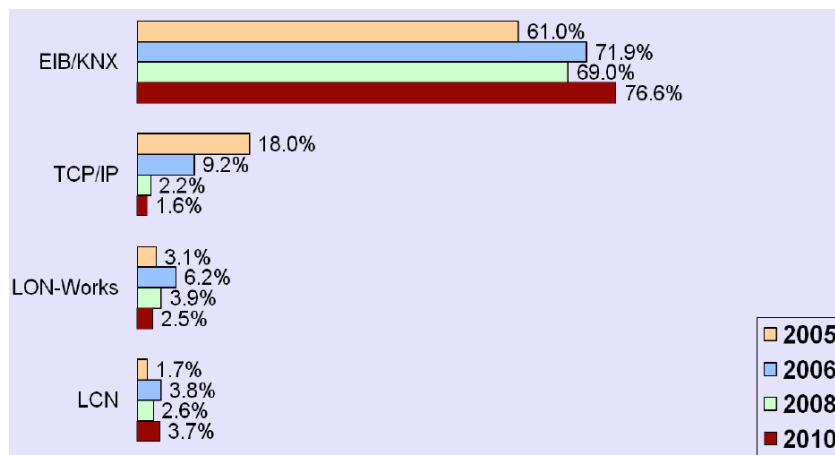
Kuva 9. Kerrosautomaatiojärjestelmän malli.

Kuvassa 9 esitelty jaottelu on välttämätöntä, sillä kommunikoinnillisesti ei ole olemassa skaalautuvaa laite- tai teknologiatarjontaa kaikkien kiinteistön järjestelmien ja sovellusten tarpeisiin. Parhaiten tilanne tulee esille, kun palataan takaisin automaation hierarkiaan ja tutkitaan standardoituja protokollia automaation tasojen mukaan positiivina. BACnet on standardoitu kaikille automaation tasoille, mutta käytännön laitetarjonta kentälaitetasolle vaihtelee melkoisesti markkinoittain. BACnet-protokollan vahvuudet tulevat esille nimenomaan sekä hallinnollisella että automaatiotasolla, joissa integraatiotarve on suurempi kuin kentälaitetasolla. KNX-protokolla on varsinkin Euroopassa selkeästi dominoivassa asemassa ja standardoinnista päätellen soveltuu erinomaisesti kentälaitetason sekä automaatiotason laiteintegraatioon ja siten horisontaaliseen automaatioon aiemmin luodussa automaatiomallissa.



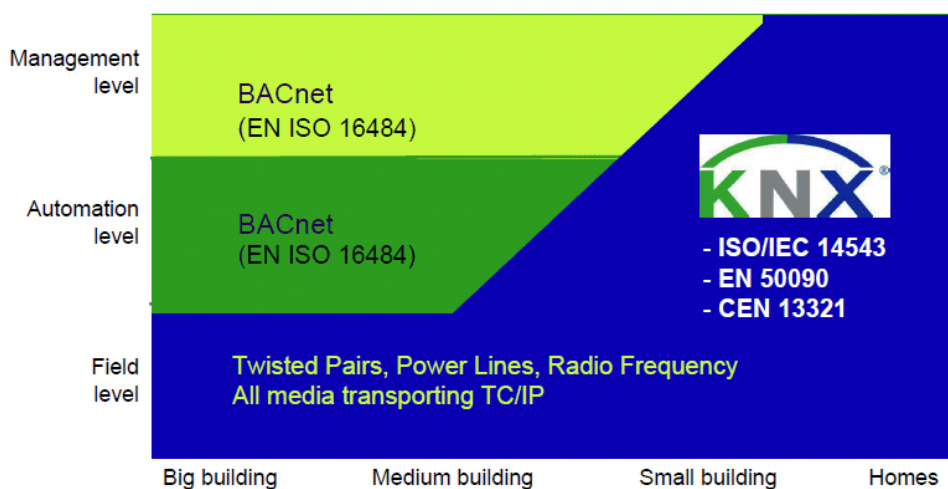
Kuva 10. Rakennusautomaatioprotokollien standardisointi eri automaation tasoille (18, s. 36).

Protokollien levinneisyys tai yleisyys ei nykypäivänä kerro tulevaisuuden mahdollisuuksista nopeutuvan teknologisen kehityksen vuoksi. Sen sijaan yleisyyden muutosnopeus on parempi mittari, jos mietitään vaikka tulevaisuuden aurinkosähköinverttereiden integraatioprotokollatarvevalintaa.



Kuva 11. Kommunikointiprotokollien yleisyys (17, s. 26).

KNX on kiistatta ainoa kerrosautomaation soveltuva protokolla, joka on kyennyt kasvattamaan esiintymistiheyttä edellisen kuvan esittämänä. Suurin häviö on LonWorks, joka ei ikääntyvänä teknologiana ole kyennyt vastaamaan kehittyvän rakennusautomaation uusiin vaatimuksiin.



Kuva 12. KNX ja BACnet -protokollien soveltuminen automaation eri tasoille (19, s. 3).

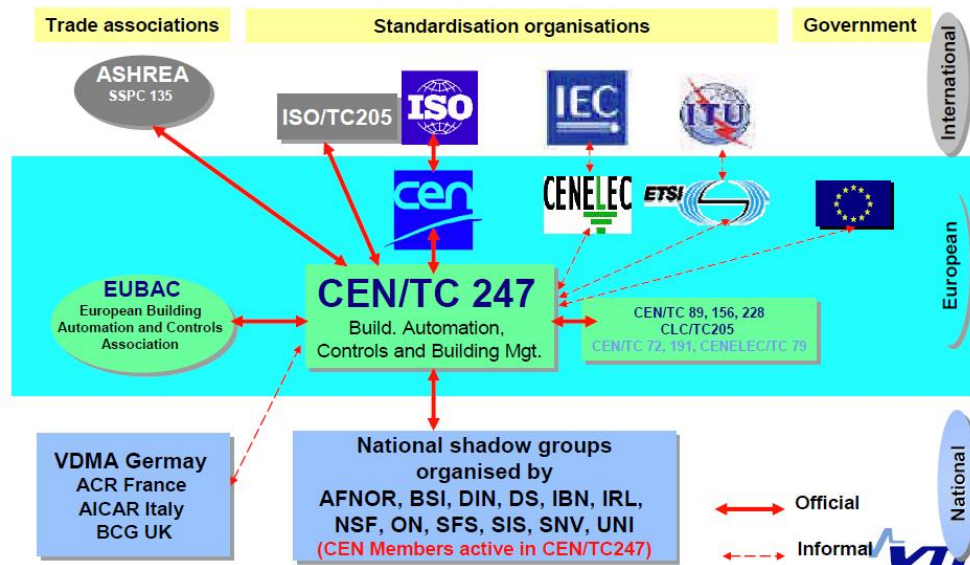
Jaetaan kiinteistöautomaatio miten tahansa, kaikki tutkimustulokset ja teknologinen vertailu johtavat selkeään päätelmään KNX-protokollan soveltumisesta horisontaaliseen ja kotiautomaatioon. BACnet-protokollan ylivoimaisuus korostuu isompien kiinteistöjen vertikaalisessa automaatiointegraatiossa sekä hallinnollisen tason työkaluna. Tämä on tärkeä viesti visioitaessa tulevaisuutta, sillä kategorisointi kertoo myös protokollan vahvimmat ominaisuudet sekä kehitymissuunnat.

3.3 Avoimet rakennusautomaatiojärjestelmät

Rakennusautomaation avoimuudesta on puhuttu avaintekijänä onnistuneeseen integraatioon, mutta järjestelmän avoimuus voidaan ajatella ja ymmärtää monin tavoin. Lähtökohtaisesti voimme puhua avoimesta järjestelmästä vain, jos laiteintegraatio on toteutettu avoimella kommunikaatioteknologialla, jonka tunnusmerkistöön luetaan seuraavat asiat:

- Teknologian tai tavaramerkin omistajuus ei ole sidoksissa yhteen tai pieneen joukkoon toimijoita, jotka kykenevät hallitsemaan teknologian kehittymistä.
- Kenellä tahansa on mahdollisuus käyttää teknologiaa, osallistua sen kehittämiseen ja ylläpitämiseen sitoumuksitta.
- Ylläpitävä organisaatio on voittoa tavoittelematon.

Kiinteistöjen automaatiojärjestelmien standardit määritellään eurooppalaisella tasolla CEN/TC247-standardisointikomitean toimesta (20). Kansainvälisesti komitea toimii IEC:n, ISO:n ja ASHRAE:n kanssa yhteistyössä, mikä takaa kansainvälisten standardin aseman Euroopassa sekä SESKO:n sekä SFS:n yhteistyön kautta kansallisesti (21).



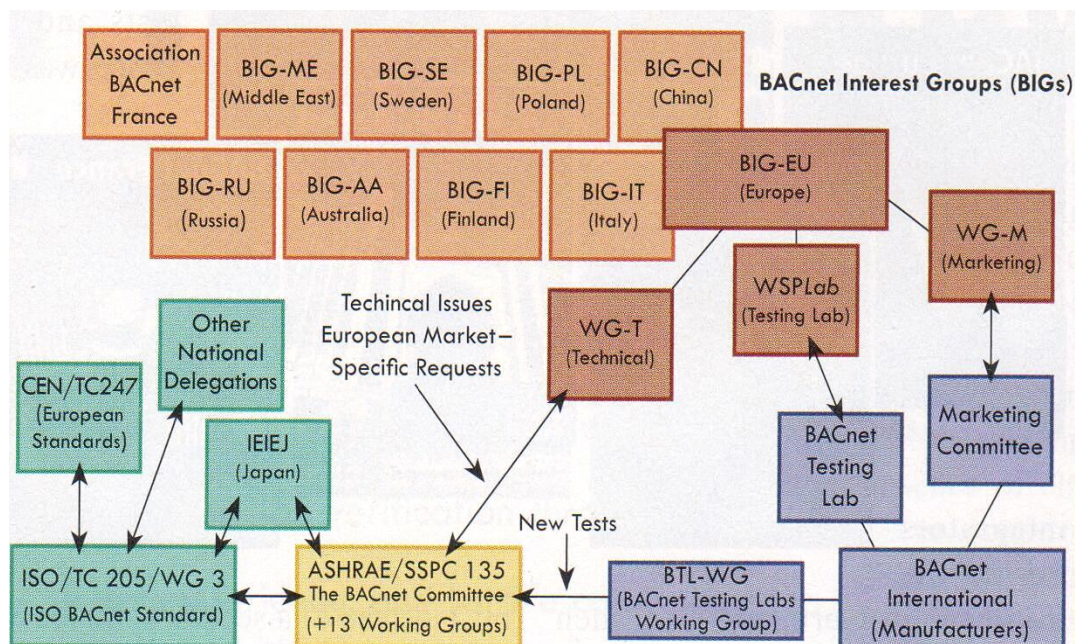
Kuva 13. CEN/TC247-yhteistyömalli (21).

Tällä hetkellä Euroopassa on standardoitu kolme rakennusautomaation kommunikointi-protokollaa useiksi eri standardeiksi:

- EN ISO 16484-5 Data Communication Protocol – BACnet
- EN ISO 16484-6 Data Communication Conformance Testing – BACnet.
- EN 14908-1 LonWorks Protocol stack specification
- EN 14908-2 LonWorks Twisted pair communication
- EN 14908-3 LonWorks Power Line Channel
- EN 14908-4 LonWorks IP Communication
- EN 14908-2 LonWorks Twisted pair communication
- CEN/TS15231 Mapping between LonWorks and BACnet
- EN 13321-1 Konnex Protocol for building automation and control systems (BACS)
- EN 13321-2 KNX/IP Protocol.

(21)

Aiemmin esitetty toteamus kommunikaatioprotokollan avoimuutta määrittelevistä kriteereistä on helppo purkaa auki tutustumalla BACnet-protokollan sidosryhmien toimintaan ja näiden välisiin toimivaltasuhteisiin.



Kuva 14. BACnet-työryhmät ja standardikomitea (22).

Kuvassa 14 on esitetty, miten BACnet päätyy eurooppalaiseksi EN-standardiksi CEN/TC247-standardisointikomitean kautta. Tätä ennen standardimuutokset ovat käsitelleet ISO:n BACnet-standardista vastaava työryhmä WG 3 ja ASHRAE:n SSPC-135-ylläpitokomitea. Standardin muutosluonnos on kotoisin ASHRAE:n työryhmiltä siten että BACnet Testing Labs -työryhmä (BTL-WG) on ottanut kantaa standardinmukaisuustestaukseen.

Eurooppalaisen BACnet Interest Group Europe -yhdistyksen (BIG-EU) tekninen työryhmä (WG-T) käsittelee kaikki Euroopasta BACnet-standardityöhön esitetyt asiat ja esittelee ehdotukset SSPC-135-komitealle. BIG-EU on siis eurooppalainen BACnet-kattojärjestö, jonka alaisuuteen kuuluvat paikalliset etujärjestöt mukaan lukien BACnet Interest Group Finland (BIG-FI).

Protokollan kehittämistyö tehdään työryhmissä, joilla kullakin on oma erityisosaamisalueensa. Tässä kohdin viimeistään avointen standardien eroavuudet tulevat esille, sillä työryhmien vastuukentät ovat eri protokollien etujärjestöillä hyvin erilaiset. BACnet-työryhmät valtaosin keskittyvät kommunikointiteknologioiden kehittämiseen siten, että Ethernet-pohjaisesta kommunikaatiosta vastaa eri työryhmä kuin langattomasta kom-

munikaatiosta (23). LonWorks-protokollan tapauksessa työryhmien vastuut on jaettu sovelluskohtaisesti, esimerkiksi Building Automation Systems (BAS) -työryhmä vastaa rakennusautomaation sovelluksista, kun esimerkiksi Refrigeration Systems -työryhmän vastuulla on jäähdytyslaitteiden integraatio (24). KNX-yhdistyksen työryhmät keskittyvät kommunikaatioteknologian tai sovellustoiminnallisuuksien sijasta prosesseihin esimerkiksi WG Certification -työryhmä, joka vastaa protokollan standardinmukaisuuden testauksesta ja testausprosessin kehittamisestä, tai WG Training -työryhmä, joka vastaa koulutusfunktioista (25).

Yhteenvetona voidaan määritellä kullekin standardoidulle rakennusautomaation protokollalle tyypillisin tunnusmerkki:

- BACnet-protokollalle tyypillistä on kommunikaatioteknologisten keinojen kautta kehittyminen.
- LonWorks-protokolla nojaa täysin ennalta määriteltyihin laite- ja sovellusrajoitintoihin.
- KNX-protokollan kehitystyölle tyypillisintä on työryhmien ja niiden vastuunjako prosesseittain.

Edellistä tunnusmerkistöä voidaan perustella protokollien soveltuvuustavoitteilla. BACnet on edellä esitellyistä selkeimmin integraatioprotokolla, joka pyrkii mahdollistamaan alijärjestelmien integroimisen laajemmaksi automaation kokonaisuudeksi. Siten on luonnollista, että kommunikointi ja integrointiominaisuudet ovat tunnetuimpia kehityksen ajureita.

LonWorks-protokolla on suunniteltu nimenomaan sovellusten ja laitteiden integraatioon käyttäen staattista ja protokollan käyttöön suunniteltua siirtotietä ja kommunikointielektroniikkaa. Siten BACnet-protokollan kaltainen kommunikointitekologinen kehitys ei olisi tarpeen. KNX on olemassaolonsa ajan pyrkinyt vaikuttamaan markkinoilla nimenomaan standardoituna protokollana. Tämä on markkinoinnillisesti selkeä etu laitevalmistajien omia kommunikointiprotokollia vastaan, mutta protokollan teknisessä tai kaupallisessa markkinoinnissa ei käsitellä järjestelmäintegraatiota tai sovellusintegraatiota (26).

3.3.1 BACnet-protokolla

BACnet-kommunikointiprotokolla on tällä hetkellä potentiaalisin rakennusautomaation integraatioon kehitettävä kommunikaatiotuote, joka on alkuperäisestä laiteintegraatiotavoitteesta siirtynyt tavoittelemaan laitevalmistajien toivomaa sovellusintegraatiota. Suomen mittakaavassa BACnet-protokollan ja älykkäiden rakennusten välinen yhteys on täysin havainnoimatta, sillä älykkäitä rakennuksia käsittelevät kansalliset tutkimusohjelmat rajoittuvat pien- ja keskisuuriin kiinteistöihin.

BACnet-protokolla valitettavan usein koetaan kansallisesti kenttäväyläksi, joka on kilpaileva automaatiotoimijoiden omien kenttäväylätuotteiden kanssa (27, s. 37). Kansallisesti ennen kaikkea pienten rakennusautomaation toimijoiden keskuudessa BACnet-protokollaa ei vielä nähdä integraation mahdollistajana, sillä toimijat yhä edelleen mieltävät tekevänsä rakennusautomaation integraatoratkaisua, mutta ratkaisut edustavat LVI-sovellusten integraatiota. Harvempi rakennusautomaation toimija nykypäivänä integroi valaistusjärjestelmän, hissit tai kulunvalvonnan osaksi avointa rakennusautomaatiojärjestelmää. Syitä voidaan etsiä lähdekirjallisuuden vähäisestä tarjonnasta ja siitä, että vähäinen saatavilla oleva materiaali on vanhentunutta. Alan perusteos, Avoimet rakennusautomaatiojärjestelmät, (14) on vuodelta 1998, ja viime vuosikymmenten aikana rakennusautomaation voimakas muutos on eittämättä vanhentanut aiemmin painetun sanan. Toisaalta rakennusautomaation eilispäivän vaatimukset elävät ajankohtaisissa julkaisuissa (28; 29), mutta teosten välittämä tuoteinformaatio on olematon. Kansallisesti meillä ei juurikaan käytetä avoimia rakennusautomaatiojärjestelmiä massatuotteina eikä niiden eduista juuri puhuta (30).

3.3.2 KNX-kotiautomaatiojärjestelmä

KNX-kotiautomaatiojärjestelmä mahdollistaa useampia kotiautomaation perustoimintoja kuten valaistuksen ohjauksen. Viimeistään lämmityksen ja lämminvesivaraajan ohjaustarpeisiin järjestelmän lisäarvo on kyseenalainen, sillä KNX-järjestelmään on vaikeaa tuottaa korkeampaa älykkyyttä tarvitsevia toimintokokonaisuuksia. Ilmanvaihdon ohjaus läsnäolooperustaisesti on helposti toteutettavissa KNX-järjestelmällä (31), mutta esimerkiksi ilmanvaihdon ohjaus ulko- ja sisäilman suhteellisen kosteuden erosuureella

useimmiten on jo liian vaikea funktio KNX-järjestelmille tahi ainakin järjestelmien ohjelmoijille ja käyttöönottajille.

3.3.3 Sovellusintegraatio

Automaatiojärjestelmien välisen ja järjestelmän sisäisen laiteintegraation lisäksi tarvitaan aina sovellusten välistä vuorovaikutusta, joka tyypillisesti on kahdensuuntaista tiedonvaihtoa luku- ja kirjoituskomentojen avulla. Pelkästään muuttujien arvojen vaihtamisella ei rakennusautomaatiossa voida puhua sovelluksesta, jos päivitys on aikaperusteista, mikä on tyypillisin teollisuusautomaation tiedonsiirtotavoista. Rakennusautomaation luonne poikkeaa paljon teollisuusautomaatiosta, sillä rakennusautomaatiojärjestelmien sovellusviive on poikkeuksetta aina vähintään minutteja, usein jopa tunteja tai vuorokausia. Tiedonvaihdon tulee olla luotettavaa kuin nopeaa. Tarpeettoman tiedon päivittämistä tulee välttää, sillä automaatioverkot saattavat olla maan- tai kaupunginlaajuisia.

Taulukko 2. Rakennusautomaation sovellusintegraatiovaatimuksia (16).

Standard	Certification Authority	Point Read	Point Write	Alarm	Schedule	Reporting	History & Trending	Priority Array	COV	Auto-Discover
LonWorks EIA 709.1	LonMark	↓	↓						↓	↓
BACnet SSPC 135	BI/BTL	↓	↓	↓	↓		↓	↓	↓	↓
Modbus RTU/TCP		↓	↓							
OPC 2.0, 1.0C	OPC Foundation	↓	↓	↓			↓			↓
oBIX-XML		↓	↓							

Rakennusautomaation laiteintegraatio on historiallisesti perustunut DDC-säädinten (Direct Digital Controller) kahdensuuntaisen kommunikaation mahdollistamiseen. Kehittyvä automaatio on tuonut mukanaan vaatimuksen tehostaa kommunikointia, johon protokollatuotteet ovat vastanneet COV (Change of Value) -toiminnallisuudella. Käytännössä COV-tuki poistaa tarpeettoman kommunikaation rakennusautomaatioverkoissa, sillä COV-toiminnallisuutta tukevat laitteet tilaavat muuttujien arvomuutokset toisilta laitteilta, ja näin ollen aikaperusteinen muuttujien arvon päivitys on muuttunut tarpeperusteiseksi. Hälytystoiminnallisuus (Alarm) luetaan COV:n kaltaiseksi toiminnallisuudeksi sillä erolla, että COV-toiminnallisuutta käytetään normaaliin automaatio-ohjaukseen

automaatiolaitteiden välillä, kun taas hälytystoiminnallisuudella palvelee automaatiojärjestelmän käyttäjiä ja kunnossapitäjiä. Lähtökohtaisesti rakennusautomaation laite- ja sovellustason integraatio on lähempänä teollisuusautomaatiojärjestelmien valvomoratkaisuja.

Taulukko 3. Rakennusautomaation valvomointegraatiovaatimuksia (16).

Standard	Certification Authority	Point Read	Point Write	Alarm	Schedule	Reporting	History & Trending	Priority Array	COV	Auto-Discover
LonWorks EIA 709.1	LonMark	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
BACnet SSPC 136	BI/BTL	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Modbus RTU/TCP		✓	✓	✓	✓	✓	✓			
OPC 2.0, 1.0C	OPC Foundation	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
oBIX-XML		✓	✓	✓	✓	✓	✓			

Kun sovellusintegraatiotasolta vaihdetaan näkökulma valvomotasolle, rakennusautomaation vaatimukset välillisesti kohtaavat teollisuusautomaatiojärjestelmien toiminnallisuuden. Tyypillisiä valvomo-ominaisuuksia ovat luonnollisesti hälytystoiminnallisuudet, kalenteriohjelmat sekä historiatietojen keruu. Erona säilyvät edelleen COV-toiminnallisuus, prioriteettikomennot sekä jotkin dynaamisen verkon ylläpitoon liittyvät toiminnallisuuskokonaisuudet.

3.4 Muut teknologiat

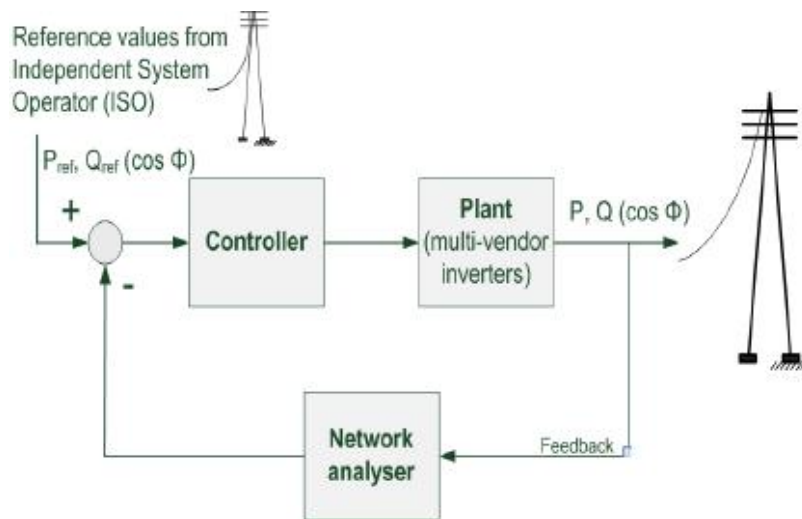
Rakennusautomaatiossa on kautta aikain käytetty edellä määriteltyjen avointen kommunikointiprotokollien lisäksi teollisuusautomaation ja tietoliikennetekniikan protokollia ja tekniikoita. Tunnetuin lienee Modbus-protokolla, joka on soveltuva niin sarjamuotoiseen RTU- tai ASCII-kommunikointiin EIA-232 ja EIA-485 -siirtotiellä, mutta toki TCP/IP-kommunikointiin Ethernet-pohjaisena. Rakennuksissa esiintyy myös PROFIBUS DP tai PROFINET -protokollia laite- ja sovellusintegraatioon tai OPC-integraatioprotokollia järjestelmätasoiseen integraatioon. Avoimuudesta huolimatta näille protokollille ei rakennusautomaation valvotomijoiden keskuudessa ole myötämielisyyttä eikä johtuen joidenkin rakennusautomaatiossa tarvittavien toiminnallisuuksien

tuen puutteesta nimenomaan sovellusintegraation kontekstissa. Samasta syystä sähköjakeluautomaation läsnäoloa rakennusautomaatiossa ei ole havaittavissa.

3.5 Rakennusautomaatio ja älykkäät sähköverkot

Rakennusten energiatehokkuuden tai energiaomavaraisuuden paraneminen ei välttämättä vaadi laite- tai sovellusintegraatiota älykkään sähköverkon ja rakennusautomaation välille. Olemassa olevalla teknologialla on mahdollista toteuttaa energian mittaus- ja raportointitoiminnot ja tehostaa energian käyttöä kiinteistö- ja järjestelmätasolla.

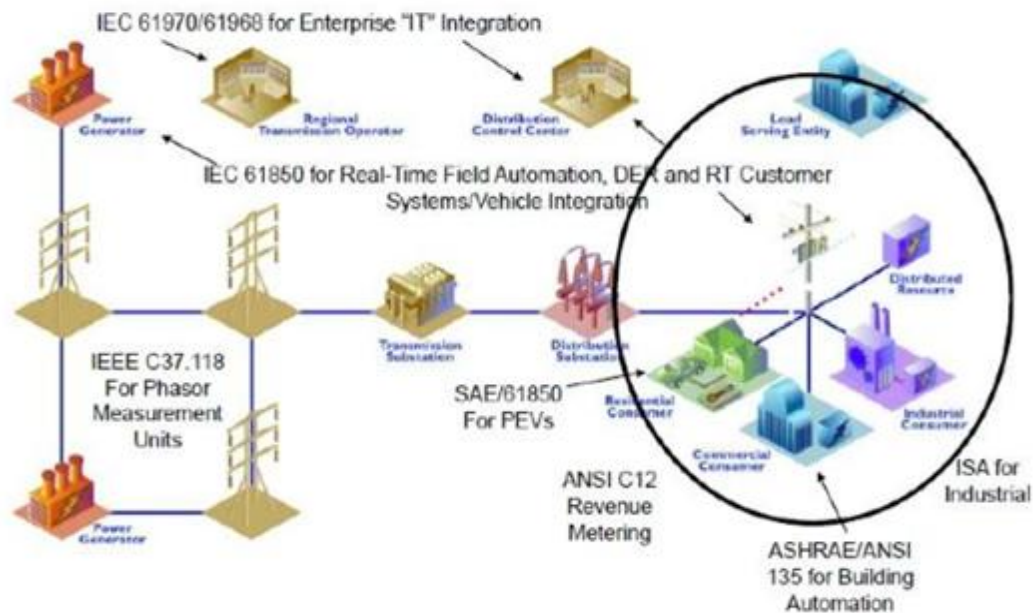
Tulevaisuuden integraatiotarvetta rakennusautomaatiojärjestelmän sekä älykkään sähköverkon välillä ei voida täysin sulkea pois, sillä älykkään sähköverkon toiminnallisuus on edelleen toiminnallisesti määrittelemättä ja toteuttamatta. Kuormanohjaus on kenties ensimmäisiä älykkään sähköverkon toiminnallisuuksia, jotka vaikuttavat rakennusautomaation toimintaan. Teknologia on usein vaadittu mikrotuotannon kyseessä ollessa, jolloin sähköverkonhaltijalla tulee olla kyky rajoittaa ja ohjata tuotantoa verkon stabiiliuden säilyttämiseksi. Tämä tarkoittaa käytännössä hajautetun sähkötuotannon ohjaamista verkonhaltijan toimesta siltä osin, kuin se on mahdollista, eli puhumme täten tehosuureista ja siis tehokertoimesta (32).



Kuva 15. Aurinkosähköinvertterin tehon ohjaus (32).

Edellä esitettyjen tehosuureiden säätäminen paikallisella säätöpiirillä on luonnollisesti mahdollista silloin, kun puhutaan tuotantoyksiköstä, esimerkiksi aurinkosähköinvertteristä. Ongelmalliseksi tilanteen tekee rakennusautomaatiojärjestelmän läsnäolo, sillä sähköverkkoparametrit tulisi ohjata invertterille rakennusautomaatiojärjestelmän läpi tai ohi käyttäen jotain sähköjakeluverkon kommunikointikeinoa.

Toistaiseksi erittäin harvoissa tapauksissa, jos ollenkaan, tuotantoyksikön ja sähköjakeluautomaation välillä käytetään välittävää järjestelmää kuten rakennusautomaatiota. Sen sijaan sähköjakeluautomaatio ulotetaan rakennuksen automaatiojärjestelmän rinnalla energiaa tuottavalle laitteelle asti. Rakennusten tapauksessa tilanne on poikkeava, sillä aurinkosähköjärjestelmät ovat kiinteistön kiinteitä osia ja ne on todennäköisimmin integroitu paikalliseen rakennusautomaatiojärjestelmään energiatuotannon monitoroinnin sekä kiinteistön energiankulutuksen optimoinnin vuoksi.

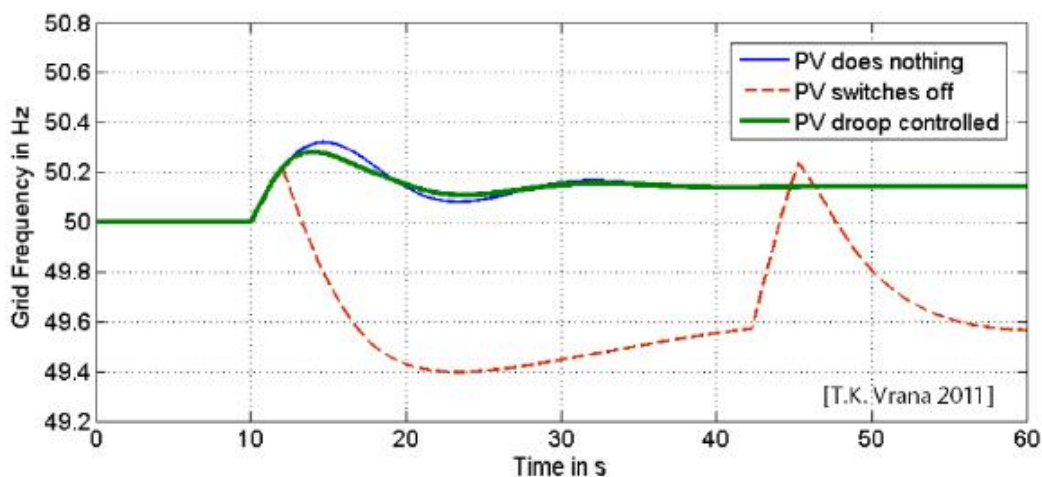


Kuva 16. Kommunikointiprotokollat älykkäässä sähköverkossa (33).

Kommunikointitekniikat nykypäivänä näyttävät hyvin erilaisilta, sillä sähköjakeluautomaatio ei yllä kiinteistö- tai kotiautomaatiojärjestelmien sisälle. Kuluttajajärjestelmien tapauksessa etäluettavia sähkömittareita asennuttaneet verkonhaltijat ovat alkaneet rajoittaa yöajan kestoa (34) hillitäkseen yöajan alun ensi tuntien sähköverkkoon kohdistamaa kuormitustehopiikkiä, joka johtuu varaavista, yöajan sähkölämmityksistä.

Rajoitus tehdään myöhentämällä yöajan alkua enintään muutamalla tunnilla, mutta harvoissa tapauksissa tehonrajoitustoiminnallisuudet on liitetty kotiautomaatiojärjestelmiin. Tämä on luonnollinen toimintatapa, sillä lähtökohtaisesti Suomen sähköverkko on vakaa, häiriötön ja energiaa on ollut saatavilla kuluttajille kiinteähintaisesti riippumatta verkon kuormituksesta tai tuotantokapasiteetista. Sähkölämmityskuluttajille ei ole tarjolla todellisia mahdollisuuksia välttää energiayhtiöiden halua yöajan kuormanohjaukseen eli tehonrajoitukseen, mutta toisaalta kuluttajalla ei ole tällä hetkellä lainkaan mahdollisuuksia varautua muuttuviin sähkönmyynti- ja siirtotariffeihin. Markkinoilla ei liene tunnettujen kotiautomaatiojärjestelmien kanssa yhteensopivia energiankulutusta optimoivia tai suunnittelevia laitteistoja, jotka kykenisivät optimoimaan energiakulutusta sähköhinnan tai paikallisen mikrotuotannon ohjaamana.

Kiinteistöjen automaatiojärjestelmien tapauksessa paikalliset ohjaustoiminnallisuudet ovat realistisempia kuin kuluttajajärjestelmissä. Kiinteistöihin nykyisellään asennetaan sisäinen mittarointi, mikä mahdollistaa energiankulutuksen seuraamisen toiminnoittain ja kulutuspisteittäin kuin kokonaisuutena. Mittarointi ulotetaan luonnollisesti myös tuotaviin yksiköihin, esimerkiksi aurinkosähköinverttereihin. Ratkaisun ongelmana on edelleen sähkönjakelujärjestelmän ohjaustoimintojen vaadittu välittäminen aurinkosähköinvertterille kuin rakennusautomaatiojärjestelmälle.



Kuva 17. Taajuusskenaariot vikatilanteessa (35).

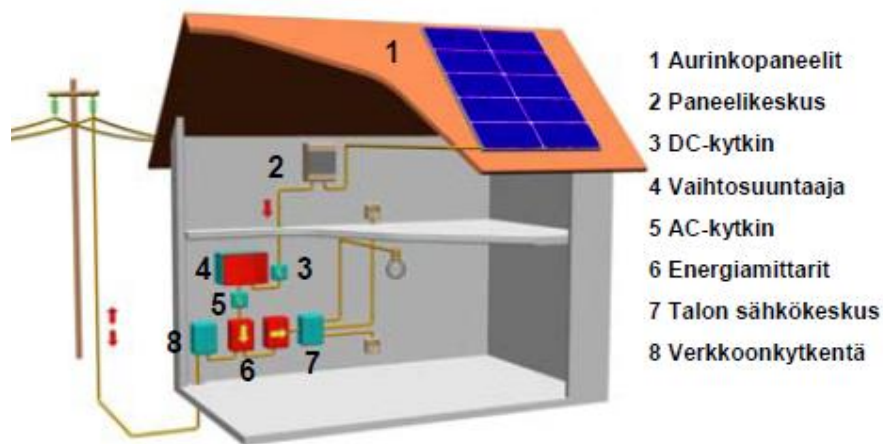
Skenaariokuva 17 kertoo sen, millaista toistuvaa häiriötä mikrotuotannon hallitsemattomalla irtikytkennällä voidaan saavuttaa sähköverkon ylitaajuustilanteessa. Useimmi-

ten sähköverkko kykenee mukautumaan lievään ylitaajuuteen makrotason tehonohjauksella. Mikrotason tuotannon irtikytkeminen aiheuttaa edellisessä skenaariossa massiivisen tehokuopan, joka generoi taajuuskuopan. Makrotuotannon mukauttamana taajuuskuoppa korjaantuu, kunnes mikrotuotanto kytkeytyy staattisen grid-koodin mukaisesti täysin ohjaamattomana takaisin verkkoon. Tämä toiminto saa taajuuden verkossa jälleen nousemaan, mikä johtaa nopeasti staattisen grid-koodin mukaiseen irtikytkemiseen. Sähköverkon värähtely staattisella grid-koodilla on siten helposti saavutettavissa, jos makro- ja mikrotuotannon suhde on väärä tai mikrotuotantoa ohjataan staattisella, pysyvällä grid-koodilla.

Sähkötekniikan lainalaisuudet huomioon ottaen voisi miettiä, miksi taajuuden epästabiiliuteen lähdetään nykyisin hakemaan ratkaisua irtikytkemällä kuormia. Kiinteistöissä on aina jatkuvasti reservitehoa nimenomaan kulutuksessa, jota voisi käyttää sähköverkon balansointiin vika- ja epästabiiliustilanteissa. Yhtä lailla kiinteistöjen mikrotuotantoa voisi kontrolloidusti ajaa alas siten, että rakennuksen automaatiojärjestelmä toimii aktiivisena verkkoanalysoijana ja mittaa verkon suureita sekä tekee päätöksiä tuotantotehojen ja kulutuksen ohjaamisesta. Täysin vastaavaa toiminnallisuutta kiinteistöautomaatiojärjestelmiltä odotetaan viimeistään, kun sähkön hinnoittelu muuttuu tuntiperusteiseksi myös pienten ja keskisuurten kuluttajien tapauksissa.

4 Aurinkosähkövaihtosuuntaajien integraatio

Aurinkosähköinverttereiden sähköverkkokytkeä noudattaa melko pitkälle perinteisiä sähköasennus- ja mittarointiperinteitä. Invertteri tulisi olla irtikytkettävissä sähköverkosta omalla pääkytkimellä ja oman laitesuojauksen vuoksi myös DC-puolella on tapana käyttää erotuskytkintä. Kuva 18 esittää pientaloa, jossa invertteri on kytketty sähköverkkoon ohi rakennuksen pääkeskuksen. Pientaloissa ratkaisu on tavallinen ja toiminnallisesti hyväksyttävä, mutta ei sovellu tulevaisuuden mahdollisiin saarekekäyttötarpeisiin paitsi jos saarekerajapinta toteutetaan verkon liityntäpisteeseen.



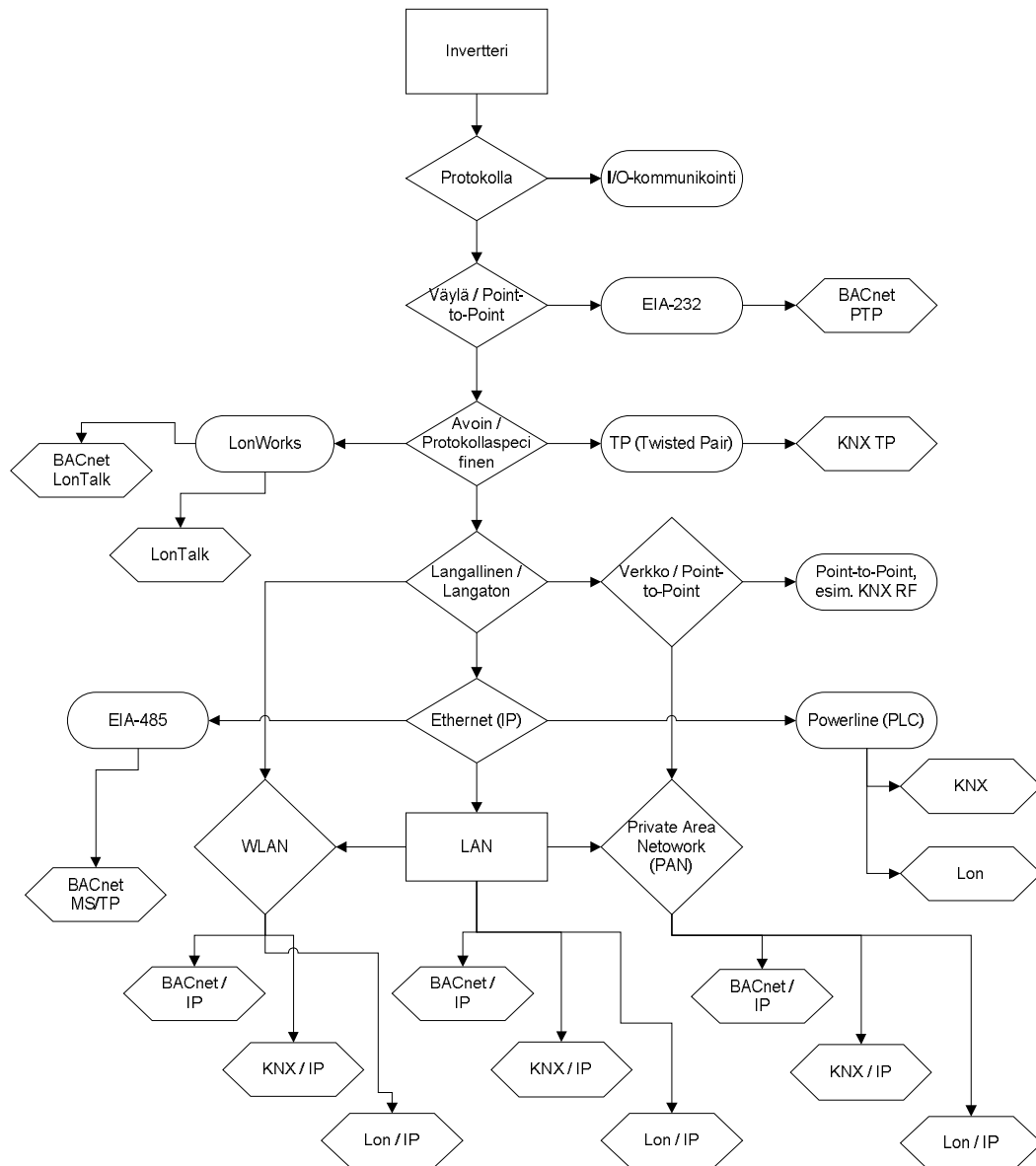
Kuva 18. Aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit (36).

Keskisuurten ja suurten kiinteistöjen tapauksessa erillinen sähköjakelujärjestelmä pelkästään mikrotuotannolle on epärealistinen, sillä tämä vaatisi kaapeloinnin ohi kiinteistön pääkeskuksen. Luontevaa on vahvistaa kiinteistön sisäistä sähköjakeluverkkoa siten, että se kestää mikrotuotannon maksimitehon siirtämisen tarvittaessa jopa verkko-yhtiön jakeluverkkoon saakka.

4.1 Laiteintegraatio

Aurinkosähköinverttereiden fyysinen integraatio rakennusautomaatiojärjestelmään voidaan toteuttaa eri siirtotieteknologiain. Avoimuus ja standardoitu tiedonsiirtomedia ovat avaintekijöitä tulevaisuuden mahdollisuuksien mahdollistajina. Teknologioita verrattaessa tulee pohtia vastapuolen eli asiakkaan käyttämää tiedonsiirtoteknologiaa.

Rakennusautomaatiojärjestelmien ylätason integraatio käytännössä aina toteutetaan Ethernet-pohjaisesti, kun puhutaan BACnet- ja KNX-järjestelmistä. LonWorks-kommunikaation tapauksessa voidaan varauksella myös puhua Ethernet-ylätasosta. Protokollasidonnaisten siirtoteiden häitöt, esimerkiksi LonWorks siirtotien päällä tai KNX pariakaapelin (TP) päällä, havaitaan vertaamalla näitä IP-pohjaisiin siirtoteihin.

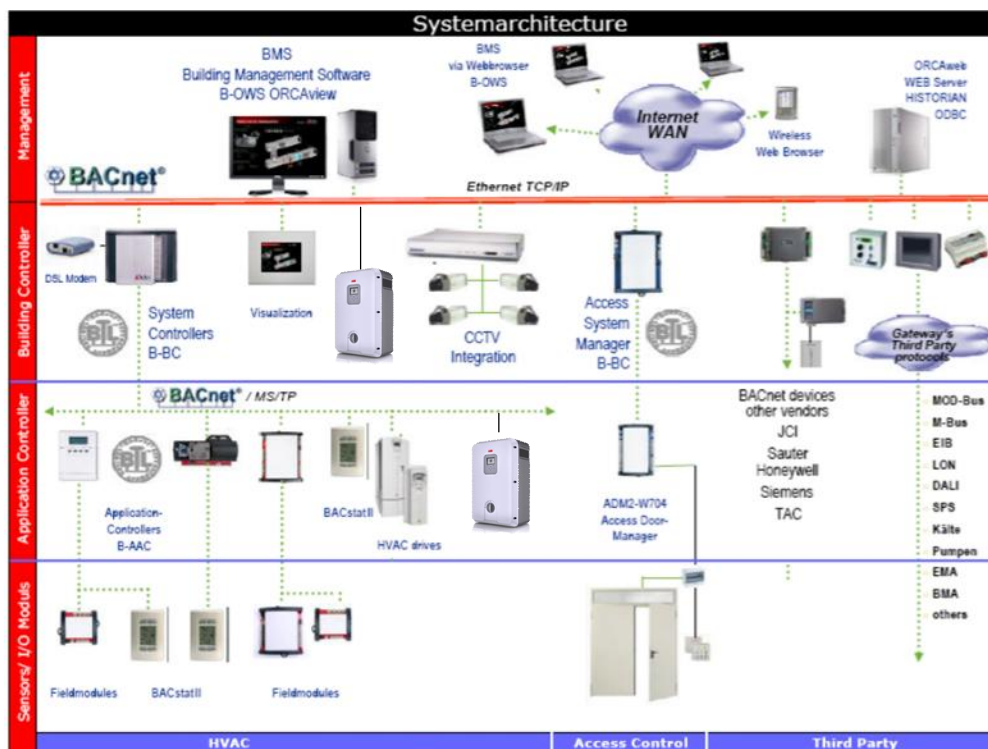


Kuva 19. Protokollien riippuvuudet siirtoteistä (14; 28; 31; 37; 38; 39).

Kun edellä esitettyjä riippuvuuksia peilataan kohdassa 3.2 kuvattuihin standardoituihin protokolliin, voidaan helposti johtaa seuraavat päätelmät:

- BACnet-järjestelmän läpinäkyvyyden vuoksi aurinkosähköinverterit voidaan integroida EIA-485-verkkoihin käyttämällä BACnet-protokollan MS/TP-toiminnallisuutta, EIA-232-kommunikointiin käyttäen BACnet PTP -toiminnallisuutta ja BACnet/IP-toiminnallisuutta käyttäen Ethernet- ja IP-yhteensopiviin verkkoihin.
- KNX- ja LON-integraatio eivät Ethernet-pohjaisina tarvitse protokollariippuvia siirtoteitä, mutta eivät ole yhteensopivia sarjamuotoisten EIA-485 tai EIA-232 -siirtoteiden kanssa.

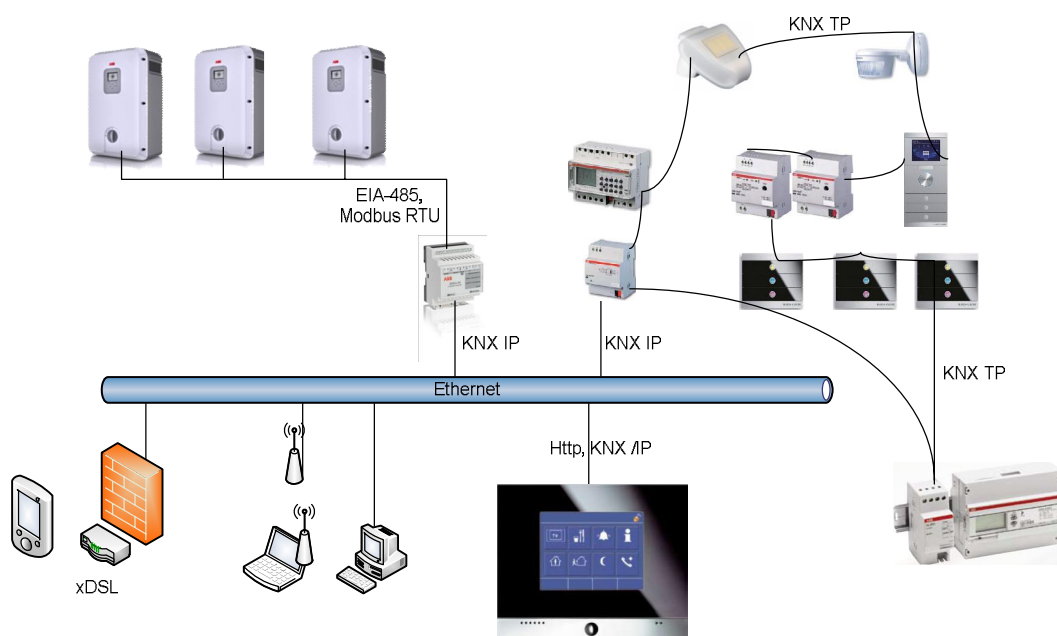
Asiakaslähtöisestä näkökulmasta edellisiä päätelmiä arvioitaessa täytyy niitä peilata automaatiotoimijoiden nykyisin käyttämään verkkotopologiamalliin, joka kattaa aiemmin määritellyt automaatiotasot kenttälaitetasolta hallinnolliseen tasoon. BACnet-tekniikan mahdollistamana järjestelmä aliverkkotuksineen vastaa aiemmin kohdassa 3.2 hahmoteltua mallia kiinteistöautomaation aliverkkosegmentoinnista.



Kuva 20. Rakennusautomaation integraatio.

Pienkiinteistöjen tapauksessa hierarkiamalli ei ole yhtä monimutkainen lukuisine aliverkkoineen kuin keskisuuren ja suuren kiinteistön. Vertailun vuoksi otetaan konseptiksi aliverkkotekniikalla toteutettu KNX-protokollaan perustuva järjestelmä, jossa ylin mahdollinen taso on Ethernet-siirtotie. KNX TP -verkko on tavanomaisin keino toteuttaa väyläkommunikaatio esimerkiksi valaistuksenohjauksessa. Myös toimilaitteet kuten releet ja kontaktorit sijaitsevat samassa verkkosegmentissä. TP-segmentti reititetään Ethernet-ylätasolle, ja näin ollen KNX-järjestelmä kattaa myös automaatiotason.

Aurinkosähköinvertterin integroiminen olemassa olevaan järjestelmään vaatisi siten TP-liityntärajapinnan tai Ethernet-rajapinnan. Laiteintegraation keinoin edellä esitettyä probleemaa on vaikea lähteä ratkaisemaan, kun lähtökohtaisesti aurinkosähköinvertteriin ei ole valittavissa KNX-yhteensopivuutta. Konseptoidaan siten Modbus RTU aliverkko, joka on ABB:n PVS300-invertterin vakiokommunikaatorajapinta.



Kuva 21. KNX-integraatiokonsepti.

Vaikka edellisessä on inverttereiden laiteintegraatorajapinnaksi mallinnettu KNX/IP, sovellusintegraatio ei käytännössä mahdollistu hyödynnettävässä laajuudessa, sillä KNX-järjestelmän peruslaitteet eivät kykene aurinkosähköinverttereiden asiakkuuteen. Toisin sanoen järjestelmässä ei ole laitteita, jotka kykenisivät hyödyntämään invertterin

tarjoamaa tietoa ja muuttujia. Käyttöliittymäintegraatio on luonnollisesti mahdollinen, mutta sovellusintegraatio vaatii selkeästi sähköä kuluttavan laitteen, jota voidaan ohjata ja säätää esimerkiksi invertterin tarjoaman tiedon mukaisesti – älykkäästi.

4.2 Sovellusintegraatio

Aurinkosähköinvertterin tai -järjestelmän sovellusintegraatiosta puhuttaessa lähtökohteisesti kaikella datalla täytyy olla asiakas. Potentiaalisia aurinkosähköinvertterin tarjoaman datan asiakkaita ovat energianhallintajärjestelmät, energiankulutuksen raportointijärjestelmät, älykkäät sähköverkot, sähköautojen latausjärjestelmät, akustot sekä luonnollisesti rakennusautomaatio. Kotiautomaatiojärjestelmien tapauksessa asiakkaita saattavat olla myös pesukone, lämminvesivaraaja ja mahdollisesti sähkölämmitysjärjestelmä. Valaistusta tai ilmanvaihtoa ei varsinaisesti voida lukea aurinkosähköinvertterin asiakkaaksi, vaikka teoriassa ilmanvaihtoa voisi ohjata aurinkosähköinvertterin tuottoa seuraten.

Työn tavoitteissa esiintyvä asiakaslähtöinen sovellusintegraatio älykkäiden sähköverkkojen viitekehysellä on vaikeasti määriteltävissä. Tämä johtuu siitä, että älykkäiden sähköverkkojen vaatimaa sovellusintegraatiota rakennusautomaatiojärjestelmien kanssa ei yksinkertaisesti ole vielä määritelty ja vaatimukset aurinkosähköinverttereille ovat myös hyvin hataralla pohjalla. Asiakaslähtöisesti ajateltuja sovellusintegraation tulisi olla asiakkaalle täysin huomaamaton, mahdollisimman automaattinen sekä mukautumiskykyinen tulevaisuuden vaatimuksiin. Kuitenkaan aurinkosähköinvertterin, rakennusautomaation ja älykkään sähköverkon kombinaation ei tulisi häiritä automaatiojärjestelmän pääfunktioita eli sisäolosuhteen ylläpitoa mukavuusalueella.

4.2.1 Rakennusautomaatiojärjestelmät

Rakennusautomaatiojärjestelmän sekä aurinkosähköinvertterin, tai yleistäen minkä tahansa kiinteistöön sijoitetun mikrotuotantoyksikön, tulisi asiakaslähtöisesti pyrkiä tarjoamaan energiantuotannostaan mittaussuureita. Mikrotuotantolaitteiden integraatorajapintojen toivotaan nykyisin muistuttavan sähkömittareita, sillä datan asiakas on energianhallintajärjestelmä. Kunnossapitotiedot helpottavat järjestelmän ylläpitoa ja

tuotantotehon arviointia, joskin ennakoiva kunnossapito ei vielä ole yleistynyt rakennusautomaatiojärjestelmien vakiotoiminnallisuudeksi.

Uusiutuvasta energiasta puhuttaessa on ensiarvoisen tärkeää, ainakin kansallisesti, markkinoinnillisesti hyödyntää tehty järjestelmäinvestointi. Käytännössä näyttävyyttä luodaan sähköntuottoa kuvaavilla ulkonäytöillä ja merkkivaloilla, jotka kohdennetaan yleisölle ja medialle (40, s. 76). Rakennusautomaatiossa harvoin tunnetaan ulkoisia informaationäyttöjä, mutta ne ovat jatkossa tärkeä asiakaskunta aurinkosähköinvertterin tarjoamalle tuotantotiedolle.

Aurinkosähköinverttereiden tapa varastoida tuotantotietoa on hyvin kirjava. Yleistäen voidaan todeta, että aurinkosähköjärjestelmä vaatii aina yhteisen dataloggerin, joka kokoaa kunkin invertterin tarjoaman teho- ja tuottotiedon tarjottavaksi eteenpäin rinnakkais- ja ylempiin järjestelmiin. Joissain tapauksissa myös rakennusautomaatio voi huolehtia tiedon tallentamisesta, mutta tämä vaatii järjestelmille epätyypillisen nopean tiedonsiirron ja lukuaktiivisuuden.

Viimeinen kysymys rakennusautomaatiosta puhuttaessa on järjestelmän kyvykyys ohjautua invertterin tarjoaman datan mukaisesti. Skenaarioita voidaan luoda kaksi:

- Aurinkosähköinvertteri tai aurinkosähköjärjestelmä ohjaa esiohjelmoidun funktion mukaisesti ulkoisten laitteiden sähkönkulutusta.
- Automaatiojärjestelmä ohjautuu esi- ja vapaasti ohjelmoidun funktion mukaisesti invertteristä saatavien tuotto- ja tehotietojen mukaisesti.

Katsotaan edellisiä skenaarioita mistä tahansa näkökulmasta, niin dynamiikka on mahdollista saavuttaa vain vapaasti ohjelmoitavan järjestelmän avulla. Perusteena edelliselle päätelmälle on nopeasti kehittyvä rakennusautomaatio, jonka tulee kohdata nopeammin kehittyvät sovellusvaatimukset. Nykyisin puhutaan tuotteiden lyhenevästä elinkaaresta. Rakennusautomaation tapauksessa tämä tarkoittaa staattisista sovelluksista siirtymistä dynaamisiin sovelluksiin, joiden toimintaa muutetaan jopa kuukausittain tai rakennuksen käyttötarkoituksen muuttuessa.

Edellinen päätelmä johtaa aurinkosähköinvertterin sovellusrajapinnan määrittelykysymyksen tapauksessa yllättävän helposti määriteltävään vaatimukseen: Invertterin tulee

tarjota täysin muokkaamatonta oloarvotietoa ylempien järjestelmien vapaaseen käyttöön. Datan jalostuksella, itse invertterissä tai paikallisessa dataloggerissa, ei saavuteta näillä näkymin merkittävää etua. Edelleen jos invertteristä ei olisi tarjolla kuin jalostettua dataa, esimerkiksi vuorokauden keskiarvoteho, on sen jatkokäyttöarvo heikko, sillä tietoa ei voisi kriittisesti suhteuttaa ja peilata lähdetietoon.

Protokolla

Kun kommunikointiprotokollien mahdollisuuksia asiakaslähtöisestä näkökulmasta arvioidaan, katoaa helposti näkemys protokollan menestystekijöistä, jotka lopulta määräävät levinneisyyden ja tunnettuuden. Standardisointi on ensimmäinen avaintekijä, ja tähän vaatimukseen aiemmin esitetyt BACnet-, Lon- ja KNX-protokollat kykenevät vastaamaan. Asiakaslähtöistä näkökulmaa on pakko täydentää valmistajanäkökulmalla, ja tällöin selkeimmin LonWorks-protokolla jää alhaisemmalle kiinnostavuuden tasolla johdun tiukasta sovellusrajapintaohjauksesta. Toisaalta tiukka standardisointi nimenomaan sovellusrajapintaan mahdollistaa todennäköisimmin yhteensopivuuden asiakasjärjestelmien ja inverttereiden välillä.

BACnet ei automaattisesti tuo mukanaan käyttökelpoista sovellusrajapintaa, vaan tämä on laitevalmistajien määriteltävissä. Verkottumattomat laitevalmistajat ovat kärsijöitä, sillä asianmukainen sovellusintegraatio inverttereiden ja automaatiojärjestelmien välillä vaatii BACnet-protokollan tapauksessa valmistajien välistä yhteistyötä, joka toistaiseksi on nähty valmistajien keskuudessa mahdollisuutena. Itse BACnet-standardi ei millään tavalla kykene jarruttamaan tuotekehitystä, mikä nopeuttaa laitteiden saattamista markkinoille valmiimpina tuotteina.

KNX-protokollan tapauksessa sovellusintegraation voidaan johtaa olevan vähemmän merkittävä. Esille tulleiden seikkojen valossa on selvää, ettei keskisuuren ja suuren kiinteistön tapauksessa KNX-järjestelmällä toistaiseksi kyetä tekemään kaiken kattavaa sovellusintegraatiota. Keskisuurissa ja suurissa kiinteistöissä on BACnet-protokollan läsnäolo ennakoitavissa ja Ethernet-siirtotietä käyttävä laiteintegraatio on tehtävissä suoraan BACnet-rajapinnan kautta ylempiin järjestelmiin. Tiedon kierrättäminen KNX-järjestelmän kautta lisäisi merkittävästi kommunikointiliikennettä KNX-järjestelmässä ja

vaatisi joka tapauksessa asianmukaisen, standardinmukaisen protokollamuunnoksen BACnet-protokollaan.

4.2.2 Älykkäät sähköverkot ja sähkönjakeluautomaatio

Varsinaisen tutkimusongelman rinnalla kulkenut aihe älykkäiden sähköverkkojen tuomista lisävaatimuksista aurinkosähköinverttereiden integraatioon voidaan johtaa suoraan sovellusintegraatiolliseen ongelmaan. Kehittyvästä standardoinnista johtuen turvallinen tie sovellustoiminnallisuuden määrittelyksi on varmistua mahdollisuuksista ohjata invertterin päto- ja loistehoa sekä luonnollisesti mahdollistaa lupaohjaus verkkoon kytkeytymiseen. Tällä hetkellä invertteriä tulisi ohjata sähköverkkoautomaation kautta, mikä ei tuo välittömiä vaateita rakennusautomaation integraatorajapintoihin. Toisaalta automaatiotoimijat lähtevät mahdollisesti kehittämään invertterin ohjaustoiminnallisuutta rakennusautomaation kautta. Tämä olisi eduksi tapauksissa, joissa sähkönjakeluautomaatio ei ole ajanmukaisinta teknologiaa. Tutkimustoiminnan läsnäoloa ei voida välttää, sillä monet toimijat etsivät aktiivisesti ei vain liiketoiminnallisia mahdollisuuksia, mutta myös energiansäästöpotentiaalia loppuasiakkailleen.

4.2.3 Etävalvonta- ja raportointijärjestelmät

Etävalvontajärjestelmien läsnäolo on aurinkosähköjärjestelmien tapauksessa hyvin tavallista. Etävalvontajärjestelmän avulla valvotaan ja ohjataan invertteriä vailla integraatiota muihin automaatiojärjestelmiin. Tyypillisiä etävalvontajärjestelmän lisäfunktioita ovat säätötilan mittaus ja analysointi sekä hyötysuhdelaskennat.

Etävalvontajärjestelmän ja rakennusautomaatiojärjestelmän yhdenaikaista läsnäolotarvetta on vaikea perustella, sillä älykkään automaatiojärjestelmän tulisi kyetä vastaavaan toiminnallisuuteen ja raportointiin samanaikaisesti. Jos aurinkosähköjärjestelmän ja rakennusautomaation välillä ei ole vuorovaikutusta, on vaikeaa perustella rakennusautomaation integraatiota ja rinnakkaisjärjestelmien olemassaolo on hyvin todennäköistä.

5 Esimerkkitoteutukset

Käytännön osuudessa vertaillaan kahdella eri etävalvontatekniikalla toteutetun aurinkosähköjärjestelmän etävalvontatoteutusta ja arvioidaan niiden soveltuvuutta rakennusautomaation integraatioon. Toteutettuja ratkaisuja verrataan aiemmin luotuihin integrointikonsepteihin. Tarkempaan käsittelyyn otetaan seuraavat etävalvontaan suunnitellut ratkaisumallit:

- web-tekniikalla toteutettu, ensisijaisesti paikalliskäyttöratkaisu
- web-tekniikalla toteutettu Internet-pohjainen tietokantaratkaisu.

Edelliset järjestelmät ja teknologiat on valittu siten, että vertailua voitaisiin tehdä niin pienkiinteistöratkaisun vaatimuksiin kuin suurkiinteistön automaatiojärjestelmävaatimuksiin.

Kolmanneksi esimerkkitoteutukseksi otetaan aiemmin esitelty BACnet-integraatio, jota arvioidaan todenmukaisessa, mutta kuvitteellisessa laite- ja sovellusympäristössä.

5.1 Tutkimuksen tavoitteet

Käytännön tutkimuksen tavoitteena on pureutua aiemmin esitettyihin tutkimusongelmiin eli siihen, miten aiemmin esitellyt rakennusautomaation integraatiotekniikat soveltuvat aurinkosähköinvertterin ja automaatiojärjestelmän yhteistoimintaan, sekä pohtia käytännön esimerkkien tasolla asiakaslähtöistä sovellusintegraatiota.

Teoriaosuudesta johdettavissa oleva epäily pienkiinteistön automaatio-sovellusten ja aurinkosähköinvertterin integraation tarpeettomuudesta mahdollistaa käytännön osuudessa kuvitelman kyseenalaistamisen sekä näkökulman vaihtamisen asiakaslähtöiseen käyttöliittymäratkaisuun. Kelvollisuutta osajärjestelmänä verrataan aiemmin esiteltyyn etäluettavan sähkömittarin paikallisnäyttöön. Tavoitteena on perustella aiemmin esitetty väite KNX-protokollan tarpeettomuudesta aurinkosähköinvertterin integraatiotyökäytännössä pienkiinteistöissä sekä etsiä keinoja aurinkosähköjärjestelmän tarjoamien tietojen havainnollistamiseen edellisessä kontekstissa.

Keskisuuriin ja suuriin kiinteistöihin soveltuvia järjestelmiä on lukuisia ja aurinkosähköjärjestelmien etävalvontakonseptin yleisyyden vuoksi tutkimuksen vertailukohteena käytetään keskitettyä Internet-pohjaista tietokantajärjestelmää, joka ei suoraan tarjoa rakennusautomaation integraatiota. Tietokantaratkaisu on otettu tutkimuskohteeksi, jotta asiakaslähtöisyyttä voidaan tutkia laajemmalla tasolla sekä hakea ulottuvuutta kiinteistön oman automaatiojärjestelmän ulkopuolelta. Tutkimusvalinnan taustalla kummittelee rakennusautomaatiojärjestelmien kehityksen nykytilanne, mikä tällä hetkellä ei tue suoraa aurinkosähköinvertterin laite- ja sovellusintegraatiota.

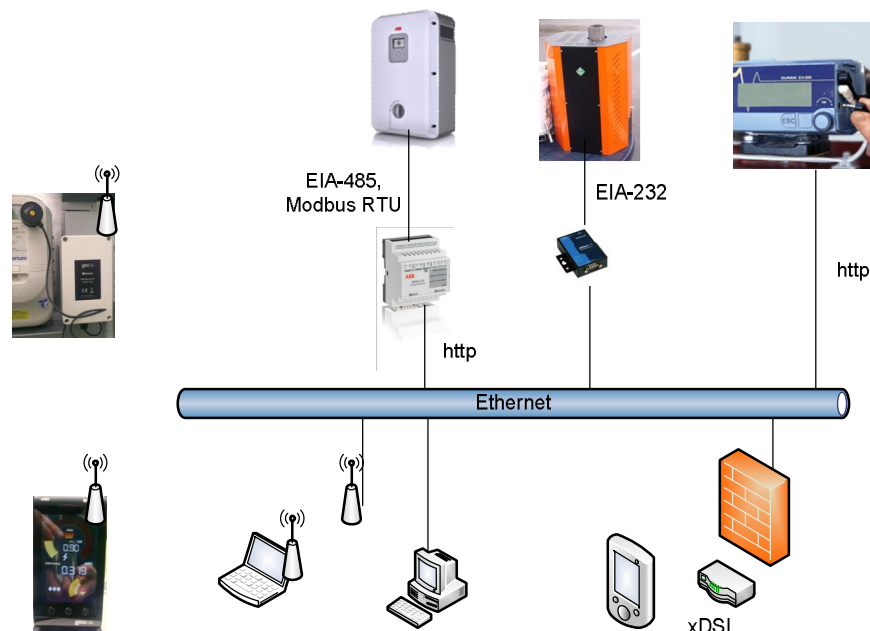
BACnet-integraatoratkaisulla saavutetaan teknisen dokumentaation mukaan täydellinen integroitavuus ja tämä lähtökohtaisesti kyseenalaistetaan käytännön tutkimuksissa. Todellisen järjestelmän puuttuessa lähdetään ratkaisun yksityiskohtaisempaa toteutumallia tavoittelemaan konseptoinnin keinoin.

Esimerkkitoteutukset eivät täysin ole todellisia, sillä integraatioteknologian puuttumisen vuoksi esimerkiksi rakennusautomaation integraatioon ei ole helppoa tuoteratkaisua. Aurinkosähköinvertterit ja niiden välittämä data on poimittu ABB:n Helsingissä sijaitsevasta aurinkosähköjärjestelmästä.

5.1.1 Paikallisvalvontajärjestelmä pienikiinteistökäyttöön

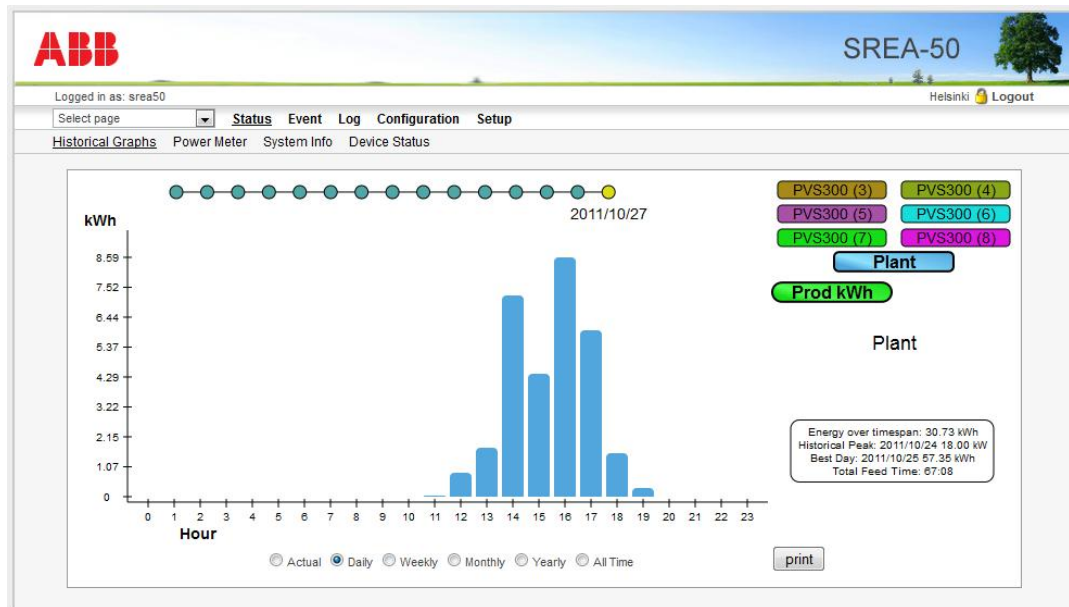
Pienikiinteistön automaatio pohjautuu hajautettuihin, itsenäisesti toimiviin sovelluksiin. Esimerkkinä käytetään vesikiertoisella lämmityksellä varustettua pientaloa, johon kuvitteellisin menetelmin sijoitetaan aurinkosähköjärjestelmä. Lämmöntuotosta huolehtiva pellettipoltin säätyy oman, lämminvesivaraajaan sijoitetun anturin ohjaamana. Ulkoisia ohjaus- tai säätömahdollisuuksia ei ole, mutta PC:llä sarjaportin tai Ethernetmuuntimen kautta voi valvoa ja säätää polttimen oloarvo- ja asetusparametreja. Lämmönjakelusta huolehtii Ouman EH-800 -lämmönsäädin, joka ohjaa lattialämmitysputkistossa kiertävän veden lämpötilaa ulkolämpötilan funktiona. Säätöparametrit ovat muutettavissa säätimen paikallisen käyttöliittymänäytön kautta. Etäyhteyttä varten oleva Ethernet-liitäntä tukee http-protokollaa ja sisäänrakennettu web-serveri kykenee ajamaan yksinkertaisia web-sivuja, joiden kautta asetusarvojen muuttaminen on rajoituksen mahdollista. Lisäksi konseptiin otetaan todellisena laitteena Fortun-kotinäyttö, joka on asennettu etäluettavaan sähkömittariin.

Kaikkia edellisiä järjestelmiä yhdistää integraatiotoiminnallisuuden puuttuminen. Fortum-kotinäyttö on laitteista heikoimmin käytettävissä, sillä se ei sisällä lainkaan verkotettavia käyttäjärajapintoja. Muuta automaatiota ei perinteisin tekniikoin toteutetuissa pientaloissa yleensä ole.



Kuva 22. Pientalon automaatio.

ABB:n PVS300-aurinkosähköinvertteriin on saatavilla SREA-50-etävalvonta-adapteri, jonka toiminnallisuuksiin kuuluu invertterissä tarjolla olevan tuotantotiedon visualisointi. Käyttöliittymä on toteutettu web-server-tekniikalla, ja yksi SREA-50-tiedonkeruulaite voi yhdistää tietoja myös useammasta aurinkosähköinvertteristä tai Modbus-liitännäisestä kentälaitteesta. SREA-50-tuotteen voi kytkeä kiinteistön Ethernet-verkkoon tai modeemin avulla mobiiliverkkoihin. Käyttöliittymä on graafinen ja räätälöity aurinkosähköinvertterin tarjoaman tiedon havainnollistamiseen.



Kuva 23. Tuoton visualisointi.

Pientaloratkaisun johtopäätökset ovat seuraavat:

- Rakennuksen automaatio koostuu itsenäisistä sovelluksista, joiden välillä ei prosessinäkökulmasta ole sovellusintegraation tarvetta.
- Laiteintegraatio pienkiinteistöjen automaation tapauksessa on toteutettu Ethernet-tekniikalla.
- Loppukäyttäjä on järjestelmän pääkäyttäjä, jolle tarjotaan selväkielisiä ja graafisia käyttöliittymänäkymiä.

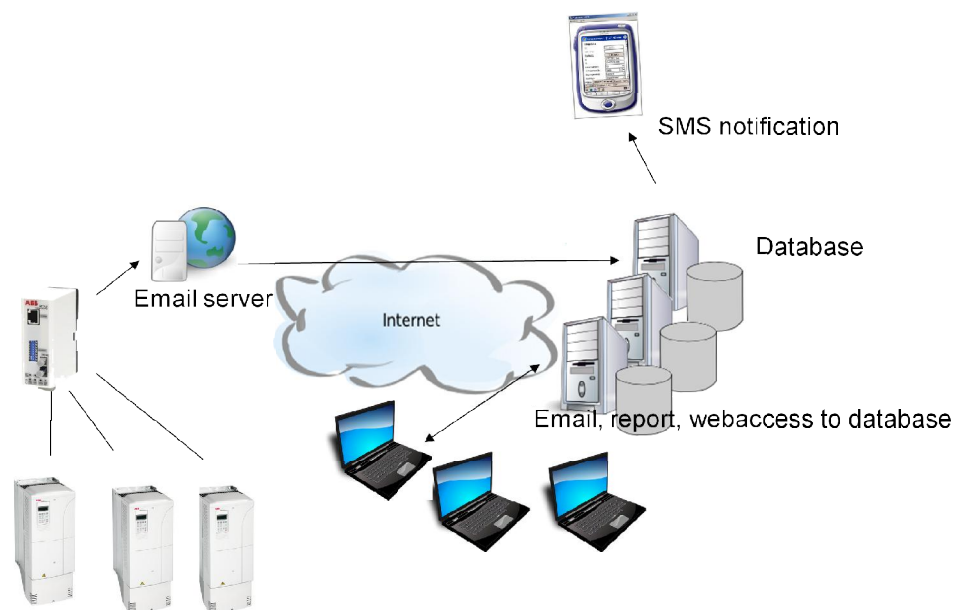
Paikalliskäyttöön tarkoitetun SREA-50-monitorointiadapterin käyttö periaatetasolla mahdollistaisi sovellusintegraation koti- ja rakennusautomaatiojärjestelmiin. SREA-50-tuotteen Ethernet-laiterajapinnassa on protokollatuki Modbus TCP:lle, joka rakennusautomaatiossa on kovin harvinainen, standardoimaton, mutta laajalti käytetty. Jonkin aiemmin mainitun, standardoidun rakennusautomaation protokollan tukeminen SREA-50-tuotteen Ethernet-rajapinnassa mahdollistaisi loistavan integraation koti- ja rakennusautomaatiojärjestelmiin.

5.1.2 Tietokantaratkaisu

Tietoliikennetekniikkaa hyväksi käyttäen toteutettu aurinkosähköinverttereiden etävalvontajärjestelmä on rakennusautomaatiojärjestelmästä riippumaton yhdensuuntaiseen

tiedonsiirtoon nojaava ratkaisu. Toisin kuin edellisessä paikalliskäyttöön tarkoitettu ratkaisussa Internet-tietokanta pitää sisällään kaiken inverttereistä kerätyn tiedon.

Aurinkosähköinvertteriin tietokantaratkaisussa tulee asentaa tietoa keräävä ja välittävä komponentti, esimerkiksi edellä esitetty ABB SREA-50-etävalvonta-adapteri. Yhden-suuntainen sähköposti Internet-tietokantaan mahdollistaa tiedon välittämisen myös suljetuista järjestelmistä. Käyttöliittymä on julkinen web-sivusto, joka on optimoitu myös mobiililaitteille. Tietokantaratkaisuun on helposti lisättävissä hälytystoiminnallisuutta, jota edustaa ABB:n ratkaisussa toteutettu tekstiviestipohjainen ratkaisu.



Kuva 24. Tietokantaratkaisu etävalvontaan.

Tietokantaratkaisu ei ennakoarvelujen mukaan tarjoa suoraa integraatiota rakennusautomaatiojärjestelmään. Tosin Human-to-Machine (H2M) -integraatio saadaan web-tekniikan keinoin mutkattomasti ratkaistua.

Johtopäätökset:

- Web-tietokantatekniikka soveltuu tiedon visualisointiin, mutta vaatii jatkuvan Internet-yhteyden tiedon lähetykseen aurinkosähköinvertteriltä keskitettyyn tietokantaan. Tiedon käyttäminen vaatii myös Internet-yhteyden.
- Keskitetty tietokanta mahdollistaa Internet-pohjaisia lisäpalveluja, mutta rakennusautomaation integraatiota ei ole.

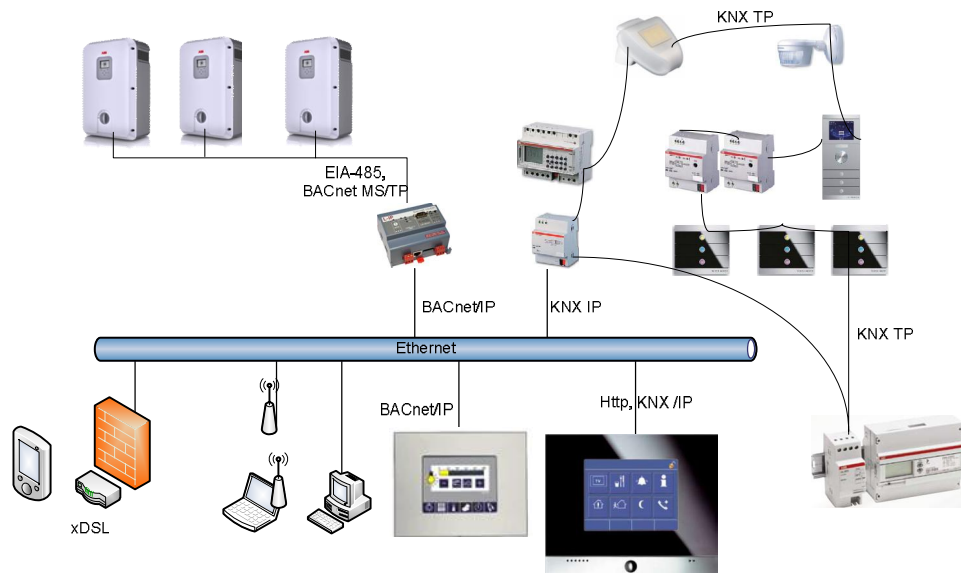
- Integraatiomahdollisuudet laajat ja leveät, jos rakennusautomaatioon mahdollistuu web-teknologisin keinoin tietokantaintegraatio.
- Diagnostisten ja analyysitoimintojen lisääminen on helppoa lähdetiedon ollessa pysyväistallennettu tietokantaan.

Koekäytetty tietokantapohjainen etävalvontapalvelu ei tarjoa ohjaustoiminnallisuutta, ja palvelu on räätälöity ABB:n aurinkosähköinverttereille. Ratkaisun etuna on melko rajaton laajentaminen, mutta haittapuolena vaikea skaalattavuus paikallisjärjestelmäksi.

5.1.3 BACnet-integraatiokonsepti

Vertikaalisessa BACnet-laiteintegraatiokonseptissa lähdetään oletuksesta, että aurinkosähköinvertterin tulee vähintään välillisesti olla Ethernet-tiedonsiirtomedian kanssa yhteensopiva. Laajempien järjestelmien horisontaalinen integraatio on toteutettu BACnet MS/TP -aliverkolla, joka on reititetty BACnet-reitittimellä BACnet/IP-muotoon. Laiteintegraatoratkaisu perustuu siis täysin jo tarjolla olevaan tekniikkaan sekä ABB:n PVS300-aurinkosähköinvertterin vakiona olevaan EIA-485-siirtotierajapintaan.

Konseptiin on kerrosautomaatioesimerkin vuoksi otettu myös KNX-osajärjestelmä, joka käyttää samaa Ethernet-siirtotietä kuin BACnet.



Kuva 25. BACnet-integraatiokonsepti.

Sovellusintegraation kannalta ongelmallista on aurinkosähköinvertterin tarjoaman datan asiakkaan puuttuminen. Konseptia on laajennettu KNX- ja BACnet-protokollien osalta näyttöpäätteillä siten, että kummallekin järjestelmälle on oma käyttöliittymä. Ratkaisu ei ole asiakaslähtöinen, sillä käyttöliittymään ei perinteisen laiteintegraation keinoin kyetä järjestämään sovellusintegraatio. Toisin sanoen horisontaalisen ja vertikaalisen automaation tulisi asiakaslähtöisessä järjestelmässä integroida samaan käyttöliittymään.

Konseptin laiteintegraatiokuvassa 25 korostuvat aiemmin teoriatasolla pohdittu sovellusintegraation monet mahdollisuudet, kun laiteintegraatio tehdään tunnetuilla ja avoimilla siirtoteilla. Älykäs sähköverkkoautomaatio voidaan integroida olemassa olevaan rakennusautomaatiojärjestelmään käyttäen ajanmukaisia tietoverkkoyhteyksiä, joskin tietokoneiden läsnäolo sähköverkkoautomaation ja aurinkosähköinvertterin sovellusintegraatiossa on ennakoitavissa.

Johtopäätökset:

- Avoimeen integraatiotekniikkaan pohjautuva järjestelmä tarjoaa mahdollisuuden yhdistää horisontaalinen ja vertikaalinen verkkohierarkia laajentumismahdollisuuksien kärsimättä.
- Sovellusintegraation onnistuminen vaatii asianmukaisen sovellusympäristön; laiteintegraation ratkaisut eivät automaattisesti tarkoita sovellusintegraatiomahdollisuuksia.
- Rakennusautomaation tulee huomioida älykkäiden sähköverkkojen tuomat sovellusintegraatiomahdollisuudet.

Rakennusautomaation integraatiokonsepti toi selkeästi aliverkkosegmentoidun verkko-topologian edut ja mahdollisuudet. Järjestelmällinen verkotus mahdollistaa vikasietoisemman automaation ja selkeän topologisen hierarkian. Lukuisat aliverkot ovat helpommin ylläpidettävissä irrallisina osana suurempaa järjestelmää, mikä mahdollistaa myös huoltoystävällisen järjestelmän.

5.2 Tulokset

Esimerkkiratkaisujen toteutus ei varsinaisesti kyennyt vastaamaan rakennusautomaation integraatoratkaisujen tutkimusongelmiin. Sen sijaan pienkiinteistöihin asennettujen aurinkosähköinverttereiden valvomiseen käytettävissä ollut SREA-50-etävalvontatuoteratkaisu soveltuu mainiosti. ABB:n tuotteet eivät tällä hetkellä mahdollista invertterin ohjaustoiminnallisuuksia, joten tästä voidaan päätellä ohjaustoiminnallisuusvaatimusten olevan tulevaisuutta kuin nykypäivää.

Käytännön osuuden suurin pettymys oli BACnet-tuoteratkaisun puuttuminen, joka työn teorialtutkimuksen mukaan olisi potentiaalisin rakennusautomaation integraatiotuote. Asiakaslähtöistä käyttöliittymää toki edustaa keskitettyyn tietokantateknologiaan perustuva Remote Monitoring Portal -etävalvontaratkaisu, joka on rakennettu täysin aurinkosähköinverttereiden etävalvontaan. Rakennusautomaation integraatiomahdollisuutta ratkaisussa ei tällä hetkellä todellisenä ole, mikä poistaa kaikki mahdollisuudet käyttäjien seurata ja arvioida rakennustensa energiatehokkuutta. Etävalvontaratkaisu ei tarjoa ohjaustoiminnallisuuksia, joten ne tulisi järjestää jokin rinnakkaisjärjestelmän kautta.

5.3 Päätelmät

Koska BACnet-protokollaa tukevaa esimerkkilaitteistoa ei kyetty käytännön osuudessa rakentamaan, on oletettavissa BACnet teknologian olevan vielä tuntematon aurinkosähköinverttereiden valmistajille. Tosin LonWorks- ja KNX-protokollien tapauksessa lopputulos oli täsmälleen sama eikä esimerkkilaitteistoksi löytynyt sopivia laitteistoja. Käytännön osuuden takkuisuus tukee täysin aiemmissä käsittelykappaleissa esille tultua älykkäiden sähköverkkojen, kehittyvien rakennusautomaatiojärjestelmien ja puuttuvan integraatoratkaisun ongelmaa. Teknologia on voimakkaassa tutkimusvaiheessa, ja tuotetuloksia saadaan vielä odottaa.

6 Yhteenveto

Tehdyn kirjallisuus- ja markkinatutkimuksen mukaan aurinkosähköjärjestelmien ja rakennusautomaation integraatiota ei varsinaisesti ole olemassa. Tätä toteamusta tukee aurinkosähköinverttereiden integraatiotekniikka, joka on räätälöity yksin etävalvontajärjestelmiin. Aurinkosähköinverttereiden ohjaustoiminnallisuudet eivät ole vielä yleistyneet ja tekniikka nojaa staattisiin grid-koodeihin. BACnet-, KNX- tai LonWorks-protokollaa tukevia inverttereitä ei markkinoilla vielä volyymituotteina ole ja integraatoratkaisut rakennusautomaation ovat yleisön saavuttamattomissa. Integraatio mahdollistuu ulkoisten komponenttien avulla, mutta ratkaisulla ei kyetä välttämään integraatio-ongelman juurisyitä: aurinkosähköinverttereiden suunnittelussa ei ole huomioitu rakennusautomaation integraatiovaatimuksia.

Etävalvontajärjestelmien olemassaolo ja tarjolla oleva monipuolinen laitetarjonta kertoo selkeästi aurinkosähköjärjestelmien tavoittaneen kohteet, joissa etävalvontajärjestelmän läsnäolo on välttämätöntä. Nämä kohteet eivät ole kiinteistöjä, joihin olisi rakennettu nykyaikainen rakennusautomaatiojärjestelmä tai kiinteistöjä, jotka pyrkivät energiaomavaraisuuteen ja hiilidioksidineutraaliuteen.

6.1 Lopputulos

Johdannossa esitettyihin tutkimusongelmiin on tehtyn tutkimuksen mukaan erittäin vaikea vastata siitäkin syystä, että sovellusteknologia kehittyy nopeammin kuin kenties koskaan aiemmin automaation olemassaolon aikana. Tutkittujen avointen protokollien sopivuudesta voidaan kuitenkin rakentaa visionäärinen näkemys ja arvio sopivuudesta tulevaisuuden integraatiotyökaluiksi.

LonWorks ja sen johdannaiset soveltuvat tapauskohtaisesti aurinkosähköinverttereiden järjestelmäintegraatioon. Protokollasidonnaiset siirtotiet eivät ehkä ole kustannustehokkaimpia ja monikäyttöisimpiä, mutta ne ovat teknisesti soveltuvia. LonWorks-perheen integraatioprotokollat selkeästi erottuvat sovellustavoitteellisuudellaan tutkittuudesta joukosta, mikä saattaa kääntyä kehittyvän rakennusautomaation aikakaudella hidasteeksi. Pahimmillaan puuttuva laiterajapintastandardi voi ohjata toimijoita valitsemaan dynamisempaa teknologiaa. Laiterajapintastandardisointityössä on tällä het-

kellä liikaa muuttuvia tekijöitä, jotta määritelmät ja spesifikaatiot voisivat olla ajan tasalla ja standardisointityö tuottaa onnistuneita standardeja ja määrittelyksiä.

KNX protokollana soveltuu kotiautomaation tarpeisiin ja Ethernet-yhteensopivana on houkutteleva työkalu kotiautomaation integraatioon. Tällä hetkellä sovellusintegraatiomahdollisuudet ovat rajalliset lähinnä kehittyvän laitetarjonnan vuoksi. Liikerakentamiseen laitetarjonta eri sovelluksiin on varsin laaja, mutta koostuu silti irrallisista toimilaitteista. Valmiiksi rakennetut ratkaisukokonaisuudet ovat harvinaisia. Kerrosautomaation ratkaisuna KNX lienee ylivoimainen muihin teknologioihin verrattaessa. KNX-protokolla tarjoaa älykkään kotiautomaatiojärjestelmän kaikki ominaisuudet, ja laiteintegraatio on laajenemassa kotiautomaation sovellusintegraatioon. KNX-laitetarjonta odottaa riittävän älykkäitä energianhallintafunktioita, jotka kykenisivät käyttäjän sijasta ohjaamaan kiinteistön toimintoja älykkäämmin käyttäen takaisinkytkentäsuureina esimerkiksi vallitsevaa ulko- ja sisäolosuhdetta, energian hintaa ja saatavuustietoja.

BACnet-integraatiotyökaluna tarjoaa kenties suurimman potentiaalin aurinkosähköinverttereiden integraatiolle. Toteamus perustuu protokollaan tarkoitukseen rajoittua vain kommunikointiteknologiaan ja siten sallia laitevalmistajille vapaat mahdollisuuden standardin rajoissa rakentaa sovellusintegraatio ja -toiminnot laiteintegraation päälle. Tästä syystä BACnet-protokollan avulla kyetään nopeimmin reagoimaan kehittyvien sähköverkkojen tuomiin vaatimuksiin ja tarttumaan vielä tiedostamattomiin mahdollisuuksiin. Koska aurinkosähköinverttereitä ei tällä hetkellä ole tarjolla BACnet-laiteintegraatorajapinnalla, on oletettavaa rakennusautomaatiojärjestelmien olevan laiteintegraatitasolla ja siten tulevaisuuden integraatiohaaste kohdistuu sovellusintegraatioon. Rakennusautomaation ja aurinkosähköinvertterin valvontatoiminnallisuudet ja kunnonseurantafunktiot on markkinoiden toimesta jo määritelty etävalvontajärjestelmiin, joten toiminnallisuuspuutteet kohdistuvat rakennusautomaation sovellusten ja aurinkosähköinverttereiden yhteistoimintaan.

6.2 Jatkoimet

Työssä käytetyt tutkimusmenetelmät osoittautuivat onnistuneiksi valinnoiksi. Nopeasti teknistyvä toimiala ja alati uudistuvat ja kehittyvät standardit asettavat haasteita toimijoille. Kehitystyössä pysyminen vaatii panostuksia standardisointityöryhmien ja markki-

nointikomiteoiden kautta tapahtuvaan vaikuttamiseen sekä verkottumista alan toimijoiden kanssa. Avoimia protokollia yhdistää valtava vapaaehtoisten teknisten osaajien verkko, joka rakentaa uusia toiminnallisuuksia ja määritelmiä standardeihin. Kaupallisten toimijoiden läsnäolo markkinointiryhmissä kielii intohimosta kehittää avoimen teknologian ja yhteistyön kautta asiakaslähtöisiä, innovatiivisia ratkaisuja tulevaisuuden tarpeisiin.

Asiakkaiden ja loppukäyttäjien on tällä hetkellä täysin mahdotonta tiedostaa tulevaisuuden järjestelmien vaatimuksia tai ennakoida tarjolla olevia mahdollisuuksia. Tämä siksi, että järjestelmät perustuvat avoimiin kommunikaatioprotokolliin, joita toimijat päätyönään kehittävät. Palapeli monimutkaistuu, kun kerrosautomaation, rakennusautomaation ja älykkäiden sähköverkkojen kommunikointiteknologiat kohtaavat. Loppuasiakkaat näkevät kehitystyön tulokset vasta muutamien vuosien kuluessa. Sovellusvaatimukset jalostuvat vasta standardisointityön mahdollistettua asianmukainen laiteintegraatio.

Innovatiivisille pilottijärjestelmille löytyy varmasti asiakkaita. Tosin älykkäiden rakennusten tuomat mahdollisuudet tuovat lukuisia standardoimattomia teknologioita, missä piilee sudenkuoppia. Teknologiat voivat olla kyvyttömiä tarjoamaan ratkaisun tulevaisuuden rakennusautomaation sovellusintegraatioon. Standardoimattoman teknologian ja tuotesukupolven ikä on painumassa alle kymmenen vuoden, mikä johtaa täydellisen automaation uusimistarpeeseen laitteiston ikääntyessä. Tällä hetkellä älykkäinä markkinoidut rakennukset ja hankkeet näyttävät todelliset ominaisuutensa vasta vuosien päästä, kun älykkäät sähköverkot muuttuvat standardeista todellisiksi järjestelmiksi.

Lähteet

1. Haasteita ja mahdollisuuksia - sähkön ja kaukolämmön hiilineutraali visio vuodelle 2050. 2010. Helsinki: Energiateollisuus ry.
2. Vuoden 2010 ilmastoteko, kunniamaininta Kalasatama. Vuoden 2010 ilmastoteko. Helsinki: Energiateollisuus ry. Viitattu: 14.2.2011.
http://www.vuodenilmastoteko.fi/hakemukset/kunniam_kalasadama.html.
3. Energiavuosi 2010. Helsinki: Energiateollisuus ry.
4. Smart Grid. Wikipedia. Viitattu: 18.2.2011. http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid.
5. Fortumin näkemys älykkäistä verkoista. 2011. Espoo: Fortum Oyj. Viitattu: 3.10.2011. <http://www.fortum.com/fi/media/kannanotot-ja-vastineet/kannanotot/fortuminnakemysalykkaistaverkoista/Pages/default.aspx>.
6. Smart 2020: Enabling the low carbon economy in the information age. A report by the Climate Group on behalf of the Global eSustainability Initiative (GeSi). 2008. GeSi. Viitattu: 11.10.2011.
<http://www.gesi.org/LinkClick.aspx?fileticket=7X8GQ7HNR%2bg%3d&tabid=130>.
7. Sarvaranta, Anni. 2010. Älykkäät sähköverkot. Tutkimustyö. Aalto yliopisto. Viitattu: 12.10. 2011.
http://www.energia.fi/sites/default/files/alykkaat_sahkoverkot_2010_diplomityo_anni_sarvaranta.pdf.
8. Tuulienergia, aurinkoenergia ja mikrotuotanto, Fortumin Urakoitsijapäivät 2011. 2011. Espoo: Fortum Oyj.
9. Kronman, Dirk. When Grids Get Smart. 2009. Tekes. Viitattu: 25.2.2011.
http://www.tekes.fi/fi/gateway/PTARGS_0_201_368_861_1845_43/http%3B/tekes-ali%3B7087/publishedcontent/publish/fi_content/campaigns/vihreaict/seminaarien_esitysmateriaaaja/dickkronmanabb160909.pdf.
10. Sähkömarkkinalaki 17.3.1995/386. Finlex. Viitattu: 25.2.2011.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1995/19950386>.
11. Koivuranta, Kari. 2011. Smart Grids - Älykäs Sähköverkko. SESKOn kevätseminaari 2011 - Smart Grid - älykäs sähköistys. Espoo: Fortum.
12. Dunlop, James P. 2010. Photovoltaic Systems. Orland Park, IL: American Technical Publishers, Inc.

13. SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus -standardi.
14. Avoimet rakennusautomaatiojärjestelmät. 1998. Espoo : Sähkötieto ry.
15. Energiaperhe. 2011. Vattenfall. Viitattu: 2.10.2011. <http://www.energiaperhe.fi/>.
16. BACnet Fundamentals 101. AHR2011 BACnet seminars. 2011. Atlanta: BACnet International.
17. Bus-based installation technology in residential and commercial buildings. 2010. South Westphalia University of Applied Sciences. Viitattu: 21.9.2011. http://www.knx.org/fileadmin/downloads/07%20-%20News%20&%20Press/02%20-%20News%20%28pics%29/Market_Survey_2010_EN_GE_Extract.pdf.
18. Merz, Hermann;Hansemann, Thomas ja Hübner, Christof. 2007. Gebäudeautomation, Kommunikationssysteme mit EIB/KNX, LON und BACnet. München: Carl Hanser Verlag.
19. The world`s only open Standard for home and building control. 2007. KNX Association.
20. Lappalainen, Veijo. 2008. Rakennusautomaatiojärjestelmien standardoinnin tämänhetkinen tilanne. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry. Viitattu: 26.10.2011. http://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/BACnetForum08_VTT_Lappalainen.pdf.
21. Lappalainen Veijo. 2004. Rakennusautomaation standardisointitilanne tänään. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry. Viitattu: 26.10.2011. http://www.automaatioseura.fi/index/tiedostot/stdtilanne_VL.pdf.
22. Swan, Bill. 2010. BACnet Goes Global. BACnet today. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
23. SSPC Working Groups. 2011. BACnet.org. Viitattu: 31.10.2011. <http://www.bacnet.org/WG/index.html>.
24. Task Groups. 2011. LonMark International. Viitattu: 31.10.2011. http://www.lonmark.org/membership/task_groups/.
25. KNX Technical Board. 2011. KNX Association. Viitattu: 31.10.2011. <http://www.knx.org/knx-association/technical-board/>.
26. KNX Introduction. 2011. KNX Association. Viitattu: 31.10.2011. <http://www.knx.org/knx-standard/introduction/>.
27. Kananen, Juha. 2010. BACnet-protokollan käyttö rakennusautomaatiossa. Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu.
28. Heikkilä, Teemu T. 2008. Avoimen rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelu. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry, BACnet toimikunta.

29. Hurme, Janne. 2010. KNX Järjestelmä. Viitattu: 31.10.2011.
https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16175/Janne_Hurme.pdf?sequence=1.
30. Hennesen, Monika. 2011. New Requirements on Monitoring, Control and Supervision of Utility-Scale PV Systems. Berlin: Skytron energy GmbH.
31. Hieta-Wilkman, Sinikka. 2011. SESKOn kevätseminaari 2011 - Smart Grid - älykäs sähköistys. Helsinki: SESKO.
32. Ranta, Aki. 2011. Fortumin älykkäät sähkömittarit (AMM). Fortumin urakoitsijapäivät 2011. Espoo: Fortum Oyj.
33. Stetz, Thomas. 2011. Integration of PV Plants in Distribution Grids. Fraunhofer IWES.
34. Leppänen, Jyrki. 2008. Aurinkosähköä rakennuksissa. www.ymparisto.fi valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. 2008. Viitattu: 22.9.2011.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=95501>.
35. Lapp, Tuomas. 2009. Aurinkovoimalan käyttö lisäenergian lähteenä Kiilto Oy:ssä. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
36. ASHRAE Handbook, HVAC Systems and Equipment. 2008. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
37. Kranz, Hans R. 2006. BACnet Gebäude-Automation 1.4. Karlsruhe: Promotor Verlags- und Förderungsges. mbH.
38. Tiersch, Friedbert ja Kuhles, Christian. 2010. BACnet and BACnet/IP, A clear description. Erfurt: Desotron Verlagsgesellschaft Dr Günter Hartman & Partner GbR.
39. Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät, ST-käsikirja 21. 2006. Espoo: Sähkötieto ry.
40. Kiinteistöjen valvomojärjestelmät, ST-käsikirja 22. 2008. Espoo: Sähkötieto ry.
41. Building Automation, System Integration with Open Protocols. 2009. Orland Park, IL: American Technical Publishers, Inc.
42. Montgomery, Robert and McDowall, Robert. 2009. Fundamentals of HVAC Control Systems. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
43. Teollisuusautomaation tietoturva, Verkottumisen riskit ja niiden hallinta. 2005. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry, Turvallisuusjaosto.
44. Building automation. Wikipedia. Viitattu: 18.2.2011.
http://en.wikipedia.org/wiki/Building_automation.

45. Home automation. Wikipedia. Viitattu: 18.2.2011.
http://en.wikipedia.org/wiki/Home_automation.
46. Lund, Peter. 2011. "Älykäs" energiantuotanto tulevaisuudessa. SESKOn kevätseminaari 2011 - Smart Grid - älykäs sähköistys. Helsinki: Aalto yliopiston perustieteiden korkeakoulu.
47. Newman, H. Michael. 2010. Broadcasting BACnet. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
48. Sähköverkon saarekeosa toimii myös häiriötilanteessa. 2010. Helsinki: ABB Oy.
49. Piikkilä, Veijo. 2004. LonWorks-tekniikan perusteet. Tampere : Tammertekniikka.

Kuluttajajärjestelmän raporttiesimerkki

Esimerkki ABB:n SREA-50 adapterin käyttäjälle tarjottavasta raportista.

Site Info

Site Name	Helsinki
Site Owner	
Commissioning date	2011-10-24 12:58
Plant installed kWp	0 kWp
Produced kWh	185.63 kWh
Total feed time	139 h
Historical Peak	18.641000 kW
More Information	

Regional

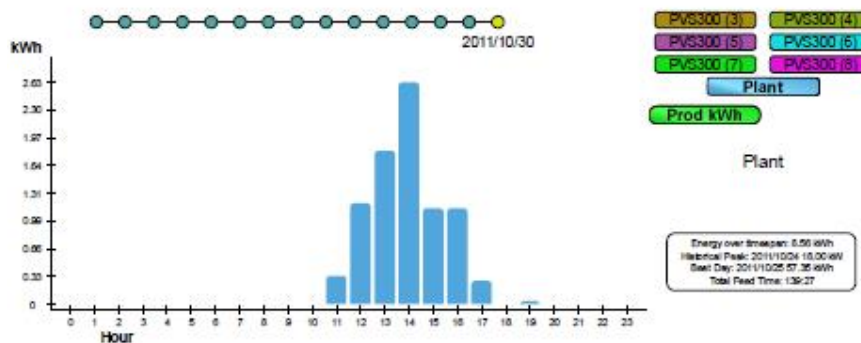
Date	2011-10-30
Time	18:51
Timezone	EET-2EEST

User

Name	srea50
Email	

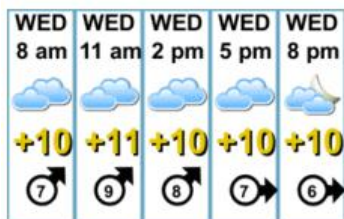
Devices

- "PVS300 (3)" [undefinedW] (3)
- "PVS300 (4)" [undefinedW] (4)
- "PVS300 (5)" [undefinedW] (5)
- "PVS300 (6)" [undefinedW] (6)
- "PVS300 (7)" [undefinedW] (7)
- "PVS300 (8)" [undefinedW] (8)



Keskitetyn tietokannan käyttöliittymä

Esimerkki ABB:n Remote Monitoring Portal -tuotteen tarjoamasta etävalvontanäkymästä



Solar plant status

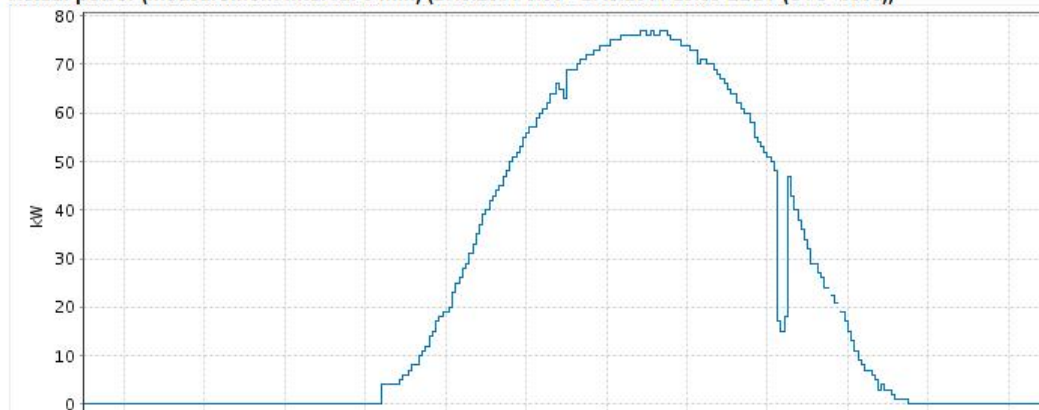
Inverter 1 status:	No incoming data
Photovoltaic state:	-
Inverter 2 status:	OK
Photovoltaic state:	sleep
Latest measurement received:	02.11.2011 16:21 (4 minutes ago)

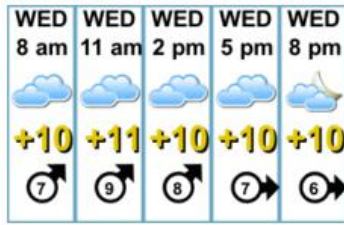
Measured since: 28.4.2009

Measurement	Value
Energy today	
Energy this month	
Energy this year	
Total energy	
CO2 saved	

Actual power | Total energy | Energy counter | Monthly | Weekly | Daily | Hourly | Status

Actual power (measurement interval 5 min) (27.8.2011 0:00 - 27.8.2011 23:59 EEST (UTC+0300))





Solar plant status

Inverter 1 status:	No incoming data
Photovoltaic state:	-
Inverter 2 status:	OK
Photovoltaic state:	sleep
Latest measurement received:	02.11.2011 16:21 (4 minutes ago)

Measured since: 28.4.2009

Measurement	Value
Energy today	
Energy this month	
Energy this year	
Total energy	
CO2 saved	

Actual power | Total energy | Energy counter | Monthly | Weekly | Daily | **Hourly** | Status

Hourly energy (1.11.2011 0:00 - 1.11.2011 23:59 EET (UTC+0200))

