

Janne Valkonen, Teemu Tommila, Lauri Jaakkola,
Björn Wahlström, Pekka Koponen, Seppo
Kärkkäinen, Lauri Kumpulainen, Pekka Saari, Simo
Keskinen, Hannu Saaristo & Matti Lehtonen

Paikallisten energiareSURSSien hallinta hajautetussa energiajärjestelmässä

Paikallisten energioresurssien hallinta hajautetussa energiajärjestelmässä

Janne Valkonen, Teemu Tommila, Lauri Jaakkola &
Björn Wahlström

VTT Tuotteet ja tuotanto

Pekka Koponen, Seppo Kärkkäinen, Lauri Kumpulainen &
Pekka Saari

VTT Prosessit

Simo Keskinen & Hannu Saaristo

Vaasan yliopisto

Matti Lehtonen

Teknillinen korkeakoulu



ISBN 951-38-6532-0 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-6533-9 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2005

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

VTT Tuotteet ja tuotanto, Tekniikantie 12, PL 1301, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 6752

VTT Industriella System, Teknikvägen 12, PB 1301, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 6752

VTT Industrial Systems, Tekniikantie 12, P.O.Box 1301, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 6752

VTT Prosessit, Lämpömiehenkuja 3, PL 1606, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 6538

VTT Processer, Värmemansgränden 3, PB 1606, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 6538

VTT Processes, Lämpömiehenkuja 3, P.O.Box 1606, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 6538

Toimitus Maini Manninen

Otamedia Oy, Espoo 2005

Valkonen, Janne, Tommila, Teemu, Jaakkola, Lauri, Wahlström, Björn, Koponen, Pekka, Kärkkäinen, Seppo, Kumpulainen, Lauri, Saari, Pekka, Keskinen, Simo, Saaristo, Hannu & Lehtonen, Matti. Paikallisten energiaresurssien hallinta hajautetussa energiajärjestelmässä [Control of local energy resources in distributed energy system]. Espoo 2005. VTT Tiedotteita – Research Notes 2284. 87 s. + liitt. 58 s.

Avainsanat energy production, local energy resources, distributed energy systems, distributed production, business models, distributed control, control systems, implementation architecture, software architecture, automation

Tiivistelmä

Yhteiskunta on muuttumassa yhä enemmän luotettavasta energiansaannista riippuvaksi informaatio- ja kommunikaatioteknologioita hyödyntäväksi tietoyhteiskunnaksi. Verkkoon liitettyjen hajautettujen energiaresurssien määrän lisääntyessä niiden koordinoitu hallinta ja automaatio tulevat yhä tärkeämmiksi ja niihin liittyy uusia haasteita ja mahdollisuuksia.

Hajautettu kokonaisuus edellyttää uudenlaisia toimintatapoja sekä integroitua lisäarvoa tuottavien prosessien hallintaa. Hajautetun energiantuotannon alueella voidaan nähdä kolme liiketoiminnallista tasoa: liiketoimintaa ja liiketoimintaverkoston muodostumista tukevat palvelut, alueellisten energiaresurssien hallinta ja hyödyntäminen sekä yksittäisten tuotanto- ja kulutuskohteiden ohjaus. Myös integroitujen palveluiden mahdollisuudet tulevat hajautettujen energiajärjestelmien myötä kasvamaan. Automaatiolla ja informaatiotekniikalla on keskeinen rooli näiden tavoitteiden saavuttamisessa ja energiaketjuun (tuotanto, siirto, jakelu, varastointi ja käyttö) liittyvien hallintavälineiden kehittämisessä.

Tutkimuksen tavoitteena oli kuvata hajautetun energian sovellusaluetta ja luoda katsaus siihen liittyviin asioihin painottuen automaatioon ja resurssien hallintaan sekä niihin liittyviin järjestelmiin ja toteutuskonsepteihin. Tutkimuksessa keskityttiin pienjänniteverkkoon liitettäviin alle 500 kW:n laitteistoihin. Lähtökohtana ja esimerkijärjestelminä käytettiin kehitteillä olevia uusia liiketoimintamalleja sekä nykyisiä ja tulossa olevia toteutustekniikoita. Raportin liitteinä olevilla tyyppitapausten kuvauksilla pyrittiin konkretisoimaan tutkimuksessa kuvattuja osa-alueita.

Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää jatkotutkimusten suunnittelussa sekä hajautetun energiantuotannon hallintaan perehtymisessä.

Valkonen, Janne, Tommila, Teemu, Jaakkola, Lauri, Wahlström, Björn, Koponen, Pekka, Kärkkäinen, Seppo, Kumpulainen, Lauri, Saari, Pekka, Keskinen, Simo, Saaristo, Hannu & Lehtonen, Matti. Paikallisten energiaresurssien hallinta hajautetussa energijärjestelmässä [Control of local energy resources in distributed energy system]. Espoo 2005. VTT Tiedotteita – Research Notes 2284. 87 p. + app. 58 p.

Keywords energy production, local energy resources, distributed energy systems, distributed production, business models, distributed control, control systems, implementation architecture, software architecture, automation

Abstract

The society is utilising more and more information and communication technologies and it is becoming more dependent on reliable energy resources. There will also be more distributed energy resources that are connected to the electrical network. The coordinated management and automation of such resources becomes more important and includes new challenges and possibilities.

Distribution requires new ways of working and management of processes producing integrated added value. In the area of distributed energy there can be seen three commercial levels: services supporting the business and business networks, management and utilisation of local energy resources and control of individual production and consumption units. Information and communication technologies and automation are essential in gaining the aims and in developing the means and tools for controlling this kind of systems (production, transfer, distribution, storage, use).

The aim of the report is to describe the area of distributed energy systems and identify the most important systems and implementation concepts related to them. The focus of the research was on systems less than 500 kW. New and emerging business models and implementation methods were utilised and taken as a starting point. Descriptions of cases of distributed energy systems were used to concretise the areas of the research.

The results can be used as a review on the subject and as a basis for further research.

Alkusanat

Tämä tutkimushanke toteutettiin VTT Tuotteet ja tuotannon, VTT Prosessien, Vaasan yliopiston ja Teknillisen korkeakoulun yhteistyönä. Rahoituksesta vastasivat VTT ja Teknologian kehittämiskeskus (Tekes). Tutkimuksessa on haastateltu joukkoa alan suomalaisia yrityksiä.

Kiitämme kaikkia osallistuneita tahoja ja henkilöitä arvokkaasta panoksesta.

Kirjoittajat

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
Lyhenteet.....	9
1 Johdanto.....	12
1.1 Lähtökohdat.....	12
1.2 Ongelmat ja haasteet.....	13
1.3 Tutkimuksen tavoitteet.....	14
1.4 PAREE-projektin asemointi DENSY-ohjelmassa.....	14
1.5 Tutkimuksen toteutus.....	15
1.6 Julkaisun rakenne.....	17
2 Hajautetut energiajärjestelmät.....	18
2.1 Hajautettujen energiajärjestelmien kehitys.....	18
2.2 Hajautetun energian tuotannon haasteita ja mahdollisuuksia.....	19
2.2.1 Tuotantomuotojen väliset erot.....	19
2.2.2 Tehon ennustettavuus ja ohjattavuus.....	20
2.2.3 Hallintajärjestelmän kustannukset.....	21
2.2.4 Taloudelliset tuet ja kannustimet.....	22
2.2.5 Sähkön jakeluverkon rajoitusten huomioon ottaminen.....	22
2.2.6 Kehityshankkeet.....	23
2.3 Energiakauppa.....	24
2.3.1 Energiaraaka-aineet.....	24
2.3.2 Sähkökauppa.....	25
2.3.3 Muu energiakauppa.....	27
2.3.4 Hajautettujen energiaressurssien käytön optimointi.....	28
3 Hajautetun energiantuotannon liiketoiminta.....	29
3.1 Yleistä.....	29
3.2 Liiketoiminnan kuvaus.....	30
3.3 Pienen tuotantolaitoksen elinkaari prosessit.....	30
3.4 Toimijat ja verkostot.....	33
3.5 Toimijoiden kuvauksia.....	34
3.6 Pienen energiantuotantolaitoksen elinkaari.....	37
3.7 Kannattavuuden arviointi.....	39

4	Toteutusteknologiat.....	41
4.1	Informaatio- ja kommunikaatioteknologiat.....	41
4.1.1	Ohjelmistoarkkitehtuurit.....	41
4.1.2	Järjestelmien integrointi.....	43
4.1.3	Ohjelmistojen hajautus.....	43
4.1.4	Kommunikaatiotekniikat.....	44
4.1.5	Älykkäät laitteet.....	45
4.2	Energia-automaatio.....	46
4.3	Teollisuusautomaatio.....	47
5	Vaatimukset ja toimijat.....	52
5.1	Kaupalliset vaatimukset.....	52
5.2	Tekniset vaatimukset.....	53
5.3	Sähköverkkoliittynän aiheuttamia teknisiä vaatimuksia energiareurssien hallintajärjestelmälle.....	54
5.3.1	Tiedonsiirto suojauslaitteiden sekä katkaisijan/erotuslaitteen osalta.....	56
5.3.2	Tiedonsiirto mittauslaitteiden osalta.....	57
5.3.3	Tiedonsiirto tuotantolaitteiden osalta.....	58
5.3.4	”Plug&Play”-liittynän edellytyksistä.....	59
5.3.5	Tiedonsiirron toiminnalliset vaatimukset.....	59
5.4	Liitäntäpinnat.....	60
6	Toiminnallinen konsepti.....	62
6.1	Taustaa.....	62
6.2	Hallintajärjestelmän peruskomponentit.....	64
6.3	Toiminnalliset kokonaisuudet.....	68
6.3.1	Tiedon, palveluiden ja tapahtumien hajautuspalvelut.....	68
6.3.2	Välitön prosessin ohjaus.....	70
6.3.3	Käyttöliittymät.....	71
6.3.4	Hälytysten ja ilmoitusten käsittely.....	73
6.3.5	Komponenttien tilan ja eliniän hallinta.....	74
6.3.6	Järjestelmän solmujen ja tietoverkon etädiagnostiikka ja kunnonvalvonta.....	74
6.3.7	Sähkökauppa.....	76
6.3.8	Ympäristön valvonta.....	76
7	Toteutusarkkitehtuurit.....	77
7.1	Laitteiston ja ohjelmiston rakenne.....	77
7.2	Toteutustekniikoista.....	80
8	Kehitystarpeet ja -mahdollisuudet.....	82
8.1	Kehitystarpeet.....	82

8.2	Teknisen kehityksen tuomat mahdollisuudet	83
8.3	Hyödyntäminen	84
8.4	Jatkokehityskohteet	84
9	Johtopäätökset.....	85
	Lähdeluettelo	86

Liitteet

Liite A: Biokaasulaitos maatilataloudessa

Liite B: Yrityksen varavoima

Liite C: Pienet vesivoimalaitokset

Liite D: Kiinteistön mikroturbiini

Liite E: Kunnonvalvonta ja kunnossapito

Lyhenteet

ASP	Application Service Provider
BUSMOD	Business Models in a World Characterised by Distributed Generation
CHP	Combined heat and power
CIM	Common Information Model. Tässä yhteydessä erityisesti sähkönjakelun valvomoiden välisen tiedonsiirron sovellusoliot UML-mallinuskielellä määrittelevät IEC 61970:301:2003 ja IEC 61970:302:2004 standardit.
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
COSEM	COmpanion Specification for Energy Metering, (IEC 62056-53:2002, IEC 62056-61:2002, IEC 62056-62:2002)
CRISP	CRITICAL Infrastructures for Sustainable Power
DENSY	Distributed Energy System – Tekesin Hajautettujen energiajärjestelmien teknologiaohjelma
DISPOWER	Distributed Generation with High Penetration of Renewable Energy Sources
DLMS	Device Line Message Specification
EAI	Enterprise Application Integration
EDI	Electronic Data Interchange
EJB	Enterprise JavaBeans
EHJ	Energianhallintajärjestelmä
ENIRDGnet	European Network for the Integration of Renewable Energy Sources (RES) and Distributed Generation (DG), Eurooppalainen projekti
EPRI	Electric Power Research Institute
EU-DEEP	EUropean Distributed EnEnergy Partnership, Eurooppalainen projekti
GOOSE	IEC 61850-GOOSE. Aikakriittiseen tiedonsiirtoon tarkoitettu IEC 61850 standardissa määritelty tiedonsiirtoprotokolla. Se on kehitetty UCA2.0-GOOSE protokollasta, joka esiintyy IEC 61850 standardissa nimellä GSSE (Generic Substation Status Event).

GPRS	General Packet Radio Service
HE	Hajautettu energia
HTTP	Hyper text transfer protocol
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet protocol
ISA	The Instrumentation, Systems, and Automation Society
J2EE	Java 2 Platform Enterprise Edition
LCA	Life cycle analysis
LOM	Loss of Mains
LVI	Lämpö, vesi, ilmastointi
MMS	Manufacturing Message Specification (ISO 9506, versio 2003)
MOM	Message Oriented Middleware
.Net	.Net Microsoft solution for Web services
OBIS	Object Identification System (IEC-62056-61:2002)
OPC	OLE for process control
OLE	Object Linking and Embedding
OSGi	Open System Gateway Initiative
PAREE	Paikallisten energiaressurssien hallinta hajautetussa energiajärjestelmässä
P2P	Peer to peer
SAML	Security Assertion Markup Language
SMS	Short message service
SNMP	Simple Network Management Protocol
SOA	Service-Oriented Architecture

SOAP	Simple Object Access Protocol
SSL	Secure Sockets Layer
SUSTELNET	Policy and Regulatory Roadmaps for the Integration of Distributed Generation and the Development of Sustainable Electricity Networks, Eurooplainen projekti
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
THD	Total Harmonic Distortion
UCA	Utility Communications Architecture
UDDI	Universal Description, Discovery and Integration
UML	Unified Modelling Language
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VPN	Virtual Private Network
WBEM	Web-Based Enterprise Management
WSDL	Web Service Description Language
WSS	Web Services Security
XHTML	Extensible HyperText Markup Language
XML	eXtensible Markup Language
XML-DA	eXtensible Markup Language – Data Access (OPC:n eräs spesifikaatio)
YVA	Ympäristövaikutusten arviointi

1 Johdanto

1.1 Lähtökohdat

Yhteiskunta muuttuu yhä enemmän informaatio- ja kommunikaatioteknologioita hyödyntäväksi tietoyhteiskunnaksi, ja se on tullut yhä riippuvaisemmaksi luotettavasta energian saannista. Verkkoon liitettyjen hajautettujen energiaressurssien määrän lisääntyessä niiden koordinoitu hallinta ja automaatio tulevat yhä tärkeämmiksi ja niihin liittyy uusia haasteita ja mahdollisuuksia. Alueelle muodostuu uutta ja kasvavaa liiketoimintaa. Samalla energian tuotannolle asetetaan poliittisia tavoitteita, jotka myötävaikuttavat hajautetun energiatuotannon laajentumiseen. Kuvaus uudesta sähkötuotannon visiosta voidaan lukea EU:n julkaisusta EUR20901 (European Commission, 2003).

Ympäristökysymykset, energian saatavuus ja energiamarkkinoiden vapautuminen ovat nostaneet esiin tarpeen kehittää uusia energiantuotantomuotoja ja niihin perustuvia liiketoimintamalleja. Samalla informaatioteknologiassa ja automaatiossa tapahtunut kehitys on tarjonnut uusia mahdollisuuksia näiden toteuttamiseen. Nämä mahdollistavat uudella tavalla hajautetut energiajärjestelmät ja paikallisten resurssien optimaalisen hyödyntämisen. Kokonaisuudessa voidaan nähdä kolme tasoa:

- hajautetun energiantuotannon liiketoimintaa ja liiketoimintaverkostojen muodostumista tukevat palvelut
- alueellisten energiaressurssien hallinta ja hyödyntäminen sekä
- yksittäisten tuotanto- ja kulutuskohteiden ohjaus.

Hajautus yhdistettynä uudenaikaisiin välineisiin mahdollistaa myös uudenlaiset liiketoimintamallit, joissa yritykset tarjoavat esim. energialaitosten käynnissäpidon palveluita sekä muita energian tuotantoon, kulutukseen ja varastointiin liittyviä palveluja laajemmalla maantieteellisellä alueella. Tällainen hajautettu kokonaisuus edellyttää uudenlaisia toimintatapoja sekä integroitua lisäarvoa tuottavien prosessien hallintaa. Myös integroitujen palveluiden mahdollisuudet tulevat hajautettujen energiajärjestelmien myötä kasvamaan. Automaatiolla ja informaatiotekniikalla on keskeinen rooli näiden tavoitteiden saavuttamisessa ja energiaketjuun (tuotanto, jakelu, varastointi ja käyttö) liittyvien hallintavälineiden kehittämisessä.

Kun tarkastellaan hajautetun energiantuotannon kehitystä Euroopan eri maissa (Kuva 1) (Frost & Sullivan ja Electrowatt-Ekono 2002), huomataan, että toiminnan laajuus ja nykytilanne vaihtelevat maakohtaisesti hyvinkin paljon. Yleisesti ottaen läntisessä Euroopassa hajautetun tuotannon markkinat ovat jo merkittävät, mutta Itä-Euroopassa ollaan vasta alkuvaiheessa. Tähän on löydettävissä useita syitä niin historiasta, politiikasta

kuin nykyisestä lainsäädännöstäkin. Suomessa kehitystä vie eteenpäin Tekesin Hajautettujen energiajärjestelmien teknologiaohjelma DENSY (Tekes 2004).

Total Distributed Generation Market, 2001-2007 (All Countries): Capacity in MW

	Year and Capacity in MW						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Sweden	472.8	528.9	597.9	640.4	677.4	710.7	749.3
Norway	345.8	387.9	441.0	472.2	499.7	525.0	554.6
Denmark	534.2	626.1	749.5	817.7	879.8	938.2	1,006.0
Poland	40.8	74.1	138.0	271.0	410.0	690.0	1,180.0
Czech Republic	13.0	24.5	53.0	94.5	215.2	312.0	385.0
Hungary	6.0	10.0	37.0	84.0	173.0	278.0	353.0
Estonia	0.2	0.9	2.6	4.3	6.2	9.4	12.0
Latvia	0.8	1.3	2.3	4.7	6.7	7.9	9.2
Lithuania	0.5	0.7	1.2	2.3	3.7	5.8	6.9
Russia	18.0	20.0	27.5	37.0	52.0	72.5	88.0
Germany	2,501.4	2,746.0	3,064.1	3,328.4	3,582.0	3,854.6	4,239.4
UK	1,587.2	1,632.0	1,729.9	1,821.2	1,942.0	2,089.4	2,258.8
Netherlands	508.1	540.6	580.2	624.0	668.2	714.9	779.5
France	1,580.1	1,662.7	1,741.4	1,849.6	1,939.3	2,043.2	2,178.3
Italy	1,595.4	1,665.4	1,775.1	1,860.9	1,962.0	2,069.1	2,198.7
TOTAL	9,311.8	9,849.8	10,572.9	11,355.9	12,244.4	13,175.6	15,998.7

Note: All figures are rounded. Source: Frost & Sullivan

Kuva 1. Hajautetun energiantuotannon kehitys maittain.

1.2 Ongelmat ja haasteet

Pienimuotoisten paikallisten energiaresurssien hallinta tarjoaa haasteita sekä yleisen energiajärjestelmän että paikallisten resurssien ohjauksen kannalta. Paikallisten resurssien hyödyntäminen edellyttää lähes poikkeuksetta pienimuotoista toimintaa, joten skaalautua ja suuruuden taloutta ei voida hyödyntää. Tämä tarkoittaa sitä, että tarjolla olevien resurssien (energiälähteet, tekniset järjestelmät, henkilöresurssit) hyödyntämisen sekä yksittäisten kohteiden toteutuksen pitää tapahtua mahdollisimman tehokkaasti ja pienin kustannuksin. Myös käyttökustannukset pitää pystyä minimoimaan esim. siten, että laitteita voidaan käyttää ja huoltaa täysin automaattisesti. Tämä tarkoittaa usein sitä, että järjestelmien tulee olla miehittämättömiä, ja häiriöitä pitää pystyä kaukodiagnosoimaan. Hyötyjen toteutuminen edellyttää myös, että teknisiä ratkaisuja käytetään tehokkaasti, jolloin esim. kommunikaatioverkon tulee palvella ohjauksen lisäksi muita käyttäjiä (esim. kunnossapito ja rakennusautomaatio).

Kuten edellä mainituista näkökohdista voidaan päätellä, myös käytettäville laitteistoille ja ohjelmistoille asetetaan kovia haasteita. Niiden tulee perustua nyt ja tulevaisuudessa

laajassa käytössä oleviin tekniikoihin, jolloin liitännöiden ja ohjelmistorajapintojen pitää olla avoimia ja julkisia sekä noudattaa tarkoitukseen soveltuvia ratkaisuja ja de-facto-standardeja. Myös tiedonsiirron vasteajan ja kapasiteetin sekä tietoturvan asettamat haasteet on pystyttävä ratkaisemaan kustannustehokkaasti.

Hajautetun energiajärjestelmän toimivuudesta ja hallinnasta vastaavien tahojen on oltava selvillä siitä, mihin suuntaan sähkön tuotannon ja kulutuksen tasapaino kehittyy. Suuri määrä pienimuotoisia paikallisia energiasursseja aiheuttaa niiden käytönaikaisen hallinnan osalta haasteita nykyisessä energiajärjestelmässä. Teollisuuden nykyisiä automaatiojärjestelmiä ei voida käyttää etenkin niiden kalleuden takia, vaan tarvitaan uudenlaisia toiminnallisia ja teknologisia ratkaisuja pienten paikallisten energiasurssien tehokkaaseen hallintaan. Erityisesti nämä ongelmat ilmenevät pienjännitesähköverkkoon liitettävissä alle 500 kW:n energian tuotanto-, kulutus- ja varastointilaitteistoissa. Ongelmien ja haasteiden ratkaiseminen vaatii systemaattista yhteistyö- ja tutkimustointaa useilla toimintaan liittyvillä aloilla.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli määrittellä pienten paikallisten energiasurssien hallinnassa tarvittava toiminnallinen konsepti sekä toteutuksen suuntaviivat. Projektissa keskityttiin pienjänniteverkkoon liitettäviin alle 500 kW:n laitteistoihin. Lähtökohtana ja esimerkkijärjestelminä käytettiin kehitteillä olevia uusia liiketoimintamalleja sekä nykyisiä ja tulossa olevia toteutustekniikoita.

Tavoitteena oli kuvata hajautetun energian sovellusaluetta ja luoda katsaus siihen liittyviin asioihin painottuen automaatioon ja resurssien hallintaan sekä niihin liittyviin järjestelmiin ja toteutuskonsepteihin Raportin lukijalla oletetaan olevan perustiedot automaatiosta ja sähkötekniikasta.

1.4 PAREE-projektin asemointi DENSITY-ohjelmassa

Hajautetun sähköntuotannon liittäminen sähköverkkoon tuo mukanaan omat haasteensa, joita ei kuitenkaan ole kartoitettu tässä raportissa. Sitä aluetta on käsitelty huomattavasti laajemmin DENSITY-ohjelman muissa projekteissa. Samasta syystä pienen tuotantokoneiston suojaustekniikan yksityiskohdat on jätetty tässä yhteydessä käsittelemättä.

DENSITY-ohjelmassa on ollut myös muita projekteja, joiden suuntaus on ollut samantapainen kuin PAREE-projektissa. Näistä voidaan mainita seuraavia:

- pienten lämpökeskusten automaation ja tiedonsiirron kehittäminen
- TCP/IP-arkkitehtuuri hajautetun tuotannon ohjauksessa
- informaatiokartta energiajärjestelmän hallintaan
- hajautetun lämpövoimantuotannon etäkäyttö
- uuden sukupolven sähköasema-automaatio
- sähkön asiakastietojärjestelmä
- hajautetun CHP:n EHI-konsepti.

PAREE-projektilla oli yllä lueteltuihin verrattuna selvästi erottuva raja ja tavoitteiden asettelu. Edellisten projektien lisäksi DENSITY-ohjelmassa on myös pohdittu liiketoiminnan muuttumista hajautetussa energiajärjestelmässä. Aihetta käsittelevistä projekteista voidaan mainita seuraavia:

- hajautetun sähköntuotannon tulevaisuusskenaariot ja vaikutukset liiketoimintamalleihin
- liiketoiminta hajautetussa energiantuotannossa
- integrated solutions for distributed energy sector
- liiketoimintamallit hajautettujen energiajärjestelmien toimittamiseen.

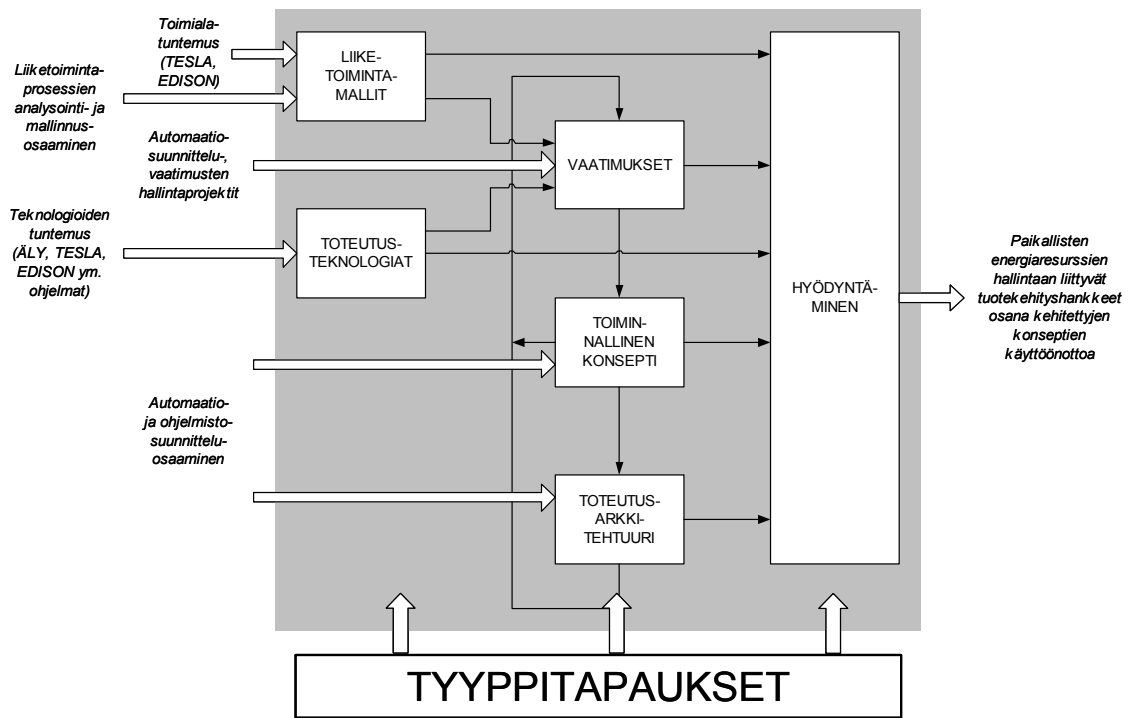
Näiden kanssa PAREE-projektilla on ollut DENSITY-ohjelman seminaareissa luonnollisella tavalla syntynyt keskusteluyhteys.

Muutamia PAREE-projektissa kuvatuista tyyppitapauksista on käsitelty jonkin verran myös muissa DENSITY-ohjelman projekteissa. PAREE:ssa tyyppitapauksia on kuitenkin käytetty lähinnä tilanteen konkretisoimiseen, joten päällekkäisyyttä ei pitäisi esiintyä kyseisten projektien kanssa.

1.5 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutettiin VTT Tuotteet ja tuotannon, VTT Prosessien, Vaasan yliopiston sekä Teknillisen korkeakoulun yhteistyönä osana Tekesin ”DENSITY – Hajautettujen energiajärjestelmien teknologiat” -teknologiaohjelmaa (Tekes 2004). Projektin kesto oli 15 kalenterikuukautta ja laajuus 34 henkilötyökuukautta. Projektissa käsiteltyjä osia olivat (Kuva 2):

1. liiketoimintamallit
2. toteutusteknologiat
3. ohjaus- ja tietojärjestelmien vaatimukset
4. toiminnallinen konsepti
5. toteutusarkkitehtuurit.



Kuva 2. Tutkimuksen osatehtävien toteutus.

Tutkimuksen lähtökohtana käytettiin valituista esimerkeistä laadittuja tyyppitapauskuvauksia, joiden avulla pyrittiin konkretisoimaan edellä kuvattuja osa-alueita. Kuvaukset ovat tämän raportin liitteinä ja niiden aiheina ovat: biokaasulaitos maatilataloudessa, yrityksen varavoima, pienet vesivoimalaitokset sekä kiinteistön mikroturbiini. Tyyppitapaukset pyrittiin valitsemaan siten, että ne edustavat mahdollisia hajautetun energian sovelluksia ja käsittelevät eri tuotantotapoja ja käyttökohteita. Tyyppitapaukset on tarkoituksenmukaisesti rajattu tietyillä reunaehdoilla kuvaamisen ja ymmärtämisen helpottamiseksi. Todellisuudessa jokaisesta tyyppitapauksesta saadaan aikaan monia eri variaatioita niin kokoluokan, teknisen toteutuksen, tuotantotavan, käyttökohteen kuin hallinnankin kannalta. Tyyppitapausten tehtävä on siis antaa lukijalle rajapinta käytännön sovelluksiin ja helpottaa asioiden ymmärtämistä.

Tutkimukseen pyrittiin saamaan käytännönläheisyyttä myös yritysyhteistyön avulla, joka konkretisoitui haastattelujen ja workshopien muodossa. Tutkimuksessa on haastateltu joukkoa alan suomalaisia yrityksiä.

1.6 Julkaisun rakenne

Raportin lähtökohtana luvussa 2 kuvataan **hajautettujen energiajärjestelmien kehitystä**, erilaisia hajautetun energian tuotantotapoja sekä aihealueeseen liittyviä haasteita. Luvussa kuvataan lyhyesti myös energiakaupan näkökulmia.

Luvussa 3 kuvataan **hajautetun energiantuotannon liiketoimintaa** ja elinkaariprosesseja. Liiketoiminnassa vaikuttavat toimijat, niiden muodostamat verkostot sekä toiminnan kannattavuus ovat myös tarkastelun kohteina.

Luku 4 käsittelee **toteutusteknologioita** informaatio- ja kommunikaatioteknologian, teollisuus- ja energia-automaation sekä tietojärjestelmien kannalta. Ohjaus- ja tietojärjestelmien **vaatimuksia** käsitellään luvussa 5, ja luku 6 kuvaa **toiminnallisen konseptin**. **Toteutusarkkitehtuurit** käsitellään luvussa 7.

Lopuksi luku 8 tuo esille tärkeimmät **kehitystarpeet ja -mahdollisuudet**. Luvussa 9 on raportin **johtopäätökset**. Raportin **liitteenä** ovat tutkimuksessa kartoitettujen tyyppitapausten kuvaukset sekä kuvaus järjestelmien kunnossapidosta.

2 Hajautetut energiajärjestelmät

2.1 Hajautettujen energiajärjestelmien kehitys

Ensimmäiset sähköverkot rakennettiin erillisiksi saarekkeiksi. Näitä saarekkeita yhdistettiin isommiksi verkoiksi, koska näin pystyttiin pienentämään kustannuksia ja samalla parantamaan sähkön toimitusvarmuutta. Isommissa verkoissa sähkö oli mahdollista tuottaa entistä suuremmissa yksiköissä. Isoissa voimalaitoksissa sähkön tuottaminen tuli halvemmaksi; muun muassa valvonnan ja automaation kustannukset jäivät tuotettua energiaa kohti pienemmiksi, hyötysuhde saatiin paremmaksi ja päästöt suhteessa pienemmiksi. Voimalaitosten kokonaiskuormitus tuli tasaisemmaksi, koska kulutuksen vaihtelut tasoittuivat alueiden välillä. Vaikka tämä kehitys jatkuu edelleen, on samaan aikaan alettu myös palata takaisin pienimuotoiseen voiman tuotantoon.

On havahduttu siihen, että on välttämätöntä voimakkaasti lisätä pienimuotoista jakeluverkkoihin hajautettua sähkön tuotantoa. Tähän on useita syitä: Sähkön kulutus kasvaa, mutta niukaksi käyviä energiaresursseja on säästettävä ja päästöjä on vähennettävä. Uusiutuvat energiavarat sijaitsevat hajallaan ja niiden kuljetus isoihin voimalaitoksiin on joko mahdotonta tai kallista ja energiaa kuluttavaa. Sähkön siirtokustannuksia voidaan mahdollisesti pienentää, jos sähkön tuotanto ja kulutus ovat lähellä toisiaan; näin on erityisesti silloin, kun tuotettu sähkö käytetään omaan kulutukseen. Energian kulutusta ja päästöjä on mahdollista vähentää lisäämällä yhdistettyä sähkön ja lämmön tuotantoa, mutta lämpöä ei kannata siirtää kauas hajallaan oleville käyttäjille. Myös varavoiman tarve on lisääntynyt, koska esimerkiksi teollisuuden tuotantoprosessit ja maatilat ovat entistä herkempiä sähkön syötön keskeytyksille. Toisaalta hajautetun tuotannon, tietoliikenteen, tehoelektroniikan, energiavarastojen, hajautetun automaation, hajautettujen säätömenetelmien ja muun tekniikan kehitys on parantamassa hajautetun tuotannon edellytyksiä ja lieventämässä haittoja. Laajamittakaavaisen hajautetun tuotannon mahdollisten etujen saavuttaminen siedettävien kustannuksien edellyttää tällaista kehitystä. Esimerkiksi hajautettuun sähköntuotantoon liittyviä eri automaatiojärjestelmiä sekä niiden rajapintoja ja toimintoja on kehitettävä huomattavasti. Tarvitaan uusia tiedonsiirron ja tietojenkäsittelyn tekniikoita sekä hajautettuja ja itsenäiseen toimintaan pystyviä säätöperiaatteita.

Nykyisin vallitsevana käytäntönä on, että hajautetun tuotannon yksiköt on tehty palvelemaan vain yhtä käyttötarkoitusta. Sama koskee myös niitä tukevia tietojärjestelmiä. Samoja energiaresursseja ja yhteisiä laitteita ja järjestelmiä on kuitenkin usein kannattavaa käyttää useisiin tarkoituksiin, kunhan se on otettu huomioon suunnittelussa. Näin säästytään päällekkäisiltä investoinneilta. Parempi kokonaisnäkemys suunnittelussa auttaa kehittämään kustannustehokkaampia järjestelmiä ja siten merkittävästi parantamaan hajautetun energian tuotannon kilpailukykyä ja hyväksyttävyyttä. Tämän suuntaisen kehityksen on jo käynnistynyt.

2.2 Hajautetun energian tuotannon haasteita ja mahdollisuuksia

2.2.1 Tuotantomuotojen väliset erot

Hajautetut energioresurssit eroavat toisistaan energialähteen, tekniikan, koon ja käyttötarkoituksen suhteen. Tästä seuraa suuria eroja myös muissa ominaisuuksissa.

Hallintajärjestelmän kannalta hajautettujen energioresurssien keskeisiä ominaisuuksia ovat suuruuden lisäksi tehon ennustettavuus ja ohjattavuus sekä etävalvonnan ja automaation tarpeet. Myös näiden osalta erilaiset hajautetut energioresurssit poikkeavat toisistaan hyvin paljon. Hallintajärjestelmää tarvitaan kokoamaan pienet keskenään erilaiset energioresurssit sellaiseksi kokonaisuudeksi, jonka yhteinen teho on riittävän hyvin ennustettavaa. Vaikeasti ennustettavia resursseja täydentämään tarvitaan tämän takia usein myös ohjattavia resursseja. Ohjattavuutta voidaan koota yhteen myös sen myymiseksi muille sähkömarkkinoiden toimijoille.

Seuraavassa mainitaan esimerkkejä eri hajautetun tuotannonmuotojen eroista. Uusiutuvia energiamuotoja käyttäville voimaloille on tyypillistä, että investointikustannukset ovat käyttökustannuksiin verrattuna suuret. Tuulivoima ja aurinkokennot tuottavat voimakkaasti vaihtelevaa ja huonosti ennustettavaa tehoa. Biokaasuvoimalan tehon ennustettavuutta huonontaa biokaasuprosessin epäluotettavuus. Pienvesivoimaloita ei yleensä ole tehty ohjattaviksi, koska ohjattavuus edellyttää säätöjärjestelmäinvestointeja ja mahdollisuuksia varastoida vettä voi puuttua. Tarve ohjattavuudelle ja siten myös entistä edullisemmille säätöjärjestelmille kuitenkin lisääntyy. Sähkön ja lämmön (mahdollisesti myös kylmän) yhteistuotannon (CHP) sähköteho on varsin hyvin ennustettavissa, mutta vain rajallisesti ohjattavissa, koska sitä joudutaan yleensä ajamaan lämmön tarpeen mukaan ja suuria nopeita tehonmuutoksia välttämällä. Yhteistuotannossa käytetään tyypillisesti dieselmootoreita tai jo lähitulevaisuudessa myös pieniä kaasuturbiineja ja Stirling-mootoreita, koska niillä saavutetaan hyvä hyötysuhde ja pitkät huoltovälit ja käyttöikä. Polttokennojen hyvä sähkön tuotannon hyötysuhde mahdollistaisi niiden käytön myös sähkön perusvoiman tuotantoon. Varavoimana käytetään esimerkiksi diesel-aggregaatteja, kaasuturbiineja ja erikoistapauksissa eräitä polttokennotyyppejä, koska teho on voitava ohjata kohtalaisen nopeasti ylös ja sitä on voitava säätää. Lisäksi varavoiman tuotannon on oltava luotettavaa. Varavoimalaitoksen hyötysuhde voi olla huono, päästöt korkeita ja käyttökestävyys huono, koska varavoiman käyttöaika jää lyhyeksi. Sähköenergian varastointi on kallista, joten siten voidaan toteuttaa vain hyvin lyhytaikaisia tehon tarpeita. Yleisimmin sähköä varastoidaan akuilla ja kondensaattoreilla, mutta myös esimerkiksi huimapyöriä ja suprajohteita voidaan käyttää tarkoitukseen. Vesivoiman säännöstelyaltaat ovat sähköenergiajärjestelmissä tärkein ja yleensä edullisin energiavarasto, josta usein kuitenkin on pulaa. Tulevaisuudessa on myös mahdollista,

että vedyntuotanto yhdistettynä polttokennotekniikkaan voisi tarjota kustannustehokkaan tavan varastoida energiaa. Kuormien ohjaus on nopea ja edullinen keino ohjata energioresurssien tasapainoa, mutta sen käyttöä rajoittaa kohteiden pienuudesta ja hajallaan sijainnista johtuva herkkyys järjestelmäkustannuksille. Lisäksi erilaisten hajautetun tuotannon tekniikoiden kehitystarve ja tilanne kaupallisen sovellettavuuden suhteen on hyvin erilainen.

Useimpien hajautettujen energioresurssien toimintaa ja kuntoa on tarvetta etävalvoa, mutta myös nämä valvontatarpeet vaihtelevat tuotantotekniikan ja käyttötarkoituksen mukaan. Tuulivoimalla, biokaasuvoimalalla, CHP:llä, eri energiavastoilla sekä erilaisilla ohjattavilla kuormilla on kullakin omat etävalvontatarpeensa. Etähallintaa voidaan tarvita esimerkiksi biokaasun tuotantoprosessin hallintaan, polton optimointiin ja päästöjen hallintaan, yhteistuotannon (CHP) optimointiin ja rakennusten energianhallintaan. Eroja aiheutuu myös siitä, käytetäänkö hajautettua energioresurssia perus-, huippu-, säätö-, vai varavoimana vai sähkön laadun parantamiseen. Myös erot sähköverkkoonliittätekniikoissa, sähköverkon ominaisuuksissa ja verkkoon liitetyn hajautetun tuotannon määrässä aiheuttavat eroja siihen, mitä suureita on tarvetta milloinkin mitata.

Hajautetun tuotannon hallintajärjestelmän on siis oltava joustava, monipuolinen ja tarpeiden mukaan muuteltavissa. Tapauskohtainen räätälöinti tulee muuten liian kalliiksi.

2.2.2 Tehon ennustettavuus ja ohjattavuus

Monet hajautetun sähkön tuotannon muodot ovat siis vaikeasti ennustettavia ja epäluotettavia. Siellä missä hajautettua pientuotantoa on paljon, on sitä ja paikallista kuluusta pystyttävä mittaamaan, ennustamaan, ohjaamaan ja optimoimaan. Muutoin hajautetun tuotannon hyödyt voivat kumoutua, kun jakeluverkkoa joudutaan vahvistamaan ja muita voimalaitoksia ajamaan epätasaisesti, epätaloudellisesti ja kasvanein päästöin. Toisaalta jotkut pienimuotoiset energioresurssit ovat nopeammin ohjattavissa kuin suuret voimalaitokset. Tällaisia ovat jotkut pientuotannon muodot (pienet kaasuturbiinit, eräät polttokennotyypit) ja energiavarastot sekä varsinkin monet ohjattavat kuormat. Tämän ohjauspotentialin käyttöön saaminen edellyttää kuitenkin järjestelmiä, jotka hoitavat tarvittavan etähallinnan, mittaroinnin ja automaation.

Ennustettavuus ja ohjattavuus pienentävät huomattavasti sähkömarkkinoille osallistumisen riskejä ja siten riskinhallinnan kustannuksia. Ennustettavuuden ja ohjattavuuden avulla sähkömarkkinat voivat välttää kalliiden, hyötysuhteeltaan huonojen ja suuripäästöisten sähköntuotantomuotojen käyttöä ja tarvetta. Erityisesti silloin, kun hajautettuja energioresursseja on paljon, niiden ennustettavuudella ja ohjattavuudella on tärkeä merkitys sen varmistamisessa, että sähkömarkkinoilla on kaikissa tilanteissa riittävästi hin-

tajousta. Hintajoustopuute voi johtaa vakaviin markkinahäiriöihin, joiden seurauksena voi olla korkeita hintapiikkejä, epäoikeudenmukaista kustannusten ja tulojen jakautumista, epätaloudellista sähköntuotantoresurssien käyttöä sekä pahimmillaan jopa koko sähköjärjestelmän tasapainon menetys ja siitä johtuvat laajat toimituskeskeytykset.

Ennustettavuudesta ja ohjattavuudesta on toki jonkun verran sähköjärjestelmän ulkopuolisiakin hyötyjä. Polttoaineen hankinta, lämmön tuotanto ja huollot voidaan ajoittaa paremmin.

Energiaresurssien tehon ennustaminen ja ohjausten optimaalinen ajoittaminen ovat hajautettujen energioresurssien hallintajärjestelmän ja sen sähkömarkkinaliitännän keskeisiä toimintoja. Näiden avuksi tarvitaan ennusteita lämpötiloista, tuulesta, vesitilanteesta energioresurssien osalta sekä ennuste sähkömarkkinahintojen kehityksestä.

2.2.3 Hallintajärjestelmän kustannukset

Hajautettujen energioresurssien mahdollisuuksien hyödyntämisessä yhtenä keskeisenä haasteena ovat järjestelmä- ja työvoimakustannukset. Tavanomaisella automaatiojärjestelmällä tai kaukokäyttöjärjestelmällä toteutettuna kustannukset kasvavat helposti liian suuriksi ja toiminnallisuus jää puutteelliseksi. Myös manuaalinen toiminta hajautetuissa kohteissa on harvoin kannattavaa, koska se on kallista ja hidasta. Odotettavissa oleva sähkön huipputuotannon tarpeen kasvu kuitenkin edellyttäisi joustavaa ja kohtalaisen nopeaa ohjattavuutta. Hallinnan kustannusten ja toiminnallisuuden ristiriitaa ratkaisemaan on kehitetty virtuaalisen voimalaitoksen periaate, jossa hajautetun automaatiojärjestelmän avulla voidaan hallita useita pieniä energioresursseja näennäisesti yhtenä voimalaitoksena.

Vaatus halvasta hinnasta kärjistää myös muita hajautettujen energioresurssien automaation ja etähallinnan haasteita: Tarvitaan usein itsenäiseen toimintaan tarvittaessa kykenevää paikallisautomaatiota sekä liitännöitä eri tarkoituksia palvelevien automaatiojärjestelmien välillä, sillä järjestelmien keskitettyjen osien kautta kiertävän tiedonsiirron saaminen riittävän nopeaksi ja luotettavaksi tulisi kalliiksi. Monien eri automaatiojärjestelmien on pystyttävä keskustelemaan keskenään sekä hyödyntämään samoja laitteistoinvestointeja ja yhteisiä tietoliikenneyhteyksiä. Usein tietoliikenteessä joudutaan käyttämään yleisiä tietoliikenneverkkoja. Kohtuullinen tietoturvan taso ja tarkoituksesta riippuen vaihtelevat luotettavuus- ja vasteaika-vaatimukset on saavutettava kaikesta huolimatta. Järjestelmien konfiguroiminen on saatava mahdollisimman automaattiseksi, eli niin lähelle Plug&Play-ihannetta kuin mahdollista.

2.2.4 Taloudelliset tuet ja kannustimet

Taloudellisella tuella on ainakin toistaiseksi tärkeä merkitys hajautetun tuotannon investointien kannattavuudelle. Eräissä maissa, kuten Saksassa, hajautettua tuotantoa on onnistuttu lisäämään nopeasti sellaisen tukipolitiikan avulla, jossa sähköyhtiöt veloitetaan maksamaan kiinteä korkea hinta siitä riippumatta, mikä tuotannon arvo on. Tämä tuki sekä hajautetusta tuotannosta sähköjärjestelmälle aiheutuvat kustannukset maksetaan lopulta sähkönkäyttäjillä kohonneiden tariffien muodossa. Ongelma on usein se, että tämä hintapolitiikka poistaa sähkön pientuottajilta kannustimet ennustaa ja ohjata sähkön tuotantoon tarpeen ja siirtomahdollisuuksien mukaan, jolloin huomattava osa hajautetun tuotannon oletetuista hyödyistä saatetaan menettää. Polttoaineiden kulutus ja päästöt voivat tällöin kasvaa niissä voimalaitoksissa, joilla kompensoidaan hajautetun tuotannon nopeat tehovaihtelut. Tämä ongelma koskee lähinnä sellaista sähkön pientuotantoa, joka on suurinakin määrinä vaikeasti ennustettavissa ja nopeasti vaihtelevaa. Tämän takia on näissäkin maissa ehdotettu toimintamalleja, joissa hajautettua tuotantoa voidaan tarvittaessa lyhytaikaisesti rajoittaa tai muuten ohjata. Tukiin liittyvä valvonta voi myös aiheuttaa etävalvonnan tarpeita.

Myös päästökauppa tulee parantamaan hajautetun tuotannon kilpailukykyä, sitä mukaan kun myös pieniä laitoksia saadaan tähän piiriin. Nykyisten suunnitelmien mukaan se kannustaa korvaamaan tiettyä kokorajaa suurempia energian tuotantolaitoksia uusiutuvilla energiamuodoilla sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannolla (Combined Heat and Power). Pienimuotoinen voimantuotanto on nimittäin ainakin aluksi päästökaupan ulkopuolella.

2.2.5 Sähkön jakeluverkon rajoitusten huomioon ottaminen

Jos sähkönjakeluverkossa on sen siirtokapasiteettiin nähden huomattavia määriä hajautettua tuotantoa, on tärkeää, että hajautettujen energiaresurssien tehoa voidaan ennustaa ja sitä tilapäisesti ohjata niin, että jakeluverkko pysyy hallinnassa, toimintakykyisenä ja sähkön laadultaan riittävänä. Esimerkiksi yleensä on paljon edullisempaa leikata muutamia tunteja vuodessa tuulivoimalan sähkön tuotantoa kuin vastaavasti vahvistaa sähkön jakeluverkkoa. Tällaisessa tapauksessa tuulivoimalan läheisyydessä voi olla sellaisia energiaresursseja, joiden ohjaus ei aiheuta energian menetystä vaan ainoastaan siirtää kuormaa tai tuotantoa ajan suhteen. Mahdollisuus ohjata hajautettuja energiaresursseja voi myös nopeuttaa jakeluverkon palauttamista vikatilanteista ja siten lyhentää tuotannon ja kulutuksen kokemia keskeytysaikoja. Hajautetun tuotannon lisääntyminen kasvattaa tarvetta tähän, koska nykyisin vallalla olevat hajautetun tuotannon verkkoliittämisen suojaustekniikat voivat lisätä asiakkaiden kokemien jakelukeskeytysten määrää ja kestoja. Toisaalta, jos hajautetun tuotannon (ja muiden energiaresurssien) ennuste on käytettävissä, sähkönjakeluverkon kytkentätilaa on usein mahdollista muuttaa niin, että

pullonkauloilta välttyään. Hajautettu sähkön tuotanto myös lisää jakeluverkon mittaus-ten, ohjattavuuden ja automaation tarvetta.

Joskus jakeluverkon haltijalla voi myös olla tarve saada ohjattavakseen hajautettuja energiaresursseja. Sopivasti sijaitsevia hajautettuja energiaresursseja voidaan käyttää tukemaan verkon loistehojen ja jännitteiden säätöä ja siten poistamaan verkon siirtokyvyn pullonkauloja. Tällainen paikallinen jännitteen säätö toimisi pääasiassa itsenäisesti paikallisen mittaustiedon varassa, etätiedonsiirron rajoituksessa koordinoivaan tasoon. Toistaiseksi hajautettuja resursseja Suomessa ei käytetä verkon pullonkaulojen poistoon, joka edellyttää, että resurssi on jakeluverkkoyhtiön tarvitsemana aikana varmasti sen käytettävissä, sillä sähkömarkkinoiden nykyiset pelisäännöt estävät jakeluverkkoyhtiötä omistamasta pienimuotoistakaan sähkön tuotantoa.

Hajautettujen energiaresurssien hallinnan ja jakeluverkon hallinnan välillä tarvitaan tietojen vaihtoa. Hajautetun tuotannon hallinnan tulee saada tietää jakeluverkon rajoitukset ja jakeluverkon hallinnan tulee saada ennusteet hajautetun tuotannon tehoista. Samalla tavalla luotettavat kulutusennusteet helpottavat jakeluverkon hallintaa. Myös jakeluverkon hallinnan antamia suoria ohjauskomentoja saatetaan joskus tarvita.

Jos hajautettua tuotantoa on paljon, suojauksia täytyy koordinoida ja kehittää. Varsinaiset jakeluverkon ja hajautetun tuotannon suojaukset on kuitenkin syytä pitää erillään ja riippumattomina hajautetun tuotannon hallintajärjestelmästä.

2.2.6 Kehityshankkeet

Hajautettuun tuotantoon liittyviä tutkimus ja kehityshankkeita on paljon käynnissä julkisen rahoituksen ansiosta. Tutkimus- ja kehityshankkeita tarvitaan asetettujen uusiutuvan energian käytön ja hajautetun tuotannon kasvutavoitteiden saavuttamiseksi. Suomalaiset hankkeet kuuluvat Tekesin tutkimusohjelmaan DENSY – Hajautettujen energijärjestelmien teknologiat 2003–2007 (Tekes 2004). On myös monia eurooppalaisia hajautetun tuotannon tutkimus- ja kehityshankkeita. Suurin niistä lienee EU-DEEP (www.eu-deep.com), johon osallistuu 39 osapuolta 16 maasta. VTT Prosessit vetää siinä osuutta Work Package 3, Local trading strategy, joka käsittelee hajautettujen energiaresurssien liittämistä energiamarkkinoihin. EU-DEEP alkoi vuonna 2004 ja kestää viisi vuotta. EU:n julkaisussa EUR20901 (European Commission, 2003, s. 24–26) mainitaan vuonna 2004 päättyviä 5. puiteohjelman hajautettuun tuotantoon liittyviä eurooppalaisia projekteja. Tässä yhteydessä kiinnostavia ovat:

- ENIRDGnet (www.dgnet.org), joka on uusiutuvan energian ja hajautetun energian tuotannon sähköverkkoon liittämistä koskeva suuri projekti.

- SUSTELNET (www.sustelnet.net) on projekti, joka kehittää keinoja, joilla markkinoilla saadaan hajautetulle sähkön tuotannolle tasapuoliset mahdollisuudet keskitettyyn tuotantoon verrattuna.
- DISPOWER (www.dispower.org) on projekti, joka käsittelee monia hajautetun energian sähkөөn sekä ICT-asioihin liittyviä aiheita.
- CRISP (www.ecn.nl/cripsp) projekti tutkii uusien ICT-ratkaisujen soveltamista paljon hajautettua tuotantoa sisältävien sähköverkkojen hallintaan ja automaatioon.
- BUSMOD (<http://busmod.e3value.com>) projektissa kehitetään hajautetun tuotannon vaatimia uusia liiketoimintamalleja.

Yhdysvalloissa IEEE:n työryhmä kehittää hajautetun tuotannon hallintajärjestelmän toteutusratkaisusta suositusta: IEEE P1547.3, Draft Guide for Monitoring, Information Exchange, and Control of Distributed Resources Interconnected with Electric Power Systems. Tämän suositusluonnos kattaa lähinnä hajautettujen resurssien hallinnan sähkön jakeluverkkoautomaation näkökulmasta tarkasteltuna. Siltä osin se lienee nyt eurooppalaisia hankkeita pitemmällä. Muun etähallinnan näkökulma ja sähkömarkkinaliitännään liittyvät asiat pääosin puuttunevat siitä.

Edellä mainittuja ja monia muita maailmalla käynnissä olevia hajautettuun tuotantoon liittyviä kehityshankkeita esitellään viitteessä / First International Conference on the Integration of Renewable Energy Sources and Distributed Energy Resources, 1.–3. December 2004, Brussels, Belgium. 358 s./ Tutkimuksen painopisteen siirtymistä hajautetun tuotannon sähköverkko- ja -markkinaliitännöjen ongelmiin päin on havaittavissa.

2.3 Energiakauppa

2.3.1 Energiaraaka-aineet

Energiaraaka-aineilla tarkoitetaan tässä energianlähteitä, kuten polttoaineita. Jokaisella niistä on omat erikoispiirteensä, jotka vaikuttavat niistä käytävään kauppaan. Jotkut raaka-aineet konvertoidaan sähköenergiaksi siellä, missä niitä on saatavissa, ja toiset kuljetetaan saantipaikasta lähemmäksi kulutusta. Tuotetun sähkön hinta tulee tästä syystä määräytymään, ei yksinomaan energiaraaka-aineiden hinnasta, vaan myös tarvittavien energiaraaka-aineiden kuljetusten kustannuksista, sähkötuotannon sivutuotteista (lämpö, kylmä) saatavista maksuista sekä maksuista, jotka aiheutuvat sähkön siirtämisestä tuotantopaikasta kulutuskohteeseen.

Tässä käytetään energiaraaka-aineiden perusjaottelua fossiilisiin (öljy, kivihiihi, maakaasu), joiden osuus on tällä hetkellä vielä n. 85 %, ja uusiutuviin. Rajatapauksia ovat

esimerkiksi turve ja merenpohjien metaanihydroksidi. Käytettäessä hajautettuja energiajärjestelmiä, on usein edullista pyrkiä hyödyntämään uusiutuvia energialähteitä, joista seuraavassa eräs ryhmittelytapa.

1. Suoraan hyödynnettävät mm. tuuli, aurinko ja vesivoima sekä merivirrat ja aaltoenergia.
2. Luonnonympäristöön varastoituneet energialähteet, kuten maaperän, vesistöjen ja ilmaston energiasisältö, biokaasu matalissa vesissä ja suoalueilla.
3. Biomassa, jossa alaryhminä:
 - puu eri muodoissaan, mm. pilkkeinä, hakkeena, briketteinä, pyrolyysiöljynä
 - peltoviljelytuotteet, kuten ruokohelpi, energiapaju, rypsi, rapsi ja olki
 - nopeasti hajoava biojäte, mm. keittiöiden, puutarhojen ja elintarviketuotannon jätteet
 - lanta, jonka käyttöksi soveltuu parhaiten biokaasun tuottaminen
 - hitaasti hajoava biojäte kuten puu-, paperi- ja pakkausjäte, joiden pääkäyttö on polttoa.
4. Jäte- ja hukkalämpö, joka syntyy teollisuusprosesseista sekä koneiden käytöstä ja jäähtytyksestä.

Energialähteiden määrittelyillä on merkittävä vaikutus viranomaisten luokitteluihin ja sitä kautta vero- ja investointitukiin sekä toimilupaehtoihin ja velvoitteisiin. Niillä voi siten olla jopa ratkaiseva vaikutus energialähteiden kilpailukykyyn ja valintaan.

Tärkeä ominaisuus energiakaupassa on myös kulloinkin saatavissa olevan energian ennustettavuus ja ohjausmahdollisuus. Suoraan hyödynnettävien energialähteiden osalta ennustaminen pohjautuu lähinnä sää tietoihin. Muilla ennustus perustuu prosessien, kuljetusten ja varastojen tilanseurannan tietoihin ja mittauksiin. Esimerkiksi biokaasureaktio voi herkästi häiriintyä ja sen kaasun tuotanto tällöin lakata melko pitkäksi aikaa. Biomassan kuljetusta, jalostusprosesseja ja varastointia on mahdollista tehdä luotettavammaksi ja kustannustehokkaammaksi etähallintajärjestelmän avulla. Myös teollisuuden jätelämmön hyödyntäminen tehostuu, jos sen tuotannosta saadaan ennustetietoa.

2.3.2 Sähkökauppa

Toistaiseksi sähkö tuotetaan useimmissa kehittyneissä maissa lähes kokonaan suurissa voimalaitoksissa, ja toimitetaan siirtoverkon ja jakeluverkon kautta hajallaan sijaitseville kuluttajille. Niissä hajautetulla tuotannolla on huomattavaa merkitystä lähinnä vain varavoimana. Myös järjestelmän tehotasapainon hallinta ja säätö tehdään varsin keskiteytisesti. Toki kaikki suuret voimalaitokset osallistuvat mahdollisuuksiensa puitteissa säätöön. Hitailta aikaskaaloilla tehotasapainon määrittävät pääasiassa sähkömarkkinat ja

nopeilla aikaskaaloilla sen hoitavat etupäässä siirtoverkko-operaattorit. Sähkömarkkinoiden avaaminen kilpailulle on toistaiseksi toteutettu niin, että jakeluverkon pienasiakkaille ei juuri välity tietoa tuotantokustannusten nopeista vaihteluista eikä kannustinta niiden huomioon ottamiseen. Syinä ovat olleet laskutuksen tuntimittauksen kalleus ja sen johdosta toteutettu tyyppikuormituskäyrämenettely. Tämä kannustinten puute on omalta osaltaan vähentänyt pienten nopeasti säädettävien energioresurssien hyödyntämistä järjestelmän tehotasapainon säädössä kun sähkömarkkinat avattiin kilpailulle. Toisaalta hajautettujen energioresurssien (tuotannon, varastojen, kulutuksen) nopean hintajouston merkitys sekä sähkömarkkinoiden häiriöttömälle toiminnalle että sähköjärjestelmän käyttövarmuudelle kasvaa. Hintajouston ulottaminen suuremmalle joukolla markkinaosapuolia voisi edistää tehotasapainon hallintaa. Tämä mahdollisuus myöskin entistä paremmin ymmärretään. Pohjoismaiden siirtoverkko-operaattorit ovat viime aikoina olleet huolissaan siitä, miten hintajousto saadaan kasvatettua (Nordel, 2004).

Hajautettua sähköntuotantoa sisältävän kohteen tuotanto ja kulutus on yleensä tuntimittattava ainakin pätötehon osalta, koska kuormituskäyrämenettelyn soveltaminen niihin on useimmiten epätarkkaa. Koska tehoa voi virrata kumpaankin suuntaan, tarvitaan sen kaksisuuntainen mittaus. Usein on myös edullista saada loistehomittauksia. Ennustettavuuden, ohjattavuuden ja todennettavuuden parantamiseksi monesti on hyvä olla tuntimittauksia tarkempi aikaresoluution.

Nord Pool Spot AS operoi pohjoismaiden sähkön spotmarkkinat, ja sen omistavat siirtoverkko-operaattorit Tanskassa, Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa (Nordpool, 2004). Spotkaupan lisäksi käydään kauppaa myös optioilla ja futuureilla. Yksinkertaistaen voidaan sanoa, että sähköpörssissä on eri aikaskaaloja varten omat markkinansa. Nopeammilta markkinoilta saadaan ohjattavista resursseista parempi hinta kuin hitaammilta markkinoilta. Itsenäiseltä sähköpörssin toimijalta edellytetään suurta toiminnan laajuutta sekä tarvittavaa asiantuntemusta. Näin ollen on tarvetta koota erilaisia energioresursseja ja kulutusta suurissa määrin yhteen sekä välittää markkinoiden hintavaihtelut näille resursseille. Tähän tehtävään soveltuu hyvin esimerkiksi sähkön vähittäiskauppias.

Sähkömarkkinoiden isojen osapuolten on käytettävä keskinäisessä sähkökaupan tiedonsiirrossaan UN-Edifact standardeihin kuuluvaa Ediel-standardia (Ediel Nordic Forum, 2004), jos eivät keskenään ole muuta sopineet. Ediel on teknisesti vanhentunut ja raskas käsitellä ja ylläpitää. Näin ollen se soveltuu huonosti pienten osapuolien väliseen sähkökaupan tiedonsiirtoon. Sitä korvaamaan on pyritty kehittämään yleiskäyttöisempiä ja joustavampia XML-perustaisia tai muuten oliopohjaisia esitysmuotoja. Nämä hankkeet ovat kuitenkin jääneet toteutukseltaan keskeneräisiksi, eivätkä ne ole vielä korvanneet Ediel-esitysmuotoja. Varteen otettava uusi ehdotus on Norjassa kehitetty ODELv.2.0 ja sen XML-versio ODELv.2.1 (Sintef, 2004), missä on muun muassa suorat vastineet ja konversiot tärkeimmille Ediel-sanomille. ODEL v.2 oliomallissa on kuitenkin yleiskäyt-

töisyyttä rajoittavia kohtia joita voitaisiin parantaa, mutta se on silti huomattava parannus Ediel-esitysmuotoihin.

Toinen hajautetun tuotannon kannalta keskeinen asia on sähkökaupan laskutusmittaus-
ten luvun standardointi. Erityisesti pienissä kohteissa vallitsevana käytäntönä ovat edel-
leen pulssimittarit ja erilliset pulssinlukulaitteet. Nämä teknisesti vanhanaikaiset mittarit
ovat kuitenkin korvautumassa ja johtavat mittarivalmistajat ovat kuitenkin siirtyneet
valmistamaan myös pienasiakkaille tuntikulutuksen digitaalisia laskutusmittareita, jotka
sisältävät tiedonsiirtoväyläliitännän. Nämä uudet ratkaisut vastaavat paljon paremmin
hajautetun sähköön tuotannon laskutusmittauksen vaatimuksia, koska tiedonsiirtoperiaate
ei estä mittausta erittelemästä tulevaa ja lähtevää pätö- ja loistehoa eikä välittämällä
samalla jännitteen laadun perustietoja.

Lisäksi hajautettujen energiaresurssien hallinnan kannalta on tärkeää, että mittarinlukujär-
jestelmät lukevat mittareita tai pulssinkeruulaitteita avoimella mittarinlukuprotokollalla.
Kulutusmittareita ja niiden lukua koskien on IEC:llä ja ANSI:lla omat standardinsa. Voi-
massa oleva versio IEC-standardeista tosin sallii vaihtoehtoisena myös ANSI.C12.19-1997
-standardin määrittelemien taulukkojen käytön. Kanadassa, Meksikossa ja Yhdysvalloissa.
käytetään eniten ANSI-standardien mukaisia kulutusmittareita. Paikoitellen niitä käytetään
myös Väli-, ja Etelä-Amerikassa ja Aasiassa. IEC-standardien mukaisia mittareita käytetään
monissa maissa eripuolilla maailmaa, esimerkiksi kaikkialla Euroopassa.

Laskutus- yms. mittareiden luvussa tiedonsiirron sovelluskerrosta koskevia IEC-standardeja
ovat IEC 62056-51:1998, IEC 62056-52:1998, IEC 62056-53:2002, IEC 62056-61:2002,
IEC 62056-62:2002. Niissä mm. määritellään Manufacturing Message Specificationin
(MMS) pohjalta kehitetty, mutta huomattavasti suppeampi ja tiedonsiirtotarpeiltaan kevy-
empi Device Line Message Specification (DLMS/COSEM). Nämä kattavat sähköön, kaasun
ja kaukolämmön kulutusmittaukset. Kuten nimikin kertoo, DLMS/COSEM on tarkoitettu
laskutusmittarien luvun ohella tiedonsiirtoon muidenkin päätelaitteiden kanssa. COSEM-
oliomallia (COmpanion Specification for Energy Metering, IEC 62056-53:2002, IEC
62056-61:2002, IEC 62056-62:2002) on tänä vuonna kehitetty niin, että sitä voidaan käyt-
tää DLMS:n sijasta myös suoraan TCP/IP-protokollapinon päällä.

2.3.3 Muu energiakauppa

Sähkökaupan lisäksi hajautetun tuotannon hallintaan vaikuttaa muukin energiakauppa kuten:

- sähköön ja lämmön yhteistuotannossa kaukolämmön ja -kylmän kauppa
- maakaasun kauppa
- polttoaineiden markkinat.

Nämä markkinat toimivat erillisinä markkinoina, mutta niillä tapahtuva hinnanmuodostus on kytketty toisiinsa, koska eri energiamuodot voivat osittain korvata toisensa kulu- tuskohdeissa.

Myös näitä varten tarvitaan etäluettavia kulutusmittauksia ja mahdollisesti joitakin yhteyksiä kyseisiä tarkoituksia palveleviin automaatio- ja tietojärjestelmiin. Energiantuotannon ennustuksessa ja optimoinnissa on käsiteltävä kaikkia energiamuotoja ja käyttö- tarpeita. Hinnat, mallit, tilatiedot ja kriteerit tarvitaan kaikista lähtötiedoksi.

2.3.4 Hajautettujen energioresurssien käytön optimointi

Hajautettujen energioresurssien käytön optimointiin sähkömarkkinoilla tarvitaan erilaisia työkaluja:

- energiataseen tilojen ja ohjausten historiatietojen hallinta
- energiatasemallit (tilayhtälöt, rajoitukset, optimointikriteerit)
- energiataseiden ennustus
- säätilan lyhyen ajan ennustus (lämpötila, tuuli, mahdollisesti valoisuus)
- sähkökaupan hintojen ennustus, jossain määrin myös muiden energiamarkkinoi- den saatavuuden ennustus
- siirtorajoitusten ennustus
- valikoima optimointimenetelmiä energian tuotannon, varastoinnin ja käytön keskinäiseen ajoitukseen
- sopimusten suunnittelun ja laatimisen työkaluja.

Monia osatoimintoja on valmiina käytössä esimerkiksi monilla sähkökaupan toimijoilla, kuten sähkön vähittäiskauppiaille ja tuottajilla. Sama osapuoli voi olla sekä vähittäis- kauppias että hallita sähkön tuotantoa. Monia ennustus ja hintatietoja voidaan tarvittaes- sa hankkia myös muilta osapuolilta. Suuren yksikkömäärän optimointi edellyttää yleen- sä hierarkkista ja markkinatyypistä ongelman ratkaisutapaa. Tästä on myös se etu, että myös toimijat ja heidän työnjakonsa voi olla samalla tavalla hierarkkinen. Eli yhden osapuolen ei tarvitse itse tehdä kaikkia toimintoja, joita hajautettujen energioresurssien liitännä sähkömarkkinoihin ja optimointi sähkömarkkinoilla vaativat.

3 Hajautetun energiantuotannon liiketoiminta

3.1 Yleistä

Suomen energiaklusterista ovat kartoituksia ja selvityksiä tehneet lähinnä KTM, ETLA ja Tekes. Energiaklusteri luetaan yhdeksi maamme yhdeksästä avainklusterista ja se on jaettavissa edelleen energiateknologian ja energialiiketoiminnan osaklustereihin. Edellinen tarkoittaa alan laitteita ja palveluja tuottavia yrityksiä, joista merkittävä osa on kansainvälisessä omistuksessa vuotuisen kasvuvauhdin ollessa n. 15 %. Jälkimmäinen tarkoittaa erilaisiin energiaketjuihin sekä polttoaineiden jalostukseen liittyviä liiketoiminta-alueita kasvuvauhdin ollessa n. 2 %. Panostukset ovat viime vuosina kohdistuneet pääosin energiateknologiaan. Suomi on yksi maailman eniten energiateknologiaan erikoistuneista maista ja Suomen osuus maailmankaupassa on tältä osin ollut kasvussa. Palveluilla ja engineeringillä on nähty olevan klusterissa tärkeä merkitys mm. osaklustereita yhdistävänä tekijänä.

Edellä kuvattu energiaklusterin jako kahteen osaklusteriin soveltuu pääsääntöisesti myös hajautettujen energijärjestelmien liiketoiminnallisiin kuvauksiin. Kehitettäessä uusia laitteita, järjestelmiä ja palveluja on kyse energiateknologiasta ja otettaessa niitä tuotteistettuina ja kaupallistettuina käyttöön, käytettäessä ja ylläpidettäessä on kyse energialiiketoiminnasta. Mikäli hajautettu energiantuotanto (energialiiketoiminta) ei ole kannattavaa, ei voida synnyttää myöskään kannattavaa laitteiden ja palvelujen eli energiateknologian liiketoimintaa. Keskeisiä trendejä näissä liiketoiminnoissa ja niiden ympäristössä ovat mm.:

- palvelujen lisääntynyt rooli elinkaaren eri vaiheissa sekä teknisissä toiminnoissa: ennen myyntiä, toimituspalveluissa, myynnin jälkeen sekä rahoituspalveluissa
- verkottuminen ja ulkoistaminen
- avaimet käteen -toimitusten ja systeemitöimitusten lisääntyminen
- erilaisten operaattoriroolien syntyminen.

Liiketoiminnan merkittävimpinä ajovoimina voidaan pitää:

- öljyn hinnan ja muiden raaka-aineiden kallistumista
- ilmastopimuksia, ympäristövaatimusten tiukentumista
- teknisiä innovaatioita, jotka parantavat merkittävästi mm. energiahyötysuhteita ja ympäristöystävällisyyttä
- paikallisiin energiatarpeisiin (sähkö, lämpö, jäähdytys) perustuvia ratkaisuja
- paikallisiin raaka-aineisiin perustuvia ratkaisuja
- rakennettavien järjestelmien joustavuutta ja monikäyttöisyyttä mm. polttoaineiden suhteen.

3.2 Liiketoiminnan kuvaus

Kaikki liiketoiminnan osapuolet tarvitsevat elinkaaren kuvauksia sen eri vaiheissa. Liiketoiminnan kuvauksissa esiintyvät tärkeimmät käsitteet ovat liikeidea, liiketoimintastrategia, liiketoimintasuunnitelma sekä liiketoimintamalli.

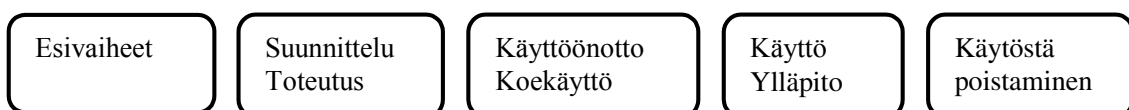
Liiketoimintamalli on muuhun strategisen johtamisen käsitteistöön verrattuna uusi termi ja sille on laadittu lukuisia määritelmiä. Eräs selkeimpiä esitetystä määritelmästä on seuraava: Liiketoimintamallilla tarkoitetaan yrityksen tuote-, palvelu-, informaatio- ja tulovirtoja, yrityksen asemoitumista arvoverkostossa sekä kuvausta eri osapuolten saamista hyödyistä ja tulonlähteistä. Seuraavassa on lueteltu tunnettuja ja pitkään käytössä olleita liiketoimintamallien käsitteitä:

- Liikeidea (business idea/concept), jolla vastataan seuraaviin kysymyksiin: Millä liiketoiminta-alueilla yritys toimii? Mitä se markkinoi? Laajemman määritelmän mukaan se sisältää neljä osatekijää: ydinstrategia, strategiset resurssit, asiakasrajapinta ja arvoverkosto.
- Liiketoimintastrategia (business strategy), joka vastaa kysymyksiin: Mitä yritys tarjoaa millekin markkinasegmentille? Millaisia kanavia se käyttää ja millä resursseilla tuotteita tarjotaan?
- Liiketoimintasuunnitelma (business plan), jossa sisältönä ovat markkinat, markkinoiden kehitys, kilpailu, asiakastarpeet ja niiden kehitys, markkinointi-, rahoitus- ja tuotekehityssuunnitelmat, riskit jne.

Liiketoimintamallia voidaan luonnehtia viitekehikseksi, jossa elementit on yhdistetty loogiseksi kokonaisuudeksi (business architecture). Sitä voidaan käyttää tehtyjen ratkaisujen ja luotujen rakenteiden kuvaamisessa ja ymmärtämisessä sekä pohjana suunnitelmalle siitä, mitä pitäisi ja mitä voidaan tehdä.

3.3 Pienen tuotantolaitoksen elinkaari prosessit

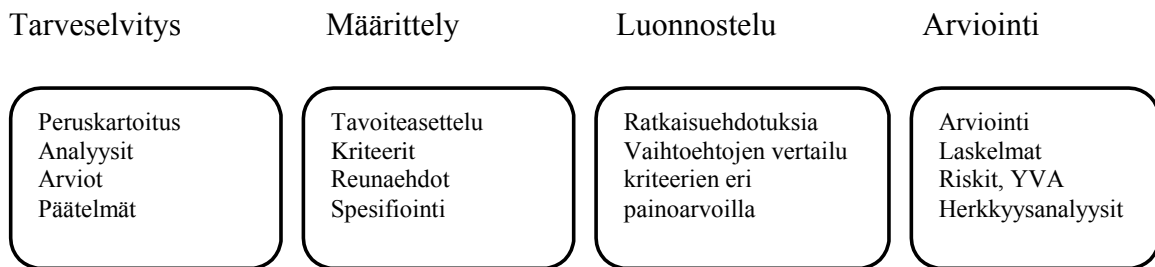
Alla olevassa kuvassa (Kuva 3) esitetyt vaiheet ovat tyypillisiä pääomavaltaisten kohteiden elinkaarianalyysissä (LCA: life cycle analysis) käytettyjä nimityksiä.



Kuva 3. Investointien elinkaarimalli.

Esivaiheet tarkoittavat kaikkia päätöksentekoon tarvittavia selvityksiä ja yleissuunnittelua, joiden tuloksina voidaan tehdä jatkopäätöksiä. Suunnittelu- ja toteutusvaihe tarkoittaa joko tyypillistä tuotekehitystä ja tuotantoa tai esimerkiksi toimitilojen kokonais-suunnittelua ja rakentamista.

Esivaihe on tarkoituksenmukaista jakaa tyypillisiin loogisesti eteneviin vaiheisiin alla olevan kuvan (Kuva 4) mukaisesti.



Kuva 4. Investointiprosessin esivaiheet.

Esivaihemalli on verrattavissa tuotekehityksessä paljon käytettyihin vaihejakomalleihin, joissa on nimetty aiheen edellyttämät toimenpiteet ja niiden jälkeen oleva tarkistuspiste. Tällaista vaihejakomallia tarvitaan, jotta:

- projektisuunnitelmille olisi selkeä pohja
- päätöksentekoa ja ohjausta varten olisi ennakkoon sovitut tarkistuspisteet, joissa tehdään päätökset jatkosta
- käytettäville menetelmille ja työkaluille olisi edeltäpäin sovittu ajankohta
- ulkopuolisille (esim. palvelutarjoajat) olisi varattu tilaisuus osallistua.

Tarveselvitys on perustietojen keräystä ja alustavaa käsittelyä. Keskeistä siinä on selvittää ongelma/tarve sekä mahdollisuudet ja perustelut asian eteenpäinviemiseksi. Siihen kuuluu myös em. liiketoimintaympäristön selvitys. Tyypillisiä menetelmiä ovat sovel-lus-, tarve- ja palvelukuvaukset. Tässä vaiheessa voidaan käyttää mm. energiamallin-nukseen soveltuvia työkaluja.

Esimerkkitapausten liiketoiminnan kehittämisessä voidaan käyttää apuvälineenä seuraavaa tarkistuslistaa:

- liiketoimintaympäristön keskeiset osapuolet
 - laite- ja järjestelmätoimittajat (energiateknologia)
 - laitteiden omistajat ja käyttäjät (energialiiketoiminta)
 - tarvittavien palvelujen tuottajat (palveluliiketoiminta)

- merkittävimmät sisäiset ja ulkoiset kehittämistarpeet ja -paineet
- rajoitukset, reunaehdot ja kriittiset tekijät
 - mahdollistavat (enabling) uudet teknologiat
 - rajoittavat ”pullonkaulateknologiat”
- alueittain priorisoidut kehittämismahdollisuudet
 - energiaraaka-aineen vaihdos, tuotannon monipuolistaminen
 - laitteiden toimintojen ja suorituskyvyn parantaminen
 - uusien tuoterakenteiden luominen, rakenteen halpeneminen
 - laajempien kokonaisuuksien luominen, integrointi
 - laitteiden ohjattavuuden kehittäminen
 - käyttöliittymien kehittäminen
 - kokojen pienentäminen, sijoittelumahdollisuuksien parantaminen
 - uudet sovelluskohteet ja käyttötavat
- kehittämis- ja kokeilutoiminnan kannalta potentiaalisimman sovellusympäristön valitseminen
- referenssit, kokemukset, mahdollisuudet oppia muilta alueilta.

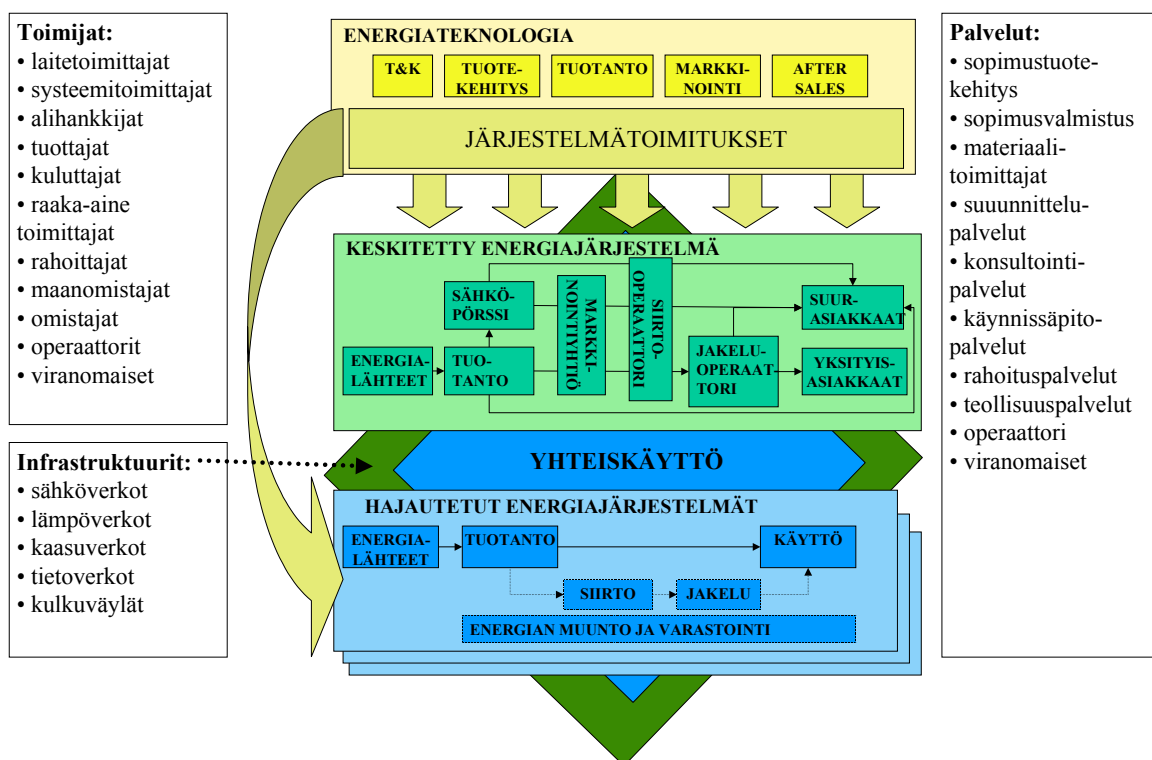
Määrittelyvaiheen tarkoitus on hahmotella realistisia tavoitteita ja relevantteja päätöksenteossa käytettäviä kriteereitä. Spesifioinnin tuloksena saatavasta vaatimusmäärittelystä on käytävä ilmi ratkaisumallilta vaadittavat toiminnot, suorituskyky ja halutut ominaisuudet, mm. käytettävyys ja sen osatekijät. Spesifioinnin jälkeen on erittäin tärkeää suorittaa validointi. Siinä verrataan määriteltyjä vaatimuksia alkuperäisiin tarpeisiin ja varmistetaan siten, että tehdään ”oikeita asioita”.

Luonnosteluvaihe on luonteeltaan synteesiä. Siinä hahmotellaan vaihtoehtoisia toteutusratkaisuja, rajapintoja, systeemitopologiaa sekä mm. sijoittelua, tilankäyttöä ja mahdollisia teknologiavalintoja. Valmistajan kannalta tässä on tarkasteltavana perusratkaisun skaalattavuus ja muunneltavuus sekä siten mahdollisuudet suurempiin määriin. Eri kriteerien painotuksilla sekä tarkistuslistojen avulla voidaan vertailemalla hakea sopivimmalta tuntuvaa ratkaisua. Apuna voidaan käyttää myös mallinnusta ja simulointia.

Arviointivaiheessa, joka edeltää ratkaisevaa jatkopäätöstä, tehdään mm. investointi- ym. kannattavuuslaskelmat, riskikartoitus, ympäristövaikutusten arviointi (YVA) ja herkkyysanalyysit. Tähän kuuluvat tapauskohtaiset laskentaperusteet, kuten sisäinen korkokanta ja takaisinmaksuajat. Tässä lähtökohtana on elinkaarikustannusten tarkastelu (Life Cycle Cost, LCC). Sen avulla päätöksenteossa otetaan huomioon kaikki merkittävät

elinkaaren aikana syntyvät kustannukset ja tuotot. Elinkaaritarkastelu on eri vaihtoehtojen taloudelliseen optimointiin tähtäävä ajattelutapa. Sitä voidaan käyttää hankkeen kaikissa vaiheissa päätöksenteon ohjaamiseksi. Tarveselvitysvaiheessa voidaan elinkaaritarkastelua käyttää päätöksenteon apuvälineenä vastaavista kohteista kerättyjen tietojen pohjalta. Mm. ympäristöministeriö on kerännyt tilastotietoja erilaisten kohteiden investointi- ja käyttökustannuksista kWh:a kohden. Siten jo tarveselvitysvaiheessa voidaan harkita, mikä perusvaihtoehdoista osto – vuokraus, oma suunnittelu ja toteutus vai täydennysrakentaminen – on kokonaistaloudellisin ratkaisu.

3.4 Toimijat ja verkostot



Kuva 5. Energiaklusteri.

Kuva 5 esittelee energialiiketoiminnan ja energiateknologian toimijoita. Ylhäällä oleva ”energiateknologia”-laatikko kuvaa tavanomaista energiateknologian arvoketjua, joka toimittaa tuotteita energialiiketoiminnalle. ”Keskitetty energiajärjestelmä” kuvaa puolestaan keskitetyn energiajärjestelmän toimintaa, jossa energia siirtyy yksityiskuluttajalle paikallisen jakeluverkon operaattorin kautta, mutta suurasiakkaat voivat ostaa energiansa suoraan energiantuottajalta tai sähköpörssistä. Energia joudutaan kuitenkin useimmissa tapauksissa siirtämään suurasiakkaallekin kanta- tai alueverkon kautta pois lukien tilanne, jossa suurasiakas omistaa siirtoyhteyden tuotantolaitokselta kulutuspiisteeseensä. Tällaista

tilannetta voidaankin jo oikeastaan pitää kohdan ”hajautetut energiajärjestelmät” mukaisena, jossa siirto ja jakelu on hypätty ketjussa ylitse ja energia tuotetaan paikallisesti.

Kuvan vasemmalla puolella olevassa ylemmässä palkissa on lueteltu toimijakenttään kuuluvia toimijoita. Alemmassa palkissa on kuvattu puolestaan niitä infrastruktuureja, jotka palvelevat energialiiketoiminnan osa-alueita. Oikeanpuoleinen palkki sisältää puolestaan energiaklusterin käyttämiä palveluita.

3.5 Toimijoiden kuvauksia

Hajautettuihin energiajärjestelmiin liittyy useita erilaisia toimijoita. Tässä yhteydessä toimijalla tarkoitetaan (yhtä tai useampaa) henkilöä, organisaatiota tai yritystä. Toimija voi siis olla esimerkiksi jokin valvovassa roolissa oleva organisaatio tai – kuten useimmissa tapauksissa – liiketoimintaa harjoittava ja voittoa tavoitteleva yritys. Toimijat suorittavat tiettyjä usein toisiinsa kytkeytyviä toimintoja, mutta ne voivat myös sijoittua eri puolille arvoketjua.

Tavanomaisia energiajärjestelmiin liittyviä toimintoja ovat esimerkiksi: lakien ja asetusten säätäminen ja niiden valvonta; energian tuottaminen, siirtäminen, varastointi ja jakelu; verkon hallinta ja valvonta; energiamarkkinoilla toimiminen; tuotannon, kulutuksen ym. mittaaminen; raaka-aineiden tuotanto (esim. lietelanta, teollisten prosessien jätteet) varastointi ja kuljetus. Kattavan kuvauksen toimijoista ja niiden rooleista voi lukea julkaisusta: Distributed Generation Business Modelling (Kartseva et al. 2003).

Seuraavassa toimijoiden rooleja ja niihin liittyviä vaatimuksia katsotaan pienen paikallisen järjestelmän kannalta. Tarkoitus ei ole kuvata kaikkia mahdollisia toimijoita, rooleja ja vaatimuksia, vaan luoda esimerkinomainen katsaus muutamiin. Koska asioita on usein helpompi tarkastella jonkun konkreettisen esimerkin avulla, voi lukija verrata tässä kuvattuja toimijoita esimerkiksi liitteessä A kuvattuun maatalouden biokaasusovellukseen.

Energiaresurssin omistaja. Ensimmäiseksi tarvitaan energiaa tuottava kohde, jonka ympärille muu toiminta rakentuu. Kohde voi olla vaikkapa maatila, joka tuottaa esim. eläinten lantaa (ja/tai muita biojätteitä) varsinaisen ydintoimintansa (maidon tai lihan tuotanto, viljely tms.) ohessa. Maatilan omistaja ei välttämättä halua itse ryhtyä energian tuottajaksi, vaan saattaa hyvinkin tarjota raaka-aineitaan, alueitaan ja toimitilojaan jollekin muulle, jonka toimintakenttään ja osaamiseen energiantuotanto sopii paremmin. Tähän voi olla mm. seuraavia syitä:

- Energian tuottaminen ei ole maatilan omistajan pääasiallinen elinkeino, joten hänellä ei välttämättä ole kiinnostusta asiasta huolehtimiseen ja siihen perehtymiseen.

- Energian tuottaminen vaatii erikoisosaamista, jota omistajalla ei välttämättä ole.
- Omistaja ei ole tietoinen kaikista riskeistä eikä ole valmis ottamaan niitä.

Joka tapauksessa energiaresurssin omistajan täytyy olla jollain tavalla mukana toiminnassa. Hän voi kuitenkin sopivin ehdoin (esim. vuokraus) siirtää vastuun jollekin muulle osapuolelle, joka kantaa toiminnan riskit, mutta myös kerää suurimman osan mahdollisista taloudellisista hyödyistä.

Energiakonsultti. Mikäli energiaresurssin omistajalla ei ole riittäviä resursseja energian tuotannon organisoimiseksi ja käynnistämiseksi, hän voi turvautua konsultin apuun. Konsultin tulisi tuntea erilaiset energiatuotantotekniikat, alan nykytilanne sekä toimialueella vaikuttavat yritykset. Konsultin tehtävänä on tukea toimeksiantajaansa esim. prosessin kuvaamisessa, tarpeiden määrittelemisessä, tarjouspyyntöjen laatimisessa sekä yhteydenpidossa alan yrityksiin. Myös tarvittavien lupien hankkiminen sekä asiaan liittyvien lakien ja säädösten kartoittaminen voivat kuulua konsultin tehtäviin. Konsultin toimintakentän pitäisi olla riittävän laaja niin maantieteellisesti kuin osaamisenkin kannalta. Muussa tapauksessa konsultoitavia kohteita on todennäköisesti niin vähän, ettei konsultin toiminta ole kannattavaa. Konsultti voi toimia myös alla kuvatun integraattorin roolissa.

Integraattori. Koska toiminnan organisointi järjestelmän tai laitoksen rakentamis- ja pystytysvaiheessa vaatii tietynlaista osaamista ja kokemusta, on toimijakentällä perusteltu paikka myös järjestelmäintegraattoreille. Integraattorin tehtävänä on vastata toiminnasta kokonaisvaltaisesti suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa sekä käyttöönotossa. Sen tehtävänä on huolehtia tarvittavien suunnitelmien teettämisestä (esim. rakennus-, sähkö-, lvi-, automaatio- ja prosessisuunnittelu) ja eri tahojen yhteistyön toimivuudesta niin suunnittelu- kuin rakentamisvaiheessakin. Integraattorin roolissa saattaa toimia jokin monialainen yritys, joka teettää alihankintana sellaiset osuudet, joita se ei itse pysty tekemään (esim. insinööritoimistot).

Huoltoyritys. Kuvaava esimerkki mahdollisesta huoltofirmasta on pakettiautoon perustettava yhden miehen konttori, joka sisältää tarvittavat tietotekniset välineet sekä tyypilliset mekaanisten osien huoltolaitteet. Huoltomiehen pitäisi olla todellinen moniosaaja, koska pienellä markkinasegmentillä toimiva yritys ei luultavasti elätä useita työntekijöitä. Markkina-alueen ja huoltokohteiden skaalan pitäisi olla suhteellisen laajoja, jotta huollettavia kohteita olisi riittävästi.

Valvojat ja operaattorit. Prosesseja pitää lähes poikkeuksetta myös valvoa ja ohjata jollain tasolla. Toiminnan pienimuotoisuuden ja kustannusten karsimisen vuoksi hajautettujen energiaresurssien valvontaan ja operointiin ei ole mahdollista laittaa kokopäivätoimista työntekijää. Kuten tässä luvussa on aikaisemmin kuvattu, operoinnin ja valvonnan pitäisi siis onnistua etäyhteyden avulla. Mikäli etävalvottavia prosesseja on tarpeeksi paljon, avaa

se toimintamahdollisuuden valvontaa harjoittavalle yritykselle. Yritys voisi hallita kaukodiagnostiikan avulla useita prosesseja keskitetystä valvomosta. Pienen yksittäisen sovelluksen valvominen ei välttämättä tarvitse taakseen yritystä, vaan prosessin toiminnasta vastaava henkilö voi saada prosessilta tulevat ilmoitukset esimerkiksi matkapuhelimeensa.

Paikallisen energiaverkon operaattori. Amerikkalainen standardi IEEE Std1547-2003 edellyttää, että jos liitännänpisteen takana on yli 250 kVA:n hajautettua sähkön tuotantoa, pitää energiaressurin paikallisesta säätimestä saada jakeluverkkoautomaatiojärjestelmään mittaustiedot verkkokytken tilasta, pätötehosta, loistehosta ja jännitteestä. Euroopassa ei vastaavaa yhtenäistä standardia ole, vaan vaatimukset ovat tapauskohtaisia. Täälläkin on hallintajärjestelmän syytä kyetä tuottamaan ainakin kyseiset tiedot jakeluautomaatiojärjestelmälle. Jos hajautetuista energiaressursseista saadaan tehoennuste esim. ajosuunnitelman muodossa, voidaan sitä käyttää apuna verkon käyttötoimenpiteiden suunnittelussa ja siten välttää verkon pullonkauloja. Jos hajautettua tuotantoa on huomattavan paljon verrattuna jakeluverkon siirtokapasiteettiin, niin jakeluverkko-operaattorilla voi olla tarvetta tilapäisesti rajoittaa hajautettujen energiaressurssien tuotantoa. Tarvitaan siis kaksisuuntainen tiedonsiirtoyhteys sähkönjakeluautomaation ja paikallisen hajautetun tuotannon automaation välillä. Vastaavasti kaukolämpö- ja kaasuverkkojen käytössä voi olla tarve tietää niihin liitettyjen hajautettujen energiaressurssien ajosuunnitelmat. Toisaalta hajautettujen ressurssien hallinnalla on tarve tietää energiaverkkojen toiminnan suunnitellut keskeytykset ja rajoitukset. Vasteaikavaatimukset näiden verkkojen kanssa tiedonsiirrossa ovat selvästi lievempiä kuin sähköverkko-operaattorin suuntaan.

Sähkön vähittäiskauppias. Paikallisten energiaressurssien tehokas liittäminen sähkömarkkinoihin edellyttää sähkön vähittäiskauppiana toimivaa osapuolta, joka kokoaa erilaisia energiaressursseja yhteen niin, että saavutetaan riittävä volyyymi ja ennustettavuus. Tiedonsiirtovaatimukset riippuvat ohjattavan resurssin dynamiikasta ja luotettavuudesta. Jos resurssia ei voida ohjata nopeasti, mutta se on luotettava ja hyvin ennustettavissa, riittää harvoin tapahtuva, pienimuotoinen tiedonsiirto. Mikäli resurssi on nopeasti ohjattavissa, ohjattavuutta halutaan usein hyödyntää oman taseen ennustettavuuden parantamiseksi. Vaihtoehtoisesti sitä voidaan myydä nopeaa ohjattavuutta tarvitseville sähkömarkkinoiden osapuolille. Nopeimmillaan sähkömarkkinoita varten tarvitaan noin 3 minuutin vasteaikoja sekä nopean ohjattavuuden toteuttamiseksi että äkillisten tehomuutosten havaitsemiseksi. Ohjausten vaste on myös pysyttävä todentamaan, mikä voi myös edellyttää minuuttitaso mittauksia. Lisäksi sähkökauppa edellyttää laskutusmittauksia. Sähkön laskutusmittaukset ovat Suomessa sähkönjakeluverkkoyhtiön monopoli, joten kustannuksissa säästäminen integroimalla myös laskutusmittaukset hallintajärjestelmään onnistuu vain niissä poikkeustapauksissa, joissa verkkoyhtiö on halukas yhteistyöhön. Juuri monopolin vuoksi mittarointiyhtiöiltä puuttuvat kannustimet hoitaa laskutusmittaukset asiakkaan kannalta edullisimmalla tavalla. Paikallisten energiaressurssien arvo sähkömarkkinoilla siis kasvaa, jos ne voidaan koota yhteen virtuaaliseksi voimalaitokseksi, jonka tehoa voidaan ennustaa ja ohjata kuten suurta voimalaitosta.

Sähkömarkkinoiden tasevastaava osapuoli. Sähköä on hankala varastoida. Niinpä sähkömarkkinoilla tarvitaan tasevastaavia osapuolia, jotka huolehtivat sovitun ja toteutuneen sähkötaseen eroista. Hajautettuja energiaresursseja hallitseva sähkön vähittäiskauppias voi joskus olla hyvin suuri ja itse sähkömarkkinoiden tasevastaava osapuoli. Yleensä kuitenkin vähittäiskauppias ostaa tasevastuun joltakin muulta sähkömarkkinoiden osapuolelta. Vähittäiskauppias voi myös myydä resurssiensa ohjattavuutta tasevastaavalle. Hajautettujen energiaresurssien kokoojan tehtävänä on etävalvoa ja -ohjata suurta määrää erilaisia hajautettuja energiaresursseja niin, että käyttökustannukset minimoituvat ja resursseista saadaan maksimaalinen hyöty energiamarkkinoilla. Kokoojana voi toimia ainakin sähkön vähittäiskauppias, kiinteistön etähallintayritys tai hajautettujen energiaresurssien hallintaan erikoistunut yritys. Mikäli sähkömarkkinoiden pelisäännöt sallivat, tulee myös sähkön jakeluverkko-operaattori kysymykseen.

Sähköjärjestelmän järjestelmävastaava siirtoverkko-operaattori. Sähköjärjestelmän järjestelmävastaavalla on toiveita laajamittakaavaisen hajautetun tuotannon hallinnan suhteen, vaikka hajautetut energiaresurssit ja järjestelmävastaavat tuskin siirtävät tietoa suoraan keskenään. Kun hajautetun tuotannon määrä sähköjärjestelmässä on suuri, tulee sen liittyä nykyistä käytäntöä paremmin ja nopeammalla aikajänteellä sähkömarkkinoihin, jotta järjestelmävastaava voi suoriutua tehtävästään. Sähköä ei voi juuri varastoida, joten sähköjärjestelmä toimii vain, kun sen tuotanto ja kulutus ovat koko ajan tasapainossa. Jos tasapaino menetetään, sähköjärjestelmän toiminta keskeytyy. Hitaammalta osin tasapainon hoitavat yleensä sähkömarkkinat. Järjestelmän tasapainosta vastaavat järjestelmävastaavat, joina toimivat valtakunnalliset siirtoverkko-operaattorit. Tehtävän suorittamisessa siirtoverkko-operaattorit tarvitsevat nopeasti ohjattavissa olevia energiaresursseja. Osan niistä ne hankkivat käyttöönsä säätösähkömarkkinoilta. Järjestelmävastaavan käyttöön ja säätösähkömarkkinoille voidaan tarjota myös pieniä energiaresursseja, kunhan ne ovat nopeasti ohjattavissa ja ne on koottu yhteen riittävän suuritehoiseksi kokonaisuudeksi. Siirtoverkko-operaattorin tehtävä tasapainon ja toimintavarmuuden ylläpitäjänä vaatii ohjattavia resursseja sitä enemmän, mitä enemmän järjestelmässä on huonosti ennustettavia ja huonosti sähkömarkkinoihin kytkettyjä energiaresursseja. Riski sähkömarkkinoiden toimintahäiriöistä kasvaa jos riittävä hintajousto puuttuu markkinoilta.

3.6 Pienen energiantuotantolaitoksen elinkaari

Kuten kappaleessa 3.3 kuvattiin, kannattavuuden arviointia tehdään pääasiassa kahdessa vaiheessa. Esiselvitysvaiheessa kannattavuutta arvioidaan silloin, kun kartoitetaan liiketoimintaedellytyksiä ja kokonaispotentiaalia. Toinen kannattavuuden arviointiaika on ennen investointi- ja toteutuspäätöstä investointilaskelmiin sekä riski-, YVA- ym. arviointeihin perustuen.

Tässä yhteydessä liiketoimintamalleista voidaan saada hyvä esimerkki tarkastelemalla pienen sähkölaitoksen elinkaarta seuraavien vaiheiden kautta:

- esivaihe, joka koostuu seuraavista osista:
 - mahdollisuuksien tunnistaminen
 - karkean suunnitelman tekeminen ja arvioiminen sekä
 - ensimmäinen investointipäätös, johon yleensä sisältyy tarkemman suunnitelman tekeminen
- suunnittelu ja toteutus, jotka saattavat sisältää useita iterointikiertoja välipäätöksineen (jatketaanko projektia)
- käyttöönotto
- käyttö ja ylläpito, johon voi sisältyä muutama laitoksen kannattavuutta parantava modernisointi
- laitoksen sulkeminen.

Esivaiheen tärkein toimija on tiennäyttäjänä toimiva konsultti, jonka tehtävänä on etsiä aktiivisesti sopivia hajautetun energiatuotannon kohteita. Konsultilla pitää olla hyvä tuntemus mahdollisista kohteista, jotta hän pystyisi tunnistamaan niistä tärkeimmät suhteellisen pienellä työllä. Näiden kohdalla hän laatii tarkemmat suunnitelmat, joita hän voi tarjota sopiville rahoittajille.

Suunnittelu- ja toteutusvaiheessa mukaan tulee useita muita toimijoita. Ensimmäisen tarkempien suunnitelmien tekeminen edellyttää usein niin vankkaa asiantuntemusta, että työtä pitää tilata sovellusalueen suunnitteluun erikoistuneelta toimijalta. Suunnittelun kohteena olevat rakennukset, prosessikomponentit, sähköasennukset, automaatiojärjestelmät jne. voivat kaikki edellyttää kyseiselle alalle erikoistunutta suunnittelijaa. Toteutukseen tulevat mukaan komponenttien valmistajat, jotka kaikki toimivat omalla erikoisalueellaan. Toteutukseen palkataan usein myös projektin vetäjä, joka vastaa kaikkien töiden suorittamisesta ajallaan ja joka usein myös tukee laitoksen käyttöönottoa.

Käyttö- ja ylläpitojakson aikana laitoksen pitää tuoda takaisin kaikki edellisissä vaiheissa syntyneet kustannukset sekä kohtuullinen määrä voittoa. Laitostyyppistä ja sen toteutuksesta riippuen investointi- ja käyttökustannukset vaihtelevat, mutta siitä riippumatta tarvitaan toimijoita, jotka valvovat laitosta ja korjaavat sen erilaisissa vikatapauksissa. Käyttöjakson aikana saattaa myös esiintyä tarpeita ja mahdollisuuksia laajentaa laitosta. On myös mahdollista, että teknologinen kehitys tuo uusia tehokkaampia laitteita, joihin kannattaa siirtyä. Mahdollisten modernisointien suunnittelussa kaikki edellä mainitut toimijat tulevat mukaan tavalla tai toisella.

Laitoksen sulkeminen on nykyään myös otettava huomioon elinkaarikustannusten ja -hyötyjen arvioinnissa. Laitosten rakennus- ja käyttö lupien myöntämiseen – silloin kun sellaisia edellytetään – sisältyy yhä useammin pykälä laitospaikan palauttamisesta laitoksen rakentamista edeltävään tilaan. Tällaisessa tapauksessa osa laitoksen käytön hyödystä joudutaan rahastoimaan, jotta laitoksen purkukustannukset saataisiin peitettyä.

3.7 Kannattavuuden arviointi

Hajautetun energiantuotannon kannattavuus rakentuu useiden toimijoiden tarjoamasta infrastruktuurista. Mikäli hajautettu energiantuotanto saadaan kannattavaksi, myös näiden toimijoiden liiketoiminta voitaneen arvioida kannattavaksi. Ongelmana kuitenkin on pystyä ennustamaan se, miten toimijat tulevat yhdistämään hajautetun energiantuotannon tuotesalkkunsa mahdollisesti muilla alueilla markkinoitavien tuotteiden kanssa. Tämä ongelma voidaan ainakin osittain kiertää arvioimalla hajautetun energiantuotannon määrätyn toiminnon aiheuttamaa liiketoimintaa olettamalla, että jokaisen toiminnon pitää olla kannattava, vaikka ne yhdistettäisiin suurempiin kokonaisuuksiin synergioiden saavuttamiseksi.

Viemällä tätä ajatusta eteenpäin voidaan todeta, että yksinkertaisin tapa arvioida eri toimintojen kannattavuutta on laskea toiminnon vaikutuksia toimijan taseissa oletetun toimintatavan mukaisesti. Näin tehdäänkin kassavirta- tai vastaavissa laskelmissa tai varsin tarkasti. Tässä yhteydessä kuitenkin huomattavasti karkeampi laskelma riittää ja hyvä kuva mahdollisista kannattavuusongelmista voidaan saada tarkastelemalla toiminnon vaikutuksia liikevaihtoon ja taseen vastaavaan puoleen. Tämä tarkoittaa, että sopivan tuotantoyksikön osalta on arvioitava seuraavat erät:

- liikevaihto:
 - varsinaisesta toiminnasta syntyvä liikevaihto (energian myynti, järjestelmien ja komponenttien myynti, palvelutuotteiden myynti)
 - liiketoiminnan muut tuotot (mahdolliset muut tuotot sivutuotteiden myynnistä)
 - ostetut materiaalit ja palvelut
 - henkilöstökulut
 - poistot
 - rahoitustuotot ja kulut
 - verot

- tase, vastaavaa:
 - aineettomat hyödykkeet (esim. energiateknologiatoimittajan patentit ja muut tietotaito)
 - rakennukset
 - prosessilaitteet
 - sähköasennukset
 - automaatiolaitteet
 - muut laitteet
 - vaihto-omaisuus.

Energialaitos edellyttää ympärivuorokautista valvontaa, vaikka laitos olisikin pitkälle automatisoitu ja käytännöllisesti katsoen huoltovapaa. Voidaan olettaa, että tähän tarpeeseen syntyy valvontafirmoja, jotka yhdistävät monta tällaista kohdetta yhteiseen valvontapisteeseen. Valvontapisteessä on tarpeelliset laitteet, joiden avulla etädiagnostiikkaa ja -ohjausta hyödyntäen voidaan analysoida syntyviä häiriöitä ja tarvittaessa ohjata laitos turvalliseen tilaan. Keskeisiksi valvontatoiminnan kannattavuuden kannalta nousevat tällöin seuraavat tekijät:

- Kuinka montaa kohdetta voidaan ajatella valvottavan yhtäaikaa?
- Kuinka monta henkilöä tarvitaan 24h/7d/365d palvelun hoitamiseksi?
- Mitkä ovat valvontapisteen laitteiden kustannukset?

Palvelu voidaan hinnoitella siten, että palvelun ostaja maksaa kiinteän kuukausihinnan sekä palvelumaksun suoritetuista hälytyksistä. Valvonta voidaan hoitaa pääosin jopa maantieteellisesti kaukana sijaitsevasta energialaitoksesta, mutta tämän lisäksi tarvitaan myös käyntejä paikan päällä etenkin silloin, kun kyseessä on ongelmallisempien häiriöiden korjaaminen. Tähän tehtävään voidaan ajatella useissa kohteissa kiertävä huoltomies, jolla on pakettiautossaan tarvittavat työkalut ja varaosat ongelmien ratkaisemiseksi ja laitteiden huoltamiseksi. Tässä tapauksessa ajoetäisyydet kuitenkin rajoittanevat huoltokohteiden lukumäärää. Hälytyksen sattuessa huoltomies voisi päästä omalla tietokoneellaan käsiksi laitoksen ohjausjärjestelmään ja analysoida ongelmia sitä kautta. Tämä edellyttää nopeampia tiedonsiirtoratkaisuja verrattuna valvontaesimerkkiin, jossa ei tarvitse siirtää kuin yksinkertainen hälytys ja muutama ohjausviesti. Huoltomiehen toimintaa voitaisiin helpottaa, jos energialaitoksen lähettyviltä löytyisi henkilö, joka pystyisi suorittamaan yksikertaisia toimenpiteitä huoltomiehen opastuksella.

4 Toteutusteknologiat

4.1 Informaatio- ja kommunikaatioteknologiat

Informaatio- ja kommunikaatioteknologiat ovat viime vuosina kehittyneet nopeasti ja vaikutukset näkyvät selvästi useilla teollisuuden aloilla. Suurimpia muutoksia ovat olleet tiedonsiirron nopeutuminen, laitteiden suorituskyvyn kasvaminen ja standardien kehittyminen. Myös kuluttajakäyttöön tarkoitettu tietotekniikka on kehittynyt, ja joitain tekniikoita (esim. PC-kortit) voidaan hyödyntää myös automaatiojärjestelmissä. Yleisen tietotekniikan muutos tahti jatkuu tulevaisuudessakin nopeana, mikä on huomioitava myös uusien tietojärjestelmien suunnittelussa. Standardiratkaisuihin perustuvat ohjelmistoalustat, sovelluskehyykset ja järjestelmien integrointi ovat tärkeitä, kun halutaan yhdistää etäällä toisistaan sijaitsevat toimijat kustannustehokkaasti. Tässä kappaleessa tarkastellaan yleisiä ohjelmisto- ja kommunikaatiotekniikoita, joita voidaan käyttää hajautetussa energiajärjestelmässä.

4.1.1 Ohjelmistoarkkitehtuurit

Ohjelmistoarkkitehtuurien merkitys sekä niihin kohdistuva kiinnostus ovat kasvussa. Ohjelmistoilta vaaditaan yhä enemmän monimutkaisia ominaisuuksia, joiden toteutus riippuu paljon valitusta ohjelmistoarkkitehtuurista. Erityisesti hajautetussa ja heterogeenisessä järjestelmässä arkkitehtuurin merkitys korostuu. Laitepuolella on jo saavutettu useimmille sovellusalueille riittävä taso, mutta ohjelmistopuolella tulevaisuuden verkottuneeseen järjestelmään sopivia uusia ohjelmistoratkaisuja syntyy jatkuvasti.

Maantieteellisesti hajautetussa järjestelmässä informaatiota tarvitaan useissa eri paikoissa ja formaateissa, joten ns. palvelupohjainen arkkitehtuuri soveltuu siihen perinteistä tiukasti kytkettyä asiakas/palvelin-mallia paremmin. On arvioitu, että vuonna 2007 palvelupohjainen arkkitehtuuri tulee olemaan yleisimmin käytössä oleva toteutustapa, ja että noin 75 % sovelluspalvelimista tarjoaa vain palveluita, joita käytetään toisissa laitteissa sijaitsevien käyttöliittymien tai ohjelmointirajapintojen kautta (Natis 2003). Käyttöliittymänä voi toimia esimerkiksi kevyt asiakassovellus, työaseman www-selain tai matkapuhelin.

Asiakas/palvelin-arkkitehtuurissa jokainen verkon resurssi (tietokone tai prosessi) on joko asiakas tai palvelin. Näin saavutetaan nopeat kaksipisteyhteydet (point-to-point), mutta toiminta on joustamatonta. Vikaantunut tai ylikuormitettu palvelin saattaa muodostua järjestelmän pullonkaulaksi. Verkkosovelluksissa asiakas/palvelin-arkkitehtuuri tarkoittaa yleensä monikerrosarkkitehtuuria, johon kuuluvat tietokanta, sovelluspalvelin ja käyttöliittymä. Portaalin rakenne mahdollistaa erilaisten käyttöliittymien ja monipuolisten tiedonsaantitapojen toteuttamisen. Toisaalta komponentointi ja kerrosarkkitehtuuri lisäävät kommunikointitarpeita ohjelmiston eri osien välillä, mikä laskee järjestelmän suorituskykyä.

Palvelupohjainen arkkitehtuuri (SOA, Service-Oriented Architecture) perustuu asiakas/palvelin-mallin periaatteisiin. Suurimpia eroja yleiseen asiakas/palvelin-malliin ovat löyhät kytkennät ohjelmistokomponenttien välillä ja erillisten palvelurajapintojen käyttö. Arkkitehtuurin vahvuuksia ovat standardiprotokollien käyttö (esim. SOAP, UDDI ja muut Web services -standardit), standardimuotoiset palvelukuvaukset (esim. WSDL), toiminnallisen uudelleenikäytön helpottuminen, löyhät kytkennät eri osapuolten välillä ja integroitavuus muihin järjestelmiin. Suurimmat kehitystarpeet liittyvät tietoturvaan ja tiedon siirron tehostamiseen. Palvelupohjaista arkkitehtuuria pidetään jo nyt parhaimpana vaihtoehtona uusien järjestelmien suunnitteluun, erityisesti jos ohjelmistolta vaaditaan modulaarisuutta ja tapahtumapohjaista tiedonvälitystä. Myös tulevaisuuden ohjelmistoagentteja ajatellen palvelupohjaisuus on hyvä ratkaisu uuden tietojärjestelmän arkkitehtuuriksi.

Viime vuosina yleistyneessä vertaisverkkoarkkitehtuurissa (P2P, peer-to-peer) kaikilla verkoon kuuluvilla työasemilla on samat oikeudet ja vastuut. Puhtaassa P2P-mallissa ei ole keskuskoneita, mutta hybridi-mallissa keskitetty palvelin jakaa resurssit ja osoitteet. Yksi P2P-mallin sovellusalue on itseorganisoituvat ad hoc -verkot, joissa jokainen verkon laite reitittää liikennettä eteenpäin. Hajautetussa automaatioissa esim. tietyssä laitekokonaisuudessa olevat älykkäät säätimet voisivat kommunikoida keskenään P2P- tyyppisesti. P2P-malli sopii käytettäväksi myös mm. kunnossapidon ja tukipalveluiden asiantuntijaverkostoissa.

MOM (Message Oriented Middleware) arkkitehtuuri perustuu asynkroniseen viestien lähetykseen osapuolten välillä. Kommunikaation osapuolilla on omat viestijonomanagersinsa, jotka hoitavat viestien välityksen joko suoraan tai viestinvälityspalvelimen kautta, jolloin osapuolet ovat hyvin löyhästi kytkettyjä toisiinsa. MOM parantaa ohjelmistojen yhteensopivuutta, siirrettävyyttä ja joustavuutta. Sanomavälityspalvelimien käyttö on laajentunut asynkronisista sovelluskutsuista mm. järjestelmien integrointiin.

Yhä useammat ohjelmistot ovat komponenttipohjaisia ja helposti päivitettäviä, mutta ohjelmistoalustan vaihto on sen sijaan raskas prosessi. Tällä hetkellä näyttää siltä, että lähi-tulevaisuuden isoissa järjestelmissä käytetään joko .Net- tai J2EE-alustaa, muita kilpailijoita ei ole näköpiirissä. J2EE koetaan yleisesti sopivammaksi silloin, kun vaatimuksiin kuuluvat pitkän aikavälin arkkitehtuurinen yhteensopivuus, jo olemassa olevan järjestelmän (legacy system) laajentaminen ja valmistajariippumattomuus. (Driver 2002)

Sovellusten vuokraus (ASP, Application Service Provider) on yleistynyt viime aikoina. Sen avulla voidaan ulkoistaa ohjelmistojen ylläpito ja maksaa palveluista vain käyttömäärän mukaan. Tämän mallin heikkous on riippuvuus ulkopuolisesta toimijasta, mutta helposti korvattavissa olevien tai vain harvoin tarvittavien palvelujen käyttöön sovelluspalvelujen vuokraus sopii hyvin.

4.1.2 Järjestelmien integrointi

Järjestelmien integroinnilla tarkoitetaan osajärjestelmien yhdistämistä kokonaisuudeksi, jossa tietoja ja palveluja voidaan jakaa tehokkaasti. Laajojen tietojärjestelmien kehittäminen on kallista ja vaatii laaja-alaista osaamista. Siksi valmiiden sovellusten integroinnilla saavutetaan usein paras ohjelmistoratkaisu. Valmisohjelmistojen käyttöä puoltavia seikkoja ovat myös ennakoitavissa olevat kustannukset, helpompi päivitettävyyys ja etukäteen tunnettu tuote. Nykyään useimmat ohjelmistot tukevat standardirajapintoja, joiden avulla integrointi myös sidosryhmien järjestelmiin onnistuu ilman erikoisratkaisuja. Oleelliset asiat integrointiprosessissa ovat olemassa olevan järjestelmän kartoitus, rajapintojen kartoitus ja kuvaus, tietomallit ja tietovirrat sekä roolien ja vastuunjaon mallintaminen. Hajautetussa energijärjestelmässä ei riitä pelkkä tietojen integrointi, vaan myös toimintoja on pystyttävä integroimaan, koska esim. vikatilanteessa useiden sovellusten on reagoitava tapahtumiin automaattisesti.

Järjestelmien integrointia varten on olemassa useita toteutustekniikoita ja tuotteita (esim. IBM WebSphere, BEA Weblogic). Alatasolla kyse on yksinkertaisesti siirrettävien viestien muokkaamisesta molempien osapuolten ymmärtämään muotoon. Käytännössä integrointi hoidetaan yleensä käyttämällä sanomanvälitysarkkitehtuuria, jossa välityspalvelin vastaa viestien käsittelystä. Integrointia voidaan yksinkertaistaa sitoutumalla vain yhteen ohjelmistotoimittajaan, mutta käytännössä tämä aiheuttaa muita ongelmia eikä yleensä sovellu laajaan, useiden organisaatioiden käyttämään järjestelmään.

XML-pohjaiset integrointiratkaisut ovat yleistyneet nopeasti. Niiden suurimpia heikkouksia ovat tiedonkäsittelyn hitaus ja tilantarve, mutta laitteiden kasvaneen suorituskyvyn ja tiedon siirron halpenemisen myötä nämä ongelmat muuttuvat vähemmän merkittäviksi. Saavutettavia etuja ovat mm. laajennettavuus, rakenteisuus sekä tiedon kuvauksen ja rakenteen kulminen tiedon mukana. Lisäksi XML-muotoisesta tiedosta on helppo luoda esityksiä erilaisille päätelaitteille. Käytännössä integrointi suoritetaan usein XML-keskittimellä, joka muokkaa tiedon muiden osapuolten ymmärtämään muotoon. Nykyään laajimmin käytössä oleva verkkoliiketoiminnan standardi EDI on korvautumassa uusilla XML-pohjaisilla standardeilla, joista potentiaalisimpia ovat RosettaNet (www.rosettanet.org) ja ebXML (www.ebxml.org).

4.1.3 Ohjelmistojen hajautus

Hajautetun järjestelmän suunnittelu ja toteutus on selvästi normaalia sovelluskehitystä monimutkaisempi prosessi. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota skaalautuvuuteen, transaktioiden hallintaan ja rajapintoihin, sillä hajautettu ohjelmisto tullaan usein liittämään sen elinkaaren aikana myös muiden valmistajien järjestelmiin. Suunnittelua ja toteutusta voidaan kuitenkin helpottaa käyttämällä sovellusalueelle sopivaa hajautusarkkitehtuuria.

Yleensä hajautukseen käytetään joko väliohjelmistoja (esim. CORBA, EJB) tai Web Services -tekniikoita. Väliohjelmistoilla saavutetaan parempi suorituskyky ja pienemmät tiedonsiirtokustannukset. Toisaalta väliohjelmit vaativat tiettyyn ratkaisuun sitoutumista ja tarvittavien ohjelmistokomponenttien asennuksen kaikkiin järjestelmään kuuluviin laitteisiin. Web Services -tekniikoiden suorituskyky ei vielä riitä nopeutta vaativiin sovelluksiin, mutta uusia tehokkaampia protokollia on kehitteillä. Erityisen hyvin Web Services -tekniikat sopivat organisaatioiden väliseen tiedonvaihtoon, jolloin tietoturva perustuu tällä hetkellä sertifikaattien, SSL:n sekä viestintason ja yhteyden salauksen käyttöön. Tärkeimmät erityisesti Web services -tietoturvaan liittyvät standardit ovat tällä hetkellä SAML (Security Assertion Markup Language) ja WSS (Web Services Security).

Etähallinta on tärkeä osa hajautettua järjestelmää. Siihen käytetään nykyisin joko sovel-luskohtaisia etähallintaohjelmia tai yleiskäyttöisiä ohjelmia, joilla voidaan hallita etäältä koko tietokonetta. Valmiita standardiratkaisuja järjestelmien etähallintaan (esim. OSGi, WBEM)) on tarjolla niukasti, mutta alan kehitystyö on aktiivista (esim. IEC 62350 "Communications Systems for Distributed Energy Resources"). Monet tietoliikenneope-raattorit ovat laajentaneet toimintaansa ostamalla etähallintaan suuntautuneita yrityksiä, minkä seurauksena saattaa syntyä myös hajautettujen energiaressurssien etähallintaan soveltuvia ratkaisuja.

4.1.4 Kommunikaatiotekniikat

Hajautetussa energiajärjestelmässä pienet energiaressurssit sijaitsevat kaukana toisissaan. Niiden yhdistämiseen on kustannussyistä käytettävä olemassa olevia infrastruktuureja, joista varteenotettavia vaihtoehtoja ovat Internet, puhelinverkot ja sähköverkko. Data-siirto sähköverkossa on vasta kehitysvaiheessa, mutta Internet ja puhelinverkot toimivat hyvin useimmilla alueilla. GPRS-verkko ei ole vielä luotettava, mutta riittää kapasiteettiltaan esim. etähallintaan ja tärkeimpien mittaustietojen välittämiseen. Datasiiromaksut ovat laskeneet nopeasti, joten heikosti toimivat GPRS-yhteydet eivät aiheuta merkittäviä lisäkustannuksia vaan lähinnä ylimääräistä viivettä kommunikointiin. GPRS- ja SMS-pohjaisten järjestelmien voidaan olettaa säilyvän pitkään, sillä siirtyminen uuteen järjes-telmään (esim. UMTS) on hidas prosessi ja sen tarjoamia lisäominaisuuksia ei koeta välttämättömiksi.

Internet on normaalitilassa hyvin luotettava, ja sen laajenemisen ansiosta vikatilanteis-sakin löytyy yleensä vaihtoehtoinen reitti kohteeseen. Kriittisiä toimintoja varten tulee kuitenkin rakentaa varayhteys vaihtoehtoisella tekniikalla, koska Internetin tai palvelun-tarjoajan toiminnassa voi esiintyä häiriöitä (esim. palvelunestohyökkäys). Internetin tietoliikennearatkaisut eivät vielä mahdollista täysin reaaliaikaista etäohjausta, mutta monitorointiin sekä tiedon ja hälytysten välittämiseen niiden suorituskyky riittää. Vaik-

ka hajautettu järjestelmä käyttää tiedonsiirtoon yleisiä tietoliikenneverkkoja, on valmiiden ratkaisujen avulla mahdollista saavuttaa kohtuullisen korkea tietoturvan taso. Siihen päästään esimerkiksi käyttämällä VPN-tekniikkaa Internetin yli tapahtuvaan tiedonsiirtoon. Erityisesti käyttäjätunnistuksen ja valtuutuksien tietoturva on kriittistä.

Yleisesti käytössä oleva IPv4 on vähitellen korvautumassa IPv6:lla, joka tarjoaa suu-remman IP-osoiteavaruuden, paremman laajennettavuuden ja mm. anycast-ominaisuuden. Anycast-tekniikan avulla voidaan liittää useita koneita saman IP-osoitteen alle ja lähettää viesti vain yhdelle joukon laitteista, josta tieto välittyy muille. Tästä on hyötyä mm. silloin kun kahdennetaan laitteita luotettavuuden parantamiseksi.

4.1.5 Älykkäät laitteet

Tulevaisuudessa älykkäät laitteet avaavat uusia mahdollisuuksia hajautetun tuotannon valvontaan ja ohjaukseen. Laitteiden kehittäminen on kuitenkin kallista, joten on tärkeää pystyä käyttämään omassa järjestelmässä yleisesti käytettyjä laitteita ja hyödyntää siten massatuotannon etuja. Laskentaresurssien ja tarvittavien komponenttien halpenemisen myötä laitteisiin voidaan lisätä ominaisuuksia, joiden avulla kommunikointi tehostuu ja järjestelmän toimintavarmuus ja tuottavuus kasvavat. Langattomia antureita pidetään yhtenä kiinnostavana uutena teknologiana, jonka käyttö tulee varmasti leviämään monelle alueelle. Älykkäät laitteet tuottavat huomattavasti perinteisiä laitteita enemmän tietoa, jota voidaan hyödyntää monin tavoin, mutta joka on myös pystyttävä käsittelemään tehokkaasti.

Jokapaikan tietotekniikan (ubiquitous computing) aktiivinen kehitystyö synnyttäneen myös automaatiojärjestelmiin sopivia tuotteita. Esimerkiksi itseorganisoituvat ja langattomat ad hoc -verkot sekä niitä tukevat laitteet mahdollistavat dynaamisen järjestelmäkonfiguraation. Päätelaitteiden kehittyessä esimerkiksi matkapuhelimesta tulee keskitason laskentaresurssi, jolla voidaan liittyä tuotantolaitoksen ad hoc -verkkoon ja sitä kautta myös kenttäväylään.

GPRS-modeemit ovat yksi vartenotettava toteutusvaihtoehto rakennettaessa Internet-ympäristössä toimivaa järjestelmää. Markkinoilta löytyy jo valmiita tuotteita, joiden avulla voidaan toteuttaa reaaliaikainen langaton automaatio- ja mittausjärjestelmä käyttäen GPRS-modeemia sekä standardeja PLC-tuotteita. Kaikkia hajautetun järjestelmän laitteita valittaessa on laitteiden pitkäikäisyys tärkeä valintakriteeri, koska laitteiston vaihtaminen aiheuttaa suuret kustannukset.

4.2 Energia-automaatio

Pienimuotoisen hajautetun tuotannon hallintaan liittyvät läheisesti seuraavat muut automaatio- ja mittausjärjestelmät:

- sähkön ja lämmön kulutuksen ja tuotannon mittausjärjestelmät
- maakaasun kulutusmittausjärjestelmät
- järjestelmät, jotka palvelevat pienjänniteverkon asiakkaiden sähkömarkkinaliitääntää
- sähköjakeluautomaatiojärjestelmät
- jännitteen laadun valvontajärjestelmät sekä
- rakennusten ja pk-teollisuuden energianhallintaa tukevat automaatiojärjestelmät.

Perinteisesti nämä järjestelmät ovat olleet erillisiä, suljettuja, valmistajakohtaisia ja kulakin on ollut oma organisaationsa. Sovellettaessa näitä järjestelmiä hajautetun tuotannon hallintaan seurauksena on paljon päällekkäisiä ratkaisuja ja niistä aiheutuvia kustannuksia. Myös rajoitettu ja hankala tietojen vaihto järjestelmien välillä, puutteellinen toiminnallisuus sekä suuret toteutus-, käyttö- ja ylläpitokustannukset tuovat omat hankaluutensa. Suuret järjestelmäkustannukset muodostuvat merkittäväksi esteeksi hajautetun tuotannon hallintatarpeiden tyydyttämiselle ja sitä kautta edelleen hajautetun tuotannon kannattavuudelle ja yleiselle hyväksyttävyydelle.

Edellä mainituissa eri tarkoituksia palvelevissa järjestelmissä ollaan kuitenkin siirtymässä rajapintoihin, jotka on kaikilla tiedonsiirron kerroksilla määritelty sovellusalueen käsitelmalleihin ja olioihin asti maailmanlaajuisilla avoimilla standardeilla. Tulee kuitenkin viemään monia vuosia ennen kuin kyseiset entistä paremmat ratkaisut ovat kentällä olevissa voimakkaasti hajautetuissa automaatiojärjestelmissä korvanneet nykyiset käytännöt. Laajalla alueella hajallaan sijaitsevien kenttälaitteiden uusiminen on kallista ja niin ollen niiden elinkaari muodostuukin verraten pitkäksi. Uudet rajapintastandardit on suunniteltu tietojen hallittavuutta tavoitellen, kun vanhoissa keskeisenä tavoitteena oli tiedonsiirtokaistan tarpeen minimoiminen. Muutoksen taustalla on osaltaan se, että nykyisin tietoliikennekaista on aikaisempaa paljon halvempaa erityisesti erillisten tietoliikenneyhteyksien hintaan verrattuna. Esimerkkejä näistä uusista standardeista ovat sähköjakeluautomaation IEC 61850 -standardit, niihin perustuva hajautetun tuotannon tiedonsiirtorajapintoja koskeva standardi IEC 61400-25 (luonnos) sekä sähköjakelun energianhallinnan yhteiset tietomallit määrittelevät IEC 61970 -standardit. IEC 61850 standardi on luotu mm. ISO-9506:2003 (MMS) -standardin ja UCA-2.0-arkkitehtuurin pohjalta. Lisäksi on olemassa sähkön, kaasun, lämmön ja veden kulutusmittauksiin liittyvä DLMS/COSEM-standardi. DLMS on määritelty standardissa IEC 61334-4-41 ja COSEM-oliomalli standardissa IEC 62056-62. COSEM-protokollat (IEC 62056-

53:2002, IEC 62056-61:2002, IEC 62056-62:2002) eivät enää nykyisin edellytä DLMS:ää, vaan niitä voidaan käyttää myös TCP/IP-protokollien päällä.

IEC 61850 ja IEC 61400-25 -standardeissa tiedonsiirto perustuu pääasiassa TCP/IP-protokollajoukkoon. Poikkeuksena on aikakriittinen tiedonsiirto, johon käytetään GOOSE-protokollaa.

IEC 61400-25 -standardiluonnos tarkastelee hajautettua tuotantoa sähkönjakeluautomaation näkökulmasta. Kuitenkin sähkön jakeluautomaation järjestelmät eivät juuri koskaan ylety sähköverkon asiakkaan liitäntäpisteeseen asti. Kulutuksen ja tuotannon mittausjärjestelmä sen sijaan on jokaisessa kaukoluettavassa jakeluverkon asiakkaan liitäntäpisteessä. Lähes jokaisessa hajautetun tuotannon verkkoonliitäntäpisteessä on oltava kaukoluettava tuntimittaus. Sähkön kulutuksen ja tuotannon mittausjärjestelmät sisältävät yleensä mahdollisuuden yksinkertaiseen ohjaus- ja tilatietojen välitykseen. Monesti myös rakennusten ja pk-teollisuuden energianhallintajärjestelmien hajautettu automaatio ulottuu lähelle useita mahdollisia hajautetun tuotannon sijoituspaikkoja.

Uusissa rakennusten etähallinnan järjestelmissä käytetään TCP/IP-protokolliin pohjautuvaa tiedonsiirtoa. Keskeisenä komponenttina ovat kentälle hajautetut varsin itsenäisesti toimivat palvelimet. Ne ovat samalla sekä kiinteistöautomaatiopalvelimia että tietoliikennepalvelimia. Ne sisältävät automaation toiminnot, tietokannat ja käyttöliittymäkoodin. Käyttöliittymälaitteina käytetään yleiskäyttöisiä verkkoselaimia ja matkapuhelimia. Näin ollen muun muassa valvomotoimintoja ei ole sidottu tiettyyn laitteistoon tai paikkaan, kuten valvomohuoneeseen. Palvelin toimii tietoliikenneyhdyskävänä ja tietoturvarajapintana. Se hoitaa tietojen puskurointia, protokollamuunnoksia, reitityksen, käyttöoikeuksien hallinnan, salauksen ja palomuurintoiminnot.

Itsenäiseen toimintaan kykenevistä alayksiköistä muodostuva ja yleisiä tiedonsiirtoverkkoja hyödyntävä hajautettu automaatiojärjestelmämalli soveltuisi varsin hyvin myös hajautetun tuotannon hallintaan. Yleensä tiedonsiirtokaistaa on hyvin reilusti automaatio- ja valvontatoimintojen tarpeisiin verrattuna. Taatun vasteajan, luotettavuuden ja tarkoituksenmukaisen tietoturvan tason toteuttaminen kohtuullisin kustannuksin vaatii sen sijaan erityisosaamista ja suunnittelua.

4.3 Teollisuusautomaatio

Automaatiossa voidaan nähdä useita sovellusalueita, kuten prosessi- ja kappaletavarateollisuus (joihin tässä viitataan termillä teollisuusautomaatio), edellä esitelty energian jakelu ja hallinta, talotekniikka sekä yhteiskunnan infrastruktuuri (mm. viemäriverkostot). Kullakin alalla on omia käsitteitä ja käytäntöjä, joskin niissä käytetään myös samo-

ja perustekniikoita. On oletettavaa, että päällekkäisyydet lisääntyvät tulevaisuudessa, osin yhteisen toteutustekniikan, osin integraatiopaineiden vuoksi.

Prosessiteollisuudessa käytetään yleisesti alun perin jatkuvien prosessien säätöön kehitettyjä hajautettuja automaatiojärjestelmiä (Distributed Control System, DCS). Kevyemmissä sovelluksissa perustekniikkaa ovat ohjelmoitavat logiikat (Programmable Logic Controller, PLC). Uudempi konsepti ovat pienjärjestelmät, joissa ohjaustoiminnot sijoitetaan kenttälaitteisiin, ja kytketään väylällä PC-valvomoon. Ohjaimina voivat olla esim. pienlogiikat (koneisiin integroituina), älykkäät anturit ja venttiilit tai taajuusmuuttajat, jotka sisältävät ohjelmoitavan logiikan. Kappaletavarateollisuudessa käytetään ohjelmoitavia logiikoita ja kenttäväyliä sekä koneisiin sulautettuja ohjaimia. Trendinä on toiminnallinen integraatio ja toisaalta järjestelmien fyysinen hajautuminen ja älykkyyden siirtyminen lähemmäs ohjattavia kohteita. Laitetekniikan kehittyessä ohjelmistot voidaan sijoittaa myös pieniin ja edullisiin laitteisiin (Ventä 2004).

Perinteisesti automaatioalustat ja ohjelmointityökalut ovat olleet valmistajakohtaisia. Kehityskustannusten noustessa valmistajat käyttävät entistä enemmän kaupallisia komponentteja, kuten tietokoneita, käyttöjärjestelmiä ja tiedonhallintaohjelmistoja. Samalla lisenssimaksujen ja avoimen lähdekoodin ohjelmistojen (esim. Linux) merkitys on noussut. Viime vuosina on pyritty parantamaan järjestelmien avoimuutta ja integroitavuutta. Kehitys etenee useilla rintamilla sovellusalueen käsitteistä ja toiminnallisista malleista sovellusohjelmointiin ja laitetason tiedonsiirtoon. Työtä tekee suuri joukko yhteistyöorganisaatioita ja standardointikomiteoita. Informaatiovirtojen hallinnan ja erilaisten palveluiden merkitys kasvaa säätö- ja ohjaustoimintojen ohella.

Esimerkkinä käsitetason standardeista voidaan mainita eräät ISAn (The Instrumentation, Systems, and Automation Society, <http://www.isa.org>) laatimat suositukset, joita julkaistaan myös IEC:n standardeina. Komitea SP95 kehittää terminologiaa, teollisen tuotannon toiminnallista jäsenystä sekä konkreettisempia tietomalleja automaation integroimiseksi yritystason järjestelmiin (ANSI/ISA-95.00.01-2000, SAS 2005). Mallit käsittelevät mm. tuotteiden valmistusvaiheita, tuotantoaikatauluja, tuotannon resursseja sekä kunnossapitoa. Kohteena ovat eri teollisuudenalat mukaan lukien kappaletavarateollisuus. Tärkeä lähtökohta koko standardille on ollut komitean SP88 työ ja prosessiteollisuuden epäjatkuvat panosprosessit (ANSI/ISA-88.01-1995). Pääperiaate on tuotteen valmistuksen ja fyysisten tuotantoresurssien erottaminen. Tuotteiden reseptit voidaan määrittellä joustavasti yhdistelemällä ja parametroimalla tuotantolaitteisiin ohjelmoituja operaatioita (esim. raaka-aineen annostelu). Määrittelyiden pohjalta World Batch Forum (WBF, ks. <http://www.wbf.org>) on kehittänyt myös XML-skeemoja tietojärjestelmien integroimiseksi.

Yllä mainitut standardit eivät ota kantaa toteutukseen. Hieman konkreettisemmalla tasolla tehdään työtä järjestelmien integraation ja tiedon siirron parissa. Kappaletavara-automaation vaatimuksia, arkkitehtuureja ja ohjelmointirajapintoja määrittelee mm. OMAC (Open Modular Architecture Controls, ks. <http://www.omac.org>). Pakkauskoneiden osalta tehdään yhteistyötä em. WBF:n kanssa. Vastaavalla tavalla mm. Association Connecting Electronics Industries (IPC, <http://ipc.org>) kehittää laajaa standardisarjaa elektroniikkateollisuuden automaatioon. Esim. standardi IPC-2501 (2003) määrittelee elektroniikan tuotantolinjan automaattisten koneiden välisen tiedonsiirron, joka perustuu XML-muotoisiin tapahtumaviesteihin ja keskitettyyn viestien välittäjäpalveluun (message broker).

Ehkä merkittävin kehityspanos on suuntautunut tiedonsiirtoon eri valmistajien tuotteista muodostuvissa hajautetuissa järjestelmissä. Yhden ryhmän muodostavat kenttäväylät, joiden pitkä standardointiprosessi (IEC 61158) johti useisiin eri ratkaisuihin (esim. PROFIBUS, Foundation Fieldbus, Asi-väylä ja DeviceNet). Päällekkäisyyksistä huolimatta niillä on omat sovelluskohteensa, ja tekniikan käyttö laajenee vähitellen. Toinen hajautusratkaisujen ryhmä sijoittuu ylemmäs järjestelmäväylän tasolle, ja perustekniikka on usein Ethernet ja IP-protokollat. Osa ratkaisuista perustuu olemassa olevaan kenttäväylään (esim. Ethernet/IP, Foundation Fieldbus HSE ja Modbus/TCP), osa edustaa yleiskäyttöisen tekniikan soveltamista automaatioon (esim. teollisuusstandardiksi muodostunut OLE for Process Control sekä eräät CORBAan perustuvat protokollat).

Ohjaussovelluksissa nousee esiin ratkaisujen reaaliaikaisuus ja kapasiteetti. Laiteohjauksissa tiedon määrä ei yleensä ole suuri, mutta ajoitusvaatimukset voivat olla tiukkoja (esim. liikkeen ohjaus robottisovelluksissa). Toisaalta informaation keruu ja uudet toiminnot (kuten äänen ja kuvan siirto) johtavat suureen tietomäärään. Näiden ristiriitaisten tavoitteiden toteuttaminen on aiheuttanut paljon keskustelua ja monenlaisia ratkaisuehdotuksia.

Suuri osa kehitteillä olevista hajautusratkaisuista määrittelee myös sovelluserroksen olioita. Poikkeus on OPC, joka (lukuun ottamatta uutta Command Execution-määrittelyä) näkee automaatiojärjestelmän muuttujina (OPC Data Access) tai tapahtumaviesteinä (OPC Alarms and Events). Automaatioalan perinteitä noudattaen yleisin sovellustason käsitelmä ovat toimilohkot (function block), joita on määritelty myös standardissa IEC 61131-3 (2003). Eräissä lähestymistavoissa (esim. PROFINet ja MODBUS-IDA) on käytetty referenssimallina uudempaa toimilohkokonseptia (IEC 61499-1 2005), joka laajentaa toimilohkoja tapahtumilla ja sovelluksen tapahtumapohjaisella suorituksella. Uusi kunnianhimoinen aktiviteetti on kansainvälisen Intelligent Manufacturing Systems -ohjelman (IMS) piiristä noussut OOONEIDA (ks. <http://www.ooneida.info>). Se pyrkii kehittämään avoimen infrastruktuurin, joka mahdollistaa eri toimijoiden kehittämien automaatiokomponenttien hyödyntämisen kaikilla tasoilla älykkäistä automaatiolaitteista kokonaisesti tuotantojärjestelmiin. Taustalla ovat automaatioalan ja tietotekniikan standardit, erityisesti juuri toimilohkot.

Automaation integroituminen tietojärjestelmiin, etävalvonta ja etädiagnostiikka sekä ylläpitopalvelut ovat luoneet tarpeen maantieteelliseen hajauttamiseen. Aiemmin tämä on hoidettu esim. puhelinlinjojen ja satelliittiyhteyksien avulla, nykyisin yhä useammin käyttäen julkisia verkkoja ja Internet-tekniikoita, kuten HTTP-protokollaa ja web-sovelluspalveluita. Esimerkkinä on OPC XML-DA, joka mahdollistaa automaatiojärjestelmän muuttujien lukemisen ja kirjoittamisen XML-muotoisilla viesteillä myös palomuurien läpi. Tyypillinen käytännön ratkaisu on erillinen automaatiojärjestelmään liitetty palvelinkone. Tosin su-lautettuja www-palvelimia on usein myös pienissä automaatiolaitteissa.

Automaatiotuotteiden sovellusohjelmointi (konfigurointi) on edelleen pitkälti valmistajakohtaista. Peruskonseptit, kuten toimilohkot, käskylistat, sekvenssit ja lomakkeet sekä tarvittaessa lausekielinen ohjelmointi, ovat kuitenkin melko samankaltaisia. Tietotekniikan yleistyessä käytetään myös tietojärjestelmistä tuttuja tekniikoita, kuten www-ohjelmointia. IEC on standardoinut joukon ohjainten ohjelmointikieliä (IEC 61131-3 2003), jotka ovat leviämässä ohjelmoitaviin logiikoihin (ks. <http://www.plcopen.org>). Valmistajasta riippumaton ohjelmointi ja koodin siirrettävyys on vielä rajoitettua, mikä vaikeuttaa uudelleenkäyttöä ja versioiden hallintaa. Kenttälaitteiden konfiguroinnissa tilanne on samankaltainen, joten käyttöönottossa ja ylläpidossa tarvitaan useita erilaisia työkaluja. Ongelmaa on pyritty ratkaisemaan toisaalta määrittelemällä erilaisia profiileja ja toisaalta kehittämällä avointa konfigurointityökalun kehyssovellusta (Field Device Tool, FDT), johon voidaan asentaa valmistajien omille laitteilleen kehittämiä ajureita (Device Type Manager, DTM).

Suunnittelun ja ylläpidon tehokkuuden ohella haasteena on automaatiojärjestelmien laatu ja turvallisuus. Eräillä aloilla, kuten lääke- ja osin elintarviketeollisuudessa, edellytetään koko automaatiojärjestelmän systemaattista, dokumentoitua kelpuutusta (validation). Henkilöturvallisuuteen vaikuttavissa sovelluksissa tarvitaan erillisiä turvallisuuteen liittyviä järjestelmiä (TLJ), joiden suunnittelussa ja toteutuksessa on sovellettava normaalia raskaampia menetelmiä ja hyväksytyjä toteutusratkaisuja. Esim. ohjelmoitavista logiikoista ja kenttäväylistä on tarjolla kriittisiin kohteisiin soveltuvia versioita. Laadun varmistukseen on laadittu sovellusaluekohtaisia ohjeita ja standardeja (erityisesti IEC 61508 ja sen sovellusstandardit), mutta niiden soveltaminen käytäntöön ei ole suoraviivaista.

Toinen vastaava haaste on automaation tietoturva. Sitä on käsitelty kaikissa em. määrittelyissä, mutta ratkaisut ovat kovin vaihtelevia ja keskeneräisiä. Yleinen lähestymistapa on soveltaa jo olemassa olevia ratkaisuja. Aiheesta onkin laadittu muutamia suosituksia (esim. ISAn komiteassa SP99). Ongelma on, etteivät tekniikat ole integroituneet automaatiotuotteisiin ja että ne ovat outoja soveltajille. Tyypillisesti pyritään erottamaan automaatiojärjestelmä esim. palomuurilla muusta verkosta. Tällöin järjestelmän sisällä ei tarvita erikoisratkaisuja. Tosin tietoturva hajautuu älyn tapaan alaspäin automaatiojärjestelmän laitteille, jolloin sen hallinta vaikeutuu. Samoin tulee vastaan ongelmia laitteiden suorituskyvyn kanssa.

Teollisuusautomaation kehityssuuntia ovat siis toiminnallinen integraatio, fyysinen hajautus sekä avoimuus, joka vähentää riippuvuutta toimittajista ja luo edellytyksiä uusille markkinoille. Työn kohteina ovat sovellusalueiden tietomallit ja järjestelmien arkkitehtuurit, tiedonsiirto sekä ohjelmoinnin ja ylläpidon välineet, laadunvarmistus ja tietoturva. Yleinen ongelma on, että ratkaisuja syntyy useita yhden sijasta. Kaikesta huolimatta esiin nousee tekniikoita, joita voidaan soveltaa myös hajautetuissa energiajärjestelmissä, varsinkin paikallisten tuotantoyksiköiden automaatiassa.

5 Vaatimukset ja toimijat

Edellinen luku käsitteli toteutusteknologioita informaatio- ja kommunikaatioteknologi-an, teollisuus- ja energia-automaation sekä tietojärjestelmien kannalta. Tämän luvun tarkoituksena on kuvata ohjaus- ja tietojärjestelmille asetettavia vaatimuksia sekä kaupalliselta että tekniseltä näkökannalta. Myös järjestelmien väliset liitännät ovat tarkastelun kohteena. Energialiiketoiminnan toimijakentällä tarvitaan ja siellä on tilaa useille erityyppisille toimijoille, minkä vuoksi tämän luvun lopussa listataan erilaisia toimijoita ja niille tyypillisiä vaatimuksia.

5.1 Kaupalliset vaatimukset

Kaikilla teollisuuden ja yrittämisen aloilla toiminnan pitää rakentua taloudellisesti ter-veelle pohjalle. Tämä tulee selkeästi esille hajautetun energiantuotannon järjestelmille asetettavissa vaatimuksissa. Toiminnan pitää olla taloudellisesti perusteltua ja kannatta-va kaikkien siihen osallistuvien toimijoiden osalta. Muuten toimijoiden muodostama verkosto on epätasapainossa ja sen vaikutukset tulevat näkymään jossain vaiheessa kaikkien verkoston lenkkien toiminnassa. Seuraavassa kuvataan tärkeimpiä hajautetun energiantuotannon järjestelmiin kohdistuvia kaupallisen tason vaatimuksia.

Hinta. Järjestelmän kokonaishinnan pitää olla riittävän alhainen, jotta kokonaisjärjes-telmä voisi olla kannattava. Automaatiojärjestelmän kohdalla tämä voitaneen toteuttaa, mikäli sen hinta on korkeintaan 10 % koko asennuksen hinnasta. Arvioimalla automaa-tiojärjestelmän sisäistä hinnanmuodostusta voidaan lähteä siitä, että laitteiston osuus olisi noin kolmasosa, systeemiohjelmiston lisenssimaksut olisi toinen kolmasosa ja lop-puosa sisältäisi järjestelmän kokoamiseen menevät kustannukset.

Vuosittaiset huoltokulut. Järjestelmä tulee suunnitella siten, että vuosittain tarvittaisiin korkeintaan yksi kaukohoito, jonka keskimääräinen kesto olisi noin kaksi tuntia. Oh-jelmistot tulee voida päivittää verkon yli. Kerran kymmenessä vuodessa voidaan tehdä suurempi ohjelmisto- ja laitteistopäivitys, joka sisältäisi noin päivän suunnittelutyötä ja päivän asennustyötä per kohde.

Kehityspolku pienestä isoksi. Kaupallisten riskien tulee olla kohtuullisia verrattuna saavu-tettavissa oleviin hyötyihin. Yrityksen tai järjestelmän alkuvaiheessa ei voida edellyttää suuria investointeja, joilla on pitkä takaisinmaksuaika. Kannattavuuden edellytyksenä ei myöskään saa olla kansainvälinen ja laaja toiminnan mittakaava., mutta siihen pitää olla edellytykset pidemmällä aikavälillä. Olemassa olevia liiketoimintoja pitää pystyä hyödyn-tämään siltä osin kuin niitä on olemassa, ja ne sopivat osaksi liiketoimintaverkkoa.

Menestysmahdollisuus kaikille osapuolille. Liiketoimintamallin ja käytettävien tekniikoiden on tarjottava kaikille osapuolille riittävä riippumattomuus jatkokehityksen suhteen ja riittävän tasapuolinen kilpailuasetelma. Mikäli on mahdollista, että liiketoiminta on täysin joidenkin osapuolten hallinnassa niiden strategisen aseman kautta, on vaarana se, ettei mukaan saada tarpeeksi osaavia tahoja kehittämään puuttuvia sovelluksia valmiiksi.

Kaupallinen avoimuus. Kenen tahansa on voitava kehittää uusia sovelluksia ja laitteita järjestelmään. Ei saa olla teknisiä tai kaupallisia esteitä eikä epävarmuutta niiden suhteen. Tämä tarkoittaa hyvin pitkälti samaa kuin teknisten vaatimusten kohta avoin arkkitehtuuri.

5.2 Tekniset vaatimukset

Teknisen puolen vaatimuksissa korostuvat avoimuus, pitkäikäisyys, helppo päivitettävyys, vaivaton ylläpidettävyys sekä luotettavuus. Seuraavassa kuvataan tarkemmin ohjaus- ja tietojärjestelmien yleisiä teknisiä vaatimuksia.

Avoin arkkitehtuuri. Automaatiojärjestelmän arkkitehtuurin pitää olla avoin sekä laitteiston että ohjelmiston osalta. Avoimuudella tarkoitetaan sitä, että järjestelmän sisällä on riittävän selvästi määriteltyjä ja kaikkien käytettävissä olevia liitäntäpintoja. Avoimuudella pyritään siihen, että löytyisi useita järjestelmäkomponenttien toimittajia, ja että komponenttien hintataso pysyisi alhaisena.

Moduulirakenteinen arkkitehtuuri. Automaatiojärjestelmän ja itse energiajärjestelmän arkkitehtuurien pitää olla moduulirakenteisia sekä laitteistojen että ohjelmistojen osalta. Tämä tarkoittaa sitä, että kokonaisjärjestelmä voidaan rakentaa vakiopalikoista ilman suurempaa räätälöintiä. Palikkarakenteisuus edellyttää, että palikoita voidaan ohjelmallisesti yhdistellä ja konfiguroida haluttua sovellusta varten. Modulaarisuuden puute voi aiheuttaa sen, että hajallaan olevia laitteistoja joudutaan vaihtamaan suurin kustannuksin, esim. kun järjestelmän käyttämä tiedonsiirtotekniikka poistuu käytöstä uuden tekniikan korvattua sen.

Plug&Play. Plug&Play-toiminnolla tarkoitetaan sitä, että komponentit voivat konfiguroitua omaan ympäristöönsä lataamalla ja käynnistämällä perusohjelmiston oikeat ajurit käyttöönsä. Plug&Play-toimintoon pitää myös liittyä tarvittavat ohjelmistot, joilla haluttu palikka voidaan poistaa järjestelmästä.

Toimintojen kattavuus. Automaatio- ja tietojärjestelmän pitää olla siinä mielessä kattava, että siihen voidaan liittää muitakin kuin energiajärjestelmän hallintaan liittyviä toimintoja. Tällaisia toimintoja voivat olla esimerkiksi rakennusautomaatio ja hälytystoiminta. Sovelluksesta riippuen voidaan ajatella, että energiajärjestelmän toiminnot ra-

kennetaan muun automaatiojärjestelmän sisään, tai että muut automaatiotoiminnot rakennetaan energiajärjestelmän automaatioon.

Luotettavuus. Automaation laitteisto- ja ohjelmistoratkaisut on suunniteltava siten, että toiminnoille saadaan vähintään 99,9 %:n keskimääräinen käytettävyys (epäluotettavuus < 8 h / vuosi). Energiajärjestelmän käynnistyksen tulisi tapahtua täysin automaattisesti alle puolessa tunnissa.

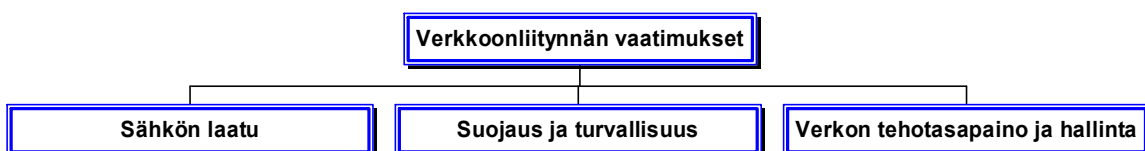
Ylläpidettävyys. Perusjärjestelmä tulisi suunnitella vähintään 20 vuoden käyttöjaksolle. Ohjelmisto- ja laitteistoratkaisujen suunnittelussa tulisi huomioida uusi tekniikka siten, että mahdolliset uudet versiot ovat alaspäin yhteensopivia.

Kaukodiagnostisointi ja -huolto. Järjestelmään tulisi voida liittää sopivia viestintäkanavia kaukodiagnostisointia ja huoltoa varten. Liitännäkanavassa tulisi olla riittävät varmistukset virheoperointien estämiseksi sekä tietoturvallisuuden varmistamiseksi. Järjestelmän ja sen komponenttien suunnittelussa pitää ottaa huomioon helpon ja kattavan diagnostisoinnin asettamat tarpeet.

Skaalautuvuus ja laajennettavuus. Teknisten ratkaisujen on oltava toimivia ja kustannustehokkaita sekä pienessä että suuressa mittakaavassa ja tarjottava mahdollisuus vähitellen tapahtuvaan järjestelmän laajuuden kasvattamiseen ja uusien sovellusten lisäämiseen verraten pienin kustannuksin.

5.3 Sähköverkkoliittynän aiheuttamia teknisiä vaatimuksia energiaressurssien hallintajärjestelmälle

Hajautettujen energiantuotantolaitteistojen liittäminen sähköverkkoon edellyttää, että tietyt vaatimukset täyttyvät. Nämä vaatimukset voidaan pääpiirteittäin jakaa kolmeen eri luokkaan (Kuva 6), jotka koskevat sähkön laatua, suojaus- ja turvallisuusasioita sekä verkon tehotasapainoa ja hallintaa (Saari et al. 2003). Näitä vaatimuksia on myös käsitelty Kari Nurminen diplomityössä (Nurminen 2004).



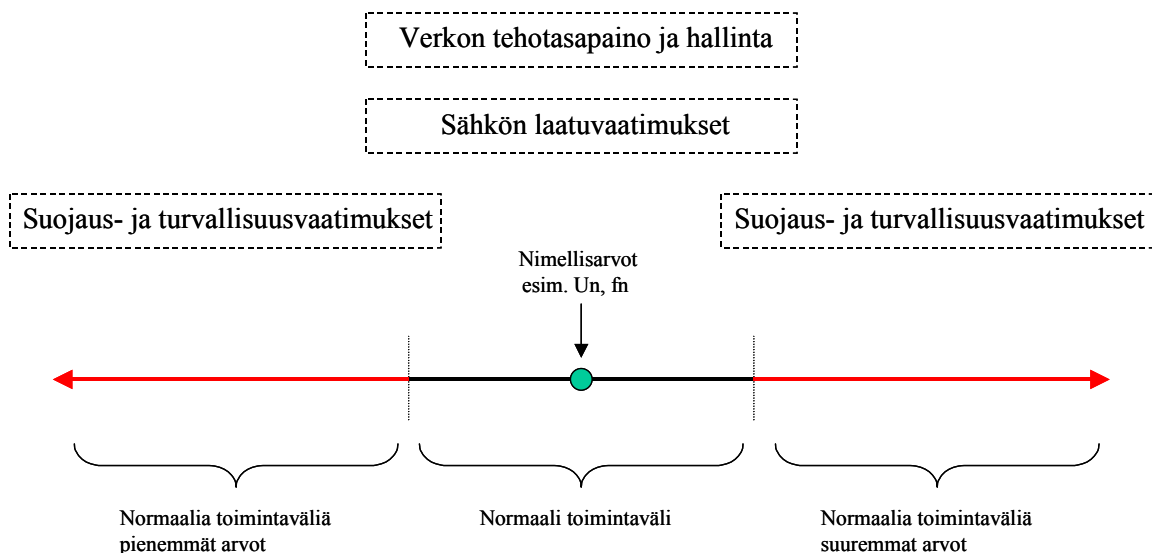
Kuva 6. Verkkoonliittynän vaatimusten periaatteellinen jako.

Kuva 7 esittää, millä toiminta-alueilla yllä esitetyt vaatimukset pääasiassa vaikuttavat. Kuvaan on merkitty tarkkailtavan suureen (esim. jännite tai taajuus) nimellisarvon li-

säksi normaali toiminta-alue eli ko. suureen sallittu poikkeama nimellisarvosta. Lisäksi kuvaan on merkitty alueet, joissa suureen arvot ovat normaalia toiminta-alueetta pienemmät tai suuremmat.

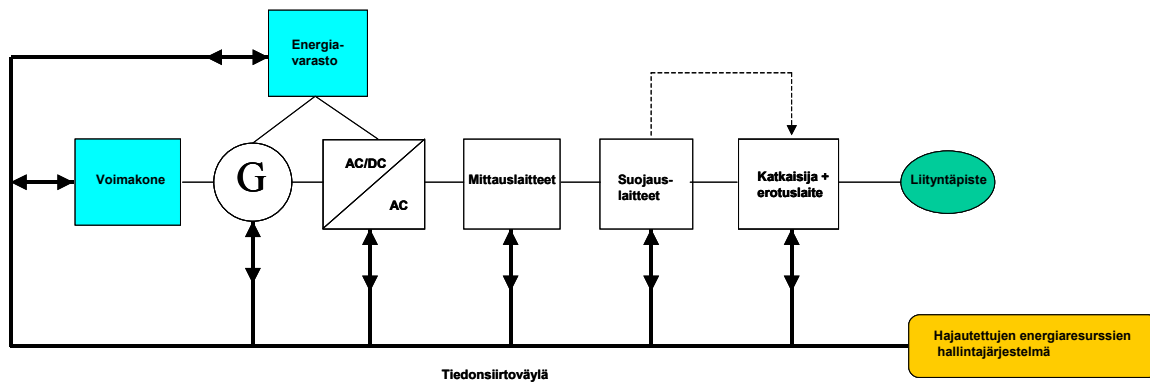
Hajautetun tuotantolaitteiston toimiessa normaalilla toiminta-alueella sen syöttämän sähkön täytyy olla laatuvaatimusten mukaista. Lisäksi verkon tehotasapainoon ja hallintaan liittyvien vaatimusten tulee täytyä. Normaalin toiminta-alueen ulkopuolella hajautettu tuotantoyksikkö voidaan tarvittaessa kytkeä irti verkosta suojaus- ja turvallisuusvaatimusten perusteella.

Verkon hallinnalla tarkoitetaan tässä yhteydessä mm. kulutus- ja tuotantomittauksia, pätö- ja loistehon säätöä sekä saarekekäyttöön siirtymisen, saarekekäytössä toimimisen, normaalitilaan siirtymisen ja energiavaraston käytön hallintaa. Verkon tehotasapainon hallinta tulee kysymykseen yleisestä jakeluverkosta erillään olevassa saarekeverkossa, jossa tuotantolaitteisto ja hallintajärjestelmä vastaavat kuormituksen ja tuotannon välisestä tasapanosta.



Kuva 7. Eri vaatimushuokkien vaikutusalue.

Tiedonsiirtoväylä yhdistää liityntäjärjestelmän ja hallintajärjestelmän toisiinsa. Kuva 8 antaa periaatteellisen käsityksen tuotantoyksikön sekä muiden liityntälaitteiden ja hallintajärjestelmän välisestä tiedonsiirtojärjestelmästä. Hallintajärjestelmän tehtävänä on keskitetysti hallita liityntäjärjestelmää ja lähettää tarvittavia parametreja ja ohjaukskäskeyä liitynnän eri laitteille. Vastaavasti liityntäjärjestelmä voi lähettää tarvittavia tietojaan hallintajärjestelmälle. Seuraavassa tarkastellaan hallinta- ja liityntäjärjestelmän välistä tietoliikennettä hieman tarkemmin. Teksti pohjautuu pääosin lähteisiin (Saari et al. 2003) sekä (E2I 2003).



Kuva 8. Liityntäjärjestelmä ja hallintajärjestelmän välinen tiedonsiirto.

Kuva 8 esittää liityntäjärjestelmän laitteet. Voimakoneena voidaan käyttää esimerkiksi tuuliturbiinia, mikroturbiinia, polttokennoa, aurinkokennoa tai dieselmoottoria. Näistä tuuli- ja mikroturbiinin sekä dieselmoottorin tuottama mekaaninen energia täytyy muuttaa sähköenergiaksi generaattorin avulla. Generaattori voi olla kytketty verkkoon suoraan tai taajuusmuuttajan (AC-AC) välityksellä. Vastaavasti polttokennon ja aurinkokennon tuottama tasasähkö johdetaan vaihtosuuntaajaan (DC-AC), jossa tasasähkö muokataan vaihtosähköksi. Varsinaisen primäärienergiälähteen lisäksi voidaan käyttää erilaisia energiavarastoja esimerkiksi tasaamaan voimakoneen antamaa tehoa. Energia-varasto voidaan liittää joko oman generaattorin tai vaihtosuuntaajan välityksellä verkkoon. Mittauslaitteita voidaan käyttää kulutetun ja tuotetun energian määrän selvittämiseen, sähkön laadun suureiden mittaamiseen tai antamaan suojauslaitteille niiden tarvitsema tieto kustakin (esim. virta, jännite, taajuus) suuresta. Suojauslaitteet antavat tarvittaessa laukaisukäskyn katkaisijalle. Erotuslaitteella taas hoidetaan varsinainen pysyvä tuotantolaitteiston verkosta erottaminen.

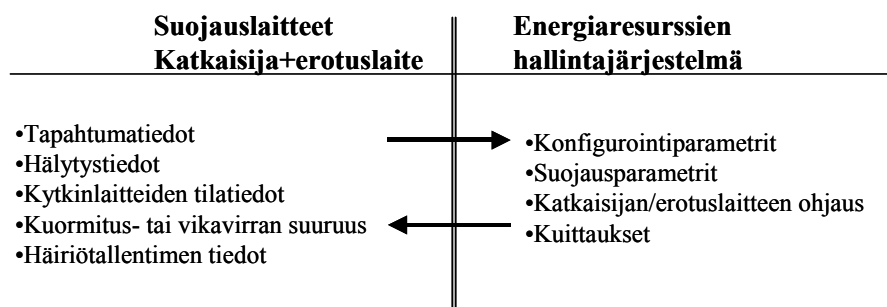
5.3.1 Tiedonsiirto suojauslaitteiden sekä katkaisijan/erotuslaitteen osalta

Kuva 9 esittelee millaisia asioita suojauslaitteiden sekä katkaisijan ja erotuslaitteen tiedonsiirrossa voidaan välittää hallintajärjestelmän kanssa. Suojauslaitteista nykyaikaiset numeeriset suojausreleet pystyvät lähettämään verkon valvonnan tarpeisiin esimerkiksi erilaisia hälytys-, tapahtuma- ja mittaustietoja. Lisäksi ne voivat välittää tiedon kytkinlaitteiden tilasta ja kuormitus- tai vikavirran suuruudesta. Releisiin voi nykyisin olla sijoitettu myös häiriötallentimet. Periaatteessa kaikkia edellä mainittuja toimintoja voitaisiin hyödyntää myös hajautettujen tuotantoyksiköiden ja energiaresurssien hallintajärjestelmän välisessä tiedonsiirrossa.

Vastaavasti hallintajärjestelmästä voitaisiin lähettää suojausreleelle konfigurointi- ja suojausparametreja. Konfiguroinnilla tarkoitetaan tässä releen käyttöympäristön määrittelyä. Suojausparametreja ovat esimerkiksi releen havahtumisarvot ja aika-asettelut. Li-

säksi releelle voitaisiin lähettää kytkinlaitteen ohjaustietoja sekä suojaustoiminnon jälkeisiä kuittauksia.

Energiaressurssien hallintajärjestelmä tarjoaisi suojausten toteuttamiseen uusia toteutumismahdollisuuksia mm. katkaisijan ohjauksen kautta. Esimerkiksi LOM (Loss of Mains) -suojaus voitaisiin toteuttaa lähettämällä kaikille hajautetuille tuotantoyksiköille keskitetysti tieto, joka avaa katkaisijan ja näin ollen irrottaa tuotantoyksikön verkosta. Tällainen suojausratkaisu voisi olla käytössä paikallisten LOM-suojien lisäksi, jolloin LOM-suojausten toiminta saataisiin mahdollisimman kattavaksi ja aukottomaksi. On huomattava, että keskitetty hajautetun energiantuotannon hallintajärjestelmä ei poista paikallisten suojausten tarvetta.



Kuva 9. Suojauslaitteiden sekä katkaisijan/erotuslaitteen tiedonsiirto hallintajärjestelmän kanssa.

5.3.2 Tiedonsiirto mittauslaitteiden osalta

Tuotantolaitteiden monitorointi- ja ohjauksikysymykset ovat verkonhaltijan kannalta olennaisia. Eri maiden suosituksissa tai standardeissa annetaan toisistaan poikkeavia vaatimuksia mittauslaitteiden osalta.

Energiaressurssien hallintajärjestelmälle voidaan lähettää energian kulutus- ja tuotantomittaukset niin pätö- kuin loisen energian osalta. Lisäksi mittauslaitteet voivat lähettää tietoja sähkön laadun ominaisuuksiin liittyen. Tässä laatumittaukset on ajateltu toteutettavan omalla sähkön laatumittarilla, mutta nykyisin myös suoja-releet voivat lähettää joiltain osin mittaustietoja jännitteen laadusta. Muutamilta eri valmistajilta on saatavissa myös kWh-mittareita, jotka samalla mittaavat jännitteen laatua. Näissä voi olla digitaali-lähtöjä ja -tuloja sekä pulssituloja ja -lähtöjä. Mittarit voivat lukea tilatietoja ja ohjata vähemmän kriittisiä kytкимиä. Ne voivat lukea samalla myös lämpötiloja.

Sähkön laadun valvontamittauksilla pyritään havaitsemaan sähkön laadun ongelmat ennakoivasti, jotta ongelma voidaan selvittää ja korjata ennen kuin siitä aiheutuu haittaa. Ongelman aiheuttajalle pitää ongelmasta ilmoittaa ja tarvittaessa antaa hänelle esi-

merkiksi käyttöaikarajoituksia tms. ja antaa aikaa korjata tilanne omalta osaltaan. Vasta viimeisenä keinonaan verkkoyhtiö kytkee irti häiriön aiheuttajan. Joskus tietysti saattaa olla syytä kytkeä irti hyvin paha häiriö nopeasti suurien vahinkojen välttämiseksi.

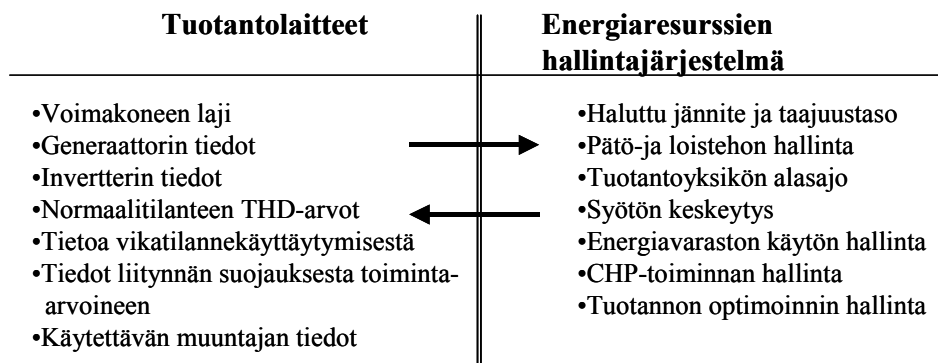
5.3.3 Tiedonsiirto tuotantolaitteiden osalta

Kuva 10 esittää tuotantolaitteiden ja hallintajärjestelmän väliset tiedonsiirtotarpeet. Tuotantolaitteilla tarkoitetaan tässä yhteydessä voimakoneesta tai energiavarastosta koostuvaa kokonaisuutta, joka on kytketty verkkoon generaattoria tai invertteriä käyttäen. Tuotantolaitteet voivat lähettää tietoa mm. voimakoneesta, generaattorista, mahdollisesta invertteristä, muuntajasta ja suojauksesta sekä ulostulovirran THD-arvosta, (*Total Harmonic Distortion eli kokonaissäröstä*). Näitä tietoja jakeluverkon haltija vaatii jo nykyään, mikäli sen verkkoon ollaan liittämässä hajautettua tuotantoa (HELEN 1997).

Vastaavasti hallintajärjestelmä voi lähettää tuotantolaitteille tietoa halutusta jännite- ja taajuustasosta ja säätää keskitetysti tuotantolaitteiden syöttämää päto- ja loistehoa.

Ilman jakeluverkkoon kytkettyä tuotantoa verkon jännite on ollut helppo hallita, koska käytännössä säätö on toteutettu ainoastaan sähköasemalla päämuuntajan käämikytkimen avulla. Verkon loppupään jännite on ollut laskettavissa verkon kulutustiedoista lasketun kuormituksen avulla. Verkkoon kytketty tuotanto aiheuttaa usein jänniteongelmia. Jännitteen vaihtelualue verkossa kasvaa. Erityinen ongelma on jännitteen nousu. Koska pienille tuotantoyksiköille ei yleensä anneta oikeutta jännitteen säätöön, jännitteen nousu voi johtaa tarpeettomiin ja toistuviin tuotantoyksiköiden laukeamisiin ylijännitteen seurauksena.

Tuotantoyksiköille ulottuva hallintajärjestelmä voi tuoda mittaus- ja ohjausmahdollisuuksia, joiden avulla verkon jännite on paremmin hallittavissa. Hallintajärjestelmä voisi tarvittaessa välittää tuotantolaitteille myös käskyn niiden alas ajamiseksi tai irrottamiseksi verkosta. Lisäksi se voi lähettää tietoja esimerkiksi liittyen energiavarastojen käyttöön, CHP-toimintaan tai tuotannon optimoimiseen.



Kuva 10. Tuotantolaitteiden ja hallintajärjestelmän välinen tiedonsiirto.

5.3.4 "Plug&Play"-liittynän edellytyksistä

Visiona esitetyllä "Plug&Play"-tyyppisellä liittynällä tarkoitetaan, että liittynälaitteisto lähettäisi itse tarvittavat tekniset tiedot hallintajärjestelmälle, joka taas konfiguroisi liittynäjärjestelmän ja asettaisi tarvittavat parametrit sopiviksi (esimerkiksi suojausparametrit). Tällaista toimintoa suunniteltaessa on otettava huomioon, että voidaan tarvita liittynälaitteiden parametrien asettelun lisäksi verkon suojausten parametrien muuttamista, koska tuotantolaitteiston vaikutukset ulottuvat laajemmalle kuin vain liittynäpisteeseen. Adaptiivinen suojaus lienee ainakin sulakesuojaukseen tukeutuvassa pienjänniteverkossa varsin kaukainen ajatus. Verkkoon liittymishetken lisäksi on huomattava, että verkon myöhemmin muuttuessa asettelut on tarkistettava. Vastuu verkon suojauksesta kuuluu verkkoyhtiölle.

Nykytilanteessa tuotantolaitteita voidaan kytkeä verkkoon tapauskohtaisten selvitysten jälkeen. Tällaisia selvityksiä tarvitaan myös tavallista kuormitusta verkkoon liitettäessä. Tuotantolaitteiden "Plug&Play"-liittynä edellyttäisi myös laitteiden standardointia ja ennakkohyväksyntää.

Kehitteillä olevassa Microgrid-konseptissa, jossa pääverkosta kytkeytyy tarvittaessa eroon itsenäisiä saarekkeitä, "Plug&Play"-menettely lienee helpompi toteuttaa kuin suoraan pääverkkoon liittäessä. Konsepti edellyttäneen uusien suojausratkaisujen kehittämistä.

5.3.5 Tiedonsiirron toiminnalliset vaatimukset

Hajautettujen energiaresurssien hallinnassa tarvitaan kaksisuuntaista tiedonsiirtoa etäällä oleviin kohteisiin. Etäkohteiden on myös tarvetta lähettää hälytyksiä eri sovelluksille ja osapuolille. Tästä syystä on tarvetta kyetä oma-aloitteisesti käynnistää tiedonsiirto myös etäkohteista käsin. Etenkin sähkömarkkinaliitännän sovellukset tarvitsevat saman tiedon (noin minuutin tarkkuudella) yhtäaikaista lähettämistä jopa sadoille kohteille.

Kullakin sovelluksella on omat aikaresoluutio-, vasteaika- luotettavuus- ja tietoturva-vaatimuksensa. Tässä tarkastellaan lähinnä etätiedonsiirtoa, koska siinä näiden vaatimusten täyttäminen on vaikeampaa. Nopeat säätösilmukat ovat paikallisia. Sähkömarkkinaliitännän etäsäätösilmukoiden vasteaikavaatimukset vaihtelevat noin 5 minuutista useisiin tunteihin sen mukaan, miten nopeasti hajautetun energioresurssin teho on ohjattavissa ja miten nopeilla markkinoilla tätä ohjattavuutta hyödynnetään. Vastaavasti ennustetietojen vasteaikavaatimukset riippuvat siitä, miten nopeilla markkinoilla ja ohjauksissa niitä käytetään. Sähkömarkkinoita varten tehtävien ohjausten luotettavuusvaatimukset ovat varsin vaatimattomat, koska yksittäisen kohteen ohjauksen toteutumattomuus ei aiheuta suuria menetyksiä. Vastaavasti yksittäisen pienen kohteen tuoreimman tehoennusteen puuttuminen ei aiheuta suurta poikkeamaa ennustettuun kokonaistaseeseen. Yleensä on täytettävä vähintään sähkömarkkinoiden tuntimittausten käsittelyn vasteaikavaatimukset, sillä tyyppikuormituskäyrämenettely ei juuri sovellu hajautettuja energioresursseja sisältäviin kulutusmittauskohteisiin, koska niiden teho voi vaihdella epäsäännöllisesti esimerkiksi ohjausten takia.

Ohjausten vasteen todentaminen ja muu tehon käyttäytymisen seuranta ja mallintaminen edellyttävät yleensä noin 5 minuutin aikaresoluutiota. Hajautettujen resurssien ja kiinteistöjen etähallinnan vasteaika- ja resoluutiovaatimukset ovat yleensä sähkökaupan vastaavia vaatimuksia jonkin verran tiukempia. Joskus hajautetun tuotannon tehoja ja jännitteitä halutaan ainakin tilapäisesti seurata resoluution osalta myös sekuntitasolla.

Sähkön laadun seurannassa nopeimmat vasteajat ovat noin 1 minuutin suuruusluokka, ja johtuvat siitä, että järjestelmän käyttäjä saa paikallisesti talletetut mittaustiedot haettua tarvittaessa käyttöönsä kohtuullisessa ajassa. Muutoin sähkön laadun seuranta ei vaadi nopeita vasteita.

Suojauksia on usein edullista toteuttaa paikallisesti suoritettujen mittausten perusteella. Jos suojausjärjestelmä perustuu tietoliikenteeseen, tiedonsiirrolta edellytetään hyvin lyhyitä vasteaikoja ja luotettavia yhteyksiä, joten ne kannattanee kriittisiltä osin toteuttaa muusta hallintajärjestelmästä erikseen. Hitaampaa suojausten koordinointia on kuitenkin tarvetta toteuttaa myös jaettuja tiedonsiirtoyhteyksiä käyttäen, jos hajautettua tuotantoa on huomattavasti verkon siirtokykyyn verrattuna. Omia vaatimuksia voi seurata myös siitä, että mahdollisesti halutaan valmius varavoimakäyttöön tai muuhun saarekekäyttöön ja siitä, sallitaanko keskeytys saarekekäyttöön siirryttäessä.

5.4 Liitäntäpinnat

Järjestelmien pitää myös pystyä kommunikoimaan sekä keskenään että käyttäjien kanssa. Seuraavassa käydään esimerkinomaisesti läpi erilaisia liitäntäpintoja.

Käyttäjäliitântä. Käyttäjäliitännällä tarkoitetaan tässä yhteydessä energiajärjestelmän käyttäjän liitântää, josta ainoastaan tärkeimpien laitteiden tilat ja prosessisuureiden arvot voidaan lukea. Käyttäjäliitântä voi olla paikallisilla mittareilla, merkkivaloilla ja painikkeilla varustettu, tai se voidaan toteuttaa tietokoneen avulla, usein etäyhteydellä. Tietokoneella toteutettu käyttäjäliitântä pitää voida ohjata myös langattomaan laitteeseen. Järjestelmällä voi olla erilaisia käyttäjiä, jotka tarvitsevat erilaiset oikeudet. Tähän tarvitaan käyttöoikeuksien hallintaa. Toteutustekniikan ei pitäisi edellyttää käyttäjiltä investointeja uusiin näyttölaitteisiin ja valvomoihin. Käytön pitää olla mahdollista yleisten tietoverkkojen yli tavallisilla verkkoselaimilla ja rajoitetusti esimerkiksi matkapuhelimella.

Huolto- ja ylläpitoliitântä. Huolto- ja ylläpitoliitännällä tarkoitetaan lähinnä tietokoneella toteutettua liitântää, jolla päästään seuraamaan järjestelmän toimintaa riittävällä tarkkuudella, jotta erilaisia vikatilanteita voidaan diagnostisoida. Liitännästä pitää myös voida suorittaa pienimuotoisia konfiguroinnin muutoksia, ohjelmistopäivityksiä sekä järjestelmän uudelleenkäynnistys.

Liitântä sähkömittariin. Liitântä sähkömittariin pitää voida suorittaa älykkäällä väylällä siten, että kaikki mitatut suuret saadaan tarvittaessa luetuksi järjestelmään. Liitännässä pitää olla riittävä varmuus, ettei sen vikaantuminen häiritse mittarin toimintaa. Sähkömittariin tulee kaukoluentaa, jota mahdollisesti halutaan hyödyntää myös muiden tietojen siirtämiseksi paikallisverkon operaattorille.

Laitteistoväylä. Järjestelmässä pitää olla sopiva väyläratkaisu, johon voidaan liittää erilaisia laitteita, kuten esimerkiksi binääritulo ja -lähtö, analogiatulo ja -lähtö, moottori- ja venttiililiitântä, lämpötila-anturi, virtausanturi, paineanturi, pinnankorkeusanturi, jännite-, virta- ja tehomittarit, kaasuanalysaattori jne.

Liitântä tietojärjestelmiin. Järjestelmässä pitää olla liitântä, jolla voidaan liittyä tavantomaisiin tietojärjestelmiin erilaisten liitântäprotokollien avulla.

6 Toiminnallinen konsepti

Edellisissä luvuissa tarkasteltiin hajautettujen energijärjestelmien hallintaan liittyviä vaatimuksia ja esiteltiin mahdollisia toteutusteknologioita. Seuraavassa hahmotellaan, millainen tulevaisuuden automaatio- ja tietotekninen ratkaisu voisi olla. Tämä luku keskittyy järjestelmien tietosisältöön ja toimintoihin. Seuraava luku tarkastelee asiaa teknisemmältä kannalta.

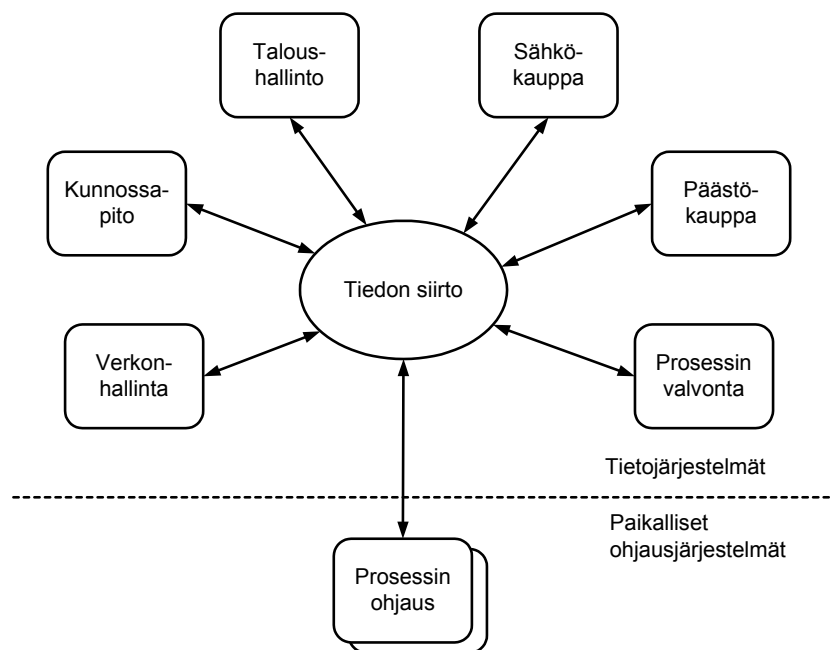
Esitetyt näkemykset ajoittuvat tarkoituksellisesti melko kauas tulevaisuuteen. Taustalla on oletus, että eri alojen nykyisin melko erilliset ratkaisut ja standardit yhtenäistyvät ja että niissä sovelletaan yleiskäyttöistä ja edullista perustekniikkaa. Tulevaisuuden kehityssuunnan lisäksi on luonnollisesti tarpeen tunnistaa ne konkreettiset kehitysaskleet, joiden avulla voidaan edetä haluttuun suuntaan. Energia-alalla tämä on erityisen tärkeää, koska investointien takaisinmaksuajat ovat pitkiä.

6.1 Taustaa

Hajautettujen energijärjestelmien taloudellisuus edellyttää kaikkien tarjolla olevien resurssien hyödyntämistä. Automaatio- ja tietojärjestelmien on liityttävä muihin, eri alojen (esim. talotekniikka) järjestelmiin. Samojen perusjärjestelmien on palveltava sekä energian tuotannon, siirron ja kulutuksen operatiivista hallintaa että erilaisia verkottuneita palveluita.

Kuva 11 esittää hajautetun energijärjestelmän hallintaan liittyviä toiminnallisia kokonaisuuksia. Hallintajärjestelmän fyysisessä rakenteessa voidaan nähdä kaksi tasoa: Paikalliset ohjausjärjestelmät ja eri paikoissa toimivat tietojärjestelmät sekä niitä yhdistävä tietoverkko. Tasot lomittuvat siten, että myös paikalliset automaatiolaitteet voivat suorittaa myös palveluliiketoimintaan liittyviä toimintoja tai niiden osia.

Perustan muodostavat paikallisten tuotanto- ja kulutusyksiköiden ohjausjärjestelmät. Niitä valvotaan ja operoidaan keskitetystä valvomosta. Jakeluverkolla voi olla omat ohjauksensa ja valvomonsa, tai nämä yhdistyvät riippuen liiketoiminnan rakenteesta. Koska tuotantoyksiköt ovat pieniä, niitä on koottava yhteen virtuaaliseksi voimalaitokseksi, jotta voitaisiin toimia sähkömarkkinoilla. Tällöin tietty palveluntarjoaja hoitaa useiden yksiköiden sähkökauppaa. Sama tilanne voi syntyä päästökaupassa. Myös kunnossapito sekä tuotannon ja kulutuksen mittaus ja laskutus on keskitettävä sopiville toimijoille ja järjestelmille.



Kuva 11. Hajautetun energiajärjestelmän hallintaan liittyviä toiminnallisia kokonaisuuksia.

Sovellustason käsitteet ja toimintamekanismit ovat olennainen seikka järjestelmien kuvaamisessa. Automaatiassa keskeinen ajatusmalli ovat yksittäiset signaalit ja suuret, jotka toteutuvat järjestelmissä muuttujina (engl. tag). Näitä tietoja siirretään valvomoihin ja eri ohjaimien välillä. Itse sovellus on usein syklistesti suoritettava ohjelma. Sovellus koostuu toimilohkoista (function block), jotka kapseloivat usein tarvittavia perustoimintoja, kuten loogisia portteja, ajastimia ja säätöalgoritmeja. Tiedonsiirto tapahtuu määrävälillä tai suureen arvon muutokseen perustuen. Reaaliaikaisuus ja toimintojen synkronointi ovat olennaisia vaatimuksia.

Tietojärjestelmät painottuvat informaation tallentamiseen ja käsittelyyn, joten tietokannat ovat niissä keskeinen elementti. Tietokeskeisten sovellusten ohella on syntynyt toimintopainotteisia tietojärjestelmiä (esim. workflow-järjestelmät), joissa keskitetyn tietokannan sijasta korostuvat hajautuneiden toimintojen väliset informaatiovirrat. Toteutustasolla yleisiä malleja ovat toisaalta etäproseduurikutsuihin perustuvat asiakaspalvelinarkkitehtuurit (client/server) ja toisaalta viestien välityspalveluita (Message-oriented middleware, MOM) soveltavat ratkaisut. Viestien välityksen olennainen piirre on, että se sitoo lähettäjän ja vastaanottajan vain löyhästi toisiinsa. Ne eivät kenties ole lainkaan tietoisia toistensa identiteetistä, mikä tekee järjestelmästä joustavan.

Käytännön sovelluskehityksessä on pakko ottaa huomioon olemassa olevat, usein itse kehitetyt järjestelmät (legacy systems). Järjestelmien yhdistämistä vaikeuttaa myös eri valmistajien tuotteiden heterogeenisyys. Sovellusten integraatiota (Enterprise Application Integration, EAI) varten on kehitetty ratkaisuja, jotka perustuvat em. palvelin-

arkkitehtuuriin tai viestien välitykseen. Internetiä ja XML:ää hyödyntävät *sovelluspalvelut* (web services) ovat nopeasti kehittyvää tekniikkaa, joissa olemassa oleva tietojärjestelmä tai automaatiojärjestelmä näkyy ulkopuoliselle maailmalle joukkona palveluita (esim. OPC XML-DA). Toimintamalli on perusteiltaan etäproseduurikutsu, mutta tekniikka tukee myös spontaanien viestien (notification) välittämistä.

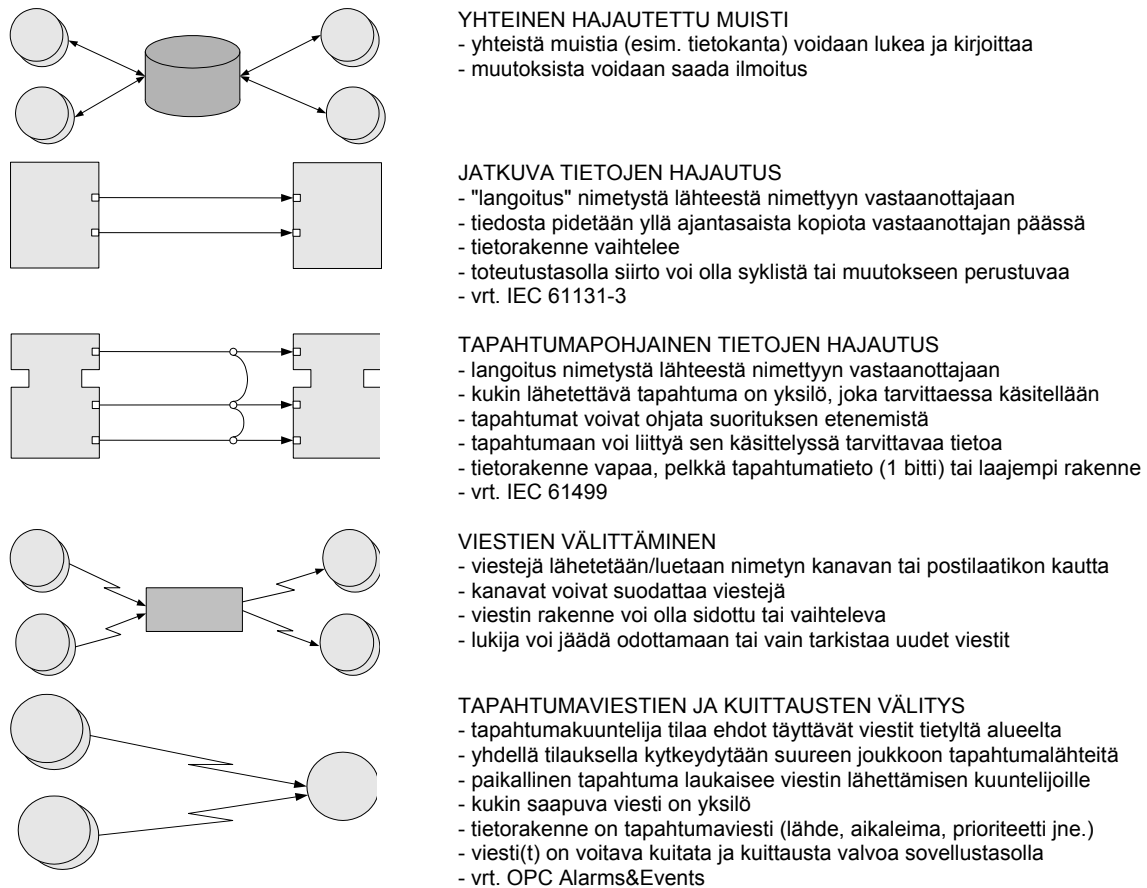
Sekä automaatioissa että tietotekniikassa voidaan havaita tiettyjä trendejä. Olio-ohjelmoinnin ja siihen liittyvien suunnittelumenetelmien ansiosta sovellukset eivät ole enää muistipaikkoja, tietueita ja aliohjelmia, vaan ne nähdään joukkona sovellusalueen käsitemaailmaa edustavia olioita. Nämä oliot voivat myös hajautua eri tietokoneille. Tehokkuus- ja laatuvaatimusten vuoksi haetaan ratkaisuja, joilla tehtyä suunnittelua voidaan käyttää uudelleen. Aliohjelma- ja luokkakirjastojen ohella pyritään käyttämään uudelleen entistä suurempia kokonaisuuksia. Puhutaan ohjelmistokomponenteista, jotka ovat kooditasolla uudelleenkäytettäviä. Tämä edellyttää, että pohjalla on yhteinen kehyssovellus (framework), johon eri tahojen tuottamat komponentit voidaan sijoittaa. Suunnittelutasolla uudelleenkäytön tekniikoita ovat erilaiset ratkaisumallit, jotka voivat liittyä arkkitehtuureihin (architectural pattern), ohjelmiston rakenteeseen (design pattern) ja myös koodin toteutukseen (idiom).

6.2 Hallintajärjestelmän peruskomponentit

Mitä edellä esitetyn pohjalta voidaan sanoa tulevaisuuden energia-automaation toimintaperiaatteista? Integraation vuoksi se on ainakin monimuotoista. Toisaalta tarvitaan reaaliaikaista ja luotettavaa ohjausta, toisaalta järjestelmiin kuuluu vähemmän kriittistä informaation hallintaa. Monimuotoisuudesta johtuu, että on voitava integroida eri valmistajien ja sovellusalojen ratkaisuja. Investointien hidas uusiutuminen merkitsee, että olemassa olevia järjestelmiä ja alan standardeja ei voida korvata aivan lähitulevaisuudessa. Kaikissa tilanteissa on pyrittävä käyttämään standardoitua, edullista ja koeteltua tekniikkaa.

Yleisellä tasolla hajautetun energiajärjestelmän hallinta voidaan nähdä joukkona hajautettuja *komponentteja*, jotka ovat vuorovaikutuksessa muutamilla vakiintuneilla perusmekanismeilla. Komponentit ovat erikokoisia ja eri tarkoituksiin kehitettyjä, uudelleenkäytettäviä (osin myös standardoituja) kokonaisuuksia. Sovelluksen toiminta etenee toisaalta siten, että komponentit reagoivat ulkoisiin herätteisiin. Toisaalta komponenteilla on omaa sisäistä (esim. syklistä) toimintaa, joten ne ovat myös omaaloitteisia. Komponenttien sisäinen tila ja tiedot näkyvät ulkopuolelle vain hyvin määritellyn rajapinnan kautta. Tätä varten komponentilla on joukko erityyppisiä, informaatiota ja palveluita tarjoavia tai käytäviä *portteja*, joita toisiinsa kytkemällä sovellus voidaan koota.

Monimuotoinen toiminta edellyttää, että käytettävissä on useita erilaisia vuorovaikutusmekanismeja. Lähestymistavat voidaan luokitella tietojen hajautukseen, viestipohjaiseen vuorovaikutukseen sekä metodikutsuihin perustuviin palveluihin (Tommila et al. 2003). Näissä voidaan edelleen nähdä erilaisia alaluokkia (Kuva 12).

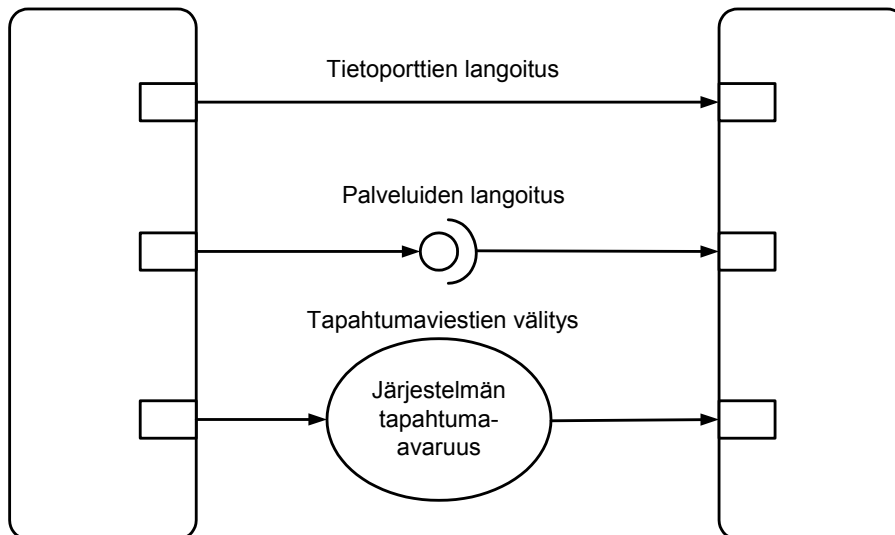


Kuva 12. Yleisiä vuorovaikutusmekanismeja (Tommila et al. 2003).

Automaation perinteinen ajatusmalli (IEC 61131-3) on jatkuva tietojen hajautus, jossa ylläpidetään ajan tasalla olevaa signaalia vastaanottajan portissa. Uusi standardi IEC 61499 tuo (aikanaan) tapahtumapohjaisen (event-driven) hajautuksen ja sovelluksen suorituksen. Kehittyneemmissä palveluissa (ja yksittäisissä luku- ja kirjoitusoperaatioissa) metodien etäkutsu on luonteva periaate. Palvelut eivät vielä ole yleisiä ohjaustasolla, mutta tarpeen mm. ylläpidossa ja diagnostiikassa. Viestien välittäminen esim. postilaatikoiden kautta puolestaan vähentää komponenttien riippuvuuksia ja tekee sovelluksesta joustavamman. Esimerkki viestien välittämisestä automaatiassa ovat hälytykset ja ilmoitukset. Viestipohjaista ohjausta sovelletaan myös elektroniikan kokoonpanossa. Näissä malleissa viestejä tilataan ensisijaisesti sisällön, ei lähettäjän perusteella. Tällöin viestejä välittävät postilaatikot tai kanavat eivät ole sovelluksen kannalta merkityksellisiä, vaan lähtevät viestit näkyvät periaatteessa koko järjestelmän alueella.

Tavoitteena tulisi olla mahdollisimman yksinkertainen, mutta tavoitteet täyttävä järjestelmäkonsepti. Edellä esitetyissä vuorovaikutusmekanismeissa on päällekkäisyyksiä. Yhteinen muisti voidaan korvata tulkitsemalla tietokanta palveluksi. Jatkuvan ja tapahtumapohjaisen tiedon langoituksen ero on tulkinnanvarainen, koska käytännössä tiedonsiirto tapahtuu usein muutoksen perusteella. Nimetyt kanavat tai postilaatit ovat periaatteessa tarpeettomia, koska viestien luonnollisin välitystapa perustuu niiden sisältöön (johon toki voi kuulua tieto lähettäjistä). Tällöin vuorovaikutusmekanismeja on kolme (Kuva 13):

- tietoporttien väliset kytkennät
- palveluporttien väliset kytkennät sekä
- tapahtumaviestien välittäminen niiden sisällön perusteella.



Kuva 13. Komponenttien minimaaliset vuorovaikutusmekanismit (Tommila et al. 2005).

Hajautetun järjestelmän toimintaperiaatteet voidaan tiivistää seuraavasti:

- Järjestelmä muodostuu komponenteista, joiden rajapinnalla on tietoportteja, tapahtumaportteja ja palveluportteja.
- Komponentti voi koostua alemman tason komponenteista. Sovellus kootaan kytkemällä komponenttien portteja toisiinsa. Esim. lähtevä tietoportti kytketään toisen komponentin tuloporttiin. Vastaavasti palvelua tarvitsevan komponentin palveluportti liitetään palvelun tarjoajan palveluporttiin.
- Uuden arvon saapuminen komponentin tietoporttiin voi laukaista tietyn käsittelyrutiinin, jolloin sovellus toimii tapahtumapohjaisesti. Jos rutiinia ei ole määritetty, tieto vain tallentuu, jolloin sovellus voi toimia esim. syklistä.

- Tapahtumaportit, jotka toimivat tapahtumalähteinä, tuottavat koko järjestelmässä näkyviä tapahtumaviestejä. Tapahtumakuuntelijoina toimivat portit poimivat näitä viestejä määrittelemillään ehdoilla. Uuden viestin saapuminen porttiin voi käynnistää tietyn algoritmin suorittamisen.

Sovelluksen suunnittelu tulee voida tehdä välittämättä järjestelmän fyysisestä rakenteesta ja toimintojen sijoittelusta eri laskentaresursseille. Ajoympäristössä komponenttien väliset yhteydet voidaan muodostaa eri tavoin. Nimiviittaukset voidaan ratkaista jo suunnittelujärjestelmässä, mutta joustavampi tapa on hakemistopalvelujen (directory services) hyödyntäminen. Tiedon, tapahtumien tai palveluiden tuottaja rekisteröi tietonsa hakemistopalveluun, josta tarvitsijat etsivät niitä nimien perusteella. Viittausten selvittäminen tosin kuormittaa verkkoa esim. järjestelmän käynnistyessä. Jotta solmujen käynnistysjärjestys ei tulisi ongelmaksi, avoimeksi jääneitä viittauksia on selvitettävä myös järjestelmän toiminnan aikana. Periaate on tarpeen myös, jos komponentteja siirretään paikasta toiseen.

Joustavuus edellyttää, ettei kaikkia komponenttien välisiä riippuvuuksia tarvitse määrittellä suunnitteluvaiheessa. Hakemistopalveluihin voidaan rekisteröidä useita saman tiedon tai palvelun tarjoajia, jolloin niiden käyttäjät voivat valita ominaisuuksien perusteella parhaiten sopivan vaihtoehdon. Tällainen mekanismi tarjoaa etuja mm. järjestelmän kokoonpanon muuttuessa (Plug&Play) sekä redundanssien toteuttamisessa. Konfiguraation dynaaminen muuttuminen edellyttää, että hakemistopalvelut pystyvät levittämään tietoa tietojen ja palveluiden poistumisesta ja uusien lisäämisestä. Lisäksi palveluiden käyttäjien on mukauduttava muutoksiin ja tietolähteen mahdolliseen puuttumiseen. Edelleen komponenttien on huolehdittava tarpeettomien kytkentöjen ja resurssivarausten purkamisesta. Yksi hallintakeino on, että varaukset on uudistettava määräväleillä. Näin järjestelmä voi poistaa uusimatta jääneet viittaukset automaattisesti.

Komponenttien väliset tieto- ja tapahtumavirrat ovat pääsääntöisesti tietorakenteita. Niiden tehtävä on välittää informaatiota ja palvelupyyntöjä sekä synkronoida rinnakkaisia toimintoja. Täsmällinen sisältö riippuu komponenttien tehtävistä. Alimmalla tasolla liikkuu automaatioalan standardoimia signaaleja, hälytyksiä jne. Ylemmillä tasoilla tietorakenteet liittyvät mm. kunnossapitoon ja tuotannon seurantaan.

Myös komponenttien toimintaperiaatteet painottuvat eri hierarkiatasoilla eri tavoin. Reaaliaikaisessa ohjauksessa tarvitaan tyypillisiä automaation toimintoja, kuten nopeaa syklistä suoritusta ja tietoporttien langoitusta sekä hälytyksiä. Komponentit vastaavat siis nykyisiä toimilohkoja. Ylemmillä tasoilla korostuvat asynkroniset viestit sekä palvelut. Myös toteutusteknologioissa on väistämättä eroja.

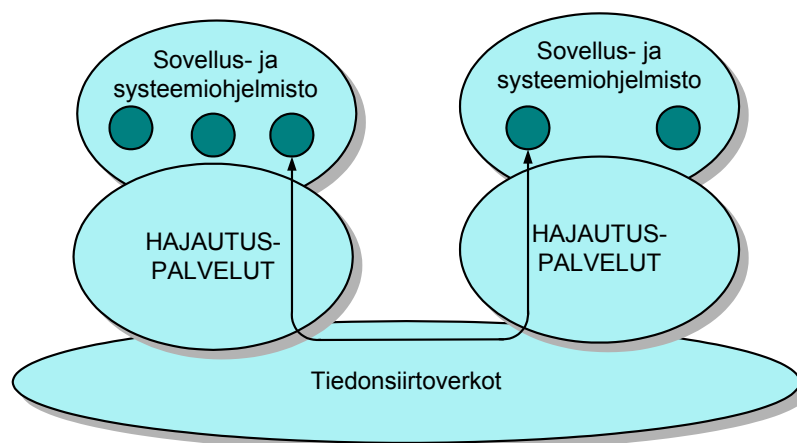
6.3 Toiminnalliset kokonaisuudet

Edellä hahmoteltiin järjestelmien yleisiä perusmekanismeja. Tavoite on, että niitä voidaan soveltaa sekä automaatiotuotteiden ja sovellusalustojen perusohjelmistoissa että varsinaisissa sovelluksissa. Rungoksi tarvitaan yleinen ja avoin perusarkkitehtuuri, jonka päälle voidaan koota tarpeiden mukainen, eri valmistajien tuotteista muodostuva ”hajautetun energiajärjestelmän hallinnan alusta”. Tämä alusta puolestaan muodostaa toimintaympäristön sovelluskomponenteille, jotka nekin voidaan suurelta osin hankkia avoimilta markkinoilta. Seuraavassa kuvataan sovellukselta ja perusohjelmistolta vaadittavia toiminnallisia kokonaisuuksia. Nämä toimivat osittain paikallisissa automaatiojärjestelmissä ja osittain ”ylemmän tason” tietojärjestelmissä. Painotus on paikallisten järjestelmien toiminnassa ja palveluissa, joita niiden tulisi tarjota tietojärjestelmille.

6.3.1 Tiedon, palveluiden ja tapahtumien hajautuspalvelut

Tavoite on, että sovelluskomponenttien väliset kytkennät voidaan määritellä suunniteluvaiheessa loogisilla nimillä tietämättä niiden lopullista sijoittumista järjestelmän eri tietokoneille. Tätä varten tarvitaan erilaisia hakemistopalveluita (directory services), jotka voivat olla keskitettyjä, mutta mieluummin hajautuneita siten, että niistä ei tule pullonkauloja tai epäluotettavuuden lähteitä.

Tietoa, palveluita tai tapahtumia tuottava komponentti rekisteröi porttiansa tiedot (esim. nimi, tyyppi ja ominaisuudet) hakemistopalveluun. Vastaavasti tietoa tai palveluita tarvitsevat komponentit etsivät niitä hakemistopalvelun avulla ja voivat näin selvittää, missä päin järjestelmää tietyn niminen tieto tai palvelu sijaitsee.



Kuva 14. Hajautuspalvelut (Tommila et al. 2005).

Käytännössä viittausten selvittäminen ja komponenttien välisten kytkentöjen muodostaminen ja hallinta voidaan piilottaa perusohjelmistossa välikerroksena (middleware) toimiviin hajautuspalveluihin (distribution services, Kuva 14). Tällöin sovelluskomponentti voi kytkeytyä yksinkertaisesti nimen avulla haluamaansa tietolähteeseen tai palveluun. Tapahtumia tuottavat komponentit puolestaan lähettävät tapahtumaviestit paikalliselle hajautuspalvelulle, joka huolehtii niiden reitittämisestä eri puolilla järjestelmää sijaitseville tapahtumien tilaajille.

Laajalle hajautetulle järjestelmälle on ominaista, että sen konfiguraatio muuttuu. Uusia osajärjestelmiä, laitteita ja ohjelmistokomponentteja lisätään ja vanhoja poistetaan. Komponentit voivat myös siirtyä paikasta toiseen. Dynaamisuutta lisää myös tiedonsiirtoyhteyksien epäluotettavuus. Tiedot ja palvelut eivät ole jatkuvasti saatavilla. Myös järjestelmän käynnistyessä syntyy tilanteita, joissa tarvittavat muut tietokoneet tai komponentit eivät ole vielä toiminnassa.

Näistä vaatimuksista seuraa, että hajautuspalveluihin tulee sisällyttää mekanismeja muutostilanteiden hallitsemiseksi. Tätä varten niiden on levitettävä tiedot muutoksista tarvittaviin järjestelmän osiin. Lisäksi sovelluskomponenttien tulee käyttäytyä järkevästi erilaisissa muutos- ja ongelmatilanteissa. Esimerkiksi, jos haluttua tietolähdettä ei löydy, komponentin tulisi (tarpeen mukaan) odottaa, että se ilmaantuu. Edelleen komponenttien tulee purkaa kytkennät ja vapauttaa varaamansa resurssit poistuessaan järjestelmästä. Näin ei kuitenkaan aina tapahdu, mm. silloin kun komponentti ”kaatuu” ohjelmistovirheeseen. Seurauksena on mm. että muisti täyttyy ”roskasta” ja että verkossa siirretään tarpeettomia tietoja. Yksi (mm. Javaan perustuvassa Jini-tekniikassa) käytetty lähestymistapa on, että komponenttien on uudistettava kytkennät ja resurssivaraukset määrävälein. Jos näin ei tapahdu, perusohjelmisto voi hoitaa niiden purkamisen automaattisesti.

Hajautettuun energiajärjestelmään sisältyy monenlaisia eri valmistajien komponentteja. Tästä seuraa, että on monenlaista välitettävää tietoa (yksittäisestä mittaussignaalista laajaan kunnossapidon raporttiin) ja että se on esitystavaltaan vaihtelevaa. Hajautuspalveluiden on siis tuettava useita eri sovellusalueiden tietomalleja.

Laaja maantieteellinen hajautus tuo mukanaan vaihtelevat tiedonsiirtoprotokollat ja kommunikoinnin epäluotettavuuden. Tiedonsiirto on voitava toteuttaa kulloistenkin tarpeiden ja sijoituspaikan vaatimusten mukaan. Edellä esitetty tarkoittaa, että hajautuspalvelu tulisi voida koota tarpeen mukaan pienemmistä komponenteista.

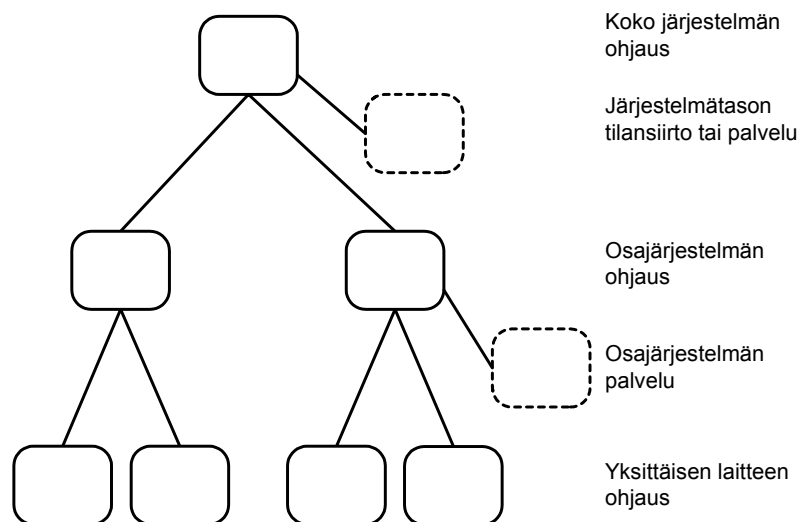
Epäluotettavuuden hallitsemiseksi tarvitaan paikallista puskurointia ja rinnakkaisia tiedonsiirtotapoja. Tiedonsiirtoyhteydet ovat usein kapasiteetiltaan rajoitettuja, joten kommunikointi tulee rajoittaa vain tarpeellisiin tietoihin. Lisäksi voidaan jalostaa ja pakata tietoja paikallisesti ennen niiden lähettämistä.

6.3.2 Välitön prosessin ohjaus

Paikallisen järjestelmän ”perusautomaation” tehtäviin kuuluvat mm. prosessimittaukset ja -ohjaukset, prosessilaitteiden tilan ohjaus (säädot, sekvenssit, automatiikat, lukitukset jne.), hälytysten ja ilmoitusten käsittely, historiatiedon keruu ja raportointi sekä käyttöliittymät. Koska käyttäjä ei ole yleensä paikalla valvomassa laitoksen toimintaa, on ohjaussovelluksen suunnittelussa varauduttava erilaisiin poikkeustilanteisiin. Epävarmat ja kaistaltaan usein rajalliset tiedonsiirtoyhteydet puolestaan korostavat itsenäistä toimintakykyä sekä informaation paikallista puskurointia ja jalostamista.

Yleinen trendi on, että ”älykkyys” hajautuu alemmas kohti ohjattavia laitteita. Tällöin ohjaussovellus voidaan rakentaa vastaamaan tuotantolaitteiston ja siirtoverkon ”tuoterakennetta”. Ohjausjärjestelmän komponentit edustavat ohjattavan järjestelmän yksittäisiä laitteita tai laajempia kokonaisuuksia. Nämä ”älykkäät komponentit” tarjoavat muille komponenteille hallitsemansa kohteen tietoja, palveluita ja tapahtumia. Lisäksi ne ylläpitävät tietoa ko. kohteen erilaisista *käyttötiloista* (seis, käy, huollossa jne.), toimintamoodeista (manual, auto) ja suorituskyvystä (erityisesti toimintakunto).

Fyysisiin laitekokonaisuuksiin liittyy myös puhtaasti toiminnallisia osuuksia (palveluita), jotka voivat olla esimerkiksi säätöjä, sekvenssiohjelmia (kuten prosessin ylösajo, laitteen puhdistus tai testaus), tiedonkeruuta tai optimointia. Myös näillä toiminnoilla on erilaisia tiloja ja moodeja.



Kuva 15. Sovelluksen hierarkkinen rakenne noudattaa prosessilaitteiston rakennetta ja laitekokonaisuuksien toimintoja.

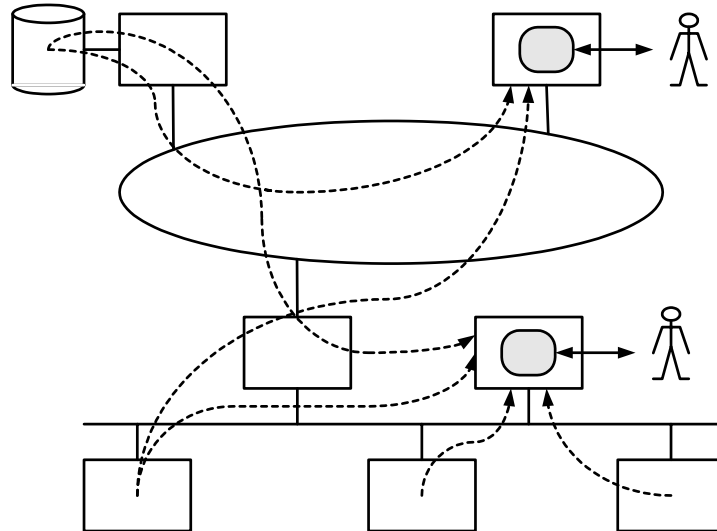
Tällöin ohjaustason sovellus voi olla oheisen kaavion (Kuva 15) mukainen joukko laitteiston rakenteen mukaan hierarkkisesti organisoituneita komponentteja. Kutakin ohjattavan laitteiston kokonaisuutta vastaa komponentti, joka tuntee alapuolella olevat osa-

järjestelmät ja ylläpitää hallitsemansa kokonaisuuden tilatietoja. Ylimmällä tasolla voi olla kokonainen energian tuottaja, esim. biokaasulaitos, ja sen alla osajärjestelmät mm. raaka-aineen käsittelyä, kaasutusta, sähkön tuotantoa ja verkkoliityntää varten. Eri tasoilla laitteiston ohjaukseen liittyy erilaisia palveluita, jotka on suunniteltu esim. laitoksen käynnistämiseen ja pysäyttämiseen, tiedonkeruuseen tai suorituskyvyn seurantaan.

6.3.3 Käyttöliittymät

Hajautettujen energiajärjestelmien parissa työskentelee monentyyppisiä käyttäjiä paikallisesti, palvelukeskuksissa ja kannettavia päätelaitteita hyödyntäen. Osa käyttäjistä on järjestelmien asiantuntijoita. Useimmille (esim. maatilan isäntä) automaatio- ja tietojärjestelmät, ehkä energiajärjestelmätkin, ovat sivuasiana, eikä heiltä voida vaatia perehtymistä niiden käyttöön. Ainakin tiettyjen käyttöliittymien osuuksien on siis oltava korostetun helppokäyttöisiä.

Käyttöliittymät on rakennettava tukemaan käyttäjien työtä. Energiajärjestelmien hallinnassa sovelletaan useita eri valmistajien eri tarkoituksiin kehittämiä ohjaus- ja tietojärjestelmiä. Tällöin kunkin käyttäjäryhmän käyttöliittymiin on tuotava informaatiota ja toimintoja useilta tietokoneilta ja useista eri paikoista. Tästä seuraa, etteivät eri järjestelmien omat paikalliset käyttöliittymät ole keskeisessä roolissa. Järjestelmiin voi toki olla tarpeen sisällyttää ”kaiken varalta” esim. paikallisohjauspaneeli, liityntä kannettavalle tietokoneelle tai selainkäyttöliittymä diagnostiikkatarkoituksiin. Normaali-tilanteessa käyttäjän tulisi kuitenkin nähdä yhtenäinen, integroitu ja tehtäviään vastaava käyttöliittymä ilman tarvetta tuntea kokonaisuuden tietoteknistä rakennetta (ellei juuri se ole työn kohteena). Tilannetta on hahmoteltu oheisessa kaaviossa. Esimerkiksi biokaasulaitoksen automaatio liittyy paikallisverkon välityksellä maatilan muihin järjestelmiin (rehun annostelu, tuuletus, LVI jne.). Sekä paikallisessa että esim. etävalvonnan ja kunnossapidon käyttöliittymissä yhdistellään tietoja eri osajärjestelmistä ja laitetoimittajien dokumenttitietokannoista.



Kuva 16. Käyttöliittymien kokoaminen eri osajärjestelmien tiedoista ja palveluista.

Käyttöliittymien toiminnot ja ulkoasu ovat tapauskohtaisia. Nykymaailmassa on todennäköistä, että ne pohjautuvat Internetin selaintekniikkaan (esim. XHTML). Tällöin jollekin tietokoneelle tarvitaan palvelinohjelmisto, johon käyttäjä ottaa yhteyttä. Palvelin voi integroida osajärjestelmiä eri periaatteilla, mutta sisäisessä tiedonsiirrossa voidaan soveltaa web-tekniikoita. Palvelimen tehtävä on hallita käyttäjän ja järjestelmän välistä keskustelua ja muokata eri osajärjestelmien informaatio ja palvelut yhtenäiseen muotoon. Ulkoasu ja tarpeen mukaan sisältö on voitava mukauttaa erilaisten päätelaitteiden ominaisuuksiin.

Kuten ohjaustoiminnot, myös käyttöliittymät tulisi voida koota valmiista (standardoiduista ja kaupallisista) osista, ”käyttöliittymäkomponenteista”, jotka sijoitetaan palvelimelle standardoituun toimintaympäristöön ja kytketään toisiinsa ja eri osajärjestelmien komponentteihin. Esimerkkinä voidaan mainita tavallisia prosessilaitteita, kuten säiliöitä, generaattoreita ja muuntajia, edustavat graafiset elementit tarvittavine toimintoineen.

Käyttäjän kannalta käyttöliittymät voidaan organisoida erilaisilla periaatteilla. Yksi tavoite on tukea käyttäjää energijärjestelmän rakenteen ja toiminnan hahmottamisessa. Osa näytöistä on siis hyvä rakentaa (perinteiseen tapaan) energijärjestelmän laitteiston rakenteen mukaisesti. Tilan tiedon lisäksi fyysisen laitekokonaisuuden näyttö sisältää erilaisia operointimahdollisuuksia, kuten käynnistys ja pysäytys sekä muut järjestelmän tarjoamat palvelut. Toinen, toiminnallisempi näkökulma on liiketoimintaprosessit ja tuotantotoiminnot. Yleistilannetta voidaan kuvata esimerkiksi eri prosessivaiheiden (raaka-aineen varastointi, kaasutus, sähkön tuotanto jne.) tilojen avulla. Näistä käyttäjä voi tarvittaessa siirtyä katsomaan tarkemmin niitä fyysisiä laitekokonaisuuksia, jotka suorittavat kyseistä prosessivaihetta. Kolmas ja keskeinen käyttöliittymän toimintojen ryhmä ovat normaalista tuotannosta poikkeavien ongelma- ja korjaustilanteiden ohjeet.

6.3.4 Hälytysten ja ilmoitusten käsittely

Hälytykset ja ilmoitukset kertovat odottamattomista ja odotetuista tapahtumista. Osajärjestelmät valvovat tiettyjen ehtojen täyttymistä ja tuottavat tapahtumasta kertovan *tapahtumaviestin*, jonka järjestelmään sisältyvät tapahtumien välityspalvelut reitittävät kiinnostuneiksi ilmoittautuneille tahoille. Viestien perustehtävä on informaation välittäminen, mutta mekanisme voidaan soveltaa myös toimintojen käynnistämiseen ja rinnakkaisten aktiviteettien synkronointiin. Viesti voi esimerkiksi kehottaa käyttäjää suorittamaan tietyn toimenpiteen.

Perustapauksessa tapahtumaviestien lähteinä ovat paikalliset ohjausjärjestelmät ja tilaajina käyttöliittymät sekä tietojärjestelmät. Tämän lisäksi mikä tahansa kokonaisjärjestelmään kuuluva ohjelmisto voi toimia samalla tavalla. Esimerkiksi kunnonvalvontatietoja analysoiva tietojärjestelmä voi tuottaa huonosta suorituskyvystä kertovan hälytyksen, joka ohjataan prosessin etävalvomoon ja tarvittaessa paikalliseen käyttöliittymään.

Tapahtumaviestien tulee tarjota riittävää ja yksiselitteistä tietoa sekä käyttäjille että viestestä käsitteleville ohjelmistoille. Tätä varten viesteihin sisältyy kenties itse tapahtuman (”laitte x käynnistynyt”) lisäksi prosessin tilanteesta (ylösajo) ja vallitsevista olosuhteista. Edelleen viestin kentät kertovat mm. tapahtuman luonteesta ja tärkeydestä. Käyttöliittymissä tapahtumat tulee esittää johdonmukaisesti ja käyttäjien ymmärtämässä muodossa.

Käyttäjien ongelma on viestien suuri määrä erityisesti normaalista poikkeavissa tilanteissa. Laajassa hajautetussa hallintajärjestelmässä hälytyksiä on priorisoitava kiireellisuuden ja tärkeyden mukaan, ja turhat ja päällekkäiset hälytykset on suodatettava eri puolilla järjestelmää automaattisesti pois. Esimerkiksi myrsky voi aiheuttaa sähkökatkon kautta tuhansia hälytyksiä. Jos kaikki siirretään korkealla prioriteetilla käyttäjälle, sekä automaation että käyttöliittymien toiminta kärsii. Ensisijainen keino ongelman ratkaisuun on estää tarpeettomien hälytysten syntyminen jo niiden alkulähteillä. Tällöin hälytysten muodostaminen tulee mukauttaa prosessin tilanteeseen esimerkiksi muuttamalla hälytysrajoja. Alkutapahtumasta johtuvat seuraushälytykset voidaan karsia ja tallentaa vain ilmoituksina historiatietokantaan jälkianalyysia varten. Toinen keino on vain käyttäjän tehtäviin liittyvien viestien välittäminen käyttöliittymään asti. Esimerkiksi automaatiojärjestelmän ylläpidosta vastaavalle esitetään järjestelmään liittyvät tapahtumat mutta ei prosessitapahtumia. Kolmas lähestymistapa hälytysruuhkan hallintaan on hyvin suunniteltu käyttöliittymä, johon on yhdistetty käyttäjää tukevia toimintoja esimerkiksi ongelman syyn selvittämistä ja tilanteen korjaamista varten.

Tietyt tapahtumat, erityisesti kriittiset hälytykset, edellyttävät toimenpiteitä käyttäjältä tai ohjelmistolta. Yleensä viestin perillemeno varmistetaan vaatimalla käyttäjältä kuittaus. Erityisesti etäohjattavissa, autonomisissa kohteissa tieto kuittauksesta on tavalla tai

toisella tuotava paikalliseen ohjausjärjestelmään asti. Jos kuittausta ei tule, tai jos tiettyä toimenpidettä ei suoriteta tietyn ajan kuluessa, ohjausjärjestelmä voi käynnistää esimerkiksi suojauksen oma-aloitteisesti.

6.3.5 Komponenttien tilan ja eliniän hallinta

Sekä sovelluksen että perusohjelmiston komponentit asennetaan järjestelmän solmuina toimiviin tietokoneisiin. Tätä varten tarvitaan palveluita, joiden avulla voidaan mm.:

- lisätä uusia komponentteja
- kytkeä komponentteja toisiinsa
- käynnistää ja pysäyttää komponentteja
- poistaa tarpeettomia tai vanhentuneita komponentteja
- vaihtaa toimiva komponentti uuteen versioon energiajärjestelmän toimintaa häiritsemättä
- selata olemassa olevien komponenttien tilatietoja ja ominaisuuksia.

Järjestelmien maantieteellisen hajautuksen vuoksi kaikkia näitä toimintoja on voitava hoitaa tietoverkkojen yli. Ylläpidon mahdollistamiseksi kussakin solmussa tarvitaan jonkinlainen kehyssovellus, joka tarjoaa palvelut komponenttien eliniän hallitsemiseen. Yleensä järjestelmän tai solmun ylläpidosta vastaa yksi toimija, mutta periaatteessa samallakin solmulla voi olla eri tahojen toimittamia ja hallitsemia komponentteja. Tällöin korostuu versioiden hallinnan, komponenttien yhteensopivuuden ja tietoturvan merkitys. Kokonaisjärjestelmän toimintaa ei saa vaarantaa virheellisillä ohjelmistoilla tai ylläpidon toimenpiteillä. Hallittavana voi olla suuri määrä solmuja. Työmäärän pienentämiseksi tarvitaan välineitä, joilla ohjelmistot ja konfiguraatiot voidaan jaella useille solmuille automaattisesti.

6.3.6 Järjestelmän solmujen ja tietoverkon etädiagnostiikka ja kunnonvalvonta

Järjestelmän laitteiden ja ohjelmistokomponenttien on koottava tietoja virheistä ja suorituskyvystä sekä pystyttävä tuottamaan hälytyksiä ja ilmoituksia ongelmista ja tilan muutoksista. Laajojen hajautettujen järjestelmien, kuten tele- ja tietoverkkojen, hallintaan on kehitetty standardeja ja niihin perustuvia valvontasovelluksia (esim. Simple Network Management Protocol, SNMP sekä uudemmat määrittelyt, joita kehittää Distributed Management Task Force, DMTF, ks. <http://www.dmtf.org>). Ratkaisuja on sovellettu myös teollisuuden automaatiojärjestelmiin, ja lienee perusteltua hyödyntää samoja standarditekniikkaa myös hajautetuissa energiajärjestelmissä. Tällöin paikallisiin

järjestelmiin voidaan sijoittaa erillinen valvontakomponentti, joka saa ne toteuttamaan valitun standardin vaatimat hallintapalvelut.

Hajautetussa tuotantoyksikössä ei ole varaa paikalliseen kunnossapitoon. Järjestelmän tulee toimia luotettavasti ja kyetä selviämään pienistä ongelmista itsenäisesti. Prosessilaitteistoon ei ole mahdollista toteuttaa redundanssia, joten perusratkaisuilta vaaditaan paljon. Ohjausjärjestelmissä tilanne voi olla hieman toinen, jos tulevaisuudessa pystytään hyödyntämään edullista elektroniikkaa. Esimerkiksi langattomat anturit voivat olla niin halpoja, että niitä voidaan sijoittaa prosessiin ”ylimäärin”.

Tuotantoyksikön luotettavuus edellyttää ohjausjärjestelmältä kolmenlaisia palveluita: kunnonvalvontaa, integraatiota kunnossapidon tietojärjestelmiin sekä kehittyntä poikkeustilanteiden hallintaa. Nykyisin kunnonvalvontajärjestelmät ovat erillisiä tuotteita, joiden soveltaminen vaatii erikoisosaamista. Sellaisina ne ovat liian kalliita hajautettuun energiantuotantoon. Tulevaisuudessa mm. värähtelyanturit ovat halpoja, joten myös erikoismittaukset ovat mahdollisia. Lisäksi voidaan soveltaa normaaleja prosessimittauksia yhdistettyinä prosessimalleihin. Paikallisiin ”älykkäisiin” prosessijärjestelmiin voidaan siis liittää ohjausjärjestelmän ohjelmistokomponentteja, jotka analysoivat prosessilaitteiden kuntoa ja prosessin toiminnallista suorituskykyä. Nämä tiedot ovat osa komponenttien vakiintunutta rajapintaa ja siten helposti hyödynnettävissä esim. käyttöliittymissä. Kunnonvalvonta on sidoksissa prosessilaitteistoon ja sen toimintaan, joten sen soveltaminen edellyttää, että laitevalmistajat paketoivat osaamisensa (ohjausosaamisen ohella) valmiiksi komponenteiksi tai toiminnallisiksi määrittelyiksi, jotka muut toimijat pystyvät toteuttamaan.

Etädiagnostiikan ja kunnossapidon tueksi paikallinen järjestelmä tarjoaa raakaa mittaus-tietoa sekä jalostettuja analyysiraportteja. Se voi lähettää hälytyksiä päivystävälle huoltomiehelle ja työtilauksia kunnossapidon tietojärjestelmään. Järjestelmään tulee toteuttaa kunnossapidon tehtäviä helpottavia palveluita, kuten automaattisia testejä ja konfiguraation muutoksia (esim. laitteen otto pois käytöstä).

Poikkeustilanteiden hallinta on laaja (ja kehittymätön) tehtäväkenttä, joka liittyy moniin automaation toimintoihin. Se kattaa ongelmien ennalta välttämisen ja ennustamisen, hälytykset, häiriöiden korjaustoimet sekä normaalitilan palauttamisen ja historiatietojen kokoamisen. Yllättävien tilanteiden hallitsemiseksi eri osajärjestelmiin tulisi toteuttaa automaattikoja (palveluita), joita voidaan käyttää joustavasti sekä häiriöiden että muiden poikkeuksellisten tilanteiden (esim. huolto) hallitsemiseen. Sekä paikallisia että etäällä toimivia käyttäjien on tuettava ohjeilla ja dokumenteilla häiriöiden syiden analysoinnissa ja korjaustoimenpiteiden toteuttamisessa.

6.3.7 Sähkökauppa

Sähkön tukkumarkkinat, kuten sähköpörssi, eivät ole suoraan pienen energian tuottajan tai edes tuottajien muodostaman ryhmän ulottuvilla. Tarvitaan siis välittäjä, joka yhdistää joukon pieniä tuottajia ja myy niiden resursseja ”virtuaalisena voimalaitoksena”. Tämä edellyttää, että välittäjällä on käytössä tietojärjestelmä, joka noudattaa sähkömarkkinoiden standardeja ja liittyy paikallisiin ohjausjärjestelmiin, verkonhallintaan ja mahdollisesti kunnossapitoon. Sen avulla hän voi seurata ja ennustaa markkinoiden kehitystä sekä ennustaa, optimoida ja ohjata sopimuksellista sähköasettaan. Hajautettujen resurssien ohjattavuuden hyödyntäminen on oleellista sähkökaupan riskien hallinnassa; tasehallinnan riskejä, tasevastuun kustannuksia ja markkinahäiriöiden vaaraa voidaan sillä tavoin pienentää.

Tätä varten välittäjän järjestelmän on sovittava paikallisten järjestelmien kanssa resurssivarauksista. Tämän mahdollistamiseksi paikallisen järjestelmän on koostuttava ”älykkäistä” osajärjestelmistä, jotka osaavat arvioida toimintakuntensa, raaka-ainevarastot jne. Lisäksi järjestelmään tulisi kuulua resurssienhallintakomponentti, joka pystyy ennustamaan lähitulevaisuutta ja sitoutumaan tiettyyn tuotantoon neuvotteluissa välittäjän tietojärjestelmän kanssa. Tilannearviota on päivitettävä jatkuvasti siten, että paikallinen järjestelmä pystyy ilmoittamaan mahdollisimman aikaisin välittäjän järjestelmälle, jos resurssivarauksen tai jo käynnissä olevan tuotannon kanssa on odotettavissa ongelmia.

6.3.8 Ympäristön valvonta

Päästökauppaa varten energiantuottajat joutuvat mittaamaan päästöjään sekä tallentamaan ja raportoimaan historiatiedot luotettavalla tavalla (siten, että tieto säilyy eikä sitä päästä muuttamaan) ja (varmaankin) tietyssä muodossa. Sama koskee ympäristöön liittyvää valvontaa laajemminkin.

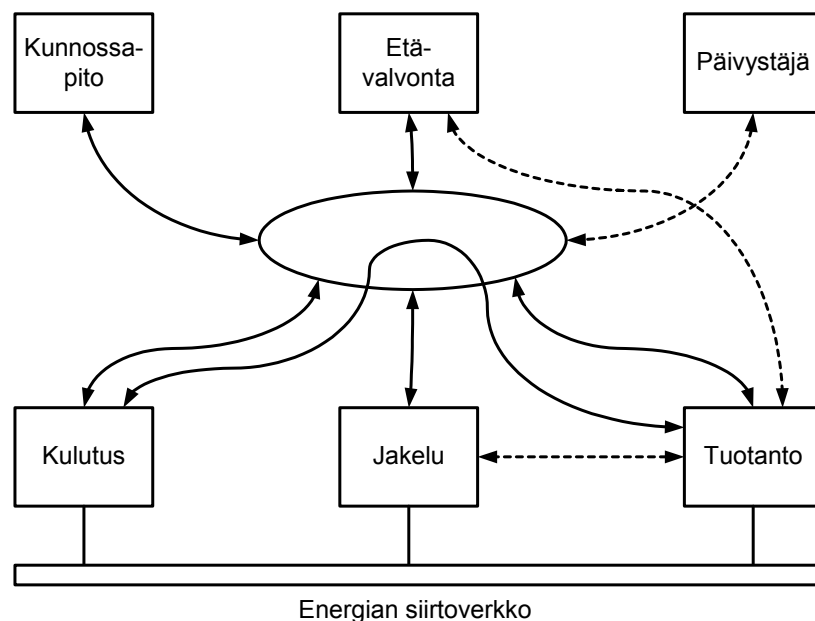
Tästä tarpeesta seuraa, että paikalliseen ohjausjärjestelmään on lisättävä tiettyjä mittauksia ja huolehdittava mittaustietojen tallentamisesta, kenties muuta historiatiedon tallennusta varmemmalla tavalla. Yksi vaihtoehto on toteuttaa tietojen keruu, tallennus ja raportointi viralliseen muotoon paikalliseen järjestelmään sijoitettavana komponenttina. On kuitenkin luultavaa, ettei paikallinen käyttäjä (esim. maatilan isäntä) itse harrasta päästökauppaa tai edes asioi ympäristöviranomaisten kanssa. Tällöin em. toiminnot voidaan antaa ulkopuoliselle toimijalle, joka hoitaa usean energiantuottajan ympäristöasioita. Paikallinen toiminta voidaan rajata tiedonkeruuseen ja lyhytaikaiseen puskurointiin, huolehtien kuitenkin riittävästä luotettavuudesta ja tietoturvasta.

7 Toteutusarkkitehtuurit

Edellisessä luvussa rajauduttiin toiminnalliseen näkökulmaan puuttumatta hallintajärjestelmän tekniseen toteutukseen. Tämä luku hahmottaa mahdollisia toteutusvaihtoehtoja ja teknologioita lähtien aiemmin kuvatuista vaatimuksista ja toiminnoista. Painopiste on paikallisen energiajärjestelmän ohjauksessa sekä sen liitynnöissä laajemman kokonaisuuden koordinointiin ja palveluliiketoiminnan tietojärjestelmiin. Keskeisiä asioita ovat mm. maantieteellisesti hajautettu tiedonsiirtoarkkitehtuuri, sulautetut palvelimet sekä vasteajat. Paikallinen järjestelmien välinen tiedonsiirto on myös välttämätöntä, jotta päästään toiminnalliset vaatimukset täyttävään, vikasietoiseen ja kustannustehokkaaseen ratkaisuun. Laiteresursseja ja tietoa on voitava jakaa eri sovellusten välillä. Myös tietoturvan hallinta tuo omat haasteensa, koska on useita järjestelmää hyödyntäviä osapuolia, järjestelmät vaihtavat tietoja myös paikallisesti ja koska käytetään yhteisiä tai peräti julkisia tietoverkkoja.

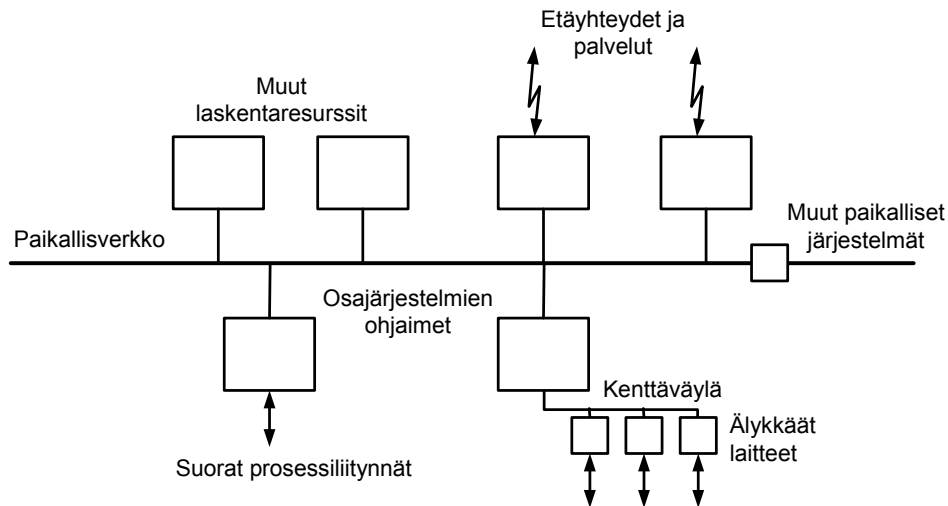
7.1 Laitteiston ja ohjelmiston rakenne

Hajautettuja energiajärjestelmiä hallitaan suurella joukolla osajärjestelmiä ja tietokoneita (Kuva 17). Ne kytkeytyvät toisiinsa erilaisilla tekniikoilla, kuten Internet-verkolla GSM- ja GPRS-verkoilla tai joissakin tapauksissa erikoisratkaisuihin.



Kuva 17. Energiajärjestelmään liittyviä ohjaus- ja tietojärjestelmiä.

Myös paikallinen automaatiojärjestelmä muodostuu joukosta toisiinsa kytkettyjä tietokoneita. Kokonaisuudessa voidaan erottaa ainakin seuraavia toiminnallisia tasoja: älykkäät laitteet, osajärjestelmät ja yksikötason hallinta.



Kuva 18. Paikallisen ohjausjärjestelmän periaatteellinen rakenne.

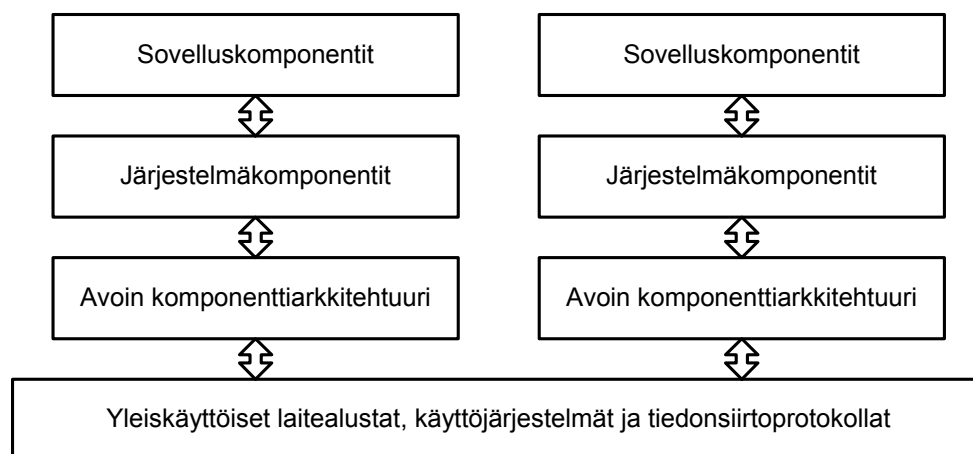
Kuva 18 havainnollistaa paikallisen järjestelmän fyysistä rakennetta. Hajautuksen lisääntyessä mennään siihen suuntaan, että myös yksittäisissä laitteissa on sulautettu ohjausjärjestelmä. Myös suuremmissa kokonaisuuksissa, kuten polttoainetarastossa, voi olla oma ohjausjärjestelmä. Sulautetut järjestelmät ovat laitteiston valmistajan kannalta keino paketoita (ja salata) omaan tuotteeseen liittyvää osaamista. Tosin aina on olemassa myös vaihtoehto, että koko paikallisella energiayksiköllä on yksi yhteinen ja keskitetty ohjausjärjestelmä toteutettuna esimerkiksi ohjelmoitavalla logiikalla. Tällöin laitevalmistajan ohjausosaaminen voi olla vähemmän konkreettisesti muodossa, kuten toimintakuvauksina tai toteutusriippumattomana ohjaustoimintojen määrittelyinä.

Koko energiayksikön toimintojen koordinointi sekä yhteiset osuudet, kuten historiatietojen keruu ja raportointi sekä ylemmän tason tietojärjestelmiä palvelevat paikalliset toiminnot, on sijoitettava sopiviin koneisiin, joilta vaaditaan jo hieman suurempaa muistija laskentakapasiteettia. Edellisessä luvussa ehdotetun avoimen komponenttiarkkitehtuurin perusajatus on, että komponentteja voidaan sijoittaa varsin vapaasti eri laskentaresursseille.

Paikallisten koneiden välinen tiedonsiirto hoitunee normaalilla paikallisverkolla. Kenttälaitteissa voidaan soveltaa myös kenttäväyliä, joskin Ethernet on laajentumassa myös prosessilaitteiden suuntaan. Samoilla ratkaisuilla tulisi voida hoitaa myös yhteydet muihin paikallisiin järjestelmiin, kuten rakennusautomaatioon.

Yhteydet tietoverkkojen kautta ulkopuolisiin järjestelmiin on selkeintä keskittää tietyille solmuille, joiden kautta ulkopuoliset asiakassovellukset saavat yhtenäisen näkymän koko paikalliseen järjestelmään. Näille koneille voidaan sijoittaa tarvittavat www-palvelimet yms., jotka ovat yhteydessä muihin koneisiin ja komponentteihin paikallisten ja tehokkaampien hajautuspalveluiden kautta. Vaihtoehtoisesti palvelut voivat toimia joillakin muilla koneilla, jolloin rajapintakoneiden tehtäväksi jää vain tiedonsiirtoyhteyksien tarjoaminen.

Yhteyksien keskittäminen voi lisätä järjestelmän haavoittuvuutta. Tätä varten järjestelmään voidaan tarvittaessa sisällyttää rinnakkaisuutta ja vaihtoehtoisia (eri tekniikoita soveltavia) kommunikointikanavia. Lisäksi esim. valmistajan on mahdollista muodostaa yhteyksiä suoraan yksittäisiin laitteisiin ja niissä toimiviin sulautettuihin www-palvelimiin. Ratkaisu on kuitenkin ongelmallinen tietoturvan ja järjestelmän ylläpito-vastuiden kannalta. Lisäksi se lisää alatasen laitteiden monimutkaisuutta ja resurssien tarvetta.



Kuva 19. Solmun ohjelmiston kerrosarkkitehtuuri (muokattu lähteestä Tommila et al. 2005).

Edellisessä luvussa hahmoteltu komponentteihin perustuva arkkitehtuuri edellyttää, että kullakin solmulla toimii avoin ja standardoitu perusohjelmisto, joka tarjoaa suoritussympäristön sekä systeemiohjelmiston että sovelluksen komponenteille. Tällöin ohjelmistossa voidaan nähdä oheisessa kaaviossa esitetty kerrosarkkitehtuuri (Kuva 19). Alimpana ovat yleiskäyttöiset laitealustat, käyttöjärjestelmät ja tiedonsiirtotekniikat. Niiden päällä toimii automaatioalalle sovitettu ohjelmistoarkkitehtuuri, joka mahdollistaa eri valmistajien itsenäisesti kehittämien perusohjelmiston ns. *järjestelmäkomponenttien* yhdistelemisen toimivaksi kokonaisuudeksi. Tällaisia ovat esimerkiksi järjestelmän hallintaan, hajautukseen, www-palveluihin ja historiatiedon tallennukseen liittyvät palvelut. Jotkin järjestelmäkomponentit tarjoavat puolestaan suoritussympäristön *sovelluskomponenteille*. Tällainen järjestelmäkomponentti voi esimerkiksi muodostaa ajoympäristön ohjaussovelluksen toimilohkoille (IEC 61131-3), jolloin se toimii ohjelmistopoh-

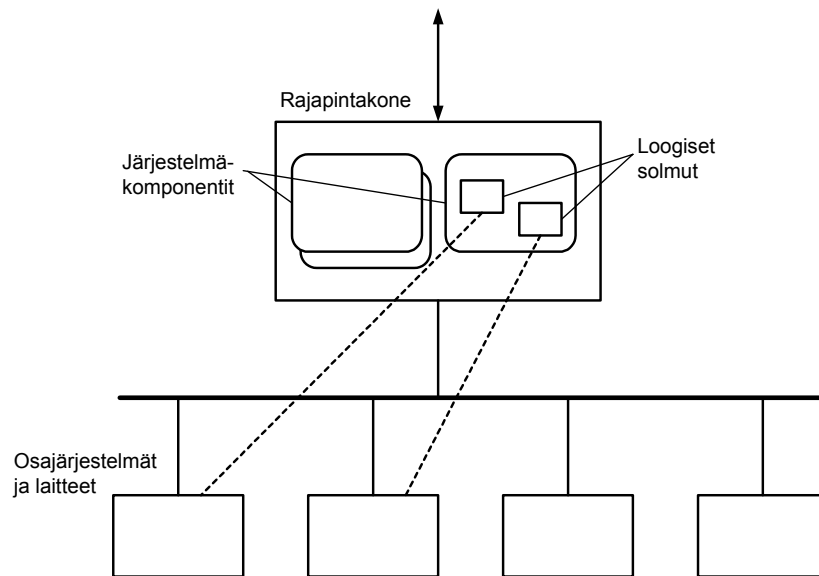
jaisena ohjelmoitavana logiikkana (Soft PLC). Jälleen tulisi olla tavoitteena, että sovelluskomponenttien toimintaympäristöt on standardoitu niin, että sovellusohjelmien siirrettävyys ja avoimet ohjelmistomarkkinat tulevat mahdollisiksi.

7.2 Toteutustekniikoista

Edellä hallintajärjestelmän toimintaa ja toteutusta käsiteltiin yleisellä tasolla ja tulevaisuuteen suuntautuen. Seuraavassa pohditaan hieman konkreettisemmin, millaisia toteutustekniikoita (ks. luku 4) järjestelmissä voitaisiin soveltaa. Asiaan tarkastellaan kolmelta kannalta lähtien sovellusalueen käsitteistä, paikallisen ohjausjärjestelmän toteutuksesta ja maantieteellisesti hajautuneesta tiedonsiirrosta.

Ohjauksen ja tiedonsiirron tekniikat muuttuvat melko nopeasti, mutta sovellusalueen prosessi ja käsitteet ovat pysyvämpiä. Siksi alan standardeissa on erotettu sovellustason oliot tiedonsiirtoprotokollista (Brand et al. 2003). Energiajärjestelmien käsitteitä määritellään eri tasoilla monissa standardeissa. Näistä voidaan mainita mm. IEC 61970-301 ja IEC 61970-302 sekä IEC 61850 ja IEC 61400-25. Niiden pohjalta kehittyvät standardit lienevät hyvä lähtökohta seuraavan sukupolven energiajärjestelmille (ks. Schwartz 2004). Loogisten solmujen (Logical Node) tietoryhmät vastaavat melko hyvin myös teollisuudessa käytettyjen toimilohkojen portteja ja muuttujia. Tosin standardointikentän laajuus ja päällekkäisyydet johtavat helposti siihen, ettei yhtä yhteistä tietomallia synny, vaan joudutaan sovittamaan yhteen useita ratkaisuja. Energiasovellusten moninaisuuden vuoksi voi tulla tarve täydentää mallia aivan muiden alojen käsitteillä. Esimerkiksi, jos käytetään yleisiä kunnossapidon tietojärjestelmiä, on ohjausjärjestelmissäkin tarpeen soveltaa MIMOSAn (Machinery Information Management Open System Alliance, ks. <http://www.mimosa.org>) kehittämiä tietomalleja ja toteutustekniikoita.

Paikallisten ohjausjärjestelmien tekniikka lienee jatkossakin heterogeeninen. Älykkäät laitteet sisältävät mikroprosessoreita, ja valmistajat sulauttavat logiikkaohjauksia prosessilaitteisiin. Tosin entistä useammin voidaan käyttää standardoituja automaattioratkaisuja, erityisesti teollisuus-Ethernetiin pohjautuvia hajautettuja arkkitehtuureja, jotka sisältävät myös sovellustason käsitteitä. On kuitenkin epätodennäköistä, että jokin lukuisista kehitelmistä muodostuisi yleiseksi standardiksi, varsikaan kun hajautetuissa energiajärjestelmissä on integroitava hyvin monenlaisia osajärjestelmiä. Tällöin on luontevaa, että yksi tai useampi paikallisen järjestelmän laskentaresursseista toimii rajapintakoneena, joka kuvaa eri osajärjestelmät standardien mukaisiksi olioiksi (UCA-DER 2003). Tähän koneeseen voidaan toteuttaa järjestelmäkomponentteja, jotka edustavat energiajärjestelmän loogisia solmuja ja hoitavat yhteyksiä ulkomaailmaan (Kuva 20). Näin loogiset laitteet voidaan nähdä sovelluskomponentteina. Samalla periaatteella voidaan toteuttaa komponentteja myös muita tarpeita varten, joita voivat olla esimerkiksi kunnossapito, sähkökauppa, järjestelmän etähallinta ja tietoturvan hallinta.



Kuva 20. Yhteydet ulkomaailmaan voidaan keskittää rajapintakoneeseen, joka edustaa paikallista järjestelmää ulkomaailmaan päin.

Maantieteellisesti hajautunut tiedonsiirto perustuu sovellusaluekohtaisiin standardeihin, jotka toimivat yleensä IP-protokollien päällä. Fyysisen siirtokerroksen ja protokollapinnon rakenne riippuu tiedonsiirtovaatimuksista. Reaaliaikaista tiedonsiirtoa varten joudutaan käyttämään erillistä tiedonsiirtoyhteyttä ja käyttämään yksinkertaistettuja protokollia (esim. GOOSE). Erilliset siirtoyhteydet voivat olla tarpeen myös luotettavuuden, tietoturvan tai infrastruktuurin puuttumisen vuoksi. Korkeamman tason palveluissa on mahdollista käyttää erilaisia välikerroksen ohjelmistoja (middleware, esim. CORBA) ja XML-pohjaisissa palveluissa web-sovelluspalveluita. Löyhästi kytketyt, viestipohjaiset ratkaisut (MOM) ovat joustava vaihtoehto, kun käytetään epävarmoja yleisiä tiedonsiirtoverkkoja. Ne tarjoavat mahdollisuuksia myös redundanttisten järjestelmien ja toimintojen toteuttamiseen.

8 Kehitystarpeet ja -mahdollisuudet

Tässä luvussa esitetään lyhyesti tutkimuksen tuloksia keskittyen tunnistettuihin kehitystarpeisiin ja mahdollisuuksiin. Yleisellä tasolla voidaan todeta, että pienjänniteverkkoon liitettävää alle 500 kW:n laitteistoa on erittäin vaikeata saada kannattavaksi ilman yhteiskunnan tukea. Tähän vaikuttaa useat tekijät, joita käsitellään seuraavassa hieman tarkemmin. Automaatio- ja tietotekniikan alueella tapahtuva kehitys tuo mukanaan kuitenkin erinäisiä mahdollisuuksia, jotka keskipitkällä aikavälillä saattavat muuttaa tilannetta. Suurin ongelma näyttää kuitenkin olevan löytää polku tässä raportissa hahmoteltujen ratkaisujen kehittämiseksi, koska ne perustuvat kehittyneeseen infrastruktuuriin ja pitkälle standardoituihin perusratkaisuihin.

8.1 Kehitystarpeet

Hallintajärjestelmien kannalta ajateltuna yksi tärkeimmistä kehityskohteista on avoin arkkitehtuuri, joka mahdollistaa uudelleenkäytettävät kaupalliset komponentit ja tuo alalle kilpailua. Tämä tarkoittaa myös sitä, että erilaisia komponentteja olisi pystyttävä yhdistelemään siten, että esimerkiksi ohjaukseen, kunnossapitoon, ja sähkökauppaan liittyvät toiminnot tukisivat toisiaan niin ohjelmistojen kuin laitteistojenkin osalta. Myös laitteistojen käytön helppous ja käyttöliittymien selkeys ovat tärkeitä kehityskohteita. Kehityksen avain tulee olemaan jatkuvasti kehittyvän ja edullisen tietotekniikan hyödyntäminen. Hallintajärjestelmän kustannukset eivät saisi olla esteenä hajautetun tuotannon leviämislle.

Teknisen kehityksen lisäksi vaaditaan yhä uusia liiketoimintamalleja toiminnan kehittämiseksi ja tehokkaiden yritysverkostojen luomiseksi. Myös toimintaprosessit vaativat kehittämistä ja testaamista.

Verkkoliitäntä on selkeä taloudellinen kynnys pienmuotoiseen sähkötuotantoon, koska nykyisellään verkkotariffit sekä liitäntä- ja mittarointimaksut syövät usein kannattavuutta. Samalla tarvitaan tekninen liitäntätapa, joka on halpa, luotettava ja turvallinen. Tämän liitännän toteuttaminen halvoilla laitteilla ja uutta puolijohdetekniikkaa hyödyntäen on eräs tärkeimmistä kehityskohteista, kuten myös paremmin kannattavat liitäntätariffit. Jos tässä ei onnistuta, ainoa mahdollisuus näyttää olevan käyttää tuotettu sähkö paikallisesti eikä edes yrittää siirtää sitä yleiseen sähköverkkoon.

Hajautettu sähkön pienimuotoinen tuotanto edellyttää pitkälle standardoituja ratkaisuja, joita ei tällä hetkellä juurikaan ole olemassa sähkö- ja automaatiopuolella, vaikka niiden standardointityö eteneekin. Automaatioalan nopea kehitys aiheuttaa ongelmia standardien kehittämislle, mistä seuraa ehdotettujen standardien nopea vanheneminen.

Mikäli sähkön pienimuotoista tuotantoa halutaan tukea, on syytä pohtia mallitoimijoiden keskinäisiä sopimussuhteita. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi laatimalla mallisopimuksia siitä, miten omistussuhteet hoidetaan, miten laitteita käytetään, miten vastuut jaetaan, jne. Esimerkkinä voidaan todeta, että sähkön pientuottajan sopimuksellinen asema verkkoyhtiöön verrattuna on tällä hetkellä heikko.

8.2 Teknisen kehityksen tuomat mahdollisuudet

On selvää, että tekninen kehitys informaatio-, tietoliikenne- ja automaatiotekniikan alueilla (kaukovalvonta, etädiagnostisointi, sähköiset dokumentointijärjestelmät jne.) on tuonut uusia mahdollisuuksia sekä pienlaitosten rakentamiseen että niiden käyttöön. Ongelmana on kuitenkin löytää sopiva tapa luoda tarvittava infrastruktuuri, jossa voidaan suunnitella, rakentaa, käyttää ja ylläpitää laitoksia.

Tämän päivän energiateknologian ratkaisut eivät näytä tarjoavan kovin attraktiivisia ratkaisuja tarkasteltavana olleessa kokoluokassa, mutta on mahdollista, että läpimurto sopivassa teknologiassa (polttokennot, vetytalous, verkkokytkenä, kestopagneettikoneet, akut jne.) muuttaa tilannetta. Tästä syystä on järkevää luoda määrätietoinen pienen mittakaavan strategia uusien ratkaisujen seuraamiseksi ja kokeilemiseksi.

Mikäli hajautetun sähköntuotannon käynnistämistä voidaan tukea sopivin keinoin, ei ole poissuljettua, että tarvittava infrastruktuuri saadaan rakennettua. Jos näin tapahtuu, on mahdollista, että tulevaisuudessa tulemme näkemään mm. seuraavaa:

- Sähköverkkoliitännöiden ja niihin liittyvien mittausten ja tiedonsiirron standardoiminen.
- Mahdollisuus optimoida sähkön ja lämmön tuotantoa joko paikallisesti tai usean pientuottajan ja kuluttajan yhdistelminä. Tällöin voidaan ottaa huomioon verkostovaatimukset optimoimalla pientuotantoa ja kulutusta verkoston kannalta tai sen antamien reunaehtojen mukaan ja toisaalta käydä kauppaa sähkömarkkinoilla.
- Markkinoiden kehittymisen kautta tulee uusia mahdollisuuksia, mutta samalla tulee myös lisää monimutkaisuutta tilanteen hallintaan.
- Tulevaisuudessa kokoojan (toimija, joka hoitaa useita pientuotantolaitoksia myös sähkömarkkinoiden suuntaan) rooli tulee merkittäväksi.

Jo olemassa oleva mittaus-, automaatio- ja tietotekniikka periaatteessa mahdollistavat kaikki raportissa hahmotellut toiminnot, mutta kustannukset näyttävät tänään olevan tärkein kompastuskivi. Suuret tuotantosarjat voivat muuttaa tilannetta, mutta silloin on löydettävä joustava tapa yhdistää ja räätälöidä laitteistoja.

8.3 Hyödyntäminen

PAREE-projekti asetti tavoitteekseen luoda pohjan teollisuusprojekteille. Tällaiset teollisuusprojektit voisivat parhaiten käynnistyä sopivien pilottihankkeiden kautta, joissa luodaan pienimuotoisen sähkötuotannon yksiköitä. Oikein toteutettuina tällaiset projektit voisivat samalla demonstroida, miten joukko erikoistuneita pienfirmoja toimii verkostossa. Sopivien pilottikohteiden valintaa varten kannattaisi käynnistää pienimuotoinen kartoitusprojekti, jossa selvitetään millaisia potentiaalisia kohteita Suomesta löytyy.

Mikäli halutaan luoda pohjaa pidemmällä tähtäyksellä ja teoreettisemmalla tutkimushankkeella, voisi paikallaan olla projekti, jossa tutkitaan vapaiden älykkäiden agenttien yhteistoimintaa sähkömarkkinoilla. Tällainen projekti voisi tukea korkeampaa automaatioastetta pienimuotoisen sähkötuotannon hyödyntämisessä yleisessä sähköverkossa. Näyttää myös ilmeiseltä, että edellä hahmotellun Plug&Play-liitynnän toteuttaminen hajautetussa energiatuotannossa edellyttäisi tämänsuuntaista kehitysprojektiä.

8.4 Jatkokehityskohteet

Hajautettu pienimuotoinen sähköntuotanto nojaa pitkälti olemassa oleviin paikallisiin resursseihin. Mikäli tällaisia resursseja voidaan hyödyntää melkein ilmaiseksi tai jopa negatiivisilla kustannuksilla, on selvää, että laitosten kaupallinen kiinnostavuus kasvaa. Näiden etsintään keskittyvä jatkohanke voisi olla luonnollinen jatko PAREE-projektille. Tällaisen inventointiprojektin jälkeen voitaisiin valita 1–2 lupaavimmalta vaikuttavaa pilottihanketta, joille liitteissä käsitellyt tyyppitapaukset voisivat tarjota hyvän lähtökohdan. Mahdollisia aihepiirejä näiden kehittämiseksi voisivat silloin olla mm.

- käytön ja kunnossapidon käyttöliittymät (kaukovalvonta ja etädiagnostiikka)
- linkkariprosessien (suunnittelu, rakentaminen) toimintatavat, dokumentointi ja työkalut
- tieto- ja automaatiojärjestelmien verkottunut tietotekniikka
- käytön, kunnossapidon ja kaupankäynnin uudentyyppiset liiketoimintamallit ja niitä tukevat tietotekniset ratkaisut.

9 Johtopäätökset

Pienimuotoisesta hajautetusta energiantuotannosta on vaikea saada kannattavaa ilman yhteiskunnan tukea. Tukea voitaisiin antaa periaatteessa joko investointitukena tai antamalla hintatakuita myydystä sähköstä. Mahdollisen investointituen määrä voisi ehkä nousta jopa niinkin korkealle kuin 40 %, jos mittana käytetään muita yleishyödyllisiä investointeja. Tähän kuitenkin tarvitaan selkeää poliittista halua. Tuki myydystä sähköstä lienee kuitenkin vaikeampi hoitaa poliittisesti, koska voidaan arvioida, että tällainen tuki vääristää tuotantomuotojen keskinäistä kilpailua. Eräs mahdollisuus sähkötuotannon tukemiseen voisi olla verotus. Esimerkiksi sähköveron poistaminen verkkoon syötetystä pienimuotoisesta tuotannosta voisi helpottaa tuotetun ylijäämän myymistä verkon kautta.

Vaikuttaa siltä, että kokoluokassa alle 500 kW tuotantolaitosten kannattavuuden edellytyksenä on olemassa olevien, paikallisten resurssien (polttoaine, vanha pato, varavoimakone, maakaasuputken läheisyys, sopivan suuruinen lämpönielu, heikko verkko jne.) lähes ilmainen hyödynnettävyys. Tämä tarkoittaa, että on etsittävä pienten tuotantolaitosten sijaintipaikkoja ja valittava niistä kilpailukykyisimmät. Tällainen inventointiprojekti voisi olla luonnollinen askel PAREE-projektin jälkeen.

Koska tarkastelun kohteena olleen kokoluokan hajautettu energiantuotanto on pienimuotoista, niin kannattavien kohteiden toteutuminen edellyttää toimivaa infrastruktuuria, johon kuuluvat sekä komponenttien toimittajat että erilaisten palvelujen myyjät. Tämä infrastruktuuri on kuitenkin vaikea toteuttaa ilman kannattavan liiketoiminnan mahdollisuuksia. Voidaan arvioida, että suurin osa toimijoista on pakotettuja rakentamaan toimintansa liiketoiminnasta syntyvällä tulorahoituksella. On mahdollista, että yhteiskunnan sopivasti suunnattu tuki pilottikohteiden rakentamisessa voisi tuoda riittävän sysäyksen tällaisen infrastruktuurin syntymiseen.

Vaikka pienimuotoisen sähköntuotannon kannattavuuden suhteen ollaankin syystä pessimistisiä, on kuitenkin sovelluksia, joissa voidaan tänään hyvin olettaa ratkaisujen olevan kannattavia. Tällaisia ovat erityisesti paikat, joihin eri syistä on vaikea ulottaa normaalia sähköverkkoa. Tällaisia paikkoja ovat mm. saaret, erämaat ja vuoristoseudut. Maaseudulta saattaa myös löytyä kohteita, joissa hajautettu tuotanto on edullisempi tapa parantaa sähkön toimitusvarmuutta, jos verrataan siihen, että verkkoa vahvistetaan.

Lähdeluettelo

ANSI/ISA-88.01-1995 – Batch Control Part 1: Models and Terminology.

ANSI/ISA-95.00.01-2000 – Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology.

Brand, K.-P., Lohman, V. & Wimmer, W. 2003. Substation automation handbook. Bremgarten, Utility Automation Consulting Lohman, <http://www.uac.ch>, 397 s.

Driver, Mark; (FTP, Fawcette Technical Publications Online), 1.4.2002
http://www.ftponline.com/wss/2002_04/magazine/columns/strategy/

Ediel Nordic Forum www-sivut: <http://www.ediel.org>

Electricity Innovation Institute E2I: Utility Communication Architecture[®] (UCA) Object Models for Distributed Energy Resources (UCA-DER), Version for IEC TC57. Draft version, 2003.

European Commission 2003. New ERA for electricity in Europe. Distributed generation: Key issues, challenges and proposed solutions, EUR20901, ISBN 92-894-6262-0.

Frost & Sullivan and Electrowatt-Ekono: Tekes, Market Opportunities For Distributed Generation Applications, 2002.

Helsingin Energia. 1997. Sähköä tuottavan laitteiston liittäminen jakeluverkonhaltijan verkkoon. Viitattu 12.10.2004.
<http://www.helsinginenergia.fi/sahko/urakointiohjeet/SU60897.doc>

IEC 61499-1 2005. Function blocks. Part 1: Architecture.

IEC 61131-3 2003. Programmable controllers – Part 3: Programming languages.

IPC-2501 2003. Definition for Web-Based Exchange of XML Data (Message Broker).

Kartseva, V., Soetendal, J., Gordijn, J., Akkermans, H. & Schildwacht, J. Distributed Generation Business Modelling, BUSMOD: Business Models in a World Characterised by Distributed Generation, Vrije Universiteit Amsterdam, 31.10 2003.

Natis Yefim, Roy Schulte 14.4.2003
http://mediaproducts.gartner.com/reprints/bea_systems/114295.html

Nordel www-sivut: <http://www.nordel.org>

Nordpool www-sivut: <http://www.el-ex.fi> ja <http://www.nordpool.com>

Nurminen, K. 2004. Hajautettujen energiaresurssien liityntä sähköverkon ohjaus- ja automaatiojärjestelmiin. Diplomityö, TKK Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto.

Saari, P., Komulainen, R. & Ristolainen, I. 2003. Polttokennon verkkoonliitynnän vaatimukset ja liityntäkonsepti. Projektiraportti, VTT Prosessit. 86 s.

SAS 2005. Automaatiosovellusten ohjelmistokehitys. Suunnittelun työtavat, välineet ja sovellusarkkitehtuurit. Helsinki, Suomen Automaatioseura ry, AUTOHJE-projektin loppuraportti (painossa).

Sintef www-sivut: <http://www.sintef.no>

Schwartz, K. 2004. IEC61850, IEC 61400-25, and IEC 61970: Information models and information exchange for electric power systems, Distributech 2004-01-20. 39 s.

Tekes 2004: DENSY-ohjelman www-sivut:
<http://akseli.tekes.fi/Resource.phx/enyr/densy/index.htm>

Tommila, T. et al. 2003. Uudet hajautusratkaisut avoimissa automaatiojärjestelmissä. Automaatio 03, Seminaaripäivät 9.–11.9.2003, Helsingin Messukeskus. S. 353

Tommila, T. et al. 2005. Next generation of industrial automation – Concepts and architectures of a component based control system. VTT, OHJAAVA-hankkeen loppujulkaisu (painossa).

UCA-DER 2003. Utility Communications Architecture (UCA) – Object Models for Distributed Energy Resources, draft version for IEC TC 57, October 2003.

Ventä, O. 2004. ÄLYKÄS AUTOMAATIO - Suomalainen tulevaisuudenkuva, versio 3.0, 31.10.2004. www.tekes.fi.

Liite A: Biokaasulaitos maatilataloudessa

Tämä liite perustuu PAREE-projektin työdokumenttiin ”Biokaasulaitos maatilataloudessa”, jonka kirjoitti Aulis Ranne, VTT Prosessit. Työdokumenttia on muokattu ja täydennetty raporttia varten.

Yleiskuvaus

Biokaasun tuottaminen ja hyödyntäminen maataloudessa muodostaa useita energiataloudellisia, ympäristötaloudellisia ja sosioekonomisia hyötyjä. Biokaasulaitos toimii orgaanisen jätteen jätehuoltona ja tuottaa lannoitteeksi soveltuvaa humusta. Samalla myös hajuhaitat pienenevät olennaisesti mm. sikatalouksissa. Laitoksen tuottamaa biokaasua käytetään tyypillisesti yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotantoon oman tarpeen peittämiseksi. Oman käytön ylittävä sähkö voidaan myydä verkkoon ja lämpö paikallisille kuluttajille.

Biokaasua tuottavaa bioprosessia kutsutaan jätteen anaerobiseksi käsittelyksi (anaerobic digestion – AD, biokaasutus tai mädätys). Se on orgaanisten jätteiden hapettomassa tilassa tapahtuva mikrobiaalinen käsittelymenetelmä. Prosessissa kehittyy biokaasua, josta noin 66 % on metaania ja noin 33 % hiilidioksidia. Jäljelle jäävää veden ja kiinteän aineksen sekoitusta kutsutaan useilla nimillä: hydrolyysijäännös, humusjäännös, mädätetty liete jne. Ympäristölainsäädännön muuttuessa arvioidaan mädätyksen lisääntyvän jätehuoltomuotona ja samalla myös biokaasun käyttö polttoaineena lisääntyy.

AD-laitoksen tuottaman biokaasun määrä riippuu laitoksen rakenteellisista ominaisuuksista, laitokseen syötettävästä biojätteen laadusta ja prosessia täydentävistä lisäaineista, laitoksen käytön hallinnasta yms. seikoista. Lisäksi AD-laitoksen tuottama humusjäännös soveltuu lannoitteeksi ja maanparannusaineeksi. Myös prosessista vapautuva hiilidioksidi voidaan periaatteessa ottaa hyötykäyttöön.

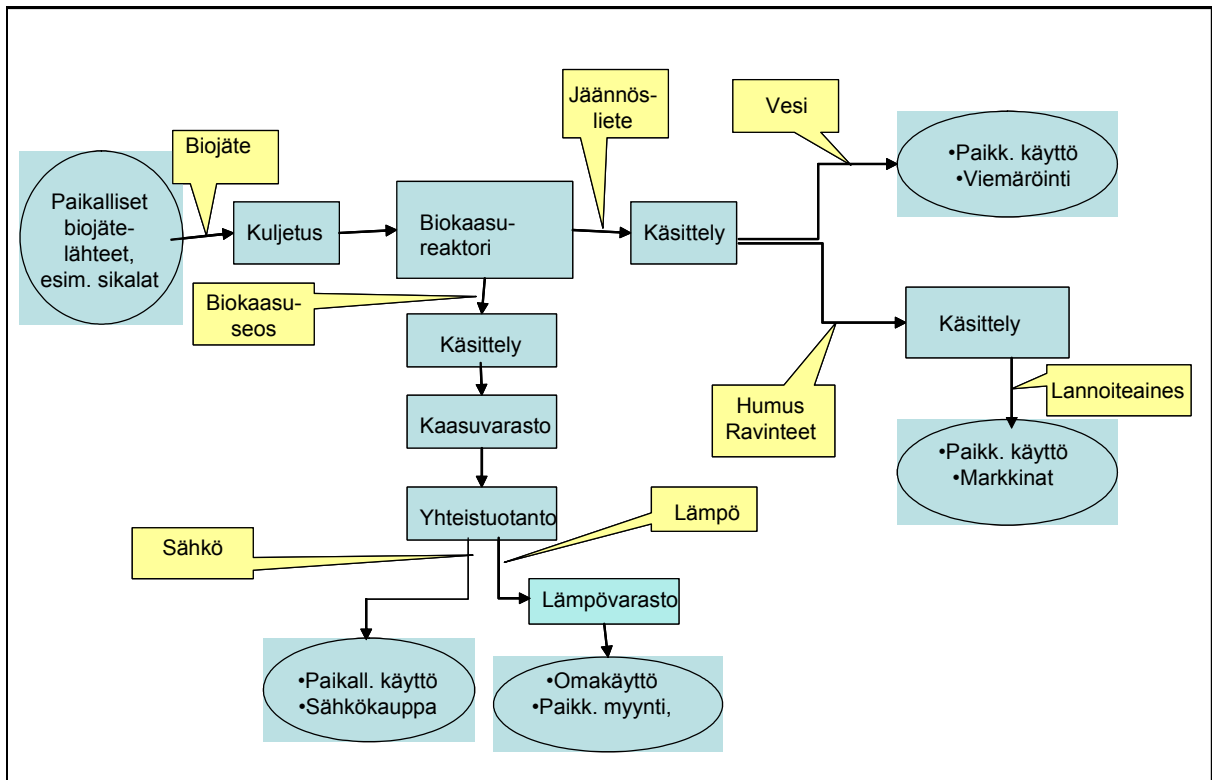
Biokaasua tuottava reaktori voi prosessin puolesta olla lähes mikä kokoinen hyvänsä. Laitoksen koon kasvaessa investointien yksikkökustannukset alenevat, ja biokaasun tuoton kasvaessa sähkön ja lämmön yhteistuotanto tulee kannattavammaksi. Biojätteen hankinta (kuljetus) puolestaan asettaa laitoksen koolle ylärajan. Maataloudessa biokaasulaitos voi käytännössä olla tilakohtainen (esim. sikalatila) tai useampi tila voi perustaa yhteisen biokaasulaitoksen. Lisäksi bioreaktoriin voidaan tietyin edellytyksin ottaa käsiteltäväksi yhdyskunnan muuta biojätettä tai tarkoitusta varten kasvatettuja kasveja.

Biokaasulaitos

Järjestelmän osat

Maatilatalouteen liitetty biokaasulaitosprosessi koostuu massa- ja energiavirroista, niitä käsittelevistä laitteistoista ja biologisista prosesseista ja aputoiminnoista alla olevan kuvan (Kuva 1) mukaisesti. Järjestelmän pääosat ovat:

- biojäte
- biokaasureaktorilaitos
- biokaasun ja energian tuottaminen
- jäännöslietteen käsittely
- humuslannoite.



Kuva 1. Biokaasulaitoksen toimintakaavio.

Biojäte

Biojäte muodostuu yhdellä tai useammalla maatilalla ja on biokaasulaitoksen kannalta laadultaan erilaista substraattia karjatyypistä riippuen. Lannan tuotto on pääosan vuotta määrältään tasaista ja maatilalla on normaalisti ainakin muutaman päivän varasto lannan paikallissäilytystä varten.

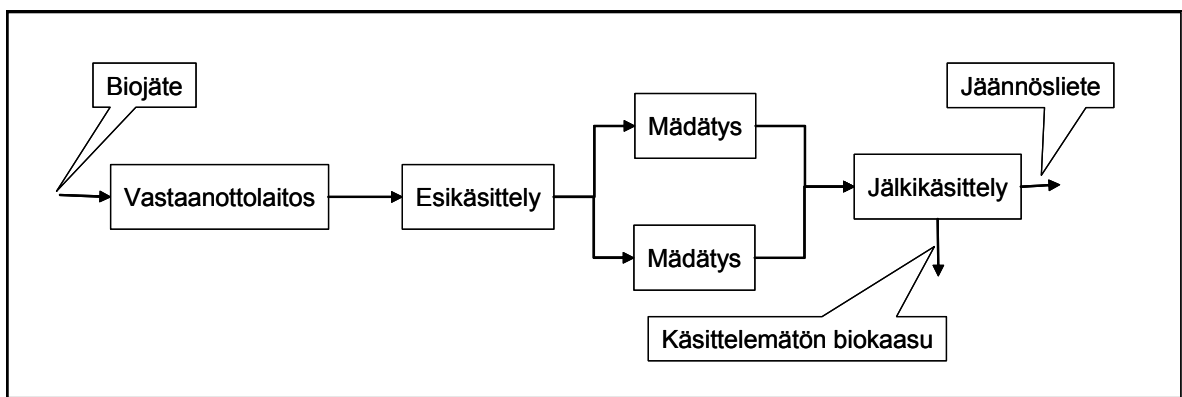
Biokaasulaitoksessa käsiteltävää biojätettä voi muodostua myös muissa laitoksen läheisissä kohteissa, kuten kunnallisessa jäteveden puhdistamossa, elintarviketeollisuudessa tai kotitalouksissa (tietyin edellytyksin voidaan käsitellä myös kuolleita eläimiä).

Kuljetus

Biojätteen kuljetus biokaasureaktorille tapahtuu etäisyydestä riippuen eri tavoilla. Tila-kohtaisessa biokaasulaitoksessa voidaan käyttää erilaisia kuljettimia tai putkistoja ja etäämmällä sijaitsevalle biokaasulaitokselle jäte siirretään normaalisti ajoneuvolla. Yksi kuljetusajoneuvo pystyy huolehtimaan useiden tilojen kuljetustarpeen.

Biokaasulaitos

Biokaasulaitos on useammasta osalaitteistosta muodostuva yksikkö, joka vastaanottaa biojätteen, käsittelee sen ja tuottaa biokaasua ja jäännöslietettä. Alla esitetyssä kaaviossa (Kuva 2) esitetään anaerobiseen käsittelyyn perustuvan biokaasulaitoksen pääprosessit.



Kuva 2. Biojättemädättämö apulaitteineen.

Biojätteen vastaanotto tapahtuu panosluonteisesti, ja se käsittää ainakin monen käyttäjän laitoksessa pienehkön varaston.

Esikäsittelyssä jäte murskataan, sekoitetaan ja suodatetaan vapautuneet hajukaasut. Murskauksessa jätteen kiinteät ainesosat hienonnetaan mekaanisesti. Esikäsittelyn toisessa vaiheessa murskattu mädätettävä massa ja liete yhdistetään. Kolmannessa vaiheessa käsiteltävän orgaanisen jätteen hajukaasut suodatetaan.

Mädätysprosessissa bakteerit tuottavat mädätettävästä massasta kaasua ja mädätettyä massaa. Mädätyksen ensimmäisessä vaiheessa, hydrolyysissä, eri bakteeriryhmien tuottamat ekstrasellulaariset entsyymit (pääasiassa hydrolaasientsyymit) hajottavat mädätettävän massan suuret molekyylit (makromolekyylit) pienemmiksi. Toisessa vaiheessa mädätettävän massan bakteerit muuttavat liukoiset orgaaniset yhdisteet rasvahapoiksi,

etikahapoksi ja alkoholeiksi. Kolmannessa vaiheessa metaanibakteerit tuottavat etikkahaposta, vedystä ja hiilidioksidista biokaasua. Mädätysprosessi tapahtuu yksinkertaisimmillaan yhdessä ilmatiiviissä säiliössä tai kahdessa rinnakkaisessa mädätys säiliössä (reaktorissa) ja niitä seuraavassa jälkikäsittelysäiliössä (Kuva 2). Biokaasua muodostuu myös jäännöslietteen jälkikäsittelyn aikana. Allas katetaan kalvolla, jolloin se toimii myös kaasuvälikamiona. Jälkikaasutuskaasun määrä voi olla huomattavan suuri.

Mädätysprosessi voidaan toteuttaa useammalla tekniikalla. Laitteiston puolesta biokaasureaktorit voivat olla horisontaalisessa tai vertikaalisessa (pystyssä oleva säiliö) asennossa toimivia reaktoreita. Reaktorit voivat olla panostyyppisiä tai jatkuvatoimisia. Biokaasureaktorit, joissa mädätys tapahtuu termofiilillä lämpötila-alueella (55–65 °C), ovat termofiilisiä reaktoreita ja vastaavasti mesofiilillä lämpötila-alueella (35–40 °C) toimivat ovat mesofiilisiä reaktoreita.

Jäännöslietteen käsittely

Mädätetyn massan käyttöominaisuuksia parannetaan sekä desinfiointin että vesipitoisuuden alentamisen avulla. Desinfiointissa tuhoetaan tauteja aiheuttavat mikroorganismit lämpökäsittelyllä (esim. 70 °C, 1 tunti). Desinfiointi voi tapahtua joko mädätetylle massalle tai ennen mädätystä murskatulle biojätteelle. Biokaasureaktoriin syötettävän biomassan kuiva-ainepitoisuus on yleensä < 15 % johtuen pumppujen asettamista rajoituksista. Mädätyksen jälkeen kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti vain 4–6 %. Mädätyksen jälkeen kuiva-ainepitoisuutta pyritään nostamaan poistamalla vettä lietteestä. Yksinkertaisin keino on mekaaninen puristaminen tai linkous. Tällöin fosfori jää kuiva-aineseen, mutta veden mukana poistuu muita ravinteita, kuten typpeä. Lämpöenergian käyttöön perustuvilla haihdutusmenetelmillä (esim. monivaiheinen tislauk) saadaan vesi erotettua lietteestä niin, että jäännöskonsentraatin kuiva-ainepitoisuus nousee 15–20 %:iin ja samalla typpi säilyy konsentraatissa.

Ravinnehumuksen käsittely

Humuksessa olevien kasviravinteiden (N, P, K) hyödyntämisen helpottamiseksi humus voidaan käsitellä rakeistamalla esim. entsyymikäsittelyllä, kohottamalla edelleen kuiva-ainepitoisuutta, tuotteistamalla lannoitteet pääravinteiden pitoisuuksien mukaan jne. Käsittelyyn liittyy myös varastointi sekä mahdollinen pakkaus- ja luovutustoiminta.

Biokaasuseoksen käsittely

Mädätysprosessista tuleva biokaasu on metaanin ja hiilidioksidin seoskaasu, jossa on myös pieniä määriä muita ainesosia (vettä, rikkivetyä jne.) riippuen osittain käytettävän biojätteen laadusta. Taulukko 1 esittelee tyypillisen koostumuksen.

Taulukko 1. Maatilajätteen biokaasun koostumus.

Aine	%
Metaani, CH ₄	55–75
Hiilidioksidi, CO ₂	25–45
Hiilimonoksidi, CO	0–0,3
Typpi, N ₂	1–5
Vety, H ₂	0–3
Rikkivety, H ₂ S	0,1–0,5
Happi, O ₂	jälkiä

Normaalisti biokaasusta poistetaan vesi kaikkia käyttötarkoituksia varten. Tämä tapahtuu esimerkiksi jäädyttämällä kaasuseos niin, että vesi kondensoituu ja poistuu kaasusta. Metaanipitoisuuden kohottamiseksi biokaasusta poistetaan hiilidioksidia. Hiilidioksidin poistossa voidaan käyttää kaasun pesua vedellä tai sopivalla glykoliliuoksella. Erottelussa voidaan käyttää myös membraanitekniikkaa. Maatilan biojätteistä tuotettua biokaasua voidaan kosteuden (ja mahdollisesti rikin) poiston jälkeen käyttää sellaiseenaan mm. polttomoottorivoimalaitosten polttoaineena. Moottoriajoneuvon polttoainekäyttö edellyttää tiettyjä lisäkäsitelyjä.

Biokaasuvarasto

Biokaasun tuotannon ja kulutuksen tasaamiseksi sekä häiriöiden kompensoimiseksi käytetään tapauksesta riippuen lyhytaikaista tai pitkäaikaisempaa kaasuväriä, mikä tarkoittaa käytännössä tilavuudeltaan muutamasta kuutiometristä tuhansiin kuutiometriin olevia säiliöitä. Kaasuväriä voidaan pienentää olennaisesti paineistuksen avulla.

Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos

Biokaasulaitoksen energiayksikkö voidaan varustaa kaasumoottori- tai dieselmoottorivoimalaitoksella tai polttokennolaitoksella. Biokaasulaitoksen omakäyttösähkön tarve on 5–12 % polttomoottorilla tuotetusta sähköstä ja omakäyttölämmön tarve 20–30 % tuotetusta lämmöstä. Laitoksen ns. rakennusaste eli sähkötehon suhde tuotettuun lämpötehoon riippuu laitoksen koosta ja lämmön hyödyntämistäasteesta ja on noin 0,4 kokonaishyötysuhteen ollessa parhaimmillaan 85–90 %.

Lämpövaraaja

Lämpöenergian varaajan koko vaihtelee myös tapauskohtaisesti. Normaalisti käytetään ainakin muutaman kuution säiliövaraajaa. Lämpövaraajalla voidaan tasata lämmön kulutus tai tuottaa yhteistuotantosähköä tilapäisesti yli lämmön kulutuksen edellyttämän määrän.

Laitoksen toiminnan piirteitä

Biokaasulaitoksen käytön tavoitteena on käsitellä biojätettä jätehuoltomuotona ja tuottaa samalla energiaa sekä hyödyksi käytettävää ravinnehumusta niin, että saavutetaan ympäristönäkökohtien ohella mahdollisimman hyvä taloudellinen tulos. Laitoksen koosta ja laitetekniikasta riippuen biokaasulaitosta voidaan käyttää eri tavoilla. Suomessa biokaasuvoimaloiden perustamisesta ovat kiinnostuneita maatilojen lisäksi teurastamot, jotka ovatkin tehneet aloitteita laitosten perustamisesta.

Biojäte

Joissakin Euroopan maissa biokaasulaitosten käytössä ollaan paljon pitemmällä Suomeen verrattuna. Esimerkiksi Tanskassa ovat yleistyneet keskitetyt biokaasulaitokset, joissa biojätteen mitoitusmäärä on muutamasta kymmenestä muutamaan sataan tonniin vuorokaudessa. Vastaavasti CHP-yksikön sähköteho nousee muutamaan megawattiin. Itävallassa puolestaan tilakohtaiset biokaasulaitokset ovat yleistyneet, ja sähköteho on niissä 100 kilowatin luokkaa. Saksassa on sekä suuria keskitettyjä biokaasulaitoksia että tilakohtaisia laitoksia. Suomessa ollaan suunnittelemassa ja toteuttamassa ensimmäisiä maatilakäyttöön tulevia sähköä tuottavia biokaasulaitoksia, ja muutama yksilöllisesti toteutettu maatilakohtainen laitos on jo käytössä. Myös yksi pääasiassa lannankäsittelyyn tarkoitettu keskitetty laitos on edennyt toteutusvaiheeseen.

Biojäte on pääasiassa kotieläinlantaa, usein nautakarjan ja sikalan lantaa. Laitoksissa käytetään usein myös muuta eläinperäistä biojätettä ja myös kunnallisen jätevedenpuhdistamon lietettä. Biojätteen tuotanto on mautiloilla ennustettavissa olevaa, mutta ei välttämättä vuoden aikana vakiona pysyvää tuotantoa. Tilakohtainen biojättemäärä voi olla esim. 8–12 tn/vrk. Biojätteen toimittajien lukumäärä nousee isoissa laitoksissa kymmeneen.

Kuljetus

Keskitetyllä biokaasulaitoksella keskimääräinen jätteiden kuljetusmatka on 5–10 km. Biojätteen kuljetus tapahtuu suljetussa säiliössä traktorin peräkärjessä tai lietteenkuljetusautolla.

Biokaasulaitos

Biokaasulaitoksella toiminta on biomassan varastoimista, siirtämistä, säiliössä pitämistä ja sekoittamista, lisäaineiden syöttämistä, massan säiliön lämmittämistä jne. Mädätyksen vaatima läpimenoaika on mesofiilisessa prosessissa noin 20 vrk ja termofiilisessa prosessissa noin 15 vrk. Mädättämö muodostuu 1–3 rinnakkaisesta säiliöstä, jotka ovat normaalisti jatkuvassa toiminnassa, mutta myös panostoiminta on mahdollista.

Biokaasulaitoksen komponentit ovat vikaantuvia, kuten vastaavat laitteet yleensä, mutta sen lisäksi mädätyksen prosessiin liittyy tietty häiriöriski. Häiriö voi ilmetä mädätystoiminnan alentumisena tai keskeytymisenä. Tavoitteena on kuitenkin tasainen ja ennakoitavissa oleva käsittely ja biokaasun tuotanto. Toisaalta bioprosessi on riippumaton lyhytaikaisista laitetoimintahäiriöistä. Esimerkiksi lyhyet sähkökatkot pumppauksessa ja sekoituslaitteissa eivät vaikuta mädätysprosessin toimintaan.

Varastojen käyttö

Ennen mädättämöä olevat varastot tasaavat biojätteen saantia prosessiin ja mädättämön jälkeen olevat varaajat sopeuttavat tuotteiden tarjontaa kysyntää vastaavaksi. Itse bioreaktoria pyritään ajamaan tasaisella kuormalla.

Biokaasuvarasto toimii sähköntuotannon ohjauksen primäärivarastona. Lämpövaraajan käyttö riippuu paitsi lämmönkäyttäjien tarpeista, myös sähköntuotannon ohjaustarpeesta. Taloudellisten varastokokojen valintaan ja niiden ajotavan valintaan vaikuttavat monet tekijät, kuten sähkön ja lämmön kysyntä ja hinta.

Humuslannoitteen varastointitarve ja käyttö riippuu vuodenajasta ja maanviljelyn toimintavaiheista sekä lainsäädännön asettamista rajoituksista peltolevityksen ajankohdille. Tavoitteena on, että lannoitteet saadaan oikeaan aikaan peltoon ja että varastojen koko ei ole tarpeettoman suuri.

Laitoksen suunnittelu

Suomessa ongelmaksi muodostuu pieni tilakoko, sillä Suomessa on tällä hetkellä arviolta vain kaksikymmentä yli sadan lehmän maatilaa. Biokaasun hyödyntäminen on Saksassa jo melko pitkällä ja siellä yli kahdensadan lehmän tiloja pidetään biokaasua ajatellen sopivina ja kannattavina. Myös Virossa tilakoko on selvästi Suomea suurempi.

Suomessa biokaasu onkin navetoita paremmin hyödynnettävissä sikaloissa. Silti Suomelle tyypillistä on se, että yleensä biojätettä joudutaan keräämään yhtä maatilaa useammasta lähteestä. Hajuhaittojen vuoksi sikaloita ei haluta asutuksen lähistölle, jolloin energian kuluttajat eivät ole niin lähellä.

Saksan mallin mukaan biokaasuvoimaloilla on hyvin usein ulkopuolinen omistaja ja käyttäjä, koska voimalan käyttäminen vaatii alan asiantuntemusta, jota maatalojen omistajilla on harvoin. Myös tietoisuus toimintaan liittyvistä riskeistä on usein melko huono. On muistettava, että maatalanomistajan pääliiketoiminta ja ensisijainen elinkeino on kuitenkin maatalouden harjoittaminen.

Toimivaa biokaasulaitosta ajatellen maatilan omistajalta vaaditaan seuraavat asiat:

- biokaasuprosessissa hyödynnettävä polttoaine, joka voi olla useiden prosessien sivutuote
- laitoksen kokoon vaikuttavat speksit sekä
- sähkösyötöt kulutuskohteisiin.

Sekä suunnittelussa että toteutuksessa olisi pyrittävä hyödyntämään vanhaa ja jo ennalta olemassa olevaa mahdollisimman paljon. Tämä voi olla kuitenkin vaikeaa, sillä esimerkiksi sikala asettaa säätöjärjestelmälle kovat vaatimukset: siellä voi olla jopa seitsemän eri huonetilaa, joiden lämpö pitää pystyä säätämään erikseen.

Suomessa ongelmana on usein se, ettei laitostoimituksille ole maatilan omistajan lisäksi muuta yhteistä koordinaattoria. Tällöin kaikki ongelmat (esim. toimitusongelmat, lupa-asiat, dokumentoinnin puutteellisuus jne.) kasautuvat asioihin perehtymättömälle omistajalle, jonka olisi pääosin huolehdittava maatilan muista toiminnoista, sillä ne ovat kuitenkin hänen pääasiallista liiketoimintaansa. Koordinaattorin tulisi pystyä yhdistämään usean eri osatoimittajan resurssit optimaalisella tavalla. Esimerkiksi yhteinen sähköinen dokumentointi auttaisi merkittävästi tiedonkulkua ja nopeuttaisi toimintaa.

Laitoksen toteutus

Biovoimala rakennetaan yleensä muun rakentamisen yhteydessä (esim. sikalan uusiminen). Saksan markkinoilla on useita valmiiden pakettiratkaisujen valmistajia. Pakettiratkaisujen tarjoajat ovat yleensä toimittaja-integraattorin roolissa, jolloin ne koordinoivat useiden toimitukseen liittyvien osapuolten toimintaa. Tämä onkin yksi tärkeimmistä rooleista.

Käyttöönotto ja laitoksen ylösajo

Biokaasulaitoksen käyttöönotto vie aikaa muutamasta päivästä viikkoon, riippuen laitoksen yksityiskohdista. Käyttöönottovaiheessa henkilöstön koulutus on erittäin merkittävässä roolissa. Laitoksen käyttäminen on kuitenkin sen verran monimutkaista kaikkine erikoistapauksineen, että käyttöön olisi hyvä saada tukea vähintään vuoden ajan. Ideaalitalanne käyttöönoton kannalta olisi se, että tuleva huoltofirma olisi mukana toiminnassa käyttöönotosta ja testauksesta lähtien, jolloin se oppisi laitoksen toimintaa ja huoltoa hallituissa olosuhteissa.

Käyttöönottovaiheessa laitoksen käyttäjä ja ylläpitäjä joutuvat usein opettelemaan monien erillisten käyttöliittymien toimintaa. Laite- ja järjestelmätoimittajien yhteistyö voisi

tuoda helpotusta ja myös kustannussäästöjä tähän, mutta se on kuitenkin hyvin vaikeasti toteutettavissa.

Huolto ja valvonta

Tämän hetken tilanteen mukaisesti viljelijät (laitosten omistajat) haluavat pääsääntöisesti itse vastaanottaa laitokselta tulevat hälytykset. Toistaiseksi etävalvonnan mahdollisuuksia ei ole juurikaan tarjottu viljelijöille. Jos huoltotoiminta olisi ulkoistettu, pitäisi laitteiston olla äärimmäisen hyvin dokumentoitu valmistusvaiheesta lähtien. Myös käytön aikaiset muutokset sekä suoritettavat huollot pitäisi dokumentoida. Tämän lisäksi dokumenttien pitäisi olla helposti saatavilla.

Yleensä biokaasulaitoksia ei ajeta alas sähkökatkojen takia. Joissain tapauksissa kuitenkin tarvitaan varavoimaa (usein kiinteä aggregaatti), sillä esimerkiksi ilmanvaihdon jatkuva toimivuus voi olla kriittinen tekijä eläinten hyvinvoinnin kannalta. Pakkaskelleillä voi olla myös tarvetta pumppujen käyttämiseen laitosten jäätymisen välttämiseksi.

Liiketoiminnallisesti ajatellen biokaasuvoimalan kunnossapitäjän taloudellinen toimintasäde voisi olla hieman yli 100 km. Tämä kuitenkin riippuu alueella toimivista laitoksista, huoltofirman osaamiskaalasta sekä laitosten vikaantumisherkkyydestä. Pitkien etäisyyksien takia etävalvonta tulee entistä merkittävämmäksi. Viime kädessä viljelijä on kuitenkin valmis maksamaan vain palvelusta eikä pelkästä valmiudesta palveluun tai päivystyksestä. Kokonaisuutena ajatellen laitoksen osia pitäisi päivittää ja nykyaikaistaa muutaman vuoden välein.

Suojaukset

Mikäli tuotantolaitoksella halutaan syöttää myös verkkoon päin, tarvitaan huomattavia investointeja suojaukseen. Verkkoyhtiöt ovatkin parhaillaan kehittämässä yhteistä toimintapolitiikkaa siihen, miten ne suhtautuvat hajautettuihin energiantuotantolaitoksiin.

Toimijat ja liiketoimintamallit

Maataloudessa on yleisesti ottaen menossa ulkoistamisen trendi. Mitä luultavimmin tulevaisuudessa tulee olemaan nykypäivään verrattuna lukumääräisesti useampia, tiiviisti verkottuneita, tarkalle sektorille suuntautuneita yrityksiä. Tämä luo mahdollisuuksia uudentyypiselle liiketoiminnalle ja aivan uusille toimijoille. Myös maatilojen sisällä tulee tapahtumaan aiempaa selkeämpää erikoistumista (vasikan kasvatusta, lihakarja,

maidon tuotanto, peltotyöt, informaation hallinta, kirjanpito ja hallinnointi jne.). Yksi syy tähän on maataloilla tapahtuvat sukupolvenvaihdokset ja niiden mukanaan tuomat ongelmat (omistussuhteet, verotus ym.). Nykysuuntaus onkin tekemässä maataloista yhä enemmän segmentoituneita osakeyhtiöitä.

Koska Suomessa tilat ovat niin pieniä, kannattavuutta voitaisiin saada paremmaksi yhdistämällä tilojen toimintoja. Tosiasia on, että tämän hetken tilakoko on auttamatta liian pieni kannattavaan biokaasun tuottamiseen. Tämä voi tarjota mahdollisuuksia uudentyyppiselle liiketoiminnalle.

Toimintaprosessit

Tuotekehitys

Tuotekehitys kohdistuu laite- ja ohjelmistokomponentteihin, joita voidaan hyödyntää bio-kaasulaitoksen lisäksi myös muissa sovelluksissa. Tuotekehitys on koko laitoksen elinkaarinaikainen prosessi, joka on itse laitoksen toiminnasta katsoen taustalla. Laitteiden valmistajat keräävät käyttökokemuksia käyttäjiltä ja hyödyntävät niitä jatkokehityksessään.

Suunnittelu

Suunnittelu kohdistuu itse laitokseen. Yksi prosessi on se, että laitevalmistaja suunnittelee yleisellä tasolla koko laitoksen käsittävän pakettiratkaisun, jota myydään pienillä tapauskohtaisilla muutoksilla. Toinen prosessi puolestaan sisältää jonkin tietyn laitoksen suunnittelun, mihin voi sisältyä seuraavia osaprosesseja:

- rakennussuunnittelu
- sähkösuunnittelu
- LVI-suunnittelu
- prosessisuunnittelu
- automaatio-suunnittelu
- hälytys- ja varoitusjärjestelmien suunnittelu
- logistiikan suunnittelu (raaka-ainekuljetukset)
- päivitysten, parannusten, uusimisten suunnittelu.

Rakentaminen

Biokaasulaitoksen pystyttäminen koostuu useista toisiinsa kytkeytyvistä prosesseista:

- rakennuselementtien toimitus
- rakennusurakointi
- sähköurakointi
- LVI-urakointi
- prosessilaitteiden asennus
- automaatiolaitteiston toimitus ja asennus
- hälytys- ja varoitusjärjestelmien toimitus ja asennus

Käyttöönotto

- laitteiden testaaminen
- automaatio- ja tietojärjestelmien testaaminen
- käyttäjän opastaminen
- huoltotoimenpiteisiin opastaminen

Käyttö

- raaka-aineen toimitus
- laitoksen ajotavan muuttaminen
- prosessin toiminnan valvonta
- poikkeustilanteiden hallinta

Kunnossapito

- hälytysten kuittaaminen
- määräaikaishuollot
- vikaantuneiden osien vaihtaminen
- automaatio- ja tietojärjestelmien päivitys
- automaatio- ja tietojärjestelmien uusiminen
- laitteiden uusiminen
- tietojärjestelmien uusiminen

Toimijat ja ansaintalogiikka

Mahdollisia toimijoita:

- Energiajärjestelmän käyttäjä.
- Energia- ja automaatiojärjestelmien varaosien ja komponenttien toimittajat (sekä laitteisto- että ohjelmistokomponentit).
- Energia- ja automaatiojärjestelmien ylläpitäjät ja huoltofirmat.
- Energialiiketoiminnan hoitaja. (Jos jää ylijäämäenergiaa ja on useita samantapaisia energiajärjestelmiä, joiden liiketoimintaa pitää hallinnoida.)
- Paikallisen energiaverkon operaattori. Paikallisen energiaverkon operaattori tekee käyttösopimuksen joko suoraan energiajärjestelmän käyttäjän tai energialiiketoiminnan hoitajan kanssa. Operaattori omistaa ja lukee sähkömittarin. Sähkömittarista kulloinkin sähköstä veloittettavan hinnan on oltava luettavissa. Operaattorin strategiasta riippuen hän voi tariffeillaan joko tukea tai estää hajautettujen energiaratkaisujen käyttöä.
- Teleoperaattori. Teleoperaattori tuskin tulee mukaan paikallisten energioresursien käyttöön muilla kun vakiopalveluilla. Erityisesti liitännät järjestelmän ja eri käyttäjien välillä tapahtunevat sekä langallisesti että langattomasti vakiopalvelu- ja käyttäen.

Lopputuotteiden markkinat

Biokaasulaitoksen lopputuotteita ovat sähkö, lämpö ja lannoite/maanparannusaine. Joissakin tapauksissa voidaan myös vettä ja hiilidioksidia käyttää hyötytarkoituksiin. Sähköstä osa käytetään omakäyttösähkönä, osa maatilojen ja muiden biokaasulaitoksen osakkaiden sähköntarpeen kattamiseen ja osa sähköstä voidaan toimittaa verkon kautta sähkömarkkinoille. Jos biokaasulaitos sijaitsee kauempana maataloista, käytetään ”yleistä” jakeluverkkoa sähkönsiirtoon maataloille.

Lämmöstä osa kuluu omakäyttölämpönä, osa siirretään maatilan käyttöön ja osalle lämmölle on tarpeen löytää sopiva käyttökohde ja hyödyntäjä.

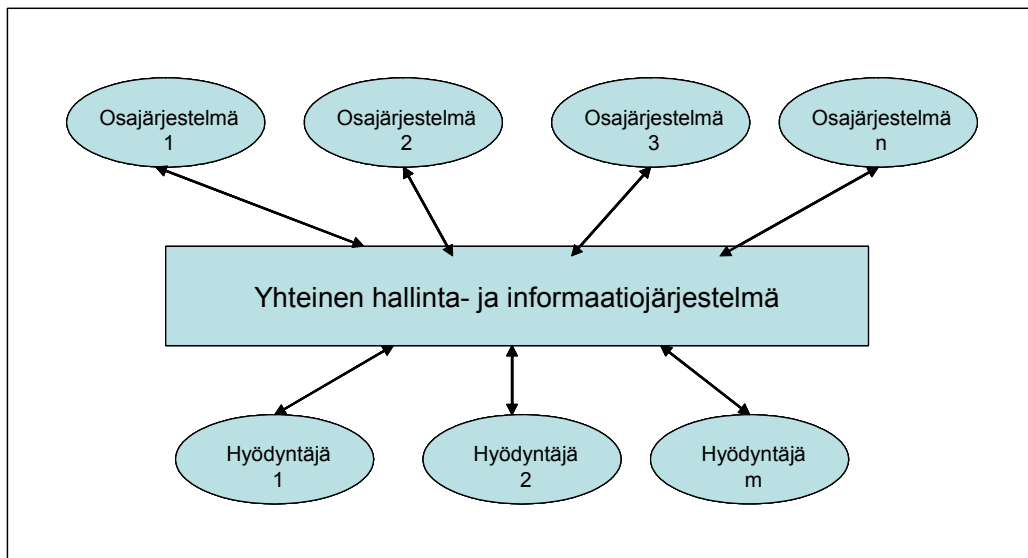
Lannoite käytetään normaalisti biokaasulaitoksen käyttöön osallistuvien maatilojen peltolannoitteena. Jalostamalla lannoite kauppatuotteeksi voitaisiin lannoitetta myydä myös ulkopuolisille markkinoille.

Järjestelmäkoneptit

Hallintajärjestelmän lähtökohtia

Biokaasujärjestelmä käsittää laajan ketjun erilaisia osaprosesseja, joiden hallinta edellyttää yhtenäistä ja koko ketjun kaikkien osien huomioonottavaa hallintajärjestelmää. Hallintajärjestelmä sisältää toisaalta tiedon ja informaation siirron ja siihen liittyvät teknologiat sekä toisaalta ohjaustiedon ja jalostetun informaation tuottamisen ja siihen liittyvät teknologiat.

Ylemmän tason hallintajärjestelmä kytkeytyy ohjaushierarkiassa alapuolella oleviin osaprosesseihin kahdensuuntaisesti: tietoa ja informaatiota keräävästi ja ohjaustietoa palauttavasti. Osajärjestelmillä on omat automaatio- ja mittausjärjestelmänsä, joihin hallintajärjestelmä linkittyy alla olevan kuvan (Kuva 3) periaatteen mukaisesti. Hallintajärjestelmä palvelee edelleen ohjaushierarkiassa yläpuolella olevaa käyttökäyttöhenkilökuntaa sekä omistajien, päätöksentekijöiden ja muiden sidosryhmien informaatiotarpeita. Yhtenä ulkopuolisena hyödyntäjänä ovat alueellisen sähköjärjestelmän (sähkönjakelu, sähkön tuotanto verkkoon) ylläpitäjät.

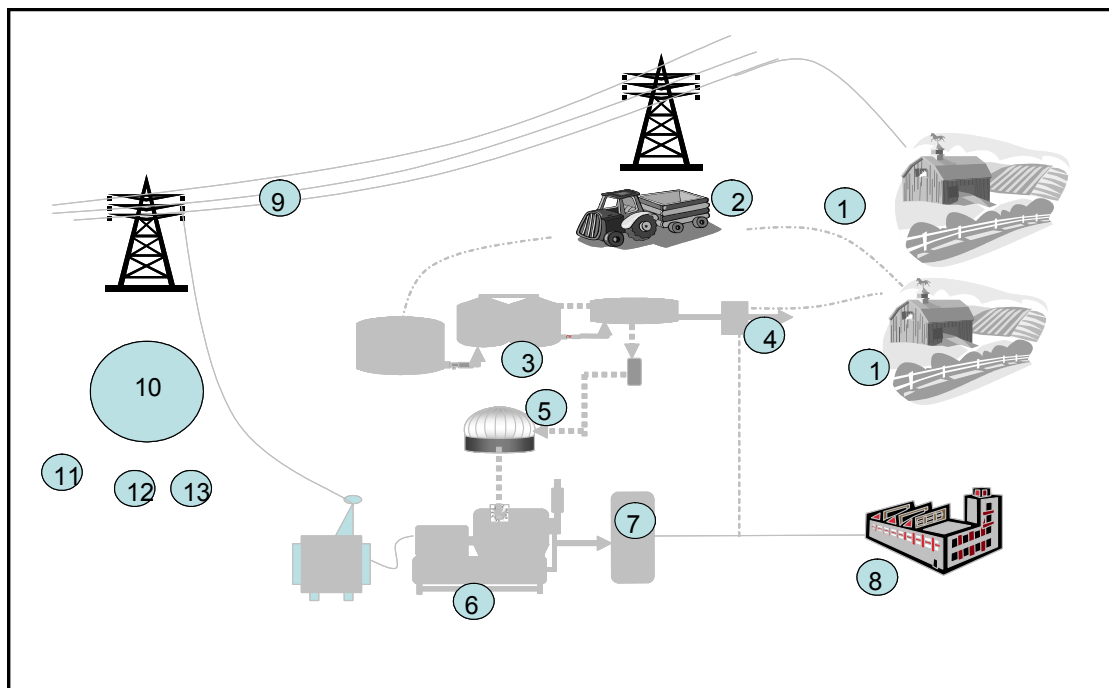


Kuva 3. Hallintajärjestelmän liittyminen ympäristöönsä.

Osajärjestelmien paikallisautomaatio välittää hallintajärjestelmälle tietoa osajärjestelmän ja sen komponenttien tilasta sekä vastaanottaa ohjaustietoa hallintajärjestelmältä ohjausten toteuttamiseksi. Hallintajärjestelmään liittyville hyödyntäjille välitetään järjestelmästä muokattua tietoa erilaista päätöksentekoa ja seuranta varten. Vastaavasti myös ohjaustiedon syöttö prosessiin päin tapahtuu hallintajärjestelmän kautta.

Hallintajärjestelmän suunnittelu edellyttää koko prosessiketjun analysointia ohjaus- ja informaatiotarpeiden kartoittamiseksi ja yksilöimiseksi. Kuva 4 hahmottelee biokaasulaitoksen hallintajärjestelmään liitettäviä osaprosesseja:

1. maatila: tilanhoitaja, energiajärjestelmä, maatilatoiminta, lannan muodostuminen, lantavarastot
2. kuljetus: kuljettaja, ajoneuvo, kuljetuskapasiteetti; (tai kuljetin)
3. biokaasulaitos: laitoksen käyttäjä, eri alaprosessit,
4. humuslannoitteen käsittely: laitteet, varasto, laatu
5. biokaasuvarasto
6. yhteistuotantolaitos
7. lämpövaraaja
8. ulkopuolinen lämmön käyttäjä
9. sähkön siirtoon ja kauppaan liittyvä järjestelmä
10. hallintajärjestelmän ydinyksikkö
- 11–13. Informaation hyödyntäjät ja ulkopuolisen ohjauksen toteuttajat.



Kuva 4. Jätehuolto-biokaasulaitoksen pääkomponentit hallintajärjestelmän kannalta.

Tiedonsiirtoyhteydet, liityntälaitteet, muut automaatiokomponentit, optimointiohjelmat sekä informaatio ovat hallintajärjestelmän muodostavia elementtejä, jotka muodostavat

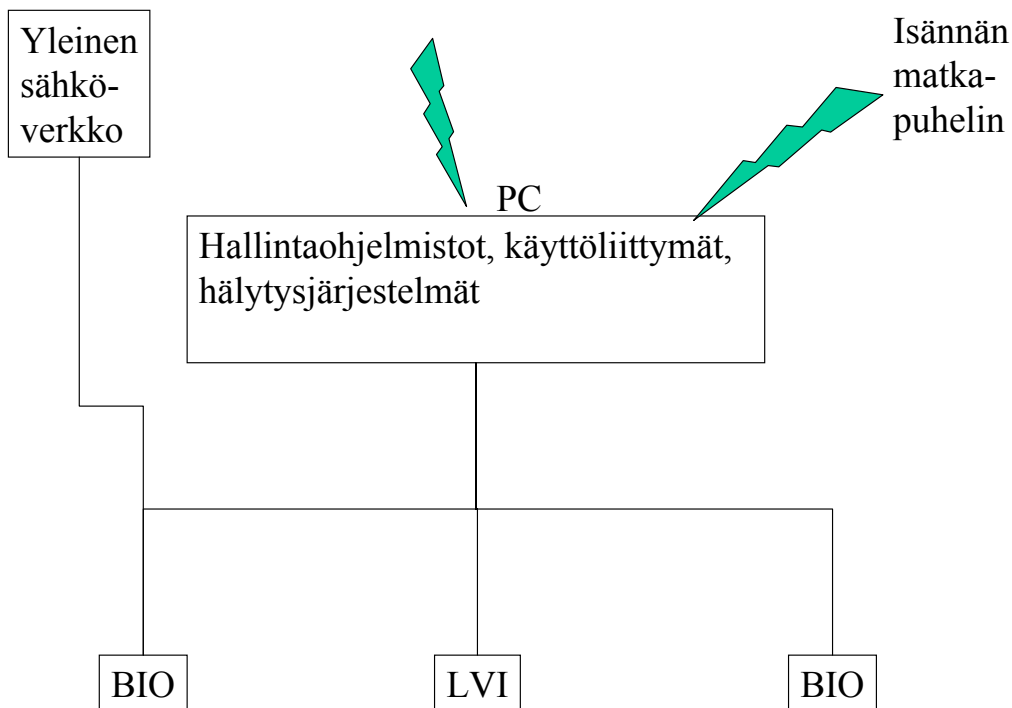
linkit edellä luetelluille osaprosesseille ja ylläpitävät sekä lyhyellä että pitkällä aikajän-
teellä tapahtuvan kokonaistoiminnan hallinnan. Hallintajärjestelmällä tavoitellaan koko
biokaasulaitoksen toiminnan hallitsemista:

- normaaleissa toiminta- ja ajotilanteissa
- häiriötilanteissa
- kunnonvalvonnassa sekä
- kunnossapidossa.

siten, että päätoiminnot kuten jätehuolto, energian tuotanto ja lannoitetuotanto toimivat
ja laitoksen kokonaistaloudellisuus ja ympäristövaatimukset saavutetaan luotettavasti ja
edullisimmalla tavalla.

Automaatio- ja tietojärjestelmät

Automaation ja tietojärjestelmien saralla kehittämistä on vielä paljon. Kännykkä on ja
tulee olemaan merkittävä väline myös maatala-automaation ohjaamisessa. Tietojärjes-
telmätarkaisujen on oltava yleistettävissä globaalisti, pelkästään Suomen markkinoihin
erikoistuminen ei kannata missään nimessä. Alla olevassa kuvassa on hahmoteltu maati-
lan tietojärjestelmän rakennetta.



Kuva 5. Maatilan tietojärjestelmä.

Esimerkkilaitoksia

Seuraavassa esitetään muutamien biokaasulaitosten suunnitelmia sekä toimivien laitosten tietoja.

Suomalainen keskitetty biokaasulaitos, suunnitteluvaihe

Biojäte

Biokaasulaitoksen muodostavassa yhtiössä on pääosakkaina parikymmentä sikalatilaa. Laitokselle tuleva biojäte koostuu seuraavista osista:

Sian lietelanta	80 000 tn/a
Kuivalanta	5 000–8 000 tn/a
Teollisuuden biohajoavat jätteet	3 000–5 000 tn/a
Jätevedenpuhdistamojen lietteet	5 000–10 000 tn/a
Kuolleet eläimet	1 000–2 000 tn/a
Yhteensä	100 000 tn/a (274 tn/vrk)

Biojätteen esikäsittely

Hygienisointi (70 °C, 1 h)

Kuolleille eläimille murska + sterilointi (133 °C, 20 min.)

Homogenisointi (12 mm palakoko)

Biokaasureaktori

Mesofiilinen (35 °C) anaerobinen käsittely, kaksi rinnakkaista 3 000–3 500 m³ reaktoria

Biokaasu

Tuotanto 2 200 000–2 600 000 Nm³ CH₄/a (22–25 GWh/a)

Energia

Biokaasusta saatava energia polttomoottorin kautta:

sähköä n. 600 kWe ja lämpöä loput 1.8 MW

Jäännöslietteen käsittely

Lietteen vedenerotus, anaerobisesti käsitellyn lietteen TS 5% -> 25%,

Kuivattua lietettä 15 000–20 000 m³/a

Vettä 80 000–85 000 m³/a

Vesi haihdutukseen (4-vaihetislaus)

Tuotteet:

- Typpirikas konsentraatti (ammoniumsulfaattina) 15 000–20 000 m³/a
- Puhdas vesi 60 000–65 000 m³/a.

Esimerkkejä Tanskassa toimivista keskitetyistä laitoksista

Blåhøj

The Biogas Plant in Blåhøj was built in 1997 and is owned by a local co-operative company, Blåhøj Energiselskab A.m.b.a. The members are 171 heat consumers and 14 slurry suppliers. Its primary function is to produce biogas by anaerobic digestion of slurry and digestible biomass resources of the area, and to supply the heat consumers in Blåhøj with CO₂ - neutral energy.

The plant receives slurry from 14 animal farms, consisting of 91% cattle and 9% pig slurry. The slurry is admixed with 21% alternative biomass, mainly as flotation sludge from a poultry abattoir, and sludge from fish processing industries and from food industries.

The process temperature is 53°C (thermophilic). A minimum guaranteed retention time of 5 hours at the process temperature ensures effective pathogen reduction. Digested biomass is returned to the decentralised storage tanks of the slurry suppliers as a homogenous, pathogen free and nutritionally defined fertiliser.

The biogas plant has its own CHP- unit, where the biogas is used in a gas engine (1500 kW-input power/550 kW electric power). The biogas engine, supplying the basic load of the heat consumption, is supplemented by a wood chip boiler, while a standby gas/oil boiler is used during the peak period of heat consumption. The heat is supplied to 171 consumers in Blåhøj town via the newly established district heating net, and the electricity is sold to the grid.

Main data

Animal manure: 70 tons/day

Alternative biomass: 17 tons/day

Biogas production: 1.4 mill. Nm³/year

Digester capacity (2 × 660 m³): 1320 m³

Process temperature: 53°C

Sanitation: MGRT 5 hours at 53°C

Gas storage capacity: 1200 m³

Utilisation of biogas: CHP-plant/gas boiler

Transport vehicle: 20 m³ vacuum tanker

Average transport distance: 5 km

Investment cost¹: 33.4 mill. DKK

Government grant: 6.9 mill. DKK

Total design and consultancy: NIRAS Ltd.

Operation start-up: 1997

1. Incl. storage capacity, district heating network and installations in the houses

Hodsager

The Biogas Plant in Hodsager was built in 1993 and is owned by a local co-operative society, Hodsager Energiselskab A.m.b.a., with the heat consumers and the slurry suppliers as members. The aim of the co-operative society is to build and operate a biogas plant to utilise the slurry and the digestible biomass resources of the local area to produce biogas for electricity and heat generation.

The plant receives slurry from 6 livestock farms in the area, consisting of 83 % cattle slurry and 17 % pig slurry. The slurry is co-digested with intestinal content from a pig abattoir and with fatty waste from fish processing industries and other organic waste.

The process temperature is 37°C (mesophilic). Due to the small number of suppliers and the types of feedstock, there is no further sanitation of the supplied biomass. The content of macro-nutrients and the dry matter content in the digested biomass is analysed before returning it to the slurry suppliers' storage tanks.

The biogas plant is equipped with its own CHP-unit, consisting of a gas engine (640 kW- input power / 220 kW- electric power) and a wood chip boiler. The electricity produced is sold to the grid. 141 heat consumers in Hodsager town are supplied with heat via the newly established district heating net. The gas motor covers 45 % of the heat consumption, supplemented by the wood chip boiler. A standby biogas/oil fired boiler is used during the peak heat consumption and in cases of engine failure.

Main data

Animal manure: 42 tons /day

Alternative biomass: 6 tons/ day

Biogas production: 0.7 mill. Nm³/year

Digester capacity: (2 × 440 m³) 880 m³

Process temperature: 37°C

Gas storage capacity: 100 m³

Utilisation of biogas: CHP-plant/gas boiler

Transport vehicle: Tractor/16 m³ vacuum tanker

Average transport distance: 3 km

Investment cost¹ :19.2 mill. DKK

Government grant: 3.9 mill. DKK

Total design and consultancy: NIRAS Ltd.

Operation start-up: 1993

1. Incl. district heating network and consumers connections.

Blåbjerg

The centralised co-digestion plant in Blåbjerg was built in 1995-96 and started up in marts 1996. The plant is owned by Blåbjerg Biogas A.m.b.a., whose members are the slurry-supplying farmers. The plant was established with the aim of supplying Nørre Nebel town with renewable energy, as well as to contribute to better distribution of excess manure from the intensive animal husbandry in the area.

The biogas plant receives cattle and pig slurry from 49 suppliers. The slurry is mixed and co-digested with organic waste from food processing, fish processing, dairy and medicinal industry, and sewage sludge. The biomass mixture is heated up to the process temperature through the heat exchanger system.

The Blåbjerg plant concept includes some new solutions, attempting to make the plant more adaptable to various feedstock and to the environmental protection requirements. Through a combination of buffer tanks and pumping sequences, the biomass has a guaranteed retention time of 8 hours at the process temperature of 53.5°C. This ensures effective pathogen reduction and allows the plant to treat sewage sludge. After digestion, the fibre fraction is separated and used in the CHP unit for heat production, and the liquid fraction is returned to the farmers as a nutritionally defined fertiliser.

The biogas is utilised in two gas engines (3740 kW) at the new CHP plant at Nørre Nebel. The heat is distributed through the district heating system to 550 heat consumers in town and the electricity is sold to the grid.

Main data

Animal manure: 222 tons/day

Alternative biomass: 87 tons/day

Biogas production: 3.1 mill Nm³/year

Digester capacity (2 × 2500 m³): 5000 m³

Process temperature: 53.5°C

Sanitation: MGRT 8 hours at 53.5°C

Gas storage capacity: 4000 m³

Utilisation of biogas: CHP-plant

Transport vehicle: 2 × 20 m³ vacuum tankers

Average transport distance: 5 km

Investment cost¹: 44.1 mill. DKK

Government grant: 11.5 mill. DKK

Contractor: BWSC Ltd.

Operation start-up: 1996

1. Incl. storage capacity.

Liite B: Yrityksen varavoima

Tämä liite perustuu PAREE-projektin työdokumenttiin ”Yrityksen varavoima”, jonka kirjoitti Hannu Pihala, VTT Prosessit. Työdokumenttia on muokattu ja täydennetty raporttia varten.

Johdanto

Polttomoottorikäyttöisiä varavoimakoneita omistavat julkiset ja yksityiset kiinteistöt, pienet ja keskisuuret teollisuuslaitokset sekä sähköyhtiöt. Viranomaismääräysten perusteella sähkön saanti on varmistettava jakeluverkon häiriöiden aikana mm. väestönsuojissa, sairaaloissa, puhelinkeskuksissa, lentoasemilla ja Yleisradion lähetys- ja linkiasemilla. Varavoimakoneen hankkiminen saattaa joissakin tapauksissa vaikuttaa myös vakuutusmaksuihin alentavasti (esimerkiksi kauppapuutarhat).

Varavoima-aggregaattien käyttö on yleensä hyvin vähäistä, mutta niihin on kuitenkin sidottu huomattavia pääomia. Sopivissa kohteissa niitä on mahdollista käyttää myös sähkön tuottamiseen huippukulutuksien aikana, kunhan ne on varustettu kyseisen käytön vaatimalla tavalla.

Vuonna 1991 tehdyn tutkimuksen mukaan pieniä dieselkäyttöisiä varavoimakoneita oli noin 3 800 kpl ja niiden yhteisteho oli noin 450 MW. Huipunleikkauskäyttöön teknisesti soveltuvia yli 160 kW:n (200 kVA) varavoimakoneita arvioitiin Suomessa olevan yhteisteholtaan ainakin 132 MW. Valtaosa varavoimakoneista on kuitenkin teholtaan alle 500 kW.

Huipun tuottamiseen soveltuvat parhaiten jakelusähköverkon kanssa rinnankäyntikelpoiset varavoimakoneet, koska niitä voidaan kuormittaa nimellistehoon asti. Sähköyhtiöiden omistamat koneet ovatkin tyypillisesti tällaisia. Sähköyhtiöiden asiakkaiden varavoimakoneet on useimmiten suunniteltu saarekekäyttöisiksi, jolloin generaattori ei käy rinnan jakeluverkon kanssa. Sähkönkulutuksen huipun tuottamisen kannalta saarekekäyttöisten laitosten puutteena on se, että useimmiten dieseliä pystytään kuormittamaan vain osateholla, koska varavoimakone on yleensä mitoitettu huomattavasti kiinteistön varmennetun verkon vaatimaa tehoa suuremmaksi. Lisäksi saarekekäyttöön siirryttäessä esiintyy lyhyt sähkökatko, mikä saattaa häiritä joitakin sähkölaitteita. Jotta edellä mainituista ongelmista selvittäisiin, olisi saarekekäyttöiset varavoimakoneet varustettava rinnankäyntiautomaatiikalla.

Yleiskuvaus

Tärkeimmät toimintaperiaatteet

Sähkönsaanti voidaan varmistaa käyttökohteen mukaan joko varalla olevalla verkkoyhteydellä, varavoimakoneella, akkuvarmennetulla vaihtosähköjärjestelmällä (UPS) tai akkuvarmennetulla tasasähköjärjestelmällä.

Varavoimajärjestelmät suunnitellaan tyypillisesti siten, että verkkohäiriön sattuessa ne syöttävät kiinteistön ns. varmennettua sähköverkkoa. Siihen on liitetty varsinaisen varmistettavan kuorman lisäksi toiminnan kannalta välttämättömät apujärjestelmät, joita ovat toiminnan jatkumiselle välttämättömät jäähdytyslaitteiden ja valaistuksen osat sekä turva- ja ohjausjärjestelmät.

Varavoimakoneella voidaan varmistaa kuormia, jotka sallivat vähintään noin 10 s:n katkoajan. Kuormien ryhmittelyssä on huomattava, että varavoimakone ei yleensä pysty syöttämään heti käynnistyttyään nimellistehonsa mukaista kuormaa. Kuormanottokyky heti käynnistyttyään on yleensä koneikon tyypistä riippuen 60–100 % nimellistehosta. Loppukuorma voidaan kytkeä muutaman kymmenen sekunnin kuluttua.

Dieselvaravoimakone sijoitetaan yleensä rakennuksessa olevaan varavoimakonehuoneeseen tai vaihtoehtoisesti hankitaan varavoimakonekontti, jossa kaikki laitoksen toimintaan tarvittavat laitteet on sijoitettu lämpö- ja äänieristettyyn konttiin.

Laitoksessa voi olla vaihteleva määrä dieselgeneraattoreita:

- Yksi generaattori, joka syöttää koko dieselvarmennetun kuorman.
- Kaksi generaattoria, jotka varmentavat toisiaan. Käyntivuorossa oleva syöttää yksinään koko varmennetun kuorman.
- Kaksi tai useampia generaattoreita, jolloin on kaksi mahdollisuutta:
 1. Jokainen generaattori toimii yksinään syöttäen vain omaa ryhmäänsä kuormituksista. Ryhmät ovat yleensä vaihdettavissa generaattorilta toiselle.
 2. Generaattorit käyvät rinnan syöttäen samanaikaisesti kaikkia kuormia. Varmistetut kuormat on jaettu yhtä moneen ryhmään kuin on dieselgeneraattoreita, tärkeimmästä ryhmästä vähiten tärkeään. Yhden generaattorin toimiesä syötetään vain tärkeintä ryhmää ja kuormituksia kytkeytyy alenevassa tärkeysjärjestyksessä generaattorisyyttöön niin monta ryhmää kuin generaattoreita kulloinkin on rinnankäynnissä.

Huipunajo

Olemassa olevat varavoimakonelaitokset voidaan jakaa automaatioasteeltaan kolmeen eri ryhmään: käsikäyttöisiin, automaattisiin ja huipunleikkausvalmiudella varustettuihin automaattisiin laitoksiin.

Nimellisteholtaan yli 50 kVA:n koneistot ovat pääsääntöisesti automaattisesti toimivia. Ne tunnustelevat jatkuvasti verkon kaikkien kolmeen vaiheen jännitettä, ja mikäli jokin niistä laskee alle asetetun rajan, käynnistyy varavoimakone tietyn asetetun viiveen jälkeen. Kone pysähtyy asetetun viiveen kuluttua siitä, kun kaikkien vaiheiden jännite on palautunut normaalille tasolle. Huipunajo on mahdollista sekä tavanomaisella että erikoisvarusteisella varavoimalaitoksella.

Tavanomaisella laitoksella ajo tapahtuu ns. saarekekäytössä sillä kuormalla, mikä on kytkettynä dieselvarmennettuun verkkoon. Jakeluverkosta ostettu sähköteho on silloin varmistetussa verkossa olevan kuorman verran pienempi kuin kokonaistehontarve. Käyttötilanne vastaa koekäyttöä, jossa verkkojännitevahdilta on katkaistuna yksi vaihe. Tätä varten tarvittava ohjauskytkin voi olla automaattinen tai käsin ohjattu huipunvalvontalaite.

Eräät nykyisin hyvinkin yleiset laitteet, esimerkiksi mikrotietokoneet, ovat melko herkkiä sähköverkon jännite- ja taajuusheilauksille. Jotta perustapauksen mukaista eli saarekekäytössä toimivaa varavoimalaitosta voitaisiin käyttää myös edellä mainittuja laitteita sisältävissä sähköverkoissa huipun tuottamiseen, on laitos varustettava ainakin hetkellisen rinnankäynnin mahdollistavilla automaattisilla tahdistuslaitteilla. Niiden avulla saadaan poistettua huipun tuottamisen (ja koekäyttöjen) aikana laitosta käynnistettäessä ja pysäytettäessä muuten syntyvät jännitekatkokset.

Erikoisvarusteisella laitoksella huipunajo tapahtuu rinnankäytössä verkon kanssa yhdellä tai useammalla koneella. Varavoimakoneistoon on tehtävä joitakin pidentyneestä käyttöajasta johtuvia muutoksia (esimerkiksi suurempi polttoainesäiliö ja pakokaasujen poiston parantaminen). Kiinteistön sähköverkkoon on lisättävä tarpeelliset mittaukset ja muut varusteet. Järjestelmään on lisättävä huipputehon valvonta-automatiikka, mikäli varavoimakoneella pyritään leikkaamaan yrityksen sähkönkäytön hupputehot. Koneet käynnistyvät automaattisesti huipunvalvontalaitteen ohjaamana ennalta määrättyssä järjestyksessä ja tahdistuvat verkkoon sekä antavat ennalta määrätyn tehon, joko nimellisen tai osatehon. Tehontarpeen pienentyessä koneet kytkeytyvät irti ja pysähtyvät vastakkaisessa järjestyksessä ja jäävät valmiustilaan. Nopeat suojauslaitteet estävät tahdistamattoman käynnistyksen, esimerkiksi verkon pikajälleenkytkentätilanteessa. Laitos ei tarvitse jatkuvaa miehitystä.

Parhaiten varavoimalaitosten käyttö oman huipun tuottamiseen onnistuu yrityksissä, joiden sähkökäytössä esiintyy suuria lyhytaikaisia sähkökulutushuippuja ja joiden sähkönlaadun vaatimus ei ole yhtä tiukka kuin esimerkiksi sairaaloissa.

Nestekaasun laivausyhtiö

Esimerkkinä varavoimalaitoksen käytöstä kulutushuippujen tuottamiseen esitetään nestekaasun laivausyhtiö, jossa toteutettiin varavoimakoneen muutostöitä vuonna 1988 huipunleikkauksen mahdollistamiseksi. Yritys varastoi Venäjältä rautateitse tuotavaa nestekaasua ja lastaa sitä edelleen laivoihin. Laivan lastaukseen on varattu aikaa 36 tuntia, josta varsinainen pumppaus vie täydellä teholla 12 tuntia.

Sähkön käyttö

Yrityksen sähkön tehohuippu oli vuonna 1988 noin 880 kW, ja huipun käyttöaika 1 700 h (1,3 GWh/a). Tehomaksujen osuus sähkön hankintakustannuksista oli 43 %, minkä vuoksi yritys päätti ryhtyä toimenpiteisiin huipputehon tuottamiseksi omalla varavoimakoneella.

Yrityksen tärkeimmät sähkökäyttökohteet ovat purkaus- ja lastauspumput, saattolämmitykset ja ilmakompressori. Kaasu puretaan junavaunuista varastosäiliöihin purkauspumpuilla. Lastauspumpuilla kaasu pumpataan varastosäiliöistä laivoihin. Talvella kaasuputkia lämmitetään saattolämmityksellä, jotta niissä mahdollisesti oleva vesi ei jäätyisi. Satama-allas pidetään pakkasella sulana puhaltamalla sinne paineilmaa ilmakompressorilla. Kun satamassa on laiva, ei kompressorin käyttö aina ole välttämätöntä, koska laivan runko pitää altaan yleensä riittävän sulana. Mm. palopumpun sähkösaannin varmistamiseksi alueella on varavoimalaitoksena sähköteholtaan 480 kW:n dieselaggregaatti.

Kuormituksesta on tasaisena kuormituksena ympäri vuorokauden 270 kW, joka jakaantuu likimäärin seuraavasti:

- | | |
|-------------------------------------|---------|
| • valaistus yms. pohjakuorma (aina) | 100 kW |
| • ilmakompressori (pakkasella) | 70 kW |
| • saattolämmitys (pakkasella) | 100 kW |
| yhteensä | 270 kW. |

Kesäaikana lämmitys jää pois, joten tasainen kulutus laskee arvoon 100 kW.

Usein toistuvia kuormituksia ovat laivan lastauspumput (6 x 90 kW), jotka toimivat keskimäärin joka viides päivä 12 tunnin mittaisen jakson sekä purkauspumput (12 x 30 kW), jotka toimivat arkisin 3 tunnin jaksoissa. Lisäksi alueella on 100 kW:n tehoinen palovesipumppu, jonka kerran viikossa tapahtuvat koekäytöt voidaan ajoittaa tehohuippujen ulkopuolelle. Kulutushuippu muodostuu suurimmaksi kovilla pakkasilla, kun samanaikaisesti laivan lastaus ja junavaunujen purkaus on käynnissä.

Varavoimalaitoksen tekniikka

Yrityksellä on konttiin sijoitettu täysautomaattinen varavoimalaitos. Se syöttää dieselvarmennettuja kuormituksia saarekekäytössä verkkohäiriön aikana. Laitos käynnistyy automaattisesti verkkokatkoksen tapahduttua. Alun perin varavoimalaitos ei ollut rinnankäyntikelpoinen verkkosyötön kanssa.

Laitoksen dieselmoottori on ahdettu ja välijäähdytetty V16 suorasuihkudiesel. Se on generaattoriin nähden riittävän tehokas, sillä tälle moottorille ilmoitetaan tehoksi 900 kW käyntinopeudella 2 300 r/min ja generaattorille 480 kW pyörimisnopeudella 1 500 r/min. Tämän perusteella moottori todennäköisesti kestää hyvin pitempiaikaisen käytön ilmoitetulla nimellisteholla 564 kW nopeudella 1 500 r/min. Toisaalta em. runsas mitoitus merkitsee myös sitä, että moottoria on riittävän usein todella käytettävä nimellisteholla, jotta se ei karstoittuisi liiaksi (turboahditet). Tästä syystä myös koekäytöt pitäisi pystyä suorittamaan nimellisteholla.

Yrityksen sähköverkoston rakenne oli sellainen, että huipun tuottaminen voitiin edullisimmin ja luotettavimmin tehdä käyttämällä varavoimakonetta rinnan verkkosyötön kanssa. Tärkein syy tähän oli se, että suurimman tehontarpeen aiheuttavat kuormitukset (laivan lastauspumput ja junavaunujen purkauspumput) on liitetty verkkosyötettyihin kiskostoihin.

Huipun tuottamisen vaatimat muutostyöt

Varavoimalaitoksen varustamiseksi huippujen ajoa varten tarvittiin uutta automatiikkaa sekä generaattoriin että polttoainesäiliön täyttämiseen. Kontissa olevaa 1 000 litran polttoainesäiliö haluttiin pystyä täyttämään sitä varten hankitusta suuremmasta säiliöstä.

Huipun ajo päätettiin suorittaa siten, että ennen laivan lastauspumppujen käynnistämistä varavoimakone tahdistettiin verkon rinnalle. Aluksi varavoimakoneen käynnistäminen tapahtui siten, että joku käyttökäyttökunnasta kävi varavoimakontissa suorittamassa painonappiohjauksen. Näin varmistuttiin siitä, että kone todella käynnistyi. Toisaalta

varavoimakoneessa on kauko-ohjausvalmius, joten se voitaisiin tulevaisuudessa käynnistää myös prosessivalvomosta käsin. Lisäksi valvomossa olevaan Foxboron-automaatiojärjestelmään hankittiin liitäntäyksikkö ostotehon mittaukseen. Näin valvomon hoitaja saa tiedon hetkellistehosta ja pystyy seuraamaan sen kehittymistä. Tarvittaessa hän pystyy antamaan ohjeita kentälle, mikäli kulutus ylittää rajaksi asetellun arvon.

Suoritettujen investointien ja muutostöiden kustannukset jakaantuivat seuraavasti (v. 1988 hintataso):

- varavoimalan muutos verkon kanssa rinnankäyttöön soveltuvaksi 23 500 €
- polttoaineen syöttö + uusi säiliö 10 m³ 11 700 €
- yhteensä 35 200 €.

Ominais hinnaksi sähkötehoa kohti laskettuna saatiin rinnankäyttöautomaatiikan osalta noin 50 €/kW ja kokonaiskustannusten osalta noin 74 €/kW.

Seurantamittaustulokset

Sähkön huipputehojen tuottamista varavoimakoneella seurattiin 1.1.1989–20.3.1989. Tavoitteeksi otettiin se, että ostosähkön teho pysyy alle 500 kW:n. Tässä myös onnistuttiin. Kyseisenä aikana yritys osti sähkönsä Haminan Energialaitokselta suurjännitetehtariffilla, jonka tehomaksu oli 46,4 €/kW:a ja energiamaksu 34 €/MWh sisältäen alv:n. Tehomaksu määräytyi talvikauden (yleensä marraskuu–maaliskuu) kahden kuukausihuipun (15 minuutin keskiteho) keskiarvon perusteella.

Huipun ajo varavoimakoneella tapahtui siten, että kone käynnistettiin käsin aina ennen laivan lastausta ja muulloinkin, mikäli 500 kW:n ostotehon ylitys oli odotettavissa. Konea ajettiin noin 400 kW:n vakioteholla. Koko seurantajaksolla koneelle kertyi käyttötunteja 270 ja sähköenergiaa tuotettiin varavoimakoneella noin 110,8 MWh. Laskutuksen perusteena ollut ostoteho pienentyi 382kW laskien arvosta 852 kW arvoon 470 kW.

Kannattavuus v. 1989

Huipunleikkauksella saavutettiin säästöjä tehomaksuissa, mutta toisaalta dieselillä tuotettu sähköenergia oli hieman ostoenergiaa kalliimpaa. Menoiksi laskettiin huipunleikkauksen vaatimat investoinnit. Varavoimakoneen pääomakuluja ei laskettu mukaan, koska kone oli hankittu muuta tarkoitusta varten eikä huipunleikkauksen käyttötuntimäärä vaikuttanut koneen elinikään. Huipunleikkauksen käyttö pienensi varavoimakoneen koekäyttötarvetta.

Dieselsähkön muuttuviksi kustannuksiksi arvioitiin 52 €/MWh, jotka muodostuivat polttoaine- (44 €/MWh, polttoöljyn hinnalla 0,17 €/litra), voiteluaine- ja huoltokustannuksista (8 €/MWh). Vuosisäästö laskettiin kaavasta $382 \text{ kW} \times 46,4 \text{ €/kW,a} - 110,8 \text{ MWh} \times (52 \text{ €/MWh} - 34 \text{ €/MWh}) = 17\,724 \text{ €} - 1\,994 \text{ €} = 15\,730 \text{ €}$. Investoinnin takaisinmaksuajaksi saatiin 10 %:n korolla 2,7 vuotta. Takaisinmaksuaika oli lyhyt, mutta pienimmillä mahdollisilla kustannuksilla olisi selvitty, mikäli jo yrityksen perustamis- ja suunnitteluvaiheessa olisi varauduttu huipun tuottamiseen varavoimakoneella.

Sähkön hinnoittelurakenteen muutosten vuoksi edellä mainitun kaltainen investointi ei olisi nykypäivänä läheskään yhtä kannattava, jos sen kannattavuuden laskenta perustuisi yrityksen ostotehon tehohuippujen leikkaamiseen.

Käytetyt lähteet

Pihala, H., Tuomela, J. & Kärkkäinen, S. 1991. Pienten varavoimakoneiden käyttö sähkön huipputehon leikkauksessa. VTT tutkimuksia 732, Espoo. 126 s. + liitt. 3 s. ISBN 951-38-3980-X.

Talotekniikka RYL 2002. Talotekniikan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2002. Osa 2, varavoima- ja UPS-järjestelmät. S. 142–153.

Varavoimalaitokset, Sähkötietokäsikirja nro III, 1985. Sähkötieto ry. 101 s.

Dieselvaravoimalaitoskurssin materiaali 1988. Valmet Linnavuoren tehdas 23.2.1988.

Liite C: Pienet vesivoimalaitokset

Tämä liite perustuu PAREE-projektin työdokumenttiin ”Pienet vesivoimalaitokset”, jonka kirjoitti Yrjö Rantanen, VTT Prosessit. Työdokumenttia on muokattu ja täydennetty raporttia varten.

Yleiskuvaus

Taustatietoja

Pieniin vesivoimalaitoksiin katsotaan tässä tarkastelussa kuuluvan laitokset, jotka ovat kooltaan noin 3–300 kW. Joissakin tarkastelun kohdissa kokoluokka ylittää aina 1 500 kW:iin asti. Laitoksille on myös olennaista, että niiden toiminta perustuu epätahtigeneraattoreihin, jotka ottavat magnetointitehonsa ainakin pääosin normaalista 50 Hz sähköverkosta. Generaattori on tällöin periaatteessa sama kuin oikosulkumoottori. Tällöin laitoksesta voidaan jättää pois nopeuden- ja jännitteensäätölaitteet. Useimmille pienvesivoimalaitoksille on Suomessa tyypillistä myös hyvin matala putouskorkeus 2–4 (10) m.

Laitokset voidaan jakaa toimintatavaltaan periaatteessa karkeasti kolmeen eri käyttöluokkaan:

- Aivan pienet laitokset, yleensä 5–30 kW, jotka ovat yksityishenkilöiden omistuksessa perustuen useimmiten entiseen paikalla olleeseen vesimyllyyn. Ne ovat paikalliskäytettyjä automatiikan rajoituksessa tuloveden sulkuventtiiliin ja generaattorin ylivirtalaukaisuun. Tästä voidaan johtaa hälytys esim. omistajan matkapuhelimeen.
- Vähän suuremmat laitokset, teholuokka noin 30–200 kW, jotka ovat jonkin yhtiön esim. sahan tai entisen kylämyllyn omistamia. Nämä laitokset on varustettu paremmalla automatiikalla ja niitä käytetään kaukokäytöllä joko paikalliselta sähkölaitokselta tai omistajan tehtaalta.
- Isommat pienvesivoimalaitokset, joiden kokoluokka ulottuu noin 2000 kW:iin asti tai joissakin tapauksissa ylemmäksikin. Ne ovat tyypillisesti sähkölaitosten tai verkkoyhtiöiden omistamia ja ne on varustettu hyvällä valvonta-automatiikalla ja toimivat kaukokäytettyinä.

Yllä mainittujen verkkoon liitettyjen laitosten lisäksi joissakin vanhoissa myllyissä on ollut kytkettynä omia generaattoreita, joista sähkö on syötetty esim. rakennuksen lämmittämiseen. Nämä eivät ole yleiseen sähköverkkoon kytkettyjä eikä niitä käsitellä tässä selvityksessä.

Olemassa olevista laitoksista pienimmän kokoluokan laitokset on useimmiten rakennettu paikalla olleen vesimyllyn tilalle, jolloin olemassa olevat käyttökuntoiset laitoksen osat on voitu hyödyntää uutta laitosta rakennettaessa. Myös keskikokoisista laitoksista useimmat on rakennettu entisen sahan tai myllyn vesivoimakäyttöön perustuen. Isoimmat laitokset sen sijaan on yleensä rakennettu ennestään rakentamattomaan putoukseen ja näitä rakennettaessa on jouduttu noudattamaan normaaleja vesivoimalaitoksen rakennusmenettelyjä lupa- ym. käsittelyineen.

Olemassa olevien pienvesivoimalaitosten lukumäärän arvioimiseksi lähetettiin SENERin ja FINERGYn jäsenlaitoksille pieni kysely /1/, jossa tiedusteltiin heidän verkoissaan olevien laitosten lukumäärää ja tehoa sekä joitakin muita olennaisia tietoja. Järjestöillä on noin 180 jäsenlaitosta, joista kyselyyn saatiin vastaus 25 laitokselta. Tämä kattoi noin 50 laitoksen tiedot (yksi laitos ei ilmoittanut voimalaitosten tarkkaa lukumäärää). Vaikkakin vastausaktiivisuus ei ollut kovin korkea, on oletettavissa, että kyselyn tulos kattaa enemmän kuin puolet olemassa olevista pienvesivoimalaitoksista, sillä läheskään kaikilla energialaitoksilla (esim. alueellisesti pienet kaupunkilaitokset tai yhden laitoksen voimalaitosyhtiöt) ei tällaisia laitoksia ole verkossaan. Toisaalta voidaan todeta, että esim. Internet-lähteistä löytyy lisää pienvesivoimalaitoksia, joista ei kyselyssä ole saatu tietoja. Voidaan kuitenkin arvioida, että yllä mainittuihin kokoluokkiin kuuluvia laitoksia on enemmän kuin 50, mutta kuitenkin alle 100.

Tarkasteltaessa uusien pienvesivoimalaitosten lisärakennusmahdollisuuksia voidaan todeta, että 1900-luvun alkupuolella useimmissa maaseutukylissä oli vesivoimalla toimiva mylly ja/tai saha. Tällaisten kylien kokonaismäärä Suomessa on ollut useita satoja. Arvioitaessa pienvesivoiman rakennusmahdollisuuksia näiden käytöstä pois jääneiden sahojen/myllyjen sijaan, voidaan katsoa, että teknisten edellytysten kannalta mahdollisia rakennuspaikkoja olisi maassamme useita satoja. Näistä kuitenkin rajautuu pois melkoinen osa nykyisistä ympäristömääräyksistä johtuvan luvansaannin vaikeuden vuoksi. Myös taloudellinen kannattavuus aiheuttaa rajoituksia; siinä raja kulkenee tällä hetkellä noin 30 kW:ssa. Kannattavuutta huonontaa osaltaan myös nykyinen sähkötariffijärjestelmä, jossa siirtomaksut saattavat tehdä hankkeesta kannattamattoman. Tariffien kannalta parhaiten kannattava on laitos, jossa laitoksen omistaja voi syöttää laitoksen kehittämän energian suoraan omaan verkkoonsa ja myös kuluttaa tuotetun energian.

Olemassa olevista padoista ja mahdollisista patoamiseen sopivista putouksista ehkä parhaimmat tiedot löytyisivät Ympäristökeskusten patotarkastusosalta. Sillä on tiedot olemassa olevista padoista, mutta ei kuitenkaan koottua tilastoa, mitkä niistä olisi saatavissa käyttöön /2/.

Oletukset

Pienvesivoimalaitoksen rakentamista suunniteltaessa perusedellytyksenä voidaan yleensä pitää sitä, että rakennushankkeeseen ryhtyvällä on omistuksessaan sopiva laitospaikka eli joki, joka voidaan padota tarpeen mukaan ja saada tällä tavoin aikaan riittävä putouskorkeus. Mikäli laitospaikka jouduttaisiin ostamaan, ei hankkeesta saada kannattavaa. Patoamista suunniteltaessa on selvitettävä, voidaanko pato rakentaa siten, että sitä voidaan käyttää esim. vuorokausisääntelyyn. Pidempään sääntelyyn eivät jokiin rakennetut padot yleensä anna mahdollisuutta.

Edellisestä seuraavana olettamuksena voidaan pitää, että laitoksen rakennusaste on likimain 1 tai enintään hieman korkeampi, jolloin tuotetuksi vuosienergiaksi voitaisiin saada noin 8 MWh/ asennettu kW.

Laitoksen käytön kannattavuuden osalta on lisäksi tärkeää, että laitoksen omistaja voi käyttää kehitetyn energian omassa verkossaan, jolloin laitoksen omistaja välttyy verkonhaltijan perimiltä siirto- ja liittymismaksuilta. Muussa tapauksessa siirtomaksut saattavat nousta korkeammiksi kuin energian myynnistä saatavat tuotot, jolloin laitoksesta on mahdotonta saada kannattavaa. Jos laitoksen omistaja voi käyttää kehitetyn energian omassa verkossaan, hän voi laskea saamikseen tuotoiksi sekä energian hinnan että sitä vastaavat siirtomaksut.

Laitosten tyyppitapauksina voitaisiin tarkastella laitoksia, joissa yksityishenkilön omistaman laitoksen teho on 10 kW, eli noin entisen kylämyllyn ottama teho. Omaan käyttöön rakennetun sahan tai muun yhtiön rakentaman laitoksen teho on 100 kW ja sähköyhtiön rakentaman laitoksen koko on noin 500 kW. Nämä vastaavat myös tehdyn kyseilyn vastauksissa esiintyviä tavanomaisia arvoja.

Toteutus

Uuden pienvesivoimalaitoksen rakentamisen edellytyksenä on luonnollisesti sopivan laitospaikan olemassa olo. Pienvesivoimalaitoksen pääosat ovat yleensä: pato, ylavesitie, johtoputki sulkuventtiileineen, turpiini-generaattoriyhdistelmä, alavesitie, sähköverkkoon liitälaitteisto sekä automaattika-ohjauslaitteisto. Noin 23–30 kW suuremman laitoksen verkkoon liittämiseksi laitoksen yhteyteen joudutaan myös rakentamaan muuntamo suurjänniteverkkoon liittämiseksi.

Pato ja ylävesitie

Olemassa oleva pato ja ylävesitie alentavat laitoksen rakentamiskustannuksia merkittävästi. Suomessa käytössä olleet vesimyllyt ovat kuitenkin jääneet yleensä pois käytöstä jo 1930–1940-luvuilla verkkosähkön saatavuuden korvatessa ne. Tämän vuoksi pato ja ylävesitie ovat yleensä tuhoutuneet lähes kokonaan, erityisesti, jos ne oli rakennettu puusta. Mikäli pato on aikoinaan rakennettu kivistä tai betonista, se saattaa olla edelleen käyttökelpoinen ja otettavissa käyttöön pienehköillä korjaustoimenpiteillä. Vaikka pato olisikin pahoin tuhoutunut, saatetaan pystyä osoittamaan, että laitoksen käyttöluupa on edelleen voimassa. Tällöin uudelle laitokselle ei välttämättä tarvita uutta käyttöluupa, jos uusi laitos rakennetaan vanhan laitoksen käyttöehtojen mukaisesti, eli käytettävä vesimäärä ja putouskorkeus pidetään entisen suuruisina. Tämä vähentää osaltaan laitoksen perustamisessa olevaa lupabyrokratiaa.

Turpiini-generaattoriyhdistelmä

Pienvesivoimalaitoskoneistoja valmistaa Suomessa tällä hetkellä vain yksi kotimainen yritys. Tämä yritys on toimittanut lähes kaikki viime vuosina valmistetut tai saneeratut pienvesivoimalaitokset. Suurempiin laitostyöihin mentäessä kuvaan tulevat myös ulkomaiset toimittajat. Yrityksen toimittamien turpiini-generaattoriyksiköiden kokoalue ulottuu noin 5–2 000 kW. Kotimaisen valmistajan laitteissa turpiini ja generaattori on yleensä sijoitettu samaan yksikköön johtoputken sisälle. Käytännössä tästä on myös se etu, että varsinaista koneistorakennusta ei useinkaan tarvita, vaan koneisto sijaitsee liikkimain näkymättömänä padon sisällä tai alapuolella.

Generaattori ja turpiinin laakerit on sijoitettu suljettuun, ylipaineistettuun tilaan, jossa paine on suurempi kuin ympäröivän veden paine. Tämä estää veden tunkeutumisen laitteiston sisään pitäen sen kuivana ja estäen korroosion. Täytekaasuna käytetään typpeä. Valmistajan esittämien kokemusten mukaan järjestelmän kaasuvuodot ovat hyvin vähäisiä, ja paineistus voidaan tehdä käyttäen normaaleja kaasupulloja. Koska laitteisto voidaan toimittaa yhtenä valmiiksi asennettuna yksikkönä, on paikalleen asennus tarvittaessa lyhyt ja yksinkertainen toimenpide. Asennus voidaan yleensä tehdä mobiilnosturin avulla. Koneisto voidaan myös tarvittaessa irrottaa paikaltaan nosturin avulla huoltoa tai korjausta varten.

Turpiinin tuloputki on varustettu painovoimatoimisella sulkuventtiilillä, joka sulkeutuu jännitteen hävitessä generaattorista tai muun vikalaukaisun vaikutuksesta. Tämän vuoksi laitos ei tarvitse akustoja eikä apujännitettä, mikäli sitä ei varusteta kaukokäytöllä.

Generaattorit ovat epätahtigeneraattoreita, mikä eliminoi nopeuden- ja jännitteensäätimien tarpeen. Generaattorien käyttöjännite on yleensä pienjännite, mutta suuremmilla tehoilla voidaan myös valita suurempi jännite, esim. 690 V tai 1 000 V. Tämä helpottaa laitteiston kytkemistä, koska liitäntäkaapelien poikkipinnat voidaan valita pienemmiksi suuremmalla jännitteellä. Esimerkiksi 400 V:n jännitteellä 500 kW:n tehoisen generaattorin nimellisvirta on luokkaa 850 A, mikä vaatii jo vähintään kaksi rinnakkaista 300 mm² kaapelia. Suuremman generaattorijännitteen valitseminen vaatii taas vastavuoroisesti laitokselle kaksi jännitettä. Toisaalta on muistettava, että jo muutaman kymmenen kilowatin tehoinen laitos on ainakin maaseutuverkoissa liitettävä oman jakelumuuntajan välityksellä suoraan suurjänniteverkkoon, tavallisesti 20 kV verkkoon.

Sähköverkkoon liitäntälaitteisto

Useimmat olemassa olevat laitokset on liitetty yleiseen sähköverkkoon noudattaen SENERin suositusta ”Pienvoimaloiden liittäminen jakeluverkkoon” /3/ ja myös useimmat verkkoyhtiöt vaativat tämän suosituksen noudattamista, jos laitos halutaan liittää verkkoon. Ko. suositus sisältää varsin yksityiskohtaiset suositukset laitoksen sallituista vaikutuksista verkon ominaisuuksiin sekä toimintaan eikä niitä ole tarpeen toistaa tässä. Suosituksessa mainittujen suoja- ja ohjauslaitteiden lisäksi muutamat yhtiöt vaativat pienvesivoimalaitoksille kummankin suuntaisen energiamittauksen ja sen lisäksi vielä tunti-tehojen tulostuksen. Pienillä laitostehoilla suoja- mittauslaitteiston kustannukset saattavat muodostua suhteellisen korkeiksi heikentäen investoinnin kannattavuutta.

Automaatiikka- ja kauko-ohjauslaitteisto

Kotimaisen valmistajan toimittamat turpiini-generaattoriyhdistelmät varustetaan jo toimitukseen kuuluen tietyllä minimi automaatiikka-valvontalaitteistolla. Se hoitaa laitoksen jatkuvan valvonnan tarpeet ja erottaa laitoksen verkosta tietyissä vikatilanteissa estäen laitoksen tai vesiteiden vaurioitumisen. Kaukokäyttötapa ja -laitteisto riippuvat laitoksen haltijan tarpeesta. Yksinkertaisimmillaan tarpeen voi olla pelkkä hälytyksen siirtäminen haluttuun puhelimeen tai vastaavasti saatetaan tarvita täydellistä kauko-ohjaus- ja mittauslaitteistoa. Yksinkertaisemmat vaihtoehdot ovat yleensä pienissä ja yksityisten henkilöiden omistamissa laitoksissa ja täydellisimmät vaihtoehdot energialaitosten omistamissa laitoksissa, joita kaukokäytetään laitoksen keskusvalvomosta.

Kustannukset

Pienvesivoimalaitoksen perustamiskustannukset voidaan ryhmitellä seuraaviin osiin:

- koneiston kustannukset
- padon rakennus- tai kunnostuskustannukset
- vesiteiden kunnostuskustannukset
- sähköverkkoon liitännäkustannukset sekä
- automaattika- ja kauko-ohjauslaitteistojen kustannukset.

Kotimaisen valmistajan antamien hinta-arvioiden mukaan pienimpien laitousyksiköiden (5–30 kW) koneistokustannukset ovat noin 3 000 €/kW laskien koon myötä siten, että kokoluokassa 30–200 kW ne ovat noin 2 500 €/kW ja kokoluokassa 200–1 500 kW noin 1 800–2 000 €/kW. Kustannukset sisältävät valmistajan tekemän perussuunnittelun ja yksinkertaisen suojausautomaattikan. Mikäli laitoksen rakentaminen käsittää myös ylä- ja alavesiteiden uudelleen rakentamisen, saattavat kustannukset kaksinkertaistua ja padon uudelleen rakentaminen todennäköisesti nostaa perustamiskustannukset vähintään kolminkertaisiksi koneistokustannuksiin verrattuna. Tällöin pienen laitoksen rakennuskustannukset saattavat nousta 6 000–9 000 €/kW, ja suuremmankin laitoksen perustamiskustannukset saattavat nousta 5 000–7 000 €/kW.

Esimerkkilaitosten kannattavuuslaskelmat

Edellä oletettujen esimerkkilaitosten hankintakustannuksia ja hankinnan kannattavuutta on tarkasteltu seuraavassa. Hankintakustannukset on arvioitu kyselyssä saatujen olemassa olevien laitosten tyyppikokojen perusteella. Koneistojen hankintakustannuksista on saatu suuruusluokka-arvio kotimaiselta valmistajalta, kuten jäljempänä esitetään.

Näille laitoksille on tehty kannattavuuslaskelma nykyarvomenetelmää noudattaen. Laitoksen kuoletusajaksi laskelmissa on otettu 30 vuotta, mikä on yleinen sähkölaitteiden kuoletusajaksi laskettu aika, tosin vesivoimalaitoksille käytetään usein pidempiäkin aikoja, esim. 40 tai 50 vuotta. Näillä kuoletusajoilla olisi kuitenkin merkitystä vain hyvin matalilla korkokannoilla, minkä vuoksi niitä ei ole laskentaan otettu. Sähkön myyntihinnat on saatu Energiamarkkinaviraston tilastosivuilta tai VTT Prosessien omilta asiantuntijoilta, esim. sähkömarkkinahintojen osalta.

Tyyppiesimerkkeinä kannattavuuslaskelmissa käytetään seuraavia edellä kuviteltuja laitoksia.

Yksityishenkilön rakentama noin 10 kW suuruinen laitos

Yksityishenkilö päättää rakentaa omalla maallaan kulkevaan pieneen jokeen noin 10 kW:n tehoisen voimalaitoksen, jonka kehittämän energian hän käyttää pääosin omassa taloudessaan esim. lämmitykseen ja maatalouteen. Laitoksen rakentamisen lähtökohtana on omistajan maalla kulkeva pieni joki, jossa on aikaisemmin sijainnut kylämylly tai pieni saha. Laitos voidaan liittää olemassa olevaan pienjänniteverkkoon ja se varustetaan minimiautomaatiikalla, mikä tarkoittaa käytännössä, että laitos pysähtyy automaattisesti verkkokatko- tai vikatilanteessa ja lähettää hälytysilmoituksen omistajan puheliemeen. Laitoksen uudelleen käynnistys tapahtuu käsin ja vaatii laitoksella käynnin. Pato- ja vesiteiden rakentamisen hän suorittaa itse koneiston toimittajan ohjeiden mukaan, jolloin laitoksen perustamiskustannuksiksi voidaan arvioida noin 5 000 €/kW. Tällöin laitoksen perustamiskustannukset ovat noin 50 000 €.

Laitoksen vuotuiseksi käyttöajaksi arvioidaan 8 000 h eli vuosienergia on noin 80 MWh. Kun laitos on yksityisen käyttäjän omistama ja hän käyttää tuotetun energian kokonaan itse, voidaan laitoksen tuottaman energian hinnaksi katsoa se, minkä kuluttaja joutuisi muussa tapauksessa maksamaan ostamastaan sähköstä. Energian hintana käytetään tässä tapauksessa Energiamarkkinaviraston tilastosivuilta (helmikuu 2004) saatua keskimääräistä kokonaishintaa, noin 8 c/kWh. Tässä on huomattava, että jos kuluttaja käyttää kaiken tuottamansa sähkön itse, hänen ei tarvitse maksaa tuotetusta sähköstä sähköveroä eikä huoltovarmuusmaksua (Laki 1168/2002). Jos tuotetusta sähköstä menee osakin myytäväksi ulkopuoliseen verkkoon, on kaikesta tuotetusta sähköstä laitoksen omakäyttökulutusta lukuun ottamatta maksettava nämä maksut. Tarkkailu tapahtuu kuukausittain, jolloin olisi tietysti myös mahdollista toimittaa osa sähköstä myyntiin joinakin kuukausina, kun oma kulutus on pienempi. Sähkövero ja huoltovarmuusmaksu ovat yhteensä noin 0,75 c/kWh.

Käytettäessä energian hintana 8 c/kWh ja tuottona 80 MWh/vuosi saadaan laitoksen tuotoksi 6 400 €/vuosi. Jos osa energiasta syötetään yleiseen verkkoon koko vuoden ajan, putoaisivat tuotot lukemaan 5 800 €/vuosi. Seuraavassa kannattavuuslaskelmassa tuottoarvona on käytetty 6 400 €/vuosi. Suoraa takaisinmaksuaikaa tarkasteltaessa todetaan laitoksen maksavan itsensä takasin noin 9 vuodessa sillä olettamuksella, että investointi tehdään päätöksentekohetkellä ja laitoksen rakennusaika on noin vuosi. Tällöin tuotot alkavat vuoden kuluttua investoinnista. Nykyarvomenetelmällä saadaan vastaavilla oletuksilla ja 30 vuoden kuoletusajalla seuraavia kannattavuusarvoja:

- Jos energian hinnan arvioidaan pysyvän vakiona eikä käyttökustannuksia oteta huomioon, vaan omistajan oletetaan tekevän huoltotyöt omalla ajallaan, nykyarvo menee nolllaksi sisäisen korkokannan ollessa noin 11 %.

- Jos muut ehdot pysyvät samana, paitsi laitoksen käyttökustannuksiksi arvioidaan noin 20 % tuotosta vuosittain, nykyarvo menee nolllaksi noin 9,2 %:n sisäisellä korkokannalla.
- Jos energian hinnan oletetaan nousevan noin 5 % vuodessa eikä käyttökustannuksia myöskään oteta huomioon, nykyarvo menee nolllaksi noin 15 % sisäisellä korkokannalla.
- Jos energian hinnan oletetaan nousevan noin 5 % vuodessa ja käyttökustannuksiksi arvioidaan 20 % tuotosta, menee nykyarvo nolllaksi noin 13 %:n sisäisellä korkokannalla.

Edellä esitetyistä laskentatuloksista voidaan karkeasti päätellä, että investointi on kannattava, jos investointi voidaan rahoittaa enintään 10–15 %:n korkokustannuksilla. Tällöin ei vielä tosin saada sijoitetulle pääomalle mitään tuottoa. Tuottoa jää, mikäli investointi pystytään rahoittamaan tätä alemmilla korkokustannuksilla.

Sahalaitoksen rakentama 100 kW tehoinen laitos

Myös sahalaitoksen rakentamalle 100 kW:n tehoiselle vesivoimalaitokselle voidaan olettaa vuotuiseksi käyttöajaksi noin 8 000 h, jolloin tuotetuksi vuosienenergiaksi tulisi 800 MWh. Tuotannosta oletetaan kuitenkin tällöin menevän myyntiin ulkopuolelle neljännes, eli 200 MWh ja omaan käyttöön menevän loput eli 600 MWh. Tällöin tuottaja joutuu maksamaan kaikesta tuottamastaan sähköstä sähköveron ja huoltovarmuusmaksun. Näiltä maksuilta voi välttyä niinä kuukausina, jolloin laitos käyttää kaiken tuottamansa energian omassa kulutuksessaan.

Tuottoja tarkasteltaessa oletetaan, että laitos joutuisi maksamaan ostamastaan sähköstä noin 6 c/kWh kokonaishintana siirtomaksuineen. Tämän tarkempaa arviota tariffeista ei pystytty saamaan, koska tämän kokoisilla kuluttajilla tariffit ovat yleensä sopimuskohtaisia. Verkkoon myymästään sähköstä laitos voinee saada enintään sähköpörssin hintaa vastaavan hinnan, mikä tällä hetkellä on enintään noin 3 c/kWh. Näillä arvioilla laitoksen vuosituotoiksi muodostuisi $6 \text{ c/kWh} \times 600 \text{ MWh} + 3 \text{ c/kWh} \times 200 \text{ MWh} = 42\,000 \text{ €/vuosi}$. Koska sahalaitos pystyy käyttämään voimalaitosta pääasiallisesti osana omaa käyttöorganisaatiotaan, voitaneen käyttökustannuksiksi arvioida enintään 10 % vuosituotosta.

Arvioitaessa laitoksen kannattavuutta em. oletuksilla voidaan päätellä seuraavaa: Laitoksen 400 000 € investoinnin takaisinmaksuajaksi muodostuu noin 11 vuotta, kun oletetaan, että investointi tehdään välittömästi rakentamispäätöksen jälkeen ja tuotot alkavat runsaan vuoden kuluttua investoinnista.

Arvioitaessa investoinnin kannattavuutta nykyarvomenetelmällä ja käyttäen 30 vuoden kuoletusaikaa sekä edelliskohdassa käytettyjä laskentavaihtoehtoja saadaan seuraavia tuloksia:

- Jos energian hinnan arvioidaan pysyvän vakiona eikä käyttökustannuksia oteta huomioon, nykyarvo menee nollassi sisäisen korkokannan ollessa noin 9 %.
- Jos muut ehdot pysyvät samana, paitsi laitoksen käyttökustannuksiksi arvioidaan noin 10 % tuotosta vuosittain, nykyarvo menee nollassi noin 8 %:n sisäisellä korkokannalla.
- Jos energian hinnan oletetaan nousevan noin 5 % vuodessa eikä käyttökustannuksia myöskään oteta huomioon, nykyarvo menee nollassi noin 13,3 %:n sisäisellä korkokannalla.
- Jos energian hinnan oletetaan nousevan noin 5 % vuodessa ja käyttökustannuksiksi arvioidaan 10 % tuotosta, menee nykyarvo nollassi noin 12,3 %:n sisäisellä korkokannalla.

Laskentatuloksista voidaan karkeasti päätellä, että investointi on kannattava, jos se voidaan rahoittaa enintään noin 9–13 %:n korkokustannuksilla. Tuottoa jää, jos investointi pystytään rahoittamaan tätä alhaisemmilla korkokustannuksilla.

Sähkölaitoksen rakentama 500 kW:n tehoinen vesivoimalaitos aikaisemmin hankitulle paikalle

Esimerkkitapauksessa sähkölaitos rakentaa aikaisemmin hankkimalleen voimalaitospaikalle uuden 500 kW:n tehoisen laitoksen. Laitoksen vuotuiseksi käyttöajaksi arvioidaan 8 000 h, jolloin tuotetuksi vuosienergiaksi saadaan 4 000 MWh. Laitoksen hankintakustannuksiksi arvioidaan 4 500 €/kW, jolloin hankintakustannuksiksi tulee 2,25 M€. Laitos varustetaan hyvätasoisella automatiikalla ja sitä kaukokäytetään laitoksen keskusvalvomosta. Laitos käyttää kaiken tuotetun energian omassa verkossaan. Energian arvoa määriteltäessä sen hinta riippuu, siitä laskeeko laitos muussa tapauksessa ostavansa sähkön ulkopuolelta vai kehittävänsä sen mahdollisesti rakentamassaan muussa voimalaitoksessa, esim. kaukolämpöastapainelaitoksessa. Tässä esimerkissä käytetään kuitenkin sähkön hankintahintana ulkopuolelta hankittavan energian hintaa eli viimeaikaista sähköpörssin hintaa. VTT Prosessien asiantuntijoiden antaman arvion mukaan sähköpörssin energiahinta on enintään 3 c/kWh. Tällä perusteella laitoksen tuotoiksi saadaan $3 \text{ c/kWh} \times 4\,000 \text{ MWh/vuosi} = 120\,000 \text{ €/vuosi}$. Sähkölaitostapauksessa laitoksen käyttökustannukset voidaan laskea alhaisemmiksi kuin kahdessa edellisessä esimerkissä, sillä laitoksella on jo muutenkin valmis käyttöorganisaatio tämän tyyppistä laitosta varten, ja kustannuksia lisäävät vain tästä laitoksesta syntyvät lisäkulut. Tämän vuoksi käyttökustannuksiksi arvioidaan vain 5 % vuosituotosta.

Laitoksen 2 250 000 € investoinnin takaisinmaksuajaksi muodostuu lähes 20 vuotta olettaessa investointikustannusten syntyvän välittömästi rakentamispäätöksen jälkeen ja tuottojen alkavan runsaan vuoden kuluttua rakentamispäätöksestä.

Arvioitaessa investoinnin kannattavuutta nykyarvomenetelmällä ja käyttäen 30 vuoden kuoletusaikaa sekä edelliskohdassa käytettyjä laskentavaihtoehtoja saadaan seuraavia tuloksia:

- Jos energian hinnan arvioidaan pysyvän vakiona eikä käyttökustannuksia oteta huomioon, nykyarvo menee nollassi sisäisen korkokannan ollessa noin 3,3 %.
- Jos muut ehdot pysyvät samana, paitsi laitoksen käyttökustannuksiksi arvioidaan noin 5 % tuotosta vuosittain, nykyarvo menee nollassi noin 2,9 %:n sisäisellä korkokannalla.
- Jos energian hinnan oletetaan nousevan noin 5 % vuodessa eikä käyttökustannuksia myöskään oteta huomioon, nykyarvo menee nollassi noin 8,1 %:n sisäisellä korkokannalla.
- Jos energian hinnan oletetaan nousevan noin 5 % vuodessa ja käyttökustannuksiksi arvioidaan 5 % tuotosta, menee nykyarvo nollassi noin 7,6 %:n sisäisellä korkokannalla.

Sähkölaitoksen kannalta investointi on periaatteessa kannattava, jos investointi voidaan rahoittaa enintään 3–8 %:n korkokustannuksilla. Käytännössä tämä ei ole mahdollista ainaakaan alarajan läheisyydessä olevilla korkotasolla. Sähkölaitoksen täytyneekin kannattavuutta arvioidessaan ottaa myös muita vaikuttavia tekijöitä huomioon. Esim. Suomessa tavallinen inflaatio parantanee kannattavuutta ainakin vastaavalla prosenttimäärällä.

Yhteenveto kannattavuusarvioista

Edellä mainituissa esimerkeissä kannattavuutta on arvioitu sekä takaisinmaksuajakojen perusteella että nykyarvomenetelmällä. Takaisinmaksuajoiksi saatiin pienen yksityislaitoksen 9 vuodesta sähkölaitoksen omistaman laitoksen 20 vuoteen. Vesivoimalaitos on kuitenkin pitkäaikainen investointi, jonka kuoletusaikana käytetään yleisesti 30 vuotta, usein jopa 50 vuotta. Kannattavuusrajana pidetään usein investoinnin takaisinmaksuajakarajana noin 5 vuotta, jota pidemmällä ajalla hanke ei ole kannattava. Myös nykyarvomenetelmällä pienen yksityisesti omistetun laitoksen kannattavuus on paras, kannattavan korkokannan ollessa 10–15 % ja vastaavasti sähkölaitoksen rakentaman isomman laitoksen kannattavuus on heikoin, kannattavan korkokannan ollessa 3–8 %.

Edellä mainituissa kannattavuuslaskelmissa on kuitenkin muistettava, ettei inflaation vaikutusta ole otettu mitenkään huomioon, vaikka se on Suomessa ollut nykypäiviin asti

tärkeänä tekijänä parantamassa investoinnin kannattavuutta. Lisäksi vesivoimalaitokseen sijoittaminen on todennäköisesti melko riskitön sijoitus.

Käytetyt lähteet

VTT Prosessit: SENERin ja FINERGY:n jäsenlaitoksille joulukuussa 2003 lähetetty-pienvesivoimalaitoskysely.

Pienvesivoimalaitosyhdistys ry / Matti Tammivuori.

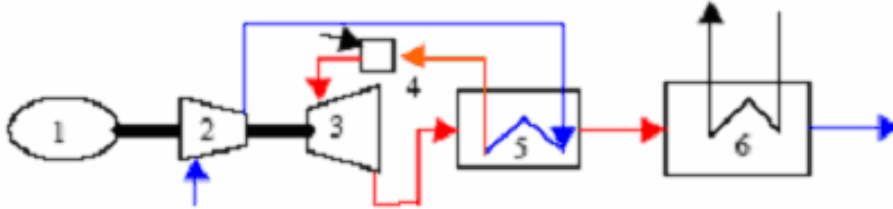
Sähköenergialiitto (SENER): Pienvesivoimaloiden liittäminen sähköverkkoon. Helsinki 2001.

Waterpumps Oy: Esitteitä pienvesivoimalaitosten turbogeneraattoreista.

Puhelinkeskustelu Kimmo Rintamäki, Waterpumps Oy/Yrjö Rantanen, VTT Prosessit.

Mikroturbiinilaitos

Alla oleva kuva esittää mikroturbiinin rakenteen ja toimintaperiaatteen.



Kuva 1. Mikroturbiinin rakenne ja toiminta.

Generaattoria (1) jäähdytetään kompressoriin (2) otettavan ilman avulla. Kompressori on keskipakoistyypinen ja varustettu diffuuserilla. Painesuhde on noin 4. Ilma esilämmitetään pakokaasujen lämmöntalteenottimessa (5) noin 180 °C:sta 600 °C:seen ja siirretään sen jälkeen polttokammioon (4). Polttokammio muodostuu pää- ja apupolttimesta. Osa polttoaineesta johdetaan apupolttimen kautta, jotta varmistetaan hyvä palaminen käynnistymis- ja kuormanmuutostilanteissa. Polttokammiossa ilman ja kaasun seos sytytetään kipinätulpan avulla. Turbiinin (3) tulolämpötila on noin 900 °C. Turbiini on radiaaliturbiini, ja se on tuettu kahdella öljyjäähdytteisellä laakeroinnilla akselin molemmissa päissä. Pakokaasujen lämpötila on turbiinin jälkeen noin 625 °C ja jäähtyy edelleen rekuperaattorissa ja vastavirtalämmönsiirtimessä (6). Mikroturbiinijärjestelmään liittyy myös paineistettu kaasusäiliö sekä erillinen kaasukompressori, jolla polttoaineen kaasun paine voidaan nostaa 8–10 bariin.

Generaattori on kaksinapainen synkronoitu AC-kone, jolloin jännitteen taajuus on 1 467 Hz kierrosnopeuden ollessa 88 000 rpm. Kolmivaiheinen korkeataajuussähkö muutetaan DC-sähköksi ja muunnetaan 50 Hz ja 400 V:n sähköksi invertterillä.

Käytännössä kaasuturbiinien sähköhyötysuhde riippuu voimakkaasti turbiinin tehosta. Alle 1 MW:n kokoluokassa sähköhyötysuhde jää 25 %:n alapuolelle. Mikroturbiinilaitosten kokonaishyötysuhde on 73–83 % riippuen pakokaasujen lämmön talteenoton tehokkuudesta. Turbiinista tulevan kaasun lämpötila on tyypillisesti 450–550 °C, jolloin sitä voidaan helposti hyödyntää lämmön tuottamiseen. Teoreettisesti hyötysuhdetta voidaan parantaa nostamalla turbiiniin syötettävän kaasun lämpötilaa. Käytännössä tällöin joudutaan turvautumaan keraamisiin materiaaleihin.

Alla oleva taulukko (Taulukko 1) sisältää mikroturbiinien (25–250 kW) tyypilliset tekniset ominaisuudet.

Taulukko 1. Mikroturbiinin tyypilliset tekniset ominaisuudet.

Yksikköteho (kW)	25–250
Sähköhyötysuhde (%)	15–35
Lämpöhyötysuhde (%)	50–60
Kokonaishyötysuhde (%)	75–85
Lämmöntuotto (°C) *	85–100, höyry
Peruskorjausväli (h)	20000–30000
Elinikä (h)	50000–75000

*) Turbiinista lähtevän kaasun lämpötila 450–600 °C

Taulukko 2 esittää mikroturbiineihin perustuvien yhteistuotantolaitosten investointi-, käyttö- ja kunnossapito- sekä tuotantokustannukset. Mikroturbiinien kustannukset ovat nykyisin noin 650 €/kW ja niiden arvioidaan puolittuvan kymmenessä vuodessa. Merkittävä osa investointikustannuksista, karkeasti noin puolet, johtuu muusta kuin itse kaasuturbiinista, eli lämmön talteenotosta, sähkölaitteista, rakentamisesta ja asennuksesta.

Mikroturbiinien käyttö- ja kunnossapitokustannukset pienenevät tehon kasvaessa. Mikroturbiineista ei ole vielä laajoja käyttökokemuksia eikä ylläpitokustannuksista ole tilastoja.

Taulukko 2. Mikroturbiineihin (25–250 kW) perustuvien yhteistuotantovoimaloiden nykyiset kustannukset.

Investointi (€/kW _e)	1000–1700
Käyttö ja kunnossapito (c/kWh _e)	0,6–1,7
Polttoaine (c/kWh)	2
Tuotantokustannus (c/kWh) *	3–4

*) Rakennusasteena (sähkön- ja lämmöntuotannon suhde) on käytetty arvoa 0,6

Potentiaali

Pienimuotoisen, mikroturbiiniin perustuvan CHP:n markkinapotentiaali (lyhyellä ja keskipitkällä tähtäimellä) ja sen realisoituminen on vahvasti riippuvainen sähkömarkkinoiden vapautumisesta, sähkön hinnasta sekä maakaasun hinnasta ja saatavuudesta. Sähkön hinta nousee pitkällä tähtäimellä muun muassa ilmastositomuksen päästörajoitusten vaikutuksesta. Kuitenkin myös maakaasun hinnan arvioidaan nousevan.

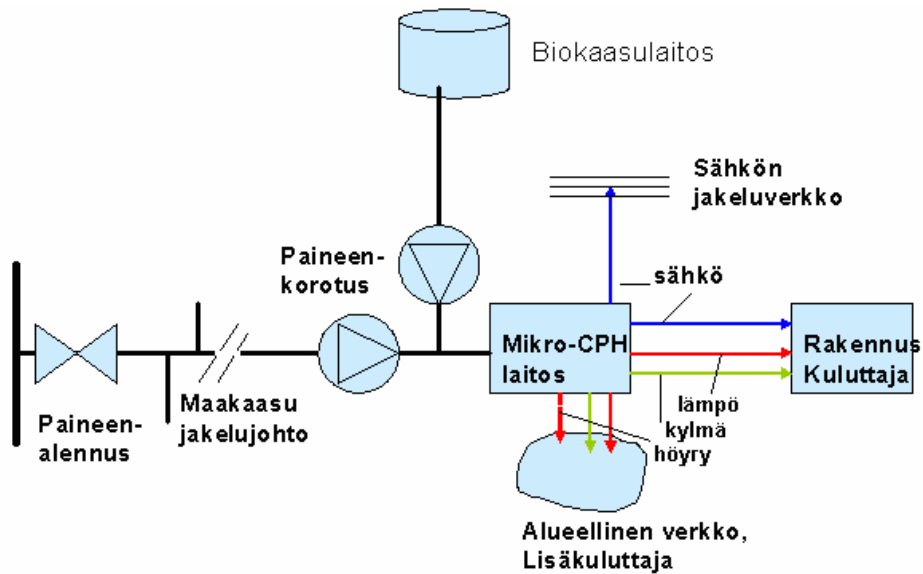
Kokoluokassa alle 100 kW sovelluskohteita ovat lähinnä pientalot, rivitalot, pienet asuinalueet, pienkerrostalot, pienet koulutuskeskukset, oppilaitokset, hotellit ja maatalot. Alle 100 kW:n kokoluokan CHP:n potentiaalia arvioitaessa on mikroturbiineilla useita kilpailijoita, kuten Stirling-moottorit, polttokennot sekä pienet kaasumoottorit. Kokonaisuutena tarkasteltuna alle 100 kW:n CHP-laitokset voisivat yleistyä pitkällä tähtäimellä. Teknologisen potentiaalin puolesta niiden yleistyminen myös lyhyellä aikavälillä olisi mahdollista, mutta taloudellinen kilpailukyky rajoittaa nopeaa yleistymistä. Maailmanlaajuisesti tarkasteltuna potentiaalia on OECD-maiden ohella siirtymätalouden ja kehitysmaiden ryhmässä. Mikroturbiinin potentiaalia arvioitaessa on mahdollista, että polttokennot ja vetyteknologia yleistyvät ja valtaavat markkinat ennen kuin mikroturbiinit ehtivät tulla elinkaarensa voimakkaan kasvun vaiheeseen. Suomessa arvioidaan olevan CHP-markkinapotentiaalia 6–12 MWe/a aikajänteestä riippuen.

Kokoluokassa 100 kW–1 MW CHP-sovelluskohteita ovat sairaalat, kasvihuoneet, pieni teollisuus, maatilat, uimahallit, suuremmat oppilaitokset ja hotellit. Tekninen ja taloudellinen potentiaali lisääntyy tässä kokoluokassa pientä kokoluokkaa nopeammin. Jo keskipitkällä aikavälillä voidaan olettaa CHP-laitosten yleistyvän markkinoilla. Maailmanlaajuisesti arvioidaan markkinapotentiaalin kasvavan keskipitkällä aikavälillä kaikilla talousalueilla. Suomessa markkinapotentiaalia arvioidaan olevan 13–25 MWe/a tässä kokoluokassa tarkastelujaksosta riippuen.

Mikroturbiinijärjestelmä ja ohjauskohteet

Mikroturbiinien polttoaine on nykytekniikalla normaalisti maakaasu. Myös biokaasua voidaan käyttää, mutta sen kohdalla kosteuden ja eräiden epäpuhtauksien (usein myös hiilidioksidin) määrän alentaminen on välttämätöntä. Biokaasua voidaan tuottaa kaatopaikoilla tai yhdyskuntajätteestä ja biojätteestä, esimerkiksi karjan lannasta prosessomalla. Myös nestemäisiä polttoaineita voidaan käyttää mikroturbiineissa, jolloin polttoaine voidaan toimittaa käyttöpaikalle ilman putkisiirtoyhteyksiä.

Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa tarkastellaan kaasua käyttävää mikroturbiinijärjestelmää, joka tuottaa energiaa ensisijaisesti rakennuksen ja sen käyttäjän tarpeita varten.



Kuva 2. Mikroturbiinijärjestelmän peruskytkenät.

Kuvan mukaisesti polttoaine otetaan maakaasun runkojohdosta jakelujohtoon paineenalennuslaitoksen kautta. Mikroturbiinin sijainnista riippuen erillinen paineenkorotuspumppu voidaan tarvita riittävän paineen aikaansaamiseksi. Lisämahdollisuutena on kuvassa käytössä myös liittyä biokaasulaitokseen, josta esikäsitelty biokaasu johdetaan paineenkorotusaseman kautta mikroturbiinille.

Rakennuksesta ja kulutuksesta riippuen CHP-laitos tuottaa sähköä, lämpöä lämmitystä ja lämmintä käyttövetä varten, mahdollisesti höyryä ja jäähdytyskylmää. Tavoitteena on saada CHP-laitoksen lämpökuorma mahdollisimman tasaiseksi, jotta laitoksen käytettävyys ja käyttökerroin vastaavasti kasvaisivat. Myös sähkö- ja lämpökuorman samanaikaisuus pitäisi olla korkea yhteistuotantomäärän lisäämiseksi. Tasaisen kuorman ja niiden samanaikaisuuden vuoksi on tapauskohtaisesti etsittävä lisäkuormaa ja ohjausmahdollisuutta sekä sähkön että lämmön tuotannolle. Mahdollisia lisäkuormia ovat alueelliset sähkö- ja lämpöverkot, yksittäiset kuluttajat, teollisuusprosessit jne.

Ohjauksen kannalta olennaista on energiataloudellisen ajotavan ylläpitäminen kaikissa olosuhteissa. Maakaasun hankintaan liittyvät erilaiset hinnoittelumahdollisuudet kiinteämuotoisista tariffeista aina dynaamisiin jatkuvasti päivittyviin hintoihin asti. Jos biokaasua hyödynnetään CHP-laitoksella, hintojen lisäksi käyttömäärät voivat aiheuttaa laitoksen ohjauksessa huomioon otettavan tekijän. Sähkön hintatason nousu on ehdoton edellytys mikroturbiinien merkittävälle lisääntymiselle. Ohjauksen ja automaation avulla on tarkasti hyödynnettävä sähkön markkinahinnan vaihtelut ja tuotettava sähköä myös verkon suuntaan silloin, kun se on taloudellisesti kannattavaa. Toistaiseksi sähkön hintataso ja hintapiikit eivät tuota merkittävää taloudellista lisätulosta ainakaan maakaasulla toimivalle mikroturbiinilaitokselle.

Mikroturbiinille on ominaista erityisesti sähköntuotannon hyötysuhteen, mutta myös kokonaishyötysuhteen aleneminen osakuormilla. Myös jaksoittainen käyttö aiheuttaa lisäkustannuksia, jotka on otettava huomioon ohjaus- ja automaatiototeutusta valittaessa.

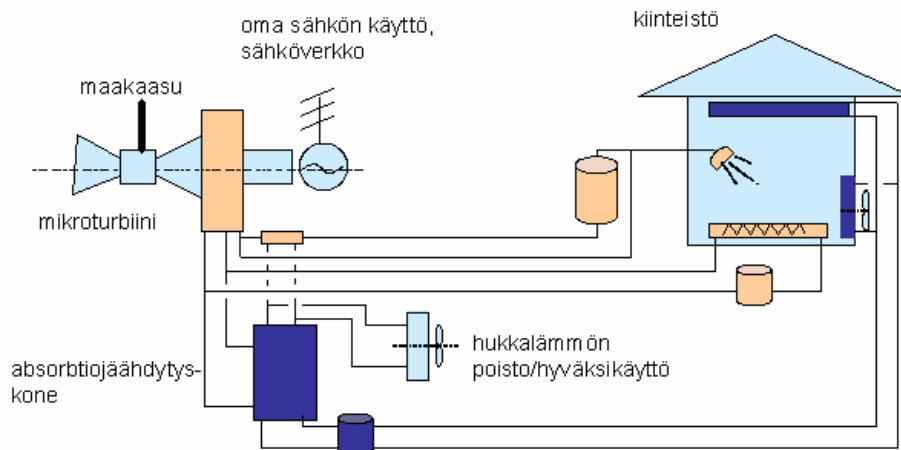
Kiinteistökohtaiset ohjausmahdollisuudet

Seuraavassa tarkastellaan mahdollisuuksia lisätä mikroturbiinilaitoksen lämpökuormaa yksittäisessä kiinteistössä.

Mikroturbiinin kannattavuuden ja käytettävyyden kehittymisen yhtenä edellytyksenä on energiakuormien optimaalisuus. Laitosta pitäisi voida käyttää mahdollisimman suurella kuormitusasteella eri vuodenaikoina. Melko alhaisesta sähkö/lämpöteho-suhteesta johtuen erityisesti kesäaikaista lämpökuormaa pitäisi saada lisää verrattuna tyypilliseen lämmitys- ja lämminkäyttövesitarpeeseen. Erityisesti toimisto- ja liikerakennusten ja tiettyjen julkisten rakennusten kesäaikaisen lämpökuorman lisäämiseksi voidaan mm käyttää jäähdytyksen tuottamista absorptiokoneistolla.

Absorptiojäähdytysjärjestelmässä käyttöenergiana toimii lämpöenergia, jonka lämpötilatasot ovat 80–120 °C laiteratkaisuista riippuen. Saavutettava kylmäteho/lämpöteho-suhde on 0,6–1,2 lämpötilatasoista ja laitteistosta riippuen. Jäähdytyksen toimintaperiaatteeseen liittyy, että hukkalämpö, joka muodostuu sekä kiinteistön jäähdytysenergiasta että absorptiokoneen käyttöenergiasta, on siirrettävä ympäristöön tai hyödynnettävä muutoin. Hukkaenergian lämpötilataso on noin 20–40 °C. Absorptiokoneiston kannattavuutta voidaan parantaa optimoimalla sekä lämpöenergian että kylmäenergian lämpötilat optimaalisiksi kutakin käyttötilannetta varten. Lämpö- ja kylmävaraajilla on myös tärkeä merkitys kuormien vaihteluiden tasaamisessa tai muutoin optimaalisen ajotavan löytämisessä.

Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa (Kuva 3) esitetään periaatteellisesti koko mikroturbiinijärjestelmän kokonaisuus ja osakomponentit kiinteistössä, kun myös jäähdytys on mukana.



Kuva 3. Kiinteistön energiajärjestelmä perustuen mikroturbiinin käyttöön. Periaatekuva.

Mikroturbiinijärjestelmä voi koostua olosuhteista riippuen erilaisista osista. Jos kiinteistön sähkönkulutusta halutaan lisätä suuren lämpökuorman vuoksi, voidaan jäähdytys toteuttaa sähkötoimisella kompressorilla tai lämpöpumppujärjestelmällä.

Oli kiinteistökohtaisen mikroturbiinijärjestelmän kokoonpano mikä hyvänsä, automaatio- ja ohjausjärjestelmällä tulee olemaan ratkaiseva merkitys, kun järjestelmästä yritetään tehdä toimiva ja taloudellinen kokonaisuus.

Liite E: Kunnonvalvonta ja kunnossapito

Tämä liite perustuu PAREE-projektin työdokumenttiin ”Kunnonvalvonta ja kunnossapito”, jonka kirjoitti Hannu Saaristo, Vaasan yliopisto. Työdokumenttia on muokattu ja täydennetty raporttia varten.

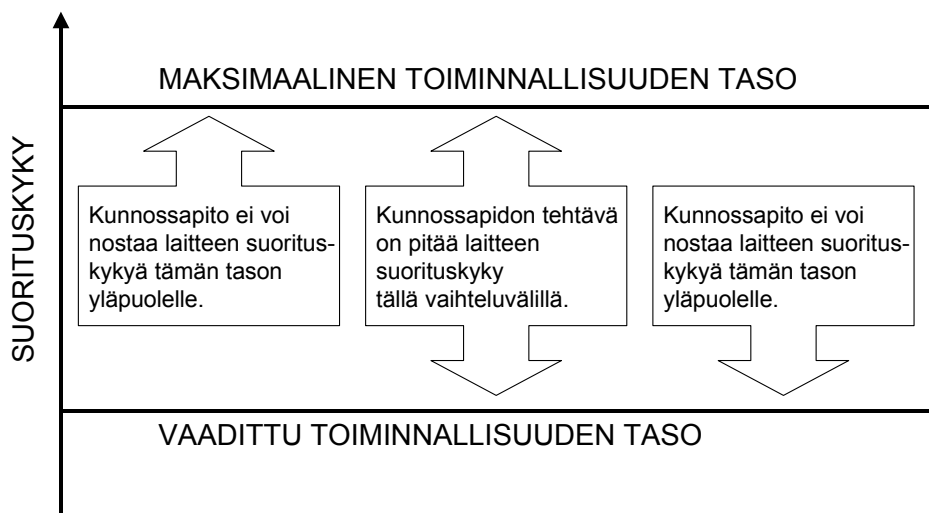
Johdanto

Tämän PAREE-projektiin kuuluvan osa-alueen tavoitteena on määrittää, mitä vaatimuksia hajautetut energijärjestelmät asettavat kunnonvalvonnalle ja kunnossapidolle. Lisäksi käsitellään termiä ”omaisuudenhallinta” ja sen suhdetta kunnossapitoon.

Yksikkökoon ollessa pieni korostuu erityisesti informaation hankinnan, hallinnan ja jalostamisen merkitys sekä miten ko. ketjua voidaan tukea automaatio- ja tietojärjestelmillä. Tuloksista tulee siis käydä ilmi myös, miten automaatio- ja tietojärjestelmät voisivat tukea kunnonvalvontaa ja kunnossapitoa.

Kunnossapito ja kunnonvalvonta

Kunnossapidolla käsitetään kaikkia niitä toimenpiteitä, joiden tarkoituksena on ylläpitää laite tai järjestelmä käyttäjän haluamassa toimintakunnossa tai saattaa se takaisin vaaditulle toimintakyvyn tasolle alla olevan kuvan mukaisesti. (Mäki 2000: 13)



Kuva 1. Kunnossapito (Moubray 2000: 24).

Komponentin toiminallisuutta voidaan mitata suorituskyvyllä. Yleensä investoitaessa valitaan komponentti, jonka nimellinen suorituskyky on suurempi kuin käyttäjän vaatima toiminnallisuuden taso. Ennakoivalla kunnossapidolla suorituskyky pyritään pitämään vaaditun toiminnallisuuden tason yläpuolella. Korjaava kunnossapito aktivoituu puolestaan vasta, kun kohteena olevan laitteen suorituskyky on laskenut alle vaaditun tason. (Moubray 2000, Nieminen 2002:14 ja Mäki 2000:51)

Sähköturvallisuuslain 5§ (1996) mukaan ”Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä niin, että:

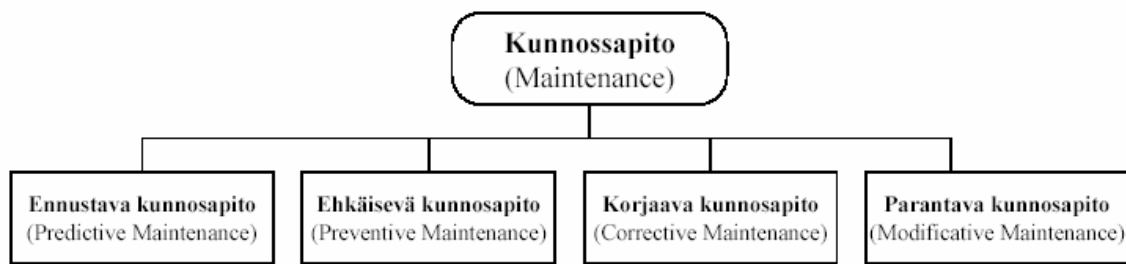
- 1) Niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;
- 2) Niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä; sekä
- 3) Niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti”.

Laki ei siis määrittele tarkkoja ohjeita kunnossapidosta, mutta vaatii, että sähkölaitteet eivät saa aiheuttaa vaaraa kenenkään terveydelle tai omaisuudelle. Laki edellyttää kunnossapidon suunnitelmallisuutta ja joitakin tarkastuksia ulkopuolisen tarkastajan toimesta. Käytännössä sähkön laatu- ja käyttövarmuus edellyttävät, että kunnossapitoa tehdään todellisuudessa huomattavasti enemmän kuin laki edellyttää. (Rintala 1999: 5)

Kunnossapidon jakautuminen alatyyppeihin

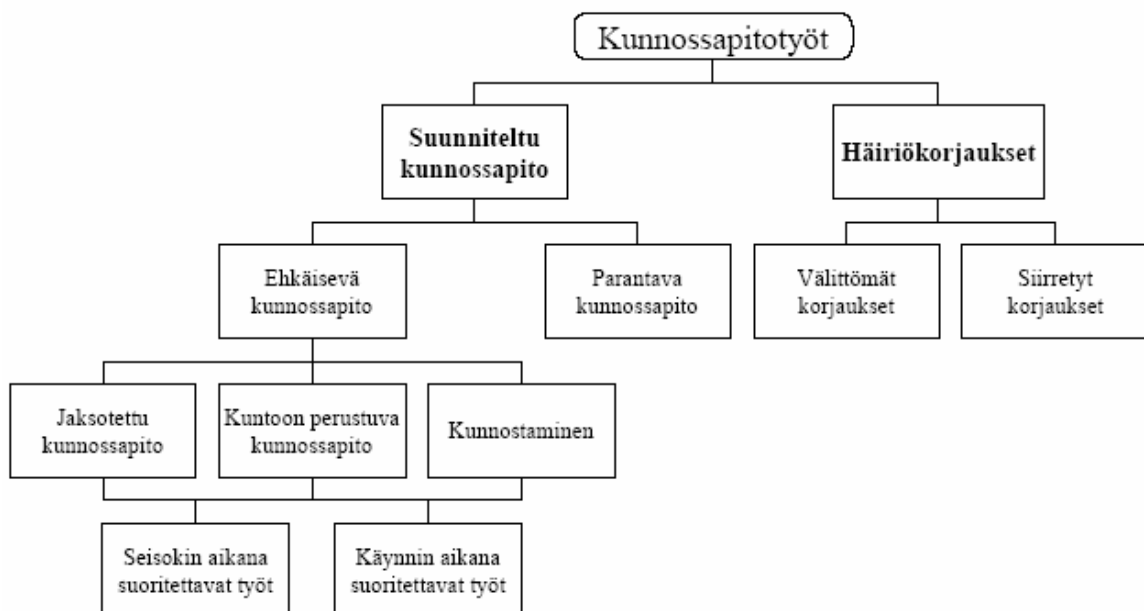
Kunnossapidon jakautumisesta alatyyppeihin tuntuu Mäen (2000) ja Niemisen (2002) mukaan olevan useita, jopa ristiriitaisia näkemyksiä. Pääsääntönä kuitenkin voidaan pitää jakautumista ennakoivaan ja korjaavaan kunnossapitoon, vaikka joissain määritelmässä ns. parantava kunnossapito onkin tuotu samalle hierarkiatasolle ennakoivan kunnossapidon kanssa ja toisinaan sama asia on katsottu kuuluvaksi ennakoivaan kunnossapitoon. (Nurmilaukas 1997 ja PSK 7501 2000)

Korjaavan kunnossapidon tehtävä on laitteessa tai järjestelmässä olevan osittaisen tai kokonaisvian korjaaminen takaisin vaaditulle toiminnallisuuden tasolle. Ennakoivalla kunnossapidolla käsitetään puolestaan niitä tarkastus-, testaus- ja huoltotoimenpiteitä, jotka tehdään ennen kuin laitteen suorituskyky on laskenut alle yllä olevassa kuvassa (Kuva 1) esitetyn vaaditun toiminnallisuuden tason (Moubray 2000 ja Nieminen 2002:14).



Kuva 2. Kunnossapidon jakoperusteet Harjunpään (1996) mukaan (kuva lainattu, Mäki 2000: 45).

Harjunpään jakaa ennakoivat kunnossapitotoimet kolmeen rinnasteiseen alakäsitteeseen, jotka ovat ennustava (predictive), ehkäisevä (preventive) ja parantava kunnossapito (modificative maintenance) kuten yllä olevassa kuvassa. (Harjunpää 1996).



Kuva 3. Kunnossapitolajit PSK 7501 (2000) mukaan (kuva lainattu, Mäki 2000: 46).

Prosessiteollisuuden standardoimiskeskuksen laatima ehdotus jakaa kunnossapidon selkeästi korjaavaan ja ennakoivaan kunnossapitoon. Suunnitelmallisilla, ennakoivilla toimenpiteillä vähennetään korjaavan kunnossapidon tarvetta. Parantavalla kunnossapidolla puututaan puolestaan kriittisiin vikoihin, joiden syntyä ei pystytä ehkäisemään. Parantava kunnossapito merkitsee useimmiten investointeja.

Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito aktivoituu vasta, kun kohteena oleva komponentti on vikaantunut eikä kykene enää täyttämään sille asetettuja suorituskykyvaatimuksia. Historiatiedolla ei ole korjaavassa kunnossapidossa yhtä suurta merkitystä kuin ennakoivassa, mutta hyvällä vikatilastoinnilla voidaan kuitenkin korjaustoiminnan aloittamisnopeutta tehostaa varautumalla tavanomaisiin vikoihin niin teknisesti, koulutuksellisesti kuin myös organisatorisesti. Korjaavan kunnossapidon tehtävät ajoittuvat tasaisesti kaikkiin vuorokaudenaikoihin, joten resursseja joudutaan pitämään päivystyksessä tai varallaolossa juuri korjaavaa kunnossapitoa varten. Korjaustehtävien ajoittuessa usein myös virka-ajan ulkopuolelle kuluu niiden hoitamiseen enemmän resursseja kuin ajallisesti vastaavaan määrään ennakoivaa kunnossapitoa. Korjaavan kunnossapidon piirissä on tyypillisesti ei-kriittisiä, epätodennäköisesti vikaantuvia pieniä kohteita. (Mäki 2000: 51–55)

Ennustava kunnossapito

Mäki käsittelee ennustavaa kunnossapitoa ja kunnonvalvontaa synonyymeinä. Jos termiä lähdetään määrittelemään tarkemmin, on kyseessä lähinnä komponentin kuluneisuuden perusteella tehty kunnossapito, joka jakautuu kahteen eri ryhmään, subjektiiviseen ja objektiiviseen kunnonvalvontaan. Subjektiivinen kunnonvalvonta merkitsee ihmisen omin aistein tehtyä tarkastustoimintaa, esimerkiksi visuaalisia tarkastuksia. Tällaisia tarkastuksia yleensä suoritetaan määrävälein. Objektiivinen kunnonvalvonta perustuu sen sijaan yleensä erilaisten suureiden mittauksiin, joissa mitatut arvot ja niiden suhde trendikäyttämiseen kertoo komponentin kunnon. Objektiivinen kunnonvalvonta voidaan puolestaan jakaa edelleen jännitteettöminä tehtyihin ja käytön aikaisiin mittauksiin. Kunnonvalvonnan tavoitteena on saada indikaatio komponentin vikaantumisesta, ennen kuin sen suorituskyky laskee alle vaaditun tason. Tällöin oirehtiva vika (potential failure) pystytään havaitsemaan ja korjaamaan ennen tuotannollisia menetyksiä. (Mäki 2000: 52)

Kunnonvalvonnan mittaustulokset ja hälytystiedot ovat oleellisessa roolissa ennakoivan kunnossapidon ohjaamisessa, seurannassa ja analysoinnissa. Kunnonvalvonnasta saatavalla informaatiolla voidaan päästä kustannussäästöihin havaitsemalla oirehtivat viat ajoissa. Tällöin kunnossapitotoimet pystytään toteuttamaan suunnitellusti, ja tarvittavat materiaalit sekä resurssit voidaan hankkia edullisemmin verrattuna tilanteeseen, jossa oirehtiva vika on jo aiheuttanut käyttökatkoksen ja vikaa korjataan normaalin työajan ulkopuolella. Jälkimmäisessä tilanteessa syntyy väistämättä myös jo tuotannollisia menetyksiä. (Mäki 2000: 53)

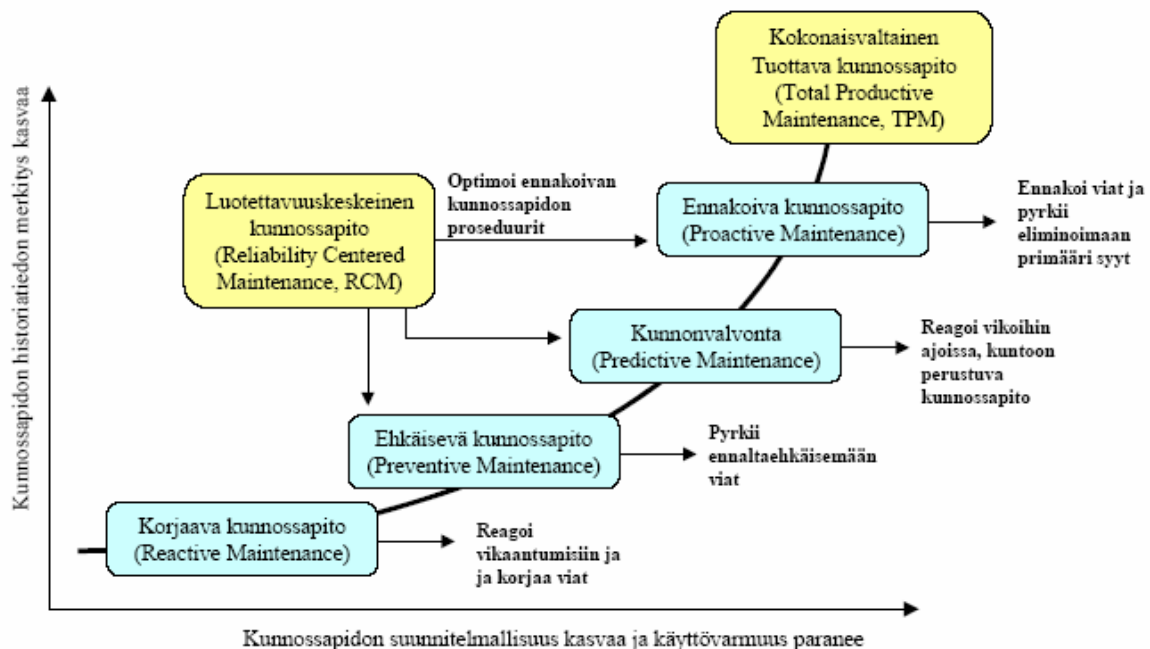
Ennustavan kunnossapidon piirissä on tavanomaisesti kulutusosia, jotka vaihdetaan niiden kunnon perusteella.

Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevän kunnossapidon toimenpiteet ovat ennalta suunniteltuja ja aikataulutettuja tavoitteenaan säilyttää komponentin tai järjestelmän jatkuva toimintakyky. Tavallisesti toimenpiteiden välit pohjautuvat kalenteriaikaan tai käyttötunteihin, eikä itse komponentin todettuun kuntoon. Ehkäisevää kunnossapitoa käytetään tyypillisesti mahdollisimman korkean käyttövarmuuden saavuttamiseen löytämällä piilevät viat tarpeeksi ajoissa. Tavallisesti kohteina on ei-kuluvia komponentteja, joissa esiintyy satunnaisvikoja. (Mäki 2000: 51)

Joskus ehkäisevää kunnossapitoa saatetaan tehdä ylimitoitetusti, jolla kuvitellaan saata- van parempi käyttövarmuus. Täytyy kuitenkin muistaa, että aina kun ihmiset tekevät toimenpiteitä, on myös inhimillisen virheen mahdollisuus. Tämän seurauksena mitä enemmän ehkäisevän kunnossapidon toimenpiteitä tehdään, sitä enemmän sattuu inhi- millisiä virheitä. Lisäksi, jos ajatellaan infrastruktuurin koko elinkaaren mittaisia kus- tannuksia, ylimitoitetulla ehkäisevällä kunnossapidolla tuhlaata resursseja. Optimaali- sesti kunnossapitotoimenpide tehdään vasta juuri ennen komponentin vikaantumista. (Nieminen 2002: 21)

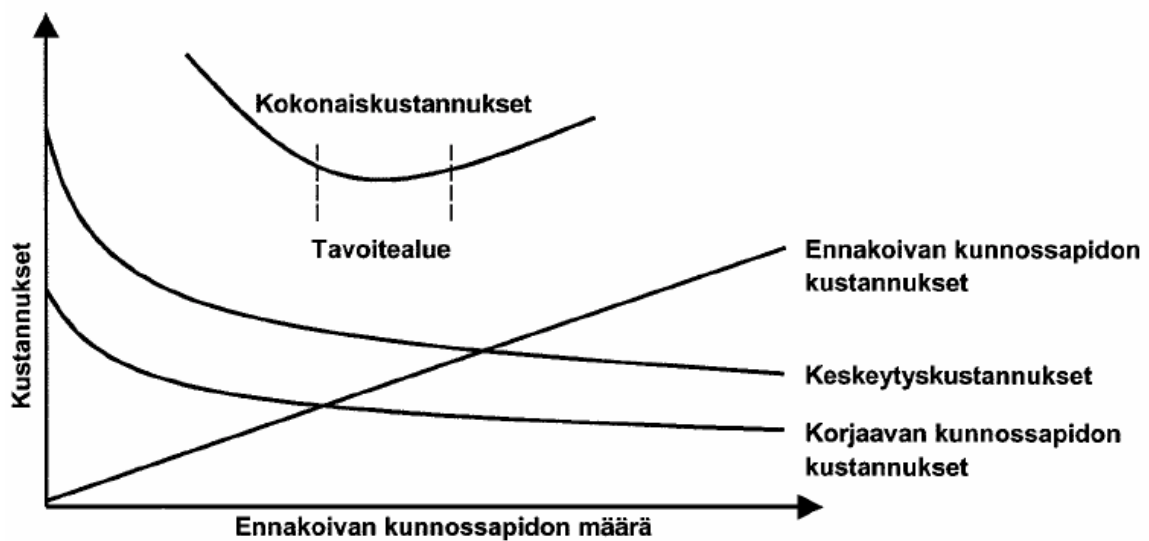
Informaation merkitys ja omaisuudenhallinta



Kuva 4. Kunnossapidon historiatiedon merkitys (Mäki 2000: 74).

OmaisuuDENhallinta elää tiedosta! Mitä ennakoivampia kunnossapidon metodeita halutaan käyttää, sitä suurempi on kunnossapidon historiatiedon merkitys, kuten yllä olevasta kuvasta voidaan nähdä. Yksinkertaistettuna omaisuudenhallinta on "oikeiden toimenpiteiden teettämistä hallinnassa olevalle omaisuudelle oikeaan aikaan." Käytännössä se merkitsee resurssien koordinoimista kerätyn informaation ja sen jalosteiden perusteella.

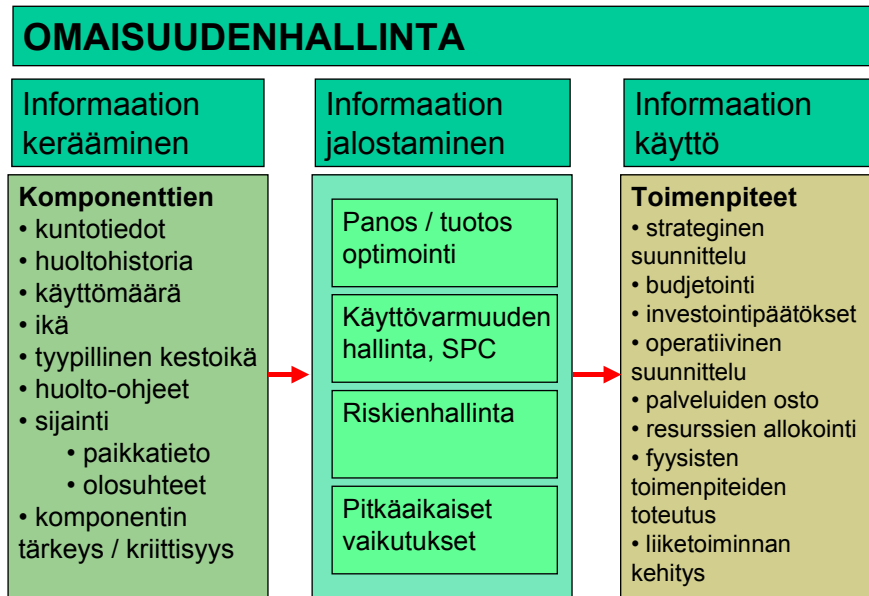
OmaisuuDENhallinta on optimointitehtävä, jossa omaisuudesta pyritään pitkällä tähtäimellä saamaan paras mahdollinen hyöty irti mahdollisimman pienin panostuksin. Viranomaisten ja omistajan vaatimukset vaikuttavat ratkaisevasti siihen, miten pitkän tähtäimen hyödyn hakemisesta on kyse. Liiallinen huolto on resurssien tuhlaamista, liian vähäinen johtaa puolestaan heikentyneeseen käyttövarmuuteen. Kustannuksia aiheuttavia häiriökeskeytyksiä pystytään ehkäisemään laadukkaalla alkuperäisellä suunnittelulla sekä ennakoivalla kunnossapidolla. Ennaltaehkäisevä huolto on useimmiten edullisempaa kuin päivystystyönä tehtävät korjaukset, ja lisäksi häiriötilanne aiheuttaa muitakin kustannuksia. Sähköturvallisuuslainsäädäntö asettaa kunnossapidolle minimitason, mutta käytännössä kunnossapitotoimia tehdään käyttövarmuuden säilyttämiseksi huomattavasti enemmän.



Kuva 5. Kunnossapitokustannusten optimointi (Nieminen 2002: 23).

Koska kunnossapito aiheuttaa luonnollisestikin kustannuksia, täytyy ennakoivan- ja korjaavan kunnossapidon kustannusten väliltä löytää yllä olevan kuvan mukainen optimi. Yleensä samalla summalla saadaan enemmän ennaltaehkäisevää huoltoa kuin hälytystyönä tehtyä korjausta. Kuitenkin myös jokainen ennaltaehkäisevästi tehty käynti maksaa, joten turhat käynnit tulisi pyrkiä minimoimaan. Tulevaisuudessa vikaantuva komponentti kannattaa huoltaa vasta juuri ennen vikaantumistaan. Investointien ajoitus vaikuttaa siis kunnossapitokustannuksiin merkittävästi. Komponentit kannattaa uusida vasta silloin, kun ne todella pian ovat käyttöikänsä päässä mutta huoltokustannus ei ole

vielä noussut kohtuuttomaksi. Miten tämä on mahdollista? Paras keino nykytekniikalla lienee informaation kerääminen komponenteista, niiden kunnosta ja huoltohistoriasta siten, että kunnossapitoresurssit investoinnit pystytään kohdistamaan mahdollisimman tehokkaasti. Monet komponentit eivät vielä tue reaaliaikaista kunnonvalvontaa niin tehokkaasti, että osaisivat itse ilmoittaa vikaantumisistaan ennakolta, mutta voisiko tulevaisuuden visiona pitää hajautetun tuotannon yksikköä, jonka kuntotiedot saadaan kunnossapitotietokantaan suoraan esimerkiksi kaukokäyttöjärjestelmän kautta?



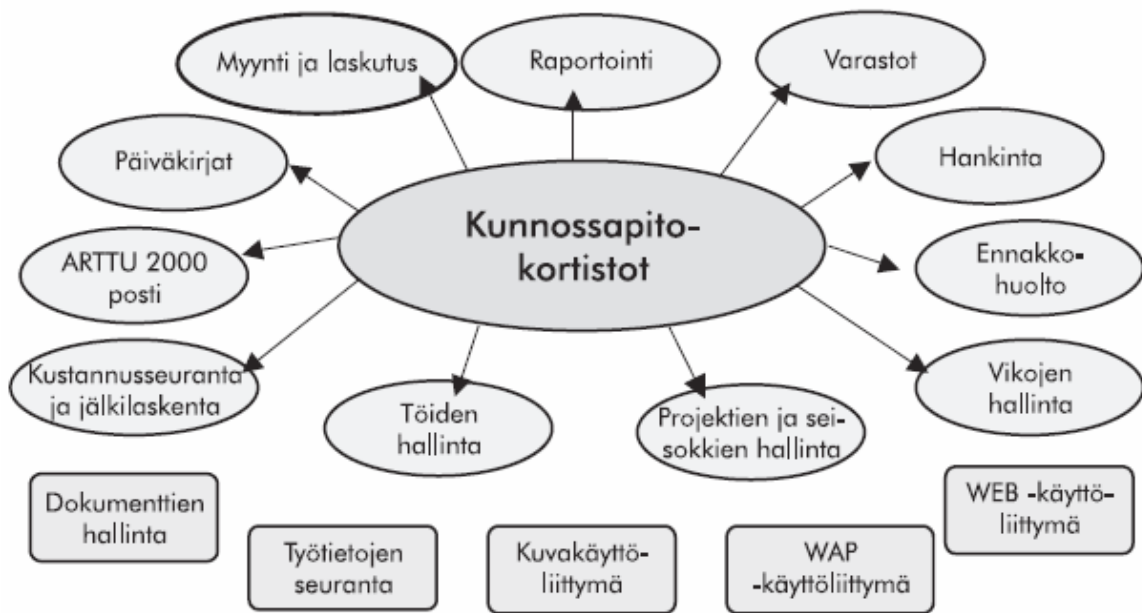
Kuva 6. OmaisuuDENhallinta.

OmaisuuDENhallinnassa on siis kyse informaation keräämisestä, sen jalostamisesta ja päätösten tekemisestä tietojalosteiden pohjalta. Kerättävää tietoa on paljon, ja jokaisen tiedon hankkiminen, arkistointi ja jalostaminen aiheuttaa kustannuksia. Kerättävällä tiedolla on siis oltava jokin käyttötarkoitus, josta saatava hyöty ylittää keräyskustannukset. Myös tuotetun informaation jalostaminen ja päätösten tekeminen vaatii asiantuntemusta, jonka ylläpito edellyttää resursseja. Näin ollen tulisi tunnistaa ne oleellimmat tiedot, joilla omaisuuDENhallintaa pystytään optimoimaan ja pyrkiä saamaan niiden tuotanto tietokantaan tapahtumaan mahdollisimman automaattisesti tai päivittäisen, normaalin toiminnan yhteydessä.

Kunnossapidon tietojärjestelmät

Keskeisimmät komponentit kunnossapidon tietojärjestelmissä ovat laiterekisteri, vikailmoitus ja työmääräin. Huolto- ja korjaushistorian talteen saamisen kannalta on oleellista, että kaikki kunnossapidolliset työt ohjautuvat työtilausrutiinin kautta. Kun laiterekisterin osoittamasta kunnossapidon kohteesta tehdään vikailmoitus ja työmäärä-

ys kohdistetaan ko. vialle, tallentuu tehtävä samalla myös kunnossapitokohteen vika- ja huoltohistoriaan. Mikäli kunnossapitotietojärjestelmä on integroitu osaksi yrityksen toiminnanohjausjärjestelmää, tallentuu myös komponentin kunnossapitoon käytettyjen resurssien määrä koko sen elinkaaren ajalta. Lisäksi järjestelmän avulla on mahdollista huolehtia töiden aikataulutuksesta niin resurssien käyttömielessä kuin myös laitteiden huoltovälien kannalta. (Mäki 2000: 32)



Kuva 7. Kunnossapidon tietojärjestelmän toimintakaavio. (Kiiveri 2000: 4)

Yllä olevassa kuvassa on esitelty eräs kunnossapidon tietojärjestelmän toimintakaavio. Järjestelmän toiminnot ovat kaikki yhteydessä kunnossapitokortistoihin, joista ilmenee mm. mitä laitteita kunnossapidettävissä systeemeissä on, missä ne sijaitsevat ja mitä niiden kunnossapitohistoriaan on kirjattu. Kunnossapitokortistoja voisi pitää kuvassa olevan esimerkkijärjestelmän integrointialustana, joka mahdollistaa eri kunnossapitotietojen linkittämisen ja yhdistelyn eri käyttötarkoituksia varten. Valitettavan usein kunnossapidon tietojärjestelmistä ei kuitenkaan oteta kaikkia niiden tarjoamaa hyötyä irti, vaan hyödyntäminen rajoittuu laiterekisterin ylläpitoon sekä kunnossapidon töiden ohjaamiseen. (Mäki 2000: 33 ja Kiiveri 2000: 4)

Hajautettujen energiajärjestelmien erityispiirteitä verrattuna perinteisiin järjestelmiin

Hajautetussa tuotannossa yksikkökoot ovat pieniä ja etäällä toisistaan. Tämä aiheuttaa sen, että vaikka yksittäistä tuotantolaitosta varten tarvittava kunnossapitoresurssi on suhteellisen pieni, joudutaan kunnossapidon vasteaikojen vuoksi pitämään suhteessa

suurempia resursseja kunnossapitoa varten kuin isoissa tuotantolaitoksissa. Etävalvonnan ja -ohjattavuuden tuomat edut korostuvat erityisesti kunnossapitokohteiden etäisyyden ollessa suuri.

Varavoimakoneen kunnossapito

Varavoimakoneen kunnossapitoa lähestyttiin neljän case-tapauksen avulla, jotka olivat 60 000 kanan broilerikanala, lentokenttä, vankila ja energiayhtiön valvomo. Case-tapauksista ainoastaan Vaasan vankila oli ulkoistanut varavoimakoneensa ylläpidon, muissa case-tapauksissa ylläpito hoidettiin itse. Tyypillisesti kunnossapitoon kuului viikoittain tai kuukausittain tehtävä koekäyttö, jonka yhteydessä tarkistettiin akuston kunto, polttoneste, voiteluaineet, jäähdytysnesteet ja kuluvien hihnojen kunto. Viikoittain tai kuukausittain tehtävien koekäyttöjen lisäksi tehtiin lisäksi öljyn- ja suodattimenvaihtoja valmistajan ohjeiden mukaan tietyn käyttötuntimäärän tai kalenteriajan välein ellei käyttötuntimäärä täyty. Alla olevassa kuvassa on esitelty kaavio Perkins 1000 -mallin varavoimakoneen huolloista.

HUOLTOKAAVIO

Toimenpiteet on suoritettava ensin täyttyvän aikamäärän (tuntien tai kuukausien) mukaan.

Ensimmäinen huolto, 20/40 käyttötunnin jälkeen	
Päivittäin, tai 8 käyttötunnin välein	
200 käyttötunnin tai 6 kuukauden välein	
400 käyttötunnin tai vuoden välein	
800 käyttötunnin välein	
1200 käyttötunnin välein	
2000 käyttötunnin välein	
Toimenpiteet	
*****	Tarkasta jäähdytysnesteen määrä
* *****	Tarkasta kiilahihnojen tiukkuus ja kunto
****	Polttonestepumpun siivilän puhdistus
* *****	Polttonesteen esisuodattimen vedenpoisto (1)
*****	Polttonestesuodattimien vaihto
* *	Ruiskutussuuttimien tarkastus (2)
*	Joutokäynnin tarkastus ja mahdollinen säätö (2)
**	Voiteluöljyn määrän tarkastus
* *****	Öljynpaineen tarkastus mittarista (1)
* *****	Voiteluöljyn vaihto
* *****	Öljynsuodattimien vaihto
*****	Puhdista ilmanpuhdistin tai tyhjennä pölykulho
*****	-erittäin pölyisissä olosuhteissa
*****	-normaaleissa olosuhteissa
*****	Vaihda ilmansuodattimen panos, ellei aiemmin tarpeen
* *	Tarkasta, että turboahtimen siivikko ja -pesä ovat puhtaat
*****	Puhdista paineilmakompressorin ilmanpuhdistin (1)
* *	Paineilmakompressorin (1) ja alipainepumpun (2) tarkastus
* *	Venttiilinvällysten tarkastus ja mahdollinen säätö
* *	Laturin, käynnistimen jne. kunnan tarkastus (2)

(1) Mikäli asennettu.

(2) Suorittaa työhön koulutettu henkilö.

Kuva 8. Varavoimakoneen huoltokaavio (Perkins Engines Limited 1987).

CASE – Broilerikanala

Saariston broilerikanalassa Laihialla on tilaa 60 000 untuvikolle. Yhden erän kasvaminen teuraskypsäksi kestää noin 5–6 viikkoa. Kanalan ilmastointi, lämmitys, valaistus sekä ruoka- ja vesilinjat ovat tietokoneohjattuja. Kriittisintä voimansaanti on nimenomaan ilmastoinnille, sillä kanojen ollessa lähes teuraskypsiä (4–6-viikkoisia) ei ilmastoinnissa voida sallia edes 15 minuutin taukoa. Mikäli ilmastointi on tätä pidempään pysähdyksissä, syrjäyttää ammoniakki hapen kasvatustiloissa, jolloin syntyy nopeasti suuria vahinkoja.

Sähköenergian saanti on varmistettu kanalassa yhdellä automaattisesti käynnistyvällä Perkinsin 55 kW:n diesel-aggregaatilla. Varavoiman käynnistysviive on noin 2 min., ja varavoima kattaa noin 95 % koko kanalan sähköntarpeesta (öljylämmitys). Varavoimakonetta käytetään vain sähkökatkosten aikana, ei lainkaan huippukuormien tasaamiseen. Varavoimakone osaa hakea tahdistuksen verkosta, joten syöttö on mahdollista vaihtaa ilman käyttökatkosta koekäyttöjen yhteydessä. Aggregaatti on varustettu suojauksella, joka estää tahattoman saarekekäytön syntymisen ja energian syöttämisen yleiseen jakeluverkkoon. Häätätilannetta varten olemassa vielä varalla 25 kW:n traktorilla käytettävä aggregaatti, jolla pystytään pyörittämään ilmastointia vajaateholla.

Varavoimalaitteiden ylläpito hoidetaan pääsääntöisesti itse. Laitteen toimintakyky tarkistetaan koekäyttämällä sitä kerran viikossa ilman kuormaa. Samalla tarkistetaan öljyt, nesteet, hihnat ja akkujen nestetilanne. Öljynvaihto tehdään vuosittain. Varavoimalaitetta on käytetty keskimäärin ainoastaan 10 tuntia vuodessa, johon 160 litran polttoainetankki olisi riittänyt hyvinkin tankkaamatta. ”Sähköpuolen” asioissa käytetään asiantuntijaa ja maahantuojan konsultointia, muut osat hoidetaan itse valmistajan ohjeiden mukaisesti.

Kaikki kunnossapidon palvelut nähtiin mahdolliseksi ostaa myös ulkopuoliselta palveluntuottajalta, mikäli palveluntuottaja pystyisi 24 h/vrk päivystykseen ja riittävän nopeisiin vasteaikoihin. Vasteaikojen vuoksi todennäköisemmäksi malliksi nähtiin korjaavan kunnossapidon hoitaminen itse ja ennakoivan kunnossapidon ostaminen palveluna. Ulkoistamista vaikeuttavana tekijänä ovat myös alan hygieniasäädökset, jotka rajoittavat ulkopuolisten pääsyä kanalaan.

Puuttuvina palveluina nähtiin maahantuojan 24 h/vrk puhelinkonsultointi varavoimajärjestelmän ongelmatapauksissa. Samoin kaivattiin käytettyjen varaosien välityspalvelua tai myyntipörssiä. Niin ikään kaivattiin koulutustilaisuuksia varavoimakoneiden käyttäjille.

CASE – Lentoaseman varavoima

Vaasan lentoasemalla on yksi 240 kW:n (400 V) varavoimakone varmistamassa lennonjohdon ja laskeutumisopasteiden voimansyöttöä. Katkoksen sattuessa varavoimakone käynnistyy automaattisesti 10 sekunnin kuluessa. Varavoimakone ja sen 1 000 litran diesel-polttoainesäiliö on sijoitettu sisätiloihin ja lisäksi varavoimakoneen nesteet pidetään jatkuvasti lämmitettyinä mahdollisimman nopean huipputehon saavuttamiseksi. Varavoimakone osaa hakea itse tahdistuksen verkosta, ja viikoittaisten koekäyttöjen yhteydessä (30–60 minuuttia kerrallaan) syötön vaihto tehdäänkin siten, että katkosta ei tule lainkaan.

Varavoimakoneen ylläpitoa hoitaa 2 ilmailulaitoksen omaa asentajaa ja tarvittaessa ostetaan lisäresursseja ABB:ltä. Viikoittain tarkistetaan öljyt, jäähdytysnesteet, remmit, akkujen varaustilanne jne. ja suoritetaan 30–60 minuutin mittainen koekäyttö kuorman kanssa. Vuosittain suoritetaan öljyjen vaihto, riippuen käyttötunneista, jotka yleensä koostuvat lähinnä koekäytöistä. Lisäksi erittäin huonolla säällä, kun näkyväisyys on alle 500 m ja odotetaan laskeutuvaa konetta, käynnistetään varavoimakone valmiiksi mahdollisen sähkökatkon varalta. Heikoissa olosuhteissa normaali 10 sekunnin käynnistysviive saattaisi tällöin olla liian pitkä.

Kahden vuoden välein uusitaan varavoimakoneen käynnistyksessä käytettävä akusto, joka on normaalitilassaan jatkuvassa latauksessa. Muita osia vaihdetaan valmistajan huolto-ohjelman mukaisesti. 3 vuoden välein ostetaan relekoestuspalvelut ABB:ltä.

CASE – Vankilan varavoima

Sähköenergian saatavuus on turvattu Vaasan vankilassa yhdellä vuonna 1999 hankitulla diesel-käyttöisellä 112 kW:n Volvo Penta VL02-140V-A -varavoimakoneella. Lisäksi kriittisimmät data- ja valvontajärjestelmät on varmistettu UPSeilla. Varavoimakonetta käytetään pääasiassa turvallisuus- ja tietoliikennejärjestelmien voimansaannin varmistamiseen, tällaisia ovat esimerkiksi kameravalvonta-, turvavalaistusjärjestelmät ja sähkötoimiset ovet.

Vaasan vankilassa varavoimakonetta käytetään ainoastaan sähkökatkosten aikaiseen energiantarpeeseen, eikä sillä tuoteta sähköä huippukuormien tasoittamiseksi. Sähkökatkoksen sattuessa kone käynnistyy automaattisesti muutaman sekunnin kuluessa, datajärjestelmät eivät kuitenkaan tästä häiriinny, sillä UPSit pitävät ne käynnissä.

Varavoimalaitteiden, kuten koko kiinteistön ylläpito, on ulkoistettu ISS Palvelut Oy:lle (entinen Engel-Yhtymä Oy), joka huolehtii varavoimalaitteiden niin ennakoivasta kuin

korjaavastakin kunnossapidosta. Varavoimakone koekäytetään kuukausittain kuormitettuna 110 kW:llä tahdistamalla se syöttämään Vaasan Sähkö Oy:n omistamaa paikallista jakeluverkkoa. Koekäyttöjen yhteydessä tehdään tavanomaiset kunnonvalvontatoimenpiteet moottorin nesteiden, voiteluaineiden, hihnojen ja akkujen varaustilanteen suhteen. Perushuollot öljynvaihtoiheen tehdään huoltopäiväkirjan asettamien käyttötuntimäärien mukaisesti, jolloin huoltoväliksi tulee tyypillisesti useita vuosia. Ylläpidosta vastaava palveluntuottaja ostaa tarpeen mukaan huoltoja ja korjauksia laitevalmistajilta, eikä omaa itse kuin perustason osaamisen laitteen ylläpitoon.

CASE – Energiayhtiön valvomorakennuksen varavoima

Vaasan Sähkö Oy:n yhdistetyssä valvomo ja voimalaitosrakennuksessa on yksi dieselillä toimiva 250 kW:n varavoimakone, joka käynnistyy automaattisesti 15 sekunnin kuluessa sähkökatkoksen sattuessa. Lisäksi energiavalvomon tieto- ja viestiliikennetekniikka on varmistettu UPSilla. Sähkökatkoksen sattuessa varavoimakone huolehtii hissistä, osasta valaistusta, kaukolämpöjärjestelmän staattisen paineen ylläpidosta ja siihen liittyvästä automatiikkakeskuksesta sekä energiavalvomon tieto- ja viestiliikennetekniikan tarvitsemasta energiasta. Varavoimakonetta ei käytetä huippukuorman leikkaamiseen, vaan ainoastaan sähkökatkosten aikana.

Varavoimakoneen ylläpitoon on koulutettu yksi henkilö Vaasan Sähkö Oy:n omasta henkilökunnasta. Ylläpito hoidetaan pääosin itse, ainoastaan joitain pieniä korjauksia on ostettu ulkopuolelta. Koekäyttö tehdään kerran kuukaudessa noin tunti kerrallaan kuorman kanssa tahdistamalla varavoimakone syöttämään verkkoon. Varavoimakoneen käyttötunnit koostuvat pääasiassa koekäytöistä. Akustoille on olemassa oma huolto-ohjelmansa, joka sisältää kuukausittaisen tarkistukset ja kuormituskokeet.

Käytetyt lähteet

Harjunpää, H. 1996. Väkiraportti kunnossapidon Eurostandardin valmistelusta. Kunnossapito 5/96. S. 37–39.

Kiiveri, J. 2000. Kunnossapitolehden nro 57 (05/2000) erikoisliite: Kunnossapidon tietojärjestelmät.

Nieminen, J. A. 2002. Kunnonhallintamenetelmien soveltaminen sähköverkon kunnossapitoon. Diplomityö. Espoo. 88 s.

Nurmilaukas, O. 1997. Ennakkohuolto ja sen tuottavuus paperitehtaalla. Oulun yliopiston konetekniikan osasto, Koneensuunnittelun laboratorio, Diplomityö 158 s.

Moubray, J. 2000. RCM II Reliability-centred Maintenance. Second edition. New York: Industrial Press Inch. 426 s. ISBN 0-7506-3358-1.

Mäki, K. M. 2000. Kunnossapidon historiatiedon hallinnan kokonaismalli. Lisensiaattityö. Jyväskylä. 129 s.

Rintala, K. 1999. Laitteiden tärkeyden huomioonottaminen sähköasemien kunnossapidossa. Diplomityö. Espoo. 78 s.

Sähköturvallisuuslaki 14.6.1996 / 410, luku 2, momentti 5.

Perkins Engines Limited 1987. Perkins 1000-series, User Manual. Peterborough, England.

PSK 7501, 2000. Ehdotus 46, Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut, Espoo, Prosessiteollisuuden standardoimiskeskus, 18 s.

Haastattelu koskien broilerikanalaa 15.08.2004.

Juha Saaristo / 0400-764247

Haastattelu koskien lentokentän varavoimaa 04.08.2004.

Asentaja Tor Granqvist / Ilmailulaitos 06-2126241

Haastattelut koskien Vaasan vankilan varavoimajärjestelmää tehtiin 18.08.2004:

Hallintopäällikkö Hannu Daavitsainen / Vaasan Vankila 050-3891507

Työnjohtaja Sakari Hietikko / Vaasan Vankila 06-323 0411

Timo Korhonen / ISS Palvelut Oy (palveluntarjoaja) / 0400-665718

Haastattelu koskien energiayhtiön valvomon varavoimaa 18.08.2004

Järjestelmäpäällikkö Stefan Ingman / Vaasan Sähkö Oy 050-5226303

Tekijä(t) Valkonen, Janne, Tommila, Teemu, Jaakkola, Lauri, Wahlström, Björn, Koponen, Pekka, Kärkkäinen, Seppo, Kumpulainen, Lauri, Saari, Pekka, Keskinen, Simo, Saaristo, Hannu & Lehtonen, Matti			
Nimeke Paikallisten energiaressurssien hallinta hajautetussa energiajärjestelmässä			
Tiivistelmä Yhteiskunta on muuttumassa yhä enemmän luotettavasta energiansaannista riippuvaksi informaatio- ja kommunikaatioteknologioita hyödyntäväksi tietoyhteiskunnaksi. Verkkoon liitettyjen hajautettujen energiaressurssien määrän lisääntyessä niiden koordinoitu hallinta ja automaatio tulevat yhä tärkeämmiksi ja niihin liittyy uusia haasteita ja mahdollisuuksia. Hajautettu kokonaisuus edellyttää uudenlaisia toimintatapoja sekä integroitua lisäarvoa tuottavien prosessien hallintaa. Hajautetun energiantuotannon alueella voidaan nähdä kolme liiketoiminnallista tasoa: liiketoimintaa ja liiketoimintaverkoston muodostumista tukevat palvelut, alueellisten energiaressurssien hallinta ja hyödyntäminen sekä yksittäisten tuotanto- ja kulutuskohteiden ohjaus. Myös integroitujen palveluiden mahdollisuudet tulevat hajautettujen energiajärjestelmien myötä kasvamaan. Automaatiolla ja informaatiotekniikalla on keskeinen rooli näiden tavoitteiden saavuttamisessa ja energiaketjuun (tuotanto, siirto, jakelu, varastointi ja käyttö) liittyvien hallintavälineiden kehittämisessä. Tutkimuksen tavoitteena oli kuvata hajautetun energian sovellusaluetta ja luoda katsaus siihen liittyviin asioihin painottuen automaatioon ja resurssien hallintaan sekä niihin liittyviin järjestelmiin ja toteutuskonsepteihin. Tutkimuksessa keskityttiin pienjänniteverkkoon liitettäviin alle 500 kW:n laitteistoihin. Lähtökohtana ja esimerkkijärjestelminä käytettiin kehitteillä olevia uusia liiketoimintamalleja sekä nykyisiä ja tulossa olevia toteutustekniikoita. Raportin liitteinä olevilla tyyppitapausten kuvauksilla pyrittiin konkretisoimaan tutkimuksessa kuvattuja osa-alueita. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää jatkotutkimusten suunnittelussa sekä hajautetun energiantuotannon hallintaan perehtymisessä.			
Avainsanat energy production, local energy resources, distributed energy systems, distributed production, business models, distributed control, control systems, implementation architecture, software architecture, automation			
Toimintayksikkö VTT Tuotteet ja tuotanto, Tekniikantie 12, PL 1301, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6532-0 (nid.) 951-38-6533-9 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)			Projektinumero
Julkaisu-aika Helmikuu 2005	Kieli Suomi, engl. abstr.	Sivuja 87 s. + liitt. 58 s.	Hinta C
Projektin nimi		Toimeksiantaja(t) VTT, Teknologian kehittämiskeskus (Tekes)	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

Author(s)

Valkonen, Janne, Tommila, Teemu, Jaakkola, Lauri, Wahlström, Björn, Koponen, Pekka, Kärkkäinen, Seppo, Kumpulainen, Lauri, Saari, Pekka, Keskinen, Simo, Saaristo, Hannu & Lehtonen, Matti

Title

Control of local energy resources in distributed energy system

Abstract

The society is utilising more and more information and communication technologies and it is becoming more dependent on reliable energy resources. There will also be more distributed energy resources that are connected to the electrical network. The coordinated management and automation of such resources becomes more important and includes new challenges and possibilities.

Distribution requires new ways of working and management of processes producing integrated added value. In the area of distributed energy there can be seen three commercial levels: services supporting the business and business networks, management and utilisation of local energy resources and control of individual production and consumption units. Information and communication technologies and automation are essential in gaining the aims and in developing the means and tools for controlling this kind of systems (production, transfer, distribution, storage, use).

The aim of the report is to describe the area of distributed energy systems and identify the most important systems and implementation concepts related to them. The focus of the research was on systems less than 500 kW. New and emerging business models and implementation methods were utilised and taken as a starting point. Descriptions of cases of distributed energy systems were used to concretise the areas of the research.

The results can be used as a review on the subject and as a basis for further research.

Keywords

energy production, local energy resources, distributed energy systems, distributed production, business models, distributed control, control systems, implementation architecture, software architecture, automation

Activity unit

VTT Industrial Systems, Tekniikantie 12, P.O.Box 1301, FIN-02044 VTT, Finland

ISBN

951-38-6532-0 (soft back ed.)
951-38-6533-9 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Project number**Date**

February 2005

Language

Finnish, Engl. abstr.

Pages

87 p. + app. 58 p.

Price

C

Name of project**Commissioned by**

VTT, The National Technology Agency (Tekes)

Series title and ISSN

VTT Tiedotteita – Research Notes
1235-0605 (soft back edition)
1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Sold by

VTT Information Service
P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
Phone internat. +358 20 722 4404
Fax +358 20 722 4374

Yhteiskunta on muuttumassa yhä enemmän luotettavasta energiansaannista riippuvaksi informaatio- ja kommunikaatioteknologioita hyödyntäväksi tietoyhteiskunnaksi. Verkkoon liitettyjen hajautettujen energiare-surssien määrän lisääntyessä niiden koordinoitu hallinta ja automaatio tulevat yhä tärkeämmiksi ja niihin liittyy uusia haasteita ja mahdollisuuksia.

Tämä julkaisu kuvaa hajautetun energian sovellusaluetta ja luo kat-sauksen siihen liittyviin asioihin painottuen automaatioon ja resurssien hallintaan sekä niihin liittyviin järjestelmiin ja toteutuskonsepteihin. Ra-porttia voidaan hyödyntää alueen jatkotutkimusten suunnittelussa sekä hajautetun energiantuotannon hallintaan perehtymisessä.

Tätä julkaisua myy
VTT TIETOPALVELU
PL 2000
02044 VTT
Puh. 020 722 4404
Faksi 020 722 4374

Denna publikation säljs av
VTT INFORMATIONSTJÄNST
PB 2000
02044 VTT
Tel. 020 722 4404
Fax 020 722 4374

This publication is available from
VTT INFORMATION SERVICE
P.O.Box 2000
FIN-02044 VTT, Finland
Phone internat. + 358 20 722 4404
Fax + 358 20 722 4374
