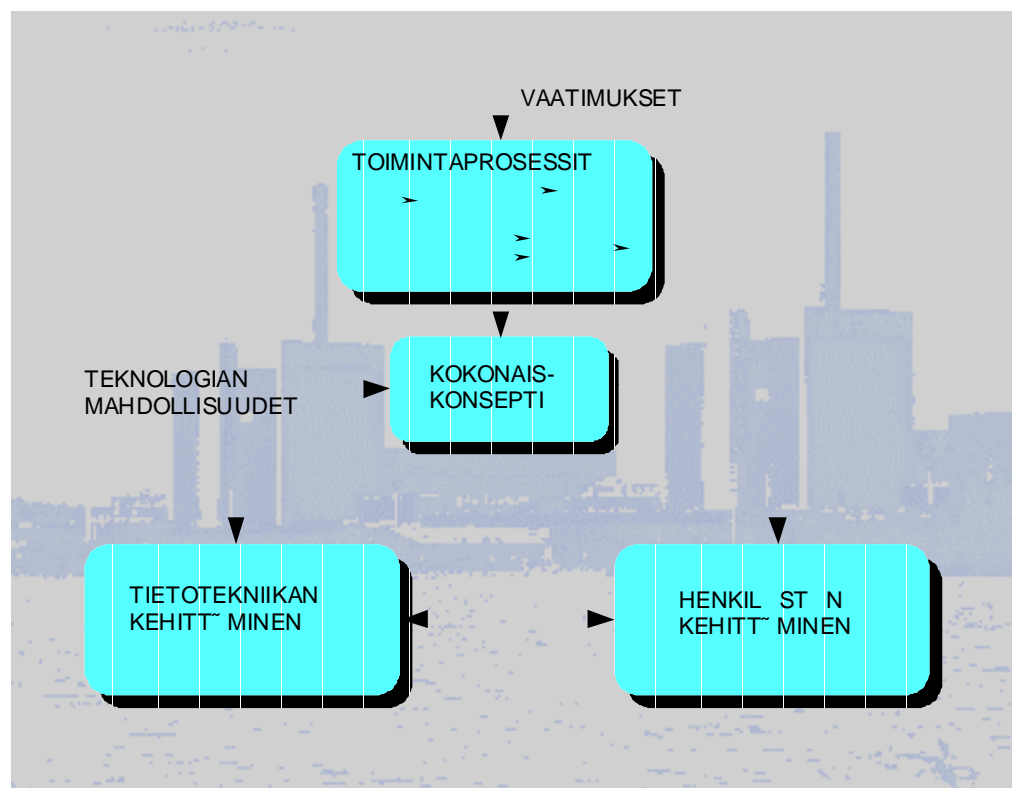


Teemu Tommila, Stefan Jakobsson, Olli Ventä,  
Björn Wahlström & Antoni Wolski

# Ydinvoimaloiden uudet tietojärjestelmät

## Sovellusalueen analyysistä käyttäjän vaatimuksiin



# **Ydinvoimaloiden uudet tietojärjestelmät**

## **Sovellusalueen analyysistä käyttäjän vaatimukseen**

Teemu Tommila  
Stefan Jakobsson  
Olli Ventä  
Björn Wahlström  
VTT Automaatio

Antoni Wolski  
VTT Tietotekniikka



ISBN 951-38-5669-0 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5670-4 (URL:<http://www.inf.vtt.fi/pdf>)

ISSN 1455-0865 (URL:<http://www.inf.vtt.fi/pdf>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2000

#### JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Automaatio, Teollisuusautomaatio, Tekniikantie 12, PL 1301, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 6752

VTT Automation, Industriautomation, Teknikvägen 12, PB 1301, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 6752

VTT Automation, Industrial Automation, Tekniikantie 12, P.O.Box 1301, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 6752

VTT Tietotekniikka, Tietojärjestelmät, Tekniikantie 4 B, PL 1201, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 6027

VTT Informationsteknik, Informationssystem, Teknikvägen 4 B, PB 1201, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 6027

VTT Information Technology, Information Systems, Tekniikantie 4 B, P.O.Box 1201, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 6027

Toimitus Leena Ukoski

Otamedia Oy, Espoo 2000

Tommila, Teemu, Jakobsson, Stefan, Ventä, Olli, Wahlström, Björn & Wolski, Antoni. Ydinvoimaloiden uudet tietojärjestelmät. Sovellusalueen analyysistä käyttäjän vaatimukseen [New information systems for nuclear power plants. From domain analysis to users' requirements. Espoo 2000, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2031. 152 s. + liitt. 22 s.

**Avainsanat** information systems, nuclear power plants, nuclear power generation, process automation, process industry, distributed software architecture

## Tiivistelmä

Suomen sähköenergian tarpeen tyydyttämiseksi on keskusteltu ydinvoimalayksikön rakentamisesta. Toisaalta voimayhtiöt ovat panostaneet myös olemassa olevien yksiköiden käyttöiän pidentämiseen. Molemmissa tapauksissa tarvitaan ennen pitkää merkittäviä uudistuksia myös informaatio- ja automaatiojärjestelmissä.

Uudet tietojärjestelmät perustuvat moderniin hajautettuun ohjelmistotekniikkaan. Sovellusalueen korkeiden laatuvaatimusten vuoksi on kuitenkin löydettävä muilla aloilla koeteltuja ratkaisuja. Kokonaiskonseptin on oltava selvillä jo ennen suunnittelun aloittamista. Tekniikka ja standardit kehittyvät nopeasti, ja myös ydinvoimaan kohdistuvat vaatimukset muuttuvat, joten toimivan kokonaiskonseptin löytäminen ei ole helppoa.

Tutkimuksessa pyrittiin tunnistamaan tärkeimmät ydinvoimalan tietojärjestelmille asetettavat vaatimukset sekä hahmottelemaan toiminnallinen kokonaiskonsepti ja kuvaamaan mahdollisia toteutuksessa käytettäviä standardeja ja teknologioita. Lähtökohtana käytettiin sovellusalueen keskeisten toimintaprosessien kuvausta ja tunnistettuja kehitystarpeita. Tarkastelun pääkohteena olivat operatiiviset tietojärjestelmät, joiden tarkoitus on tarjota informaatiota voimalaitoksen käytöstä ja kunnossapidosta vastaaville henkilöille. Tämän painotuksen mukaisesti raportissa ei tarkastella alatason instrumentointia ja ohjausjärjestelmiä. Myös selvästi hallinnolliset sovellukset, kuten palkanlaskenta, on rajattu ulkopuolelle.

Tuloksia voidaan hyödyntää nykyisten laitosten tietotekniikan kehittämisessä sekä mahdollisen uuden voimalan suunnittelussa ja tarjouskyselyissä. Lisäksi raportti tukee tarkemmin rajattujen kehityshankkeiden määrittelyä. Raportti on tarkoitettu palvelemaan ydinvoimateollisuuden tarpeita, mutta myös konventionaalisen prosessiteollisuuden edustajat voinevat löytää siitä hyödyllistä tietoa.

Tommila, Teemu, Jakobsson, Stefan, Ventä, Olli, Wahlström, Björn & Wolski, Antoni. Ydinvoimaloiden uudet tietojärjestelmät. Sovellusalueen analyysistä käyttäjän vaatimukseen [New information systems for nuclear power plants. From domain analysis to users' requirements. Espoo 2000, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2031. 152 p. + app. 22 p.

**Keywords** information systems, nuclear power plants, nuclear power generation, process automation, process industry, distributed software architecture

## Abstract

There have been plans in Finland for building a new nuclear power plant unit to meet the increasing demand for electricity. On the other hand, the utilities have also invested in the extended life-time of the existing four units. In both cases, major upgrades of information systems and process automation can be expected.

New information systems will be based on modern distributed software architectures. Due to the high quality requirements of nuclear power, well proven solutions from other industrial fields must be found. A long term strategy for applying information technology must be existent before new investment projects are started. However, this area of technology is developing very fast. The business environment and requirements of nuclear power are also changing. Therefore, finding a good total concept for integrated information systems is not easy.

The aim of the report is to identify the most important requirements of new information systems at nuclear power plants, to outline an integrated functional structure and to describe some enabling technologies and standards. An analysis of the work processes in the domain and the identified development needs are used as a starting point. The focus is on operative information systems intended to provide information and support for plant operation and maintenance. Accordingly, low-level instrumentation and control systems, as well as administrative applications, such as calculation of salaries, are outside the scope of the report.

The results can be used for development of information systems at existing plants, as well as in the design and purchase of a new power plant unit. The report may further provide some inputs for other, more specific research and development projects. It is mainly written to serve the needs of nuclear power generation, but also the representatives of the conventional process industries may find it useful.

# Alkusanat

Tämä tutkimushanke toteutettiin Fortum Engineering Oy:n, Teollisuuden Voima Oy:n ja Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) yhteistyönä. Rahoituksesta vastasivat voimayhtiöt ja Teknologian kehittämiskeskus (Tekes). Varsinaisen toteutustyön hoiti pääosin VTT Automaatio. Voimayhtiöiden edustajat osallistuivat projekti- ja johtoryhmän kokouksiin ja haastatteluihin sekä tarjosivat lähtöaineistoa ja kommentoivat projektin tuloksia. Mukana keskusteluissa olivat myös Fortum Power and Heat Oy:n Loviisan voimala. Lisäksi VTT Tietotekniikka kirjoitti julkaisuun eräitä tietotekniikan viimeaikaista kehitystä koskevia osuuksia.

Kiitämme kaikkia osallistuneita tahoja ja henkilöitä arvokkaasta panoksesta.

Kirjoittajat

# Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ .....	3
ABSTRACT .....	4
ALKUSANAT .....	5
1. JOHDANTO .....	8
1.1 Tutkimuksen lähtökohdat .....	8
1.2 Lähestymistapa .....	9
1.3 Raportin rajaus, sisältö ja rakenne .....	11
2. YDINVOIMALAN RAKENNE JA TOIMINTA .....	13
2.1 Prosessitekniikka .....	13
2.2 Organisaatio .....	15
2.3 Ydinvoimalan toimintaprosessit .....	17
2.3.1 Laitoksen johtaminen .....	19
2.3.2 Laitoksen käyttö .....	21
2.3.3 Laitoksen ylläpito ja kehittäminen .....	24
2.3.4 Hankinnat ja logistiikka .....	28
2.3.5 Tukitoiminnot .....	29
2.4 Toimintaprosesseja yhdistäviä näkökulmia .....	29
2.4.1 Konfiguraation hallinta .....	30
2.4.2 Käyttöään hallinta .....	32
2.4.3 Laitoksen suorituskyvyn mittaaminen .....	34
2.4.4 Osaamisen hallinta .....	36
2.4.5 Turvallisuuden hallinta .....	36
2.4.6 Polttoainekierto .....	38
3. TIETOTEKNIIKAN NYKYTILANNE YDINVOIMALOISSA .....	40
3.1 Nykyisin käytössä oleva tietotekniikka .....	40
3.2 Tietotekniikkaan liittyviä kehitystarpeita .....	43
3.2.1 Laitoksen johtaminen .....	43
3.2.2 Laitoksen käyttö .....	44
3.2.3 Ylläpito ja kehittäminen .....	45
3.2.4 Hankinnat ja logistiikka .....	47
3.2.5 Tukitoiminnot .....	47
4. TIETOTEKNIikka PROSESSITEOLLISUUDESSA .....	48
4.1 Toiminnanohjausjärjestelmät .....	48
4.2 Kunnossapidon tietojärjestelmät .....	51

4.3	Kunnonvalvontajärjestelmät.....	53
4.4	Automaatiojärjestelmät.....	56
5.	TIETOTEKNIIKAN KEHITYSSUUNTIA.....	62
5.1	Tietojärjestelmien integraatio, yleistä.....	62
5.2	Tiedonhallinta.....	68
5.3	Dokumenttien hallinta .....	75
5.4	Extensible Markup Language, XML .....	78
5.5	Työnkulkuratkaisut.....	82
5.6	Tuotemallit ja CAD .....	85
5.7	Tuotetiedon hallinta.....	89
5.8	Komponenttiohjelmistot.....	95
5.9	OLE for Process Control, OPC .....	102
5.10	Järjestelmänhallinta .....	104
6.	UUDET TIETOJÄRJESTELMÄT .....	108
6.1	Yleisiä vaatimuksia ydinvoimalan tietotekniikalle.....	108
6.2	Tietojärjestelmien määrittelyn periaatteet .....	109
6.3	Tietotekniikan toiminnallinen rakenne.....	114
6.4	Toiminnoille asetettavat vaatimukset .....	117
6.4.1	Laitostietämys .....	117
6.4.2	Johdon tuki.....	123
6.4.3	Laitoksen kehittäminen.....	123
6.4.4	Henkilöresurssien hallinta.....	125
6.4.5	Kunnossapito .....	127
6.4.6	Materiaalihallinto.....	129
6.4.7	Laitostöiden toteutus.....	131
6.4.8	Tuotannon hallinta .....	133
6.4.9	Prosessin hallinta .....	134
6.4.10	Käyttöliittymistä .....	137
6.5	Toteutusteknisiä näkökohtia.....	139
7.	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	144
	LÄHDELUETTELO .....	146
	LIITTEET	
	A LYHENTEET	
	B SANASTO	
	C MALLINTAMISEN VÄLINEITÄ	



# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen lähtökohdat

Suomen sähköenergian tarpeen tyydyttämiseksi on keskusteltu 1–2 uuden ydinvoimalayksikön rakentamisesta. Toisaalta on panostettu myös olemassa olevien yksiköiden parannuksiin ja käyttöään pidentämiseen. Tämä merkitsee ennen pitkää uudistuksia myös informaatio- ja automaatiojärjestelmissä, koska käytössä oleva tekniikka vanhenee ja koska kehitys tuo mukanaan uudenlaisia mahdollisuuksia laitosten tehokkuuden ja turvallisuuden parantamiseen. Tietotekniikan hyödyntämiseen liittyy monia erityisnäkökohtia, koska ydinvoimalat poikkeavat muista aloista mm. seuraavilla tavoilla:

- Ydinvoimala on rakentamisprojektina ja laitoksena poikkeuksellisen suuri ja kallis. Informaatiota ja erilaisia riippuvuuksia on paljon.
- Laitoksen kaikkiin elinkaarivaiheisiin suunnittelusta käyttöön ja purkamiseen liittyy kattavia viranomaiskäsittelyitä, mikä on otettava huomioon myös informaatiojärjestelmissä.
- Laitosten käyttöikä on pitkä. On varauduttava ylläpitämään kaikki informaatio 50–100 vuoden ajan. Olennaiset historiatiedot on tallennettava ja pidettävä tallessa. Pitkä elinikä merkitsee myös sitä, että tietotekniikka ja automaatio on uusittava 2–3 kertaa. Suunnittelutietoja ja kertyneitä käyttökokemuksia tulisi voida hyödyntää, vaikka tekniikan nopea kehittyminen voi rajoittaa varsinaisen toteutuksen (esim. ohjelmistojen) uudelleenkäyttöä. Myös uuden laitoksen rakentamisaika on pitkä, ja jo sen kuluessa tekniikka ehtii muuttua. Tästä seuraa, että yksityiskohtaiset tekniset ratkaisut kannattaa siirtää niin myöhäiseksi kuin mahdollista.
- Sovellusalueen erityisvaatimusten (esim. turvallisuuden ja käytettävyyden) ja laitosten pienen lukumäärän vuoksi käyttökokemuksia ei kerry riittävästi ydinvoimala-alueen sisältä, vaan on löydettävä muilla aloilla (esim. prosessiteollisuudessa) hyviksi havaittuja ratkaisuja. Korkeat laatuvaatimukset ja toiminta perusvoiman tuotannossa rajoittavat laitokseen tehtäviä muutoksia. Tietotekniikan kehitystä onkin hyödynnetty ydinvoimaloissa hitaammin kuin muussa teollisuudessa.

Mahdollisen uuden ydinvoimalan informaatio- ja automaatiojärjestelmät perustuvat mitä ilmeisimmin uuteen hajautettuun tekniikkaan. Sama koskee vanhojen järjestelmien perusteellista uusimista. Tekniikka kehittyy nopeasti, samoin muuttuvat ydinvoiman tuotantoon kohdistuvat vaatimukset, joten toimivan ja edullisen kokonaiskonseptin löytäminen ei ole helppoa. Toisaalta on todettava, että alueella on aktiviteetteja esim. pohjoismaisella ja Euroopan tasolla ja että voimayhtiöt ovat niissä mukana. Voimayhtiöillä

ja laitostoimittajilla on myös omia kehityshankkeita. Lisäksi on menossa teollisuuden tietotekniikkaan liittyvää standardointia, joka tuottaa esim. toiminnallisia referenssimalleja sekä toteutustason ratkaisuja. Ratkaisun lähtökohdat ovat siis olemassa.

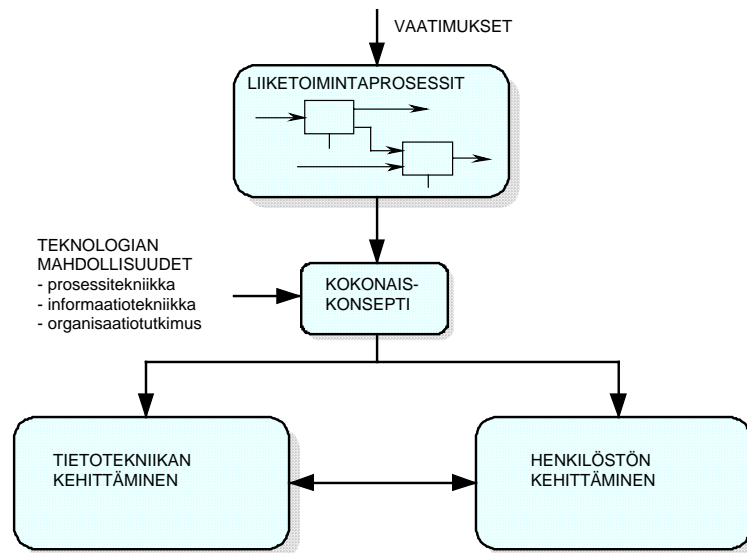
Vanhojen laitosten uusimisessa on edettävä askeleittain, joten olemassa olevat järjestelmät asettavat myös rajoituksia. Modernisointeja on ajoitettava siten, että tuotanto ei häiriinny liikaa. Tästä johtuu, että tietotekniikkainvestoinnit on sovittava pitkän tähtäimen suunnitelmaan. Tällainen kokonaiskonsepti ohjaa eri vaiheissa tehtäviä päätöksiä, jolloin on paremmat mahdollisuudet päätyä toimivaan kokonaisratkaisuun. Keskeiset peruskysymykset on ratkaistava hyvissä ajoin, koska ne vaikuttavat kauas tulevaisuuteen. Esim. ohjelmoitavien järjestelmien lisensointi vie aikaa. Myös kattava dokumentointi edellyttää sitä, että dokumentointijärjestelmät ovat käytössä heti alusta lähtien. Integroinnilla saavutettava lisäarvo voi olla suuri, koska tietojen parempi laatu ja saataavuus tuovat mahdollisuuden optimoida kokonaisia toimintaprosesseja.

Tässä julkaisussa pyritään määrittelemään ydinvoimalan uusille tietojärjestelmille asetettavat yleiset vaatimukset ja toiminnallinen kokonaisrakenne sekä kuvaamaan mahdollisia toteutuksissa käytettäviä standardeja ja teknologioita. Tuloksia voidaan hyödyntää nykyisten laitosten tietotekniikan kehittämisessä sekä mahdollisen uuden voimalan suunnittelussa. Lisäksi julkaisu tukee tarkemmin rajattujen kehityshankkeiden määrittelyä esim. eurooppalaisella tasolla. Raportti on tarkoitettu palvelemaan ydinvoimateollisuuden tarpeita, mutta myös konventionaalisen prosessiteollisuuden edustajat voinevat löytää siitä hyödyllistä tietoa. Koska alojen tarpeet eivät poikkea kovin paljon, esitellään raportissa täydellisyyden vuoksi lyhyesti myös ydinvoimalan rakennetta ja toimintaa. Samoin kuvataan myös, miten tietotekniikkaa käytetään nykyisin prosessiteollisuudessa. Toivomus on saada näin aikaan sovellusalueiden yli menevää keskustelua tietojärjestelmille asetettavista vaatimuksista, toiminnallisesta rakenteesta ja toteutustavoista.

## 1.2 Lähestymistapa

Tietotekniikan kehittämisen tarkoituksena on parantaa yrityksen kilpailukykyä ja kannattavuutta sekä tukea asiakkaiden ja yhteiskunnan suunnalta tulevien vaatimusten toteuttamista. Tällöin tavoitteita ovat yleensä kustannustehokkuus, laatu, turvallisuus sekä joustavuus. Ydinvoimaloiden tärkeitä tavoitteita ovat erityisesti turvallisuus, ympäristö sekä energian tuotannon tehokkuus eli korkeat käyttökertoimet. Kaiken lähtökohdana on yrityksen liiketoiminta: tuotteet, asiakkaat sekä *liiketoimintaprosessit*, joiden avulla tuotteet ja palvelut tuotetaan. Siihen kuuluu varsinaisen tuotantotoiminnan ohella esim. johtamista ja erilaisia tukiprosesseja. *Prosessilaitos*, tässä tapauksessa ydinvoimala, on se fyysinen resurssi, jonka avulla liiketoimintaprosessit toteutuvat. Laitoksen keskeisiä komponentteja ovat prosessilaitteisto, henkilöstö, tietotekniikka sekä maantieteellinen toimintaympäristö, kuten rakennukset. Laitos sisältää fyysisten resurssien ohella niihin

liittyvän dokumentaation, kuten käyttöohjeet. Selkeät mallit ovat tietotekniikan kehittämisen perusta. Tästä syystä eräitä mallintamisen käsitteitä ja menetelmiä esitellään liitteessä C.



Kuva 1. Liiketoimintaprosessit ovat lähtökohta sekä tietotekniikan että organisaation ja toimintatapojen kehittämiseksi.

Liiketoiminta ja tuotteet määräävät ne konkreettiset *toimintaprosessit*, jotka on tavalla tai toisella toteutettava. Tehtävät voidaan jakaa eri tavoin laitoksen fyysisille resursseille. Kaikkia laitoksen pääkomponentteja voidaan siis muuttaa samanaikaisesti yrityksen toimintaa kehitettäessä. Tätä ajatusmallia havainnollistaa kuva 1. Tarvittaessa myös itse liiketoiminta muuttuu.

Tässä raportissa ydinvoimalan liiketoiminta ja prosessitekniset ratkaisut voidaan olettaa annetuiksi, vaikka nekin toki kehittyvät kaiken aikaa. Suunnittelulla on vapausasteita lähinnä organisaation rakenteen, toimintatapojen ja tietotekniikan alueella. Koska tietotekniikka on henkilöstön työväline, sitä ei voida kehittää erikseen. Uusien tietojärjestelmien suunnittelu lähteekin yleensä siitä, että myös toimintaprosesseja muutetaan, koska tietotekniikka mahdollistaa asioiden tekemisen uudella, tehokkaammalla tavalla. Kokonaiskonseptissa on siis määriteltävä, mikä on henkilöstön ja tietotekniikan rooli toimintaprosessien suorittamisessa (siis 'automaatioaste') ja millainen on henkilöstön ja informaatio- ja automaatiojärjestelmien fyysinen toteutustapa. Tässä on otettava huomioon kul-

loinkin tarjolla oleva teknologia, organisointi- ja johtamisperiaatteet sekä olemassa olevan laitoksen ominaisuudet ja reunaehdot.

Vaikka uudet prosessitekniset ja organisatoriset ratkaisut on syytä ottaa huomioon, tämän raportin painopiste on tietotekniikassa ja erityisesti sille asetettavissa vaatimuksissa. Toimintaprosessit edellyttävät erilaisten tehtävien suorittamista. Tähän käytetään tietojärjestelmiä ja ihmisiä, jotka sekä tarvitsevat informaatiota että tuottavat sitä. Tästä määräytyvät tietojärjestelmien käsittelemät tiedot ja toiminnot sekä fyysinen tiedonsiirtotarve. Toimintaprosessien ja niiden kohteena olevien fyysisten kokonaisuuksien tärkeys ja monimutkaisuus puolestaan synnyttävät tietojärjestelmien toimintoihin ja edelleen niitä suorittaviin laitteisiin kohdistuvia ei-toiminnallisia vaatimuksia. Tällaisia ovat esim. käytettävyys ja vasteajat.

### 1.3 Raportin rajaus, sisältö ja rakenne

Raportin pääkohde ovat *tietojärjestelmät (informaatiojärjestelmät)*, joiden tavoitteena on tarjota informaatiota voimalan käytöstä ja kunnossapidosta vastaaville henkilöille. Tähän liittyy siis se piirre, että tietojärjestelmien kautta ei haluta toteuttaa välittömiä prosessiin kohdistuvia ohjaustoimenpiteitä<sup>1</sup>. Usein tietojärjestelmät kuitenkin käsittelevät prosessista peräisin olevaa mittautustietoa, ja joissakin tapauksissa niillä voi olla omaa anturointiaan (esim. kunnonvalvonta). Yleensä tietojärjestelmät sijoittuvat kuitenkin välittömän prosessin hallinnan yläpuolelle.

Tämän painotuksen mukaisesti raportissa ei juuri tarkastella alatason instrumentointia ja ohjausjärjestelmiä. Toisaalta myös selvästi hallinnolliset sovellukset, kuten palkanlaskenta, on rajattu ulkopuolelle. Rajapintoja erilaisiin ulkoisiin järjestelmiin kuvataan kuitenkin tarpeen mukaan.

Edelleen tarkastelun painopiste on tietotekniikalle asetettavissa käyttäjän vaatimuksissa. Siksi luvussa 2 kuvataan ydinvoimalan käyttöön ja ylläpitoon liittyviä toimintaprosesseja sekä itse laitoksen pääkomponentteja, kuten prosessijärjestelmiä, organisaatiota sekä maantieteellistä toimintaympäristöä. Luvussa 3 tarkastellaan tietojärjestelmien nykytilaa ja kehitystarpeita nykyisillä voimalaitoksilla. Luku 4 käsittelee tietotekniikan sovelluksia prosessiteollisuudessa ja luku 5 sen viimeaikaista kehitystä. Näiden pohjalta luvussa 6 kuvataan ydinvoimalan tietojärjestelmien toiminnallisia kokonaisuuksia ja niiden välisiä tietovirtoja sekä toiminnoille asetettavia vaatimuksia. Lisäksi esitetään näkökohtia,

---

<sup>1</sup> Tämä rajoitus ei ole pelkästään tekninen vaan myös hallinnollinen, koska turvallisuusvaatimusten takia on perusteltua jakaa järjestelmät selkeästi luotettavuus- ja turvallisuusvaatimusten mukaan.

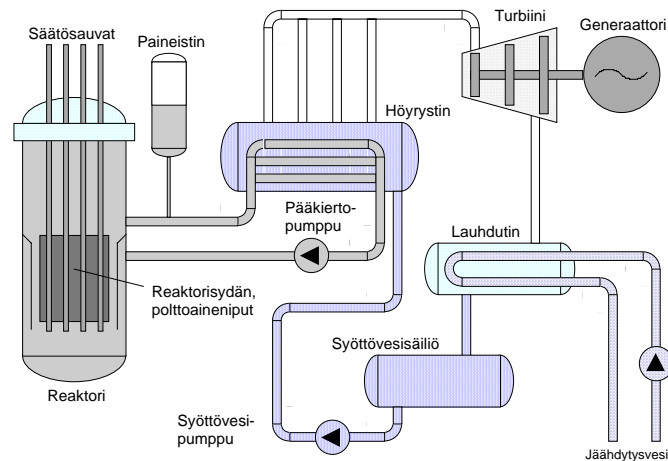
joitka liittyyvät tekniikan soveltamiseen nykyisten laitosten modernisoinnissa ja mahdollisilla uusilla laitoksilla.

## 2. YDINVOIMALAN RAKENNE JA TOIMINTA

### 2.1 Prosessitekniikka

Ydinvoimala on sähköntuotantoon suunniteltu lämpövoimala, jossa lämpö syntyy ydinreaktorissa tapahtuvan uraaniytimien halkeamisreaktion eli fission avulla (STUK 1999). Reaktorisydän koostuu metallikuorisista polttoainesauvoista, joiden sisällä on uraani-dioksidipolttoainetta keraamisina tabletteina. Fissioreaktioissa vapautuva lämpöenergia siirtyy reaktorin jäähdytteeseen. Energia muunnetaan höyryksi, joka pyörittää turbiinia. Turbiinissa höyryn lämpöenergia muutetaan liike-energiaksi ja edelleen generaattorin avulla sähköksi.

Viime vuosikymmenten aikana on eri puolilla maailmaa suunniteltu ja rakennettu useita erilaisia ydinvoimalatyyppejä. Näistä kuitenkin vain harvat ovat päässeet laajaan kaupalliseen käyttöön. Uusiakin laitostyyppejä kehitetään. Tavoite on, että niiden käyttö on mahdollisimman häiriötöntä. Tähän päästään parantamalla järjestelmien luotettavuutta sekä käytön ja ylläpidon helppoutta.

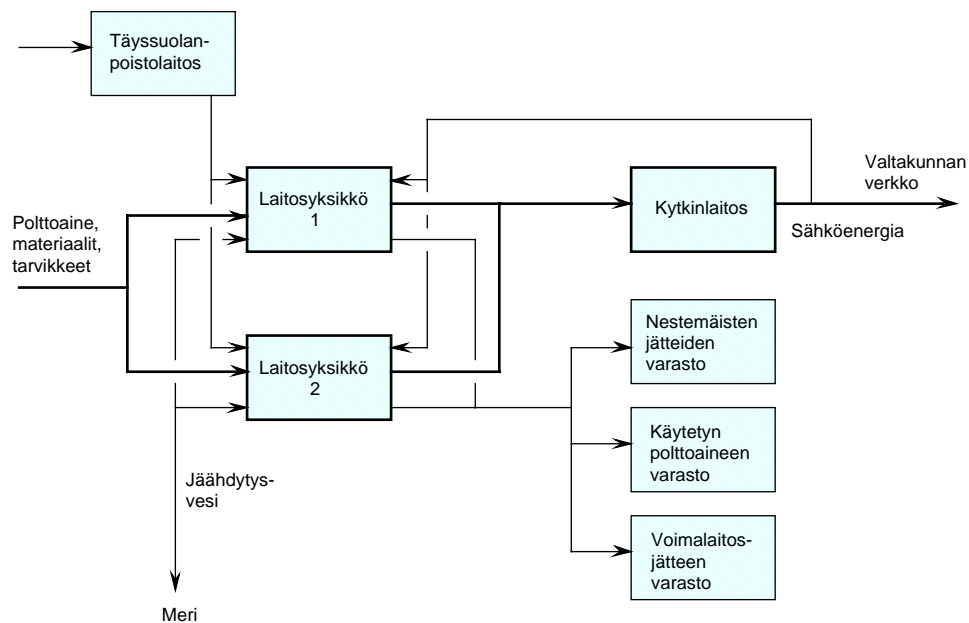


Kuva 2. Painevesilaitoksen periaatteellinen rakenne.

Nykyisin yleisimmät reaktorityypit maailmassa ovat kiehutusvesireaktor ja painevesireaktor. *Kiehutusvesireaktorissa* (BWR, boiling water reactor) sydämen läpi virtaava jäähdytysvesi höyrystyy osittain. Paineastian yläosassa höyry erotetaan vedestä ja johdetaan turbiinille. Turbiinissa jäähtynyt höyry tiivistyy lauhduttimessa vedeksi, joka pumpataan takaisin reaktoripaineastiaan. Reaktorin tehon säätöön käytetään reaktorisydä-

meen työnnettäviä *säätösauvoja*. Ne sisältävät neutroneja voimakkaasti absorboivaa ainetta, esimerkiksi booria.

*Painevesireaktori* (PWR, pressurized water reactor) eroaa kiehumisvesireaktorista siten, että jäähdytysvesi pidetään korkeassa paineessa, jolloin se ei höyrysty. Höyry tuotetaan ns. höyrystimissä, jotka toimivat lämmönvaihtimina, kuva 2. *Primääripiirin* lämpö siirtyy erillisen matalapaineisen *sekundääripiirin* veteen, joka höyrystymisen jälkeen johdetaan turbiineille. Painevesireaktorin tehoa säädetään säätösauvojen avulla sekä jäähdytteen booripitoisuutta muuttamalla.



Kuva 3. Ydinvoimalan tyypillisiä osakokonaisuuksia.

Tämän periaatteessa yksinkertaisen prosessin toteuttamiseen tarvitaan käytännössä monia apuprosesseja ja -järjestelmiä. Kuvaan 3 on hahmoteltu tyypillisiä ydinvoimalan prosessitekniisiä osakokonaisuuksia. Laitoksen laajuutta lisäävät myös turvallisuuteen ja käyttövarmuuteen liittyvät järjestelyt. Tärkeimmän toiminnon on varmistettava useilla rinnakkaisilla järjestelmillä. Erityisten turvajärjestelmien tehtävänä on ehkäistä häiriö- ja onnettomuustilanteiden syntyminen tai lieventää onnettomuuden seurauksia. Tärkeimmät turvallisuustoiminnot ovat reaktorin sammuttaminen, reaktorin jäähdytys ja jälkilämmön poisto. Reaktorin ja sen apujärjestelmien ympärillä olevan suojarakennuksen tehtävänä on rajoittaa radioaktiivisten aineiden päästöjä mahdollisissa onnettomuustilanteissa.

Vuonna 1998 maailmassa oli kaupallisessa käytössä 437 ydinreaktoria, joiden yhteenlaskettu sähköteho oli noin 350 000 megawattia (STUK 1999). Rakennusvaiheessa oli 36 reaktoria. Suomessa on neljä ydinvoimalayksikköä, joista kaksi sijaitsee Loviisassa ja kaksi Olkiluodossa. Ydinvoimalla tuotetun sähkön osuus oli vuonna 1998 hieman yli 30 prosenttia sähkön kokonaiskulutuksesta. Henkilöstöä laitoksilla työskentelee noin 500, ja vuotuinen liikevaihto on noin 2 miljardia mk kahta yksikköä kohden (riippuu laitoksen koosta ja sähkön hinnasta). Uuden laitoksen investointikustannukset ovat nykyisin 10–15 miljardia mk.

Suomalaisten ydinvoimaloiden käyttökerroin on ollut keskimäärin noin 90 prosenttia, mikä on huippuluokkaa maailmassa. Päästöt ympäristöön ja henkilökunnan saamat säteilyannokset ovat olleet kansainvälisesti vertaillen pieniä. Suomella on kattava ydinjätetuollon kokonaissuunnitelma, josta huomattavia osia on jo toteutettu. Voimalajätteen sijoittaminen peruskallioon on aloitettu. Käytetty polttoaine varastoidaan välivarastoihin, ja sen sijoittaminen peruskallioon on tarkoitus aloittaa vuonna 2020.

Korkeiden investointikustannusten ja prosessitekniisten ominaisuuksien vuoksi ydinvoimaloita on pyritty ajamaan jatkuvasti maksimiteholla ns. peruskuormalaitoksina. Sähkömarkkinoiden vapautuminen saattaa tosin aiheuttaa joustavuusvaatimuksia myös ydinvoimaloille. Tavallisesti laitos pysäytetään kerran vuodessa muutaman viikon ajaksi polttoaineen vaihtoa, huoltoa ja uudistuksia varten. Nämä *seisokit* pyritään pitämään mahdollisimman lyhyinä, joten ne on suunniteltava huolellisesti ja toteutettava kurinalaisesti ottaen erityisesti huomioon eri käyttötiloihin liittyvät turvallisuusvaatimukset.

Ydinvoimaloiden muuttuvista kustannuksista noin 30 prosenttia aiheutuu polttoaineesta ja 70 prosenttia kunnossapidosta ja käytöstä (NUREG/CR-5501 1988). Polttoaineen osuus on huomattavasti pienempi kuin konventionaalisilla laitoksilla, joilla se on noin 80 prosenttia. Sen vuoksi on tärkeää seurata ja optimoida erityisesti ydinvoimaloiden käytön ja kunnossapidon tehokkuutta.

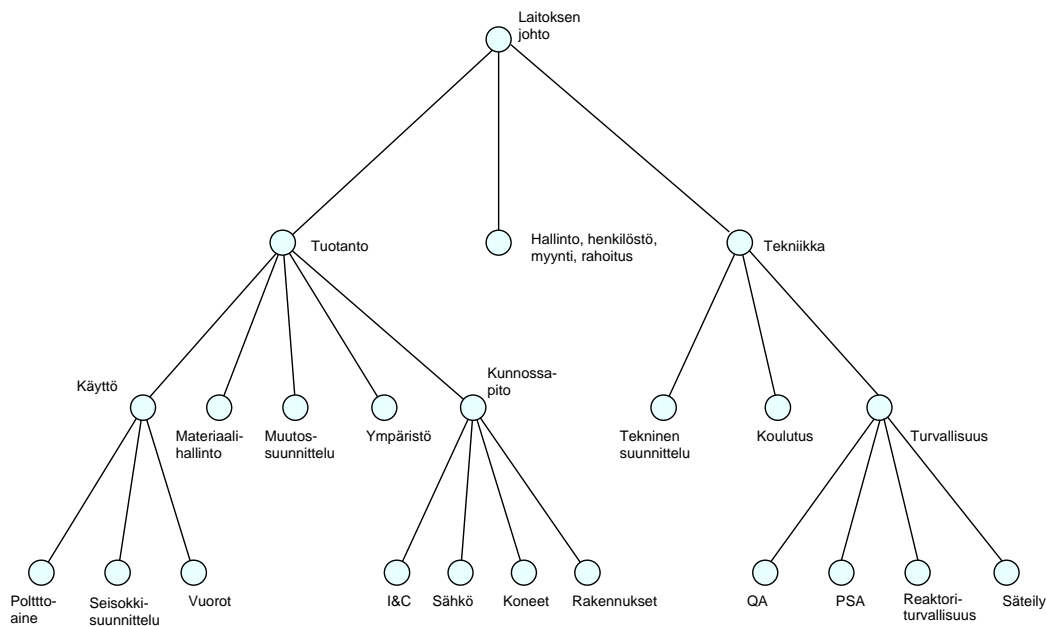
## 2.2 Organisaatio

Ydinvoimalan käyttö- ja ylläpito-organisaatiossa tarvitaan monenlaista osaamista erikoisprosessien ja käytetyn teknologian takia (polttoaineen käsittely, säteilyn hallinta, jätteidenkäsittely, vaativat seisokit jne). Laitoksen turvallisuus- ja käytettävyyksivaatimukset aiheuttavat sen, että henkilökuntaa on selvästi enemmän (useita kertoja) kuin vastaavankokoisilla konventionaalisilla laitoksilla. Se on myös kokenutta ja perusteellisemmin koulutettua. Erityispiirre on, että kriittisissä tehtävissä toimiville henkilöille asetetaan pätevyysvaatimuksia myös viranomaisten taholta. Henkilökunnan osaamista on siis seu-



rattava ja kehitettävä systemaattisesti. Toinen erityispiirre liittyy henkilöstön saamien säteilyannosten valvontaan ja seurantaan.

Organisaatio rakentuu yleensä tavanomaisen linjaorganisaation mukaan *organisaatioyksiköistä* siten, että jokaisella on esimiehensä ja laitoksen johtaja vastaa kokonaisuudesta. Organisaation rakenne vaihtelee laitoskohtaisesti. Eräs mahdollisuus esitetään kuvassa 4. Kun laitokseen kuuluu useita laitosyksiköitä, kullakin on tavallisesti oma käyttöorganisaationsa, ja muut organisaatioyksiköt ovat yhteisiä. Laitosta pyritään ajamaan maksimitieholla ja -hyötysuhteella, joten käytön suunnittelu kohdistuu lähinnä polttoaineen käyttöön ja seisokkeihin. Ydinvoimaloiden käytössä sovelletaan yleensä kuusi- tai kuusi ja puoli -vuorojärjestelmää, mikä vähentää operaattoreiden työkuormaa ja antaa mahdollisuuksia jatkuvaan uudelleenkoulutukseen.



Kuva 4. Ydinvoimalan organisaatioyksiköitä.

Joillakin laitoksilla on sovellettu teknispainotteista vastuujakoa siten, että 'tekniikka' on vastuussa laitoksen kehittämisestä. Viime vuosina on tästä jonkin verran luovuttu ja annettu 'tuotannon' päättää, minkälaisia parannuksia halutaan. Tekniikkaorientoitunut lähestymistapa aiheuttaa ehkä hieman yli-investointia ja käyttöorientoitunut vastaavasti hieman ali-investointia. Joka tapauksessa tulevaisuudessa varmasti pohditaan sisäisiä ti-

laus- ja toimitusjärjestelyjä. Tämä edellyttää sitä, että voidaan laskea tarkasti, mitä sisäisesti tehty työ maksaa. Näin pitkällä ei useimmissa tapauksissa vielä olla.

Organisaatio kuvataan yleensä organisaatiokäsikirjassa, joka kuvaa henkilöiden tehtävät ja vastuut. Sitä päivitetään aina, kun organisaatiossa tapahtuu muutoksia. Organisaatiokäsikirja on usein kytketty kiinteästi laatukäsikirjaan, jossa töiden laatuvaatimukset kuvataan varsin tarkasti, samoin kuin keinot, joilla haluttuun laatuun päästään. Laatukäsikirjan alta löytyy ohjeita ja rutiineja, joiden myös pitää olla yhteensopivia. Laatukäsikirjan mukaan rutiineja auditoidaan kahden tai kolmen vuoden välein. Sekä organisaatio- että laatukäsikirja ovat tyypillisesti viranomaisten hyväksymiä.

Organisaatio- ja laatukäsikirjoissa sekä ohjeistossa asetetaan vaatimuksia esim. päätösten ja töiden tekemiselle ja vastuun jakamiselle. Organisaatio on dynaaminen, koska henkilöiden läsnäolo muuttuu. Turvallisuusvaatimusten voimassapitämistä voidaan tukea tietojärjestelmillä. Päätösten dokumentointia voitaisiin helpottaa myös esim. lomakkeilla ja sähköisillä allekirjoituksilla.

Linjaorganisaatiota täydentävänä mallina on joissakin ydinvoimaloissa korostettu prosessiajattelua. Tällöin kuvataan prosesseja organisaatioyksiköiden poikki meneviksi kokonaisuuksiksi ja pyritään optimoimaan niiden välisiä liitännöitä. Sekä prosesseille että teknisille järjestelmille nimetään vastuuhenkilöt. Prosessiajattelua sovellettaessa ongelmana usein on prosessien ja osaprosessien sekä niiden liitännöiden monimutkaisuus. Myös vastuukysymykset voivat hämärtyä, ellei prosessikuvausten ja organisaatiokäsikirjan välillä löydy riittäviä yhteyksiä.

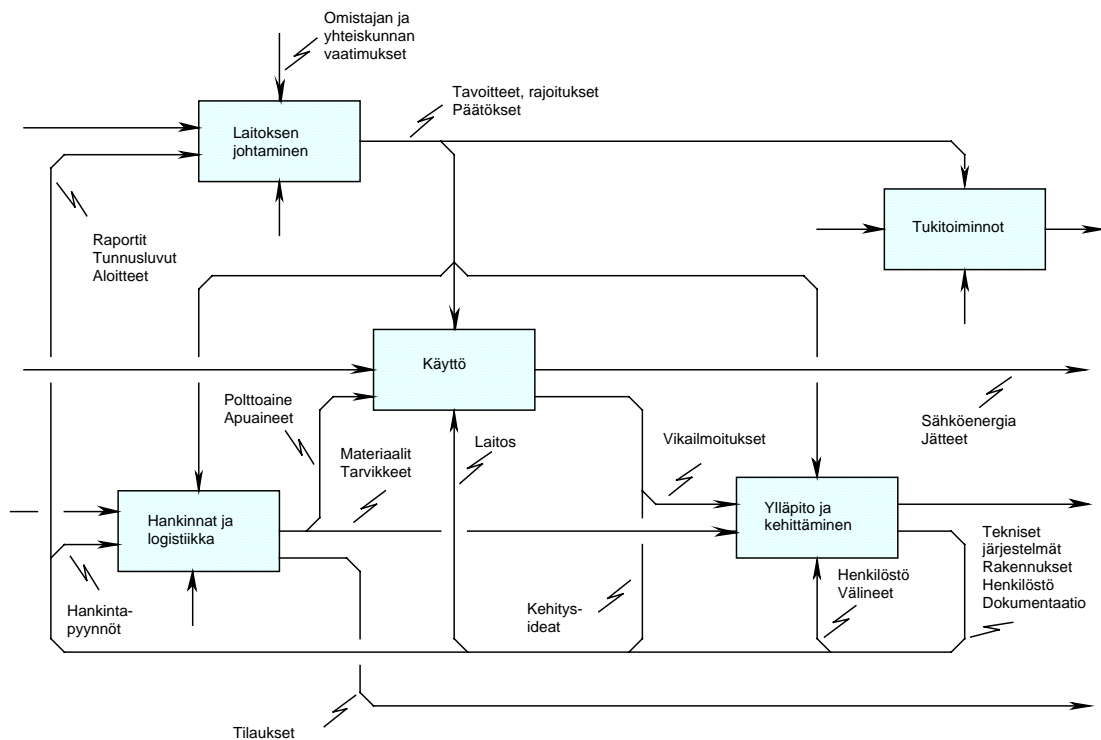
## 2.3 Ydinvoimalan toimintaprosessit

Ydinvoimalan tuotannonaikaiset toimintaprosessit ovat sekä tietotekniikan että organisaation kehittämisen lähtökohta. Siksi seuraavassa kuvaillaan näitä toimintoja, tosin melko yleisellä tasolla. Esitettävä toimintamalli pyrkii olemaan yleinen vertailukohta, jonka valossa esim. nykyisiä käytäntöjä ja kehitystarpeita tarkastellaan. Pohjana ovat olleet kirjallisuudesta ja käytännöstä löytyneet mallit, joita on jossakin määrin jäsennetty uudelleen tässä julkaisussa käytettyjen mallintamistapojen mukaisiksi. Menetelmänä on käytetty IDEF<sub>0</sub>:aa (Integration Definition for Function Modeling), jonka perusteet esitetään liitteessä C.

Kokonaistoiminnan jäsentämisessä voidaan käyttää erilaisia perusteita, esim. ajallista järjestystä, tekniikan alaa, viranomaisten asettamia vaatimuksia, yleistä käytäntöä tai nykyisen organisaation rakennetta. Tässä raportissa pyritään hahmottamaan tulevia integroituja tietojärjestelmiä, joten laitosta käsitellään kokonaisuutena ja toimintojen jäsenitys perustetaan ensisijaisesti toiminnan (prosessin) sisältöön ja luonteeseen ottamatta

huomioon sitä, ketkä toimintoja suorittavat. Integrointipyrkimys merkitsee myös sitä, että esim. tekniikkaan ja organisaatioon liittyviä toimintoja ei erotella vielä kuvauksen ylätasolla. Tietotekniikan puolella tämän toivotaan johtavan ratkaisuihin, jotka ovat yhteisiä eri sektoreille.

Yleiset tuotannon aikaansaamiseksi tarvittavat toiminnot esitetään kuvassa 5. Seuraavassa kuvaillaan eri toimintoja hieman tarkemmin. Aluksi kuitenkin muutamia yleisiä huomioita. Kun samassa kaaviossa esitetään useita toimintoja, niillä on yleensä jonkinlaisia riippuvuuksia. Tavallisesti tämä tarkoittaa sitä, että tarvitaan myös koordinoivaa toimintaa. Koko laitoksen tasolla tämä tarkoittaa laitoksen johtamista eli ulkoa tulevien vaatimusten muuttamista sisäisiksi tavoitteiksi ja toimenpiteiksi. Vastaavaa koordinoivaa toimintaa tavataan eri nimillä myös alemmilla hierarkiatasoilla.



Kuva 5. Ydinvoimalan käytön ja ylläpidon toimintaprosesseja.

*Käyttö* on selvästi laitoksen perustoiminto, jolla laitosten investoinnin varsinainen tarkoitus toteutetaan. *Ylläpito ja kehittäminen* tarjoaa tähän välineen eli itse fyysisen voimalaitoksen kaikkine osatekijöineen (laitteet, rakennukset, ihmiset, dokumentit jne.). Laadullinen ero käyttöön nähden on siis selvä.

Ylläpito ja kehittäminen määritellään tässä siten, että se tarjoaa tarvittavat tuotantoresurssit. Jatkuvan ylläpidon ja kehittämisen tähtäävän muutosprosessin raja on epämää-

räinen, koska esim. päivittäisessä kunnossapidossa tehdään usein myös parantavia toimenpiteitä, ja koska muutostöiden vaatimien seisokkien aikana suoritetaan myös huolto- ja korjaustöitä. Siksi samaan perusprosessiin on yhdistetty myös laitoksen kehittäminen. Sen tehtävä on mukauttaa laitos ulkoa päin tuleviin vaatimuksiin ja mahdollisuuksiin. Ylläpidon ja kehittämisen erottelu tapahtuu vasta seuraavalla tasolla.

Hankinnat ja materiaalihallinto lienee yleensä sisällytetty muihin toimintaprosesseihin. Kuvassa 5 hankinnat ja logistiikka on kuitenkin erotettu omaksi toiminnokseen, joka sisältää kaiken materiaalien hankkimisen, varastoinnin ja jakelun ydinvoimalaitokselle. Perusteena on, että toiminto on eräs rajapinta ulkomaailmaan ja että se vaatii tietynlaista erityisosaamista.

Seuraavassa näitä laitoksen perustoimintoja kuvataan hieman tarkemmin sekä sanallisesti että kuvallisesti.

### **2.3.1 Laitoksen johtaminen**

Ydinvoimalan johtaminen on melko pitkälle samanlaista kuin muidenkin teollisuuslaitosten. Erona muuhun teollisuuteen ovat turvallisuusvaatimukset, jotka tosin johtuvat enemmän yhteiskunnan tarkkaavaisuudesta kuin varsinaisista ympäristöä uhkaavista vaaroista. Siksi toimintaan liittyy huomattavia taloudellisia riskejä. Ellei turvallisuuteen uskota, laitos voidaan sulkea ja omistajat kärsivät suuria menetyksiä. Tästä seuraa, että johtajilla pitää olla osaavat alaiset ja heillä hyvät työvälineet. Koska ydinvoimala sisältää paljon erilaista tekniikkaa, on toiminnan kannalta tärkeää varmistaa työkalujen ylläpitäminen ja tehokas käyttö. Tässä ovat apuna tietojärjestelmät ja niiden hyödyntäminen siten, että johtajien alaiset voivat vastata luotettavasti esim. seuraaviin kysymyksiin:

- Mitä maksaa ja miten kauan kestää? (Joskus kustannuksissa ja aikatauluissa edellytetään vähintään viiden prosentin tarkkuutta, mikä asettaa suuria haasteita monimutkaisissa projekteissa.)
- Miten vaikuttaa, jos tehdään, ja miten, jos ei tehdä mitään?
- Milloin voidaan aloittaa?
- Mitä ostetaan ulkoa ja mitä tuotetaan itse?

Yleisesti ottaen johtamisen tehtävä on tuotannon ja ylläpidon ohjaaminen omistajan ja yhteiskunnan asettamien tavoitteiden ja rajoitusten toteuttamiseksi. Tarvittavia lähtökohtia ovat esim.

- omistajan asettamat tavoitteet ja rajoitukset (tuotanto, taloudellisuus, elinikä, budjetti, ympäristövaikutukset)
- yhteiskunnan asettamat tavoitteet ja rajoitukset (turvallisuus)
- tekniset kehitysmahdollisuudet, kokemukset muilta laitoksilta
- laitoksen suorituskykyä (tekniikka, talous jne.) kuvaavat raportit ja tunnusluvut
- yksittäiset laitokselta tulevat kehittämis- ja investointialoitteet.

Näiden perusteella asetetaan esim. laitoksen eri toimintojen tulostavoitteet sekä tehdään päätökset erilaisista toimenpiteistä. Koko ydinvoimalan johtamiseen liittyviä aktiviteetteja ovat esimerkiksi

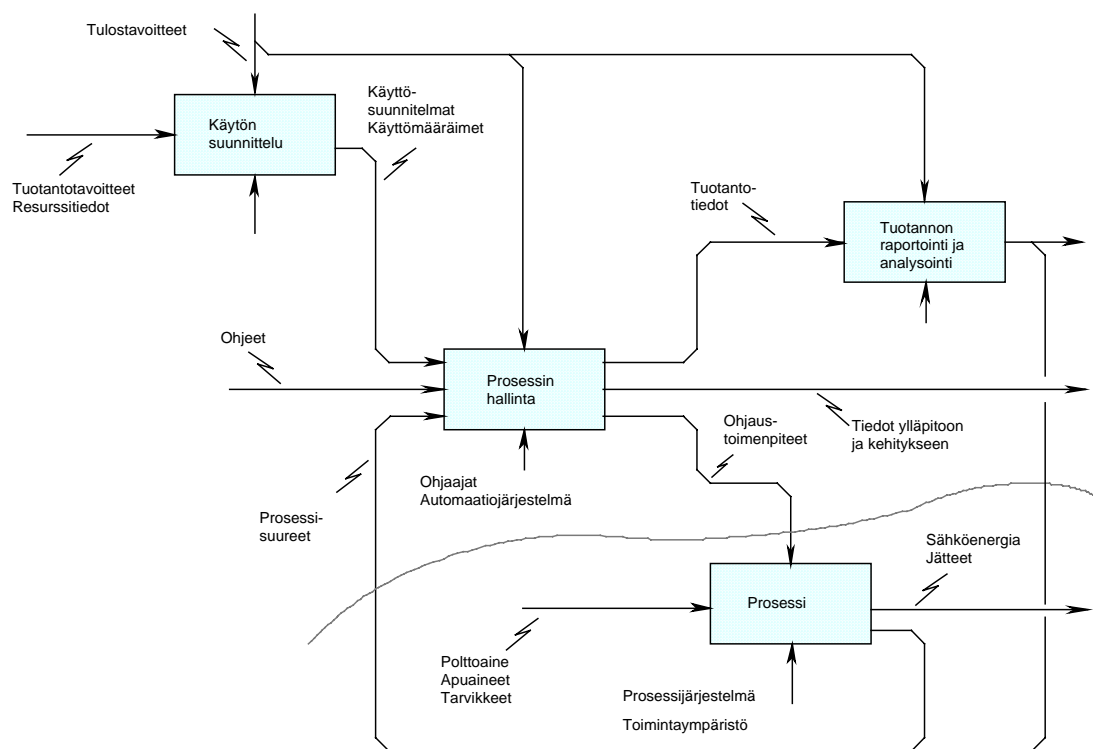
- tuotanto- ja teknologiastrategiat
- ydinturvallisuuspolitiikka
- henkilöstöpolitiikka
- ympäristöpolitiikka
- laatu- ja laatupolitiikka
- tiedottamispolitiikka
- suorituskyvyn seuranta
- investointiehtotusten käsittely.

Laajan organisaation johtaminen edellyttää omia ratkaisujaan tietojärjestelmien osalta. Joitakin toimintoja voidaan hoitaa tavanomaisilla johtamisjärjestelmillä ja joissakin tarvitaan kiinteämpi kytkentä voimalan prosessi-informaatioon. Viime aikoina monessa organisaatiossa on siirrytty tavoitejohtamiseen, mikä tarkoittaa sitä, että toiminnalle pyritään määrittelemään selkeitä tavoitteita, joiden toteutumista seurataan. Tässä yhteydessä joissakin ydinvoimaloissa on lähdetty soveltamaan nk. balanced scorecard -ajattelua (Kaplan & Norton 1996).

Toinen tärkeä viime aikoina esille noussut käsite on ydinosaaminen, jolla tarkoitetaan organisaation omien liiketoimintaprosessien kannalta keskeistä osaamista. Joissakin ydinvoimaloissa ydinosaamista on pyritty määrittelemään tarkemmin, jotta voitaisiin paremmin varmistua siitä, että organisaation omat henkilöt yhdessä pystyvät sen kattamaan tai muuta tarvittavaa osaamista on ostettavissa ulkoa.

## 2.3.2 Laitoksen käyttö

Laitoksen käytön toiminnot esitetään kuvassa 6. Perustehtävänä on suunnitellun tuotannon aikaansaaminen siten, että asetetut turvallisuus-, taloudellisuus-, ympäristönsuojeluy- vaatimukset toteutuvat. Lähtötietoja ovat esim. tuotantotavoitteet, aikataulut sekä resurssien käytettävyyssiedot ja tulostietoja esim. tuotannon toteutumatiiedot, poikkeamaraportit ja ylläpitoon menevät vikailmoitukset. Tarvittavia resursseja ovat esim. ohjaajat, automaatiojärjestelmä sekä prosessijärjestelmät ja näihin liittyvä ohjeisto ja dokumentaatio.



Kuva 6. Laitoksen käytön osatoiminnot.

Käytön tarkemmin rajattuja toimintaprosesseja ovat käytön suunnittelu, prosessin hallinta (mukaan lukien toimintaympäristö, esim. rakennukset) sekä tuotannon raportointi ja analysointi. Kuvassa esitetään täydellisyyden vuoksi myös varsinainen *prosessi*, jonka resursseina toimivat pääasiassa prosessilaitteet.

Näitä kuvataan sanallisesti taulukoissa 1–3. Taulukoiden kohtaan tavoite on kirjattu toiminnon perusajatus 1–2 lauseella. Kohtaan vaatimukset voidaan lisäksi merkitä, mitkä seikat ovat olennaisia toiminnon onnistumisen kriteereitä. Lähtö- ja tulostiedot määritte-

levät keskeiset toimintojen välillä siirtyvät tietokokonaisuudet ja dokumentit. Osatehtävissä luetellaan ja kuvataan 1–2 lauseella seuraavan tason toiminnot (joita ei siis enää kuvata graafisesti). Resurssit viittaavat niihin fyysisen laitoksen osiin, joiden avulla toiminto toteutetaan.

*Taulukko 1. Toimintaprosessi käytön suunnittelu.*

Toimintaprosessi	Käyttö/Käytön suunnittelu
Tavoite	Laitoksen tilan ja tilanmuutosten ennakkosuunnittelu siten, että toisaalta energiantuotannon ja toisaalta ylläpidon ja kehittämisen tarpeet tulevat huomioonotetuiksi.
Vaatimukset	TTKE-vaatimukset Käyttöä hallinnasta johtuvat käyttötavan rajoitukset
Lähtötiedot	Tuotantotavoitteet Resurssitiedot
Tulostiedot	Käyttömääräimet
Osatehtävät	<u>Latausseisokkien suunnittelu</u> : Ks. ylläpito ja kehittäminen. <u>Tuotannon suunnittelu</u> : Peruskuormalaitoksella tuotannon suunnittelua on yleensä rajoitetusti, tehotasoa muutetaan silloin tällöin verkonhallinnasta saatujen ohjeiden mukaan. <u>Turvallisuuden varmistaminen</u> : Esim. erotusten suunnittelu, eri laitoskonfiguraatioiden riskien arviointi, TTKE-vaatimukset, käyttötoimintaan liittyvä viranomaistiedonvaihto.
Resurssit	

Varsinainen prosessin hallinta esitetään alla olevassa taulukossa 2. Siihen sisältyviä osatoimintoja voidaan jäsenellä monella tavalla. Ensimmäkin voidaan tarkastella tuotantoprosessin eri toimintoja ja fyysisiä järjestelmiä, esim. polttoaineen käsittelyä ja reaktorin hallintaa. Tähän voidaan sisällyttää myös rakennukset. Lisäksi voidaan erottaa laitoksen eri käyttötilat, jolloin esim. normaalin tehoajon toiminnot poikkeavat huomattavasti seisokeista. Edelleen voidaan tunnistaa erilaisia operaattorin tai automaation toimintamoo- deja, kuten ennakointi, valvonta, toimenpiteiden suorittaminen, tiedonkeruu ja raportointi sekä poikkeustilanteiden hallinta.

*Taulukko 2. Prosessin hallinta.*

Toimintaprosessi	<b>Käyttö/Prosessin hallinta</b>
Tavoite	Prosessijärjestelmien ja toimintaympäristön pitäminen halutussa tilassa tai siirtäminen haluttuun tilaan.
Vaatimukset	Turvallisuus, TTKE
Lähtötiedot	Käyttömääräimet Prosessisuureet ja muut tilaa kuvaavat tiedot (esim. erotukset)
Tulostiedot	Automaation tuottamat historiatiedot Käyttöpäiväkirjat, vikailmoitukset, käyttötapaukset, pikasulkuraportit
Osatehtävät	<p>Prosessin ohjaus ja valvonta</p> <p>Polttoaineen käytön valvonta</p> <p>Laitosjätteen käsittely</p> <p><u>Kemian valvonta</u>: Näytteet, analyysit</p> <p>Raakaveden käsittely</p> <p>Säteilyvalvonta</p> <p>Ympäristön valvonta</p> <p><u>Rakennusten valvonta ja ohjaus</u>: Lämpötilat, tuuletus, tulipalot, kulunvalvonta, turvajärjestelyt.</p> <p><u>Erotukset</u>: Järjestelmät pysäytetään ja erotetaan esim. kunnossapitotöitä varten. Töiden valmistuttua suoritetaan toimintakokeet.</p> <p><u>Turvallisuuden varmistaminen</u>: TTKE-vaatimukset</p> <p><u>Järjestelmien kunnonseuranta</u>: Fyysisten järjestelmien suorituskykyä ja toimintakuntoa seurataan muun työn ohessa esim. aistinvaraisesti sekä automaatio- ja kunnonvalvontajärjestelmien tarjoamien tietojen perusteella.</p> <p><u>Häiriöiden hallinta</u>: Häiriöiden ja vikojen tunnistaminen, diagnoosi ja poistaminen, vika- ja häiriöraporttien (käyttötapaukset) laatiminen, mahdolliset muutosehdotukset.</p>
Resurssit	Käyttöhenkilöstö, automaatiojärjestelmät, kunnonvalvontajärjestelmät

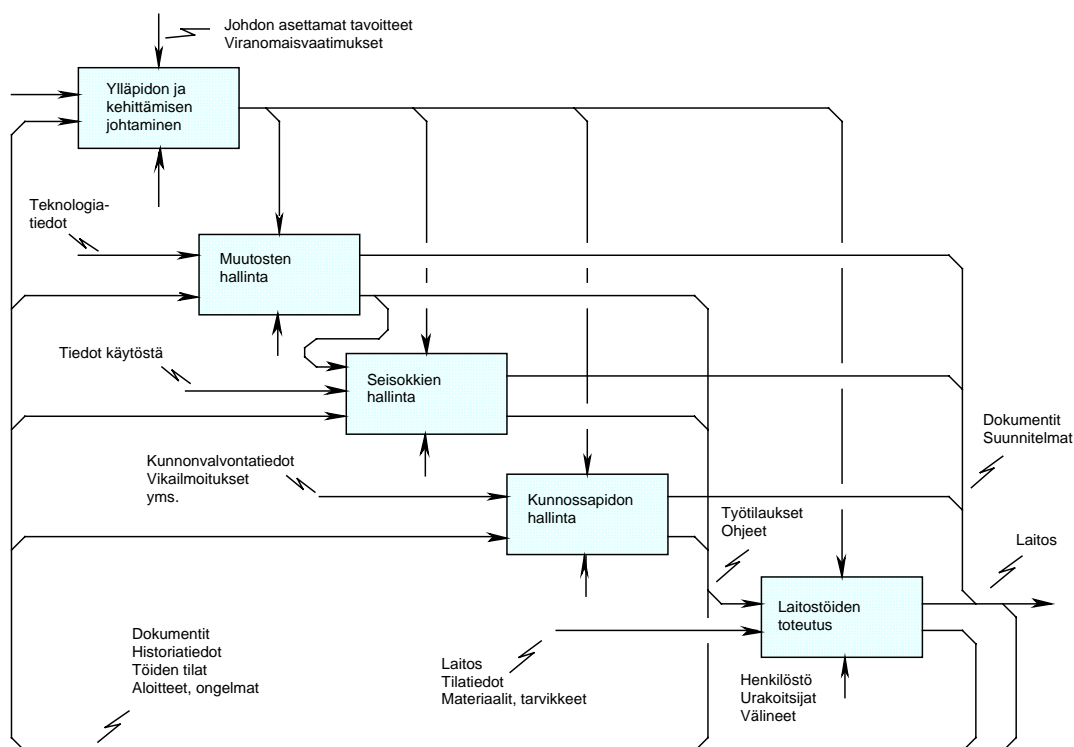
*Taulukko 3. Tuotannon raportointi ja analysointi.*

Toimintaprosessi	<b>Käyttö/Tuotannon raportointi ja analysointi</b>
Tavoite	Prosessin hallinnassa syntyvien tuotanto- ja ympäristötietojen analysointi ja jalostaminen.
Vaatimukset	Tarvittava tieto kerätään, tarkistetaan, jalostetaan ja arkistoidaan siten, että sitä on helppoa saada esille, kun sitä tarvitaan.
Lähtötiedot	Tuotantotiedot, ympäristömittaukset
Tulostiedot	Raportit, tunnusluvut
Osatehtävät	<p>Lähtötietojen kokoaminen</p> <p>Tietojen analysointi ja raportointi</p> <p>Raportointijärjestelmän ylläpito ja kehittäminen</p>
Resurssit	Laitoksen informaatiojärjestelmät, henkilöstö



### 2.3.3 Laitoksen ylläpito ja kehittäminen

Ylläpidon ja kehittämisen toimintoja havainnollistaa kuva 7. Perustavoite on fyysisen laitoksen pitäminen vaatimuksia vastaavassa kunnossa sekä sen uudistaminen vaatimusten muuttuessa ja tekniikan kehittyessä. Lähtötietoja ovat esim. laitoksen johdon asettamat tavoitteet, tiedot laitoksen nykytilasta sekä tiedot uusista ratkaisumahdollisuuksista. Tuloksia taas ovat esim. johdolle suunnatut kehitysaloitteet ja ylläpidon suunnitelmat. Tässä toiminnossa laitosta tarkastellaan edelleen kokonaisuutena. Mukana ovat siis laitoksen kaikki osajärjestelmät ja tekniikan alat, kuten prosessi-, rakennus-, sähkö-, tietojärjestelmä ja automaatiotekniikka sekä laitoksen henkilöstö. Toimintoja tarkemmin kuvattaessa nämä nousevat yksittäin esiin.



Kuva 7. Ylläpidon ja kehittämisen osatoimintoja.

Ylläpidon ja kehittämisen päätoimintoja ovat johtaminen, muutosten hallinta, seisokkien hallinta sekä huolto sekä korjaus- ja kehitystoimenpiteiden konkreettinen toteutus. Näitä kuvataan tarkemmin taulukoissa 4–8. Muutosten hallinnan ja kunnossapidon raja ei ole aivan selvä. Eräs erottava tekijä on se, että laitokseen tehtävät muutokset vaativat usein viranomaishyväksynnän. Suuremmat muutokset toteutetaan projekteina, jotka voivat kestää myös useamman seisokin yli. Myös useita pieniä muutoksia voidaan koota projektiksi. Seisokkien hallinta on toisaalta käyttöä (polttoaineenvaihto) ja toisaalta ylläpi-

toa ja kehitystä (korjaukset, muutokset). Se on kuitenkin esitetty erillisenä toimintona, koska siihen liittyy monia erityisvaatimuksia.

*Taulukko 4. Ylläpidon ja kehittämisen johtaminen.*

Toimintaprosessi	Ylläpito ja kehittäminen/Johtaminen
Tavoite	Toiminnan seuranta, kunnossapito- ja kehittämisstrategian määrittely, toimintojen koordinointi.
Vaatimukset	Tunnistetaan ne komponentit ja järjestelmät, jotka seuraavan käyttöjakson aikana mahdollisesti aiheuttavat turvallisuus- tai käytettävyysongelmia.
Lähtötiedot	Eri komponenttien ja järjestelmien mittaus- ja kunnossapitotiedot.
Tulostiedot	Ongelmakomponentit, suunnitelma tarkemman analyysin tekemiseksi.
Osoittävät	Käyttöiän suunnittelu, laitosmuutosten pitkántähtäimen suunnittelu (muutospaineet, toteutusta vailla olevat hyväksytyt muutosehdotukset). <u>Ylläpitostrategia:</u> Krittisyysluokittelu, tavoitteiden ja toimintatapojen määrittely yleisempien tavoitteiden ja käyttöikäsuunnitelmien perusteella. Ylläpito-organisaation määrittely. Riskien arviointi Kunnossapitoanalyysi Tunnuslukulaskenta Käyttötavan arviointi ja ohjaus Henkilöstön hyvinvoinnin ja osaamisen hallinta
Resurssit	Laitoksen tietojärjestelmät, henkilöstö

Laitosmuutokset lähtevät liikkeelle muutosehdotuksista, jotka voivat perustua joko havaittuun ongelmaan (esim. ei-toivottujen tapahtumien yhteydessä), tunnistettuun kehittämismahdollisuuteen tai ulkoapäin, esim. viranomaiselta tulevaan vaatimukseen. Ehdotukset analysoidaan ja tarkempaan suunnitteluun hyväksytyt organisoidaan projekteiksi, joiden vaiheita ovat esim. esisuunnittelu, toteutussuunnittelu, toteutus ja käyttöönotto. Muutoksen läpivientiin liittyviä tehtäviä ovat mm. turvallisuuden varmistaminen, viranomaistarkastukset, dokumentaation päivitys sekä koulutus ja muutoksesta tiedottaminen. Hyväksytyt ehdotukset ja tiettyyn vaiheeseen suunnitellut muutokset voivat odottaa ns. *jäännöslistalla (toteutuslistalla)* sopivaa toteutusajankohtaa. Ajankohtaan vaikuttavat mm. muutoksen kiireellisyys sekä se, vaatiiko toteutus laitoksen tai sen osan alasajoa.

*Taulukko 5. Muutosten hallinta.*

Toimintaprosessi	<b>Ylläpito ja kehittäminen/Muutosten hallinta</b>
Tavoite	Perusparannus- ja modernisointihankkeiden sekä pienempien muutosten suunnittelu ja läpiviennit (myös henkilöstö).
Vaativuudet	Muutosten turvallisuusvaikutusten huomioonottaminen
Lähtötiedot	Teknologian tuntemus Laitoksen suorituskyky Vikailmoitukset, häiriöraportit Muutosehdotukset
Tulostiedot	Muutossuunnitelmat, dokumentointi Työtilaukset, työohjeet
Osatehtävät	<p>Teknologian, tutkimuksen, viranomaisvaatimusten ja käytäntöjen seuranta muutostarpeiden tai -mahdollisuuksien tunnistamiseksi.</p> <p><u>Muutosehdotusten käsittely:</u> Arviointi, hyväksyminen suunnitteluun.</p> <p><u>Laitosmuutosten esisuunnittelu:</u> Aikataulu, resurssit, kustannukset.</p> <p><u>Laitosmuutoksen toteutussuunnittelu:</u></p> <p><u>Turvallisuus- ja käyttövarmuussuunnittelu:</u> Vikojen vaikutusten analysointi, muutossuunnitelmien arviointi, komponenttien laatuvaatimusten sekä tarkastusten ja koestusten määrittely.</p> <p><u>Viranomaiskäsittely:</u> Tiedonvaihto, ennakkotarkastusaineiston kokoaminen (ja täydentäminen), hyväksymismenettelyt, käyttöönottokokeet.</p> <p><u>Tekninen suunnittelu:</u> Sähkö, automaatio, tietotekniikka, konetekniikka, rakennukset</p> <p><u>Hankinnat:</u> Tarvittavien tuotteiden ja palveluiden spesifointi, hankintapyyntöt.</p> <p><u>Laitosmuutoksen toteutus:</u> Muutokset toteutetaan, kuten muutkin laitostyöt, mahdollisesti ulkopuolisen urakoitsijan tai toimittajan voimin.</p> <p><u>Käyttöönotto:</u> Testaukset.</p> <p><u>Dokumentointi:</u> Laitostietokannan, dokumentaation ja ohjeistojen ylläpito, ml. versio- ja muutoshallinta, arkistointi, jakelu ja tietosuojat.</p> <p><u>Koulutus, tiedottaminen:</u> Koulutuksen suunnittelu, koulutus, tiedottaminen tulossa olevista ja käyttöön otetuista muutoksista.</p> <p><u>Henkilöstön kehittäminen:</u> Henkilöstön terveyden ja ammattitaidon sekä organisaation toimivuuden seuranta sekä tarvittavat kehitystoimet.</p> <p><u>Projektien ohjaus ja seuranta</u></p> <p>Kustannuslaskenta:</p>
Resurssit	Teknilliset toimistot, käytönsuunnittelutoimisto, suunnittelutyökalut, projektien hallintatyökalut, hankinta, toimittajat.

*Taulukko 6. Seisokkien hallinta.*

Toimintaprosessi	<b>Ylläpito ja kehittäminen/Seisokkien hallinta</b>
Tavoite	Vuosihuoltojen ja polttoaineenvaihtojen pitkän ja lyhyen aikavälin suunnittelu ja läpivienti.
Vaatimukset	Turvallisuus, TTKE Seisokin pituuden ja kustannusten optimointi
Lähtötiedot	Muutossuunnitelmat Huolto- ja korjaustyöt
Tulostiedot	Seisokkisuunnitelma Työtilaukset, ohjeet
Osatehtävät	<u>Seisokkien pitkän tähtäimen suunnittelu</u> : Optimaalinen jaksotus lataus- ja huoltoseisokeille. <u>Seisokin suunnittelu</u> : Työt, paketit, aikataulutus, resurssit, turvallisuus Seisokin ohjaus Seisokin raportointi ja kustannuslaskenta Urakoitsijoiden hankinta
Resurssit	Käytönsuunnittelutoimisto, teknilliset toimistot, revisiotoimisto, suunnittelutyökalut, projektien hallintatyökalut, hankintaa, toimittajat.

*Taulukko 7. Kunnossapidon hallinta.*

Toimintaprosessi	<b>Ylläpito ja kehittäminen / Kunnossapidon hallinta</b>
Tavoite	Ennakoivan ja korjaavan kunnossapidon suunnittelu ja valvonta (Tekniset järjestelmät ja rakennukset, entä henkilöstön "kunnossapito"?)
Vaatimukset	Toteuttaa kunnossapitotyöt suunnitelmien mukaisesti, reagoida, jos töissä tulee esiin jotain odottamatonta.
Lähtötiedot	Kunnonvalvonnan tiedot, vikailmoitukset, varaosien ja muiden resurssien saatavuus
Tulostiedot	Kunnossapitosuunnitelmat, ennakkohuoltosuunnitelmat Työtilaukset, työluvat
Osatehtävät	Vikailmoitusten keruu ja arviointi <u>Kunnossapidon suunnittelu</u> : Pitkän ja lyhyen tähtäimen suunnitelmien laatiminen, varaosa-suunnittelu, budjetointi. Kunnonvalvonta, kunnonseuranta Määräaikaikaiskokeet ja (riippumattomat) tarkastukset Ennakkohuolto Korroosion hallinta? Rakennusten kunnossapito Automaatio- ja tietojärjestelmien ylläpito Kunnon ja suorituskyvyn raportointi kunnossapitoanalyysia ja -strategiaa varten <u>Koulutus</u> : ammattitaidon seuranta, koulutuksen suunnittelu Henkilöstön terveydenhoito, annosseuranta Kustannusten seuranta
Resurssit	Suunnitelmat, piirustukset, aikataulut.

*Taulukko 8. Laitostöiden toteutus.*

Toimintaprosessi	<b>Ylläpito ja kehittäminen / Laitostöiden toteutus</b>
Tavoite	Töiden konkreettinen toteutus ja raportointi.
Vaatimukset	Turvallisuusvaatimukset, aikataulujen pitävyys, kustannustehokkuus
Lähtötiedot	Työtilaukset
Tulostiedot	Työraportit
Osatehtävät	Töiden yhdistely <u>Töiden valmistelu:</u> materiaali- ja resurssitarpeet, ohjeet, erotukset, turvatoimet, työsuojelu. Töiden suoritus ja valvonta Raportointi, kustannuslaskenta, laitostietojen päivitys, mahdolliset vikailmoitukset ja muutosehdotukset
Resurssit	Kunnossapitohenkilöstö, ulkopuoliset urakoitsijat

### **2.3.4 Hankinnat ja logistiikka**

Vaikka ydinvoimala tuottaa ei-materiaalista standardituotetta, liittyy voimalan toimintaan melkoisesti logistiikkaa (taulukko 9). Laitokselle hankitaan monenlaisia materiaaleja, tarvikkeita ja palveluita. Monet vähemmän kriittisistä toiminnoista on ulkoistettu. Siinänsä logistiikka vastaa suurelta osin prosessilaitosten toimintaa yleensä. Useissa tapauksissa laatuvaatimukset ovat kuitenkin tavallista kovemmat. Toimittajia auditoidaan, ja varastossa olevien materiaalien historiatietojen, esim. metalliputkien valmistuksessa käytetyn sulatuserän, on oltava tiedossa. Myös yksittäisiä komponentteja on voitava seurata. Varsinkin ydinpolttoaineen ja -jätteen käsittelyyn liittyy erityisvaatimuksia, joita tarkastellaan jäljempänä kohdassa 2.4.6.

Taulukko 9. Hankinnat ja logistiikka.

Toiminto	Hankinnat ja logistiikka <sup>2</sup>
Tavoite	Materiaalien ja palveluiden hankinta laitokselle, materiaalien varastointi ja jakelu sekä laitosjätteiden käsittely ja varastointi, materiaali- ja varaosavalmiuden ylläpito.
Vaatimukset	Ylläpitää ja kehittää kontakteja eri toimittajiin.
Lähtötiedot	Aikaisemmat hankinnat ja vanhat toimittajakontaktit, uusien luomisessa käytetään erilaisia luetteloita, messuja ja Internetiä.
Tulostiedot	Tarvemäärityt, tilaukset, toimitussopimukset
Osatoiminnot	Polttoaineen hankinta Muut hankinnat: Materiaalit, työkalut, prosessilaitteet, sähkö-, automaatio- ja tietotekniikkalaitteet, palvelut Varastointi ja jakelu
Resurssit	Toimittajaluettelot, laatutoimisto auditointien tekemisessä.

### 2.3.5 Tukitoiminnot

Ydinvoimalan tukitoiminnot eroavat melko vähän vastaavista muun prosessiteollisuuden tukitoiminnoista, joten niitä ei käsitellä tarkemmin. Tukitoimintojen tavoitteena on luoda edellytykset muiden toimintaprosessien suoritukselle. Niihin voidaan sisällyttää esim. kirjanpito, laskutus, rahoitus, lakiasiat, henkilöstöhallinto, toimistopalvelut, tiedottaminen jne. Usein tukipalveluihin sisällytetään myös esim. koulutus ja tietojärjestelmäpalveluiden tuottaminen. Tässä raportissa näiden kuitenkin ajatellaan kuuluvan laitoksen ylläpitoon ja kehittämiseen.

## 2.4 Toimintaprosesseja yhdistäviä näkökulmia

Edellä käsiteltiin *toimintaprosesseja*, joiden tarkoitus on hahmottaa laitoksen sisäisen työskentelyn arkipäivää. Liitteen C lähestymistavan mukaisesti niiden jäsenyyksen tulee perustua johdonmukaisesti valittuihin kriteereihin, ensi sijassa toiminnan sisältöön. *Liiketoimintaprosessit* puolestaan ovat toimintaprosessien verkossa tunnistettuja arvoketjuja, jotka ulottuvat alihankkijoista yrityksen läpi asiakkaisiin. Ydinvoimalan keskeisiä liiketoimintaprosesseja ovat esim. sähkön tuotanto, turvallisuuden ja ympäristönsuojelun hoitaminen sekä tuotantokapasiteetin pysyvyyden ja kehityskyvyn varmistaminen. Lai-

---

<sup>2</sup> Näiden osalta käytännöt eroavat hieman, mutta tässä yhteydessä on oletettu, että hankintaprosessit ovat suhteellisen riippumattomia ja ylläpitävät kontakteja toimittajiin laajalla rintamalla.

toksen sisäisillä toimintaprosesseilla on tietyt roolit liiketoimintaprosessien toteuttamisessa. Näistä on poimittu joitakin esimerkkejä oheisessa taulukossa 10 esitettyyn prosedikarttaan.

*Taulukko 10. Ydinvoimalan liiketoimintaprosessit ja sisäisten toimintaprosessien rooleja niiden toteuttamisessa.*

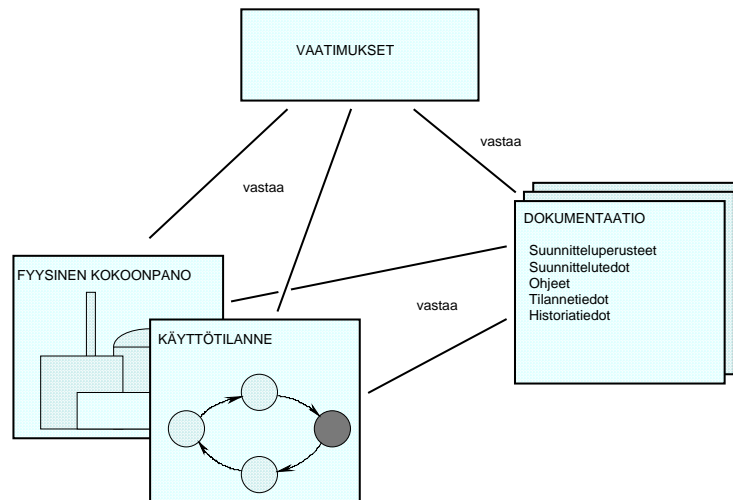
Liiketoimintaprosessi	Alihankkijat	Keskeiset sisäiset toimintaprosessit				Asiakkaat
		Laitoksen johtaminen	Hankinnat ja logistiikka	Laitoksen käyttö	Ylläpito ja kehittäminen	
Sähkön tuotanto	Laite-, materiaali- ja polttoainetoimittajat	Suhteet asiakkaisiin, tuotantotavoitteiden asettaminen	Polttoaineen, materiaalien ja palveluiden hankinta ja jakelu	Käytön suunnittelu ja prosessin hallinta	Ennakoiva ja korjaava kunnossapito	Sähkön ostajat
Turvallisuus ja ympäristön suojelu	Muut laitokset, viranomaiset, tutkimuslaitokset	Tavoitteiden asettaminen ja niiden toteutumisen seuranta	Laadun valvonta, komponenttien yksilöseuranta, ydinjätehuolto	Ohjeiden noudattaminen, käyttötapauksien raportointi	Turvallisuuden tunnusluvut, tekniset ratkaisut, luvat, toimintaohjeet	Yhteiskunta, viranomaiset, omistajat
Tuotantokapasiteetin varmistaminen	Teknologian toimittajat, kehitys- ja koulutuspalveluiden tarjoajat	Teknologia- linjaukset, investointipäätökset	Toimitus- sopimukset	Laitteita säästävät käyttötavat	Kunnossapito, tekniset parannukset, osaamisen hallinta	Omistajat, sähkön ostajat

Sisäisten toimintaprosessien hierarkkisella osittamisella siis ei saada esiin kaikkia tärkeitä vaatimuksia ja keskinäisiä riippuvuuksia. Tällaisia ovat esim. konfiguraation hallinta, käyttöään hallinta ja suorituskyvyn (taloudellisuus, turvallisuus jne.) seuranta sekä polttoainekierto. Näitä esitellään seuraavassa lyhyesti.

#### 2.4.1 Konfiguraation hallinta

*Konfiguraation hallinnan* (configuration management) tavoitteena on pitää ydinvoimala jatkuvasti vaatimusten, erityisesti *turvallisuusteknisten käyttöehtojen* (TTKE) sekä muiden käyttökuntoisuusvaatimusten mukaisessa tilassa. Tämä tila tarkoittaa laitoksen fyysistä kokoonpanoa mukaan lukien siihen kuuluvat laitteet, rakenteet ja ihmiset, laitoksen käyttötilannetta sekä kaikkea edellisiin liittyvää informaatiota, kuva 8. Hallinnan piiriin kuuluvat aiottujen toimenpiteiden vaikutusten ennakointi, turvallisuustilanteen seuranta ja hallinta reaaliajassa sekä konfiguraatioon liittyvien historiatietojen tallennus. Tämä merkitsee sitä, että konfiguraation hallintaan liittyviä tehtäviä sisältyy esim. laitoksen

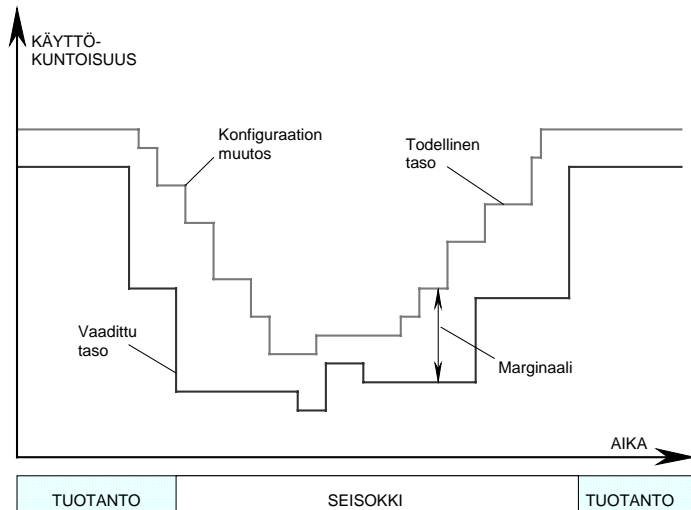
käytön suunnitteluun, prosessin hallintaan, tuotannon raportointiin, muutosten ja seisokkien hallintaan, kunnossapitoon jne.



*Kuva 8. Konfiguraation hallinta varmistaa, että fyysinen laitos, sen tila sekä dokumentaatio vastaavat toisiaan ja että molemmat ovat turvallisuusvaatimusten mukaisia (mukailtu lähteistä NIRMA TG19-1996 ja DOE-STD-1073-93-Pt.1 1993).*

Konfiguraation hallinta on merkittävässä asemassa monilla alueilla, erityisesti ohjelmistotekniikassa (software configuration management, SCM) sekä laajojen tietokonejärjestelmien ja tuoteperheiden hallinnassa. Tärkeää on, että konfiguraatio on hyvin määritelty ja ihmisten selkeästi hahmotettavissa (näkyvä) ja että muutokset suunnitellaan, arvioidaan ja dokumentoidaan huolellisesti tiettyjen sääntöjen mukaisesti. Koska tämä aiheuttaa lisäkustannuksia, menettelyitä voidaan soveltaa kohteen kriittisyysasteen mukaan (graded approach). Monet konfiguraation hallinnan yleiset periaatteet soveltuvat myös ydinvoimaloille. Ydinvoimaloiden ja muiden vaativien (prosessi-)järjestelmien piirteisiin kuuluu kuitenkin itse toimivan, fyysisen kokonaisuuden käyttötilan (operational configuration) hallinta reaaliajassa. Redundanttiset rinnakkaiset järjestelmät voidaan pitää halutuilla käyttökuntoisuuden tasoilla erilaisissa konfiguraatioissa. Käyttökuntoisuusvaatimukset ovat erilaiset eri käyttötiloissa, kuten tehoajolla, kylmäseisokissa ja polttoaineen vaihdossa. Käyttörajoitusten ja todellisen käyttökuntoisuuden välillä pyritään pitämään tietty marginaali yllättävien ongelmien varalta, kuva 9.

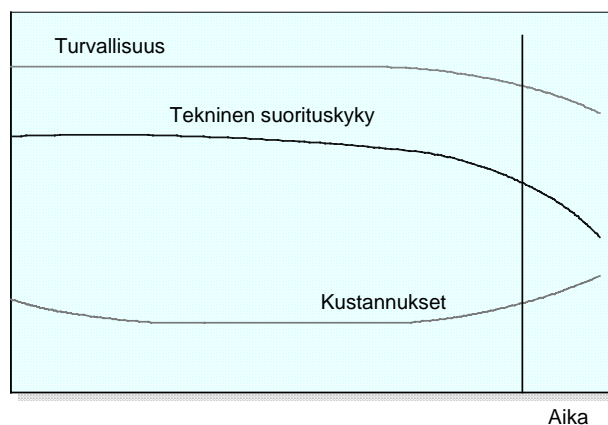




Kuva 9. Käyttökuntoisuusvaatimukset ja -marginaalit muuttuvat seisokin aikana.

## 2.4.2 Käyttöiän hallinta

Ydinvoimalan käyttöikä on varsin pitkä, yleensä vähintään 40 vuotta. *Käyttöiän hallinnan (ikäntymisen hallinta, ageing management, plant life management)* tavoitteena on ylläpitää vaatimusten mukaista turvallisuutta ja suorituskykyä koko suunnitellun ja mahdollisesti jatkettun eliniän ajan (Simola 1999).



Kuva 10. Laitoksen suorituskyky ja käyttökuntoisuus heikkenevät ajan kuluessa, ellei käyttöikää hallita.

Normaalein ylläpidon toimenpitein laitoksen suorituskyky ja käyttökuntoisuus pyrkivät heikkenemään ajan kuluessa, kuva 10. Tässä voidaan erottaa useita mekanismeja. Ensinnä-

näkin laitteiden mekaaniset rakenteet kuluvat ja heikkenevät. Tähän vaikuttavat esim. materiaaliominaisuudet, ympäristöolosuhteet, käyttörasitukset ja huoltotoimenpiteet. Toiseksi laitoksen järjestelmissä sovelletut kaupalliset tuotteet ja tekniikat vanhentuvat vähitellen niin, ettei enää ole tarjolla varaosia, kunnossapitoa eikä osaavia henkilöitä. Kolmanneksi ikääntyminen vaikuttaa myös laitoksen organisaatioon. Ihmisten jäädessä eläkkeelle osaaminen ei välttämättä siirry nuoremmille. Sekä tekniikkaan että organisaatioon liittyy myös yleinen 'rappeutumisen' taipumus. Ilman erityisiä ponnisteluja ja systematiikkaa vähittäiset muutokset, kuten teknisten järjestelmien uudistaminen ja organisaation epäviralliset toimintatavat, johtavat epäoptimaaliseen tilanteeseen.

Eräs voimalaitoksen odotettavissa olevaan elinikään vaikuttava seikka ovat myös yhteiskunnan asettamat vaatimukset. Näihin laitos voi kuitenkin vaikuttaa hyvin vähän muuten kuin ottamalla odotettavissa olevat viranomaisvaatimusten muutokset huomioon omissa suunnitelmissaan.

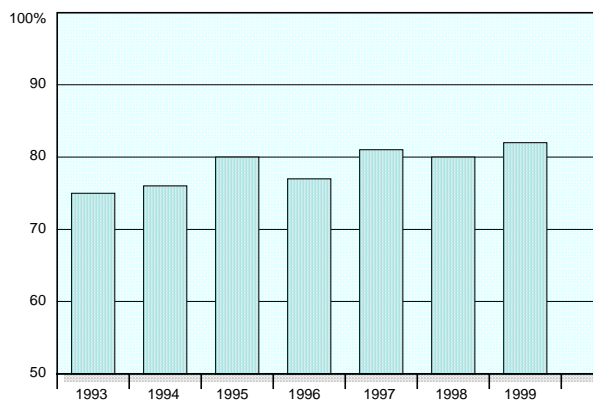
Käyttöään hallintaan liittyviä osatehtäviä ovat esim.

- vaatimusten sekä kriittisten järjestelmien ja komponenttien tunnistaminen
- ikääntymismekanismien tunnistaminen ja niiden merkittävyyden arviointi
- laitoksen suorituskyvyn mittaaminen ja ennustaminen
- tavoitteiden asettaminen
- parantavien toimenpiteiden kehittäminen
  - kunnossapitostrategiat
  - henkilöstön osaamisen kehittäminen
  - käyttötapojen ohjaus
  - turvallisuusanalyysit
  - teknologiavalinnat
  - tietojärjestelmät
  - teknisten uudistusten pitkäaikaissuunnittelu.

Tästä voidaan havaita, että käyttöikä on ydinvoimalan toiminnan keskeinen onnistumiskriteeri, joka on otettava huomioon lähes kaikissa toimintaprosesseissa. Kyseessä ovat suuret taloudelliset arvot ja myös laitoksen turvallisuus. Käyttöikää pidentävät investoinnit ovat usein suuria. Käyttöään hallintaan liittyy tarve saada luotettavaa ja oikeanmuotoista tietoa monista eri lähteistä sekä laitoksen sisällä että muilta laitoksilta (Simola 1999). Lisäksi tarvitaan laitosta kuvaavia malleja, jotka auttavat hallitsemaan ja analysoimaan kasvavaa tietomäärää.

### 2.4.3 Laitoksen suorituskyvyn mittaaminen

Ydinvoimalaan kohdistuu sekä yhteiskunnan että omistajien taholta tiukkoja turvallisuus- ja tehokkuusvaatimuksia, joten toiminnan on oltava hyvin hallittua kaikilla osaluilla ja hierarkiatasoilla. Tämä edellyttää sitä, että laitoksen suorituskykyä pystytään havainnoimaan tavalla, joka auttaa tunnistamaan ongelmakohdat ja kohdistamaan kehitystoimenpiteet oikein. Toiminnasta voidaan saada yksityiskohtaista palautetta monella tavalla, esim. vika-ilmoituksina. Laitoksen johtaminen ja kehittäminen edellyttävät kuitenkin myös jalostetun tiedon olemassaoloa.



Kuva 11. Esimerkki laitoksen energiakäytettävyyden kehittämisestä.

Tätä varten eräillä teollisuudenaloilla, kuten ydinvoiman tuotannossa ja kemianteollisuudessa, on kehitetty suorituskykyä kuvaavia tunnuslukujärjestelmiä (Lehtinen 1995, Wahlström 1999). Monet näistä painottuvat turvallisuuteen, mutta myös taloudellisia tunnuslukuja on käytössä. Ydinvoimateollisuudessa käytetään yleisesti ns. WANO-indikaattoreita (World Association of Nuclear Operators), joita ovat

- energiakäytettävyys (ks. kuva 11)
- suunnittelematon sisäisistä syistä johtuva tuotannon menetys
- reaktorin suunnittelemattomat pikasulut
- turvallisuusjärjestelmien epäkäytettävyys
- termien suorituskyky
- polttoaineindeksi
- kemianindeksi
- kollektiivinen säteilyannos
- työtaturmat.

Tunnuslukuja sovelletaan lähinnä oman laitoksen kehittämiseen, mutta myös eri laitosten vertailu tulee kyseeseen, varsinkin jos vertailtavat laitoksen ovat suunnilleen samantyyppisiä, kuten ydinvoimaloiden kohdalla usein on tilanne.

Kehitetyt lähestymistavat määrittelevät yksityiskohtaisella tasolla, mitä lähtötietoja tarvitaan ja miten tunnusluvut lasketaan. Tähän tarkoitukseen on kehitetty myös tietoteknisiä apuvälineitä, mutta lähtötietojen kokoaminen ja syöttö ovat yleensä manuaalisia. Tunnuslukujen kehittäminen ja varsinkin niiden manuaalinen laskenta on työlästä, joten on tarpeen löytää helposti muodostettavia ja toimintaa hyvin ohjaavia tunnuslukuja. Mittaaminen, kuten myös kehitystoimet, voivat kohdistua teknisiin järjestelmiin, organisaatioon tai toimintaprosesseihin. Näiden on siis oltava hyvin määriteltyjä. Laitoksen järjestelmät ja organisaatio onkin yleensä jäsennetty selkeästi, mutta toimintaprosessien mallit ovat usein vielä kehitteillä.

Lähtötietoja tunnuslukujen laskemiseen joudutaan kokoamaan monista eri lähteistä. Esimerkkejä tällaisista ovat

- laitoksen automaatio- ja prosessitietokonejärjestelmistä peräisin olevat historiatiedot, kuten energian tuotanto ja hälytykset,
- operatiivisten tietojärjestelmien käsittelemät historiatiedot, esim. kunnossapidon viikailmoitukset sekä käyttötapahtumaraportit,
- tiedot, joita ei yleensä käsitellä tietojärjestelmissä vaan jotka joudutaan hankkimaan esim. henkilöstöä haastatteleamalla tai tekemällä tarkastuksia laitoksella.

Tietotekniikan kannalta tähän liittyy se ongelma, että olemassa olevat järjestelmät ovat heterogeenisiä. Tarvittavia tietoja ei ehkä löydy järjestelmistä, ja liitännöiden toteuttaminen on kallista. Myös tietoturva voi asettaa rajoituksia. Avoimien tietojärjestelmäarkkitehtuurien yleistyminen vähentää liitännöiden räätälöimistarvetta, mutta ei takaa oikeiden tietojen olemassaoloa. Tietotekniikka perustuu entistä enemmän kaupallisten tuotteiden käyttöön. Niitä ostetaan valmistajilta, jotka eivät välttämättä ole ottaneet tunnuslukujen laskentaa huomioon tuotekehityksessään. Mahdollisuudet tuotteiden konfigurointiin asiakkaan tarpeiden mukaisiksi ovat yleensä rajalliset. Tästä, kuten monesta muustakin syystä, syntyy tarve kehittää kaupallisia tuotteita yhdessä niiden valmistajien kanssa. Tämä puolestaan merkitsee enemmän tai vähemmän standardoituja, mahdollisesti sovel-lusaluekohtaisia ratkaisuja eri toimintojen, kuten kunnossapidon ja tunnuslukulasken-nan, toteuttamiseen.

Tähän kokonaisratkaisuun liittyy myös kysymys, onko tunnuslukujen muodostaminen keskitetty toiminto, joka hakee tarvitsemiaan tietoja laitoksen muista sovelluksista ja tietokannoista. Vaihtoehto on standardoitujen tunnuslukujen osittainen hajauttaminen.

Esim. kunnonvalvonta voi tarjota laitteiden 'terveydentilaa' kuvaavia tietoja ja kunnossapidon tietojärjestelmä tunnuslukuja laajemmista järjestelmistä ja kunnossapidon omista toimintaprosesseista. Näiden avulla voidaan joissakin tapauksissa muodostaa ylemmän tason indikaattoreita ilman raaka-tiedon analysoimista.

#### **2.4.4 Osaamisen hallinta**

Kuten jo aikaisemmin on todettu, ydinvoimalan käyttö perustuu monelle osaamisalueelle. Pienessä organisaatiossa kaikkea osaamista ei voida ylläpitää samalla tasolla, joten myös kriittistä osaamista joudutaan ostamaan ulkoa. Kuitenkin ostaminenkin edellyttää osaamista, koska pitää pystyä määrittelemään, mitä halutaan, sekä arvioimaan toimituksen laatua (esim. toimittajan auditointi). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ydinvoimala joutuu arvioimaan, mitä tulee pitää ydinosamisena. Ydinosamisen määrittely edellyttää myös jatkuvaa ympäristön seuraamista ja mahdollisesti strategisten liittoutumien solmimista. Henkilökunnan osaamista on pystyttävä seuraamaan, jotta voidaan ajoissa ottaa huomioon esimerkiksi avainhenkilöiden siirtyminen eläkkeelle. Tähän liittyvät toisaalta ylläpitävä ja täydentävä koulutus ja toisaalta kertyneen kokemustiedon ja kaminen laitoksen sisällä.

Käytännön työssä henkilöiden osaamisen on oltava tiedossa, jotta voidaan esim. valita sopivat tekijät erilaisiin tehtäviin ja osallistujat kehityshankkeisiin. Turvallisuusvaatimukset edellyttävät joissakin tehtävissä myös muodollista dokumentoitua pätevyyttä. Säteilyturvakeskus (STUK) valvoo, että laitoksen organisaatio on tarkoituksenmukainen, että ydinenergian käyttöön osallistuvat henkilöt täyttävät asetetut kelpoisuusehdot ja että heille on järjestetty asianmukainen koulutus. Käyttöhenkilökunnan pohjakoulutus- ja työkokemusvaatimukset sekä perus-, kertaus- ja täydennyskoulutusvaatimukset esitetään ohjeessa YVL 1.7 (1992). Esim. ohjaajana päävalvomossa saa toimia vain STUKin hyväksymä henkilö (YVL1.6 1995). Hyväksyminen edellyttää määrävälein suullisen ja kirjallisen kuulustelun sekä simulaattorikokeen läpäisemistä ('lisenssikuulustelu').

#### **2.4.5 Turvallisuuden hallinta**

Turvallisuuden hallinta ei kohdistu yksinomaan laitokseen ja sen teknisten järjestelmien kuntoon vaan myös henkilökuntaan, toimintatapoihin, viranomaissuhteisiin sekä ydinjätehuoltoon ja ympäristöasioiden hoitamiseen. Turvallisuus on otettava huomioon laitoksen yleisten tavoitteiden asettamisessa, teknisten ja organisatoristen muutosten suunnittelussa sekä laitoksen jokapäiväisessä käytössä ja ylläpidossa.

Teknisten järjestelmien laitteiden kuntoa ja mahdollisten ongelmien vaikutusta turvallisuuteen on pystyttävä jatkuvasti arvioimaan. PSA on näiltä osin sopiva työväline. Organisaation ja henkilökunnan kunto tulee välillisesti seuratuksi tapahtumaraporteissa. Usein toistuvat tapahtumat ovat merkki rappeutuvasta suhtautumisesta. Organisaation toimintatavat tulevat esiin myös laatujärjestelmän edellyttämässä auditoinneissa. Monet ydinvoimalat ovat käyneet läpi myös erilaisia itsearviointiprosesseja. Tämän lisäksi määrävälein suoritetaan laajempi ulkopuolinen nk. *peer review*, johon tavallisesti osallistuu laaja kansainvälinen ryhmä.

STUK ohjaa riskianalyysin käyttöä voimayhtiöissä ohjeen YVL 2.8 (1996) avulla, joka määrittelee riskianalyysin yleiset tavoitteet ja sovellusalueet. PSA:ta (Probabilistic Safety Analysis) tulee käyttää ydinvoimalan turvallisuutta koskevien päätösten tukena mm. seuraavilla alueilla:

- tarkastusten kohdentaminen ja painottaminen
- turvallisuusteknisten käyttöehtojen soveltaminen
- tilannekohtaisten laitevikojen riskien arviointi
- käyttöhenkilökunnan koulutus
- hätätilanne- ja häiriöohjeiden laatiminen
- laitoksen muutokset
- tapahtuneiden häiriöiden ja vikojen riskiarvion jälkiseuranta
- ennakko- ja kunnonvalvontaohjelmat.

Riskianalyysillä on monia vakiintuneita käyttökohteita, mutta toistaiseksi sen sovellukset kattavat vain osan mahdollisesta käyttöalueesta. Eräät kohteet tarvitsisivat lisäkehitystä. Näitä ovat esim. riskipohjaiset määräaikaistarkastukset ja määräaikaistarkastukset sekä turvallisuustekniset käyttöehdot (TTKE) ja siihen liittyvä riskipohjainen konfiguraation hallinta.

Määrittelemällä järjestelmien testausvälit ja testaustavat järkevällä tavalla voidaan parantaa turvallisuusjärjestelmien käytettävyyttä. Parhaan käytettävyyden saavuttamiseksi satunnaisvikojen korjausten ja ennaltaehkäisevän huollon sallitut ajat ja järjestelmien testausstrategiat voidaan määrittellä PSA:n avulla. Testausmenettelyjen tehokkuutta tulisi analysoida ja vertailla erilaisten laitevikojen, vanhenemisen ja muunlaisen rappeutumisen tunnistamisessa. Testausmenettelyn riittämättömyys saattaa aiheuttaa sen, että eräät vikatyypit jäävät paljastumatta ja tulevat esiin vasta onnettomuustilanteessa. Liiallinen tai vääryyppinen testaus saattaa puolestaan lisätä laitteen vika-alttiutta.

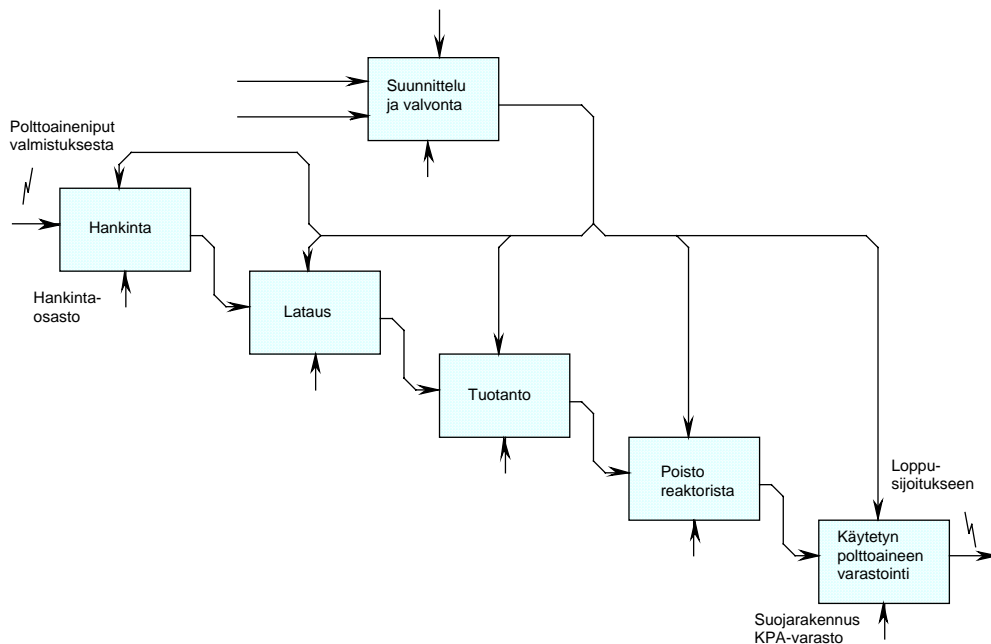
PSA:n soveltaminen ydinvoimalan käytön riskipohjaiseen valvontaan edellyttää sitä, että käytettävissä oleva riskimalli (PSA-malli) on laadukas ja kuvaa koko laitoksen riittävän kattavasti. Jotta riskimalli olisi parhaimmillaan laitoksen toiminnallisten riskien

arvioinnissa, tulisi sen kyetä laskemaan riskiä myös aikariippuvana suurena 'reaaliajassa' (Living PSA), sillä laitoskonfiguraatio, aktiiviset kunnossapito- ym. toiminnot sekä miehitystilanne vaikuttavat hetkelliseen riskiin varsin paljon (erityisesti seisokin aikana).

Turvallisuuden kannalta tärkeiden vikojen ja vikayhdistelmien tunnistamiseksi ja arvioimiseksi tulee kaikista TTKE:ssa luokitelluista tapahtumista suorittaa riskien jälkiarviointi (follow-up). Tällainen riskiarvio voidaan suorittaa PSA:n avulla. Laskelmat menneisyydessä sattuneista vioista ja tapahtumista auttavat arvioimaan laitoksen käyttötapahatsumien aiheuttamaa riskiä tulevaisuudessa.

## 2.4.6 Polttoainekierto

Ydinvoimalan polttoainekierto (fuel-cycle) alkaa uraanimalmin louhimisesta ja päättyy käytetyn polttoaineen loppusijoittamiseen. Välivaiheita ovat esim. konversio uraaniheksafluoridiksi, väkevöinti, polttoainenippujen valmistus sekä käyttö ja senjälkeinen väli-varastointi ydinvoimalassa.



Kuva 12. Polttoaineen käsittelyvaiheet ydinvoimayhtiössä.

Voimayhtiön osuutta polttoainekierrosta havainnollistaa kuva 12. Polttoaine tulee laitokselle valmiina nippuina. Hankintaosasto voi esim. ostaa uraania ja teettää polttoainementtien ja -nippujen valmistuksen alihankkijalla. Seisokin aikana noin viidesosa

polttoaineesta vaihdetaan. Käytettyjä polttoainenippuja säilytetään aluksi suojarakennuksen altaissa ja sen jälkeen käytetyn polttoaineen varastossa, josta ne aikanaan siirretään loppusijoitettavaksi kallioperään.

Polttoaineen käsittelyyn liittyy sekä turvallisuusnäkökohtia että taloudellisia arvoja. Laitoksen käyttöä suunniteltaessa määritellään mm. seisokkien ajankohdat. Tässä yhteydessä on otettava huomioon esim. polttoaineen optimaalinen käyttö (ns. palama) sekä reaktiivisuuden hallinta reaktorin sydämessä. Tuoreet ja käytetyt polttoaineniput on järjestettävä tarkoin suunnitellulla tavalla. Tätä varten on käytössä erilaisia laskentaohjelmia. Myös käytettyjen nippujen sijoittelu varastoinnin aikana on suunniteltava, jotta yllättävää reaktiivisuutta tai lämpötilan nousua ei pääse tapahtumaan.

Ydinpolttoainetta voidaan käyttää myös sotilaallisiin tarkoituksiin. Tästä syystä se on kansainvälisen valvonnan (Safeguards-toiminnan) kohteena (STUK 2000). Perustana on vuonna 1970 voimaan tullut ydinsulkusopimus. Sen osapuolet hyväksyvät kansainvälisen valvonnan ja sopivat siitä Kansainvälisen Atomienenergiäjärjestön (IAEA:n) kanssa. Suomi solmi IAEA:n kanssa safeguards-valvontasopimuksen vuonna 1971. Vuonna 1995 tämä sopimus korvattiin Euroopan unionin ydinaseettomien jäsenvaltioiden, Euroopan unionin safeguards-direktoriaatin (Euratomin) ja IAEA:n välisellä sopimuksella. Suomessa valvontaa hoitaa Säteilyturvakeskus (STUK).

Polttoainenipuista on pidettävä kirjaa, jotta joka hetki tiedetään, missä ne sijaitsevat. On tunnettava myös jokaisen polttoainesauvan käyttöhistoria (esim. paikka ja aika reaktorissa). Käyttöhistoriasta voidaan laskea koostumus, joka voidaan varmistaa myös näytteenotoilla.

Voimayhtiön on raportoitava toiminnastaan Säteilyturvakeskukselle, joka toimittaa tiedot edelleen IAEA:lle. Säteilyturvakeskus, Euratom ja IAEA tarkastavat voimaloiden ydinmateriaalit vähintään joka kolmas kuukausi. Kerran vuodessa polttoaineen vaihdon yhteydessä tehdään lisäksi perusteellinen inventaario.

Tarkka kirjanpito ja raportointi ovat valvonnan lähtökohtia. Lisäksi IAEA ja Euratom ovat asentaneet esim. reaktorihalleihin valvontakameroita, joiden tarkoitus on paljastaa mahdolliset raportoimattomat ydinainneiden siirrot. Sinettien avulla voidaan paljastaa myös ilmoittamaton käynti valvottavassa kohteessa. Raportoitujen tietojen varmentamiseksi tehdään mittauksia, ja tarvittaessa voidaan ottaa näytteitä ja analysoida ne laboratoriossa.



### 3. TIETOTEKNIIKAN NYKYTILANNE YDINVOIMALOISSA

Vaikka uusiakin laitoksia suunnitellaan, ovat vanhat laitokset enemmistönä. Niiden käyttöikää pyritään jatkamaan mahdollisimman pitkälle. Suuri osa on siinä iässä, että merkittäviä uudistuksia tarvitaan myös tietotekniikassa. Koska suuria muutoksia ei voida tehdä kerralla, on olemassa olevat järjestelmät ja toimintatavat otettava huomioon tietojärjestelmien kehittämisessä. Siksi tässä luvussa esitellään tietotekniikan nykytilaa ja havaittuja kehitystarpeita.

#### 3.1 Nykyisin käytössä oleva tietotekniikka

Nykyistä tilannetta voidaan luonnehtia lyhyesti seuraavasti:

- Laitoksilla on tehty melko paljon omaa kehitystä, tyypillisesti relaatiotietokantaohjelmistojen ja niiden sovellustyökalujen avulla. Suuntana on kuitenkin valmisohjelmistojen käyttö.
- Toimivilla laitoksilla järjestelmät ovat syntyneet pitkän ajan kuluessa. Osa on vanhoja ja niiden ylläpidossa tarvittava tuki on alkanut joiltakin osin huonontua.
- Käytössä on paljon erillisjärjestelmiä ja niiden välisiä räätälöityjä rajapintoja sekä erilaisia käyttöliittymiä.
- Sähköposti- ja Intranet-verkkoratkaisujen suhteen on oltu melko varovaisia, lähinnä tietoturvasyistä.

Ydinvoimaloilla sovellettava tietotekniikka voidaan jakaa 2–3 osa-alueeseen (ks. liite C), joita ovat reaaliaikainen prosessin hallinta (control domain) sekä liiketoimintaprosessien tuki (business domain). Jälkimmäisessä voidaan erottaa tuotantotoimintaa tukevat 'operatiiviset tietojärjestelmät' sekä enemmän hallinnolliset sovellukset, kuten rahoitus ja kirjanpito.

Prosessin hallinnan tasolla on vanhoilla laitoksilla käytössä yleensä seuraavan kaltaisia toimintoja:

- Instrumentointi, joka sisältää prosessimittaukset ja prosessilaitteiden ohjaukset, on yleensä toteutettu konventionaalisella tekniikalla ja varmistettu useilla rinnakkaisilla kanavilla. Prosessia ohjataan suurelta osin manuaalisesti valvomon pulpeteista ja pa-

neeleista. Konventionaalaisella tekniikalla toteutetaan (ainakin toistaiseksi) myös erilaiset turvallisuutta parantavat suojausjärjestelmät.

- Prosessin valvonnassa tarvittava käyttöliittymä toimii prosessitietokoneessa, johon on toteutettu mm. graafiset näytöt, hälytykset ja historiatiedon keruu. Näyttöpäätteiden kautta ei voi tehdä ohjaustoimenpiteitä. Ajan myötä prosessitietokoneeseen on lisätty toimintoja, esim. käyttäjän tuki (esim. erikoisnäytöt ja tietokoneella olevat ohjeet), reaktorisydämen valvonta ja analyysi sekä laitoksen tehokkuuden laskenta.
- Kunnanvalvontaan liittyy erillisiä järjestelmiä, jotka on ainakin osittain liitetty prosessitietokoneeseen. Pyörivien koneiden kuntoa seurataan värähtelyvalvonnalla. Vuotojen tunnistamiseen on olemassa mittausjärjestelmiä. Prosessitietokoneen avulla seurataan rakenteisiin kohdistuvia rasituksia. Prosessitietokoneessa voi olla myös mallipohjaista vikojen tunnistamista.
- Ympäristön tilaa (säteilyä, sääolosuhteita) seurataan sekä laitoksen sisällä että sen ympäristössä esim. PC-pohjaisilla mittausjärjestelmillä. Huonetiloja valvotaan myös paloilmoinjärjestelmillä ja kulunvalvonnalla.

Lisäysten myötä tietokonejärjestelmistä, erityisesti prosessitietokoneesta, on tullut laitoksen toiminnan kannalta tärkeitä. Ilman niitä prosessin hallinta voi olla hankalaa, vaikka se periaatteessa voidaan tehdä konventionaalisen instrumentoinnin varassa. Samalla viranomaiset ovat alkaneet kiinnittää huomiota tietokonejärjestelmien luotettavuuteen ja turvallisuuteen.

Automaatiojärjestelmien alueella ydinvoimateollisuus ei ole toistaiseksi soveltanut uutta digitaalista tekniikkaa yhtä nopeasti kuin konventionaaliset teollisuudenalat. Tärkeimpiä syitä ovat turvallisuusvaatimukset ja niistä johtuva varovaisuus sekä se, ettei uusia laitoksia ole viime aikoina paljontaan rakennettu (Wahlström et al. 1999). Ohjelmoitavien järjestelmien luonteenpiirteet, kuten monimutkaisuus ja ennakoimattomuus virhetilanteissa, tekevät niiden luotettavuuden osoittamisen ja siten järjestelmien lisensoinnin vaikeaksi. Myös nopea kehitys rajoittaa käyttökokemusten kertymistä ja luottamuksen saavuttamista kaupallisten tuotteiden soveltuvuuteen. Koska ydinvoimasovelluksia on lukumääräisesti melko vähän, tarvitaan ratkaisuja, joista on saatu riittävästi kokemusta muilla teollisuudenaloilla.

Nyt tilanne on muuttumassa (Wahlström et al. 1999). Olemassa olevien laitosten instrumentointi on tulossa ikään, jossa sen viat alkavat lisääntyä eikä jatkuvaa tukea valmistajien taholta ole välttämättä saatavissa. Myös lisääntyvät vaatimukset synnyttävät tarpeita, joiden toteuttamiseen digitaalinen tekniikka antaisi hyvät mahdollisuudet. Tästä syystä automaation uudistushankkeita on vireillä ja toteutettukin monilla laitoksilla. Uusia

laitoksia tarjottaessa ja rakennettaessa digitaaliset järjestelmät ovat paremminkin sääntö kuin poikkeus.

Ydinvoimalan operatiivisen tason tietojärjestelmistä voidaan puolestaan luetella seuraavat tyypilliset esimerkit:

- Kunnossapidon tietojärjestelmällä hoidetaan esim. kunnossapitotoimenpiteiden suunnittelu, vikailmoitukset ja työtilaukset sekä kunnossapidon budjetointi ja kustannusseuranta.
- Ostotoiminnot ja varastojen hallinta hoidetaan materiaalihallinnon tietojärjestelmällä.
- Laitoksen omasta henkilöstöstä, kuten myös siellä työskentelevistä ulkopuolisista, ylläpidetään rekistereitä, joihin tallennetaan esim. työjaksotietoja, säteilyannoksia, erilaisia lupia sekä koulutukseen liittyviä tietoja.
- Operaattoreita koulutetaan koulutussimulaattorilla.
- Ydinpolttoaineen ja aktiivisten jätteiden seurantaan on toteutettu erillisiä sovelluksia.
- Kemiallisten ja radiologisten näytteiden ottoa ja analyysien tuloksia hallitaan laboratoriotietojärjestelmällä (LIMS).
- Projektien (myös seisokkiaikataulujen) suunnitteluun ja hallintaan sovelletaan yleensä erillisiä kaupallisia ohjelmistoja.
- Tekninen dokumentaatio perustuu vielä suurelta osin paperiin. Piirustuksia ollaan monilla laitoksilla siirtämässä (vähitellen muutosten myötä) sähköiseen muotoon. Ohjeistot, muistiot ym. tekstidokumentit laaditaan yleensä tekstinkäsittelyohjelmilla, mutta jakelu tapahtuu vielä osittain paperilla (mm. saatavuus häiriötilanteissa on tärkeää). Käytössä tosin on jonkin verran dokumenttienhallintaohjelmistoja. Paperi on kuitenkin toistaiseksi ainoa virallinen tallennusmuoto.
- Monille operatiivisille sovelluksille yhteinen, keskeinen tietovarasto on laitostietokanta, joka määrittelee esim. järjestelmät, rakennukset, komponentit, nimikkeet jne. sekä niiden erilaiset ominaisuudet ja luokitukset.

Hallinnollisiin tietojärjestelmiin kuuluvat mm. taloushallinnon ja henkilöstöhallinnon järjestelmät. Tietotekniseen infrastruktuuriin kuuluvat tyypillisesti UNIX- ja Windows NT-pohjaiset palvelimet, toimistoissa käytettävät PC:t ja Windows-käyttöjärjestelmä, paikallisverkko, tekstinkäsittely, sähköposti jne. Laitoksella voi olla useita satoja työasemia. Sähköposti on muodostumassa tärkeäksi tiedonvaihtokanavaksi myös laitoksen si-

sällä. Internetiä on tuotu laitokselle varoen. Intranetiä käytetään esim. yleisten dokumenttien jakeluun. Turvallisuusvaatimukset johtavat usein siihen, että prosessin kannalta tärkeät järjestelmät pidetään kokonaan erillään hallinnollisista järjestelmistä ja ulkopuolisesta Internetistä.

Tietojärjestelmät perustuvat tavallisesti client-server-arkkitehtuuriin ja relaatiotietokantoihin, joiden varaan on rakennettu paljolti omia sovelluksia. Näiden ylläpito voi kuitenkin osoittautua työlääksi. Vanhoille laitteille ja sovelluksille ei enää löydy tukea. Ohjelmistojen integrointi räätälöimällä on hankalaa ja vaatii jatkuvia päivityksiä. Tästä syystä nykyisin pyritäänkin käyttämään standardoituja laite- ja ohjelmistoalustoja sekä valmisohjelmistoja aina, kun se on mahdollista. Yksi etenemistapa on hankkia sopivimmat ja parhaat (best of breed) ohjelmistot ja yhdistää ne itse toimivaksi kokonaisuudeksi. Toinen keino on tukeutua yhteen kokonaistoimittajaan, joka voi ratkaista suurimman osan tarpeista yhtenäisellä järjestelmällä.

## **3.2 Tietotekniikkaan liittyviä kehitystarpeita**

Tähän kohtaan on kirjattu joukko ongelmia ja kehitystarpeita, jotka ovat tulleet esiin projektin haastatteluissa ja keskusteluissa. Kaikki eivät liity pelkästään tietotekniikkaan. Ryhmittelyn pohjana käytettiin luvussa 2 esiteltyjä ydinvoimalan toimintaprosesseja.

### **3.2.1 Laitoksen johtaminen**

Laitosten johtamisen kannalta suurimmat muutokset ovat liittyneet koko liiketoimintakentän muutoksiin. 1970-luvulla laitokset nähtiin strategisina resursseina ja niitä käyttävät yritykset yhteiskunnan tärkeinä tukipilareina. Tänäpäin sähköhuolto on vapautettu ja voimayhtiöt ovat pakotettuja kilpailemaan markkinatalouden ehdoilla. Kannattavuuteen kohdistetaan koko ajan tiukkenuvia vaatimuksia, jotka tarkoittavat mm. sitä, että tarvitaan tarkempia ja luotettavampia tietoja koko toiminnasta. Turvallisuusriskien rinnalla taloudelliset riskit ovat nousseet johtamisen kannalta tärkeään asemaan.

Toinen johtamisen kannalta suuri muutos on tapahtunut yhteiskunnassa ja johtamisfilosofioissa. Kun ennen johtaminen oli huomattavasti auktoritaarisempaa, on tänäpäin totuttu suurempaan avoimuuteen ja päätösten delegointiin.

Kolmas muutos, joka välillisesti näkyy laitoksen johtamisessa, on yhteiskunnan suhtautuminen ydinvoimaan. Kun muutama vuosikymmenen sitten ydinvoimaa pidettiin teknologian huippuna ja koko yhteiskunnan etuja ajavana, niin tänäpäin ydinvoiman käyttöön liittyy monenlaista ristiriitaa. Tämä on johtanut siihen, että laitosten johtoa

tarkkaillaan huomattavasti enemmän tiedotusvälineiden ja erilaisten vastustusryhmien taholta.

Laitoksen turvallisuuden, tehokkuuden ja pitkän käyttöiän varmistaminen edellyttää jalostetun tiedon saamista vallitsevasta tilanteesta (esim. tunnuslukuja), asioiden tärkeysjärjestyksen määrittelemistä (kustannukset, riskit) sekä systemaattista päätöksentekoa. Kymmenistä tai jopa sadoista projekteista rakentuvia kehityskulkuja tulisi voida hallita kokonaisuutena pitkällä aikajänteellä. Nykyinen tietotekniikka ei kaikilta osin tue näitä tehtäviä.

### 3.2.2 Laitoksen käyttö

Ydinvoimalan käytön osalta voidaan nostaa esiin seuraavia kehitystarpeita:

- Prosessitietokoneella toteutetaan monia päivittäisessä operoinnissa tarvittavia toimintoja, joita operaattorit ovat tottuneet hyödyntämään. Näistä onkin tullut varsin tärkeitä, joskaan ei turvallisuuskriittisiä. Viranomaiset ovat kuitenkin kiinnostuneet asiasta ja asettavat luultavasti lisävaatimuksia tulevaisuudessa. Ei-kriittiset toiminnot ja osajärjestelmät tulisi siis pitää erillään kriittisistä, eli kyseessä on tietojärjestelmien kokonaisarkkitehtuuri. Toisaalta asia liittyy suunnittelumenetelmiin. Eri maiden luokitukset poikkeavat toisistaan ja kaipaavat uudistamista. Voimayhtiöiden puolella tarvitaan systemaattisia menettelyitä, joilla luotettavuudesta ja suunnittelun laadusta voidaan varmistua.
- Hälytysjärjestelmä on eräänlainen 'tietojärjestelmä', johon liittyviä ongelmia ei vieläkään ole ratkaistu, esim. priorisointia, suodatusta, kuittausta, jatkokäsittelyä jne. Tosin hälytysten käsittely on normaali osa moderneja prosessiautomaatiotuotteita (DCS, PLC) ja standardeja (kenttäväylä, OPC jne.), joten tulevaisuudessa asia hoitunee automaation, ei niinkään tietojärjestelmien puolella. Tosin hälytysten jatkojalostus ja analysointi tapahtunee muualla. Hälytykset ovat osa laajempaa ongelma-aluetta, häiriötilanteiden hallintaa.
- Valvomon käyttöliittymissä on kehittämistarpeita, esim.
  - yhtenäinen käyttöliittymä (usein tosin mahdotonta eri-ikäisten järjestelmien vuoksi)
  - uusien tekniikoiden hyödyntäminen, esim. suurkuvanäytöt,
  - pienet aputoiminnot, joita nykyisin joudutaan tekemään kynällä ja paperilla,

- operaattorin tuki, esim. tietokonetuetut käyttöohjeet,
  - elektroninen käyttöpäiväkirja
  - suunnittelutietojen ja -dokumenttien tuominen sopivassa muodossa valvomoon, itseopiskelupaketit.
- Ei-toivottujen käyttötapauksien (häiriöiden, pikasulkujen jne.) raportoimiseen ja jatkokäsittelyyn tarvittaisiin tietoteknistä tukea. Tämä liittyy myös viranomaistiedonvaihtoon. Vikaraportointi lienee nykyisin paremmin hoidettu. Myös käyttötapaukset pitäisi voida raportoida helposti (esim. ohjatun kirjoittamisen tai automaattisten liitetietojen avulla) ja ne pitäisi voida linkittää laitos tietoihin (hakusanoilla). Kertyneitä raportteja pitäisi voida analysoida kehityskohteiden tunnistamiseksi.

### 3.2.3 Ylläpito ja kehittäminen<sup>3</sup>

- Muutoshankkeiden ongelma on määrittelyiden teko ennen tilausta. Aina ei määritellä tarkkaan, mitä halutaan, ja toisaalta uuden tekniikan henkilöstölle asettamia vaatimuksia (esim. koulutusta) on vaikea ottaa huomioon. Olisi siis tarpeen selvittää, millainen on oikea määrittelyn laajuus ja mitä osaamista tarvitaan tilaajan puolella.
- Viranomaisen valvoo muutoksia tekemällä laitosmuutoksia, tarkastamalla suunnitteluaineiston ennakkoon sekä valvomalla käyttöönottoja. Tiedonvaihdossa on ongelmia. Esim. aineistoa tulee useissa osissa, ja sen laatu vaihtelee (Simola 1997).
- Huoltoa ja määräaikaishuoltoja pitäisi voida tehdä vain laitteiden todellisen kunnan mukaan (condition based preventive maintenance). Keinoja olisivat esim. kunnonvalvonta (sekä muut samantapaiset, kuten early fault detection ja kuormitusseuranta), käyttöaikalaskenta sekä toimenpiteiden optimoinnissa käytettävät mallit.
- Nykyisin useimmilla ydinvoimaloilla kalibroidaan manuaalisesti satoja instrumentteja vähintään kerran vuodessa (NUREG/CR-5501 1988). Yleensä vain pieni osa niistä on ryöminyt toleranssien ulkopuolelle. Koska suurin osa ongelmista aiheutuu inhimillisistä virheistä, on tarpeettomalla kalibroimisella myös taipumus alentaa laitoksen käytettävyyttä. Tavoitteena on karsia suuri osa tästä työstä optimoimalla kalibrointivälejä sekä käyttämällä kehittyneitä algoritmeja ja on-line-kalibrointia.

---

<sup>3</sup> Luonteenomaista Suomen tilanteelle on, että voimayhtiöillä on vain kaksi samanlaista yksikköä. Tämä ei anna kovin paljon mahdollisuuksia ratkaisujen uudelleenkäytölle. Tilanne on toinen esim. Ranskassa, jossa Electricite de France (EdF) pyörittää kymmeniä yksiköitä.

- Laitostietokanta on usein tehty alun perin lähinnä kunnossapidon tarpeisiin. Se voi määritellä esim. koneet, laitteet ja niiden sijainnin sekä rakennukset ja huoneet mutta ei välttämättä kaikkia tyyppisiä ja yksilöitä eikä järjestelmien hierarkiaa. Käsitteet on määritelty joissakin tapauksissa hieman hämärästi.
- Viranomaisten kanssa käydään keskusteluita ja kirjeenvaihtoa. Esiin tulleita ongelmia ja sovittuja tehtäviä samoin kuin tiedonvaihdon historiaa tulee voida seurata ('asianhallinta').
- Käyttöön hallinta on tärkeä asia nykyisillä laitoksilla. Tähän liittyy tarve analysoida laajasti laitoksella kertyvää tietoa. Siihen ei ole juuri saatavilla valmista tietotekniikkatukea.
- Monimutkaisuus ja turvallisuusvaatimukset edellyttävät henkilöstöltä korkeaa ammattitaitoa, jota on seurattava ja kehitettävä jatkuvasti. Vanhoilla laitoksilla on ongelmana henkilöstön ikääntyminen ja siirtyminen eläkkeelle, jolloin kertynyt kokemus siirtyy muualle. Myös laitoksella työskentelevillä on paljon osaamista, jota ei osata täysin hyödyntää. Tarvittaisiin siis sekä organisatorisia että tietoteknisiä ratkaisuja, joilla tätä tietämystä voitaisiin koota, jakaa ja hyödyntää<sup>4</sup>.
- Käyttö- ym. ohjeisto on yleensä sähköisessä muodossa tekstinkäsittelyllä tehtynä. Puutteita on esim. CAD-kaavioiden mukaansaamisessa sekä viittausten automaattisessa tarkistamisessa. Ohjeiden suorittaminen ja raportointi perustuvat yleensä paperidokumentteihin, joten tietokonetuetuille käyttöohjeille olisi tarvetta.
- Seisokkien aikana käsitellään suuria paperimääriä. Tämä pitäisi voida hoitaa suurelta osin sähköisesti.
- Ihmisten välinen kommunikointi on tärkeää varsinkin seisokkien aikana, jolloin paikalla on paljon ulkopuolisia. Nykyisin käytetään puhelimia, radiopuhelimia ja haku-laitteita, joiden kuuluvuusalue voi olla rajoitettu. Myös ihmisten sijaintia laitoksen luokitelluissa tiloissa tulisi voida seurata.
- Erotukset (tag-off, lock-off) ovat osin ennalta määriteltyjä kunnossapitojärjestelmässä, mutta niiden toteutus on manuaalista. Merkinnät hoidetaan esim. kentälle ja valvomon paneelisiin kiinnitettävillä lapuilla. Näin tietoja ei ole mahdollista saada prosessitietokoneelle.

---

<sup>4</sup> Osa tietämyksestä voidaan upottaa erilaisiin tukijärjestelmiin. Tällaisissa ratkaisuissa nousee esiin kysymys suunnittelijan vastuusta, jos on olemassa vaara, että käyttäjä noudattaa sokeasti tukijärjestelmän antamia neuvoja.

### 3.2.4 Hankinnat ja logistiikka

- Jotta turhia työvaiheita voitaisiin karsia, tulisi tarjouspyynnöt ja joissakin tapauksissa valmiit tilaukset voida lähettää sähköisessä muodossa toimittajille. Paperien käsittely työllistää suhteellisesti ottaen erityisesti massatuotteiden ja tarvikkeiden hankinnoissa. Suuremmissa ostoissa korostuu laatu, esim. toimittajien auditoinnit.
- Varastotietokannat eivät täysin tue kaikkia tarpeellisia toimintoja kuten merkittävien laiteyksilöiden ja materiaalien seurantaa.

### 3.2.5 Tukitoiminnot

Tukipalvelut eroavat melko vähän muusta teollisuudesta. Tietojärjestelmien osalta käytetään pitkälle normaalia toimistoautomaatiota. Toisaalta on tehtäviä, joissa on hyötyä siitä, että järjestelmät integroituvat, jolloin tietojen uudelleensyöttöä ja samalla virheitä voidaan vähentää. Esimerkiksi laskentatoimen sovelluksia ei välttämättä ole integroitu kunnossapitojärjestelmiin. Myös luokitteluissa ja koodeissa voi olla parantamisen varaa, jolloin ei aina tiedetä paljonko erilaiset työt ja uudistukset todella tulevat maksamaan. Myös erilaiset kokouspöytäkirjat laaditaan tavallisina tekstidokumentteina, jolloin niistä joudutaan esim. poimimaan käsin tietoja avoimien, seurattavien tehtävien listoille.



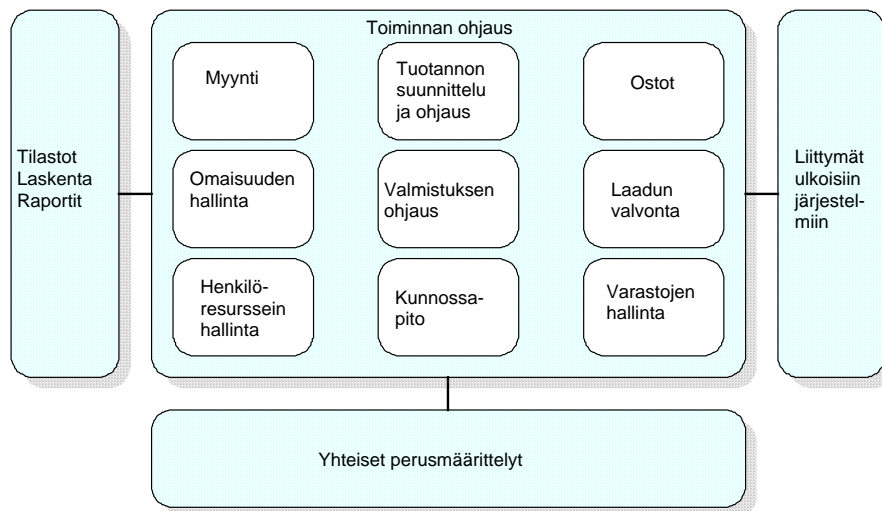
## 4. TIETOTEKNIikka PROSESSITEOLLISUUDESSA

Suuri osa ydinvoimaloiden tietojenkäsittelytarpeista on suunnilleen samoja kuin muilla teollisuudenaloilla. Ydinvoiman erityisvaatimukset ja historia ovat kuitenkin vaikuttaneet siihen, että ydinvoima on ollut hieman erillinen alue, jolla on kehitetty omia räätälöityjä ratkaisuja ja suosituksia. Tietotekniikan nopea kehitys ja suuret kehityskustannukset sekä ydinvoimalan pitkä käyttöikä johtavat kuitenkin siihen, että ydinvoimalaitoksilla on käytettävä mahdollisimman pitkälle standardikomponentteja. Ratkaisuilta vaaditaan myös luotettavuutta, mutta toisaalta ydinvoimaloita on melko vähän eikä niiden piirissä ehdi kertyä riittäviä käyttökokemuksia tuotteiden laadun arvioimiseen. On siis voitava hyödyntää muilla aloilla saatuja kokemuksia. Tästä syystä seuraavassa kuvaillaan joitakin tietotekniikan sovelluksia erityisesti prosessiteollisuuden näkökulmasta.

### 4.1 Toiminnanohjausjärjestelmät

*Toiminnanohjausjärjestelmillä (Enterprise Resource Planning, ERP)* tarkoitetaan yleisesti ottaen tietojärjestelmiä, jotka pyrkivät integroimaan (kattavasti) yrityksen organisaatioyksiköt ja niiden liiketoimintaprosessit. ERP yhdenmukaistaa ja automatisoi yrityksen toimintoja ja tuo tiedot kaikkien ulottuville. Tavoitteena on, että tämä mm. nopeuttaa läpimenoaikoja ja vähentää virheitä. Toiminnanohjausjärjestelmään voi kuulua esim. seuraavia osakokonaisuuksia (kuva 13):

- tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus
- valmistuksen ohjaus
- jakelun hallinta
- varaston hallinta ja logistiikka
- kunnossapito
- tuotetietojen hallinta
- taloushallinto
- ostotoiminta
- henkilöstöressurssien hallinta
- tilausten käsittely
- asiakastietojen käsittely
- laadunhallinta.



Kuva 13. Toiminnanohjausjärjestelmän tyypillisiä rakenneseosia.

Käsite toiminnanohjaus ei liene tarkkaan määritelty eikä sen englanninkielinen vastine kuvaa todellista sisältöä kovinkaan tarkasti. Kyse on laajemmasta liiketoimintaa tukevasta kokonaisuudesta. Tietojärjestelmän kokoonpano on riippuvainen ohjelmistotoimittajasta, eli kyse on tietäntyyppisten ohjelmistotuotteiden luokasta, ei niinkään yhteisesti sovitusta toiminnallisesta jaottelusta (ERP-tuotteisiin sisältyy sekä liiketoiminnan että tuotannon tasolla olevia toimintoja, vrt. liite C). Ohjelmistojen toimittajia on kymmeniä, suuria ovat esim. SAP, Oracle, Baan ja People Soft.

Tämäntyyppisten tietojärjestelmien kehitys lähti aikanaan liikkeelle esim. taloushallinnosta ja varastojen hallinnasta. *Material Requirement Planning (MRP)* kehitettiin 70-luvulla mm. tilausten optimaalista ajoittamista varten. Se laajeni 80-luvulla MRP-II:ksi, joka kattoi jo useimmat valmistavan yrityksen tuotantotoiminnot. Kun näihin lisättiin 90-luvulla projektinhallintaa, henkilöstöhallintoa jne., syntyi lyhenne ERP. Korostuva integroimisen tarve edesauttoi laajojen kokonaisjärjestelmien kehittymistä. Nyt ne ovat laajentumassa yritysten sisältä yritysten välisiin verkostoihin. Puhutaan kokonaisten *toimitusketjujen hallinnasta (Supply Chain Management, SCM)*, joka optimoi yritysten mahdollisesti erilaisten toiminnanohjausjärjestelmien kokonaisuutta raaka-ainetoimittajista loppuasiakkaaseen. Kehityksen kohteita ovat esim. Internet-tekniikka, yritysrajat ylittävät työnkulkusovellukset, elektroninen kaupankäynti ja älykkäät agentit. Erityisesti näillä alueilla vanhat toimittajat ovat kohdanneet kilpailua 'ketterämpien' Internet-ohjelmistotalojen taholta.

Järjestelmien toteutus on perustunut asiakas-palvelin (client/server) arkkitehtuuriin ja relaatiotietokantoihin. Internet-ratkaisut ovat muuttamassa tilannetta. Käyttöliittymänä

on selainohjelma, ja tietokantoja ja sovelluksen logiikkaa hallitsee *sovelluspalvelin* (application server). Verkottuneessa tuotannossa yritysten sovelluspalvelimet keskustelvat keskenään. Useat toimittajat tukevat esim. ratkaisuja, joissa alihankkija voi ottaa yhteyden päämiehen järjestelmään ja katsella avoimia tilauksia ja kuitata töitä tehdyksi. Järjestelmät tukevat myös EDI-viestien välitystä, joka on suurille volyymeille tarkoitettu viestiformaatti. EDI:n ongelma on kalleus. Nyt odotetaan, että XML:stä (eXtensible Markup Language) olisi apua järjestelmien välisessä tiedonsiirrossa. *Sovellusten vuokraus* (application hosting) ja käyttö yli Internetin on myös jossakin määrin yleistymässä. Näin yrityksen ei tarvitse ostaa kalliita toiminnanohjausjärjestelmiä vaan se voi vuokrata tarvittavaa toiminnallisuutta palveluntarjoajalta.

Toiminnanohjausjärjestelmä kootaan tyypillisesti yhden toimittajan moduuleista, jotka räätälöidään (konfiguroidaan) asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Jotkut toimittajat ovat koonneet kaikki tarvittavat piirteet samaan pakettiin, toiset ovat kehittäneet perustuotteestaan erityispaketteja eri sovellusalueille. Pienillä toimittajilla on usein vain yksi standardipaketti ja asiakas saa kaikki samalla kertaa. Toimintaprosessien ja työnkulun sääntöjen määrittelyyn on tarjolla työkaluja. Standardiratkaisuja on voitu koota valmiiksi liiketoimintaolioiksi (business object). Ohjelmistomodulien toiminnot määritellään parametrien avulla. Ulkoisten sovellusten liittämiseen voidaan käyttää erilaisia ohjelmistorajapintoja.

Toiminnanohjausjärjestelmän käyttöönotto on vaativa hanke, joka voi kestää vuosia ja maksaa kymmeniä, jopa satoja miljoonia markkoja yrityksen koosta ja hankkeen laajuudesta riippuen. Kokemukset viittaavat siihen, että liiketoimintaprosessien uudistamiseen liittyvät laajat tietotekniikkahankkeet epäonnistuvat varsin usein. Yritysten panostukset tietotekniikkaan eivät näytä korreloivan menestyksen kanssa. Toimintaprosessien analysointi ja muuttaminen, järjestelmätuotteiden arviointi ja räätälöinti sekä laajan projektin hallinta vaativat asiantuntemusta, jota varsinkaan pienillä yrityksillä ei yleensä ole. Konsultoinnista ja järjestelmien räätälöinnistä onkin muodostunut melkoista liiketoimintaa.

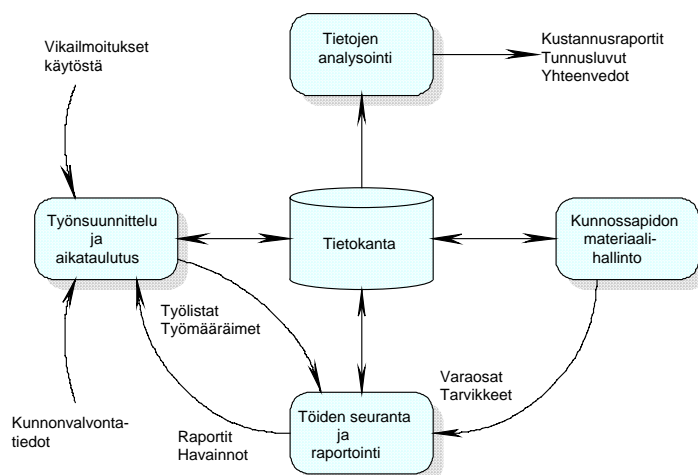
Rahallisia tuottoja voidaan odottaa vasta pitkähkön ajan kuluttua järjestelmän käyttöönotosta. Kustannuksia aiheuttavat mm. nykytilanteen analyysi, tietomallien määrittely, järjestelmän konfigurointi, olemassa olevien tietokantojen muuntaminen, koulutus, ylläpito sekä henkilöstö- ym. riskit. Toimittajaa valittaessa on harkittava, miten hyvin ja miltä osin tuote tukee omaa liiketoimintaprosessia. Yleensä ERP edellyttää myös toimintatapojen parantamista ja niiden mukauttamista valittuun kaupalliseen tuotteeseen, päinvastainen on vain harvoin järkevää. Usein ERP-järjestelmät (ainakin isommat) tukevat useita erilaisia toimintatapoja ja edustavat jossakin määrin oman alansa "Best Practices-käytäntöjä", jolloin on järkevää tutkia kriittisesti myös omaa toimintatapaa. Pienelle yritykselle helpoin ratkaisu voi olla juuri mukautuminen toimittajan valmiiseen standardiratkaisuun. Myös kansainvälisesti toimittaessa voi vaihtoehtoja olla varsin vähän.

ERP:n käyttöönotossa voidaan soveltaa erilaisia strategioita. Niistä kunnianhimoisin on korvata kaikki järjestelmät yhdellä kertaa. Toinen ja tyypillisin on aloittaa suhteellisen itsenäisistä organisaatioyksiköistä tai toiminnoista ja integroida niitä vähitellen. Yrityksellä voi olla myös erityistarpeita, joiden vuoksi ERP-tuotteeseen on voitava integroida myös olemassa olevia tai muualta hankittavia sovelluksia.

## 4.2 Kunnossapidon tietojärjestelmät

*Kunnossapidon tietojärjestelmällä* hoidetaan kunnossapitoon, materiaalihallintoon, kustannuslaskentaan ja resurssien käyttöön liittyviä tehtäviä. Järjestelmän toiminta kohdistuu laitteisiin, laitehistoriaan, varaosiin, varastoihin, huoltoon, töiden suunnitteluun, korjauksiin ja asiakirjoihin. Järjestelmän toiminnot, tietojen parempi saatavuus, reaaliaikaisuus ja yhteiskäyttömahdollisuudet helpottavat kunnossapitorutiineja ja tehostavat tuotantolaitteiden käyttöä. Kunnossapidon tietojärjestelmä sisältää mm. seuraavia kokonaisuuksia (kuva 14):

- tietokanta
- kunnossapitotöiden suunnittelu (ennakkohuollot, seisokit, vikojen korjaukset)
- kunnossapitoon liittyvä materiaalihallinto
- kunnossapitotöiden suorituksen hallinta
- vika- ja kunnonseuranta sekä kunnossapidon tunnusluvut
- kunnossapitokustannusten seuranta.



Kuva 14. Kunnossapidon tietojärjestelmän keskeisiä toimintoja.

Kunnossapidon tietojärjestelmien käyttö edellyttää järjestelmällisyyttä. Määrittelyillä taataan tietojen haettavuus ja ylläpidettävyys. On muodostettava osastot, kokoonpanot, kustannuspaikat, prosessit, linjat sekä tarvittavat hierarkiat. Laitenumerointiin määritellään säännöt, joiden mukaan laitteiden yksilöiminen, paikka prosessissa tai rakennuksessa ja liittyminen suurempaan kokonaisuuteen on mahdollista. Kun tietorakenne on määriteltä, on vuorossa tietojen syöttö tai siirto olemassa olevista järjestelmistä. Tietokanta onkin yleensä järjestelmän keskeisin ja suurin osuus. Siinä on tallennettava esim. (Aalto 1997):

- laitteiden ja järjestelmien tyyppitiedot ja tekniset ominaisuudet
- piirustukset ja muut tekniset dokumentit
- varaosatieidot
- sijaintitiedot
- toimittajien yhteystiedot
- toimenpiteiden ja kunnonvalvonnan historiatiedot.

Koko järjestelmän tavoitteet lähtevät yrityksen tavoitteista, tietotekniikkastrategiasta ja kunnossapitostrategiasta. Kunnossapitojärjestelmän tulee olla osa koko yrityksen tietotekniikkaa. Tätä voidaan edistää rakentamalla yhteydet tehtaan muihin tietojärjestelmiin:

- tehdasverkkoon (kunnossapito-ohjelmisto on käytössä kaikkialla)

- avainkoneiden ja -järjestelmien ohjauksiin (tunnusluku- ym. tiedot saadaan kerätyksi automaattisesti)
- kustannuslaskentaan ja kirjanpitoon (vakuusarvoluettelot, osastokohtaiset kunnossapitokustannukset)
- palkkalaskentaan (kunnossapidon työkustannusten seuranta ja kohdentaminen)
- tuotantojärjestelmään (käytettävyyden mukainen kapasiteetin laskenta ja töiden ajoitus)
- laatujärjestelmiin (koneiden laaduntuottokyvyn automaattinen seuranta)
- yhteydet maahantuojien varaosatiekantoihin (tehostaa varaosahankintaa ja pienentää sitoutunutta pääomaa).

Näitä liitännöitä on jouduttu melkoisesti räätälöimään. Nykyisin tilannetta helpottavat standardoidut tiedonsiirtorajapinnat ja Internet sekä laajat toiminnanohjausjärjestelmät, jotka sisältävät myös kunnossapidon toimintoja.

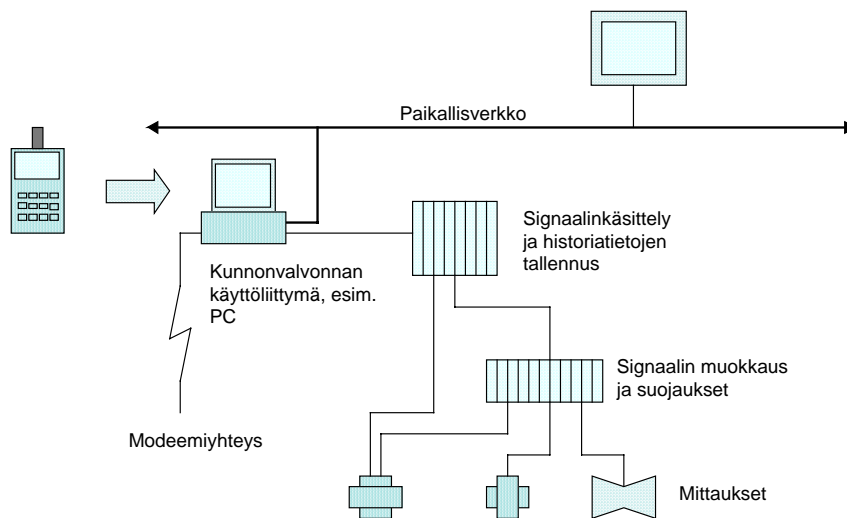
Kunnossapidon tietojärjestelmän tulee olla niin rakennettu, että käyttäjät voivat helposti muodostaa raportteja ja tunnuslukuja ja että erilaiset haut ja tiedon järjestelyt voidaan tehdä vapaavalintaisesti. Graafisten käyttöliittymien tulo entisten merkkipohjaisten tilalle on madaltanut käyttökynnystä. Multimedian avulla voidaan antaa entistä havainnollisempia ohjeita esim. huoltotoimenpiteiden suorittamisesta.

### **4.3 Kunnonvalvontajärjestelmät**

Kunnonvalvonnalla pyritään paljastamaan ennakolta vaurioita, jotka kehittyvät hitaasti ja ovat mitattavissa. Ennakointi painottuu koneiden värähtelyiden valvontaan sekä voiteluaineanalyysiin. Muita menetelmiä ovat akustinen emissio sekä mallipohjainen vika-diagnoosi. Myös tavanomaisia prosessimittauksia, kuten lämpötilaa ja painetta käytetään jonkin verran.

Koneiden kuntoa voidaan valvoa joko kannettavilla mittalaitteilla tai kiinteästi asennetuilla on-line kunnonvalvontajärjestelmillä. Näistä on myös välimuotoja. Kannettavia mittalaitteita varten voidaan asentaa kiinteitä antureita esim. hankaliin paikkoihin. Kiinteästi asennetun järjestelmän tietokantaan voidaan syöttää kannettavilla mittareilla kootuja tietoja, jopa öljyanalyseja. Esimerkki järjestelmän rakenteesta on esitetty kuvassa 15. Kunnonvalvontajärjestelmät ovat yleensä erillisiä järjestelmiä, joiden käyttö edellyttää erikoiskoulutusta. Käyttöliittymiä tarvitaankin kahdentasoisia, yksinkertaistettuja käyttöhenkilöstölle ja laajoja asiantuntijoille.

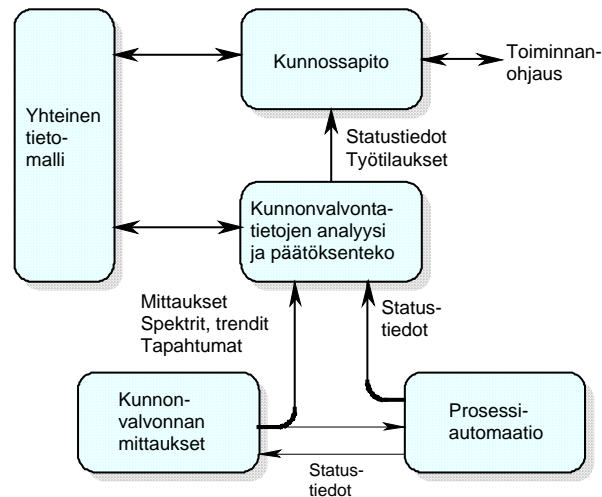
Kunnonvalvontajärjestelmään voidaan siirtää automaatiojärjestelmän tietoja, esim. lämpötiloja ja pyörimisnopeuksia. Toisaalta automaatiojärjestelmän näyttöihin voidaan tuoda jalostettuja kunnonvalvonnan tietoja. Myös automaatiojärjestelmät ovat kehittyneet niin, että niiden avulla on mahdollista toteuttaa esim. mallipohjaista vikadiagnostiikkaa. Tosin näitä mahdollisuuksia ei ole kovin paljon hyödynnetty, osittain siksi, että kehittyneiden algoritmien soveltaminen vaatii koulutettua suunnittelu- ja ylläpitohenkilökuntaa. Älykkäiden kenttälaitteiden osalta tilanne on tosin paranemassa.



Kuva 15. Tyypillinen kunnonvalvontajärjestelmän rakenne.

Tiedonsiirto muihin järjestelmiin kuten prosessiautomaatioon ja kunnossapidon tietojärjestelmään joudutaan yleensä räätälöimään. Tähän ongelmaan etsii ratkaisua *Machinery Information Management Open Systems Alliance* eli *MIMOSA* (MIMOSA 1999), jossa on mukana yli 50 toimittaja- ja käyttäjäorganisaatiota. Tavoitteena on määrittellä yhteinen tapa koota ja käsitellä kunnonvalvontaan liittyviä tietoja. Valmistajasta riippumaton relaatiomalliin perustuva käsiterakenne ja tietojen esitystapa kytkee toisiinsa kunnonvalvonnan mittaukset, prosessiautomaation, tietojen analysoinnin sekä kunnossapidon tietojärjestelmät, kuva 16. Tietomalli käsittää esim. laitoksen hierarkkisen ositukset, mittauskohteet, mittaustulokset ja hälytykset. Versiossa 2 mukaan tulevat mm. näytteiden analysointitiedot, laajat binääritiedostot (esim. lämpökamerakuvat ja videotallenteet) sekä kunnossapitotöihin liittyvät tiedot. Kehitteillä tai suunnitteilla on rajapintoja lukuisiin standardeihin ja ohjelmistoratkaisuihin. Tällaisia ovat esim. *OLE for Process*

Control (OPC), Product Data Representation and Exchange (STEP) ja Open Applications Group (OAG).



Kuva 16. MIMOSAn toiminnallisia periaatteita.

Kunnonvalvonta vaatii yleensä erikoismittauksia ja mittaustulosten analysointia. Tämä edellyttää erikoisosaamista. Asiantuntijoita ei riitä kaikkialle, esim. silloin, kun yrityksellä on useita laitoksia eri paikkakunnilla. Usein kunnonvalvonnan kohteet ovat myös hankalasti saavutettavia, esim. silloin kun kyseessä on merellä olevan laivan dieselmootori tai kun valmistajan on vastattava toiselle puolelle maailmaa asennetun laitteen luotettavasta toiminnasta.

*Etäkunnonvalvonnan* tavoitteena on toisaalta saada asiantuntijoiden käyttöön tarvittavat mittaus- ja historiatiedot sekä toisaalta jakaa määrältään rajallisia asiantuntijapalveluita useille eri käyttäjille. Kyseeseen voi tulla esim. yhden yrityksen keskitetty 'analysointikeskus' tai laitetoimittajan asiakkailleen tarjoama palvelu. Samalla kun kunnossapitoa ulkoistetaan, voidaan ostaa myös analysointipalveluita erilliseltä riippumattomalta palveluyritykseltä.

Yksinkertaisimmillaan mittaustietoja voidaan siirtää taltioilla tai sähköpostitse laitoksen aloitteesta. Varsinainen etäkunnossapito edellyttää kuitenkin teholtaan ja tietoturvaltaan riittävää tiedonsiirtoa, jossa asiantuntija voi kytkeytyä laitoksen järjestelmiin. Sovellukset on voitava liittää luotettavalla tavalla laitoksella oleviin kunnonvalvonta- ja automaatiojärjestelmiin sekä historiatietojen osalta kunnossapidon tietojärjestelmiin. Myös mukana olevien yritysten on toimittava läheisessä ja luottamuksellisessa yhteistyössä.



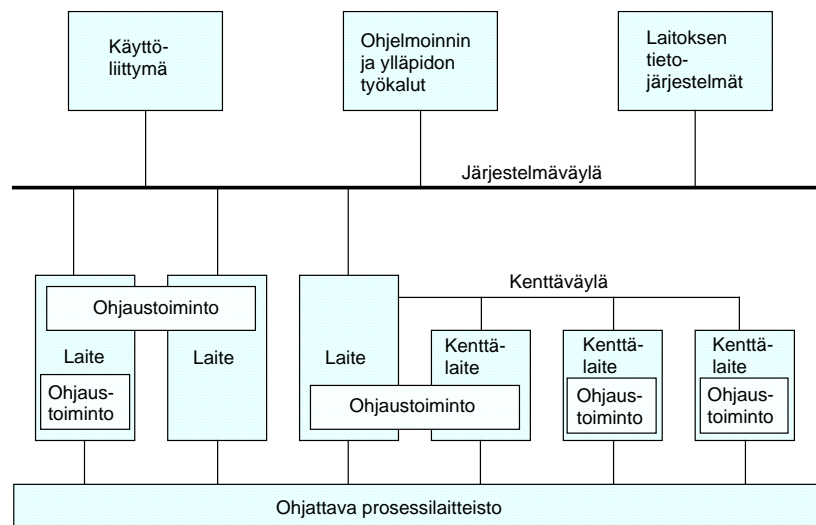
Tämä tarjoaa esim. laitevalmistajalle keinon saada tarvittavaa käyttökokemustietoa omista tuotteistaan. Tiedonsiirron kapasiteettivaatimukset eivät välttämättä ole kovin suuret, mutta erilaiset liitännät vaativat vielä nykyisin räätälöintiä. Ensimmäinen askel voi olla yhden laitoksen järjestelmien liittäminen paikallisverkkoon, jolloin tietoihin päästää käsiksi miltä tahansa verkkoon liitetyltä koneelta. Seuraavaksi laitos voidaan kytkeä ulkoiseen verkkoon, jolloin varsinainen etätoiminta tulee mahdolliseksi. Ydinvoimateollisuudessa tällaisia sovelluksia on toteuttanut esim. Nuclear Electric Ltd (Mäki 1998).

Perusratkaisussa asiantuntija saa tarvitsemansa lähtötiedot, analysoi ne ja toimittaa tulokset laitokselle. Asiantuntija voi myös esim. tallentaa laitosten tietoja omaan tietokantaansa tai laitokset voivat lukea toisten laitosten tietoja. Tämä mahdollistaa laitosten vertailemisen sekä aiempien kokemusten hyväksikäytön. Yksi mahdollisuus on myös se, että etäjärjestelmä lukee ja analysoi laitosten mittautustietoja automaattisesti määrävälein ja hälyttää tarvittaessa.

Ongelmatilanteiden selvittämiseen ja esim. vaativiin huolto- tai korjaustoimenpiteisiin tarvitaan myös ryhmätyötä. Tällaiseen istuntoon voivat osallistua laitoksen työntekijät, asiantuntija ja mahdollisesti laitetoimittaja. Tällöin kyseeseen tulevat esim. videoneuvottelut, dokumenttien jakaminen sekä virtuaalitodellisuus. Toimistossa istuva asiantuntija voi esim. seurata tilannetta videokameroiden avulla, ohjata kameroiden liikettä ja osoittaa muulle ryhmälle kohteita laserosoittimen avulla (Harmo et al. 1999). Ryhmä kommunikoi puheen, videokuvien ja yhteisen 'liitutaulun' avulla. Videokuvaan voidaan yhdistää suunnittelutietoja, ohjeita jne.

## 4.4 Automaatiojärjestelmät

Prosessiteollisuuden automaatiojärjestelmät ovat jo pitkään perustuneet hajautettuun digitaaliseen tekniikkaan, erityisesti DCS-järjestelmiin (Distributed Control System) ja niitä kevyempiin ohjelmoitaviin logiikoihin (Programmable Logic Controller, PLC). Kuva 17 havainnollistaa nykyaikaisen hajautetun järjestelmän arkkitehtuuria. Järjestelmäväylä liittää valvomotietokoneet ja ohjaimet (prosessiasemat, ohjelmoitavat logiikat) toisiinsa. Prosessiliityntä voidaan toteuttaa esim. älykkäillä kenttälaitteilla, hajautetulla prosessiliitynnällä tai perinteisesti tuomalla kenttäsignaalit ristikytkentään ja siitä ohjaimille. Kommunikoinnissa voidaan erottaa tyypillisesti kolme tasoa, normaali paikallisverkko, joka liittää erilaiset tietojärjestelmät toisiinsa, automaation järjestelmäväylä sekä kenttäväylä. Ohjaustoiminnot määritellään parametroimalla ja kytkemällä toisiinsa ennalta määritetyjä moduuleja, esim. toimilohkoja. Turvallisuuden liittyvät (suojaus-) toiminnot toteutetaan erillisillä langoitetuilla tai ohjelmoitavilla järjestelmillä.



Kuva 17. Hajautetun digitaalisen ohjausjärjestelmän rakenne.

Automaatiojärjestelmien ohjelmointi ja tiedonsiirtoratkaisut ovat toistaiseksi olleet valmistajakohtaisia. Alueella on kuitenkin jo vuosien ajan kehitetty erilaisia avoimuutta tukevia standardeja, esim. kenttäväyliä ja ohjelmointikieliä. Viimeaikojen trendi on ollut PC- ja toimistotekniikan sekä tietoverkkojen tulo automaatioon. Valvomoon tuodaan esim. suunnittelutietoja selaimen avulla. Automaatiojärjestelmät voidaan liittää GSM-verkkoon, jolloin hälytykset pystytään reitittämään esim. huoltomiehen puhelimeen. Toinen tekijä on ollut automaatiojärjestelmien integroituminen tehtaan tietojärjestelmien kanssa. Ethernet ja TCP/IP protokolla yleistyvät automaation järjestelmäväylänä, jopa kenttälaitteiden osalta (Schenk et al. 2000).

Kokonaisuutena järjestelmäteknikan muutoksessa voidaankin nähdä kaksi päälinjaa. Toisaalta perinteistä automaatioajattelua edustava DCS-, PLC- ja kenttäväyläteknikoiden kehitys sekä toisaalta integraatio ja yleiskäyttöisen tietotekniikan soveltaminen prosessiautomaatiossa. Seuraavassa tarkastellaan muutamia näistä kehityskuluista.

### *Ohjelmointikieliet*

IEC on jo vuosien ajan kehittänyt standardisarjaa IEC 61131, joka määrittelee ohjelmoitavien ohjauslaitteiden ('programmable controllers') vaatimuksia, tiedonsiirtoa ja ohjelmointikieliä. Erityisesti osa 3, IEC 61131-3 (1993), Programming languages, määrittelee seuraavat kielet:

- käskylista (instruction list)
- tikapuukaavio (ladder diagram)
- toimilohkot (function blocks)

- sekvenssikaavio (sequential function chart, SFC (myös nimellä Grafcet, IEC 60848))
- rakenteinen teksti (structured text, Pascalin tyyppinen).

IEC on määrittelemässä myös ohjausjärjestelmissä ja kenttäväylissä käytettäviä toimilohkoja (IEC 61499, IEC 61804). Ne laajentavat IEC 61131-3:n toimilohkoja mm. *ta-pahtumilla*, jotka ohjaavat lohkon suoritusta. Myös Fieldbus Foundation on määritellyt 30 toimilohkoa, joilla voidaan toteuttaa perussäädöt (Heikkinen 1999).

IEC:n standardoimat kielet ovat nopeasti leviämässä laitevalmistajien ja käyttäjien keskuuteen. Markkinoilla on standardia tukevia ohjelmointiympäristöjä. Tämä sallii laitevalmistajasta riippumattomat määrittely- ja suunnittelutyökalut ja helpottaa sovellusten siirtoa ja uudelleenkäyttöä. Myös laitevalmistajista riippumattomat tahot voivat tarjota valmiskomponentteja. Uudelleenkäyttö tukee periaatteessa myös koeteltujen ohjelmistokomponenttien käyttöä turvallisuuteen liittyvissä sovelluksissa. Tosin luotettavuuden osoittaminen jää lähinnä valmistajien harteille, koska virallista hyväksyvää tahoa ei ole olemassa. Kielten rajoituksina voidaan nähdä, että IEC:n ajatusmalli on melko perinteinen ja että se rajoittuu alatasen ohjauksiin. Esim. käyttöliittymiä se ei tue.

### *Kenttäväylät*

Kenttäväylät liittävät anturit ja toimilaitteet ohjausjärjestelmiin tai tietokoneisiin standardoidulla tiedonsiirrolla. Väylästandardeja on monenlaisia, esim. HART, AS-i, CAN, PROFIBUS, WorldFIP ja Foundation Fieldbus (IEC 61158, EN 50170). Ehkä laajin ja prosessiautomaation tulevaisuuden kannalta merkittävin on Foundation Fieldbus. Tä-mäntyyppisten konseptien keskeisiä piirteitä ovat:

- Eri valmistajien laitteet ovat toiminnallisesti yhteensopivia ja vaihtokelpoisia. Laitteella on oltava tietyt standardiominaisuudet, mutta sillä voi olla myös valmistajakoh-taisia laajennuksia.
- Älykkäät kenttälaitteet voivat mitata ja ohjata useampia suureita.
- Laitteet sisältävät runsaasti itsediagnostiikkaa.
- Kenttälaitteeseen voidaan sijoittaa osa automaatio-sovelluksesta (Foundation Fieldbus). Siellä voidaan käyttää rajoitettua määrää erilaisia toimilohkoja.

Kenttäväylät yksinkertaistavat suunnittelua ainakin siinä mielessä, että kaapelointia tarvitaan vähemmän. Toisaalta rajoitukset (esim. maksimietäisyydet ja -lukumäärät, luotet-tavuus, tiedonsiirto, ajoitukset, energiankulutus) tekevät väylän kokoonpanosta ei-tri-viaalin ongelman. Kenttälaitteet parametroidaan ja ohjelmoidaan esim. valvomosta eri-laisten työkalujen avulla. Näin niiden käyttöönotto, virittäminen ja testaaminen on huo-

mattavasti tehokkaampaa kuin perinteisissä asennustavoissa. Tulevaisuuden tavoite on, että tämä voidaan tehdä samoilla välineillä koko sovelluksessa.

Älykkäät kenttälaitteet lisäävät informaation määrää, erityisesti kunnossapidon osalta. Laitteissa on kehittyntä diagnostiikkaa. Ne voivat kertoa toimintakyvystään, ja mitaustietoihin liittyy statustieto, joka kertoo arvon luotettavuudesta. Automaatioinsinööri voi käyttää diagnostiikkatietoja ja hälytyksiä järjestelmän ylläpidossa, mutta operaattoreille ne voivat olla vaikeita. Ei myöskään ole selvää, miten tietoja voidaan hyödyntää tehokkaasti sovellusohjelmoinnissa, eli miten järjestelmä saadaan reagoimaan järkevästi erilaisiin laitevikoihin.

### *Suunnittelutoiminta*

Yleisellä tasolla automaatio suunnittelua muuttaa joukko trendejä, joista ehkä merkittävimmät ovat:

- prosessiautomaation fyysinen hajautus ja toiminnallinen integroituminen osaksi tehtaan ja koko yrityksen tietojärjestelmää
- standardien ja de facto standardien ansiosta lisääntyvä valmiskomponenttien käyttö
- laatuvaatimusten kiristyminen useilla sovellusalueilla
- nopea muutos.

Integroituminen ja valmiskomponenttien käyttö korostavat asiakkaan tarpeiden ymmärtämistä, kokonaisuuksien hallintaa ja automaatiolle asetettavien vaatimusten selkeää määrittelyä. Suunnittelijan on tunnettava asiakkaan prosessi, sovellusalueen tarpeet sekä tarpeisiin sopivat valmiskomponentit. Automaatiojärjestelmään voi sisältyä tuotannon ohjausta, reseptejä ja informaation hallintaa. On siis määriteltävä rajapintoja yrityksen tietojärjestelmiin, esim. toiminnanohjausjärjestelmään. Muutkin suunnittelun rajapinnat muuttuvat, esimerkkejä ovat mm. sähkö- ja kenttäsuunnittelu sekä kohdelaitoksen 'mikrotuki'. Automaatiosuunnittelijan toiminta-alue siis laajenee ja yhteistyötahot lisääntyvät. Suunnitteluprojektiin osallistuu entistä useampia tahoja. Usein eri tahot toimivat maantieteellisesti etäällä toisistaan. Tämä asettaa lisävaatimuksia yhteistyökäytäntöille, dokumentoinnille ja tiedonsiirrolle.

Uusissa arkkitehtuureissa merkittävä osa ohjaustoiminnoista on 'olioita', jotka keskustelevat perinteisen 'langoituksen' ohella palvelupyyntöjen, tapahtumien ja viestien välityksellä. Osaamisprofiili laajenee yleisen ohjelmistotekniikan suuntaan. Työssä on pysyttävä käyttämään esim. käsitelmallinnusta ja oliopohjaista analyysia ja suunnittelua. Valmisosien (Commercial Off-The-Shelf, COTS) käytön etuja ovat kustannussäästöt ja laadun parantuminen. Koko sovelluksen arkkitehtuuri ja pitemmän tähtäimen teknolo-

giavalinnat ovat kuitenkin käyttäjän kannalta vaikeita, koska kehitys on nopeaa ja vaikeasti ennustettavaa.

Tekniikka vaikuttaa myös suunnittelutyökaluihin. Tietoverkkoja sovelletaan hajautettuun dokumentaation hallintaan ja tiedonsiirtoon. Eri suunnittelualojen tiedot integroidaan yhteiseen tietokantaan. Tietorakenteet, esitystavat ja siirtoformaatit tulisi sopia niin, että eri suunnittelutyökalut toimivat yhdessä ja että suunnittelutietoa voidaan siirtää eri organisaatioiden välillä tehokkaasti. Suunnittelukokoukset voidaan korvata tiettyyn rajaan sähköpostilla ja työryhmäohjelmistoilla. Tuotekansiot korvautuvat valmistajien verkkosivuilla. Automaation toimintoja voidaan määritellä tietokoneavusteisesti jo ennen varsinaista ohjelmointia. Apuna voidaan käyttää erilaisia säätösuunnittelun ohjelmistoja (CACSD, Computer Aided Control System Design) ja simulointia.

### *Luotettavuus ja turvallisuus*

Automaatiosta on tullut kriittinen tuotannon tekijä, joten siihen kohdistuvat laatuvaatimukset kasvavat. Ohjelmoitavilla järjestelmillä on kuitenkin erityiset ongelmat luotettavuuden ja turvallisuuden suhteen. Kattava analysointi ja testaaminen on mahdollista vain hyvin pienissä sovelluksissa. Pienikin muutos, esim yhden bitin ero, voi aiheuttaa katastrofaalisen vaikutuksen. Nopea kehitys ja järjestelmien monimutkaistuminen tekevät turvallisuuden ja luotettavuuden takaamisen entistä vaikeammaksi. Nopea muutos aiheuttaa myös sen, että tuotteista ei ehditä kerätä riittävästi käyttökokemuksia niiden kelpoistamiseksi kriittisiin sovelluksiin. Uudet hajautetut ohjelmistoarkkitehtuurit, esim. Windows NT ja OLE for Process Control (OPC), tuovat mukanaan uudenlaisia vikaantumismahdollisuuksia ja edellyttävät uusia lähestymistapoja. Laadun onkin perustuttava hyvin hallittuun ja dokumentoituun suunnitteluprosessiin, joka tuottaa myös järjestelmän kelpoistamisessa tarvittavan aineiston (evidenssin).

Valmisosien (Components Off-The-Shelf, COTS) käytön lisääntyessä käyttäjän ja/tai integraattorin vastuu kokonaisuuden toimivuudesta kasvaa. Sovellusta rakennettaessa on varmistettava käytettävien komponenttien laatu ja yhteensopivuus. Tämä ei ole yksinkertaista, koska niiden sisäistä toimintaa ei yleensä tunneta. Komponenttien versioitessa voi tulla ongelmia yhteensopivuuden kanssa.

Kiristyvät vaatimukset liittyvät esim. yleiseen laatuja järjestelmien kehittämiseen. Joillakin sovellusalueilla tämä vaatimus korostuu erityisesti, ja niille ollaan kehittämässä viranomaismääräyksiä ja suosituksia. Eräs esimerkki ovat lääke- ja elintarviketeollisuuden prosessit, joissa valmistaja on vastuussa lopputuotteiden turvallisuudesta. Tällöin valmistuksessa on sovellettava ns. *hyviä tuotantotapoja (Good Manufacturing Practices, GMP)*, ja viranomaiset valvovat, että näin myös tapahtuu. Valvonta on laajentunut prosessitekniikasta tietokonejärjestelmiin. Automaatiosuunnittelun keskeinen lähtökohta on

ISPEEn (International Society for Pharmaceutical Engineering) piirissä kehitetty GAMP-ohjeisto (GAMP 1998).

Toinen sovellusten ryhmä ovat kohteet, joissa voi syntyä merkittäviä henkilö-, omaisuus- tai ympäristövahinkoja. Näiden turvallisuutta on pohdittu pitkään useilla eri tavoilla. Keskeisessä asemassa on ollut International Electrotechnical Commission (IEC), joka on laatinut jo n. 15 vuotta 7-osaista kattostandardia *IEC 61508, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems* (Järvi 1999). Se tarkastelee henkilöturvallisuutta uhkaavien riskien vähentämistä erillisillä sähköisillä, elektronisilla ja ohjelmoitavilla *turvallisuuteen liittyvillä järjestelmillä (TLJ)* (ks. myös liite C).

Riskin aiheuttavat ohjattava laitteisto, esim. prosessijärjestelmä, sen *käyttöautomaatio* sekä henkilöstö. Kun ohjattavan kohteen riskiä lähdetään vähentämään, tunnistetaan ensin tarvittavat *turvatoiminnot (safety function)*, esim. säiliön hätäjähdytys lämpötilan kohotessa liikaa. Sitten on määritettävä kultakin turvatoiminnalta vaadittava luotettavuus. *Turvallisuuden eheys (safety integrity)* on todennäköisyys sille, että TLJ toteuttaa hyväksyttävästi vaaditut turvatoiminnot määritellyissä olosuhteissa. *Turvallisuuden eheyden taso (TET)* (safety integrity level, SIL) on tämän todennäköisyyden diskreetti mitta. Tasoja on neljä (1–4), joista taso 4 on vaativin. Tason 0 toimintoja ei tarvitse käsitellä. Kunkin turvatoiminnan turvallisuuden eheyden taso voidaan määrittää kvantitatiivisesti tai kvalitatiivisesti.

Luokitellut turvatoiminnot allokoidaan eri tekniikoilla toteutetuille turvallisuuteen liittyville järjestelmille sekä ulkoisille riskinvähennyskeinoille (esim. varoventtiili). Tasolle 0 sijoittuvat toiminnot voidaan toteuttaa esim. käyttöautomaatiolla. Kultakin TLJ:ltä vaadittava eheystaso riippuu sille allokoiduista turvatoiminnoista. Tyypillisesti osajärjestelmän taso määräytyy korkeimman sille sijoitetun toiminnan mukaan. Samasta syystä koko käyttöautomaatio on käsiteltävä TLJ:ltä vaadittavin menettelyin, jos sille sijoitetaan yksikin eheystason 0 ylittävä turvatoiminta.

Vaikka kattostandardi IEC 61508 on vielä osittain kesken, se on hyväksytty yleiseksi lähtökohdaksi. Siitä onkin työn alla sovellusstandardeja eri aloille, esim. prosessiteollisuuteen (IEC 61511) ja ydinvoimalaitoksille (IEC 61513).

## 5. TIETOTEKNIIKAN KEHITYSSUUNTIA

Edellinen luku käsitteli tietotekniikan sovelluksia prosessiteollisuudessa. Seuraavassa tarkastellaan tietotekniikan joidenkin osa-alueiden viimeaikaista kehitystä. Aluksi esitetään kuitenkin muutamia huomioita tietojärjestelmien integraatiosta, joka keskeinen näkökohta ja tavoite useimmissa tietojärjestelmien kehityshankkeissa.

### 5.1 Tietojärjestelmien integraatio, yleistä

Tietotekniikka kehitty nopeasti. Laitteiston teho kaksinkertaistuu 18 kuukaudessa (ns. Mooren laki). Hajautetut, avoimet järjestelmät kehittyvät voimakkaasti. Standardisointi ei ehdi mukaan, de-facto standardit tulevat ja menevät nopeaan tahtiin. Ohjelmistojen monimutkaistuesssa käytetään kaikki kapasiteetti riippumatta siitä, kuinka paljon sitä on. Tietotekniikkaprojektit maksavat yleensä suunniteltua enemmän ja kestävät suunniteltua pidempään. Alan haasteeksi nousevat monimutkaisuuden hallinta sekä laadun ja ylläpidettävyyden varmistaminen.

Laatu- ja tehokkuusvaatimusten kiristyessä sekä yrityksen laajentuessa ja verkostoituesssa eri organisaatioyksikköjen ja niiden toimintojen tulee liittyä saumattomaksi kokonaisuudeksi. Tämä edellyttää integroitumista myös tietotekniikassa. Perinteiset organisaatiot on usein muodostettu hierarkkisesti toimintojen perusteella (funktionaalinen organisaatio). Näitä toimintoja varten on vuosien mittaan rakennettu räätälöityjä tietojärjestelmiä, joissa ei alunperin ole varauduttu siirtämään tietoja organisaation muihin osiin. Tarpeiden noustessa esiin on sitten toteutettu kahdenvälisiä liityntöjä, joilla tarvittavat tiedot voidaan kopioida toiseen sovellukseen. Tietojärjestelmien laajentuessa tilanne on muuttunut niiden ylläpidon kannalta kestävämmäksi. Itse kehitettyjen sovellusten ylläpitäminen tekniikan nopeasti muuttuessa vaatii suuria resursseja. Erityisesti kahdenvälisen liityntöjen määrä kasvaa erittäin nopeasti sovellusten lisääntyessä. Tilannetta voidaan tosin helpottaa pitäytymällä standardoiduissa laiteratkaisuissa, perusohjelmistoissa (käyttäjärjestelmät, tietokannat) ja kehitysvälineissä. Tietojen kopioiminen hajautetussa järjestelmässä synnyttää välittömästi myös sen ongelman, että käyttäjän näkemä tieto ei ole välttämättä tuoretta ja ristiriidatonta. Päivitystoimenpide voi esim. edellyttää muutoksia useissa tietokannoissa. Tällöin tulisi varmistaa, että muutos tehdään kokonaan joka paikassa tai se peruutetaan kokonaan. Ongelmia on paljon. Useat tutkimukset ovatkin osoittaneet, että jopa 40 prosenttia yritysten tietotekniikkabudjeteista kuluu järjestelmien integroimiseen (OAGI 1999).

Yrityksen toiminnan eri tasoilla tietotekniikan integraatiovaatimukset ovat hieman erilaiset. Ylimmällä strategisella tasolla aikajänteet ovat yleensä pitkät, joten reaaliaikaisuus ei ole tarpeen. Sen sijaan esim. toiminnan analysointi edellyttää, että kaikki informaatio on saatavilla ja että siihen voidaan kohdistaa hyvin erilaisia, ennalta määritte-

mättömiä hakuja ja laskentoja. Tällaista kertyneen tiedon analysoimista esim. erilaisten riippuvuuksien ja tunnuslukujen löytämiseksi kutsutaan usein nimellä ‘data mining’. Eräs ratkaisu sen helpottamiseksi on eri lähteistä kertyneen tiedon keskittäminen yhteiseen tietovarastoon (data warehouse). Tämä voidaan nähdä osana laajempaa tietämyksen hallintaa (knowledge management), johon sisältyy tietotekniikan ohella organisaatioon ja sen toimintaan liittyvän, usein vaikeasti formalisoitavissa olevan tiedon (tacit knowledge), hallinta.

Operatiivisella tai taktisella yritystoiminnan tasolla rutiinit ovat useimmiten hyvin määriteltäviä, ja niin muodoin myös se tieto tai toiminnot, joita eri tietoteknisiltä sovelluksilta vaaditaan. Poikkeuksia ovat erilaiset ongelma- ja häiriötilanteet, joissa tietovarastoja pitäisi voida hyödyntää ennalta määrittelemättömällä tavalla. Olennaisia seikkoja operatiivisella tasolla ovat nopeus sekä tiedon ajantasaisuus, oikeellisuus ja ristiriidattomuus. Tieto muuttuu nopeasti ja osa siitä ei ole pysyvää. Tästä syystä ei voida ajatella kaiken tiedon keskittämistä yhteen tietovarastoon, vaan se on haettava suoraan sovelluksista. Tiedon ohella tarvitaan toisten sovellusten palveluita, eli myös sovellukset kommunikoiivat automaattisesti ilman ihmisen välitöntä vaikutusta. Tietojen ohella on siis integroitava myös toimintoja.

Operatiivisten tietojärjestelmien (esim. kunnossapito) ‘alapuolella’ ovat reaaliaikaiset, prosessin hallintaan liittyvät järjestelmät, joiden integraatiotarpeet eivät poikkea olennaisesti edellä kuvatusta. Eroja ovat käytettävyys ja ennustettavan vasteajan vaatimus sekä se että tietosisällöt ovat enemmän määrämuotoisia.

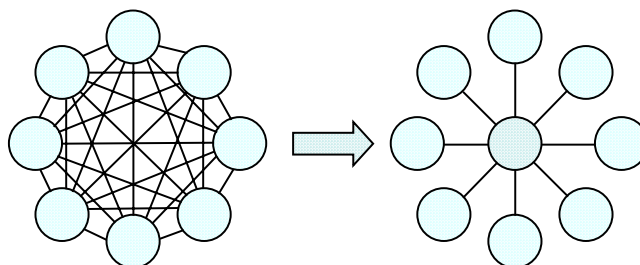
Jotkut yritykset ovat pyrkineet ratkaisemaan integraatio-ongelmaa sitoutumalla yhteen ohjelmistotoimittajaan. Tämä ei kuitenkaan yleensä onnistu, koska toimittajat eivät pysty pitämään omiakaan tuotteita täysin yhteensopivina ja koska verkottunut toiminta edellyttää kytkentöjä ulkoisiin, useimmiten erilaisiin järjestelmiin. Myöskään kaikkia olemassa olevia erikoissovelluksia ei voida korvata toimittajan tuotteilla. Integroitujen kokonaisuuksien kehitys ei siis ole enää mahdollista yhden yrityksen voimin.

Ongelma-alueesta käytetään usein ilmaisua *Enterprise Application Integration (EAI)*. Sen piirissä on kehitetty ja kehitteillä monia standardeja ja kaupallisia tuotteita. Osa ratkaisuista pyrkii olemaan yleisiä, osa perustuu tiettyihin, laajan suosion saaneisiin tuotteisiin. Yhtä oikeaa, kaikkiin tarkoituksiin soveltuaa arkkitehtuuria tuskin on olemassa. Yleisesti ottaen kehitys on kulkenut keskustietokoneista asiakas/palvelin-arkkitehtuurien ja oliopohjaisten ohjelmistojen kautta kohti hajautettuja oliopohjaisia järjestelmiä ja ns. *sovelluskehys* (framework). Luonteenomaista tälle kehitykselle on, että tietoteknisten ratkaisujen lisäksi pyritään yhtenäistämään tietyn sovellusalueen käsitteitä, tietorakenteita, olioluokkia ja jopa liiketoimintaprosesseja. Sovelluskehys ovatkin valmiita sovellusten runkoja, olioluokkien kokoelmia, jotka määrittelevät myös (ainakin oletusarvoisen) toimintalogiikan.



Toimittajat ja käyttäjät tekevät myös yhteistyötä. Tästä esimerkkinä on Open Applications Group Inc. (OAGI), joka on voittoa tuottamaton ja puolueeton yhteistyöorganisaatio ([www.openapplications.org](http://www.openapplications.org)). Se on määritellyt integraation ratkaisumalleja erityisesti taloushallintoon, henkilöstöhallintoon, valmistukseen, logistiikkaan ja toimitusketjujen hallintaan. Sovellusten väliset, standardimuotoiset viestit määritellään XML:n avulla. Toinen esimerkki on IBM:n johtama San Francisco -projekti, jossa kehitetään Java-tekniikkaan perustuvia sovelluskehysjä mm. taloushallintoon, tilausten käsittelyyn ja varastonhallintaan ([www.software.ibm.com/ad/sanfrancisco/](http://www.software.ibm.com/ad/sanfrancisco/)).

Integraation suurimpia ongelmia lienevät sovellusten väliset monet riippuvuudet sekä jatkuva muutos sekä toiminnoissa että toteutusteknologiassa. Riippuvuuksien vähentämiseksi sovellusten väliset kytkennät tulisi hoitaa keskittämällä kuvan 18 tapaan, jolloin kunkin sovelluksen osalta tulee määritellä vain yksi, aina samanlainen rajapinta. Keskittäminen voi tarkoittaa käytännössä useita eri asioita. 'Keskitin' (hub) voi olla esim. yhteinen tiedon esitystapa, tietokanta, ohjelmointirajapinta, tai fyysinen tiedonsiirtoväylä. Käytännön toteutusnäkökohdat, esim. suorituskyky ja luotettavuus, johtavat kuitenkin erilaisiin hybridiratkaisuihin. Yhteistoiminnallisuus edellyttää fyysisen ja ohjelmistoteknisen liitettävyyden lisäksi sovellusten 'semanttista' yhteensopivuutta, mikä tarkoittaa esim. yhteisiä käsitelmalleja ja sovellusarkkitehtuuria.



*Kuva 18. Keskitin vähentää liityntöjen määrää.*

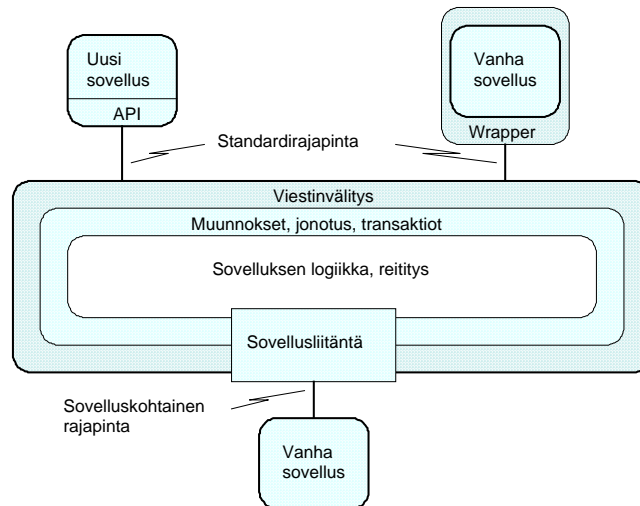
Integraatiossa on liitettävä toisiinsa sovelluksia, tietovarastoja, ohjelmistokomponentteja tai tarkemmin rajattuja olioita. Erilaisia kommunikoinnin mekanismeja ovat esim. seuraavat:

- Tiedoston siirtäminen: Yleensä point-to-point topologian mukainen ja vaikeasti ylläpidettävä.

- Keskitetty tietokanta: Vähentää rajapintoja, mutta on riippuvainen verkkoyhteyksistä, koko voi tulla ongelmaksi.
- Sovellusten ja olioiden välinen viestinvälitys: Tähän voidaan sisällyttää esim. palvelupyynnöt (request-reply), tietojen julkaiseminen ja tilaaminen (publish-subscribe) sekä aliohjelmien etäkutsut (remote procedure call). Sovellusten on siis ainakin tietyllä tasolla 'tunnettava toisensa ennakolta', joten tekniikka sopii yleensä vain rajatuille sovellusalueille. Kommunikointi edellyttää myös yhteistä infrastruktuuria (esim. DCOM) tai yhteistä viestien välityspalvelua (broker), joka hoitaa tarvittavat muunnokset (esim. CORBA).
- Viestien välitys postilaatikoiden kautta: Sovellukset eivät lähetä viestejään toisille sovelluksille, vaan tiettyyn postilaatikkoon, jossa niitä tarvittaessa puskuroidaan ja josta yksi tai useampi toinen sovellus niitä poimii silloin kun sille sopii (esim. IBM:n Mercator). Viestinvälittäjän (message broker) palveluihin voi kuulua myös esim. tietorakenteiden muunnoksia. Tässä mallissa sovelluksen ei tarvitse olla tietoinen muista sovelluksista, mikä lisää soveltajan vapauksia. Eri sovellukset etenevät toisistaan riippumatta. Tämä poistaa odotusaikoja ja voi tehostaa laiteresurssien käyttöä. Vaikka viestien perillemeno voi olla taattu, ei vasteajoista ole takeita.

Toteutusostasolla sovellukset toisiinsa liittävä ohjelmisto voi olla keskitettynä yhteen tai useampaan palvelimeen tai hajautettuna sovellusten yhteyteen. Jälkimmäinen tarkoittaa käytännössä, että sovellukset toimivat samalla alustalla, mikä lienee melko harvinaista. Molemmissa tapauksissa sovellus on liitettävä yhteiseen kokonaisuuteen. Tässä voidaan soveltaa erilaisia lähestymistapoja (kuva 19):

- Sovellus kirjoitetaan tai vanha sovellus muutetaan sellaiseksi, että se käyttää yhteistä sovellusohjelmointirajapintaa (API).
- Olemassa olevaa sovellusta ei muuteta, mutta se kuorrutetaan (ns. wrapper) kerroksella, joka soveltaa standardirajapintaa.
- Keskitetty palvelin käyttää olemassa olevien ohjelmistojen valmiita rajapintoja ja suorittaa tarvittavat muunnokset (application adapter).



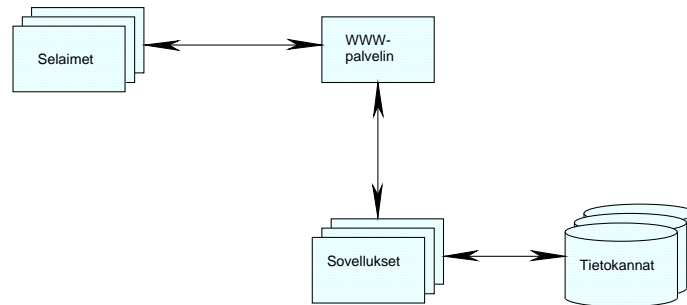
Kuva 19. Sovellusten integraatioon liittyviä rakenteita.

Tyypillisiä integraatioon liittyviä ohjelmistojen kerroksia ja palveluita (kuva 19) ovat esim:

- tietokoneiden välinen kommunikointi
- sovellusten ja olioiden väliset kommunikoinnin mekanismit, esim. palvelupyynnöt (request/reply) sekä tietojen julkaiseminen ja tilaaminen (publish/subscribe)
- viestien jonotus
- tiedon esitystapojen muunnokset
- nimipalvelut (directory services), joiden avulla sovellukset löytävät toisensa
- sovelluksen etenemislogiikan määrittely ja suoritus (workflow), viestien automaattinen reititys oikeille sovelluksille
- historiatietojen tallennus (transaction logging)
- poikkeustilanteiden käsittely (esim. viestien uudelleenlähetys)
- transaktioiden hallinta (esim. toimenpiteiden atomisuus)
- järjestelmän ylläpito.

Käytännön sovellukset muodostuvat yleensä useista eri valmistajien ohjelmistotuotteista, joista osa kuuluu infrastruktuuriin (esim. käyttöjärjestelmät, tiedonsiirto), osa keski-kerrokseen (ns. middleware, esim. tietokannat ja sovellusten välinen viestinvälitys) ja osa varsinaiseen integraatioon (EAI). Myös näiden on oltava keskenään yhteensopivia. Integraatiotuotteiden tulisi tukea useampaa kuin yhtä infrastruktuuri- ja keskitason ratkaisua.

Globaalin verkottuneen tuotannon lisääntyessä myös sovellusten integraatio ylittää entistä useammin yritysten rajat. Tämä korostaa Internet-tekniikan roolia (Gilpin 1999). Eri yritysten erilaisia järjestelmiä käytetään kevyen selainsovelluksen avulla (kuva 20). Sovellukset tiukasti toisiinsa sitovien synkronoitujen palvelupyyntöjen ohella voidaan käyttää löysempää kytkentää, esim. XML:ään perustuvia ‘toimeksiantoja’.



*Kuva 20. Heterogeenisten sovellusten integrointi WWW-palvelimella (Grasso et al. 1999).*

Sovellusten integraatioon liittyy siis useita ohjelmistoratkaisuja ja tiedon esitystapoja. Esimerkkeinä merkittävistä tekniikoista jäljempänä esitellään tarkemmin seuraavia:

- tiedonhallinnan tekniikat
- sähköinen dokumentointi ja eXtensible Markup Language (XML)
- työkulkuratkaisut
- tuotetiedon hallinta
- komponenttiarkkitehtuurit (DCOM, CORBA, Java RMI/EJB)
- OLE for Process Control (OPC)
- järjestelmänhallinta.

Kunkin aiheen osalta pyritään esittämään lyhyesti:

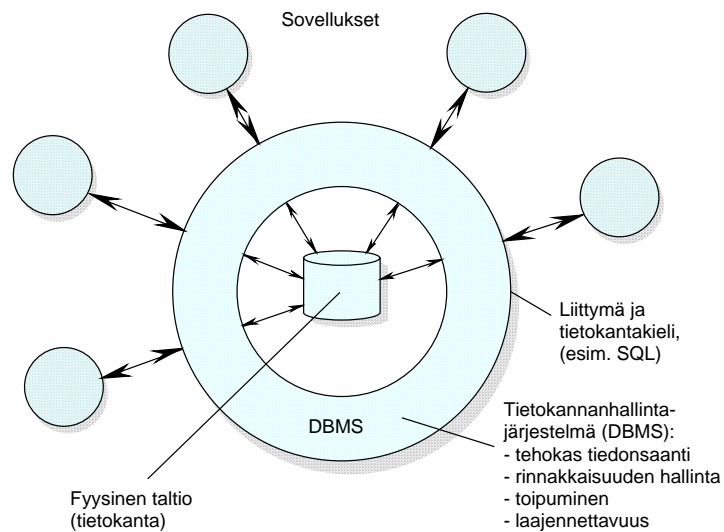
- Tausta: mitkä ongelmat ja historialliset kehitysvaiheet ovat johtaneet tekniikan esiin nousemiseen.

- Kuvaus: Tekniikan peruseriaatteiden yleistajuinen esittely.
- Kypsyysaste: Kuinka vakiintunutta ja hyvin hallittua tekniikka on, minkä verran on saatavissa siihen perustuvia tuotteita ja palveluita, voidaanko sanoa jotain tulevasta kehityksestä.
- Soveltuvuus ydinvoimalaitoksille: Lähtien ydinvoimaloiden erityisvaatimuksista ja nykyisestä tilanteesta pohditaan, voidaanko tekniikkaa käyttää ydinvoimaloissa ja jos niin miten.

## 5.2 Tiedonhallinta

Tiedonhallinta (data management) syntyi käsitteenä 60-luvun lopulla. Ylläkkeenä on ollut tarve järjestää sovellustietojen jaettu käyttö niin, että sovellusten välillä olevat ja tietojen rakennemuutoksista johtuvat riippuvuudet vähenisivät. Tämän ongelman ratkaisun tekniseksi muodoksi on tullut tietokannanhallintajärjestelmä (database management system, DBMS, lyhyesti: tietokantajärjestelmä, database system), johon nykyisinkin kiteytyy tiedonhallinnan olemus. Tietokantajärjestelmien maailman markkinoiden suuruus on nykyisin noin 12 miljardia dollaria vuodessa. Melkein poikkeuksetta kaikki viime vuosien taloushallinnon sovellukset pohjautuvat tietokantajärjestelmien hyväksikäyttöön, mukaan lukien viimeisimmät sovellustrendit kuten toiminnanohjaus (*Enterprise Resource Planning, ERP*) tai tietovarastointi (data warehousing) ja suora-analyysi (*On-Line Analytical Processing, OLAP*). Myös WWW-pohjaisten palvelujen ja sähköisen kaupan toteuttamisessa tietokantajärjestelmillä on ollut tärkeä rooli.

Tiedon jaettu käyttö on edelleen tiedonhallinnan päätavoite. Alkuongelmana oleva sovellusten välinen riippuvuus on poistettu sijoittamalla sovellusten yhteiset tiedot (joita kutsutaan yhteisesti tietokannaksi) paksun ohjelmistokerroksen taakse. Tämä ohjelmistokerros eli tietokantajärjestelmä tarjoaa korkeatasoisen sovellusliittymän tietojen käyttöä varten ja samalla piilottaa tietokannan oikean (fyysisen) rakenteen ja siihen liittyvät monimutkaiset ohjelmistomekanismit. Niistä tärkeimpiä ovat rinnakkaisen tietojen päivittämisen mahdollistava transaktiokäsittelyalijärjestelmä, virheistä toipumista tukeva toipumisen alijärjestelmä, lukuisat fyysiset talletus- ja tiedonsaantialijärjestelmät, korkean tason tietokantakielen (kuten *Structured Query Language, SQL*) tuki ja paljon muutakin. Tämä toteutusperiaate on kuvattu kuvassa 21. Sisäistä tietokantajärjestelmän rakennetta on kuvattu alan oppikirjoissa kuten (Elmasri & Navathe 1994).



Kuva 21. Tietokantajärjestelmän toteutus.

Yllä kuvatun kapseloinnin lopputulos kuvataan usein termillä tietoriippumattomuus (data independence). Tietoriippumattomuus on kaksisuuntainen: sovellukset eivät ole riippuvaisia tietokannassa tehdyistä muutoksista eikä tietokannan sisäinen rakenne riipu sovelluksista. Tällä tavoin sovellusjärjestelmän elinikää voidaan pidentää huomattavasti ja alentaa jatkokehityskustannuksia.

Tietoriippumattomuuden etu ei tule kuitenkaan automaattisesti, vaan siitä nauttiminen vaatii huolellista tietokannan suunnittelua. Tietokantasuunnittelussa noudatetaan *kohde-aluemallintamisen* periaatetta, jonka mukaan ennen tietokannan rakentamista otetaan käsiteanalyysin piiriin laaja sovellusalue ja vasta käsitemallin perusteella luodaan riittävän yleiskäyttöinen tietokannan määrittäminen. Tietokannan suunnitteluperiaatteita on kuvattu esimerkiksi kirjassa (Mikkonen & Soini 1987).

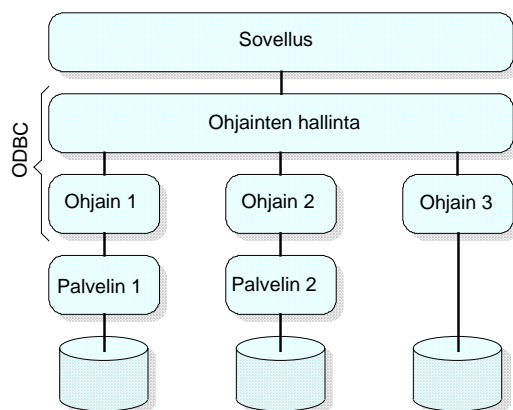
Useiden teknologiakausien kautta relaatiotietokantatekniikasta (Rantanen et al. 1989) on tullut tiedonhallinnan valtavirta. Sen osuus tietokantajärjestelmämarkkinoista on 99 prosenttia. Relaatiotietokannat voidaan samaistaa niissä käytetyn SQL-kielen (Structured Query Language) kanssa. SQL-kieli tarjoaa yleisen tietokanta-ajatusmallin, tarkan tietomallin, jota noudatetaan sovellusohjelmoinnissa, sekä hyvin ilmaisuvoimaisen käsittelykielen (Laine et al. 1990, Hovi 1996, Melton & Simon 1993).

SQL-kieltä on moitittu siitä, että sen ajatusmalli olisi vieras ohjelmoijille (varsinkin niille, jotka käyttävät oliokieliä) ja että tietomalli olisi primitiivinen, koska se perustuu yksinkertaiseen taulurakenteseen. Ratkaisuksi on tarjottu oliotietokantoja (object databa-

ses) (Rao 1994), joissa nämä ongelmat on ratkaistu oliokielen hengen mukaisesti. Lisäksi oliotietokantajärjestelmät tarjoavat selvää suorituskykyä sovelluksissa, joissa on tarvetta puskuroida suuria määriä tietoa työaseman keskusmuistiin. Tällaisia sovelluksia ovat muunmuassa monimutkaisia graafisia esityksiä luovat sovellukset kuten GIS, CAD/CAM ja CASE-järjestelmät. Oliotietokantojen avulla on toteutettu lukuisia onnistuneita rajattuja sovelluksia, mutta oliotietokantatekniikasta ei ole vielä laajamittaisen ja pitkäaikaisen tiedonhallinnan perustaksi. Syyt ovat standardoinnin puute, huono yleisliitettävyyden, liiallinen ohjelmointikeskeisyys (yleiskäytön sijasta) ja ohjelmistotoimittajien epävarma markkina-asema.

Sen sijaan relaatiotietokannoilla on markkina-osuutensa ja olemassa olevien toteutusten painon takia vankka asema. Voidaan olettaa, että tämä jatkuu ainakin seuraavat kymmenen vuotta, kunnes mahdollinen kilpaileva tekniikka ilmestyy. Nykyinen relaatiotietokantatekniikka tarjoaa SQL-kielen lisäksi muitakin tapoja käyttää tietokantaa. Lukuisat liityntäteknikat, joista tunnetuin on Microsoftin ODBC (Open Database Connectivity) ovat synnyttäneet laajat oheistuotteiden markkinat, joista löytyy sovelluskehittäjiä, raporttiterägeneraattoreita ja valmiita sovelluksia moneen makuun.

ODBC on SQL:ään perustuva ohjelmointirajapinta (API), joka avulla sovellukset voivat kytkeytyä erilaisiin relaatiotietokantoihin sekä Excel-tilukoihin ja tekstitiedostoihin tuntematta niiden omia rajapintoja. Tästä syystä tarvitaan valmistajakohtaiset ODBC-ohjaimet (driver) kutakin tietokantaa varten. Ne muuntavat sovellukselta tulevat pyynnöt ko. tietokannan ymmärtämään muotoon. Ohjainten hallinnan (driver manager) tehtävänä on ladata eri ohjaimia muistiin tarpeen mukaan. Tietokannat voivat olla joko samalla tai eri koneella kuin sovellus. Edellisessä tapauksessa ohjain voi käsitellä tietokantaa suoraan. Hajautetussa järjestelmässä tarvitaan tietokantapalvelin (server), joka on samalla koneella kuin tietokanta, kuva 22. ODBC:n merkittävin puolestapuhuja ja toimittaja on Microsoft. Tuotteita on saatavilla myös UNIX- ja MacIntosh-alustoille.



Kuva 22. ODBC:n ja JDBC:n peruseriaate.

Hyvin samantyyppinen ratkaisu on JDBC (Java Database Connectivity). Se on ohjelmointirajapinta (API), joka avulla Java-ohjelmointikielellä kirjoitetut sovellukset voivat kytkeytyä moniin suosittuihin relaatiotietokantoihin SQL-komentojen avulla. Erityisen 'sillan' kautta voidaan käyttää myös Microsoftin ODBC-rajapintaa. ODBC-palveluita löytyy nykyisin myös CORBAn hajautetusta komponenttimallista.

Ajan myötä relaatiotietokantojen ajatusmaailma on osoittautunut vahvuudeksi: se pysyy vankkana vuodesta toiseen silloin, kun ohjelmoinnin uutuudet tulevat (Java) ja menevät (Ada). Kuitenkin kaikkia kuviteltavissa olevia vanhoja ja uusia tietokannan käyttöympäristöjä on pystytty tukemaan ohjelmointikielistä skriptikieliin ja transaktiokäsittelystä ad-hoc-käyttöön. Uusien komponenttitekniikoiden avulla (COM, CORBA, Enterprise Java Beans) voidaan tarvittaessa rakentaa tietokantaan nojautuvia, erilaisiin ajatusmalleihin perustuvia tietokomponentteja.

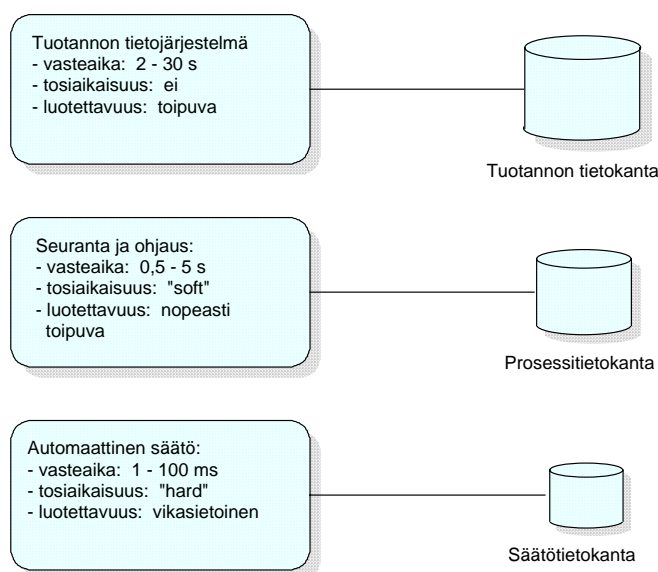
Parin viime vuoden aikana on yritetty korjata relaatiomallin "yksinkertaisuutta" tuomalla markkinoille oliorelaatiotietomalliin (laajennettuun relaatiomalliin) perustuvia tuotteita (Stonebraker 1996). Saman suuntainen on viimeinen SQL-99 standardi (ISO/IEC 9075). Tämän tekniikan pitkäaikainen vaikutus riippuu eri tuotteiden yhteensopivuudesta, joka on vielä epäselvä. Eri tuotteissa tarjotaan myös muita yleisiä mekanismeja vähän eri tavalla toteutettuina. Nämä ovat laukaisimet (triggers), hajautetut tietokannat ja tiedon monistaminen (replikointi). Kaikki yllä oleva pätee ainakin tietokantatoimittajien kärkijoukkoon, joihin kuuluvat Oracle, IBM, Informix, Sybase ja Microsoft.

Teollisuusjärjestelmissä relaatiotietokantoja on käytetty pääosin tuotannon informaatiojärjestelmissä, joissa niiden käyttö on ollut samantapaista kuin perinteisissä taloushallintajärjestelmissä. Prosessinhallinnan tietotarpeita on tyydytetty prosessinhallintajärjestelmiin rakennetuilla tuotekohtaisilla tiedonhallintaratkaisuilla. Näihin ovat kuuluneet yleensä hetkellisen tiedon tietokanta ja historiatiedon tietokanta. Hyvin pitkään nämä tietotaltiot ovat olleet käytettävissä vain tuotteen omista ohjelmista käsin. Viime aikoina yleiskäyttöiset ODBC ja OPC -liittymät ovat kuitenkin ilmestyneet tuotteisiin. Välitöntä prosessisäätöä toteuttavissa automaatiojärjestelmissä tietokantajärjestelmien muodossa olevaa tiedonhallintatekniikkaa ei juuri ole ollut vielä käytössä. Tosin sen tuloa on tutkimuksessa uumoiltu jo ainakin kymmenisen vuotta.

Lopuksi on mainittava muita tietomassojen hallintatekniikoita. Tähän asti kuvattu tekniikka soveltuu rakenteellisen tiedon hallintaan. Tieto on rakenteellista, jos se on jäsennetty muuttujiin, joille on annettu yksittäisiä arvoja. Esimerkiksi yhden anturin tietoja voidaan hyvin kuvata pelkillä arvoilla. Vastakohtana on vapaamuotoinen tieto, jonka sisältö on jäsentämätöntä. Tyypillinen dokumentti esittää vapaamuotoista tietoa. Tosin dokumentti voi olla osittain rakenteellinen ja osittain vapaamuotoinen.



Vapaamuotoisia tietoja on hallittu tekstitietokannoissa ja SGML-tietokannoissa. XML-kieli, joka polveutuu SGML:stä (Standardized General Markup Language), sopii myös hyvin vapaamuotoisen tiedon hallintaan (ks. kohta 5.4). Vapaamuotoisen tiedonhaun pääpiirre on verbaalirakenteita kuvaava hakulause, jonka perusteella järjestelmä etsii dokumenttimassasta parhaiten lauseeseen sopivat dokumentit. Tämän tyyppinen tekniikka sopii hyvin laajan dokumentaation tai tietämuskannan toteutuslueksi. Relaatiotietokantatuotteisiin on viime aikoina myös lisätty vapaamuotoisen tiedon tallennus- ja hakumahdollisuuksia.



Kuva 23. Tiedonhallinnan tasoja.

Ydinvoimalan tyyppisessä suuressa prosessilaitoksessa voidaan nähdä kuvassa 23 esitetyt tiedonhallintatasot. Tasot luokitellaan vasteaika-, tosiaikaisuus- ja luotettavuusvaatimusten mukaan. Kunkin tason tiedonhallintatarpeet arvioidaan sovellusten jaetun tiedon käytön vaatimuksen perusteella.

Alin taso esittää laitoksen (automaattinen) säätöjärjestelmää (käytämme termiä 'säätö', koska automaatio voidaan ymmärtää laajemmin siten että se kattaa sekä alatason säädöt ja ohjaukset että ylemmän tason valvonnan jopa tuotannon lyhyen jänteen suunnitteluun). Vaikka se on rajattu tässä raportissa tarkastelun ulkopuolelle, se täydentää kuvaa. Säätöjärjestelmän vaatima vasteaika on arvoalueella 1 – 100 ms (prosessipuolella voi olla luokkaa sekunti esim. venttiiliohjauksissa). Säätöjärjestelmän algoritmit vaativat yleensä kovaa tosiaikaisuutta (on olemassa ehdottomat aikarajat toiminnoille) ja luotet-

tavuusvaatimus on mahdollisimman korkea eli säätöjärjestelmältä vaaditaan vikasietoisuutta (toiminta ei saa pysähtyä vaikka on tapahtunut laskenta- tai järjestelmävirheitä). Säätoalgoritmit vaativat toimiakseen (toistaiseksi) rajatun määrän mittaustietoja, joten tiedonhallinnan tarve tällä tasolla on vähäinen.

Seuraavaa tasoa kutsutaan seurantatasoksi ja tyypillisesti se vastaa kaikista valvomon toiminnoista. Se voidaan nähdä luvussa 3 mainitun prosessitietokoneen yleistyksenä. Tämän tason sovellusten avulla käyttöhenkilöstö pystyy seuraamaan prosessia ja ohjaamaan sitä alla olevan automaatiotason avulla. Seurantatason toiminnot kehittyvät nykyisin voimakkaasti, mikä heijastuu tiedonhallintavaatimuksiin. Uudet suora-analyysi menetelmät ja on-line-päätelytekniikkaa käyttävät avustajaohjelmat edellyttävät esteetöntä pääsyä kaikkiin ajankohtaisiin prosessitietoihin. Tällöin jaetun tiedon käyttötarve on suuri. Myös tietomäärät ovat suuria. Jo pelkkä mittaustekniikan kehitys ja koko ajan kasvava prosessien instrumentointi ovat aiheuttaneet tilanteen, jossa seurantajärjestelmän vaatima mittauksien talteenotto kyky voi olla 10 000 mittausta sekunnissa ja mitausmuuttujien lukumäärä 50 000 luokkaa. Tähän tarvittavaa tiedonhallintaratkaisua kutsutaan yleensä prosessitietokannaksi. Prosessitietokannan vasteaika on oltava alueella 0,5–5 s eli se on mitoitettu valvomoympäristössä tarvittavan inhimillisen reagoitokyvyn mukaan. Sekä sovellukset että tietokantatoiminnot ovat tosiaikaisuusominaisuudeltaan "pehmeitä" eli vaikka nopeaa toimintaa tarvitaan, ehdottomia aikarajoja ei ole. Prosessitietokannalta vaadittu luotettavuustaso on vikasietoisuuden ja nopean toipumisen rajamailla. Nopea toipuminen tarkoittaa, että vian sattuessa kaikki tiedot olisivat taas eheinä käytettävissä korkeintaan 30 s kestävästä käyttökätkön jälkeen.

Tässä esitetyt vaatimukset ovat liikaa perinteiselle levy pohjaiselle relaatiotietokantajärjestelmälle, joka raskaiden levytoimintojen takia ei suorittuisi valtavasta mittaustietojen virrasta. Tähän tarkoitukseen tarvitaan erityinen prosessitietokantatekniikka. Viime aikoihin asti ainoa tapa saada se oli hankkia laaja kaupallinen prosessinhallintajärjestelmä, johon se tavallisesti kuului. Tällaisten järjestelmien toimittajia ovat esimerkiksi Neles Automation, ABB ja Honeywell. Nykyisin markkinoilta löytyy jo muutamia erillisiä tietokantatuotteita, jotka sopivat tähän tarkoitukseen. Prosessitietokannan erityisenä haasteena on tehokas aikasarjojen käsittely. Perinteisessä SQL-tietokannassa aikasarjojen tallennus ja haku ovat olleet hankalia.

Prosessitietokantojen suunnittelussa noudatetaan samoja periaatteita kuin tiedonhallinnassa yleensä. Vaikka prosessitietokanta perustuisi erikoisiin teknisiin ratkaisuihin, on tärkeää, että sen ulkoiset liittymät ovat riittävän yleisiä, esim. ODBC- tai OPC-tyyppisiä. Silloin seurantasovellusten laajentaminen tai osittainen uusiminen on vapaata ja riippumatonta alkuperäisen toteutuksen toimittajasta.

Kolmas tiedonhallinnan taso on tuotannon tietojärjestelmä, johon kuuluvat kaikki ne toiminnot, joiden ei tarvitse suoriutua tosiajassa prosessin kanssa. Useat sovellukset

saattavat käyttää samoja tuotantotietoja, joten jaetun tiedon tarve on suuri. Tämän tason tiedonhallinnalle asetetut vaatimukset ovat samanlaisia kuin yleensä taloushallinnon järjestelmissä: vasteaika on 2–30 s, tosiaikaisuusvaatimuksia ei ole ja toipuminen on ehdotonta, muttei välttämättä kovin kiireellistä. Kaupalliset relaatiotietokannat sopivat hyvin tämän tason tiedonhallinta-alustaksi.

Kolmannelle tasolle kuuluisivat myös off-line-tilassa tapahtuva prosessitiedon louhinta ja tietämyksen muodostaminen. Näiden toimintojen pohjaksi voi olla tarvetta hankkia erilliset tietovarastointiohjelmistot (Hovi 1997).

Tässä esitetty tasojako perustuu siihen, että teknisiltä ominaisuuksiltaan erilaiset tiedonhallintaratkaisut toteutetaan erilaisilla, taloudellisesti sopivilla välineillä. Pääsääntönä on, että mitä korkeampi toteutuksen taso on, sitä halvempi (toteuttaa ja ylläpitää) siitä tulee.

Silti se ei tarkoita, että joka tasolla luotaisiin yksi keskitetty tietokanta. Hankintateknistä syistä niitä voi olla useita kuullen eri osajärjestelmätoimituksiin. Tämän tason ratkaisut voivat myös muuttua nopeammin kuin muiden tasojen ratkaisuja. Tiedonhallinta-arkkitehtuurin kannalta olennaista on, että eri tietokannat ovat yhteisesti käytettävissä ja tietokantakokoonpanon muuttamisen on helppoa. Silloin standardoidut liittymät ovat tärkeässä asemassa – riippumatta kunkin tietokannan teknisestä toteutuksesta. Yhtenä suunniteluperiaatteena voidaan pitää liittoutuneiden tietokantojen (federated databases) ylläpitämistä. Silloin erilaisten heterogeenisten tietokantojen samanaikainen käyttö on mahdollista yhdenmukaisen tietomallien avulla. Tällaisen lähestymistavan teknisenä edellytyksenä on standardiliittymien toteuttaminen ja sellaisten kaupallisten ohjelmistojen käyttö, jotka tukevat tietokantojen yhdistämistä. Suurimpien relaatiotietokantavalmistajien tuotteet kuluuvat tähän joukkoon.

Yhtenä esitetyn tiedonhallintaympäristön piirteenä on, että tieto kulkee tasojen välillä ja tasojen sisällä. Tavallisesti prosessitieto siirtyy alemmasta tasosta ylempään, aina yhä jalostetummassa muodossa. Tällöin kyseessä on pystysuora toisinnus (vertikaalinen replikaatio). Tasojen sisällä kyseessä voi olla vaakasuora toisinnus (horisontaalinen replikaatio), jolloin tieto siirtyy osajärjestelmästä toiseen. Replikaation vaihtoehtona on, että tietoja tarjotaan sen syntypaikassa sopivan liittymän kautta.

Samalla jalostettu tieto siirtyy ylemmille tasoille. Esimerkiksi prosessitiedon koostearvojen (kuten keskiarvot) aikarakeisuus nousee tiedon siirtyessä alhaalta ylös. Tieto tiivistyy ja näin ylemmillä tasoilla voidaan esittää pitempien aikajaksojen tietoja kuin alemmilla tasoilla.

Laitoksen onnistunut ja pitkäjänteinen tiedonhallinta-arkkitehtuuri on huolellisen suunnittelun tulos. Siihen kuuluvat sekä perustoimintoja tukevat keskitetysti kehitetyt tieto-

mallit ja tietokannat sekä avoimet ohjelmalliset liittymät järjestelmien lisäkehitystä varten.

### 5.3 Dokumenttien hallinta

Ydinvoimat ovat monimutkaisia laitoksia. Erilaisia suunnitelmia, osajärjestelmiä ja rakenteita toimitetaan monelta eri taholta ja monesta maantieteellisestä paikasta. Näiden kaikkien dokumentointi tuotetaan vaihtelevalla tavalla ja toimitetaan monessa eri muodossa ja monella eri kielellä. Tarvitaan hyvin määriteltyjä ja yleisesti hyväksytyjä menetelmiä kaiken tämän dokumentaation yhdistämiseen, käsittelyyn ja jakeluun (ks. esim. [www.aiim.org/dma](http://www.aiim.org/dma)).

Laitosten ikä on huomattavan paljon pidempi kuin niissä käytettävien tietojärjestelmien ikä. Tämän takia järjestelmien tiedot täytyy voida helposti siirtää uusiin käsittelyjärjestelmiin. Informaation täytyy olla saatavissa, käyttökelpoista ja muokattavissa laitoksen koko elinkaaren ajan. Tätä vaatimusta kutsutaan elinkaarivaatimukseksi (Elovainio & Kunz 1997). Muitakin ongelmia on teknisessä dokumentoinnissa, esim. versionhallinta ja informaation uudelleenkäyttö. Käyttämällä standardiratkaisuja voidaan yrittää pidentää informaation ikää.

Dokumenttien hallinnalla tarkoitetaan systemaattisia ja johdonmukaisia tekniikoita, joiden avulla dokumentteja ja niihin liittyviä tietoja haetaan ja käsitellään (Karjalainen & Salminen 1999). Koska suuri osa yrityksen tiedosta käsitellään ja hyödynnetään dokumenttimuodossa, on dokumenttien hallinta keskeinen osa organisaation tietämyksen hallintaa. Dokumenteilla on organisaatiossa mitä erilaisimpia rooleja. Toiminnan tehostaminen edellyttää dokumenttien roolien tunnistamista ja toiminnan kannalta kriittisten dokumenttien ja dokumenttiroolien käsittelyn tehostamista.

Käsite dokumentti voidaan määritellä eri tavalla tarpeen mukaan. Esimerkkejä:

- Dokumentti on mikä tahansa sellaisen yhteenkuuluvan informaation säiliö, joka on koottu ollakseen ymmärrettävä ihmiselle (32 Document Management Avenue 1995).
- Dokumentti on kokoelma informaatiota, joka on merkityksellinen tietylle aiheelle tai tietyille yhteenliittyville aiheille (DMA 1996).
- Dokumentti on strukturoitu määrä informaatiota ihmisen havainnoitavaksi. Se voidaan vaihtaa yhtenä yksikkönä käyttäjien ja/tai järjestelmien välillä (ISO 8613-1).

Nämä määritelmät luokittelevat esimerkiksi CAD- tai audiotiedostot dokumenteiksi. Dokumentteihin sisältyvä informaatio voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: koodattu ja dokumentaarinen informaatio (Anon. 1995). Koodattu informaatio löytyy usein tietokannoista. Sitä voidaan luonnehtia faktisina tietoina, strukturoituina tietoina ja tietoina, joita voi analysoida aritmeettisella ja loogisella päättelyllä. Dokumentaarinen informaatio löytyy tyypillisesti tekstitiedostoista tai tekstidokumenteista. Koodatun ja dokumentaarisen informaation raja on tosin jonkin verran epäselvä.

Organisaation tiedot voidaan jakaa viiteen päätyyppiin, jotka kaikki voivat esiintyä sekä dokumentaarisina että koodattuina:

- *operatiivinen tieto*: toiminnassa tarvittava tieto (transaktiotiedot, kaavakkeet, suunnittelutiedot, valmistusohjeet, toimenpideohjeet jne.)
- *hallinnollinen tieto*: tieto, jota tarvitaan toiminnan valvontaan ja päätöksenteon pohjana
- *ammattillinen tieto*: tietoja henkilökunnan tarpeisiin, esim. teknisiä tai muita referenssitietoja
- *työryhmän viestintä*: rutiininomaisia tietoja, joita vaihdetaan, jotta jäsenet toimisivat tehokkaasti tiiminä
- *historialliset tiedot*: tiedot, joita ylläpidetään lain tai viranomaisten vaatimuksesta tai muista määräyksistä johtuen, tutkimuksen takia tai jotta organisaatio voisi tarvittaessa puolustautua.

Useimmiten vain muutama prosentti kaikista näistä tiedoista on koodattu. Karkea ydinvoimalan, lähinnä operatiivisen tiedon, luokittelu voisi olla esim. seuraava:

- suunnitteludokumentit (teknisiä taustaselvityksiä, systeemikuvauksia, CAD-piirustuksia, tietokantapohjaisia tietoja)
- ohjeet (huolto-, käyttö-, häiriö-, hätätilanne-, valmiusohjeita jne.)
- operatiivista toimintaa tukevat dokumentit (työmääräyksiä, ostoja, reklamaatioita, lupia)
- hallinnolliset dokumentit (hallinnollisia ohjeita, sopimuksia).

Laajamittainen tietokonepohjainen dokumenttienhallintajärjestelmä, joka käsittelee dokumentteja siitä, kun ne luodaan tai muulla tavoin tuodaan ulottuville, siihen kunnes ne tuhotaan, täytyy tarjota ainakin muutama allaolevista toiminnoista (Anon. 1995, Reagan et al. 1997).

1. Dokumentti on oltava saatavissa siitä kun se luodaan tai muulla tavoin tuodaan ulotuille. Olemassa olevia paperidokumentteja voidaan skannata ja tallentaa kuvina. Myös merkintunnistusohjelmia (Optical Character Recognition, OCR) voi käyttää tässä yhteydessä, minkä jälkeen tekstin sisältöön voidaan kohdistaa hakuja.
2. Dokumentin indeksointi ja profilointi (= metatietojen lisääminen). Tämä lisää dokumentin arvoa ja tehostaa tietojen hakua.
3. Dokumenttien tallentaminen ja varmuuskopiointi: suojaukset, tallennustilan hallinta, palautus vian jälkeen, digitaalisia ratkaisuja. Hakujen määrä ja tarvittava saantiaika ratkaisevat minkätyyppinen tallennusväline tulee kyseeseen: optiset levyt ja magneettinauhat ovat halvempia kuin perinteiset kovalevyt.
4. Tiedonvaihto sovellusten, tietokoneiden, paikkojen ja toimintojen välillä. Standardoituja tai "avoimia" tiedostoformaateja täytyy käyttää, jotta voitaisiin taata tehokas ylläpito.
5. Dokumentaarisen tiedon tiedonhallinta. Suojaukset, vapaa tekstihaku, versionhallinta.
6. Indeksihaku. Rajoitetumpia hakumuotoja, esim. metatieto tai dokumentin rakennelementeistä haku.
7. Dokumenttien on-line saanti (vs. paperiarkistosta hakeminen).
8. Esitys, muokkaus, kommentointi, dokumenttien (tai dokumenttiosien) ulos- ja sisäänkirjaaminen (mikä estää yhtäaikaisen muokkauksen).

Yhteenveto dokumenttien vaihtoon liittyvistä standardeista löytyy lähteestä (Open Information Interchange 1999a). Siinä kuvataan lyhyesti enimmäkseen tekstidokumenttien vaihtostandardeja:

- rakenteiset dokumenttistandardit (SGML, XML, HTML, TEI...)
- PostScript-pohjaiset standardit (pdf, SPDL...)
- tärkeimmät yrityskohtaiset standardit (RTF...)
- eräät muut erityisiin sovelluskohteisiin sopivat standardit (TEX, ODA (liikedokumentit), ECMAscript, lehtikuvien siirtostandardit...).

Dokumenttienhallintaan liittyy kuitenkin myös joukko muita sovelluksia, joissa dokumenteilla (jonkin määritelmän mukaan) on tärkeä rooli. Joskus määritellään, että dokumenttienhallinta kuuluu suurempaan kokonaisuuteen nimeltä *asianhallinta*. Muita asianhallinnan osa-alueita ovat elektroniset arkistot, työnkuluratkaisut ja optinen merkintunnistus.

Tiedonhaun tehokkuuteen vaikuttaa miten haku voidaan rajoittaa. Rakenteisissa dokumenteissa tietyn sanan haku vain tietyn rakenne-elementin sisältä antaa vastaukseksi paljon suppeamman ja tarkemmin valikoidun joukon kuin sama sana haettuna mistä vain. Samoin erityisen metatiedon sisällyttäminen dokumentteihin vaikuttaa hakujen kohdistuvuuteen. Metatiedolla tarkoitetaan tässä yhteydessä erityisiä dokumentteihin liittyviä kenttiä, joissa kuvataan dokumentin sisältö, kuten dokumenttityyppi, kirjoittaja, avainsanat tms. Standardointijärjestöt IEC:n SC 3B ja ISO:n TC 10 ovat perustaneet yhteisen työryhmän JWG 15, jonka tehtävä on pohtia metatiedon käyttöä teknisissä sovelluksissa ja laatia standardeja tähän tarkoitukseen. Aikataulun mukaan standardin viimeinen osa on valmis maaliskuussa 2001 (IEC 1999).

Karjalainen ja Salminen (1999) esittävät suuren joukon kysymyksiä, joihin tulisi ottaa kantaa, kun dokumenttienhallintajärjestelmä suunnitellaan. Tässä muutama poiminta:

- Mitkä tietokokonaisuudet käsitellään dokumentteina?
- Miten lainsäädäntö pitää huomioida?
- Miten dokumentit luokitellaan?
- Missä muodoissa dokumentteja pitäisi pystyä tallentamaan?
- Kuinka pitkään tallennettujen dokumenttien tiedot pitäisi säilyä?
- Millaisia tietoturvaongelmia dokumentteihin liittyy, miten ne ratkaistaan?
- Kuinka varmistetaan dokumentteihin sisältyvän ja niiden hallintaan liittyvän kriittisen tiedon käytettävyys, vaikka hallintaan käytettävät järjestelmät olisivat toimintakunnottomia?
- Millä tavalla uudet ratkaisut muuttavat ihmisten työtä?

## 5.4 Extensible Markup Language, XML

*SGML:ää (Standard Generalized Markup Language)* (Cover 1999a) tai sen pohjalta kehitetty Internetiin sovitettua *XML:ää (eXtensible Markup Language)* (Bray et al. 1998, Cover 1999b) voidaan käyttää dokumentoinnin eräiden ongelmien ratkaisemiseen. Niiden avulla saavutetaan toimittaja- ja arkkitehtuuririippumaton tapa tallentaa tietoa, jonka avulla voidaan varmistaa informaation käytettävyys tulevaisuudessa. Dokumentoinnin ohella XML:llä odotetaan olevan monia muita käyttökohteita hajautetuissa sovelluksissa. Standardin takana on *World Wide Web Consortium (W3C)*. XML standardi on hyväksytty 1998, mutta on kuitenkin melko kypsä, koska se perustuu yli kymmenen vuotta vanhaan SGML-standardiin, jonka soveltamisesta on paljon kokemusta.

XML mahdollistaa itsensä kuvaavien, mielivaltaisen syvien ja monimutkaisten rakenteiden esittämisen ja vaihdon sovellusten välillä. *Elementti* on XML:n, kuten Internetissä käytettävän HTML:nkin, perusrakenteensa. Elementtien avulla dokumentti (tai tieto) kuvataan puumuotoisina, hierarkkisina olioina. XML-dokumentti on tekstimuotoista. Yksinkertainen esimerkki XML-dokumentista on seuraava:

```
<?xml version="1.0"?>
<tilaus>
  <asiakas>VTT Automaatio</asiakas>
  <nimike kappalemäärä="3">
    <nimi>tietokone</nimi>
    <a-hinta>5000</a-hinta>
    <tyyppi>Pentium III</tyyppi>
  </nimike>
</tilaus>
```

Tämä on hyvinmuodostettu XML-dokumentti, koska jokaisen elementin alkutunnistetta (tag) vastaa samanniminen lopputunniste ja eräät muutkin muotoseikat on huomioitu. Vaikka tämä esimerkki näyttää tiedonvaihtoformaailta, samalla tavalla voidaan kuitenkin kuvata mikä tahansa dokumentti ja käyttää sitä kuin tavallista verkkodokumenttia.

Joskus on tarpeen vaatia, että dokumentti on ehdottomasti rakennettu tiettyjen muoto-sääntöjen mukaan. Tällöin voidaan dokumenttiin liittää *dokumenttityyppimääritelmä* (DTD, *Document Type Definition*). DTD voidaan sisällyttää XML-dokumenttiin tai siitä vain viitataan DTD:hen ulkoisena tiedostona tai URL:na (Internet-osoitteena). Erityisellä XML-prosessorilla voidaan varmistaa, että dokumentilla on oikea rakenne. Sanotaan, että dokumentti on *validi*, jos se on hyvinmuodostettu ja DTD:n mukainen. DTD on kuitenkin melko rajoitettu ilmaisuvoimaltaan eli kaikkia tarvittavia rakenteita ei voida kuvata. Mm. tämän takia on kehitteillä *XML skeema* (XML Schema), josta on julkaistu luonnos (Beech et al. 1999, Biron & Malhotra 1999). Tällä saavutetaan suuri joustavuus samalla kun dokumenttirakenne (dokumenttiskeema) voidaan kuvata syntaktisesti samalla tavalla kuin muu XML-dokumentti. Jos XML:ää käytetään tiedonvaihtoformaattina eri sovellusten välillä, voidaan XML skeeman mahdollistamalla kuvauksilla erottaa esim. teollisuusalaakohtaisia standardiskeemoja yritysspesifisistä skeemoista. Sovellukset voidaan saada ymmärtämään milloin on turvallista hylätä tietoja, joita ne eivät ymmärrä ja milloin niin ei saa tehdä. Järjestelmiä voidaan tehdä sopeutumiskykyisemmiksi ympäristön muuttumista vastaan. Teollisuusalaakohtaisia DTD-määritelmiä on kehitteillä prosessiteollisuudelle (Salminen 2000) inSGML-nimisessä projektissa.

XML-dokumentti koostuu kolmesta osasta: rakennemäärittely DTD (voi puuttuakin), varsinainen dokumenttisisältö ja ulkoasumäärittely. Ulkoasun määrittelyyn voi käyttää Cascaded Style Sheet-muotoisia (CSS) (W3C 1997) tyyllisäännöstyöjää kuten HTML:nkin kanssa. Toinenkin mahdollisuus on olemassa tai ainakin tulossa: eXtensible Stylesheet



Language (XSL) (Cover 1999c). XSL-tyylisäännöstöprosessori ottaa XML-muotoisen dokumentin ja XSL-muotoisen tyyllisäännösten ja tuottaa niistä sellaisen XML-dokumentin muodon, jota tyyllisäännöstöllä on määritelty. Tässä prosessissa on kaksi aliprosessia: toisaalta XML-lähdepuusta generoidaan tulospuu (vastaava spesifikaatio kutsutaan myös XSLT:ksi) ja toisaalta tulospuun tulkinta niin, että syntyy formatoitu esitys näytöllä, paperilla, puheena tai muuna mediana. Ensimmäistä aliprosessia kutsutaan puutransformaatioksi ja toista formatoinniksi. Jakamalla tyyllisäännösten prosessointi kahteen osaan saavutetaan suurempi joustavuus. Puutransformaation jälkeen tulospuun rakenne voi olla täysin erilainen kuin lähdepuun rakenne. Lähdepuu voidaan suodattaa ja uudelleenjärjestää, ja mitä tahansa rakenteita voidaan lisätä. Esimerkiksi voidaan generoida sisällysluettelo tai järjestetty taulukko tietokantakyselyn tuloksena (XSL-muodossa esitetty kysely). Tulospuun konstruoinnissa transformaatioprosessi lisää tietoja, joita tarvitaan tulospuun formatoinnissa. Jos tavoitteena on vain yksinkertaisen esitysmuodon generointi, on CSS helpompi käyttää. XSL on XML-syntaksin mukainen.

XML voi sisältää myös hyperlinkkejä. *Extensible Linking Language (XLL)* (Cover 1999d) on kehitteillä oleva linkkien määrittelykieli, joka sallii paljon monimuotoisempia linkkejä kuin nykyinen HTML. Se koostuu kahdesta osasta:

- *XLink (XML Linking Language)* määrittelee miten luodaan linkkejä dokumenttien välille.
- *XPointer (XML Pointer Language)* on tarkoitettu käytettäväksi XLink:n kanssa. Sen avulla voidaan viitata XML-dokumentin sisäisiin rakenteisiin.

XLL ei salli pelkästään yksinkertaisia yksisuuntaisia hypertekstilinkkejä kuten HTML, vaan myös:

- Linkit, joilla on monta määränpäättä. Käyttäjä voi valita mihin haluaa mennä.
- Monisuuntaiset linkit, joita voi seurata mistä päästä tahansa johonkin muuhun päähän. Tämä ei ole sama toiminto kuin minkä selainten "Back"-näppäin tarjoaa.
- Linkin takana olevan dokumentin (tai sen osan) sisällyttämisen valittuun dokumenttiin ("transklusio"). Tämä voi tapahtua automaattisesti (kerran tai joka kerta kun muutos tapahtuu kohdedokumentissa) tai vain pyynnöstä.
- Tietokannat, jotka organisoivat epäsuoria linkkejä. Kun dokumentin sijainti muuttuu, tietokantaan päivitetään uusi osoite, ja tietokantaan viittaavat linkit löytävät taas kyseisen dokumentin.

Näiden perusasioiden ohella XML-standardien ympärillä on meneillään suuri joukko muita asioita. Sovelluskehityksen kannalta tärkeitä ovat ainakin seuraavat:

- *DOM (Document Object Model)* (W3C DOM WG 1998) määrittelee ohjelmointirajapinnan, jonka välityksellä sovellukset pääsevät muokkaamaan XML-dokumenttien sisältöä, rakennetta ja tyyliä riippumatta niiden sijainnista tai laitteistoympäristöstä. Tämä standardi on osittain valmis.
- *RDF (Resource Description Framework)* (W3C RDF WG 1999) on tapa kuvata tietoverkossa olevia resursseja (= metatieto). RDF:n avulla kuka tahansa (= mikä tahansa yhteensiihtymä) voi muodostaa omia sanastoja, jotka sopivat omiin tarpeisiin. Näiden sanastojen avulla voidaan toteuttaa automaattinen verkkoresurssien käsittely. Standardi on osittain valmistunut 1999.

SGML:ää on yli kymmenen vuoden ajan menestyksellisesti käytetty perinteisten dokumenttien luontiin ja osittain myös jakeluun. SGML-työkalut ovat olleet melko kalliita, mutta nyt kun XML:n käyttö on räjähtämässä, voi odottaa uusien halvempien tuotteiden ilmestyvän markkinoille. SGML:n ulkoasustandardit ovat syntyneet vasta viime vuonna, ja muotoiluun on käytetty enimmäkseen tuotespesifisiä (eikä siirrettäviä) ratkaisuja. CSS ja XSL ovat standardisoituja ja tuote- ja laitteistoriippumattomia ratkaisuja. Uudet linkitysominaisuudet voivat myös vaikuttaa dokumenttien tuottamis- ja käyttötapaan. "Transkluusiota" käyttäen voi sisällyttää XML-dokumentin elementit tietokantaan, jolloin dokumentti voidaan muodostaa käyttötilanteessa tietokantahakuna. Tällaisia versiohallinnalla varustettuja tietokantoja on jo markkinoilla (Texcel 1999).

XML vaikuttaa myös tietojärjestelmien integraatioon. Keskeinen tavoite on järjestelmien ja erityisesti niiden hallitsemien tietojen yhteiskäyttö. Tiedon semantiikalla on suuri merkitys. Elektronisessa kaupankäynnissä on esimerkiksi oleellista, että sovellukset ymmärtävät minkä maan valuuttaa tai mitä mittayksikköjä on käytetty. Tämän kaltaiset ongelmat korostuvat yritysten verkottuessa. Internetin käytön yleistyessä voidaankin olettaa, että yhä suurempi osa tiedonvaihdosta tapahtuu automaattisesti sovellusten välillä, jolloin kommunikoivien osapuolten on sovittava pelisäännöt siirrettävän tiedon semantiikan kuvaamiseksi (Helander 1998).

Verkkosovellukset ovat nykyään yhä useammin kolmitasoarkkitehtuurin mukaisia. Sovelluspalvelin keskitasolla vaihtaa tietoja käyttöliittymätason (esim. selaimen) kanssa ja on liitetty taustalla oleviin tietokantajärjestelmiin. Keskitasolla on selvä trendi kohti XML:n käyttöä tiedonvaihtoformaattina. Sovellusten välisessä tiedonvaihdossa XML mahdollistaa tiedon semantiikan kuvaamisen, jolloin sovellusten on helpompi ymmärtää tiedon merkitys ja käyttötarkoitus. Tärkeimmät standardit integroinnin kannalta ovat XSL, DOM ja RDF.

XML:n ympärillä tapahtuu nopeaa kehitystä ja sitä aletaan soveltaa yhä laajemmalle. Erityisesti ydinvoima-sektorilta on kuitenkin löytynyt vain yksi sovelluskohde: HRP:ssä (OECD Halden Reactor Project) kehitettyä toimintaohjeiden käsittelyjärjestelmää (COPMA) ollaan muuttamassa XML-pohjaiseksi (Hulsund et al. 1999). Tarkoitus on, että vanhat ohjeet olisivat suhteellisen pienillä muutoksilla siirrettävissä uuteen ympäristöön.

Jos uskoo monia viimeaikaisia kirjoituksia, XML on vastaus joka yrityksen rukouksiin. Käytännössä XML on kuitenkin vielä liian uusi moneen tiedonvaihtosovellukseen. Jotta päästäisiin parempaan sovellettavuuteen, XML-perheen standardien täytyy tarjota parempi toiminnallisuus. Bryan (1999) kuvaa puutteita, joihin on törmätty tiedonvaihtosovellusten rakentamisessa. Tarvitaan työkaluja jotka:

- pystyvät näyttämään monimutkaisia kaavakkeita yhdessä erikielisten täyttöohjeiden kanssa
- pystyvät käyttämään tietokantoihin tallennettuja tietoja kaavakkeiden (puoli)automaattiseen täyttämiseen tai vaihtoehtojen tarjontaan
- voivat käyttää elektronista allekirjoitusta
- sallivat täytettyjen kaavakkeiden lähettämisen kryptattuina XML-dokumentteina
- sallivat, että vastaanotetut XML-viestit käynnistävät prosesseja vastaanottojärjestelmässä hallitun työkulkuprosessin osana.

Ratkaisut näihin asioihin odottavat sopivan standardikomponentin valmistumista. Esimerkiksi syötteitä käyttäjältä ei ole toistaiseksi missään määriteltä, mutta ne ovat ilmeisesti osittain tulossa XSL-standardiin ja osittain DOM-standardiin. Allekirjoitus voidaan järjestää jo hyväksytyyn RDF-standardin avulla. Se kuitenkin vaatii, että joku yhteenliittymä sopii keskenään yksityiskohdista. RDF tarjoaa puitteet.

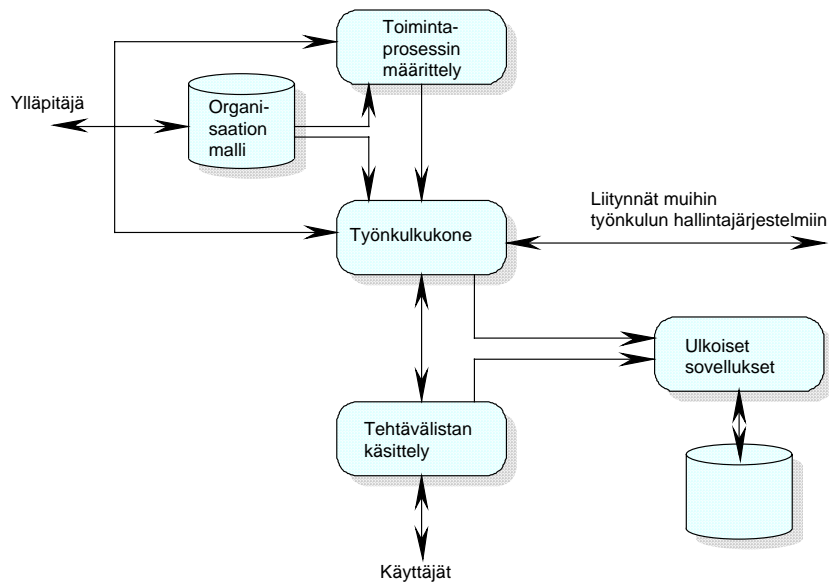
## 5.5 Työkulkuratkaisut

Työkulku (*workflow*) liittyy sellaisten toimintosarjojen automatisointiin, jossa dokumentteja, informaatiota tai tehtäviä siirtyy osanottajien välillä annettujen sääntöjen mukaan (Hollingworth 1995, WfMC 1999). Päämääränä on tietyn liiketoiminnan tavoitteen saavuttaminen. Työkulku saattaa olla manuaalisesti organisoitu tai toteutettu tietojärjestelmien avulla. Työkulun hallintajärjestelmä automatisoi liiketoimintaprosessia jakamalla sen sarjaan tehtäviä ja kutsumalla asianmukaisessa järjestyksessä ihmisiä tai koneita mukaan niiden käsittelyyn.

Yksinkertaisimmillaan työnkulun hallintajärjestelmä voi olla vain viestintäjärjestelmä, joka ohjaa järjestystä, jonka mukaan osallistujat käsittelevät viestejä (Open Information Interchange 1999c). Tyypillisemmin työnkulun hallintajärjestelmä kuitenkin:

- Sallii tietojen tai dokumenttien reitittämisen paikkojen läpi.
- Vaatii, että vastaanottaja tekee tiettyjä toimenpiteitä tiedoille ennen kuin ne voidaan lähettää eteenpäin seuraavalle paikalle.
- Mahdollistaa tietojen lähettämisen useammalle rinnakkaiselle prosessille. Lähettäminen eteenpäin tulee mahdolliseksi vasta, kun kaikki rinnakkaiset prosessit ovat suorittaneet tehtävänsä.
- Raportoi vaadittujen (tai valinnaisten) tehtävien etenemisestä tiedon lähteelle tai niille ihmisille tai prosesseille, joiden tehtävä on valvoa käsittelyn etenemistä.

Hajautettujen työnkulun hallintajärjestelmien luonti vaatii, että järjestelmät pystyvät vaihtamaan tietoa, jonka avulla voi ohjata työnkulkuprosessin. *Prosessin määrittelyllä* (kuva 24) pitää voida kuvata joukko *askeleita* ja niihin liittyviä ihmisten tai tietokoneiden toimenpiteitä sekä *sääntöjä*, jotka hallitsevat prosessin etenemistä. Paikallisen *työnkulkukoneen* (workflow engine) täytyy ajonaikaisesti tulkita prosessimäärittelyä. Työnkulkukone on vastuussa prosessien luomisesta ja valvomisesta, askeleiden ajoittamisesta prosessin sisällä ja oikeiden ihmis- tai koneresurssien kutsumisesta mukaan käsittelyyn. Askel sisältää joko ihmisen toimenpiteitä, usein yhdessä jonkun ohjelmistotyökalun kanssa (esim. kaavakkeen täyttämistä), tai täysin automaattisia toimenpiteitä, joita suorittaa jokin muu sovellus (esim. uuden tietueen lisääminen tietokantaan).



Kuva 24. Työnkulun hallintajärjestelmän toimintoja.

Työnkulun hallintajärjestelmän muodollinen määritelmä on seuraava (WfMC 1999):

*"Työnkulun hallintajärjestelmä on järjestelmä, joka määrittelee, luo ja hallitsee työnkulun toteuttamista käyttämällä yhdellä tai useammalla työnkulkukoneella sijaitsevia ohjelmistoja, jotka pystyvät ymmärtämään prosessimäärittelyn, vuorovaikuttamaan työnkulkuun osallistujien kanssa ja tarpeen mukaan kutsumaan työkaluja ja sovelluksia."*

Yksittäisen liiketoimintaprosessi, ja sen mukana työnkulkuprosessi, voi kestää muutamasta minuutista kuukausiin, riippuen siitä kuinka monimutkainen se on ja kuinka paljon tehtäviä siihen sisältyy. Voidaan sanoa, että työnkulun hallintajärjestelmät tarjoavat tukea kolmeen toimintotyyppiin:

- Työnkulun rakennusaikaiset toiminnot, liittyen työnkulkuprosessin ja sen osatoimintojen määrittelyyn ja mahdolliseen mallintamiseen prosessimäärittelyksi.
- Ajonaikaiset ohjaustoiminnot, liittyen työnkulkuprosessien hallintaan käyttöympäristössä ja osatoimintojen jaksottamiseen prosessin osina. Tämä on käytännössä prosessimäärittelyn tulkintaa työnkulkukoneessa.
- Ajonaikaiset vuorovaikutukset ihmisten tai liittyvien tietojärjestelmien kanssa. Yksittäiset osatoiminnot ovat tyypillisesti ihmisen väliintulo (yhdessä jonkun tietoteknisen työkalun kanssa) tai jonkun sovellusohjelman automaattisia toimenpiteitä.

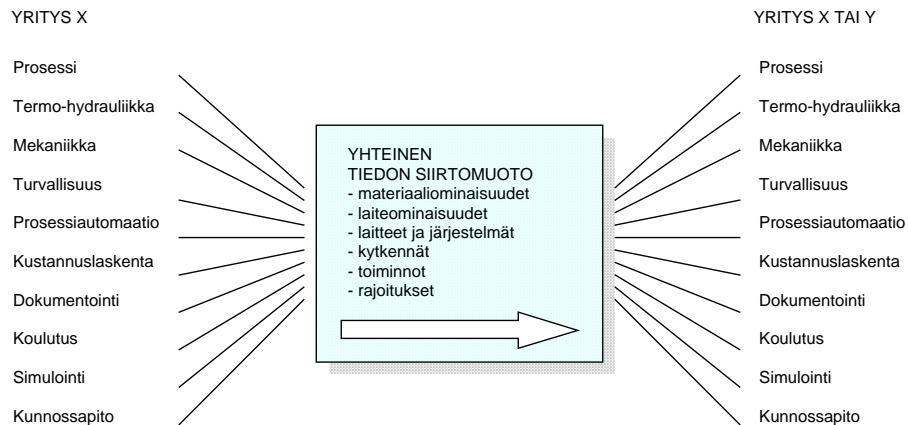
Työnkulkuratkaisujen yhteydessä puhutaan usein myös kahdesta lähellä olevasta käsitteestä (Open Information Interchange 1999c): yhteiskirjoittamisesta (*collaborative authoring*) ja tapahtumailmoituksista (*event notification*). Yhteiskirjoittaminen voidaan määritellä näin: "työnkulkutekniikoiden käyttö hallintaan tilanteissa, joissa useampi kuin yksi kirjoittaja osallistuu integroitujen datajoukkojen luomisen". Tämä on kuitenkin laajempi asia kuin pelkkä työnkulku. Tapahtumailmoitus on "työnkulun hallintajärjestelmän osa, joka mahdollistaa palauteviestien generoinnin tietyn prosessin valmistuttua". Tämä mahdollistaa työnkulkuprosessin etenemisen valvonnan.

Lähteessä (Open Information Interchange 1999b) on yhteenveto työnkulun ympärillä tapahtuvasta standardikehityksestä. Siinä kuvataan mm. seuraavia:

- Document Management Alliancen (DMA) standardeja koskien dokumenttien työnkulkuratkaisuja.
- SWAP, joka käsittää yksinkertaisen työnkulkuprosessien hallinnan Internetin yli.
- Workflow Management Coalition (WfMC), joka tarjoaa yhteisen viitemallin koskien työnkulun hallintajärjestelmiä. WfMC mm. luo standardoituja ohjelmistorajapintoja eri liittymäkohtiin.

## 5.6 Tuotemallit ja CAD

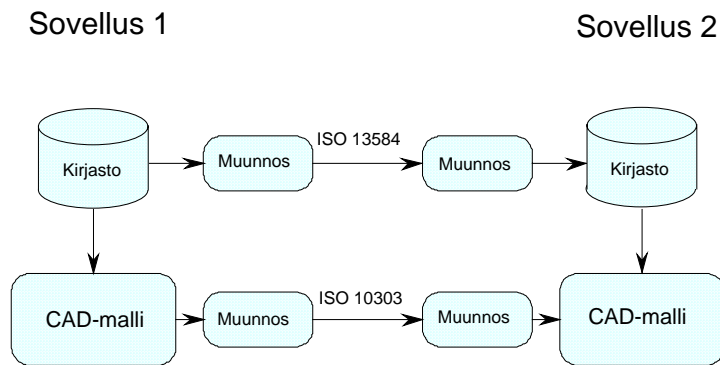
Teollisuuden eri toimialoilla on tarve hallita tuotteisiin ja niiden sovelluksiin liittyvää tuotetietoa (product data) tietokoneavusteisilla suunnittelu- ja valmistusjärjestelmillä (CAD, CAE, CAM). Tietoa käsitellään eri organisaatioissa ja erilaisilla työkaluilla, jolloin syntyy tarve siirtää tietoa järjestelmien välillä. Tämä taas johtaa suureen joukkoon erilaisia rajapintoja, joiden kehittäminen ja ylläpitäminen on kallista. Tuotetieto voi elää pitkäänkin, kun taas suunnittelujärjestelmät uusiutuvat muutamassa vuodessa. Vanhoihin tietokantoihin ja sovelluksiin on panostettu suuria työmääriä, joten niitä halutaan hyödyntää tekniikan muutoksista huolimatta.



Kuva 25. STEP vähentää tiedonsiirron rajapintoja.

ISO 10303, Industrial automation systems and integration – product data representation and exchange (epävirallisesti STEP, USA:ssa PDES, Product Data Exchange Specification) on laaja standardisarja, jonka tavoitteena on tarjota välineitä tuotetietojen kuvaamiseen ja siirtoon tietokoneilla tulkittavassa muodossa tuotteen elinkaaren kaikissa vaiheissa. Standardia on kehittänyt ISON tekninen komitea TC 184 jo 80-luvun alkupuolelta lähtien (<http://www.nist.gov/sc4>). STEPin perusajatusta on havainnollistettu kuvassa 25. Sen periaatteet tukevat myös tuotetietojen tallentamista tietokantoihin ja arkistoihin. Standardin ensimmäiset osat hyväksyttiin 90-luvun puolivälissä, mutta suuri osa on vielä työn alla. Myös uusia osia nousee esiin. Varsinaiseen STEP-standardiin liittyviä hankkeita ovat esim.

- ISO 15531 – Industrial manufacturing management data (MANDATE)
- ISO 15926 – Industrial automation systems and integration (OIL & GAS)
- ISO 13584 – Parts Library (PLIB), ks. kuva 26.



Kuva 26. Komponenttikirjastot tukevat mallien siirtoa CAD-järjestelmien välillä.

STEPin arkkitehtuuri muodostuu joukosta osakokonaisuuksia, joihin standardisarjan osat on ryhmitelty:

- kuvaustavat (description methods): erityisesti tietorakenteiden mallinnuskieli EXPRESS
- yhteiset resurssit (integrated information resources): sovellusalueesta riippumattomat tietorakenteet
- yhteensopivuuden testausmenetelmät (conformance testing methodology framework)
- toteutustavat (implementation methods): sovellusohjelmoinnin rajapinnat (*Standard Data Access Interface, SDAI*) eri kielille, esim. C++, Java, SGML ja XML
- sovellusprotokollat (application protocol) ja niihin liittyvät yhteensopivuuden testausaineistot (abstract test suites).

Standardin laajimman osan muodostavat eri sovellusalueille määritellyt sovellusprotokollat, jotka siis rakentuvat yleisempien, yhteisten resurssien varaan. Protokollan kehittäminen alkaa sovellusalueen toimintojen kuvaamisesta (*Application Activity Model, AAM*), jossa sovelletaan IDEF<sub>0</sub>-menetelmää. Tämän perusteella tunnistetaan sovellusalueen oliot sekä kuvataan ne EXPRESS-kielillä. Määrittelyt liikkuvat usein varsin käsitteellisellä tasolla ja käsittelevät esim. erilaisia laitekokonaisuuksia, niiden välisiä liitännöitä (connectivity), toimintoja sekä myös organisaation rakennetta ja ihmisten tehtäviä. Prosessilaitosten ja ydinvoimaloiden kannalta kiinnostavia sovellusprotokollia ovat esim. seuraavat:

- AP 230, Configuration controlled design



- AP 208, Life cycle management – Change process
- AP 212, Electrotechnical design and installation
- AP 221, Functional data and their schematic representation for process plant
- AP 227, Plant spatial configuration
- AP 231, Process engineering data: Process design and process specification of major equipment.

STEP on erittäin laaja standardi, jota on kehitetty jo vuosia. Juuri laajuus ja monimutkaisuus voivat vaikeuttaa sen käyttöönottoa. XML saattaa korvata sen joillakin aloilla. Toisaalta alueella on paljon aktiviteetteja, myös varsinaisen standardointityön ulkopuolella. Monet CAD-järjestelmien valmistajat ovat ilmoittaneet STEPin soveltamisesta, ja useissa maissa on kansallisia teknologian siirtohankkeita. Esimerkkejä STEPiin liittyvistä yhteistyöorganisaatioista ja -hankkeista ovat:

- Process Data Exchange Institute, PDXI ([www.aiche.org/pdxi](http://www.aiche.org/pdxi))
- Process Industry STEP, PISTEP ([www.pistep.com](http://www.pistep.com))
- European Process Industries STEP Technical Liaison Executive, EPISTLE ([www.stepcom.ncl.ac.uk/epistle/epistle.htm](http://www.stepcom.ncl.ac.uk/epistle/epistle.htm)).

Esim. laivanrakennus, öljynporaus sekä prosessiteollisuus ovat voimakkaasti mukana STEPin kehittämisessä, mutta ydinvoimateollisuuden osallistumisesta ei ole juuri viitteitä.

CAD (Computer Aided Design) järjestelmät ovat kehittyneet yksinkertaisista piirustusvälineistä varsin joustaviksi suunnittelujärjestelmiksi. Uuden ydinvoimalan kohdalla voidaankin edellyttää, että kaikki piirustukset on tehty tarkoitukseen sopivalla CAD-järjestelmällä. Suunnitteluprojektin aikana käytetyt CAD-mallit tukevat usein erilaista simulointia ja optimointia. CAD-järjestelmät kuitenkin jakautuvat eri suunnittelualoihin, joten niiden välisistä liitännöistä tulisi varmistua ajoissa. Tärkeimmät CAD-järjestelmien osa-alueet ja sovelluskohteet ovat

- rakennukset ja putkistot (3-D mallinnusta erilaisine tukitoimintoineen)
- prosessisuunnittelu (erilaiset dimensiointikoodit, simulointi, virtauslaskenta, onnettomuusanalyysit)
- automaatio- ja sähkösuunnittelu (säätöpiirit, automatiikat, suojaukset, kaapelireitit)
- valvomosuunnittelu (3-D mallinnusta, simulointia).

CAD-järjestelmän tulisi pystyä kommunikoimaan dokumentointijärjestelmän kanssa siten, että sovitut nimeämissännöt ja ristiviittaukset on helppo hoitaa. CAD-järjestelmän käsittelemän informaatio tulisi perustua standardeihin riittävässä määrin, jotta suunnitteluprojektin aikana kehitetyt piirustukset ja dokumentaatio mahdollisimman pitkälle olisivat hyödynnettävissä myös laitoksen käytön aikana.

STEPin soveltamista puoltaa se, että kyseessä on ISO-standardi. Kuitenkin sen täydellisen käyttöönotto ydinvoimateollisuudessa voi tulla kalliiksi ja voi vaatia vielä runsaasti standardointityötä ellei muille sovellusalueille laadittuja sovellusprotokollia voi ottaa käyttöön sellaisinaan niitä muuttamatta. Mikäli standardoitua sovellusprotokollaa joudutaan soveltamaan ja muuttamaan, ei kyseessä olisi enää hyväksytty STEP-standardi. Tällainen joustamattomuus onkin STEPin suurin haitta sovellettaessa sitä sellaiselle uudelle alueelle, joka tarvitsee oman sovellusprotokollansa.

Jos voidaan olettaa STEPin tulosten leviävän jollakin aikavälillä käytäntöön, on tällä standardilla merkitystä myös ydinvoimalaitoksille. Ensinnäkin käsitteiden mallinnuksessa on muilla alueilla tehty perusteellista työtä, jota voidaan hyödyntää voimalaitoksilla keskeisen 'laitosmallin' luomisessa. Toisaalta CAD-valmistajat ja laitostoimittajat siirtyvät standardin käyttöön, jolloin ydinvoimalankin tulisi olla valmis vastaanottamaan ja hyödyntämään STEP-muotoista tuotetietoa.

## 5.7 Tuotetiedon hallinta

Teknisten järjestelmien monimutkaistuesssa ja niihin kohdistuvien laatuvaatimusten kiristyessä tarvittavan dokumentaation määrä kasvaa nopeasti. Esim. ydinvoimalan dokumentaatioon voi kuulua 200.000 piirustusta ja 100.000 tekstidokumenttia, mikä tarkoittaa kymmeniä tonneja paperia (Fouhy 1997). Laitosten ja järjestelmien ylläpito ja huolto sekä monissa tapauksissa myös viranomaiset ja laatujärjestelmät edellyttävät tiukkaa dokumentaation hallintaa. Muita informaation hallintaan vaikuttavia tekijöitä ovat esim. globaali toiminta ja verkottuminen, lisääntyvät tuotevariaatiot ja asiakaskohtainen räätälöinti sekä tarve lyhentää suunnitteluun kuluvaan aikaan tuotteen saamiseksi markkinoille mahdollisimman aikaisin (Halttunen & Hokkanen 1995). Rinnakkainen suunnittelu (concurrent engineering) edellyttää sitä, että yhteinen tieto on kaikkien saatavissa. Suuria tietomääriä on siis hallittava (ajantasaisuus, ristiriidattomuus) ja hyödynnettävä (saatavuus, oikea sisältö ja muoto) tehokkaasti koko järjestelmän elinkaaren ajan. Informaatiosta tulee yrityksen kilpailukyvyyn kannalta tärkeää omaisuutta (intellectual property).

Perinteiseen informaation hallintaan liittyy useita ongelmia:

- Dokumentit eivät säily muuttumattomina määrättömän pitkään (sama koskee tosin sähköisiä).
- Säilyttäminen vaatii tilaa.
- Muutosten tekeminen on kallista.
- Dokumenttien jakelu on työlästä ja hidasta, paperit voivat myös kadota tai joutua väärään paikkaan.
- Tietojen etsiminen on hankalaa.
- Informaation esitysmahdollisuudet ovat rajalliset (ei esim. hyperlinkkejä eikä animaatiota).

Laajan tietomassan kokoaminen ja ylläpito ei siis ole helppoa. Tietoja on paperilla ja erilaisissa vanhoissa tietojärjestelmissä. On arvioitu, että maailmassa on noin kahdeksan miljardia piirustusta ja että niistä alle 15 prosenttia on sähköisessä muodossa (Wilson 1999). Noin 10 prosenttia yritysten käyttökuluista voi aiheutua manuaalisesta dokumenttien käsittelystä.

Paperilla dokumentoitujen ratkaisujen lisäksi käytössä yleensä on suuri joukko sähköisessä muodossa olevaa vanhaa dokumentaatiota, kuten lukuisilla erilaisilla CAD-ohjelmistoilla tehtyjä piirustuksia, piirikaavioita ja muuta grafiikkaa. Tämän materiaalin arkistointi sähköisesti uudelleen käytettävään muotoon on monissa tapauksissa hankalaa, koska tiedostoja on tallennettu ohjelmien omilla formaateilla ja eri versioilla. Työmäärä, joka tarvitaan vanhojen sähköisten dokumenttien muuntamiseen uudelleenkäytettävään muotoon, voi olla merkittävä.

*Tuotetiedon hallinnan* kehittyminen alkoi teknisen dokumentaation hallinnasta (*Engineering Document Management, EDM*). Sen paino on ollut lähinnä dokumenteissa ja piirustuksissa. Tuotetiedon hallinta (product data management, PDM) on dokumenttien hallinnan laajennus ja käsittelee kaikkea tuotteeseen liittyvää tietoa tuotteen prototyypistä tuotantovaiheeseen ja joissakin tapauksissa vaiheet tuotteen hävittämiseen saakka eli koko tuotteen elinkaaren ajan. Perusero EDM:n ja PDM:n välillä lienee se, että EDM hallitsee vain dokumenttien viitetietoja ja lähinnä tekstimutoista sisältötietoa. EDM ei siis vaadi kohteen tietomallia. PDM puolestaan esittää tuotetietoa sekä dokumentteina (ns. epärakenteinen tieto) että tuotetietomallin avulla (ns. rakenteinen tieto). Raja ei kuitenkaan ole selvä.

Tietoihin voi kuulua esim. tuotteiden kokoonpano, komponenttien ominaisuudet, piirustukset, analysointimallit, tuotteen historia, kirjeenvaihto, asiakastarpeet, projektisuunnitelmat jne. (CIMdata 1998, Halttunen & Hokkanen 1995). Käsiteltävät tiedot sisältävät siis itse tuotetta kuvaavia määrittelytietoja, tuotteen suunnittelua, valmistusta ja käyttöä koskevia elinkaaritietoja sekä hallittavaa tietoa kuvaavia metatietoja, joihin voidaan lu-

kea esim. käsiterakenteet ja viitetiedot ('tietoa tiedosta'). Osa tiedoista liittyy tuotteisiin yleisesti, osa niiden tiettyihin yksilöihin (esim. sarjanumeroon). Osa on formaalia ja osa epäformaalia. 'Tuotteet' voivat olla esim. valmistettavia teollisuustuotteita, projekteja, järjestelmiä tai prosessilaitoksia. Tästä syystä myös PDM:llä on monia erilaisia käyttäjiä joille on voitava määritellä erilaiset näkökulmat ja käyttöoikeudet yhteisen 'tuotteen' tietoihin.

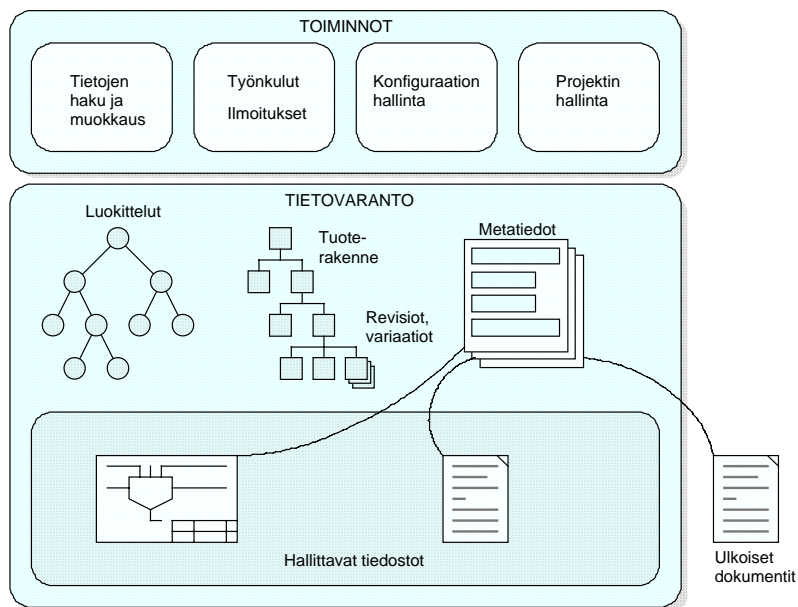
Toinen suunnilleen samaa tarkoittava termi on tuotetietotekniikka (Product Data Technology), joka liittyy tietotekniikan hyödyntämiseen tuotteiden kehittämisessä, valmistuksessa ja käytössä. Sen yksi keskeinen osatekijä on STEP-tuotemallistandardi (ks. kohta 5.7).

Tuotetiedon hallinnan lähtökohtana on itse tuotteen rakenne, johon integroidaan toimintaprosessit, informaatio ja muut tietotekniset sovellukset. Kun tuoterakenteeseen liitetään tarvittavat käsittelyn säännöt, tulevat myös erilaiset työnkulut ja toimintaprosessit tuetuiksi. Tapahtumat, esim. tietyn tiedon muuttaminen, voivat aiheuttaa automaattisen viestin lähettämisen tietyille muille toimijoille. PDM:n hyödyntäminen edellyttää sitä, että omat toimintaprosessit tunnetaan ja että tallennettava tietomassa on olemassa jäsenytyneessä muodossa. Muuten on vaarana se, että vain tallennetaan tietoja tietämättä, ovatko ne olennaisia ja mihin niitä on tarkoitus käyttää.

PDM sisältää tai liittyy yhteen useita muita tekniikoita, kuten CADin, dokumenttien hallinnan, vapaat tekstitietokannat sekä työnkulkuohjelmistot. PDM-järjestelmältä toivottavia toimintoja ovat (kuva 27)

- tietovaraston (tietokanta, dokumentit) hallinta
- toimintaprosessien ja työnkulkujen hallinta (käyttäjien roolit, turvaluokat, kommunikointi)
- tuoterakenteen hallinta (osakokonaisuudet, komponentit tai nimikkeet)
- tuotteiden ja komponenttien luokittelu erilaisin perustein (esim. tiedon käyttäjän tai tuotteen fyysisen tai loogisen tai toiminnallisen mallin mukaan)
- konfiguraation hallinta (muutokset, variaatiot, versiot)
- projektinhallinta
- kommunikointi, tapahtumat ja ilmoitukset (esim. normaaleina sähköpostiviesteinä)
- dokumenttien hallinta (kytkeminen tuotemalleihin, dokumentointiprosessin hallinta ja dokumenttien jakelu)
- tietojen selailu ja dokumenttien kommentointi (markup, annotation, redlining-oikeudet käyttäjien roolien mukaan)

- muutoshistorian tallennus koko elinkaaren ajan
- erilaiset kyselyt ja analyysit, esim. tulossa olevat muutokset tai selvitys siitä, mihin suunniteltu muutos saattaa vaikuttaa
- muunnokset erilaisten tiedon esitystapojen ja muiden työkalujen tallennusmuotojen välillä
- liitynnät muihin järjestelmiin, esim. varastoon, kunnossapitoon ja huoltoon (dokumentit, työhjeet)
- liitynnät muihin organisaatioihin, kuten komponenttitoimittajan, alihankkijan tai asiakkaan tietojärjestelmiin.



Kuva 27. Tuotetiedon hallintajärjestelmän osakokonaisuuksia.

Kaupalliset PDM-järjestelmät toteuttavat näistä toiminnoista vaihtelevan valikoiman. Hyvä PDM-järjestelmä tukee joustavaa tuoterakennetta (assembly structure) sekä monimutkaisten riippuvuuksien määrittelyä eri olioiden, kuten osien, dokumenttien ja henkilöryhmien, välille. Hierarkkinen tuoterakenne voidaan määrittellä graafisesti. Oliot kuuluvat luokkiin, joiden ominaisuudet periytyvät. On mahdollista hallita useita rinnakkaisia revisioita. Ihmisille voidaan määrittellä erilaiset roolit, jotka näkyvät esim. käyttöoikeuksissa. Dokumentit tallennetaan hallitusti (muutostenhallinta, tietoturvallisuus), ja indeksointi mahdollistaa vapaan tekstihaun. Jakelu ja työkulut voidaan määrittellä esim. järjestelmän komentokielellä tai säännöillä. Joihinkin PDM-sovelluksiin kuuluu myös projektin hallinta (osatehtävät, aikataulut, resurssit).

Sovellukset käyttävät tavallisesti relaatiotietokantoja ja client-server-arkkitehtuuria. Kustakin hallittavasta oliosta on ns. metatietokannassa joukko tarvittavia tietoja, kuten tunnus, otsikko, tila, tyyppi, työkalu jne., sekä viittaus itse tiedostoon tai esim. ulkoiseen paperidokumenttiin. Erilliset selailu- ja muokkaustyökalut voidaan käynnistää PDM-järjestelmän kautta, jolloin tiedostot ovat PDM:n hallinnassa eikä käyttäjän ei tarvitse tietää niiden sijaintia. Täydennyksenä metatietokannan hakuihin on vapaa tekstihaku, jonka nopeuden edellytys on, että dokumenttien ja esim. sähköpostiviestien sisällöstä ylläpidetään kattavaa hakemistoa (indeksointi). Tämä tekniikka on nykyisin laajasti käytössä Internetin hakukoneissa.

Useimmissa dokumenttien käyttötilanteissa on tarve päästä avamaan dokumentteja katsottavaksi mutta ei muutettavaksi, joten raskaiden CAD-ohjelmiston lisäksi tarvitaan ja käytetään kevyempiä katselu- ja selailutyökaluja (client-ohjelmia), joiden avulla dokumentteja voidaan tarpeen mukaan myös tulostaa paperille.

Tuotetietoja voidaan hallita paikallisesti yhdellä järjestelmällä tai koko yrityksen kattavalla hajautetulla sovelluksella. Verkottuneen tuotannon yleistyessä lisääntyy tarve yhdistää myös eri yritysten yleensä erilaisia PDM-järjestelmiä.

Laajoissa järjestelmissä tietoja tulee voida tallentaa hajautetusti, mahdollisesti erilaisissa järjestelmissä. Internet-tekniikan käyttöä tuo säästöjä laitteisto- ja ohjelmistohankinnoissa sekä järjestelmän ylläpidossa. Alustariippumattomuus mahdollistaa heterogeenisten järjestelmien integroimisen. Niinpä lähes kaikki ohjelmistotoimittajat tukevat sovellusten käyttöä Internetin tai Intranetin kautta, jolloin PDM-järjestelmä toimii WWW-palvelimena.

Suuri osa suunnittelusta tehdään vanhojen, paperilla dokumentoitujen ratkaisujen pohjalta. Myös olemassa olevilla laitoksilla on suuret määrät vanhaa aineistoa, joka pitäisi saada hallintaan. Vanhat dokumentit voidaan muuntaa sähköiseen muotoon eri tavoin. Piirustukset voidaan esim. piirtää uudelleen CAD-ohjelmistolla, joko suoraan tai digitointipöydän avulla. Tämä on kuitenkin työlästä, epätarkkaa ja virhealtista. Yksinkertaisinta on skannata piirustukset rasterikuviksi, jolloin ne saadaan dokumenttien hallinnan piiriin. Tämä tekniikka on varsin edullista ja toimivaa. Tilantarvetta voidaan rajoittaa tiedostojen pakkauksella. Rasteroituja kuvia voidaan myös päivittää sekä vaurioituneita kohtia korjailla ja kommentoida, mahdollisesti yhdistämällä kuviin vektorigrafiikkaa. Tarkka mitoitus ja tietojen automaattinen käsittely eivät kuitenkaan ole mahdollisia. Rasterikuvia on mahdollista muuttaa automaattisesti vektorigrafiikaksi ja siitä edelleen älykkääksi piirustukseksi, joka ymmärtää symboleiden merkityksen. Muunnoksessa on tärkeää tunnistaa tekstimuotoiset tunnisteet oikein, jotta niitä voidaan käyttää esim. tietokantalinkkeinä. Yleensä muunnos ei kuitenkaan ole täydellinen, osa on tehtävä manuaalisesti. Tämä pätee myös tekstidokumentteihin. Skannauksen ja optisen merkkien-

tunnistuksen (*Optical Character Recognition, OCR*) jälkeen tekstit on vielä tarkistettava ja korjattava.

Myös olemassa olevan laitoksen 3-ulotteinen rakenne on mahdollista muuntaa sähköiseen muotoon esim. laser-skannauksen avulla (Pot et al. 1997). Tuloksena on 3-ulotteinen pistemalli, joka voidaan muuttaa ohjelmallisesti CADin perusprimitiiveiksi. Malliin voidaan lisätä tietoja myös manuaalisesti, esim. komponenttityypit, materiaalit, säteilytasot jne. Mallia voidaan sitten käyttää esim. materiaalimäärien arvioinnissa sekä toimenpiteiden suunnittelussa ja koulutuksessa.

PDM on melko uusi teknologia. Ensimmäiset kaupalliset järjestelmät tulivat markkinoille 1980-luvun alussa (CIMdata 1998). Nykyisin tarjolla on toistakymmentä kansainvälisesti kilpailevaa tuotetta. Kehityksen jäljiltä PDM-järjestelmiä on monentasoisia. Jotkut ovat hyvin kehittyneitä, mutta niiden luotettavasta toiminnasta ei ole laajoja kokemuksia. Järjestelmän valintaan liittyviä tekijöitä (varsinkin laajoissa järjestelmissä) ovat esim.

- tietokoneiden ja verkon vioista toipuminen
- yleisesti käytettyjen sovellusohjelmistojen liitettävyyden (CAD, sähköposti, tekstinkäsittely jne.)
- standardien noudattaminen (helpottaa käyttöönottoa ja ylläpitoa)
- hajautettu tietokanta
- tiedon ja viittausten eheys
- mahdollisuus kuvata monimutkaisia riippuvuuksia
- eri kielien hallinta globaalissa toiminnassa
- Internet-tuki
- joustava käyttöoikeuksien määrittely
- nopea käyttöönotto ja mahdollisuus asteittaiseen laajentamiseen.

Koska PDM sisältää, ainakin osittain, monia tietotekniikan toimintoja, ei ole selvää, voivatko erilliset PDM-tuotteet kehittyä itsenäisesti. PDM voidaan hankkia esim. toiminnanohjaus- tai CAD-järjestelmän osana. Lähes kaikkiin laajoihin CAD-järjestelmiin sisältyy myös piirustusten ja dokumentaation hallintaa tukevia palveluita. Myös perusohjelmisto, kuten Windows, saattavat tulevaisuudessa sisältää joitakin PDM:n tarvitsemia palveluita, kuten työnkulut ja dokumenttien hallinnan. PDM:ään erikoistuneet ohjelmistotalot voivat menestyä isompien yhteistyökumppaneina. Yksi mahdollisuus on myös, että avoimet sovellusten integraatiotekniikat (EAI) kehittyvät niin, että PDM-komponenteille syntyy riittävät markkinat. Eräs vaihtoehto on tietysti tyytyä EDM:ään

PDM:n sijasta, jos dokumenttien hallinta on riittävää eikä kattavaa tiedonhallintaa tarvita (dokumenteissa esitetyn tiedon osalta).

Olemassa olevilla ydinvoimalaitoksilla on suuret määrät paperidokumentteja, joiden muuntaminen sähköiseen muotoon on melkoinen tehtävä. Tuotetiedot tallentuvat suurelta osin laitostietokantaan, jota voidaan hallita PDM:n avulla. Piirre, joka erottaa ydinvoimalan laitevalmistajista, on se, että samaan tuoterakenteeseen on voitava yhdistää tiedot eri valmistajien komponenteista. Tämä edellyttäisi standardoitua esitystapaa ja esim. luokitteluita.

## 5.8 Komponenttiohjelmit

Jo 1960-luvulla alkaneeseen 'ohjelmistokriisiin' on etsitty ratkaisuja mm. rakenteisesta ohjelmoinnista, modulaarisuudesta ja olioajattelusta. Edistystä on tapahtunut mutta lopullista ratkaisua ei ole löytynyt. Myös kymmenkunta vuotta sitten muotiin tullut oliosuuntautunut suunnittelu ja ohjelmointi voi johtaa vaikeuksiin ylläpitovaiheessa, vaikka se tuottaakin periaatteessa modulaarista ja uudelleenkäytettävää ohjelmistoa. 1990-luvun aikana on viimein kehitetty oliopohjaisia mallinnus-, suunnittelu- ja ohjelmointitekniikoita (esim. *Unified Modeling Language, UML*) sekä liiketoiminta- ja johtamiskäytäntöjä niin, että voidaan puhua aidosta ohjelmakoodin ym. joustavasta uudelleenkäytöstä.

Tämän hetken uusia tekniikkoja ovat *komponenttiohjelmit* (component software) ja niihin perustuvat arkkitehtuurit. Yleisesti ottaen komponentit ovat uudelleenkäytettäviä kokonaisuuksia, joita voidaan soveltaa ja koota sovelluksiksi komponenttien valmistajista riippumatta. Komponentti-idea ei oikeastaan ole uusi, sillä onhan aliohjelmilla, aliohjelma- ja luokkakirjastoilla jo vuosikymmeniä haettu tehokkuutta ja hallittavuutta ohjelmistotuotantoon. Silti isojen ohjelmistojen joustava kokoaminen tällaisista komponenteista on onnistunut harvoin. Perussyy on ollut se, että aliohjelmien yms. suunnittelussa tehdään liian tapauskohtaisia oletuksia käyttötavasta ja toimintaympäristöstä, jolloin koodin uudelleenkäyttö ei ole mahdollista tai houkuttelevaa. Myös suunnittelijoiden haluttomuus käyttää muiden tekemiä ohjelmia on ollut ongelma.

*Komponenttipohjaisella ohjelmistokehityksellä (Component Based Software Development, CBSD)* tarkoitetaan sekä suunnittelutekniikoita että -työkaluja, joiden avulla sovelluksia kootaan uudelleenkäytettävistä *ohjelmistokomponenteista* laajamittaisen ohjelmoinnin sijasta. CBSD on keino lisätä tehokkuutta ja joustavuutta ohjelmistokehitykseen, mutta se toimii myös laadun takeena. Ohjelmistokomponenteilla tavoitellaan samoja hyötyjä kuin on saavutettu esimerkiksi integroiduilla piireillä elektroniikassa tai mekaanisilla komponenteilla laitevalmistuksessa.



Ohjelmistokomponentti on suhteellisen itsenäinen ja vaihdettavissa oleva osa ohjelmistoa, ja sitä pitää voida käyttää osana kolmannen osapuolen ohjelmistoa. Komponentilla on selkeä rooli ympäristössään, ja komponentin ja muun ympäristön vuorovaikutus tapahtuu yksikäsitteisten ja dokumentoitujen *rajapintojen* (interface) kautta. Ohjelmistokomponentti on voitava kytkeä muuhun ohjelmistoympäristöön myös dynaamisesti ajon aikana. Siksi komponentin rajapinnat on voitava selvittää automaattisesti myös komponentin ollessa osa toimivaa järjestelmää.

Ajattelutavan ensimmäinen merkittävä edustaja oli Microsoftin Visual Basic ja sen käyttöliittymän komponentit (controls). Komponenttiohjelmistot eivät kuitenkaan ole yhtenäinen alue. Teknisesti komponenttipohjaista ohjelmistokehitystä hallitsee nykyisin kolme kilpailevaa ja yksityiskohdiltaan melko erilaista käyttöjärjestelmäajennusta (ns. middleware):

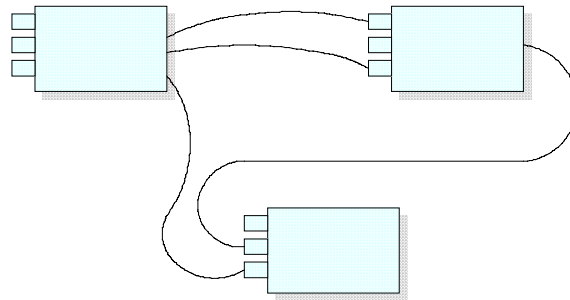
- *Object Management Groupin (OMG)* kehittämä *Common Object Request Broker Architecture (CORBA)*,
- Sunin Javaan perustuva *Enterprise JavaBeans (EJB)* sekä
- Microsoftin *Component Object Model (COM)*.

Komponenteilla on mm. seuraavia teknisiä ominaisuuksia (Szyperski 1998, Pfister 1997):

- Komponentti on suoritettavaa koodia.
- Komponenttiin voi sisältyä useita olioluokkia.
- Komponentin rajapinta on erotettu toteutuksesta.
- Rajapinta on luonteeltaan käyttäjän ja valmistajan välinen sopimus (contract).
- Rajapinta on muuttumaton, uusi versio julkaistaan toisella nimellä.
- Ohjelmistorajapinta määrittelee komponentin tarjoamat palvelut sekä komponentin vaatimukset toimintaympäristölleen (context dependencies, callback).
- Palveluille voidaan määritellä esi- ja jälkiehtoja.
- Toiminnallisten piirteiden lisäksi sopimukseen liittyy ei-toiminnallisia vaatimuksia, esim. käytettävyys ja vasteajat (ns. service level).

Komponenteista kootaan (component assembly) sovelluksia, joissa komponentit kommunikoivat rajapintojensa kautta, kuva 28. KytKentöjä voidaan rakentaa esim. visuaalisesti tai kevyitä makroja (scripts) käyttäen. Olemassa oleva komponentti tai perinteinen ohjelma voidaan myös 'kuoruttaa' (ns. wrapper) siten, että sen palveluita rajataan tai tiedoille tehdään tarvittavia muunnoksia. Komponenttien kokoamisen pohjana voidaan

käyttää *sovelluskehystä* (component framework). Se on periaatteellinen arkkitehtuuri, joka määrittelee, miten komponentit toimivat yhdessä tietyllä sovellusalueella. Esim. VTT Automaatiassa tällaista on kehitetty panosprosessien ohjaukseen (Kuikka 1999).



*Kuva 28. Sovellukset kootaan liittämällä komponentteja rajapintojen avulla.*

Komponenttipohjaista ohjelmistokehitystä on kahta päätyyppiä:

1. Tuotteen tai sovelluksen kokoaminen markkinoilta hankittavista ohjelmistokomponenteista (Commercial Off-The-Self, COTS)
2. Ohjelmistokomponenttien tuottaminen ja kehitysprosessin muuntaminen komponentteihin perustuvaksi, mikä voidaan rinnastaa yrityksen sisäiseksi tuotteistamiseksi ohjelmistotuotannossa.

Ohjelmistokomponenttien odotetaan olevan toisaalta laajakäyttöisiä, toisaalta niiden on hoidettava hyödyllistä ja olennaista tehtävää koko järjestelmässä. Jälkimmäinen tarkoittaa tietenkin myös sitä, että niiden on kyettävä kommunikoimaan tarkoituksenmukaisella tavalla, ja usein on välttämätöntä tehdä muitakin oletuksia käyttötilanteesta. Tämä voi tosin rajata komponentin laajakäyttöisyyttä. Täysin riippumaton komponentti on usein hyödytön sovelluksia koottaessa.

Myöhemmin komponenttia sovelletaan rajapinnan kautta tuntematta sen sisärakennetta. Siksi käyttäjän tulee välttää sellaisia oletuksia toteutuksen toiminnasta, joita ei ole määriteltä rajapinnassa. Se voi helposti johtaa yllättäviin riippuvuuksiin, jotka paljastuvat komponentin versioituessa.

Ohjelmistokomponentit ovat itsenäisiä kokonaisuuksia, joita voidaan käyttää sekä suunnitteluvaiheessa että ajon aikana. Suunnitteluvaiheen komponentit voivat olla ilmiäsuultaan muitakin kuin ajo- tai käänösvalmiita ohjelmanpalasia. Tuotteistaminen kannattaa ulottaa suunnitteluelinkaaren kaikkiin vaiheisiin, ts. esimerkiksi laajat käsittemallikaaviot (olioluokkakaaviot jne.) kootaan kaavion palasista. Tämä toimintatapa edistää myös ohjelmistoalihankintaa.

Ohjelmistokomponentit liittyvät erottamattomasti tapoihin osittain isoja ohjelmia. Kuvausta tai suunnitelmaa, joka esittää ohjelmiston jaon pienempiin osiin ja niiden välisiin riippuvuuksiin ja dynaamisiin vuorovaikutuksiin, sanotaan ohjelmistoarkkitehtuuriksi. On tärkeää, että iso ohjelma ositetaan järkeviin kokonaisuuksiin niin, että osat riippuvat vain vähän ja selkeällä tavalla toisistaan, mikä edellyttää hyvää arkkitehtuurisuunnittelua. Vaikka ohjelmistoja tuotetaan mitä erilaisimpiin tarkoituksiin, samanlaiset ominaisuus- tai komponenttitarpeet toistuvat ja, mikä on yhtä tärkeää, myös samanlaiset arkkitehtuurisuunnittelutarpeet toistuvat, mistä seuraa samanlaisia tarpeita komponenteille.

Tällaista hyödyllistä samanlaisuutta voi ohjelmistotuotannossa edistää kahdella päätavalla:

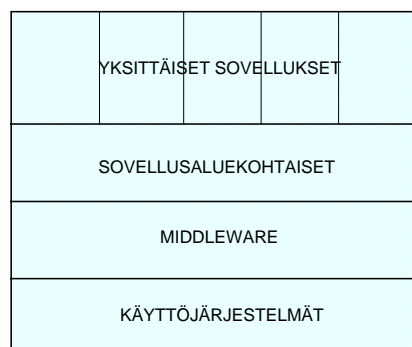
1. Tuotetaan ohjelmistoja vain samalle sovellusalueelle, jolloin päästään hyödyntämään tarpeiden ja vaatimusten samanlaisuutta (johtaa esimerkiksi nk. ohjelmistoperheisiin tai perusjärjestelmiin, joista konfiguroidaan tai muuten sovitetaan yksittäisiä toimintuksia).
2. Toistetaan samankaltaisten arkkitehtuuriongelmiin ratkaisuja samanlaisilla rakenteisilla ratkaisulla. Tämä johtaa nykyisin tärkeään asemaan nousseiden suunnittelumallien (architectural design pattern) käyttöön.

Abstraktia ohjelmistorakennetta, jolla määritellään millaisia komponentteja ko. sovellusalueen ohjelmistoissa on ja mitkä ovat niiden suhteet, sanotaan *sovelluskehukseksi* (framework). Valitsemalla komponentit ja viimeistelemällä muutenkin rakennetta saadaan (so. instantioidaan) ohjelmistoarkkitehtuuri. Siten nk. *sovellusaluekohtaisilla sovelluskehyksillä* (domain specific framework) on tärkeä sija kehitettäessä yrityksen tietotekniikkastrategiaa. Muutamilla aloilla, esim. panosautomaatioissa (ISA-S88.01 1995) ja valmistuksenohjausjärjestelmissä (*Manufacturing Execution System, MES*) (ISA-dS95.01 1999), sovelluskehysjä jo kehitetään, vaikka standardointi on vielä painottunut terminologiaan ja toiminnallisiin malleihin (reference model).

Ohjelmistoarkkitehtuurit tai sovelluskehukset ja komponentit ovat siten lähes erottamattomat. Mitä spesifisemmistä komponenteista on kyse, sitä ainutkertaisempaan kehykseen ne sopivat ja päinvastoin. Kuitenkin hyvin suunnitellut arkkitehtuurit taipuvat tehokkaalla tavalla monenlaisiin käyttäjävaatimuksiin menettämättä komponenttiansa uu-

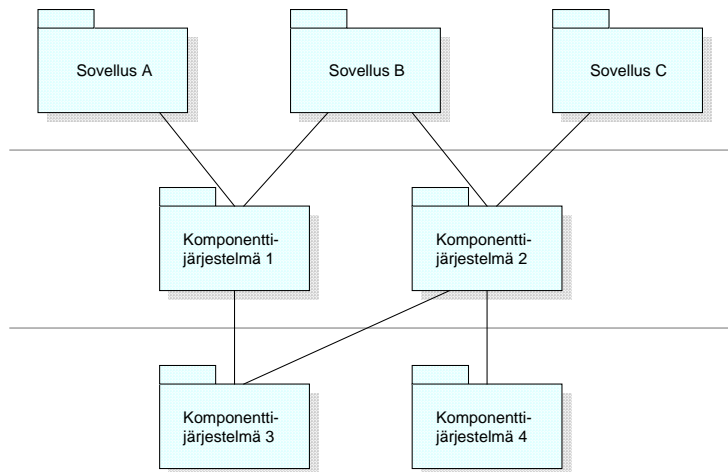
delleenkäytettävyyttä. Ohjelmistokomponenttimarkkinoiden kehittymisen perusedellytys on juuri avointen sovelluskehysten yleistyminen.

Arkkitehtuurien tai sovelluskehysten kehittäminen ei kuitenkaan ole ainut kehityssuunta. Nykyään tutkitaan myös erilaisia rajapintatekniikoita, ja skaala ulottuu yksinkertaisesta syntaktisesta muuttujien ja funktioiden yhteensopivuudesta monenlaisiin dynaamisesti neuvotteleviin rajapintoihin. Arkkitehtuureihin sisältyvää komponentti- ja käyttöympäristötietoa siirretään silloin selvitettäväksi ajon aikana älykkäillä rajapinnoilla, ja ainakin periaatteessa arkkitehtuuria tarvitsee silloin miettiä vähemmän (ja rajapintoja enemmän).



Kuva 29. Tietojärjestelmän kerrostaminen.

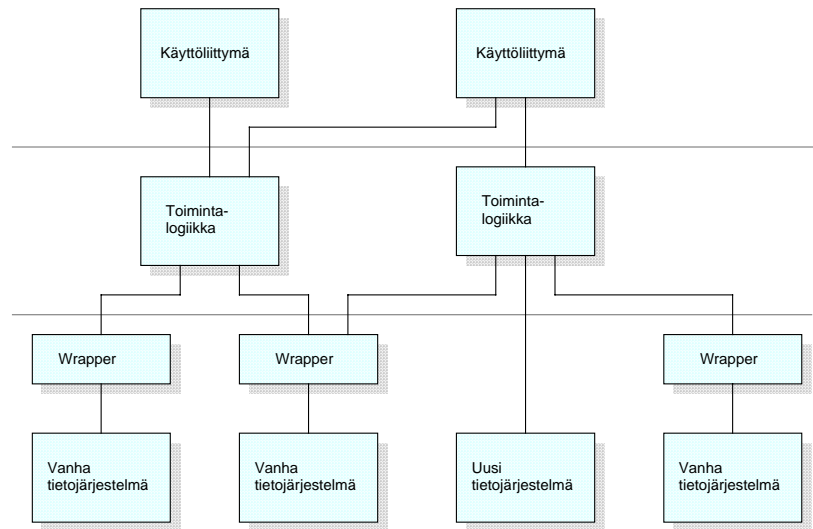
Ison ohjelmiston arkkitehtuuri on yleensä kerroksittainen, ja tähän on monia hyviä syitä. Oheisen kuvan 29 mukainen tasoihin jako on tyypillinen esimerkiksi hallinnon ja toiminnanohjauksen sekä kaupallisissa tietojärjestelmissä. Eri kerrokset koostuvat *ohjelmistokomponenttijärjestelmistä*, kuva 30. Varsinaiset sovellukset kootaan toimialakohtaisista komponenteista. Nk. *middleware*-tason komponentit toteuttavat komponenttien ja objektien välistä kommunikaatiota tietokoneiden välillä eli tekevät mahdolliseksi hajautettujen sovellusten kehittämisen.



Kuva 30. Komponenttijärjestelmiä.

Tietojärjestelmä olisi ositettava niin, että akuutit muutostarpeet aiheuttavat vain pieniä tai hallittuja muutoksia ohjelmistoon. Tällaiset vaatimukset tekevät arkkitehtuurisuunnittelusta haastavan, ja ohjelmistokomponenttitekniikan liepeille onkin nousemassa menettelytapoja, joilla erilaiset näkökulmat ohjelmistoarkkitehtuuriin otetaan huomioon. Avainasemassa on pitkään samanlaisina pysyvien toimintojen tunnistaminen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa ja niiden pitäminen erillään esimerkiksi käyttöliittymästä, tiedonsiirtotekniikasta jne. (separation of concerns).

Ajan myötä ohjelma vanhentuu, mutta sillä koetaan usein olevan lähes korvaamattomia ominaisuuksia, joiden uudelleensuunnittelu ja -toteutus arvioidaan hankalaksi (engl. kielessä käytetään ilmaisua *legacy system*). Tietotekniikan lähihistoria toki tuntee esimerkkejä, joissa vanha arvokas ohjelmisto on uudistettu menestyksekkäästi ja kohtuuponnistuksin. Tavanomaisempi tapa on ympäröidä vanha ohjelma nk. *wrapperiin* (kuva 31), joka on ohjelmakerros, jolla on kaksi rajapintaa: toinen on yhteensopiva vanhaan ohjelmaan päin, toinen pystyy edustamaan ohjelmistoa uudistuvassa ympäristössä. Ympäristöjen erilaisuuden asteesta riippuu, kuinka monimutkainen wrapperista on tehtävä. Monesti vanhasta ohjelmasta puuttuvia ominaisuuksia lisäillään wrapperiin ja/tai myös vanhaan ohjelmaan. Vähitellen kuitenkin tullaan vaiheeseen, jossa sekä vanhan ohjelman että sen wrapperin ylläpito tulee kalliimmaksi kuin uuden ohjelman tekeminen.



Kuva 31. Wrapper-tekniikalla voidaan jatkaa vanhan ohjelman käyttöikää sekä käyttökelpoisuutta ohjelmistokomponenttina.

Kun komponenttiohjelmistojen käyttö laajenee, välineet kehittyvät ja sovellusten kokoaminen tulee helpoksi, osa työstä siirtyy komponenttien käyttäjille. Suunnittelija valitsee sopivat komponentit, mahdollisesti tiettyyn sovelluskehikseen ja liittää ne toisiinsa tarpeen mukaan. Automaatiossa tämä on jo toteutuksessa ensin esim. valvomo-ohjelmistoissa. Toinen alue voi olla esim. toiminnanohjaus. Toistaiseksi ratkaisut ovat pääasiassa valmistajakohtaisia. Samaa kehystä saattavat tosin tukea pienemmät osatoimittajat. Laajempien, sovellusalueella standardoitujen referenssimallien ja rajapintamäärittelyiden kehittäminen vie aikaa. Tosin esim. *OLE for Process Control* (OPC) on jo menossa tähän suuntaan.

Sovellusten kokoaminen konfiguroimalla laajenee, kun toisiinsa liitetään entistä suurempia ohjelmistokokonaisuuksia ja niiden väliset kytkennät ovat monimuotoisempia. Myös laitteiden ja ohjelmistojen lukuisat valmistajat ja versiot lisäävät ongelman monimutkaisuutta. Standardoidut rajapinnat ja tulevaisuuden itsekonfiguroituvat (plug-and-play-) järjestelmät ovat yrityksiä lieventää tätä mutkikkautta.

Komponenttitekniikka on keino tehostaa ohjelmistokehitysprosesseja, mutta se on tärkeä tekniikka myös haluttaessa varmistaa ohjelmiston pitkäikäisyys. Tietokoneohjelma ei sinänsä mene rikki tai kulu käytössä, joten tietotekniikan vanhenemisen tarkastelu vaihtuu helposti arviointiin siitä, miten kauan ko. tietokonelaitteisto pysyy toimintakunnossa. Siten tietojärjestelmä on varmasti vanhentunut silloin, kun laitteisto on peruuttamattomasti käyttökelvoton eikä korvaavaa laitteistoa enää ole saatavilla ja edelleen tietojärjestelmän uusiminen uuteen ympäristöön koetaan mahdottomuutena.

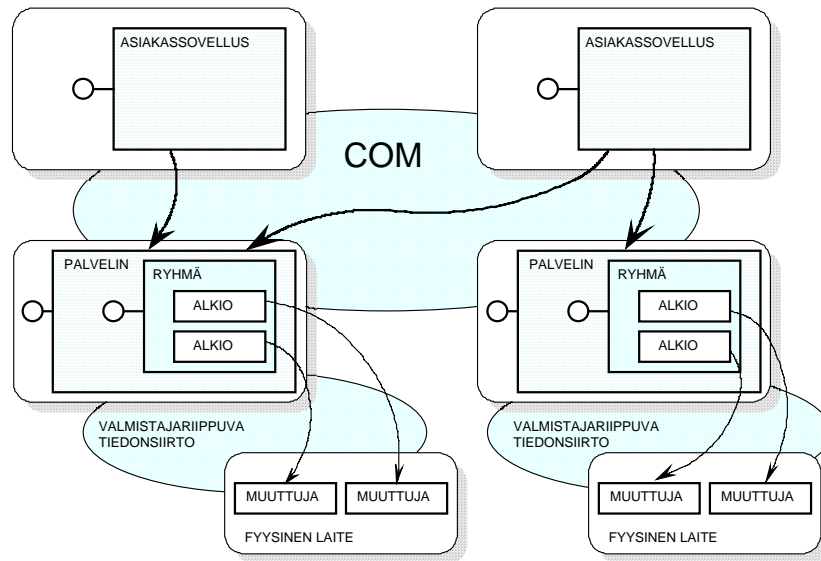
Vaikka ydinvoimaloissa tällainenkin raja on joissakin tapauksissa tullut vastaan, paljon tärkeämpi vanhenemisen muoto on ajautuminen tilanteeseen, jossa joko ohjelmiston ympäristö on muuttunut eikä ohjelmistossa mahdollisesti ollut joustovara enää riitä tai muutokset arvioidaan liian hankaliksi tai kalliiksi tai tietotekniikkainfrastruktuurissa tapahtuu suuria muutoksia. Esimerkkinä edellisestä ovat prosessilaitemuutokset tai yleenä muuttuneet tarpeet ja vaatimukset asennetulle ohjelmistolle. Jälkimmäisen vanhenemisen tyyppiesimerkkejä ovat käyttöliittymän modernisointipaineet (nykyään Windowsiin tai selainkäyttöön), käyttöjärjestelmäpäivitykset ja tiedonsiirtotekniikan muutokset.

## 5.9 OLE for Process Control, OPC

*OLE for Process Control (OPC)* on standardi, jonka alkuperäinen tavoite on tarjota Windows-ympäristössä toimivien sovellusten kehittäjille yhtenäinen rajapinta lattiatason järjestelmiin valmistajakohtaisten tiedonsiirtoprotokollien tilalle. Se ei siis ole niinkään ollut tapa liittää ohjausjärjestelmiä toisiinsa vaan tapa liittää alemman tason ohjausjärjestelmät 'ylemmän tason' sovelluksiin. Yleensä OPC:n tarjoamia palveluita käytetään esim. valvomo-, tiedonkeruu- ja raportointisovelluksissa. OPC:tä kehittää joukko autoomaatioalan yrityksiä ja Microsoft (<http://www.opcfoundation.org/>). OPC soveltaa Microsoftin OLE/COM-tekniikkaa ja on siis sidoksissa Windows-käyttöjärjestelmään, vaikka myös Unix- ja Linux-toteutukset ovat olemassa.

Kuva 32 havainnollistaa OPC:n peruskäsitteitä hieman tarkemmin. *OPC-palvelimet* (server) tarjoavat valmistajakohtaisen liittymän ohjausjärjestelmissä sijaitseviin tietoihin (OPC 1998). Kukin asiakassovellus (client) voi olla yhteydessä useaan palvelimeen ja samaa palvelinta voi käyttää usea sovellus. Sovellus ja palvelin voivat toimia myös samassa tietokoneessa.

Palvelin muodostaa ympäristön, johon voidaan perustaa *OPC-ryhmiä* (group). Kukin ryhmä sisältää joukon *OPC-alkioita* (item), jotka ovat viittauksia ohjausjärjestelmän tietoihin (yleensä jokin positio, 'tag', esim. FIC-100.SP). Ryhmät voivat olla joko paikallisia, jolloin niitä käsittelee vain yksi sovellus, tai julkisia, jolloin ne ovat yhteisiä useammalle sovellukselle. Yleensä sovellus luo tarpeen mukaan omat ryhmänsä ja siihen tarvittavat alkioit, esim. tiettyyn valvomon näyttöön tarvittavat tiedot, mutta myös palvelin voi perustaa ryhmän käynnistyessään. Kun ryhmä on olemassa, sovellus voi lukea ja kirjoittaa sen alkioita joko synkronisesti siten, että sovellus odottaa operaation valmistumista, tai uudessa OPC:n versiossa myös asynkronisesti, jolloin sovellus voi heti jatkaa ja palvelin ilmoittaa myöhemmin tuloksista. Lisäksi OPC:n asynkroninen kommunikointi tarjoaa mahdollisuuden tilata (subscribe) tietoja siten, että palvelin lähettää ne automaattisesti, kun ne ovat muuttuneet. Tämä tiedonsiirtotapa on huomattavasti tehokkaampi kuin aiemmin käytetty synkroninen kommunikointi.



Kuva 32. OPC:n peruskäsitteitä.

Ohjelmistoteknisesti palvelimet ja ryhmät ovat COM-komponentteja, joita käsitellään OPC:n määrittelemien rajapintojen kautta. Esim. palvelin tarjoaa palvelut ryhmien luomiseksi ja tuhoamiseksi. Ryhmä puolestaan mahdollistaa esim. alkioden lisäämisen, lukemisen ja kirjoittamisen. Asynkronista kommunikointia varten sovelluksen on itse määriteltävä rajapinta, jota palvelin kutsuu (callback) lähettäessään tietoja oma-aloitteisesti.

Edellä esitetty koski lähinnä OPC:n pisimmälle kehittyneitä ja keskeisintä osaa eli tiedonsiirtoa (data access). Tämä lisäksi OPC:n piirissä on alettu pohtia mutkikkaampien rakenteiden ja toimintojen toteuttamista. Esim. hälytysten käsittelyyn, panosautomaatioon, historiatietojen siirtoon ja XML:n soveltamiseen on perustettu työryhmät. Näiden työn tuloksista ei ole toistaiseksi kovin paljon tietoa, joten on hieman hankalaa nähdä, miten OPC kehittyy tulevaisuudessa. Tiedonsiirron perusajatus on varsin selkeä ja toimiva. Siihen näyttää kuitenkin sisältyvän se oletus, että on olemassa kehittyneitä Windows-sovelluksia, jotka on voitava liittää eri valmistajien toimittamiin, 'perinteisiin' ohjausjärjestelmiin. Tässä perinteinen tarkoittaa esim. toimilohkoista koottuja sovelluksia, joiden kanssa kommunikoidaan lähinnä muuttujia lukemalla ja kirjoittamalla. Myös IEC on kehittämässä ohjelmointikieliä ja tiedonsiirtoa ja lisäämässä niihin tapahtumien käsittelyä (IEC 61131-3, IEC 61499-1). Tulevaisuudessa ohjausjärjestelmän toiminnot, esim. erilaiset palvelurajapinnat, voivat saada enemmänkin olioiden ja komponenttien piirteitä. Tällöin OPC:n roolia on hieman vaikea hahmottaa.



## 5.10 Järjestelmänhallinta

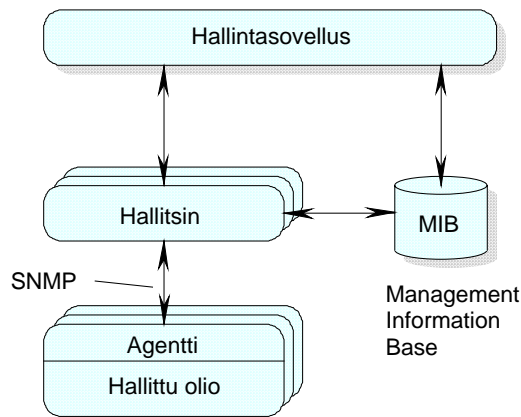
Järjestelmän- ja verkonhallintatekniikat (systems management, network management) ovat noin kymmenen vuoden kehityksen jälkeen vakiintuneet suurten, yleensä yrityskoh- taisten hajautettujen tietokonejärjestelmien kylkiäisinä. 1980-luku oli hajautettujen tie- tokonejärjestelmien voimakkaan kehityksen aikaa. Pienois- ja työasematietokoneiden li- säksi mikrotietokoneet ja mikroverkot alkoivat yleistyä. Huomattiin, että tietokonever- kon toimintakunnossa pitäminen oli vaikeaa, ellei ollut tiedossa, mikä oli verkkoele- menttien tila. Tästä verkkoelementtien valvontatarpeesta on syntynyt verkonhallinta. Kun valvottujen elementtien joukkoon on lisätty ohjelmistokomponentteja, on alettu pu- hua *järjestelmänhallinnasta*.

Järjestelmänhallinnan tavoitteet voidaan jakaa seuraaviin toiminta-alueisiin:

- Vianhallinta: Tämä on järjestelmänhallinnan tärkein toiminta-alue. Vianhallinnan avulla laite- ja ohjelmistovikoja paikannetaan ja eristetään ja ryhdytään tarvittaviin toimenpiteisiin, kuten vioittuneen osan vaihtamiseen toiseen. Nämä toimenpiteet käyttöhenkilöstön on voitava suorittaa etäkäytössä, ennen kuin ryhdytään varsinaiseen fyysiseen tai ohjelmalliseen korjaustyöhön. Osa vianhoitotoimenpiteistä suori- taan konfiguraatiohallinnan kautta (järjestelmän uudelleenkonfigurointi). Vikasietoi- sen tekniikan käyttöönotto ei poista vianhallinnan tarvetta, koska sattunut alkuperäi- nen vika on edelleen hoidettava ja sen lisäksi vikasietoisuutta takaavat komponentit (kuten hot-stand-by-varatietokoneet) voivat myös vioittua.
- Konfiguraation hallinta: Tarvitaan mekanismi, jonka avulla ylläpidetään tietoa halli- tun järjestelmän rakenteesta, eri osiin liittyvästä nimeämisestä, osoitteiden kuvaami- sesta ja tietoliikenteen ohjaamisesta. Konfiguraation hallinnan avulla voidaan ottaa käyttöön uusia elementtejä, ottaa toiset pois käytöstä, tasoittaa kuormituksen huiput ja niin edelleen. Ohjelmistojen osalta tärkeänä tehtävänä on ohjelmiston (ja doku- mentaation) asentaminen (deployment) ja versioinnin hallinta.
- Turvallisuuden hallinta: Palomuurien, todentamisjärjestelmien (authentication sys- tems) ja salauksen hallinnointi kuuluvat tähän osuuteen. Nykyisin myös virustentor- junta on noussut merkittäväksi tekijäksi.

Yleinen järjestelmänhallinnan toteutustapa esitetään kuvassa 33. Hallintasovellus sisäl- tää käyttöliittymän ja käyttäjätoimintojen toteutuksen. Toimintojen tukena on MIB-tie- tokanta (Management Information Base), jossa ylläpidetään tiedot hallinnanalaisen (hallitun) järjestelmän rakenteesta ja tilasta. MIB jakautuu usein kolmeen osaan. Ensim- mäisenä osana on staattinen MIB, joka sisältää hitaasti muuttuvat tiedot, kuten järjestel- män konfiguraation. Toisena osana on mittaus-MIB, jonka piiriin kuuluvat järjestelmän elementeissä suoritettavat mittaukset, kuten tilatiedot, kuormitusasteet, liikennemäärät jne.

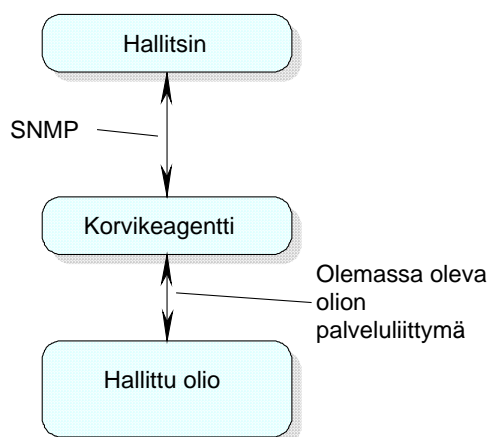
Kolmannen osan muodostaa tilasto-MIB, johon kerätään erilaisia pidemmältä ajalta laskettuja koostearvoja, kuten keskiarvot, minimi maksimit jne.



Kuva 33. Järjestelmänhallinnan osat.

Hallintajärjestelmän jäljellä olevien osien tehtävä on turvata tietojen välitys elementeistä MIB:iin ja hallintasovelluksen käskyjen välittäminen hallittuihin elementteihin (jotka liitetään hallintajärjestelmän alaisuuteen). Jokaisella hallitulla elementillä on oma agenttinsa, joka vastaa elementin tilan raportoimisesta verkon yli ja mahdollisesti elementin ohjauksesta (esim. päälle / pois päältä). Kaupallisissa ohjelmistoissa agentin toteuttaa (hallitun olion) ohjelmiston valmistaja. Olion hallitsin (manager) on hallintajärjestelmän osa, jolla suoritetaan korkean tason hallintatoimenpiteitä. Se ylläpitää MIB:iä hallitun olion osalta ja edustaa oliota hallintasovelluksen suuntaan. Standardinmukaisen järjestelmänhallinnan yleistymisen kannalta tärkeimmäksi tekijäksi on osoittautunut 1980-luvun loppupuolella standardoitu SNMP-käytäntö (Simple Network Management Protocol), jota sovelletaan hallitsimen ja agentin väliseen kommunikointiin. Se on mahdollistanut sen, että SNMP-standardin mukaisia itsenäisesti toteutettuja agentteja voidaan ottaa käyttöön eri valmistajien järjestelmänhallintatuotteissa, joihin yleensä kuuluvat muut kuvassa esitetyt jäljellä olevat osat.

Jos järjestelmäosan varustuksesta puuttuvat SNMP-agentit, niitä voi muiden olla vaikea rakentaa muun kuin varsinaisen alkuperäisen valmistajan. Silloin voidaan tyytyä SNMP-korvikeagenttiin (proxy agent). Se on aktiivinen järjestelmäkomponentti, joka kääntää SNMP-komennot järjestelmäosan ulkoisen liittymän komennoille (kuva 34).



Kuva 34. Korvikeagentin käyttö aidon SNMP-agentin sijasta.

Yksinkertaisimmillaan korvikeagentissa voidaan toteuttaa 'watchdog'-toiminto, jonka avulla valvotaan järjestelmöosan 'päällä' pysymistä. Yleisesti korvikeagentit ovat aitoja SNMP-agentteja rajoitetuimpia, koska harvoin järjestelmöosan ulkoinen liittymä tukee kaikkia niitä toimintoja, joita SNMP-käytäntö vaatii.

Standardinmukainen verkko- ja järjestelmänhallinta on kuvattu esimerkiksi teoksissa (Black 1992) ja (Stallings 1993).

Järjestelmänhallinnan tuotteet saivat 1990-luvun loppupuolella vahvan jalansijan markkinoilla, varsinkin suurten yritysten tietotekniikkaympäristöissä. Markkinajohtajina ovat olleet Computer Associates, IBM, HP and Microsoft. SNMP-agenttien yleistymisen on nopeuttanut järjestelmänhallinnan tuotteiden voittokulkua. SNMP-agentteja on toteutettu sekä laitteistoissa (verkkokortit, reitittimet, kytkimet jne.) että ohjelmistoissa (käyttöjärjestelmät, palvelinohjelmistot jne.). Joissakin ohjelmistotuotteissa SNMP-agentti kuuluu vakio-ominaisuuksiin (esim. tietokantajärjestelmissä). Koska SNMP-käytäntö on hyvin yksinkertainen, sen tuotekohtainen toteuttaminen ei aiheuta suuria ongelmia.

Uusien komponenttitekniikoiden myötä (CORBA, COM, EJB) järjestelmänhallinnan tehtäväkenttä on laajentunut ohjelmistokomponenttien hallintaan. Sekä CORBA- että Java-työn piirissä on ilmestynyt uusia järjestelmänhallintaan tarkoitettuja ratkaisuja.

Nk. pehmolaskenta (soft computing), johon kuuluvat sumean päättelyn tekniikka, neuraaliverkot ja probabilistiset päättelymenetelmät, on vähitellen otettu käyttöön pääättelemiseen järjestelmän tilasta. Hallintajärjestelmän päättelyominaisuuksia käyte-

tään hyväksi ongelmatilanteiden (esim. kuormitushuippujen) ennustamisessa ja ohittamisessa sekä vian alkuperäisen syyn etsimisessä eli diagnostiikassa.

Ydinvoimalaitoksella on laaja informaatio- ja automaatiojärjestelmä, jonka toiminnoista osa vaikuttaa myös laitoksen käytettävyyteen ja turvallisuuteen. Myös tietoturva on tärkeä tekijä. Tällaisessa monitasoisessa ja monimutkaisessa järjestelmässä on oltava yhtenäinen tapa valvoa ja hallita laitteita ja kriittisiä ohjelmistoja. Järjestelmänhallintajärjestelmä luo siihen mahdollisuuden.

Kaupallisiin prosessinhallintajärjestelmiin sisältyvät tietotekniset osuudet hallitaan yhtenäisenä tuotteena toimivassa järjestelmässä itsessään. Sen ulkopuolella olevat osat ja myöhemmin tulleet laajennukset jäävät kuitenkin järjestelmänhallinnan ulkopuolelle. Nämä ongelmat ovat tuttuja heterogeenisissä automaatiojärjestelmissä.

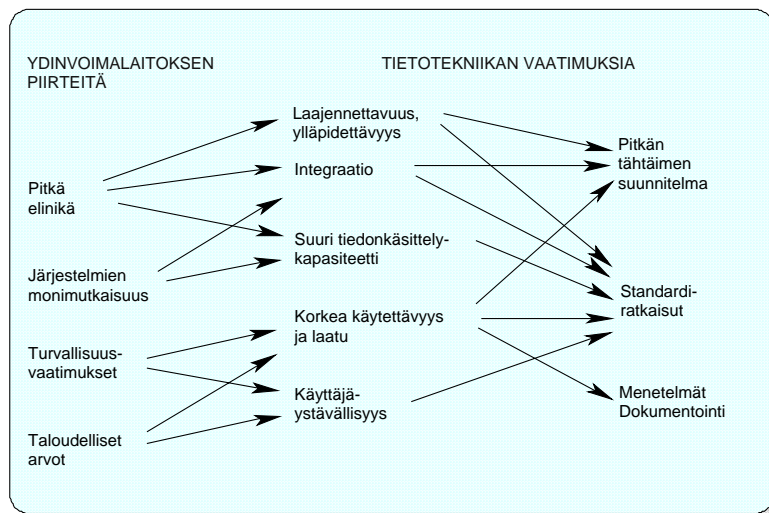
Lisäksi tulevien informaatiojärjestelmien monimutkaisuus- ja heterogeenisuusaste ovat mitä todennäköisimmin korkeammat kuin nykyisten laitosten järjestelmien. Näillä näkymin standardinmukaisen ja tuoteriippumattoman järjestelmänhallinnan tarve on ilmeinen.

## 6. UUDET TIETOJÄRJESTELMÄT

Edellisissä luvuissa on käsitelty ydinvoimaloiden tietotekniikan nykytilannetta sekä uuden tekniikan mahdollisuuksia. Tässä luvussa hahmotellaan tulevan tietotekniikan toiminnallista jäsenystä, luetellaan toiminnoille asetettavia vaatimuksia sekä esitetään joitakin toteutukseen liittyviä yleisiä näkökohtia. Lähtökohtana ovat luvussa 2 kuvatut toimintaprosessit.

### 6.1 Yleisiä vaatimuksia ydinvoimalan tietotekniikalle

Yleisellä tasolla vaatimukset voidaan johtaa ydinvoiman tuotannon erityispiirteistä, joita ovat turvallisuus ja ympäristön suojeleminen, pitkä käyttöikä, suuret taloudelliset arvot sekä rajalliset mahdollisuudet tehdä muutoksia, koska laitokset toimivat lähes jatkuvassa perusvoiman tuotannossa lyhyitä seisokkeja lukuun ottamatta.



Kuva 35. Eräitä ydinvoiman piirteitä ja niistä johdettavia yleisiä vaatimuksia.

Näitä seikkoja havainnollistetaan kuva 35. Yleisten näkökohtien perusteella voidaan lisätä esim. seuraavia vaatimuksia:

- Tietoja pitää koota ja tallentaa koko laitoksen odotettavissa olevan eliniän ajan, joitakin osin kauemminkin (laitoksen purkamisessa tarvittavat tiedot). Koska tietotekniikka muuttuu nopeasti, on haettava ratkaisuja, joilla vanhat tiedot (ja toiminnot) voidaan siirtää uusiin tietojärjestelmiin.

- Laitosta kuvaavan tiedon tulee olla *jäljitettävää*. Tässä voidaan nähdä kaksi eri merkitystä. Ensinnäkin on voitava seurata tietyn tiedon muutoksia ajassa taaksepäin (versionhallinta). Toiseksi kunkin tehdyn ratkaisun perusteiden on oltava löydettävissä. Esim. suunnitteludokumenttien on viitattava edellisen suunnitteluvaiheen dokumentteihin. Sama koskee myös normaalin ylläpidon tietoja, esim. vikailmoituksia ja työtilauksia.
- Tiedon tulee olla luotettavaa. Raakatiedon laatu on tarkistettava esim. rinnakkaisilla mittauksilla (mittausten validointi). Tallennetun tiedon oikeellisuus ja muuttumattomuus on varmistettava esim. käyttöoikeuksin ja (sähköisin) allekirjoituksin.
- Laitoksen toiminnan kannalta tärkeät tietojärjestelmät on tarvittaessa erotettava muusta tietoverkosta. Esim. prosessinläheisten kriittisten järjestelmien kytkeminen yritysverkkoon tai Internetiin voi osoittautua mahdottomaksi, jos ei teknisesti niin yhteiskunnan ja laajan yleisön luottamuksen säilyttämiseksi. Tämä merkitsee sitä, että valvomon ohjausnäyttöihin ei voida välttämättä tuoda esim. kunnossapidon tietoja.
- Laitoksen sekä sen osatoimintojen ja osajärjestelmien suorituskyvyn seuranta ja optimointi on tärkeää. Siksi tiedon tallennuksen tulee olla kattavaa ja yhdenmukaista. Kaikkeen tietoon on voitava päästä käsiksi kytkeytymättä eri tietojärjestelmiin. Kuitenkin kukin tieto pitää tallentaa vain kertaalleen.
- Osa tietokonejärjestelmistä vaatii viranomaisen hyväksynnän. Järjestelmien turvallisuus on pystyttävä osoittamaan dokumentoidusti (lisensiointi). Tämä asettaa vaatimuksia järjestelmille ja niiden suunnittelulle, mikä nostaa kustannuksia ja pidentää suunnitteluvaihetta. Siksi lisensioitavien järjestelmien määrä ja laajuus tulisi minimoida ja niiden rajat määritellä mahdollisimman selkeästi.
- Henkilöstön pätevyydelle ja organisaation toimivuudelle asetetaan suuria vaatimuksia. Vanhoilla laitoksilla tähän liittyy työntekijöiden ikääntyminen ja siirtyminen eläkkeelle. Tästä syystä tarvitaan tietoteknisiä ratkaisuja, joilla kootaan ja hyödynnetään kertyvää osaamista, seurataan henkilöresurssien pätevyyttä ja tuetaan ihmisten välistä kommunikointia.

## 6.2 Tietojärjestelmien määrittelyn periaatteet

Seuraavissa kohdissa hahmotetaan ydinvoimalan tietotekniikan toiminnallista kokonaisu-rakennetta eli kuvataan sitä, miten eri toimintaprosesseissa havaitut kehitystarpeet kuvautuvat tietojärjestelmien toiminnoille. Aluksi on kuitenkin syytä esitellä käytetyn mnettelyn pääperiaatteita.

Tietojenkäsittely ja telekommunikaatio ovat merkittävä osa yritysten liiketoiminta- ja teknologiastrategiaa. Tekniikka tarjoaa jopa mahdollisuuksia luoda kokonaan uutta, esim. tietoverkkoihin perustuvaa liiketoimintaa (Luoma et al. 1999). Perinteisesti tietotekniikka on nähty keinona tehostaa organisaation toimintaa automatisoimalla olemassa olevia tehtäviä. Nykyisin tähän liittyy myös toimintatapojen parantaminen. Toimintolähtöisten (funktionaalisten) rakenteiden sijasta paino on siirtynyt prosessilähtöiseen kehittämiseen. Hajautus, joustavuus, organisaation osaaminen, yhteistyö ja samalla viestintä korostuvat.

Lisäksi tietotekniikan linjauksiin vaikuttavat organisaation ulkoiset muospaineet. Tekniikan muutos (esim. verkottuminen ja Internet) ja markkinoiden ajama yritysten yhdistyminen vaikuttavat myös toimintaprosesseihin. Esim. toimintojen ja tietotekniikan ulkoistaminen yleistyy, vaikka ydinvoiman erityisvaatimukset asettavat tiettyjä esteitä.

Arkkitehtuurin merkitys tietojärjestelmien kehittämisessä on kasvanut. Tekniset ratkaisut ovat mutkistuneet ja tulleet enemmän ammattitaitoa vaativiksi. Tekniikka kehittyy nopeasti; globaali verkottuminen, hajautetut komponenttiohjelmistot ja Internet ovat muuttamassa tilannetta. Arkkitehtuurin on oltava kohtuullisen pysyvä pystyäkseen takaamaan investoinnin kannattavuuden. Valmisohjelmiston räätälöinti on riski, koska se sitoo resursseja, ei ehkä tuota hyvää tulosta ja voi hankaloittaa ohjelmistopäivityksiä. Vaikka toimittaja olisi mukana, se ei välttämättä sitoudu syntyvän erillisen version ylläpitoon. Valmiiden, testattujen ja yhdenmukaisten komponenttien käyttö sekä nopeuttaa sovellusten rakentamista että takaa niiden toimivuuden ja ylläpidettävyyden. Löyhästi integroidut osajärjestelmät ovat joustavampia kuin suuret monoliittiset ohjelmistot. Tämä puolestaan edellyttää selkeitä ja standardoituja rajapintoja.

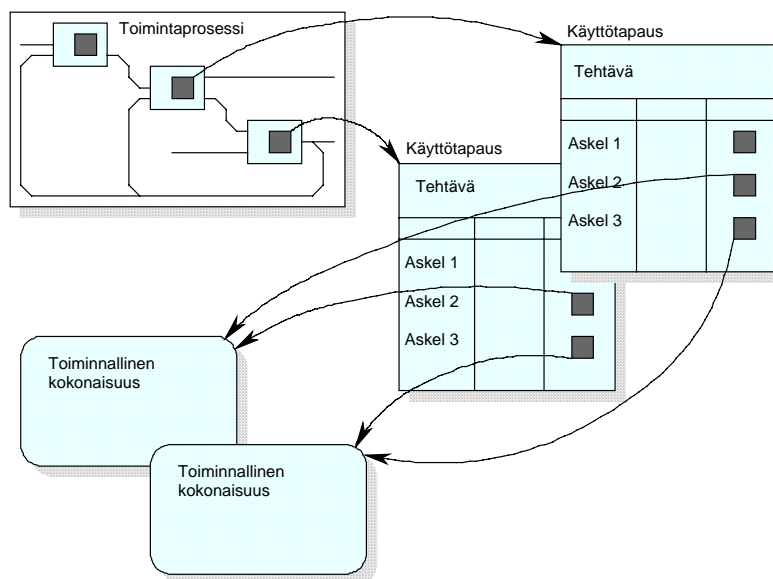
Tietotekniikkastrategian keskeisiä elementtejä ovat (Luoma et al. 1999)

- sovelluskohteiden valinta, priorisointi ja kustannus-hyötyanalyysi
- tietotekniikka-arkkitehtuuri
- tietotekniikkatoimintojen organisointi ja henkilöstön osaaminen sekä
- kaikkiin näihin liittyvä kehittämissuunnitelma.

Tietotekniikka-arkkitehtuurin kuvaus voi esittää nykytilaa, realistista tavoitetilaa tai optimaalista ihannetilaa. Se voidaan jakaa 'tietojärjestelmäarkkitehtuuriin' ja 'tekniseen arkkitehtuuriin'. Edellinen rajaa kokonaisuuden sisällön, siis järjestelmät ja tietovarastot sekä osien väliset yhteydet. (Usein käytetään myös termiä sovellusarkkitehtuuri.) Tähän sisältyy 'tietoarkkitehtuuri', joka on kuvaus organisaation ja järjestelmien keskeisistä tiedosta ja käsitteistä. Sitä käytetään esim. tietovarastojen hahmottelussa ja järjestelmille yhteisten luokitusten ja koodaustapojen määrittelyssä. Tekninen arkkitehtuuri puoles-

taan kuvaa toteutuksessa käytettävät ohjelmisto- ja laitteistoratkaisut. Varsinaisen tietojenkäsittelyn ohella tähän liittyvät nykyisin viestintätekniikan strategiat.

Tietojärjestelmien tulee siis toimia ihmisten työkaluina, joten niiden toimintojen jäsenyksen on hyvä noudatella toimintaprosessien jäsenystä. Kuva 36 esittää lähestymistapaa, jossa on pyritty sovittamaan oliosuuntautuneen analyysin ja suunnittelun menetelmiä teollisiin kohteisiin. Tarkastelun kohteena ovat lähinnä sisällöllinen 'tietojärjestelmäarkkitehtuuri' ja 'tietoarkkitehtuuri'. Rakennetta hahmotetaan ensisijassa loogisesti 'toiminnallisina kokonaisuuksina', ei fyysisinä järjestelminä.



Kuva 36. Toimintojen johtaminen toimintaprosesseista.

Kokonaisuuden määrittely lähtee liikkeelle luvussa 2 esitellyistä *toimintaprosesseista*, niihin sisältyvistä, tarkemmin rajatuista *tehtävistä* sekä luvussa 3 luetelluista kehitystarpeista. Tärkeimmät *tehtävät* analysoidaan kuvaamalla niiden kulkua (askeleet, osatehtävät) sekä sitä, mitä palveluita tietotekniikka voisi tarjota tehtävän suorittajille. Oheisessa taulukossa 11 on esimerkki tällaisesta 'käyttötapauksesta', johon sisältyy ihmisen ja tietokoneiden työnjako ('automaatioaste'). Tässä lähestymistavassa on siis täydennetty oliosuuntautuneen suunnittelun *käyttötapauksia* (use case) kirjaamalla näkyviin myös ihmisen rooli. Tietojärjestelmien osuutta tehtävien suorittamisessa voidaan kuvata esim. seuraavien roolien avulla:

- tietojen hakeminen



- tietojen näyttäminen ja havainnollistaminen
- eri lähteistä saatujen tietojen yhdisteleminen
- tietojen muokkaaminen, laskenta
- tietojen tallentaminen
- työn suorituksen valvonta
- työn suoritushistorian tallentaminen (loki)
- kommunikointi ja yhteistyö henkilöiden välillä.

*Taulukko 11. Ihmisen ja tietotekniikan roolien määrittely kunnonseurantatehtävän suorittamisessa.*

Tehtävä: Järjestelmien kunnonseuranta		
<b>Tavoite ja yleiskuvaus:</b> Fyysisten järjestelmien suorituskykyä ja toimintakuntoa seurataan esim. aistinvaraisesti sekä automaatio- ja kunnonvalvontajärjestelmien tarjoamien tietojen perusteella. Tavoitteena on estää yllättävät laitevauriot ja häiriöt sekä optimoida ennakoivan kunnossapidon toimenpiteet.		
Osatehtävät	Ihmisen rooli	Tietotekniikan rooli
Kunnonseurannan suunnittelu	Mittaus- ja seurantaohjelmien määrittely, automaatio- ja kunnonvalvontajärjestelmien määrittely	Riski- ja käyttövarmuusanalyysit, päätöksenteon tuki optimaalisen strategian valitsemiseksi
Kunnonseurannan mittaukset	Aistinvarainen seuranta, paikallismittausten kokoaminen ja syöttö tietojärjestelmään	Automaattiset mittaukset
Mittaustietojen analysointi	Havaintojen pohjalta tehtävien vikailmoitusten kirjaaminen tietojärjestelmään	Tietojen analysointi erilaisin menetelmin, järjestelmien kulloistakin kuntoa kuvaavien tunnuslukujen laskenta ja havainnollistaminen käyttäjille, hälytykset, automaattinen vikailmoituksen generointi
Välittömät korjaustoimenpiteet	Järjestelmien pysäyttäminen tai redundanssin vaihto	Automaattiset suojaukset tai redundanssin vaihto
Historiatietojen hallinta	Tietojen haku ja raporttien määrittely	Tietojen arkistointi ja raportointi
Huom:		

Laadittavien taulukoiden määrä riippuu kohteen laajuudesta ja vaatimuksista. Yksinkertaisimmillaan voidaan ilmaista yleiset periaatteet tietotekniikan ja ihmisen työnjaolle yhdellä tai muutamalla taulukolla, jotka liittyvät laajoihin toimintaprosessikokonaisuuksiin. Jos tarvitaan tarkempaa analyysia, laaditaan suurempi joukko taulukoita, jotka kohdistetaan valittujen toimintaprosessien yksityiskohtiin.

Tehtävien analysoinnin perusteella syntyy luettelonomainen kuvaus palveluista, joita tietotekniikan kokonaisuutena tulisi tarjota. Useat eri *tehtävät* voivat tarvita samoja palveluita. Seuraavassa askeleessa nämä jäsennetään 'toiminnallisiksi kokonaisuuksiksi' (tulevien osajärjestelmien kandidaatteja). Eri tehtävien vaatimia palveluita täsmennetään ja sovitellaan siten, että eri toimintojen tarjoamat palvelut täyttävät tehtävien asettamat vaatimukset. Tehtävien, rooli- ja tietojärjestelmän loogisen arkkitehtuurin määrittely on siis iteratiivinen prosessi. Käyttötapaustaulukot toimivat runkona, jonka avulla tarpeista ja tekniikan mahdollisuuksista voidaan keskustella loppukäyttäjien kanssa. Suunnittelun edetessä taulukoihin voidaan kirjata täsmällisemmin, mitkä organisaation ja tietojärjestelmien osat ovat mukana tehtävien suorittamisessa. Yksityiskohtien lisääntyessä on pysähdyttävä arvioimaan myös kokonaisuutta, esim. taloudellisia ja teknisiä reunaehdotuksia sekä käyttäjien työn mielekkyyttä. Tarpeen mukaan roolijakoja ja kokonaisuutta muutetaan. Syntyvä tietotekniikan toiminnallinen rakenne on jäsenitys, johon tarkemmat ydinvoimalan kannalta keskeiset ja alalle tyypilliset vaatimukset voidaan sijoittaa.

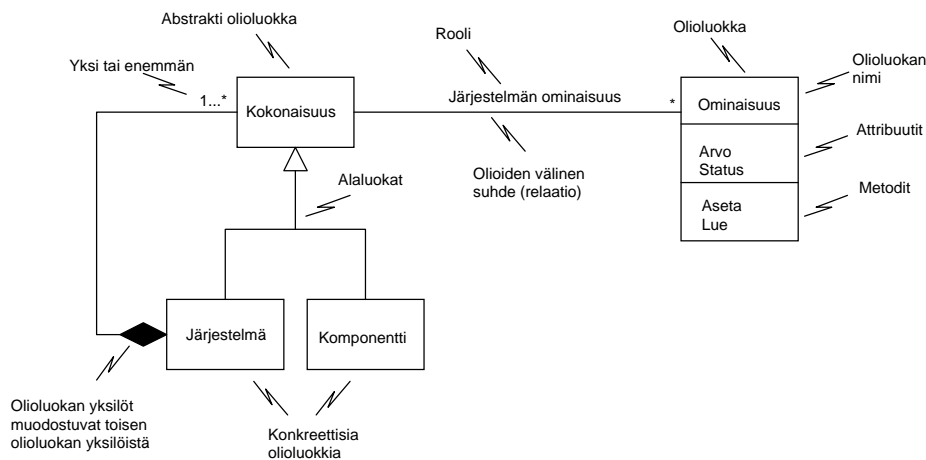
Toiminnalliset kokonaisuudet käyttävät toistensa palveluita ja tietovarastoja. Myös käyttäjät voivat tarvita hyvin erilaisia toimintoyhdistelmiä. Siksi kokonaisuuksien rajaaminen ei ole helppoa. (Tosin valmisohjelmistojen käyttö yksinkertaistaa tilannetta.) Yleisiä periaatteita asioiden jäsentämiselle on vaikea esittää. Loogisesti yhteenliittyviä toimintoja ei pidä keinotekoisesti erottaa (Luoma et al. 1999). Kokonaisuuden rajat määräytyvät sisäisesti yhteenkuuluvista toiminnoista tai joskus merkittävästi erilaisista vaatimuksista (kriittisyys, laajuus, vasteaikavaatimukset jne.).

Keskeisiä liiketoimintaprosesseja varten on määriteltävä yhtenäiset ja koko prosessin kattavat palvelut. Prosessilähtöinen kokonaisuus voidaan toteuttaa esim. rakentamalla alun perin toimintaprosessien mukaiset järjestelmät (joista tulee usein varsin laajoja) tai kokoamalla ne uusista ja vanhoista osista. Osien integrointi voi perustua yhteisiin tietokantoihin tai sovellusten väliseen sanomien vaihtoon. Paljon käytetty keino on myös koota toimintaprosessien ja käyttäjäryhmien mukaisia käyttöliittymäkokonaisuuksia, jotka kytkeytyvät eri osajärjestelmiin. Tällöin itse perusjärjestelmiin tehtävät muutokset voivat jäädä suppeiksi, vaikka käyttöliittymiä joudutaan muuttamaan esim. organisaation muuttuessa.

Arkkitehtuuri kuvataan varsin pelkistetysti kaavioilla ja niitä täydentävillä tekstimuotoisilla kuvauksilla rajautuen toiminnallisten kokonaisuuksien tarkoitukseen ja olennaisiin tehtäviin. Kaavioissa esitetään pääkomponentit ja niiden keskinäiset suhteet. Tekstillä kuvataan toimintojen tarkoitus, tehtävät, rajaukset, liittymät muihin toimintoihin sekä keskeiset käyttäjäryhmät (myös mahdolliset ulkopuoliset). Kytkenät voidaan esittää esim. matriisitaulukon avulla.

Toimintojen tunnistamisen rinnalla on tärkeää hahmottaa tietotekniikan kannalta merkittävät käsitteet ja oliot. Sanallisten selitysten tarkennuksina kuvataan seuraavassa keskei-

set oliot ja niiden väliset riippuvuudet käyttäen erään tunnetun oliosuunnittelumenetelmän, UML:n (*Unified Modeling Language*, Booch et al. 1999) *olioluokkakaavioita*. Käsitteelliset rakenteet ovat luonnollisesti yrityskohtaisia. (Tosin ydinvoima-alallakin voitaisiin periaatteessa kehittää yhteisiä tietomalleja samaan tapaan kuin useissa standardointihankkeissa.) Esitetyt kaaviot ovat lähinnä esimerkkejä, joiden tarkoitus on täsmentää tässä julkaisussa käytettäviä termejä. Liitteeseen B on koottu suppea sanasto.



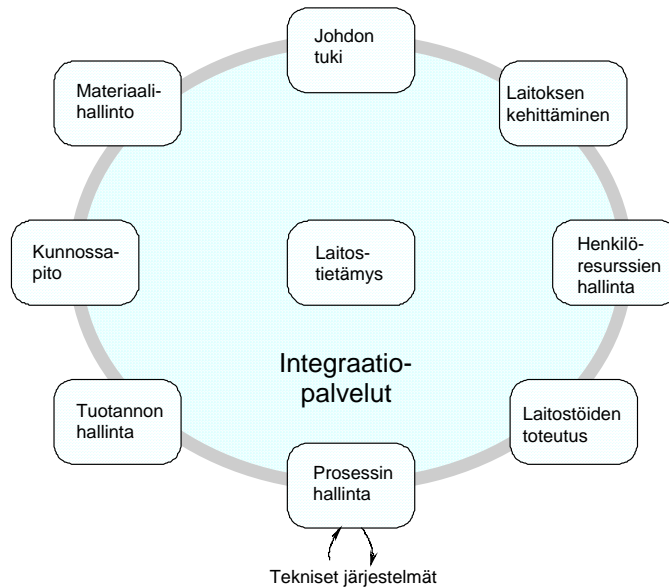
Kuva 37. Olioluokkakaavioiden peruselementtejä.

Olioluokkakaavioiden keskeiset piirrosmerkit selitetään kuvassa 37. Vasemmassa reunassa on esimerkki yleisestä hierarkkisesta rakenteesta, jossa laajemmat järjestelmät muodostuvat joko pienemmistä (osa)järjestelmistä tai komponenteista, joita ei enää jaeta osiin. Rekursiivisen rakenteen esittämiseksi on tarvittu abstrakti olioluokka 'kokonaisuus', jonka alaluokkia ovat järjestelmät ja komponentit. Näillä molemmilla voi olla vaihteleva määrä ominaisuuksia, jotka tässä esitetään erillisen 'ominaisuus'-olion ja relaation avulla. Olioluokkien attribuutteja ja metodeja ei esitetä jäljempänä olevissa kaavioissa.

### 6.3 Tietotekniikan toiminnallinen rakenne

Ydinvoimalan tietojärjestelmien yleisrakennetta hahmotellaan kuvassa 38. Sen toiminnalliset kokonaisuudet määritellään lyhyesti seuraavassa. (Huom. esitetyt kokonaisuudet eivät ole (vielä) konkreettisia järjestelmiä eivätkä myöskään viittaa organisaation osiin.). Osa niistä palvelee erityisesti luvussa 2 esitettyjä laitoksen toimintaprosesseja, osa on

monelle toimintaprosessille yhteisiä. Joissakin tapauksissa tämä voi vaatia erityisiä sovelluksia (esim. työnkulkuohjelmiston), mutta usein integraatio sisältyy eri sovelluksiin ja tietotekniikan infrastruktuuriin, esim. sähköpostiin ja Intranetiin.



Kuva 38. Tietotekniikan toiminnallinen jäsennys.

Ydinvoimalan tietotekniikan keskeiset toiminnalliset kokonaisuudet ovat seuraavat:

- *Laitostietämys*: Kaikille käyttäjille ja sovelluksille yhteinen looginen tietovaranto, joka tarjoaa laitoksen järjestelmiin ja henkilöstöön liittyvät suunnittelu- ja elinkaaritiedot. Tämä voi hajautua käytännössä eri sovelluksiin. Laitostietämykseen sisältyy toisaalta strukturoituja tietokantoja ja toisaalta epäformaaleja dokumentteja. Tällaisia ovat esim. ei-toivottujen tapahtumien raportointi ja aloitteet, jotka voivat liittyä useisiin laitoksen osiin ja toimintoihin.
- *Johdon tuki*: Tietotekniset välineet laitoksen suorituskyvyn seurantaan, tietojen analysointiin ja päätöksentekoon.
- *Laitoksen kehittäminen*: Tietotekniset toiminnot, joiden tarkoitus on palvella koko laitoksen muutosten ja kehittämistoimenpiteiden suunnittelua ja suunnitteluinformaation hallintaa. Tähän sisältyvät esim. tekninen suunnittelu, projektihallinta sekä teknisen dokumentaation ja ohjeiston hallinta. Edelleen tähän voidaan sisällyttää henkilös-

tön kehittämiseen liittyvät (projektimuotoiset) hankkeet. Kehittäminen koskee siis koko laitosta, ei vain tekniikkaa.

- *Henkilöresurssien hallinta*: Operatiiviset toiminnot, jotka liittyvät henkilöresurssien seurantaan (esim. säteilyannokset, pätevyys) ja käyttöön (esim. kunnossapitotyöt) sekä koulutukseen. Puhtaasti hallinnolliset toiminnot, esim. palkanlaskenta, rajataan tarkastelun ulkopuolelle.
- *Kunnossapito*: Tietotekniset välineet kunnossapidon suunnittelua ja seuranta varten. Varsinaiset toimenpiteet kuuluvat laitostöiden toteutukseen.
- *Materiaalihallinto*: Materiaalien, komponenttien ja palveluiden hankinta, varastointi ja jakelu laitoksella. Toimintoon on sijoitettu myös polttoaineen hankinta, käsittely ja seuranta, vaikka nämä toiminnot ovat yleensä erillinen kokonaisuus (myös konventionaalisilla laitoksilla).
- *Laitostöiden toteutus*: Konkreettisten laitokseen kohdistuvien huolto-, testaus, muutokset- jne. toimenpiteiden valmistelu, toteutus, seuranta ja raportointi. Tähän on siis sisällytetty kaikki konkreettiset laitostyöt riippumatta siitä, mihin ne kohdistuvat (mukana ovat siis esim. ohjelmistopäivitykset). Sen sijaan esim. kokouksissa sovittujen selvitystehtävien hallinta ja seuranta voivat kuulua muualle.
- *Tuotannon hallinta*: Käyttötoimenpiteiden ja seisokkien suunnittelu, ohjaus ja seuranta. Otsikon alle on sijoitettu sekä seisokkien ajankohtien määrittely että niiden tarkka suunnittelu, vaikka seisokit sisältävät käyttötoimien ohella erittäin paljon muutoksia ja kunnossapitotöitä (seisokkien hallinta voitaisiin nähdä myös erillisenä toimintona).
- *Prosessin hallinta*: Teknisten järjestelmien pitäminen halutussa tilassa. Keskeisin hallittava kohde on prosessijärjestelmä, josta myös otsikko on poimittu. Kokonaisuus sisältää kuitenkin myös muiden teknisten järjestelmien reaaliaikaisen hallinnan. Mukana on esim. seuraavia osatoimintoja:
  - tilan hallinta: säädöt, sekvenssit, suojaukset, lukitukset jne.
  - operaattorin tukitoiminnot, reaktorilaskennat yms.
  - laboratorioinformaation hallinta
  - ympäristö- ja säteilymittaukset
  - rakennusautomaatio, kulunvalvonta
  - historiatiedon keruu: prosessisuureiden ja tapahtumien tallennus

- kunnonvalvonta: fyysisten järjestelmien kunnan ja suorituskyvyn seuranta.

Oheiseen taulukkoon 12 on koottu tärkeimpiä toiminnallisten kokonaisuuksien välisiä tietovirroja.

*Taulukko 12. Esimerkkejä tietovirroista.*

Mistä	Johdon tuki	Kehittäminen	Henkilö-resurssien hallinta	Laitostöiden toteutus	Prosessin hallinta	Tuotannon hallinta	Kunnossapito	Materiaalihallinto	Laitostietämys, päivitykset
Johdon tuki		Päätökset	Päätökset	Yleiset tavoitteet	Yleiset tavoitteet	Päätökset	Päätökset	Päätökset	Päätökset Arvot
Kehittäminen	Investointiehdotukset		Ohjeet	Työtilaukset Ohjeet	Ohjeet	Ohjeet	Ohjeet	Ohjeet	Dokumentit
Henkilö-resurssien hallinta		Resurssitiedot		Resurssitiedot	Resurssitiedot	Resurssitiedot	Resurssitiedot		Resurssitiedot
Laitostöiden toteutus	Tunnusluvut	Tunnusluvut	Varaukset		Tilatiedot	Tilatiedot	Töiden raportit Vikailmoitukset	Varaukset	Toteutumatiedot
Prosessin hallinta	Tunnusluvut	Tunnusluvut		Työtilaukset		Tilatiedot	Vikailmoitukset	Varaukset	Tilatiedot Historiatiedot
Tuotannon hallinta	Tunnusluvut	Tunnusluvut	Varaukset	Työtilaukset	Käyttömääräimet		Työtilaukset	Varaukset	Tuotanto- ja käyttötalous-tiedot
Kunnossapito	Tunnusluvut	Tunnusluvut	Varaukset	Työtilaukset	Suunnitelmat Tilatiedot	Suunnitelmat Tilatiedot		Varaukset	Kunnossapitohistoriat
Materiaalihallinto	Tunnusluvut	Tunnusluvut		Saatavuus-tiedot		Saatavuus-tiedot	Saatavuus-tiedot		Varasto- ja materiaali-tiedot
Laitostietämys, haut	Historiatiedot Analyysiraportit	Dokumentit Historiatiedot Analyysiraportit	Henkilötiedot Varaukset	Resurssitiedot Ohjeet	Järjestelmätiedot Dokumentit		Järjestelmätiedot, Dokumentit	Varasto- ja materiaali-tiedot	

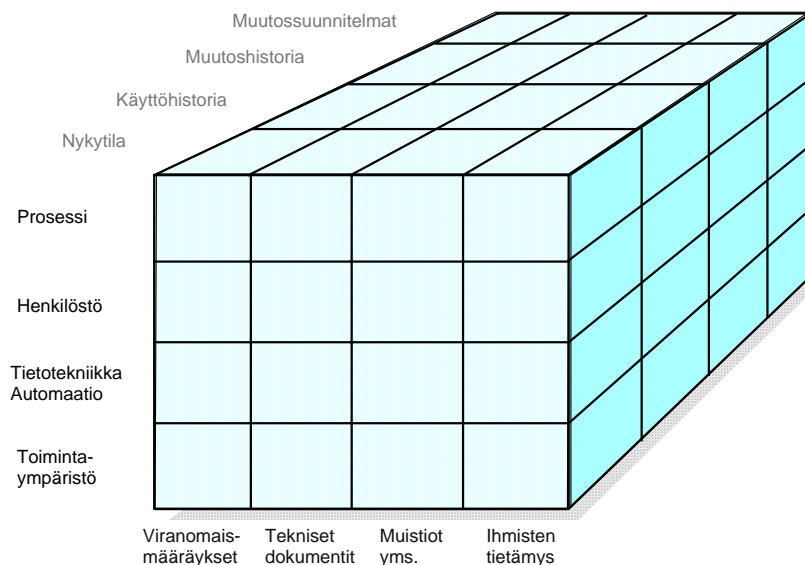
## 6.4 Toiminnoille asetettavat vaatimukset

Edellä on esitetty yleisiä näkökohtia. Seuraavassa toiminnallisia kokonaisuuksia ja niiden olioluokkia tarkastellaan yksityiskohtaisemmin. Samalla luetellaan toiminnoilta vaadittavia palveluita ja ominaisuuksia. Tarkoitus on keskittyä tärkeimpiin ja ydinvoimalaitoksille luonteenomaisiin toimintoihin ja vaatimuksiin.

### 6.4.1 Laitostietämys

Eräs tämän julkaisun lähtökohta on ydinvoimalan tarkastelu kokonaisuutena sekä eri tekniikan alojen ja organisaation osien yhteistyö. Yksi tämän ajattelun seuraus on se, että laitokseen liittyviä tietoja tulisi mallintaa (yhteiset käsitteet) ja käsitellä (tietojärjestelmien integraatio) yhtenäisesti niin, että ne näkyvät eri käyttäjille loogisesti yhtenä-

senä tietomassana. Fyysinen toteutus voi kuitenkin olla hajautettu useisiin tietokantoihin ja sovelluksiin.



Kuva 39. Integroidun tietomassan jäsenyys suunnittelualojen, virallisuuden asteen sekä ajan perusteella.

Laitostietojen tulisi sisältää 'kaikki' laitokseen liittyvä tieto. Mukana on oltava esim. laitoksen 'pääkomponentit', kuten prosessi- ja sähköjärjestelmät, henkilöstö, tietotekniikka ja rakennukset. Järjestelmistä on kuvattava niiden toteutuksen lisäksi toiminnot sekä alkuperäiset vaatimukset ja suunnitteluperusteet. Nykytilan ohella saatavilla tulisi olla historiatietoja käytöstä ja ylläpidosta (tuotanto, käyttötapahtumat, viat, vanhat versiot) sekä suunnitteilla olevat muutokset ja työt. Nykytilan osalta 'dokumentoituun' tietoon tulisi voida yhdistää esim. reaaliaikamittauksia. Tietoa on erilaisissa muodoissa, esim. tietokannoissa, teknisissä dokumenteissa ja ja ohjeissa sekä vähemmän formaalissa muodossa, esim. kokouspöytäkirjoissa. Tietotekniikan kehittyessä näiden väliset rajat ovat hämärtyneet. Lisäksi on olemassa tietoa, jota nykytekniikalla ei saada talteen (osaaminen, henkilökohtaiset muistiinpanot). Tätä tietomassan jäsenyystä kolmessa dimensiossa havainnollistaa kuva 39. (Muita mahdollisia ryhmittelyperusteita ovat esim. eri käyttäjäryhmien ja niiden tehtävien asettamat tietotarpeet.)

Näiden fyysistä laitosta kuvaavien tietojen lisäksi tietojärjestelmiin tulee mallintaa laitoksen toimintaprosessit ja työnkulut niin, että järjestelmät 'tietävät', mitä toimintaprosessia ollaan milloinkin suorittamassa. Tämä mahdollistaa esim. kustannustietojen kokoamisen ja kohdistamisen tietyille toimintaprosesseille.

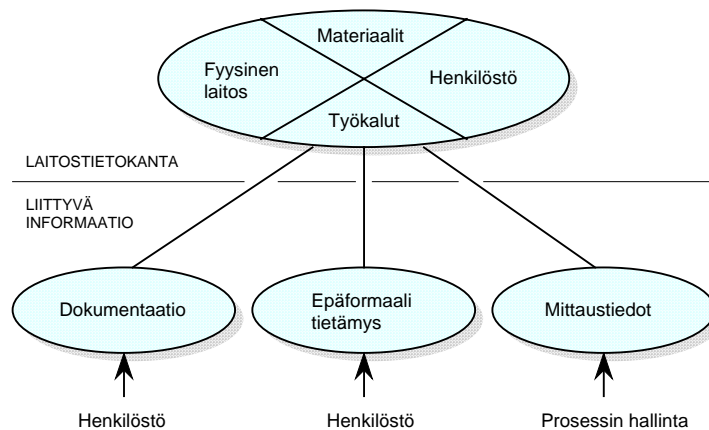
Käyttäjien tulee voida esittää monenlaisia kysymyksiä, esimerkiksi:

- Missä materiaalia X on käytetty?
- Mitä revisiossa kolme vuotta sitten tehtiin järjestelmälle X?
- Millaisia laitteita on huoneessa X?
- Käyttötapahtumassa X kuormitettiin laitosta. Mitkä olivat pääkomponenttien keskeiset muuttujat ajan funktiona?
- Pitäisi saada tehtävä X hoidetuksi. Ketkä voivat sen tehdä, ja mitä muuta tehtävää heillä on tällä hetkellä?
- Missä ovat keskeisen osaamisen kannalta suurimmat riskit, esim. tiedot ovat vain yhdellä henkilöllä, joka voi siirtyä eläkkeelle?
- Mitkä ovat komponenttiin X kohdistetut toimenpiteet?
- Komponenttia X on muutettu. Mitkä käyttöohjeet on tarpeen päivittää?

Haut voidaan jakaa kahteen kategoriaan, toisaalta vakiohakuihin, joihin vaaditaan suhteellisen nopeita vasteaikoja, ja toisaalta vapaisiin kyselyihin, jossa hakujan venyminen on hyväksyttävää, mutta jossa edellytetään suurta joustavuutta hakujen kokoonpanossa sekä tarkkuutta niiden tuottamissa vastauksissa.

Laitokseen liittyvän tietomassan sisäistä rakennetta on hahmoteltu kuvaan 40. Tietomassan ytimen muodostaa selkeään käsiterakenteeseen perustuva *laitostietokanta*, joka voidaan jakaa toisiaan täydentäviin (mahdollisesti hajautettuihin) sektoreihin. Yksi osa määrittelee fyysisen laitoksen rakenteen (järjestelmät, rakennukset), toinen hankintoihin ja logistiikkaan liittyvät materiaalit (nimikkeet, yksilöt, toimittajat ja urakoitsijat). Kolmannen osan muodostavat laitoksella työskentelevät henkilöt ja neljännen työssä tarvittavat, seurantaa vaativat erikoistyökalut, koneet ja muut vastaavat resurssit.

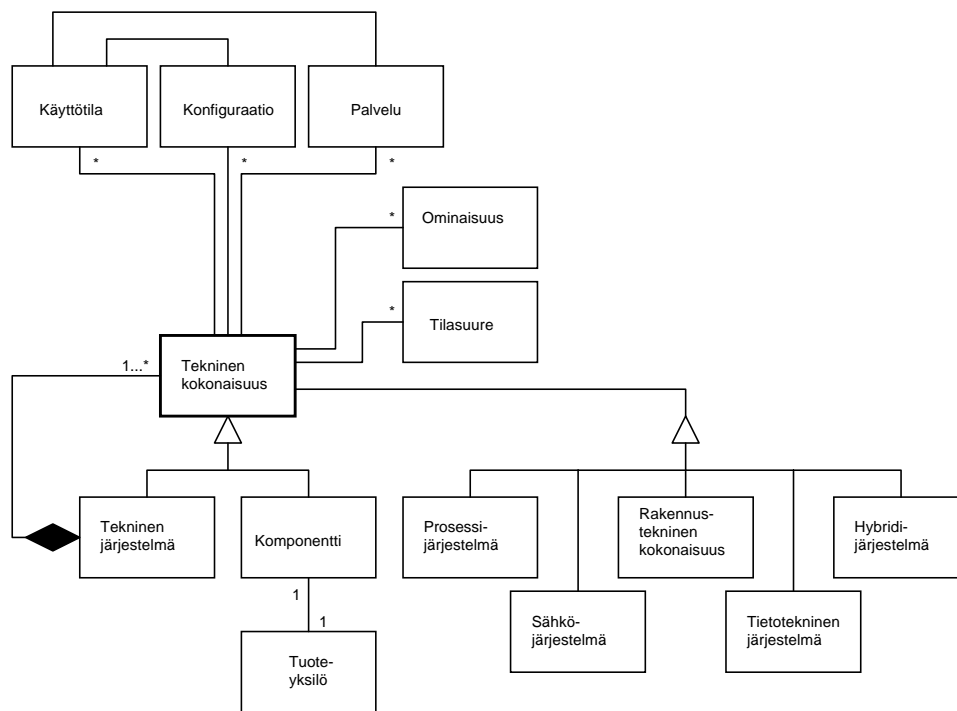




*Kuva 40. Laitoksen tietomassaa hallitaan laitostietokannassa ja erilaisissa siihen liittyvissä sovelluksissa.*

Laitostietokantaan koodatun tiedon ulkopuolella hallittava, vähemmän formaali dokumentaarinen informaatio voidaan jakaa esim. dokumentaatioon (tekniset dokumentit, pöytäkirjat, raportit, työluvut jne.), epäformaaliin tietämykseen (esim. muistiot ja muistiinpanot) sekä erilaisista automaatio- ja mittausjärjestelmistä peräisiin olevaan tietoon. Laitostietokanta muodostaa rungon, josta on linkit tähän liittyvään informaatioon. (Ajatus on lähellä laajan PDM-järjestelmän tarjoamia palveluita. Tulevaisuudessa jako tietokantaan ja siihen linkitettyyn 'muuhun dokumentaatioon' voi muuttua siihen suuntaan, että kaikki tieto on samassa tietokannassa).

Kuva 41 havainnollistaa laitostietokannan fyysistä osaa, siis laitteistoja ja järjestelmiä. Voimala muodostuu teknisistä kokonaisuuksista, joita voidaan osittaa hierarkkisesti, kunnes tullaan yksittäisten komponenttien tasolle. Tekniset järjestelmät voivat muodostua esim. prosessilaitteista tai tietokoneista ja ohjelmistoista. Ne voivat olla myös eri tekniikoiden yhdistelmiä, hybridijärjestelmiä (esim. prosessilaitte ja siihen sulautettu ohjaus). Tästä seuraa, että laitoksella voi olla käytössä useita rinnakkaisia hierarkioita (näkökulmat).



Kuva 41. Voimalaitoksen tekniset järjestelmät.

Tekninen kokonaisuus voi olla erilaisissa *käyttötiloissa* (ks. liite C) ja *konfiguraatioissa*, joista riippuu, millaisia toimintoja se pystyy suorittamaan (palvelut). Järjestelmään liittyy vaihteleva määrä suunnitteluvaiheessa kiinnitettyjä *ominaisuuksia* (esim. putken halkaisija) sekä dynaamisia *tilasuureita* (esim. lämpötila). Tekniseen kokonaisuuteen voi kytkeytyä myös erilaisia tehtäviä (esim. määräaikaishuolto) sekä näihin liittyviä pätevyysvaatimuksia ja ohjeita.

Ydinvoimalaitoksella tärkeää roolia näyttelee järjestelmien luokittelu. Kerran huolellisesti mietittyä luokitusta voidaan käyttää esim. sääntöjen ja älykkäiden toimintojen määrittelyssä. Kullakin oliolla voi olla useita attribuutteja, joilla mitataan sen merkitystä eri kriteereiden, kuten turvallisuuden ja käytettävyyden, suhteen. Jonkinlainen summamuuttuja voi kuvata olion 'kokonaismerkitystä'. Laajemman kokonaisuuden luokitus voi periä esim. oletusarvona sen osakokonaisuuksille. Välttämättä tilanne ei kuitenkaan ole näin suoraviivainen. Kriittisessäkin järjestelmässä voi esim. olla useita redundanttisia komponentteja, jolloin ne eivät ole yksittäin yhtä merkittäviä kuin kokonaisuus. Luokitte- lut ovat yleensä laitos- ja maakohtaisia. Myös esim. USA:n NRC (Nuclear Regulatory Commission) on määritellyt luokituksia, jotka tosin ovat muuttumassa.

Laitostietokannalle voidaan asettaa seuraavia vaatimuksia:

- Laitostietokannan tietorakenteen tulee olla riittävän monipuolinen, esim. luokitukset, hierarkkiset rakenteet ja eri käyttäjiä palvelevat näkökulmat.
- Tietokannan tulee tukea kaikkien kohteiden versioiden hallintaa. Edellisten versioiden tietoja pitää voida hakea, ja suunnitteilla olevat kohteet tulee voida esittää, jotta niihin voidaan kohdistaa esim. laitostöitä. Myös uusien dokumenttien tulee olla etukäteen määrättyjen tahojen luettavissa.
- Tietokannasta on voitava siirtyä lukemaan ja päivittämään kohteeseen liittyviä dokumentteja.
- Tietorakenteen on tuettava tuote-erien (esim. polttoaineen) ja yksilöiden (esim. kunnostetun pumpun) seuranta.
- Tietokantaan tulee voida tuoda tietoja (esim. toimittajien komponenttitiedot) ulkoisista lähteistä standardoidun siirtomuodon avulla.
- Laitostietokannan tulisi tukea automaattista turvallisuusanalyysia esim. poikkeamatarkastelulla (HAZOP), vika-vaikutusanalyysilla (VVA) ja yllättäviin vuorovaikutuksiin varautumalla. Jos tällaisia on saatavissa esim. toimittajalta, tulisi analyysitulosten olla tarjolla myös sähköisessä muodossa.

Laitoksella käsitellään formaalisuudeltaan erilaisia tietojoukkoja ja dokumentteja, jotka yleensä liittyvät tavalla tai toisella laitostietokantaan. Tarvittavia palveluita ovat esim. seuraavat:

- Kaikkia dokumentteja ja niiden versioita tulisi voida hallita sähköisessä muodossa. Tähän liittyvät esim. tallenteiden varmistukset, tietosuoja, versiohallinta, jne. On voitava tallentaa ja käsitellä eri lähteistä peräisin olevia dokumentteja ja tarvittaessa muuntaa ne dokumenttien hallinnan omaan tallennusmuotoon.
- Dokumenttien tulostaminen käyttäjän haluamaan muotoon (käyttöohje, dokumentin päivitys, koulutusmateriaali) voi myös olla tarpeen. Virallisesti hyväksytyjen dokumenttien (esim. hätätilanneohjeiden) osalta vapaiden koosteiden muodostamista lieenee kuitenkin tarpeen rajoittaa.
- Sähköinen tunnistus ja allekirjoitus ovat vielä hieman avoin kysymys, mutta niiden käyttöönottoon on kuitenkin syytä varautua.
- Dokumentit tulee voida linkittää toisiinsa ja laitostietokantaan mahdollisimman vaivattomasti. Tähän voi liittyä myös erilaisia näkökulmia; esim. suunnittelijan linkit auttavat muutosten vaikutusten arvioinnissa ja käyttäjän linkit taas asian opiskelussa.

- Epäformaalia tietoa, kuten kokouspöytäkirjoja, kirjeitä ja erilaisia (hyvinkin vapaa-muotoisia) muistioita, pitää pystyä hyödyntämään joko siten, että niistä voidaan haakea tietoa, tai siten, että ne on alun perin laadittu rakenteisina dokumentteina, joiden sisältö on tietokoneen ymmärtämässä muodossa.
- Pöytäkirjoihin voi myös sisältyä sovittuja tehtäviä, joiden etenemistä tulee voida seurata. Erityisesti on otettava huomioon viranomaiskirjeenvaihdon vaatimukset. Tällaiseen asianhallintaan voi sisältyä esim. vaadittu tai luvattu asia, tapa sen hoitamiseksi, vastuuhenkilö ja aikataulu. Tiedot tulisi saada mahdollisimman automaattisesti esim. kokouspöytäkirjoista. Tietojärjestelmän tulisi muistuttaa vastuuhenkilöitä, jos asia ei etene suunnitellusti. Asiaa käsitellään useissa vaiheissa ja pöytäkirjoissa. Asia voi nostaa esiin toisen tehtävän. Erilaiset linkit tulisi tallentaa jäljitettävyyden mahdollistamiseksi. Käsittelyn kulku on voitava arkistoida, kuten moni muukin tieto laitoksella.

#### **6.4.2 Johdon tuki**

Ydinvoimalaan liittyy suuria taloudellisia arvoja ja merkittäviä turvallisuus- ja ympäristönäkökohtia. Kustannusrakenteen vuoksi operatiivisen toiminnan tehokkuus on merkittävä tekijä tuloksen kannalta. Ongelmiin on puututtava ajoissa, ja monet päätökset vaikuttavat kauas tulevaisuuteen. Tietotekniikan tulisi tarjota tätä varten esim. seuraavia apuvälineitä:

- Laitoksen suorituskykyä kuvaavien mittareiden tuottaminen jalostamalla kertyvää raakatietoa. Tätä tulisi voida tehdä sekä koko laitoksen tasolla että kohdistettuna laitoksen erilaisiin osiin (järjestelmiin, organisaatioon) ja toimintaprosesseihin.
- Tarvittaisiin välineitä, joiden avulla voidaan tehdä ja dokumentoida rationaalisia päätöksiä esim. investoinneista (kustannukset, hyödyt, riskit).
- Laitoksella voi olla käynnissä suuri määrä usein laajoja ja pitkäkestoisia projekteja, joita tulisi voida hallita kokonaisuutena (suunnitelmat ja niiden toteutumisen seuranta).

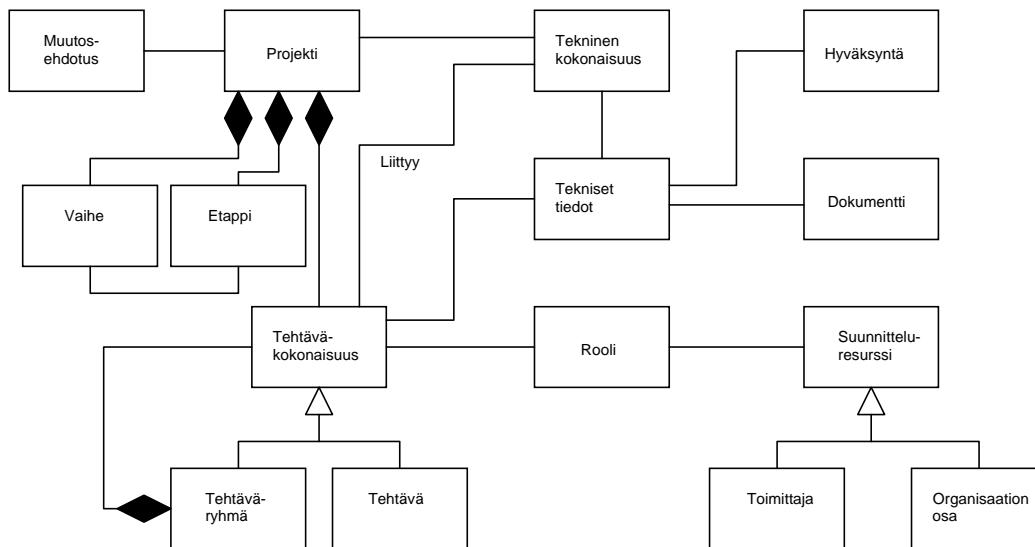
#### **6.4.3 Laitoksen kehittäminen**

Kehittämisen tarkoituksena on mukauttaa laitos liiketoiminnan, yhteiskunnan tai havaittujen sisäisten puutteiden aiheuttamiin muospaineisiin tai auttaa tekniikan tuomien uusien mahdollisuuksien hyödyntämisessä. Tietotekniikan tehtävänä on auttaa muutostarpeiden tunnistamisessa, keskeisten päätösten teossa sekä muutoshankkeiden konk-

reettisessä läpiviennissä. Tekniikkaa, organisaatiota ja toimintatapoja tulisi voida käsitellä rinnakkain.

Tarvittavia sisäisiä lähtökohtia ovat laitoksen suorituskykyä kuvaavat tunnusluvut, historiatiedoista kootut analyysiraportit sekä yksittäiset vikailmoitukset ja muutosehdotukset. Ulkoapäin tietoja tulee esim. viranomaisilta, muilta laitoksilta (käyttökokemustietokannat) sekä toimittajilta ja tutkimuslaitoksilta. Laajemmat muutokset organisoidaan projekteiksi, pienet voidaan toteuttaa erillisinä töinä. Toteutuksesta on sovittava laitoksen käytön kanssa, varsinkin jos ne edellyttävät laitoksen tai sen osan alasajoa. Muutos suunnittelun tuloksia ovat tekniset dokumentit, ohjeet, koulutusohjelmat sekä seisokkien suunnittelua ja laitoistöiden toteutusta varten laaditut työtilaukset.

Havaittujen muutostarpeiden toteutus organisoidaan yleensä projekteiksi, jotka muodostuvat hierarkkisesti ositetuista osatehtävistä sekä ajallisista *vaiheista* ja päätöksentekopisteistä, *etapeista*, kuva 42.



Kuva 42. Projekteihin liittyviä olioluokkia.

Tehtäviä suorittavat *suunnitteluresurssit* voivat olla laitoksen oman organisaation osia tai palveluiden toimittajia. Näillä on tietty *rooli* tehtävien suorittamisessa. Tehtävän vaatimukset riippuvat sekä tehtävästä itsestään että kohteena olevasta laitoksen teknisestä järjestelmästä tai organisaation osasta. Tästä syntyvät vaatimukset käytettävien resurss-

sien (toimittajat, suunnittelijat, välineet) kyvyille ja pätevyydelle. Kohteen kriittisyydestä riippuvat myös laadunvarmistuksen ja viranomaishyväksynnän menettelyt.

Laadunvarmistus aiheuttaa lisätyötä ja vaatii huolellisuutta. Työnkulkuja tulisi automatisoida. Osa laadunvarmistuksen tekemistä tarkistuksista perustuu muutoseikkoihin, esim. siihen, että sähköiset allekirjoitukset ovat paikallaan. Nämä tulisi saada tarkastusraporttiin automaattisesti, jolloin ihminen voi keskittyä sisällöllisiin seikkoihin.

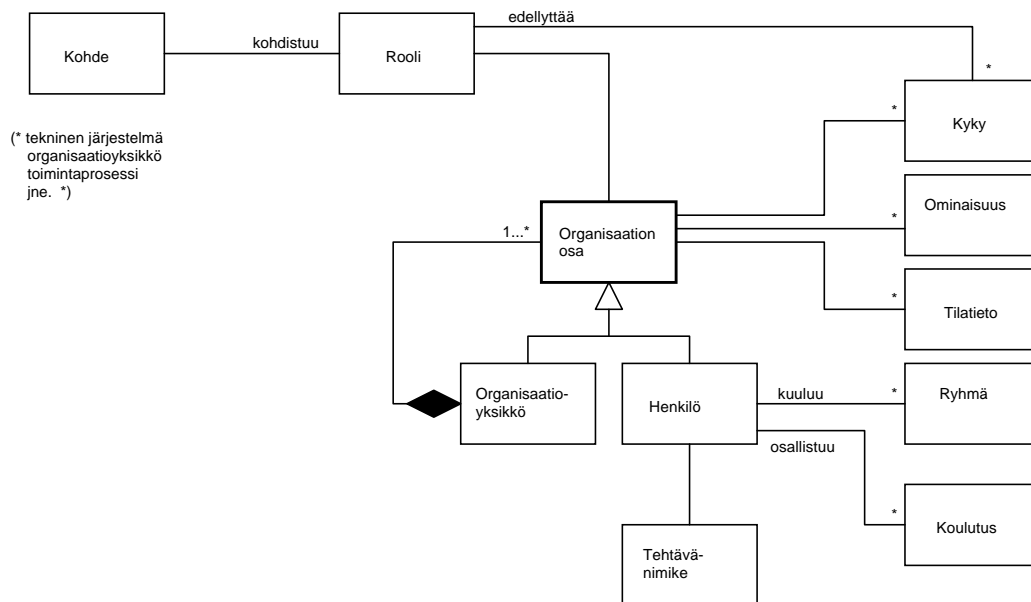
Ydinvoimalan kehittämisen tietotekniikkatuella voidaan asettaa mm. seuraavia vaatimuksia:

- laitoksen suorituskyvyn (esim. käytettävyys, pikasulut ja säteilyannokset) ja ongelmien analysointi, avainsanat ja luokitukset
- ulkoiset yhteydet teknologian seurantaan ja kokemusten vaihtoa varten
- suunnittelutyökalut, erityisesti muutoshankkeiden tarveanalyysia ja määrittelyä varten
- projektien hallinta kytkettynä laitoksen tietoihin (esim. tietokannassa määritellyt resurssit ja laitososat)
- dokumenttien hallinta (esim. spesifikaatiot, käyttöohjeet, pöytäkirjat jne.)
- muutosten hallinta (muutostehdotukset, versiot jne.), myös tietojärjestelmien konfiguraation hallinta
- suunnittelun laadunvarmistuksen tuki (esim. katselmukset)
- päätöksenteon tuki, esim. investointipäätökset ja teknisten vaihtoehtojen vertailu
- laitoksen 3D-mallin laatiminen CAD-järjestelmillä, tuotetiedon hallinta, yhteydet laitevalmistajien järjestelmiin
- suunnittelu- ja koulutussimulaattorit, suunnittelutiedon automaattinen siirto CAD-järjestelmistä.

#### **6.4.4 Henkilöresurssien hallinta**

Henkilöresurssien hallinnan tehtävänä on palvella työvoiman käytön suunnittelua ja seurantaan sekä ylläpitää tietoja laitoksella työskentelevien ja myös ulkopuolisten henkilöiden koulutuksesta, ammattipätevyydestä ja säteilyannoksista.

Kuva 43 esittää henkilöstöön liittyviä olioluokkia. Henkilöstö on tavallisesti jaettu hierarkkisesti *organisaatioyksiköihin* (konserni, laitos, osasto, jaosto jne.), ja kukin henkilö kuuluu tiettyyn (yhteen) organisaatioyksikköön. Lisäksi henkilöt voivat kuulua erilaisiin pysyviin tai väliaikaisiin *ryhmiin*.



Kuva 43. Organisaatiokäsitteitä.

Henkilöllä (organisaatioyksiköllä) on attribuutteja, jotka voidaan jakaa pysyvämpiin *ominaisuuksiin* ja muuttuviin *tilatietoihin*. Ominaisuus voi olla esim. pituus tai automaattisessa tunnistamisessa käytettävä sormenjälki. Tilatietoihin kuuluvat esim. tieto paikallaolosta tai kumuloitunut säteilyannos.

Organisaatioyksiköllä ja henkilöllä on erilaisia tehtäviä ja vastuita. Nämä voidaan kuvata niiden *rooleina* erilaisten kohteiden suhteen. Kohteet voivat olla teknisiä järjestelmiä tai niiden luokkia, toimintaprosesseja, organisaatioyksiköitä jne. ja rooli esim. 'operointi', 'ylläpito', 'johtaminen' jne. (Kohteena voi olla myös erillinen, esim. projektiin kuuluva tehtävä.) Rooliin liittyy joukko oikeuksia ja velvollisuuksia, ja sen hoitaminen edellyttää henkilöltä ja organisaatioyksiköltä tiettyjä kykyjä (capability) ja pätevyyttä.

Tietoja on ylläpidettävä myös ulkopuolisista organisaatioista ja henkilöistä. Esim. toimittajia voidaan luokitella, ja toimittajasta voi olla tarpeen tietää, milloin se on viimeksi auditoitu.

Tietotekniikalle asetettavia vaatimuksia:

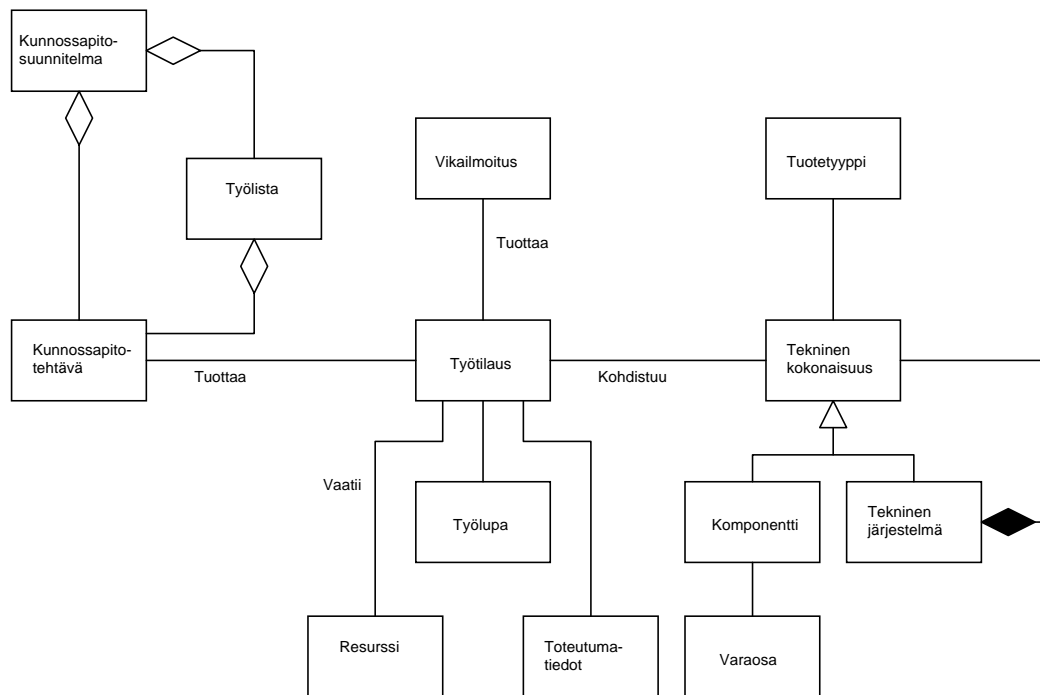
- henkilöiden ja organisaatioiden tietojen ylläpito: pätevyys, koulutus, luvat, terveystarkastukset, varusteet, työkokemukset jne. Ulkopuolisten osalta joitakin tietoja on voitava käsitellä kunkin työjakson osalta erikseen.
- säteilyannosten seuranta: henkilöannosvalvonnan mittaustietojen siirto, tallennus ja raportointi (henkilöille itselle ja STUKille)
- henkilöresurssien käyttö (varaukset) tehtävien vaatimusten ja henkilöiden pätevyyden perusteella
- liitynnät työajan seurantaan ja palkanlaskentaan.

#### **6.4.5 Kunnossapito**

Kunnossapito perustuu kunnossapitostrategioihin, joissa määritellään, millä periaatteilla (korjaava, määräaikainen, kuntoon perustuva) laitoksen eri järjestelmiä pidetään kunnossa. Näiden perusteella syntyy erilaisia tehtävien listoja ja yksittäisiä kunnossapitotehtäviä. Tehtävät voivat olla uudelleenkäytettäviä esim. siten, että ne toistuvat saman kohteen osalta, tai siten, että niitä voidaan soveltaa useisiin samaan luokkaan kuuluviin kohteisiin. Lisäksi voi esiintyä yksilöllisiä erillistehtäviä (usein akuutteja, mutta työtilaus voidaan tehdä myös pitkälle tulevaisuuteen).

Suunnitellut tehtävät aktivoituvat tiettyjen ehtojen toteutuessa ja tuottavat työtilauksia laitostöiden toteutukseen, kuva 44. Lisäksi työtilauksia syntyy vikailmoitusten tai muiden ei-toivottujen ilmiöiden perusteella. Työtilaus voi johtaa toiseen työtilaukseen, esim. tarkastuksessa voidaan havaita ongelma, joka edellyttää korjaustoimenpiteitä. Työtilaus voidaan luoda myös suoraan ilman vikailmoitusta tai vastaavaa.





Kuva 44. Kunnossapitoon liittyviä olioluokkia.

Työtilauksiin liittyy tarvittavien resurssien varaus (henkilöt, urakoitsijat, materiaalit ja tarvikkeet sekä työkalut). Näin voi syntyä myös varastovaraus sekä hankintaehdotus materiaalihallintoon. Työtilaukseen on liitettävä mahdollisesti useita eri alojen työluupa, joiden avulla varmistetaan turvallisuudesta.

Työn suorituksen aikana työtilaukseen liitetään toteutumatiietoja, joiden perusteella voidaan tarkentaa arvioita myös suunniteltujen kunnossapitotehtävien kestoista, säteilyannoksista, resurssitarpeista ja kustannuksista.

Tietotekniikalle asetettavia vaatimuksia:

- Teknisten järjestelmien ja komponenttien toimintakunnosta tulisi saada reaaliaikaista tietoa kunnossapitotoimenpiteiden suunnittelemiseksi optimaalisella tavalla.
- Käyttökokemusten perusteella tulisi voida laskea esim. komponenttien vikataajuuksia ja korjausaikoja. Näitä voidaan käyttää PSA:n tarkistamisessa ja päivittämisessä. Samoin eri töiden kestoista ja kustannuksista voidaan muodostaa suunnittelussa käytettäviä laskentasääntöjä. Toistuville töille näitä voidaan tilastoida suoraviivaisemmin.

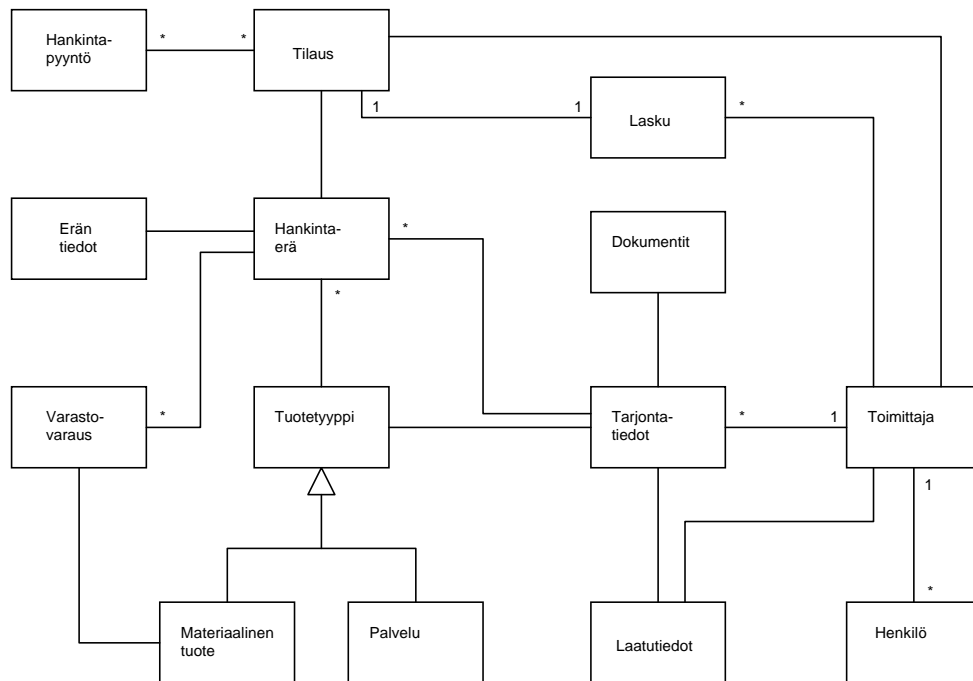
- päätöksenteon tuki; esim. tulisiko laitos ajaa alas vai kannattaako korjausta siirtää seuraavaan seisokkiin
- tehtyjen töiden tilastointi toiminnan suunnittelua varten, esim. käytetty aika, todelliset kustannukset, säteilyannokset jne.
- kalibrointien automaattinen suoritus ja raportointi.

#### 6.4.6 Materiaalihallinto

Kuvassa 45 esitetään eräitä hankintoihin liittyviä olioluokkia. Esim. kunnossapidosta, suunnittelusta ja varastojen hallinnasta tulee hankintapyyntöjä, joiden perusteella tuotteita tai palveluita tilataan sopivilta toimittajilta (tähän voi liittyä myös pitkäaikainen sopimus tai tarjouspyyntöjen ja tarjousten käsittely). Tilaukseen voi sisältyä useita hankintaeriä, joista on tallennettava tietoja erikseen seurantaan varten. Saapuvat tavara-erät tarkistetaan ja niitä verrataan laskun tietoihin. Jotkut tuotteet kuuluvat laadunvalvonnan piiriin, ja niiden eriä voidaan käyttää vasta, kun niiden laatu on tarkistettu.

Hankittavat 'tuotteet' järjestetään luokkahierarkiaksi (tuotetyypeittäin), jonka kaksi päätyyppiä lienevät materiaaliset tuotteet ja palvelut. Materiaaliset tuotteet voidaan jakaa esim. erilaisiin aineisiin, tarvikkeisiin, komponentteihin ja laajempiin järjestelmiin.

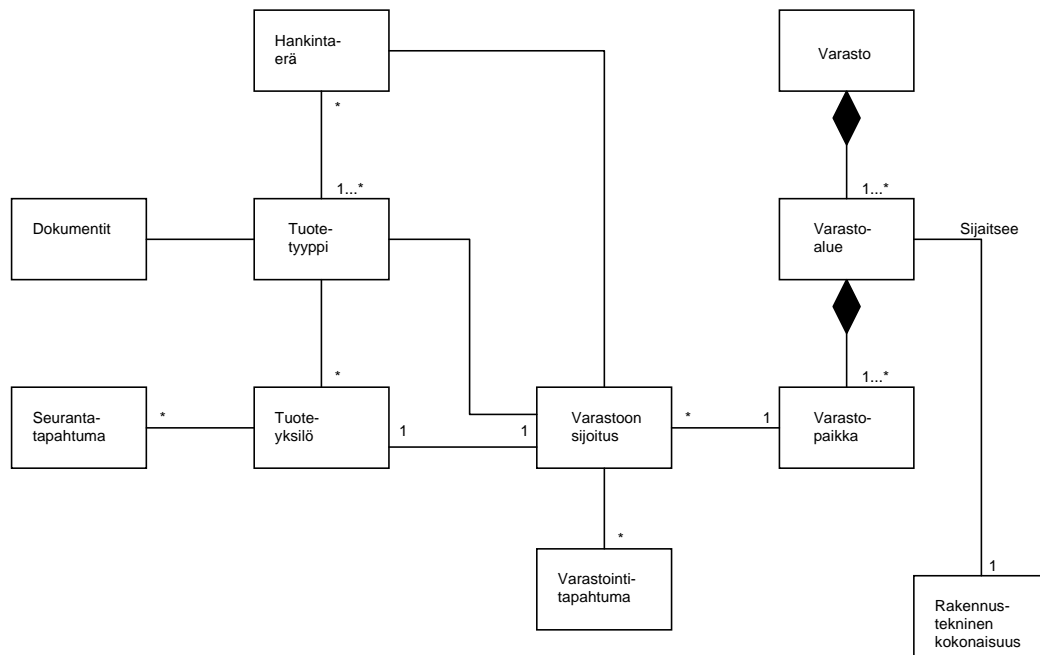
Toimittajista ylläpidetään perustietoja (osoitteet, pankkiyhteydet jne.) sekä 'tarjontatietoja' jotka määrittelevät, mitä tuotetyyppejä kullakin toimittajalla on tarjolla ja esim. mihin hintaan. Näihin voi liittyä erilaisia kuvauksia ja dokumentteja, esim. toimittajan Y pumpputyypin X huolto-ohjeet. Sekä toimittajat että niiden tarjoamat tuotteet voidaan luokitella laadun mukaan. Esim. tietyn toimittajan palveluita tai tiettyjä tuotteita voidaan käyttää tietyn kriittisyysluokan kohteissa. Laatutietoihin voi liittyä sisältyä tietoja myös esim. tuotteen tyyppihyväksynnästä tai toimittajan laatujärjestelmän auditoinneista.



Kuva 45. Hankinnat ja toimittajat.

Kuvaan 46 on hahmoteltu varastojen hallintaan liittyviä olioluokkia. Laitoksella on useita varastoja, jotka voivat jakautua alueisiin. Jotkut alueet voivat olla esim. lastausta varten, muut varsinaiseen tavaran säilytykseen tarkoitettuja. Alueella voi olla ominaisuuksia ja rajoitettuja käyttötarkoituksia. Alueeseen sisältyy erityyppisiä varastopaikkoja.

Materiaaleja hankitaan erinä (joissa ehkä voi olla yksikin komponentti), jotka sijoitetaan yhteen tai useampaan *varastopaikkaan*, mahdollisesti eri *varastoihin* (varastoonsijoitukset ja tuotemäärät). Varastointitapahtumat tallennetaan. Kuhunkin tuotetyyppiin liittyy joukko dokumentteja, esim. materiaalitiedot, tekniset tiedot, tyyppihyväksynät sekä toimittajan laatimat käyttö- ja kunnossapito-ohjeet (samoja on myös toimittajakohtaisina tietoina, näitä käytetään myös suunnittelussa). Joitakin tuotteita (esim. kallis pumppu tai polttoainenippu) seurataan yksilöinä (yksilöseuranta), jolloin on tarve tallentaa siihen liittyvät tapahtumat. Näin tiedetään, milloin tuote on otettu käyttöön, millaisissa olosuhteissa sitä on käytetty (esim. kontaminaatio), milloin se on kunnostettu ja sijoitettu uudelleen varastoon jne. Yksilöön liittyy myös tilatieto (varastossa, käytössä, huollossa jne.) sekä käytön osalta tieto siitä, mihin tekniseen järjestelmään se on asennettu.



Kuva 46. Varastointiin liittyviä olioluokkia.

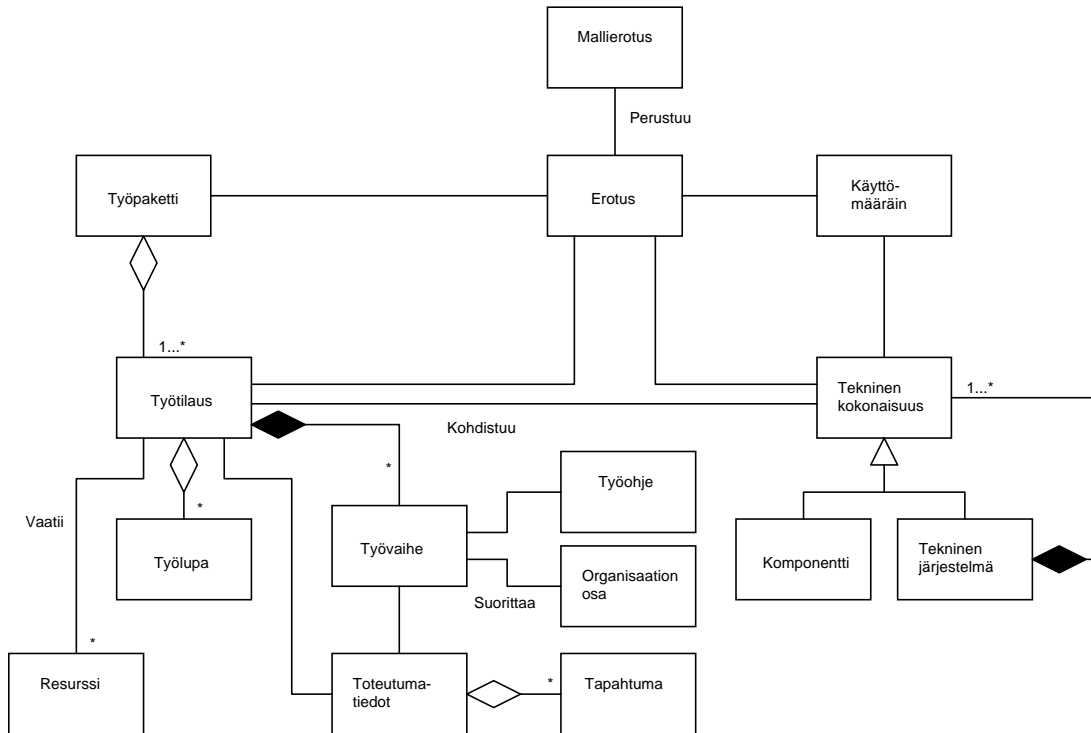
Tietotekniikan erityisvaatimuksia ovat esim:

- 'Toimittajarekisterissä' on ylläpidettävä tietoja laitetoimittajien ja palveluntarjoajien pätevyydestä ('nuclear grade supplier'), viimeksi suoritetuista auditoinneista jne. Laitostöiden suunnittelua ja toteutusta varten tarvitaan tietoja myös toimittajan palveluksessa olevista henkilöistä.
- materiaalierien seuranta ja jäljitettävyys, erityisesti polttoaine-erien ja yksittäisten polttoaineriippujen seuranta
- komponenttien yksilöseuranta (varastossa, käytössä, huollossa, mahdollinen kontaminaatio, jne.).

#### 6.4.7 Laitostöiden toteutus

Konkreettiset fyysiseen laitokseen kohdistuvat huolto-, korjaus-, muutos- ym. työt (ei käyttötoimenpiteet) toteutetaan eri lähteistä peräisin olevien *työtilausten* perusteella (kuva 47). Ensin töiden suoritus suunnitellaan (resurssit, aikataulu, ryhmittely), jolloin voi syntyä *työpaketteja*. Työt tai työpaketit voivat edellyttää, että prosessin hallinnan

puolella tehdään tarvittavat valmistelut, lähinnä alasajot ja *erotukset*. Työt ja erotukset voivat perustua ennalta määriteltyihin malleihin, tai ne voidaan suunnitella tapauskohtaisesti, jolloin ne on myös tarkistettava ja hyväksyttävä.



Kuva 47. Laitostöiden toteutus.

Työnkulku voi olla esim. seuraava:

- Käyttö havaitsee laitevian ja tekee vikailmoituksen.
- Kunnossapito perustaa työtilauksen ja suunnittelee tehtävät.
- Eri asiantuntijat liittävät tilaukseen tarvittavat työluvat.
- Käyttö tekee erotukset.
- Työtilaus on valmis suoritettavaksi ja se annetaan ('työmääräimenä') kunnossapitohenkilöille.
- Työtä suoritetaan ja mahdollisesti sen etenemisestä raportoidaan vaihe vaiheelta.
- Työ on valmis.
- Käyttö poistaa erotukset, asettaa järjestelmän perustilaan ja tekee toimintakokeet.
- Kunnossapito täydentää tiedot.
- Koko työ tarkistetaan, hyväksytään ja arkistoidaan.

Työtilauksella on siis tila, aluksi se on 'suunnitteilla', sitten 'suorituksessa', 'valmis', 'hyväksytty' jne. Työ voi myös keskeytyä ja peruuntua kokonaankin. Suorituksen aikana siihen liitetään tapahtumia ja niihin liittyviä tietoja (esim. testauspöytäkirjat ja mittaus-tiedot).

Työnkulku on monissa töissä ohjeistettu melkoisen yksityiskohtaisesti. Joihinkin töihin tarvitaan selkeä auktorisointi tai jopa lisensoitu pätevyys. Informaatiojärjestelmällä tällaisia kytkentöjä voidaan valvoa automatisoidusti, jos tähän liittyvät tiedot löytyvät tietojärjestelmästä tai tulevat syötetyiksi siihen luonnollisena osana työprosessia.

Tietotekniikkaan liittyviä vaatimuksia:

- ohjeiden haku ja liittäminen työtilauksiin sähköisessä muodossa
- mallitöiden ja -erotusten määrittely, tarkistus ja versionhallinta
- ohjeiden muokkaus ja tarkistaminen (TTKE-vaatimukset) tapauskohtaisesti
- kannettavat tiedonkeruulaitteet ja liittynät muihin järjestelmiin. Esim. rakennusauto-maatiojärjestelmästä voidaan saada tietoa siitä, missä henkilöt liikkuvat. Töiden tul-tua suoritetuiksi siitä voi siirtyä ilmoitus esim. seisokin aikataulua valvovaan toimis-toon.

#### **6.4.8 Tuotannon hallinta**

Hallinta sisältää tuotannosuunnittelun, käytön suunnittelun, polttoaineen käytön opti-moinnin sekä seisokkien suunnittelun. Ydinvoimalaitoksella tuotannon hallinta poikke-aa jonkin verran prosessiteollisuudesta, jossa erilaiset tuotantoerät asettavat suurempia vaatimuksia koordinoinnille. Toisaalta ydinvoimalan tuotannon hallintaa vaikeuttaa esim. erilaisten määräaikaistestien suorittaminen. Mahdolliset häiriöt voivat myös vaatia toimenpiteiden suunnittelua etukäteen, mikäli energiatuotanto jostain syystä päätetään keskeyttää. Tuotannon hallintaan voidaan myös laskea yhteydet verkon valvontaan (tehon asetusarvo tulee keskusvalvomosta).

Latausseisokkeihin liittyvä tärkeä tehtävä on latauksen suunnittelu, jossa otetaan huomi-oon turvallisuus ja polttoaine-elementtien palaman optimointi. Seisokkien suunnitteluun liittyy myös muutostöiden suunnittelu, jolla varmistetaan, että työt voidaan suorittaa va-ratussa ajassa pitämällä samanaikaisesti laitoksen turvallisuusteknilliset käyttöehdot voi-massa. Seisokkeihin liittyy erittäin paljon tehtäviä, joita suorittamassa on myös ulkopuo-lisia urakoitsijoita. Työt on suoritettava tehokkaasti, jotta tuotantokatko olisi mahdolli-

simman lyhyt. Käsiteltäviä papereita on paljon, ja kaikissa vaiheissa on otettava huomioon turvallisuusvaatimukset.

Tietotekniikan erityisvaatimuksia ydinvoimalaitoksella ovat esim.

- reaktorisydämen valvontaan ja lataussuunnitteluun tarvittavat laskentaohjelmistot
- seisokitöiden optimaalisessa suunnittelussa tarvitaan tehokkaita välineitä suurten työpakettien ja resurssien hallintaan
- laitoksen konfiguraation muutoksiin liittyvät riskit tulisi voida arvioida ennakolta esim. elävän PSA-mallin avulla. Lisäksi tietotekniikan tulisi tukea TTKE-vaatimusten tarkistamisessa.

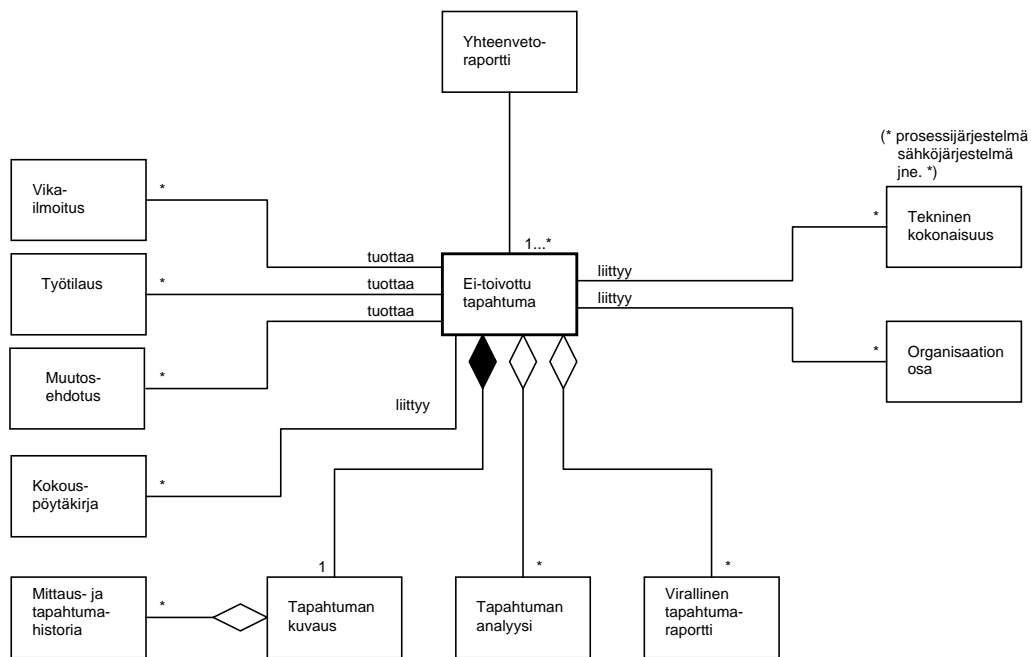
#### 6.4.9 Prosessin hallinta

Prosessin hallinnan järjestelmien tehtävänä on auttaa laitoksen henkilökuntaa erilaisten teknisten järjestelmien tilojen ja tilansiirtojen hallinnassa. Tähän liittyviä toimintoja ovat esim. tavoitetilojen ja tarvittavien toimenpiteiden määrittely, järjestelmien tilan mittaaminen, ohjaustoimenpiteiden suorittaminen, häiriötilanteiden hallinta sekä historiatietojen kerääminen. Tähän käytetään erilaisia automaatio- ja ohjausjärjestelmiä, jotka eivät varsinaisesti kuulu tämän raportin aihepiiriin. Varsinkin nykyisin niihin sisältyy monia toimintoja, jotka ovat enemmän informaation käsittelyä kuin suoranaista prosessin ohjausta. Tällaisia ovat esim. poikkeustilanteiden raportointi, operaattorin tukijärjestelmät sekä mittaus- ja tapahtumatietojen kokoaminen ja jalostaminen varsinaisten tietojärjestelmien käyttöön. Näistä esitetään seuraavassa joitakin huomioita.

Havaitut laiteviat ja muut ei-toivotut ilmiöt tulee voida raportoida heti ja helposti, aluksi ilman syvällisempää analysointia. Käsin kirjattavia havaintoja pitää voida täydentää esim. mittaus- ja hälytystiedoilla. Viittaukset laitoksen järjestelmiin ja organisaation osiin tulee voida tehdä helposti. Myöhemmin mukaan tulee voida liittää esim. analyysiraportteja. Lisäksi ei-toivottu tapahtuma on voitava linkittää sen perusteella syntyneisiin vikailmoituksiin, muutosehdotuksiin, työtilauksiin jne. Kertyneitä tapahtumia pitää voida hakea ja analysoida eri tavoin.

Kuvassa 48 esitetään ei-toivottujen tapahtumien käsittelyyn liittyviä olioita. Ei-toivottu tapahtuma on olio, johon voidaan tallentaa kaikenlaisiin haitallisiin tapahtumiin liittyvää tietoa. Aiheena voi olla esim. laitevaurio, havaittu piilevä vika, prosessihäiriö, TTKE-rikkomus tai tietojärjestelmän ohjelmistovirhe. Ongelman luonnetta ei siis välttämättä tiedetä etukäteen.

Uuden olion voi perustaa esim. käyttäjä, tai se voi syntyä automaattisesti esim. prosessi-  
häiriön perusteella. Alkuvaiheessa siihen kirjataan tapahtuman kuvaus sekä tarvittava  
raakatieto, esim. prosessimittausten ja tapahtumien historia. Tapahtuma kytketään myös  
laitoksen rakenteisiin, esim. teknisiin järjestelmiin ja niiden käyttötiloihin sekä organi-  
saation osiin.



Kuva 48. Ei-toivottujen tapahtumien käsittely.

Tapahtumaan voidaan liittää joukko erilaisia sisäiseen käyttöön tarkoitettuja analyysira-  
portteja ja virallisia tapahtumaraportteja (esim. pikasulkuraportti), joiden myötä tapahtu-  
ma luokitellaan erilaisin perustein. Nämä voivat sisältää erilaisia toimenpide-ehdotuk-  
sia. Tapahtuman perusteella voidaan sitten tuottaa vikailmoituksia, työtilauksia ja muu-  
tosehdotuksia, jotka käsitellään normaalijärjestyksessä. Kertyneistä tapahtumista voi-  
daan tuottaa määrävälein erilaisia yhteenvetoraportteja, joiden tarkoituksena on esim.  
seurata laitoksen suorituskyvyn kehittymistä ja paljastaa toistuvien tapahtumien taustalla  
olevia systemaattisia ongelmia.

Ydinvoimalan on tarkoitus toimia jatkuvassa tuotannossa, jolloin operaattorin tehtävät  
painottuvat teknisten järjestelmien tilan valvontaan automaation avulla. Tilan muutoksia  
tapahtuu melko harvoin tehonmuutosten, laitevikojen, määräaikaistestien ja seisokkien



yhteydessä. Turvallisuus on tärkeää, joten operaattoreille tarkoitetut tietotekniset apuvälineet ('tietojärjestelmät') painottuvat häiriötilanteiden havaitsemiseen, niiden syiden selvittämiseen sekä tarvittavien toimenpiteiden suunnitteluun ja suorittamiseen.

Lisääntyvän informaation hallinta, analysointi ja hyödyntäminen on tärkeää ydinvoimailan toiminnan optimoinnin kannalta. Automaatiojärjestelmien kehitys tarjoaa mahdollisuuden lisätä valvottavia kohteita merkittävästi. Tämä mahdollistaa laajemman mittausaineiston keräämisen kentältä. Signaalit palvelevat erityisesti kunnossapitoa tarjoamalla mahdollisuuksia kattavaan kunnonvalvontaan. Anturointia voidaan lisätä myös rakennusautomaation puolella, jolloin tilojen valvonta helpottuu.

Kaikkien signaalien analysointia ei voida toteuttaa tarkoin määriteltyjen valvonta-algoritmien avulla, mutta nykyään löytyy paljon myös heuristisia menetelmiä, jotka ilman tarkempaa mallinnusta voivat etsiä suurista tietomääristä yhtäläisyyksiä ja poikkeamia. Näihin menetelmiin kuuluvat mm. neuraalilaskenta, data mining ja sensorifuusio. Tällaiset taustalla toimivat sovellukset voivat muodostaa suojauskeinon hitaasti etenevien trendien varalta.

Prosessin hallintaan liittyy seuraavia tietotekniikkavaatimuksia:

- Prosessin hallinta tulisi jäsentää järjestelmien hierarkkisen rakenteen mukaan siten, että syntyy selkeitä 'älykkäitä' prosessi- ym. järjestelmiä, jotka hallitsevat käyttötilansa ja tarjoavat erilaisia palveluita.
- Prosessin hallintaan on sisällytettävä teknisten järjestelmien ja komponenttien kunnonvalvonta. Kunkin järjestelmän tai komponentin tulee voida ilmaista sovitulla kvalitatiivisella tasolla oma toimintakykynsä.
- Poikkeustilanteiden hallinta, esim. alkavan häiriön tunnistaminen (esim. Safety Parameter Display System, SPDS), ja tehostettu tiedonkeruu sekä mahdollinen automaation ei-toivotun tapahtuman raportointi.
- Tietokonetuetut käyttöohjeet ja hätätilanneohjeet (viranomaisen kiinnostunut, vaatimukset).
- Elektroninen käyttöpäiväkirja voisi korvata monet valvomossa käytetyt paperilaput ja päiväkirjat.
- Teknisten järjestelmien testaus tulisi voida hoitaa osittain automaattisesti. Syntyvät testausraportit tulee voida täydentää käsin ja arkistoida, kuten muutkin laitoksen dokumentit.

- Prosessilaskenta (käyttötalous, reaktiivisuus, palama jne.)
- Valvomossa tulisi voida osoittaa tiettyyn järjestelmään liittyvät, tulossa tai menossa olevat tai hiljattain päättyneet työt. Ensinnäkin tulee voida nähdä, että tällaisia on ja toiseksi pitää voida saada niistä lisätietoa.
- Samantyyppinen tilanne on tulossa olevien ja hiljattain käyttöön otettujen *laitosmuutosten* suhteen (esim. pitkän vapaan jälkeen). Merkittävässä muutoksissa annetaan koulutusta, mutta varsinkin pienten osalta on varmistettava muuten, että kaikki ovat niistä tietoisia. Voidaan esim. vaatia, että tietyt henkilöt kuittaavat sähköisesti tiedot luetuiksi.
- Tähän liittyy myös tarve osoittaa tehdyt muutokset erilaisissa dokumenteissa (sähköiset 'punakynäversiot' nähtävillä muutoksen jälkeen). Koska muutoksen toteutuksen yhteydessä liikkeellä saattaa olla sekä suunnitelmia että todellista tilannetta vastaavia dokumentteja, nämä on voitava erottaa toisistaan (esim. tieto voimassaolosta).
- Hajautetuissa, prosessin lähellä olevissa järjestelmissä tulisi varmistaa, että tietojen aikaleimat ovat oikeat, koska tapahtumien jälkiselvitys saattaa muuten oli hankalaa.
- Erilaiset palotilanteet muodostavat merkittävän uhan laitoksen turvallisuudelle, varsinkin seisokkien aikana. Esim. palohälytyksen tullessa pitää saada selville, mitä järjestelmiä ko. huoneessa on, jotta voidaan ennakoida vaikutuksia. Paloturvallisuusjärjestelmien tehtävät on kytkettävä kiinteistöhallintajärjestelmän eri toimintoihin, joiltakin osin myös prosessiautomaatioon. Paloilmainten ja sammutusjärjestelmien toiminnan luotettavuus on tärkeä osa laitosten paloturvallisuutta.

#### 6.4.10 Käyttöliittymistä

Tietojärjestelmien kyky palvella suunniteltua tarkoitustaan riippuu myös koneiden ja ihmisten rajapinnasta, käyttöliittymästä. Sitä lienee syytä tarkastella laajemmin kuin mitä yleensä ymmärretään esim. ydinvoimalan valvomolla. Käyttöliittymiin liittyviä asioita ovat esim. organisaation rakenne ja työnjako, ihmisten tehtävät ja tietotekniikan rooli niiden suorittamisessa sekä käyttöliittymän toteutuksen ergonomia, johon kuuluvat fyysinen työympäristö, valvomolaitteet sekä informaation esitystavat. Kehittyvä tekniikka (esim. virtuaalitodellisuus, kannettavat laitteet ja tietoverkot) muuttaa käyttöliittymien olemusta.

Käyttöliittymien suunnitteluun on olemassa erilaisia ohjeita, joiden avulla voidaan varmistaa, että käyttäjäystävällisyyden perustaso saavutetaan. Tärkeää on, että käyttöliitty-

mät vastaavat käyttäjiensä tarpeita ja ovat tehokkaita. Suunnittelussa pitää myös ottaa huomioon, kuinka usein määrättyä toimintaa käytetään. Satunnaisesti tarvittavat toiminnot vaativat enemmän opastusta kuin jatkuvasti käytettävät. Mikäli käytetään eri toimittajien tuotteita, olisi tärkeää pyrkiä yhdenmukaistamaan käyttöliittymät niin, ettei esiinny montaa erilaista tapaa esittää informaatiota. Nykyisissä monitasoisissa arkkitehtuurissa voidaan erottaa käyttöliittymä sovelluslogiikasta ja tietovarastoista (esim. selainkäyttöliittymät), mikä helpottaa ns. tehtäväorientoituneiden käyttöliittymien toteutusta ilman perusjärjestelmien muutoksia.

Käyttäjystävällisyydelle voidaan asettaa monta yleistä vaatimusta, kuten

- virheoperointien estäminen esim. järkevyystarkistuksilla
- toimenpiteiden vaikutuksen kokeilu ennen suoritusta esim. simuloimalla
- mahdollisuus palauttaa järjestelmän tilanne pienten lipsahdusten jälkeen
- takaisinkytkentä toimenpiteistä sekä järjestelmän tilasta.

Vaikka automaatioastetta nostetaan ja kentältä tulee enemmän signaaleja, ydinvoimalan valvomon toiminnot toteutunevat tulevaisuudessakin suunnilleen nykyisen kaltaisina. Ohjaukonseptit tuskin muuttuvat olennaisesti, vaikka siirrytään täysin tietokoneistettuun valvomoon. Työpisteitä tulee lisää, jolloin kannattaa pohtia, mitkä toiminnot tarvitsevat 24 tunnin miehitystä, missä tullaan toimeen 7 tunnin miehityksellä ja mitkä olisivat vain tarvittaessa miehitettyjä valvomoita. Joihinkin tehtäviin voidaan ajatella etätyöskentelyä, esim. hälytysten reititystä, diagnostisointia ja vikojen korjausta tietoverkon kautta. Tämä edellyttää sitä, että eri puolilla tietojärjestelmää on uskottavat tunkeutumisuojaajat.

Seisokitöiden koordinointi ansaitsee oman tilansa, koska seisokkityöt häiritsevät melkoisesti valvomotyöskentelyä. Tilan pitää sijaita päävalvomon läheisyydessä, mutta sen pitäisi tarjota kontakti myös siihen väkeen, joka liikkuu muualla laitoksessa. Joillakin laitoksilla tällainen 'työlupakonttori' onkin. Sitä voitaisiin käyttää seisokkien ulkopuolella esim. seuraaviin tarkoituksiin:

- instrumentoinnin ylläpito ja kehittäminen
- prosessin analysointi ja kehittäminen
- PSA:n ylläpito ja kehittäminen
- laitosdokumentaation ylläpito ja kehittäminen
- tietojärjestelmien ylläpito ja kehittäminen.

## 6.5 Toteutusteknisiä näkökohtia

Seuraavassa esitetään joitakin arvioita siitä, miten edellä esitettyjä vaatimuksia voitaisiin lähteä toteuttamaan. Tähän liittyviä seikkoja ovat mm. sovelluskohteiden valinta, investointien ajoitus, toteutusarkkitehtuuri, hankkeiden organisointi sekä ydinvoimalle tyypilliset reunaehdot.

Systeemisuunnittelussa joudutaan aina tekemään kompromisseja. Jokaisen toiminnon kohdalla pitää miettiä, mitä se maksaa ja minkälaista hyötyä se tuo. Painoarvoon vaikuttavat mm. palvelun merkitys liiketoimintaprosesseille ja se, miten kaukana nykyinen tilanne on optimista. Eräät investoinnit tosin ovat syystä tai toisesta 'pakollisia'. Kustannuksia ja hyötyjä arvioitaessa pitää katsoa järjestelmän koko elinikää, johon on mahdollisesti sisällytettävä sen siirtäminen toiseen laitteisto- ja ohjelmistoympäristöön. Kustannuksia arvioitaessa on otettava huomioon myös se seikka, että erikoisratkaisut maksavat. Tämä koskee erityisesti elinikäkustannuksia, koska erikoisratkaisut ovat yleensä vaikeammin ylläpidettävissä ja aikanaan korvattavissa.

Eräät toteutustekniset kysymykset nousevat siitä, milloin projektin tulosten halutaan olevan käytettävissä. Mikäli ratkaisuja voidaan siirtää tulevaisuuteen, saadaan modernimpi järjestelmä, mutta silloin myös hyödyt siirtyvät kauemmas. Riittävä tekninen osaaminen on säilytettävä, jotta projektin toteutuessa osataan ottaa kantaa tärkeisiin kysymyksiin. Samalla on koko ajan arvioitava uuden tekniikan mahdollisuuksia ratkaista toiminnassa esiintyviä ongelmia.

Informaatiotekniikan nopea kehitys on ongelma, kun halutaan esittää arvailuja toteutusarkkitehtuureista. Laajan laitoksen toimintaprosessien hallinta vaatii tietoteknisten sovellusten hyvää integraatiota. Se on usein myös edellytys taloudellisten hyötyjen syntymiselle. Tässä on periaatteessa kaksi lähestymistapaa, joko hankkia mahdollisimman laaja kokonaisjärjestelmä yhdeltä toimittajalta tai käyttää useita toimittajia ja toimia itse integraattorina, mahdollisesti konsultin avustamana. Ydinvoimaloilla on tiettyjä erityisvaatimuksia ja erikoistoimintoja, joten puhtaaseen yhden toimittajan järjestelmään ei voida mennä. Kaupallisten pakettien liitettävyyden on kyllä kehityksessä, mutta niitä käytettäessä on oltava valmis luopumaan omista, vähemmän olennaisista vaatimuksista. Koottaessa tietojärjestelmiä erillisistä tuotteista on mahdollista käyttää kulloinkin parhaita (best of breed) komponentteja. Järjestelmien avoimuus ja standardit tekevät tämän mahdolliseksi, mutta riskit ja oman työn osuus ovat suuremmat. Ydinvoiman tuotanto on alana suhteellisen vakaa, joten tietotekniikassakin voidaan olla melko varovaisia uusimpien tekniikoiden soveltamisen suhteen.

Vaikka omasta organisaatiosta usein nousee esiin ainutlaatuisia vaatimuksia ja houkutus räätälöintiin on suuri, kannattaa tietojärjestelmä rakentaa mahdollisimman pitkälle standardikomponenteista, koska tällä tavalla taataan mm.

- riittävät käyttökokemukset
- alhaisempi hinta
- osaavat järjestelmän soveltajat
- pienemmät siirtokustannukset ympäristöstä toiseen sekä
- parempi käyttökoulutustuki.

Sen lisäksi, että käytetään standardikomponentteja, kannattaa monimutkaisuutta ja kustannuksia pyrkiä pienentämään rajoittamalla erityyppisten komponenttien määrää. Tämä tarkoittaa mm. sitä, että standardoidaan laitoksella käytettävät laitteet, käyttöjärjestelmät, tietokannat ja varusohjelmistot sekä toimisto-ohjelmistot. Jotta näin voitaisiin menetellä, on tietotekniikkastrategian linjauksissa ja toteutusprojekteissa harrastettava tietynlaista 'keskusjohtoisuutta'. Tietyt tärkeät ja moneen asiaan vaikuttavat ratkaisut on jätettävä suppeahkon ja pätevän tiimin tehtäväksi.

Projekti voidaan toteuttaa eri tavoilla jakamalla työtä toimittajien ja asiakkaan välillä. Mahdollisesti voidaan olla mukana myös toimittajan tuotekehityksessä. Koska monista rajapinnoista aiheutuu usein hankaluuksia, on hyvä pyrkiä minimoimaan toimittajien lukumäärää. Yleensä on edullista tehdä suhteellisen paljon itse, koska silloin laitoksen erityispiirteitä ei tarvitse opettaa toimittajalle. Nykyisin voimalaitoksilla onkin melko paljon osaamista, kun järjestelmiä on kehitetty itse. Iso projekti antaa myös mahdollisuuden päivittää omaa osaamista. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että kaikki pitäisi tehdä itse, vaan on löydettävä optimaalinen tapa nojata olemassa oleviin konsepteihin. Tämä tapahtuu usein siten, että määrittelyistä siirretään ainoastaan se osa toteutettavaksi, joka on helppo toteuttaa valitulla järjestelmällä.

Kiinteää yhteistyötä on tehtävä myös tulevien käyttäjien kanssa, jotka ovat oman työnsä asiantuntijoita. Tässä on usein se ongelma, ettei käyttäjiä vielä ole tai että heitä on vaikea irrottaa normaalista työstään. Lisäksi on osattava valita sopivat, yhteistyökykyiset henkilöt. Tunnettuja ongelmia ovat myös ihmisille tyypillinen takertuminen nykyisiin, tuttuihin toimintatapoihin ja ratkaisuihin sekä käyttäjien rajalliset tiedot tietotekniikan tarjoamista mahdollisuuksista. Osittain näitä voidaan vähentää koulutuksella ja vierailemalla muilla esim. ydinvoimaloilla tai muualla prosessiteollisuudessa. Lisäedellytys käyttäjien tehokkaalle osallistumiselle on, että suunnittelijoilla ja käyttäjillä on yhteiset välineet esim. toimintaprosessien, vaatimusten ja tietojärjestelmien toimintojen kuvaamiseen. Prototyypit ja kaupallisilla tuotteilla tehtävät kokeilut (skenaariot kriittisistä toiminnoista) ovat keino sekä käyttäjien mukaansaamiseen että toimittajien tuotteiden arviointiin.

Ydinvoimateollisuuden turvallisuusvaatimuksista johtuva erityisongelma on pystyä tiettyjen sovellusten osalta osoittamaan viranomaisille, että ratkaisut ovat riittävän hyviä.

Tietotekniikka ei sinänsä nouse esille viranomaisvaatimuksissa, mutta epäsuorasti se vaikuttaa moneen asiaan. Tällaisia liitännäispintoja ovat mm.

- automaatio
- laatujärjestelmä
- käyttöohjeet ja
- dokumentaatio.

Kaikkien näiden kohdalla argumentti viranomaisen suuntaan voisi olla se, että tietotekniikka helpottaa turvallisuusvaatimusten täyttämistä. Toisaalta myös liian painavat argumentit tähän suuntaan voivat lisätä viranomaisen kiinnostusta tietojärjestelmiä kohtaan yleisemminkin.

Turvallisuusnäkökohdat asettavat erityisvaatimuksia sekä käytettäville menetelmille ja työkaluille että projektiin osallistuville organisaatioille ja suunnittelijoille. Laadun osoittamisen vaatimus saattaa jopa tapauksessa johtaa siihen, että otetaan käyttöön vanhempi ja kalliimpi ratkaisu kehittyneemmän tekniikan sijaan.

Turvallisuusnäkökohtien vuoksi kriittiset osajärjestelmät on pidettävä selkeästi erillään esim. toimistosovelluksista ja Internetistä. Täysin luotettavaa ratkaisua verkkojen yhdistämiseksi ei välttämättä löydy. Tästä seuraa, että esim. prosessitietoja on siirrettävä manuaalisesti taltioiden avulla ja että esim. kunnossapidon tietoja ei välttämättä voida yhdistää valvomon prosessikaavionäyttöihin. Tietoja on voitava myös säilyttää pitkiä aikoja, joten on syytä pitäytyä standardoiduissa ja tuetuissa tallennusmuodoissa (esim. ASCII tai tulevaisuudessa XML).

Tietojärjestelmien kehittäminen olemassa olevalle laitokselle poikkeaa uuden laitoksen suunnittelusta, rakentamisesta ja käytöstä. Toimivan laitoksen tietojärjestelmien modernisointiprojektin laajuus ja toteutustapa riippuu mm.

- laitoksen suunnittelusta käyttöiästä eli siitä, paljonko kannattaa investoida jonkin tuotanto-osuuden varmistamiseksi. Yleensä investointi käyttöajan pidentämiseen on kannattava.
- siitä, missä määrin toimittajat ovat kiinnostuneet asiasta. Ellei toimittajaa löydy, ei tule projektia. Jos tarjolla on ainoastaan yksi toimittaja, on hinta todennäköisesti varsin korkea.

Olemassa olevan laitoksen tietotekniikan uudistamisessa voidaan soveltaa erilaisia strategioita. Kerralla voidaan tehdä suuria muutoksia (revolutionary approach) tai edetä pie-

nin askelin (evolutionary approach). Yleensä ainoa käytännössä mahdollinen ratkaisu ovat pienet kehitysaskleet, koska lyhyet seisokit eivät riitä laajojen muutosten läpivientiin<sup>5</sup>. Esim. automaatiojärjestelmän uusiminen voi vaatia 4–5 kehitysaskelta. Suuri muutos olisi hankala myös henkilöstön koulutuksen kannalta. Vaikka muutokset tapahtuvat vähitellen, on oltava olemassa pitkän tähtäimen kehittämissuunnitelma, jotta kukin muutos vie asioita oikeaan suuntaan (IAEA 1998).

Operatiivisten tietojärjestelmien osalta vapausasteet ovat yleensä suuremmat kuin automaatioissa, koska ne eivät ole niin kriittisiä laitoksen ajon kannalta. Muutoksia voidaan tehdä myös tehoajon aikana. Uuden laitosesikön ollessa kyseessä ei kuitenkaan välttämättä voida lähteä 'puhtaalta pöydältä', koska useissa tapauksissa uusi yksikkö rakennetaan olemassa olevien yhteyteen ja monet tietojärjestelmät ovat niille yhteisiä. Uuden yksikön lisääminen voi tosin tarjota hyvän tilaisuuden koko voimalan tietotekniikan uudistamiseen. Kaikissa tapauksissa on kuitenkin tultava toimeen erilaisten ja eri-ikäisten sovellusten kanssa.

Uuden laitosesikön rakentamisprojektissa voidaan toteuttaa paljon asioita, joita modernisoinneissa on vaikeata viedä läpi. Päätöksenteon kannalta tärkeimpiä kriteerejä kuitenkin lienevät laitoksen rakentamisaikataulu ja tavoiteltu käyttökerroin. Rakentamisaikataulun lyhentäminen tai varmistautuminen siitä, ettei ylityksiä tule, on ensisijaisen tärkeätä, ja tähän voidaan käyttää tietotekniikkaa. Myös lisensointiprosessin ennustettavuus on olennainen seikka. Korkean käyttökertoimen varmistaminen edellyttää mm. sitä, että rakennuksia ja prosessia optimoidaan ei yksinomaan käyttöä vaan myös revisiota ajatellen. Laitoksen automaatioasteen pitää olla korkea, jotta sitä voidaan hoitaa minimihenkilöstöllä. Kaikki nämä asiat yhdistettyinä teknologisiin mahdollisuuksiin johtavat siihen, että rakennetaan koko laitoksesta pitkälle viety tietotekninen malli, jota käytetään konstruktion eri osien optimoimiseen. Tämä malli on myös osa toimitusta, ja se siirtyy käyttöönoton jälkeen palvelemaan käyttöä ja kunnossapitoa.

Suhteellisen varmasti voidaan sanoa, että yksittäinen yritys ei voi rakentaa eikä ostaa ydinvoimalaa, vaan molemmilla puolilla tarvitaan konsortioita. Sekä ostaja- että myyjäpuolella on siis odotettavissa integraattoreita ja suurempien osakokonaisuuksien toimitajia. Nämä kaikki tarvitsevat erittäin paljon tietotekniikkaa koko hankkeen hallitsemiseksi, ja erityisongelma onkin eri osapuolten suunnittelujärjestelmien yhteensovittamisessa. Kaikki tietotekniset ratkaisut olisivat olemassa, vaan myös tietotekniikkatoimitus on oma iso projektinsa kokonaisuudessa. Tietoteknistien komponenttien osalta etsitään maailmasta parhaita, joten taas tullaan siihen, että joku toimii integraattorin roolissa. Tietotekniikka on myös saatava käyttöön heti projektityön käynnistyessä, ja sen pitää

---

<sup>5</sup> Joskus muutoksia toteutetaan nimenomaan laitoksen käydessä, koska se on vakaampi tila kuin seisokki.

olla toimivaa, ettei koko ajan tarvitse ratkaista tietoteknisiä ongelmia varsinaisten suunnitteluongelmien sijaan.

Laitoksen tuleva käyttäjä integroidaan rakentamisprojektiin mahdollisimman kiinteästi. Tällä tavalla saadaan laitostietämystä siirretyksi luontevasti käyttäjille silloin, kun rakentamisorganisaatiosta pitää projektin jälkeen karsia mahdollisimman paljon henkilöitä.

Koko rakentamisprojekti sisältää erilaisia osia, joilla kaikilla on omat tietotarpeensa. Suunnitteluprosessille on ominaista iterointi. Keskeiset asiat pyritään kuitenkin kiinnittämään mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta olisi jotakin, jonka päälle voi rakentaa. Iterointia ei kuitenkaan voida välttää, ja mm. eräs ydinvoimaloiden toimittaja on sanonut tarvitsevänsä ainakin neljä suurta iterointikierrosta keskeisten asioiden suunnitteluksi. Suunnitteluprosessin rinnalla toimii lisensiointi, joka voi edetä pitkälle omalla projektinaan, ellei matkan varrella tule yllätyksiä. Rakennukset ja suurten komponenttien hankinta ja asennus muodostavat omat prosessinsa. Ongelmana on kaikkien liitännöiden hallinta siten, että mitään ei unohdu ja kaikki tulee hoidetuksi ajallaan.



## 7. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Raportissa on käyty läpi ydinvoimalan toimintaprosesseja ja pyritty tunnistamaan tietojärjestelmille asetettavia vaatimuksia sekä hahmottelemaan tietotekniikan toiminnallista rakennetta. Lisäksi on käsitelty joitakin tietotekniikan sovelluksia prosessiteollisuudessa sekä esitelty tekniikan uusia virtauksia.

Projektia aloitettaessa yhtenä kohteena mainittiin uudet voimalaitokset, mutta työn aikana rinnalle nousi yhtä tärkeänä vanhojen laitosten modernisointi. Näiden elinikää pyritään jatkamaan ja toimintaa tehostamaan, joten tarpeita uudelle tietotekniikalle löytyy jatkossakin. Esim. automaation uusiminen on ajankohtainen monilla laitoksilla, ja se heijastuu myös muuhun tietotekniikkaan. Ikääntymisen ohella eräs motiivi investoida tietojärjestelmiin vanhoilla laitoksilla on vapautuneiden sähkömarkkinoiden tuoma tarve säästää kustannuksia.

Olemassa olevan ja uuden laitoksen tietojärjestelmät eroavat toisistaan merkittävästi. Vanhaa tietotekniikkaa on vaikea uusida kerralla, koska laitoksen on oltava tuotannossa lähes jatkuvasti. Tietojärjestelmien uusintaa pitää lähestyä kokonaisuutena ottaen huomioon laitoksen vielä jäljellä oleva elinikä. Erityisesti pitäisi pyrkiä luomaan uusinnan kokonaisstrategia, joka voidaan toteuttaa sopivina osina usean vuoden aikana.

Mikäli suunnitellaan tietojärjestelmää uuteen laitokseen, ensimmäinen kysymys on, miten tietoteknisin keinoin voidaan tukea laitoksen suunnitteluprojektia. Tässä korostuu lukuisten toimittajien yhteistyö ja tiedonvaihto. Uusia tietoteknisiä sovelluksia tulee ennakoida ajoissa, jotta niitä voidaan rakentaa ja käyttää jo suunnitteluprojektin aikana. Lisäksi tulee varmistua siitä, että syntyvä dokumentaatio on siirrettävissä tulevan laitoksen tietojärjestelmiin.

Kummassakin tapauksessa tietojärjestelmän kehittämisessä on lähdettävä liikkeelle mahdollisimman kokonaisvaltaisesti. Kustannussäästöihin on vaikea päästä ilman, että myös toimintatapoja virtaviivaistetaan. Työprosessien tehokkuus onkin yksi selvitettävä asia. Hyödyistä suurimmat syntynevät tietojen ja toimintojen integroinnista. Yhtenäisten järjestelmien avulla voidaan työssä tarvittavat tiedot tarjota koko henkilökunnalle. Tietoihin voidaan luottaa, ja niitä myös käytetään niiden hyvän saatavuuden ansiosta. Samalla myös turvallisuus paranee. Tietojärjestelmien integroinnin ansiosta laitosta voidaan kehittää ja optimoida kokonaisuutena.

Osa integraatiosta perustuu siihen, että käsitteet ja tietorakenteet on pystytty kuvaamaan tarkasti ja kattavasti. Tämä on omiaan tukemaan eri toimintojen välisiä liitännöitä. Tietomallin rakentaminen laitoksesta, käyttöohjeista, työprosesseista ja dokumentaatiosta onkin jatkossa tärkeä askel tietojärjestelmän toteuttamisessa. Tietomalli antaa myös laitoksen henkilökunnalle yhtenäisemmän kuvan siitä, miten laitos on rakennettu ja miten sitä

käytetään. Uudella laitoksella tällainen tietomalli tarvitaan heti suunnittelun käynnistyessä. Se on välttämätön esim. tietojen vaihdossa eri toimittajien ja itse laitoksen suunnittelujärjestelmien välillä.

Tietoteknisten ratkaisujen kehittämisessä on pyrittävä huomattavasti suurempaan uudelleenkäyttöön kuin aikaisemmin on ollut mahdollista. Suurelta osin tämä tarkoittaa koeteltujen standardikomponenttien hyödyntämistä. Tulevaisuuden tietotekninen kokonaisuusjärjestelmä on kuitenkin heterogeeninen, ja sitä on toteuttamassa monta toimittajaa erityisesti, jos eri toimintoihin halutaan valita sopivin markkinoilla oleva tuote sen sijaan, että turvaudutaan yhteen kokonaistoimittajaan. Siksi sovellusten liitännäispintojen tulee olla avoimia. Ne ovat eduksi myös tulevaisuudessa, jos halutaan tuoda järjestelmään uusia toimintoja. Voimayhtiön on usein pakko kehittää konsepteja yhdessä toimittajan kanssa, koska niin saadaan riittävästi tietoa järjestelmästä, voidaan vaikuttaa sen ominaisuuksiin eikä jouduta maksamaan toimittajalle siitä, että hän perehtyy laitokseen.

Tietotekniikan nopea kehitys jatkunee edelleen, joten toteutustavat ja de facto-standardit ehtivät muuttua monta kertaa, ennen kuin nykyisten laitosten elinikä päättyy. Jatkuvia kehityskohteita ovat paitsi tietotekniikka, myös liiketoimintastrategiat, töiden organisointi, henkilöstön osaaminen, viranomaisvaatimukset jne. Etenemistapa riippuu mm. siitä, tilataanko uusi laitos vai ei. On kuitenkin kehityskohteita, joita voidaan käynnistää päätöksistä riippumatta ja jotka tukisivat valmiuksia ydinvoima-alueen sisällä sekä myös sen ulkopuolella. Tämä voisi tapahtua myös kansainvälisesti useiden käyttäjien ja toimittajien kesken. Näin ydinvoiman sinänsä suppeat markkinat tulisivat paremmin huomioon otetuiksi ja toimittajien kilpailu lisääntyisi, mikä mahdollistaisi myös alhaisemmat hinnat. Mahdollisia aiheita ovat esim.

- selkeä ja ydinvoima-alalle yhtenäinen käsitteistö ja tietomalli sekä näihin liittyvä yhteinen ydinvoimalan toimintaprosessien 'referenssimalli'
- laitoksen konfiguraation ja turvallisuusvaatimusten reaaliaikainen hallinta
- laitoksen dokumentaatiota tukeva tietotekniikkaan pohjautuva järjestelmä
- välineet epäformaalin tietämyksen kokoamiseksi ja hyödyntämiseksi
- ydinvoimateollisuuden tarkempien vaatimusten kokoaminen tietotekniikan osalta
- uusien automaattisten ja puoliautomaattisten toimintojen (älykkäät agentit, tietolouhint) toteuttaminen laajojen sähköisessä muodossa olevien tietomassojen analysointiin.

## Lähdeluettelo

- Aalto, H. 1997. Kunnossapitotekniikan perusteet. Rajamäki: Kunnossapitoyhdistys ry./KP-Tieto Oy. 96 s.
- Anonymous. 1995. Document Management Yearbook 1995. – Cimtech Limited. 246 s.
- Beech, D. et al. (eds.). 1999. XML Schema Part 1: Structures. W3C Working Draft 6 – May 1999. W3C. [viitattu 10.5.1999]. <http://www.w3.org/TR/xmlschema-1/>.
- Biron, P. V. & Malhotra A. (eds.). 1999. XML Schema. Part 2: Datatypes. W3C Working Draft. 6 May 1999. W3C. [viitattu 10.5.1999]. <http://www.w3.org/TR/xmlschema-2/>.
- Black, U. 1992. Network Management Standards. McGraw–Hill Inc. 336 s. ISBN 0-07-005554-8.
- Booch, G., Rumbaugh, J. & Jacobson, I. 1999. The Unified Modeling Language User Guide. Reading: Massachusetts, Addison Wesley Longman Inc. 482 s.
- Bray, T., Paoli, J. & Sperberg-McQueen, C. 1998. Extensible Markup Language (XML<sup>TM</sup>). W3C. [viitattu 10.5.1998]. <http://www.w3.org/TR/REC-xml>.
- Bryan, M. 1999. The need for a European XMI/EDI Pilot Project. Interchange. The newsletter of The International SGML/XML Users' Group. Vol. 5. Nr. 1, January, s. 15–21.
- CIMdata 1998. Product data management: The definition and introduction to concepts, benefits and terminology. [viitattu 16.12.1999]. <http://www.CIMdata.com/homepage/downloads/USTECH.pdf>.
- Cover, R. 1999a. SGML: General introduction and overviews. OASIS. [viitattu 10.5.1999]. <http://www.oasis-open.org/cover/general.html>.
- Cover, R. 1999b. Extensible Markup Language (XML). OASIS. [viitattu 10.5.1999]. <http://www.oasis-open.org/cover/xml.html>.
- Cover, R. 1999c. Extensible Stylesheet Language (XSL). OASIS. [viitattu 10.5.1999]. <http://www.oasis-open.org/cover/xsl.html>.
- Cover, R. 1999d. Extensible Linking Language (XLL). OASIS. [viitattu 20.5.1999]. <http://www.oasis-open.org/cover/xll.html>

- DMA 1996. The Document Management Alliance Whitepaper. DMA. [viitattu 19.5.1999]. <http://www.aiim.org/dma/accomplish/dmawhite.html>.
- 32 Document Management Avenue 1995. Glossary of Terms for the Electronic Document Systems Industry 1995 Edition. Glossary. [viitattu 19.5.1999]. <http://www.grp-home.demon.co.uk/glossary.htm>.
- DOE-STD-1073-93-Pt.1 1993. Guide for operational configuration management program, part 1. Washington: U.S. Department of Energy.
- Elmasri, R. & Navathe, S. B. 1994. Fundamentals of Database Systems. Second Edition. Redwood City, CA: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. ISBN 0-8053-1753-8.
- Elovainio, K. & Kunz, J. 1997. DOCSTEP – Technical Documentation Creation and Management using STEP. SGML Europe 97. [viitattu 19.5.1999]. <http://rpkh9.mach.uni-karlsruhe.de/Kunz/DOCSTEP/General/SGML97/elovai17.htm>.
- EN 50170 1996. General purpose field communication system.
- Fouhy, K. 1997. Spinning a paper trail. Chemical Engineering, December, s. 135–140.
- GAMP 1998. GAMP guide for validation of automated systems in pharmaceutical manufacture, version 3. Good Automated Manufacturing Practice (GAMP) Forum.
- Gilpin, M. 1999. Internet application integration. Application development trends, October, s. 41–46.
- Grasso, M., Gogia, B. & Nguyen, H. 1999. Application servers unmasked. Application development trends, October, s. 69–76.
- Halttunen, V. & Hokkanen, M. 1995. Tuotetiedon hallinta – Taustaa ja ratkaisuvaihtoehtoja. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 1631. 75 s.
- Harmo, P., Halme, A., Virekoski, P., Halinen, M. & Pitkänen, H. 1999. Etälä – Virtual Reality Assisted Telepresence System for Remote Maintenance. Helsinki: Automaatiopäivät 1999.
- Heikkinen, P. 1999. Foundation Fieldbus kenttäväylän ominaisuudet säädön kannalta. Automaatiöväylä 8/1999, s. 11–17.

Helander, T. 1998. XML:n käyttäminen sovellusten välisessä tiedonvaihdossa. [viitattu 26.5.1999]. [http://www.tcm.hut.fi/Studies/Tik-110.300/1998/Essays/xml\\_2.html](http://www.tcm.hut.fi/Studies/Tik-110.300/1998/Essays/xml_2.html).

Hollingworth, D. 1995. The workflow reference model. Workflow management Coalition. [viitattu 26.5.1999]. <http://www.aiim.org/wfmc/standards/docs/tc003v11.pdf>.

Hovi, A. 1996. SQL-opas. Espoo: Suomen Atk-kustannus Oy. ISBN 951-762-393-3.

Hovi, A. 1997. Data Warehousing – tietovarastotekniikka. Espoo: Suomen Atk-kustannus Oy. ISBN 951-762-509-X.

Hulsund, J.-E., Jung Y. & Nilsen S. 1999. Copma-III – Intelligent Handling of Existing Procedures. HWR-579. OECD Halden Reactor Project. 19 s.

IAEA 1998. Modernization of instrumentation and control in nuclear power plants. Vienna: International Atomic Energy Agency, IAEA-TECDOC-1016.

IEC 1999. SC 3B/JWG 15: (IEC/SC 3B - ISO/TC 10 JWG 15) - Management data (meta data) associated with documents. IEC. [viitattu 14.6.1999]. <http://www.iec.ch/tc3/txt/sc3b.htm>.

IEC 61131-3 1993. Programmable controllers – Part 3: Programming languages.

IEC 61158 2000. Digital data communications for measurement and control – Fieldbus for use in industrial control systems (Parts 2 to 6).

IEC 61499-1 1999. Function blocks for industrial-process measurement and control systems – Part 1: Architecture. Committee draft.

IEC 61508. Functional safety: Safety related systems – Osat 1–7, 1999–2000.

IEC 61511. Functional safety: Safety instrumented systems for the process industry sector – Osat 1–3, 1999.

IEC 61513 1999. Nuclear power plants – Instrumentation and control for systems important to safety – General requirements for systems. Committee draft.

IEC 61804-1 1999. Function blocks for process control – Part 1: General requirements. Committee draft.

ISA-S88.01 1995. Batch control – Part 1: Models and terminology. International Society for Measurement and Control (ISA).

- ISA-dS95.01 1999. Enterprise – control system integration – Part 1: Models and terminology. International Society for Measurement and Control (ISA), standardiluonnos.
- ISO 8613-1 1994. Information technology – Open Document Architecture (ODA) and interchange format: Introduction and general principles.
- ISO/IEC 9075 1999. Information processing systems – Database language SQL. International standard. Fourth edition. Ref. No. ISO/IEC 9075: 1999 (E).
- Järvi, J. 1999. Turvallisuuteen liittyvien järjestelmien kattostandardi ja sen soveltaminen. Automaatiopäivät 1999, Helsinki, 14.–16.8.1999, s. 88–93.
- Kaplan, Robert S. & Norton, David P. 1996. Translating strategy into action; the balanced scorecard. Boston, Mass: Harvard Business School Press.
- Karjalainen, A. & Salminen, A. 1999. Tallenteiden saartamana. Dokumenttien hallinta organisaatioissa. Tietoyhteys 3/1999, s. 28–29.
- Kuikka, S. 1999. A batch process management framework – Domain-specific, design pattern and software component-based approach. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Publications 398. 215 s.
- Laine, H., Veijalainen, J. & Wolski, A. 1990. Relaatiotietokannat – peruskäsitteet ja sanasto. Helsinki: Tietotekniikan kehittämiskeskus ry., Tutkimusraportti A:18. Helsinki: Suomen Atk-kustannus Oy. ISBN 951-762-148-5. 51 s.
- Lehtinen, E. 1995. A concept of safety indicator system for nuclear power plants. Espoo: Technical Research Centre of Finland, VTT Research Notes 1646. 26 s. + liitt. 106 s.
- Luoma, J., Muhonen, T. & Huomo, T. 1999. Uudistuva tietotekniikka-arkkitehtuuri. Helsinki: HM&V Research Oy: 296 s.
- Melton, J., Simon, A.R. 1993. Understanding the new SQL: A Complete Guide. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann Publishers, Inc. ISBN 1-55860-245-3.
- Mikkonen, M. & Soini, T. 1987. Yrityksen tietosuunnittelu. Espoo: Weilin+Göös. 334 s. + liitteet. ISBN 951-35-4170-3
- MIMOSA 1999. Technical Introduction and Overview. [viitattu 20.3.2000], <http://www.mimosa.org/techintr.htm>.

- Mäki, K. 1998. Etähuolto – mahdollisuudet nyt ja tulevaisuudessa. Kunnossapito 6/1998, s. 18–22.
- NIRMA TG19-1996. Configuration management of nuclear facilities. New York: Nuclear Information and Records Management Association (NIRMA). 12 s.
- NUREG/CR-5501 1988. Advanced instrumentation and maintenance technologies for nuclear power plants. Washington: U.S. Nuclear Regulatory Commission. 420 s. + liitt. 80 s.
- OAGI 1999. White paper. Plug and play business software integration, the compelling value of the Open Applications Group. [viitattu 6.9.1999], <http://www.openapplications.org/whtpaper.zip>.
- OPC 1998. OLE for Process Control – Data Access Custom Interface Standard. Version 2.0, October 14. 186 s.
- Open Information Interchange. 1999a. Document Interchange Standards. European Commission [viitattu 19.5.1999]. <http://www2.echo.lu/oii/en/docstand.html>.
- Open Information Interchange. 1999b Standards under development for Workflow Management and Collaborative Authoring. European Commission [viitattu 15.6.1999]. <http://guagua.echo.lu/oii/en/tracking.html>.
- Open Information Interchange. 1999c. OII Guide to Workflow Management and Collaborative Authoring. European Commission [viitattu 15.6.1999]. <http://guagua.echo.lu/oii/en/workflow.html>.
- Pfister, C. 1997. Component Software: A Case Study using BlackBox Components. Oberon Microsystems, [http://www.oberon.ch/docu/case\\_study/index.html](http://www.oberon.ch/docu/case_study/index.html).
- Pot, J., Thibault, G. & Levesque, P. 1997. Techniques for CAD reconstruction of ‘as-built’ environments and application to preparing of dismantling of plants. Nuclear Engineering and Design 178, s. 135–143.
- Rantanen, J., Sainio, A., Laiho, M. Renkonen, E. & Silpiö, K. 1989. Relaatiotietokannat. Valtion painatuskeskus, ISBN 951-861-197-1.
- Rao, B. R. 1994. Object-Oriented Databases: Technology, Applications and Products. McGraw–Hill Inc. ISBN 0-07-051279-5.

Reagan, P., Holtan, C. & Lorenz, K. 1997. EDMS. Components and Uses With Three Case Studies. [viitattu 8.12.1997].

[http://www.grp-home.demon.co.uk/articles/EDMS\\_Comp\\_Uses.htm](http://www.grp-home.demon.co.uk/articles/EDMS_Comp_Uses.htm).

Salminen, A. 2000. Document Management Research. Jyväskylän yliopisto. [viitattu 20.3.2000] <http://www.cs.jyu.fi/~airi/docman.html>.

Schenk, W., Jenter, J. & Hirschmann, R. 2000. Ethernet in der industriellen Automatisierung. *Automatisierungstechnische Praxis*, vol. 42(1), s. 23–28.

Simola, K. 1997. Muutostöiden hallinta. NKS/RAK-1.5-projektin tutkimusraportti TAU-7004/97. 13 s. + liitt. 19 s.

Simola, K. 1999. Reliability methods in nuclear power plant ageing management. Doctoral thesis. Espoo: VTT Publications 379. 38 s. + liitt. 96 s.

Stallings, W. 1993. *SNMP, SNMPv2 and CMIP: The Practical Guide to Network Management Standards*. Addison–Wesley Publ. Company. 625 s. ISBN 0-201-63331-0.

Stonebraker, M. 1996. *Object-Relational DBMSs – the Next Great Wave*. Morgan San Mateo, CA: Kaufmann Publishers, U.S.A. 1216 s. ISBN 1-55860-397-2.

STUK 1999. Ydinvoimalaitoksen toiminta. [viitattu 20.3.2000], <http://www.stuk.fi/ydinvoimalaitokset>.

STUK 2000. Ydinmateriaalien valvonta. [viitattu 20.3.2000], <http://www.stuk.fi/ydinmateriaalit>.

Szyperski, C. 1998. *Component software – Beyond object-oriented programming*. Harlow, England: Addison Wesley Longman Limited. 411 s.

Texcel 1999. *Texcel Information Manager*. Texcel. [viitattu 25.5.1999]. <http://www.texcel.no/im2pb.htm>.

Wahlström, B., Pedersen, T. & Neboyan, V. 1999. Progress in instrumentation and control including the man-machine interface. IAEA-SM-353-15. 11s.

Wahlström, B. (red.) 1999. *Säkerhetsindikatorer inom kärnkraftindustrin; definitioner, användning och erfarenheter*. NKS-3. ISBN 87-7893-051-0.



WfMC. 1999. Terminology & Glossary. Workflow Management Coalition. [viitattu 26.5.1999]. <http://www.aiim.org/wfmc/standards/docs/glossy3.pdf>.

Wilson, D. J. 1999. How to modernize your paper engineering drawing, a white paper. [viitattu 16.12.1999]. <http://www.pdmic.com/articles/wpdwilson.html>.

W3C 1997. Cascading Style Sheets. W3C. [viitattu 11.5.1999]. <http://www.w3.org/Style/CSS/>.

W3C DOM WG 1998. Document Object Model (DOM). W3C. [viitattu 10.5.1999]. <http://www.w3.org/DOM/>.

W3C RDF WG 1999. Resource Description Framework (RDF). W3C. [viitattu 17.5.1999]. <http://www.w3.org/RDF/>.

YVL 1.6 1995. Ydinvoimalaitoksen ohjaajien hyväksyminen. Säteilyturvakeskus, 9.10.1995, [viitattu 29.2.2000]. <http://www.stuk.fi/saannosto/YVL1-6.html>.

YVL 1.7 1992. Ydinvoimalaitoksen turvallisuuden kannalta tärkeät tehtävät, henkilökunnan pätevyys ja koulutus. Säteilyturvakeskus, 28.12.1992, [viitattu 29.2.2000]. <http://www.stuk.fi/saannosto/YVL1-7.html>.

## Liite A: LYHENTEET

API	Application Programming Interface
BWR	Boiling Water Reactor, kiehutusvesireaktori
DCS	Distributed Control System
CACSD	Computer Aided Control System Design
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CASE	Computer Aided Software Engineering
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
COTS	Commercial Off The Shelf
CSS	Cascaded Style Sheet
DOM	Document Object Model
EAI	Enterprise Application Integration
EJB	Enterprise Java Beans
EYT	Ei ydinteknisesti luokiteltu
EPRI	Electric Power Research Institute
ERP	Enterprise Resource Planning
FSAR	Final Safety Analysis Report
HAZOP	Hazard and Operability Study, poikkeamatarkastelu
HTML	HyperText Markup Language
IAEA	International Atomic Energy Agency
IDEF	Integration Definition for Function Modeling
IEC	International Electrotechnical Commission
INES	International Nuclear Event Scale
ISPE	International Society for Pharmaceutical Engineering
JDBC	Java Database Connectivity
LIMS	Laboratory Information Management System
MES	Manufacturing Execution System

NRC	Nuclear Regulatory Commission
OCR	Optical Character Recognition
ODBC	Open Database Connectivity
OLAP	On-Line Analytical Processing
OPC	OLE for Process Control
PDM	Product Data Management
PLC	Programmable Logic Controller
PSA	Probabilistic Safety Analysis
PWR	Pressurised Water Reactor, painevesireaktori
RDF	Resource Description Framework
RMI	Remote Method Invocation
SGML	Structured Generalized Markup Language
SNMP	Simple Network Management Protocol
SPDS	Safety Parameter Display System
SQL	Structured Query Language
STUK	Säteilyturvakeskus
TTKE	Turvallisuustekniset käyttöehdot
UML	Unified Modeling Language
VVA	Vika- vaikutusanalyysi
WANO	World Association of Nuclear Operators
WfMC	Workflow Management Coalition
XLL	Extensible Linking Language
XML	Extensible Markup Language

## Liite B: SANASTO

Seuraavaan on poimittu muutamien tässä julkaisussa esiintyvien termien määrittelyitä. Osa on poimittu Atomiteknillinen Seura ry:n laatimasta ydintekniikan sanastosta vuodelta 1988.

*Ei-toivottu tapahtuma:* Mikä tahansa raportoitava ongelma. Raportoinnin ja käsittelyn tarkkuus riippuu tapahtuman luokituksesta. Havaittu ongelma voi johtaa esim. vikailmoituksiin tai muutosehdotuksiin.

*Ennakkotarkastus:* Ennen turvallisuuden kannalta tärkeimpien järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden valmistuksen aloittamista viranomaisen tekemä tarkastus jossa selvitetään, ovatko suunnitelmat hyväksyttäviä ja toteuttamiskelpoisia.

*Jäännöslista:* Luettelo hyväksytyistä muutostehdotuksista ja aloittamattomista tai keskeytyneistä laitosmuutoksista.

*Käyttömääräin:* Käytön suunnittelun laatima toimeksianto ja ohje siitä, miten laitoksen tilaa tulee muuttaa, esim. redundanssien vaihto tai jonkin osajärjestelmän käynnistys.

*Käyttötapaukset:* Ei-toivottu tapahtuma, johon ei liity laitevikoja, esim. prosessihäiriö tai TTKE-rikkomus.

*Käyttötila:* Turvallisuusteknisissä käyttöehdoissa erikseen määritellyt ydinvoimalan normaalia toimintaa kuvaavat tilat. Tyypillisiä käyttötiloja ovat: tehokäyttö, käynnistystila, kuumavalmius, kuuma sammutustila, kylmä sammutustila ja polttoaineenvaihtotila.

*Laitosyksikkö:* Ydinvoimalan itsenäinen tuotantoyksikkö.

*Metatieto:* Niillä tarkoitetaan tässä yhteydessä erityisiä dokumentteihin liitettyjä kenttiä, joissa kuvataan dokumentin sisältöä, kuten dokumenttityyppi, kirjoittaja, avainsanat tms.

*Muutosehdote:* Havaittuun ongelmaan (esim. ei-toivotun tapahtuman yhteydessä), kehittymismahdollisuuteen tai viranomaisen vaatimukseen perustuva aloite ydinvoimalan jonkin järjestelmän, menettelytavan, dokumentin tms. muuttamisesta.

*Ohjaaja:* Päävalvomossa olevien laitosjärjestelmien ohjauslaitteiden käsittelyyn oikeutettu ja valvontaviranomaiselta luvan saanut henkilö, esim. vuoropäällikkö, reaktoriohjaaja tai turbiiniohjaaja.

*Pikasulkuraportti:* Reaktorin pikasulkutapahtumasta (=ei-toivottu tapahtuma) laadittava, viranomaisen edellyttämä selvitys.

*Säteilyvalvoja:* Ydinvoimalassa työskentelevä henkilö, jonka tehtävänä on mm. mitata laitoksen valvonta-alueella kontaminaatiotilannetta ja säteilyannosnopeuksia ja pitää kirjaa niistä sekä valvoa, että säteilysuojeluohjeita noudatetaan.

*Turvallisuusluokitus:* Turvallisuuden kannalta tärkeiden järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden ryhmittely niiden turvallisuusmerkityksen mukaan. Ydinvoimalan luokitusasiakirjassa käytetään luokkia 1, 2, 3 ja EYT (ei ydinteknisesti luokiteltu). Turvallisuusluokka määrää kohteen suunnittelun, valmistuksen ja käytön valvontatoimenpiteiden laajuuden.

*Turvallisuustekniset käyttöehdot (TTKE):* Valvontaviranomaisen hyväksymä asiakirja, jossa esitetään vaatimukset ydinvoimalan käyttöön liittyville, turvallisuuden kannalta tärkeille toiminnoille, turvallisuuden kannalta tärkeiden järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden käyttökuntauisuudelle ja määräaikaistestauksille sekä esitetään ne laitoksen käyttöön liittyvät toimenpiteet, joihin tulee ryhtyä, jos edellytettyä turvallisuustasoa ei täytetä.

*Työlupa:* Työtilaukseen liitetty asiantuntijan tarkastuslausunto.

*Työtilaus:* Kunnossapidolle tarkoitettu tietyn työn suorituspyyntö. Muuttuu työmääräimeksi tultuaan hyväksytyksi (esim. työluvut ovat mukana).

*Valvonta-alue:* Alue, jonne pääsyä valvotaan ja jossa työskentelystä annetaan ohjeet. Ydinvoimalaitoksella valvonta-alue käsittää yleensä ainakin reaktorirakennuksen apurakennuksineen. Valvonta-alueella työskentelevillä tulee olla henkilökohtainen annosmittari, suojapuku ja jalkinesuojat. Valvonta-alue jaetaan säteilyvaaran mukaan punaiseen, oranssiin ja vihreään alueeseen.

*Vikailmoitus:* Esim. operaattorin raportoima havainto laiteviasta.

*Ydinlaitos:* Ydinenergian tuotantoon, ydinpolttoaineen, ydinjätteen tai muun ydinaineen laajamittaiseen valmistukseen, varastointiin tai käsittelyyn tarkoitettu laitos.

*Ydinvoimala, ydinvoimalaitos:* Voimala, joka tuottaa yhdellä tai useammalla tehoreaktorilla (laitosyksiköllä) pääasiassa sähköenergiaa.

## Liite C: MALLINTAMISEN VÄLINEITÄ

*Sovellusalueen analysoinnissa ja tietotekniikan määrittelyssä tarvitaan täsmällisiä käsitteitä. Tässä liitteessä esitellään niistä tärkeimpiä.*

### Yleisiä huomioita

Kun mitä tahansa järjestelmiä kuvataan, on vastattava kysymyksiin, *miksi* ne ovat olemassa, *mitä* ne tekevät ja *millaisia* ne ovat rakenteeltaan. Jotta näihin kysymyksiin voitaisiin vastata, tarvitaan useita *abstraktiotasoltaan* erilaisia malleja. Eri kuvaustasot muodostavat polun tavoitteista keinoihin, joilla tavoitteet saavutetaan. Samalla määräytyy asioiden luonnollinen järjestys: aluksi on määriteltävä asiakkaan tarpeet ja vasta siten niiden toteutustapa.

Suunnittelun kannalta kuvaukset voidaan jakaa kolmeen päätasoon: *vaatimuksiin*, *toimintaan* ja *toteutukseen*. Vaatimukset määrittelevät suunnittelun lähtökohdat. Niissä käyttäjän tarpeet on priorisoitu ja täsmennetty tarkastelun kohteena olevaan järjestelmään kohdistuviksi. Osa tarpeista hoidetaan mahdollisesti muilla keinoilla. Vaatimukset voivat olla luonteeltaan joko *tavoitteita*, joihin pyritään, tai *rajoituksia* (constraint), jotka rajaavat etukäteen mahdollisten ratkaisujen joukkoa. Toimintataso kuvaa suunniteltavalta järjestelmältä halutut toiminnot. Toteutustaso määrittelee fyysisen rakenteen eli toimintojen suorittamisessa käytettävät laitteet, ohjelmistot, ihmiset jne.

Mallin jakamisesta abstraktiotasoihin on monia etuja. Tavoitteiden ja toimintojen analysointi auttaa suunnittelijaa keskittymään asiakkaan tarpeisiin ja välttämään ennen aikaisia, jatkosuunnittelua rajoittavia ratkaisuja. Toisaalta kokeneen suunnittelijan valmiit ratkaisut ovat tehokkaan suunnittelun avain. Ilmiselviä ratkaisuja tai rajoituksia ei siis tarvitse väkisin piilottaa. On vain tiedettävä, mitä tekee. Varsinaisen ongelma-alueen malli on yleensä myös pysyvämpi kuin toteutustason ratkaisut. Näin vältetään ylimääräisiltä muutostöiltä, ja toteutuksen yksityiskohdista riippumaton tietämys on helpommin hyödynnettävissä muissa projekteissa.

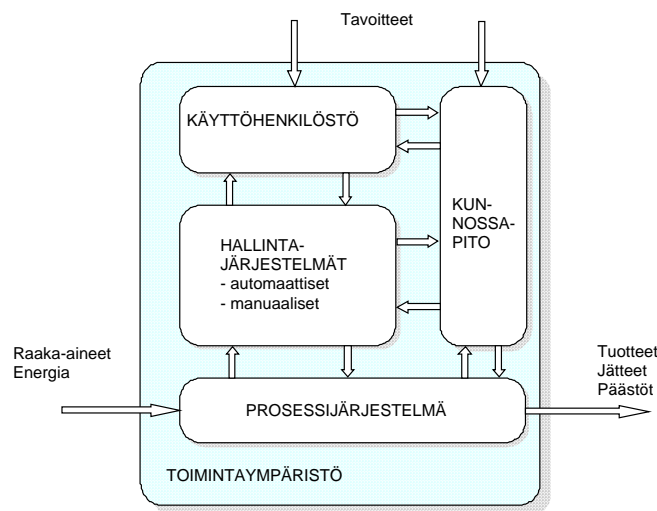
### Prosessitekniikka

Automaatioalalla käytetään usein sanaa 'prosessi' tarkoittaessa ohjattavia prosessilaitteita, niissä tapahtuvaa toimintaa tai jotain joka on 'kentällä'. Automaation vaikutuspiirin laajentuessa prosessilaitteiden ohjauksesta informaation ja liiketoimintaprosessien

suuntaan on näitä 'ohjaamisen kohdetta' kuvaavia termejä syytä hieman täsmentää. Lähtökohtana voidaan käyttää standardissa ISO 10628 (1997) esitettyjä määritelmiä.

*Prosessi* (process) on sarja kemiallisia, fysikaalisia tai biologisia toimintoja, joiden tarkoituksena on muokata, siirtää tai varastoida materiaalia tai energiaa (ISO 10628). Termi viittaa siis nimenomaan toimintaan, eri fyysisiin laitteisiin. Prosessit voivat olla jatkuvia tai epäjatkuvia. Esim. panosprosessesseissa epäjatkuvat ovat enemmistönä, mutta jatkuviakin osia voi olla mukana. Toisaalta myös luonteeltaan jatkuvia prosesseja voidaan käyttää jaksottaisesti.

Eri lähteissä prosessi jaetaan eri tavoin pienempiin osiin. ISO 10628:ssä prosessi voi koostua prosessiaskelista (process step), jotka puolestaan muodostuvat yksikköoperaatiosta (unit operation). Panosautomaation piirissä vastaavia prosessin osia ovat prosessin vaihe (process stage), operaatio (process operation) ja toimenpide (process action) (ISA-S88.01 1995). Tämänkaltaiset 'ammattitermit' ovat hyödyllisiä tietyillä sovellusalueilla, mutta täsmällisiä määritelmiä niille on vaikea antaa. Siksi prosessista ja sen osista voidaan käyttää yleisnimeä *prosessivaihe* (ATU 1992). Prosessi voidaan kuvata graafisesti *lohkokaavion* (process block diagram) avulla. Sen yksi mahdollinen esitystapa on edellä mainittu IDEF<sub>0</sub>. Tällöin valmistusprosessin kuvaus voidaan nähdä osana laitoksen toimintaproessin kuvausta.



Kuva C1. Prosessilaitoksen fyysiset pääkomponentit.

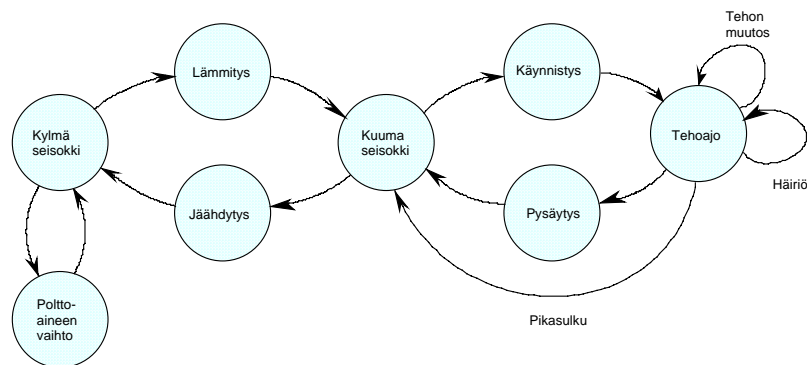
*Prosessilaitos* (process plant) sisältää laitteistot, järjestelmät ja rakenteet, joita tarvitaan yhden tai useamman *prosessin* suorittamiseksi (ISO 10628). Tämä määrittely kattaa siis esim. prosessilaitteet, erilaiset hallintajärjestelmät kuten *automaatio- ja tietojärjestelmät*, sekä *toimintaympäristön* (rakennukset ja alueet) ja käyttöhenkilöstön, kuva C1. Laitos on vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa kytkeytyen mm. raaka-ainetoimittajiin, asiakkaisiin, yrityksen johtoon ja yhteiskuntaan sekä ympäröivään luontoon. Prosessilaitos voidaan jakaa eri tavoin pienempiin osiin, kuten prosessiosastoihin (plant section, process cell), tuotantolinjoihin (production line) ja prosessiyksiköihin (ks. ISA-S88.01 1995). Toisaalta laitos voi olla myös osa laajempaa tehdaskompleksia. Tarkka rajanveto ja termien määrittely voi tosin olla joskus ongelmallista.

Prosessilaitos ja sen osakokonaisuudet sisältävät siis prosessilaitteet, tietotekniikan, käyttöhenkilöstön jne. Puhuttaessa nimenomaan prosessilaitteista voidaan käyttää termiä *prosessijärjestelmä* (process system). Se on prosessilaitteista muodostuva järjestelmä, jossa ja jonka avulla prosessivaiheita suoritetaan. Laitoksen prosessijärjestelmä sisältää keskeisten prosessilaitteiden ohella tarvittavat apujärjestelmät, esim. hyödykkeet ja pesut, mutta ei ohjausjärjestelmää. Prosessijärjestelmän rakenne esitetään karkeasti *virtauskaavioissa* ja tarkemmin *PI-kaavioissa*.

Prosessilaitteiston toimintaa voidaan kuvata *käyttötilojen* (operational state) ja *tilansiirtojen* (state transition) avulla. Tyypillisiä käyttötiloja ovat 'seis', 'normaali ajo' ja 'häiriö'. Käyttötilat liittyvät prosessivaiheisiin siten, että normaaliajon aikana prosessilaitteisto on suorittamassa jotakin prosessivaihetta. Toisin sanoen, prosessi toteutetaan käyttäen prosessijärjestelmän tarjoamia palveluita (capability). Esim. kemianteollisuuden panosprosesseissa tämä ajatusmalli on olennainen. Eri tuotteiden valmistusreseptit määritellään yhdistelemällä ja parametroimalla yleiskäyttöisen laitteiston palveluita. Jatkuvuksessa prosesseissa, kuten ydinvoimalaitoksissa, tietty prosessijärjestelmä palvelee yleensä vain yhtä käyttötarkoitusta, mutta poikkeuksiakin on.

*Tilansiirrot* kuvaavat prosessijärjestelmän (nopeaa) siirtymistä käyttötilasta toiseen. Tyypillisiä esimerkkejä ovat 'ylösajo' ja 'alasajo'. Pitkäkestoiset tilansiirrot voidaan käsitellä myös erillisinä, väliaikaisina tiloina (transient state). Tarpeen mukaan eri prosessijärjestelmistä voidaan piirtää *tilakaavioita*. Tyypillisiä ydinvoimalan käyttötiloja ja tilansiirtoja on hahmoteltu kuvaan C2. Tilojen tarkastelun etu on siinä, että sen myötä tulevat käsitellyiksi myös poikkeustilanteet, jotka jäävät suunnittelussa usein liian vähälle huomiolle.





Kuva C2. Tilakaavio esittää prosessijärjestelmän käyttötilat ja tilansiirrot, esimerkkinä ydinvoimalan laitossyksikkö.

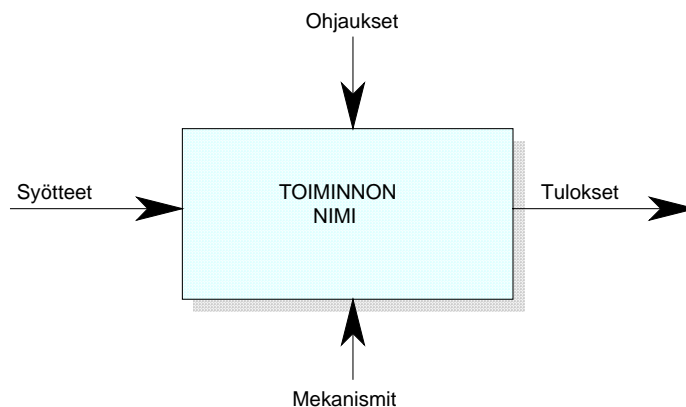
Käyttötila liittyy siis tiettyyn *prosessijärjestelmään*, jotka on laitoksen kuvauksessa jäsennetty hierarkkisesti. Tällöin laajemman laitekokoisuuden käyttötila riippuu sen osien käyttötiloista. Tilojen määrittely on aina tarkoituksenmukaisuuskysymys. Liiallista mutkikkuutta tulisi välttää. Luontevinta on määritellä käyttötilat käyttäjien näkökulmasta sen perusteella, mitä prosessijärjestelmä on tekemässä. Tällöin laajan kokonaisuuden käyttötila voi sisältää useita osajärjestelmien tilojen kombinaatioita. Prosessijärjestelmä voi siis olla tekemässä suunnilleen samaa asiaa useissa eri kokoonpanoissa. Näitä osajärjestelmien tilojen kombinaatioita ja järjestelmien välisiä kytkentöjä voidaan nimittää *konfiguraatioiksi*. Ne voidaan nähdä myös vaihtoehtoisina tapoina saada aikaan tietty toiminto. Erityisesti *kriittisten turvatoimintojen* (critical safety function), esim. reaktorin jäähdytyksen häiriötilanteessa, toteuttamiseksi on aina oltava käytettävissä vaihtoehtoisia keinoja (success path).

## Toimintaprosessit

Tämän julkaisun tavoite on määritellä vaatimukset ja yleinen toiminnallinen konsepti ydinvoimaloiden uusille integroiduille tietojärjestelmille (pois lukien tavanomainen prosessiautomaatio). Konseptin tulee perustua voimalan toimintaprosesseihin ja niihin liittyviin kehitystarpeisiin. Toimintaprosessien kuvaileminen on kuitenkin hieman monisäikeinen asia, myös käsitteellisesti. Tästä syystä alle on kirjattu muutamia näkökohtia sekä poimintoja alan kirjallisuudesta.

Toimintaprosessit perustuvat liiketoimintaan ja tuotteisiin ja ovat siten tietotekniikan kehittämisen kannalta melko pysyviä. Näin niiden ymmärtäminen luo terveen pohjan tietojärjestelmien suunnittelulle. Periaatteessa toimintaprosessit kattavat prosessilaitoksen koko eliniän. Aluksi tekninen *järjestelmä* (laitos, tietojärjestelmä jne.) suunnitellaan ja rakennetaan. Sitten sitä hyödynnetään, ylläpidetään ja kehitetään. Lopuksi järjestelmä puretaan, jolloin sen olemassaolo lakkaa (lukuun ottamatta tiettyä dokumentaatiota). Tämän aikavälin eli järjestelmän *elinjakson* (life-time) aikana suoritetaan siis erilaisia ihmisten ja muiden teknisten järjestelmien tehtäviä, joita kutsutaan järjestelmän *elinkaari-toiminnoiksi* (tai 'elinkaari-toimiksi', life-cycle activity). Erilaiset tärkeät tilanteet ja päätökset, *etapit*, esim. *investointipäätös*, jaksottavat järjestelmän elinkaaren peräkkäisiksi *elinkaarivaiheiksi* (life-cycle phase). Yhdessä näitä toimintoja ja vaiheita voidaan nimittää *elinkaareksi* (life-cycle) ja niiden sanallista ja graafista kuvausta *elinkaarimalliksi* (life-cycle model). Se muodostaa perustan monille järjestelmän kehittämiseen ja käyttöön liittyville toimenpiteille, kuten henkilöstön organisoinnille, tietotekniikan soveltamiselle sekä laatuja järjestelmän kehittämiseksi.

Järjestelmän elinkaarta voidaan tarkastella useista eri näkökulmista painottaen esim. sisältöä, ajallista etenemistä tai työn suorittajia. Siksi siinä voidaan ja on syytäkin käyttää erilaisia esitystapoja. Tästä myös seuraa, että kuvaukset ovat helposti käsitteellisesti sekavia. Elinkaarimallia määriteltäessä selkeintä lienee lähteä liikkeelle sisällöstä, siis elinkaari-toiminnoista. Kuvaustapoja on monia, mutta yleisin on IDEF<sub>0</sub> (Integration Definition language 0, NIST 1993), joka on osa laajempaa standardisarjaa. Aiemmin se tunnettiin myös nimellä SADT (Structured Analysis and Design Technique). Tässä graafisessa tekniikassa yksittäinen elinkaari-toiminto kuvataan suorakaiteena kuvassa C3 esitetyllä tavalla.



*Kuva C3. Yksittäisen elinkaari-toiminnon esitys suorakaiteena.*

Elinkaaritoiminnot ovat selvärajaisia ja nimettyjä, toimintaa (ei fyysisiä laitteita tai organisaatioyksiköitä) edustavia kokonaisuuksia, jotka muokkaavat, siirtävät tai varastoivat materiaalia, energiaa tai tietoja<sup>6</sup>. Ne muuntavat vasemmalla esitetyt sisäänmenot suorakaiteen oikealla puolella esitetyiksi ulostuloiksi. Prosessilaitoksen ollessa kyseessä elinkaaritoiminnot ovat siis *prosesseja*, joko tuotannollisia tai liiketoimintaan liittyviä. Esimerkiksi elinkaaritoiminto 'rakentaminen' muuntaa suunnittelutiedot, työmaalle saapuvat elementit ja tarvikkeet valmiiksi rakennukseksi. On huomattava, että elinkaaritoimintojen jäsentämisessä perusteena tulisi olla ensisijaisesti niiden sisältö eikä se, kuka niitä suorittaa tai milloin ne suoritetaan.

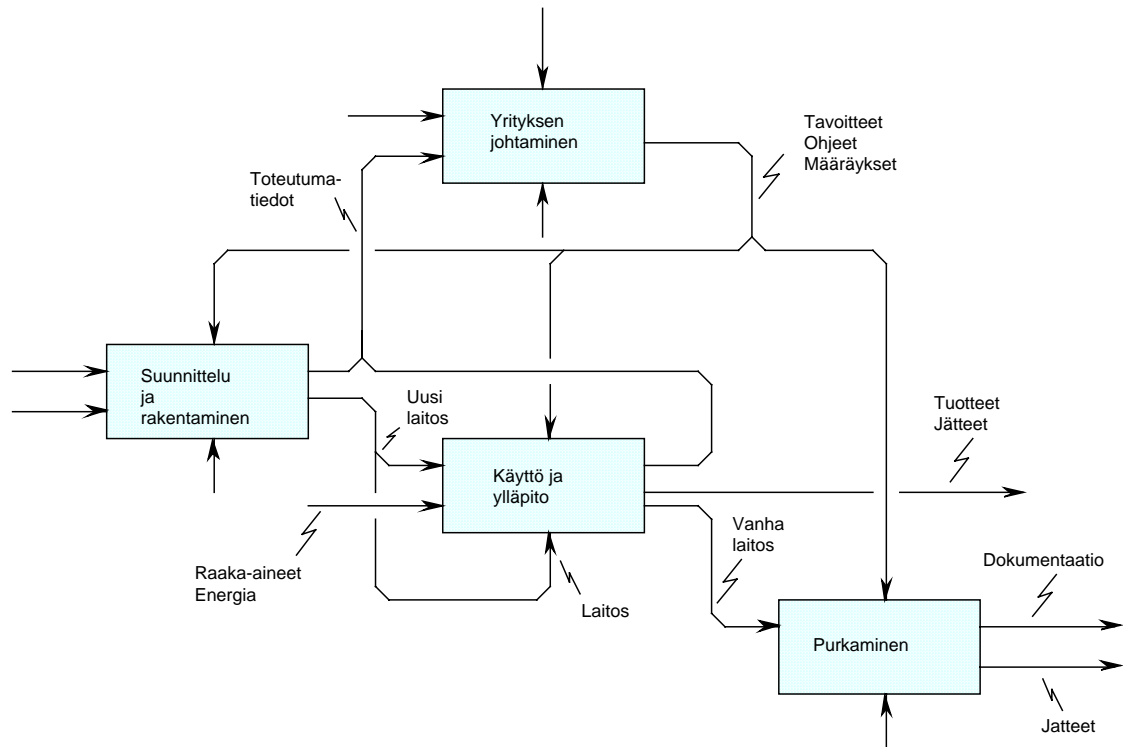
Elinkaaritoiminnon suorittamiseen tarvitaan jokin fyysinen resurssi, esim. kone, ihminen tai tietokoneohjelma. Kuvan C3 kaaviossa tämä ilmaistaan suorakaiteen alareunaan merkittävän *mekanismin* avulla. Mekanismi on siis keino linkittää toiminnot ja fyysiset resurssit toisiinsa. Resursseja voi samalla toiminnolla olla useampikin<sup>7</sup>. Samoin tietty resurssi voi osallistua useisiin toimintoihin.

Yleisesti ottaen toiminto tai sen osa aktivoituu, kun tarvittavat syötteet ovat olemassa. Suorakaiteen yläreunaan merkittävät *ohjaukset* (controls) tarjoavat tietoja, esim. tavoitteita, jotka vaikuttavat toiminnon suoritustapaan olematta varsinaisia syötteitä. Ohjaukseksi voidaan myös tulkita ylemmältä taholta tulevat komennot. Komento voi esim. sallia tai estää toiminnon aktivoitumisen.

---

<sup>6</sup> Muunnokseen ei välttämättä liity fyysistä siirtämistä, esim. vain muokattavan kohteen tila voi muuttua.

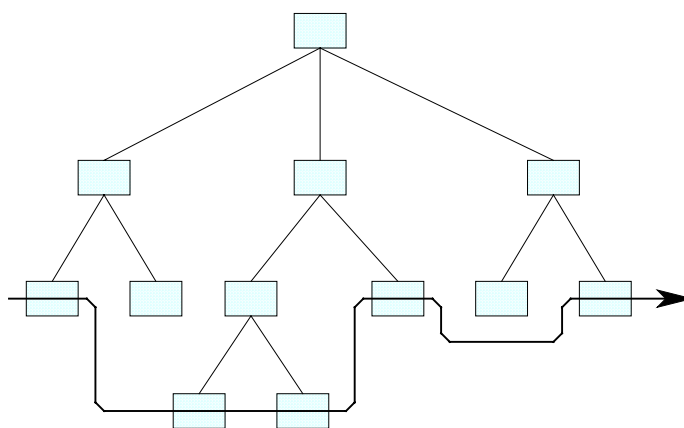
<sup>7</sup> Tällöin eri resursseilla on erilaiset roolit toiminnon suorittamisessa. Organisaatioyksiköistä puhuttaessa vetäjä tai vastuussa oleva taho (prosessin omistaja) olisi mahdollista erottaa esim. lihavoinnilla.



Kuva C4. Prosessilaitoksen yleiset elinkaari-toiminnot.

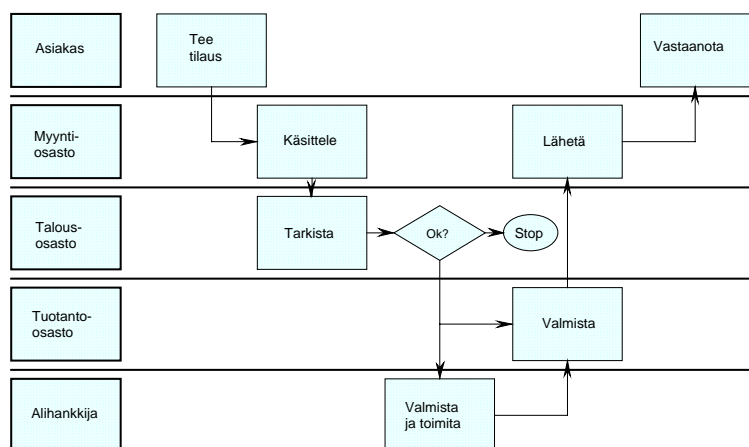
Eri elinkaari-toimintojen tulokset kytketään virtauksin toisten toimintojen syötteisiin ja ohjauksiin. Virtaukset voivat olla luonteeltaan jatkuvia tai epäjatkuvia. Ne 'kantavat mukanaan' toimintojen käsittelemiä materiaaleja, kappaleita, energiaa ja tietoja. Nämä voivat jakautua osavirtauksiksi ja jälleen yhdistyä. Kuvassa C4 on hahmoteltu prosessilaitoksen tärkeimpiä elinkaari-toimintoja. Kukin toiminto voidaan purkaa osiksi alemman tason kaavioissa. Näin syntyy hierarkkisesti tarkentuva kuvausten joukko, johon kuuluu kaavioita ja niiden sanallisia selityksiä. Eri tasoilla käytetään usein hieman eri nimityksiä, kuten pääprosessi, prosessi, osaprosessi, aktiviteetti, tehtävä. Varsinaisille prosesseille on luonteenomaista, että niihin osallistuu useita organisaatioyksiköitä (itse asiassa prosessien tulisi olla riippumattomia organisaation rakenteesta). Prosessilaitoksen sisällä yrityksen liiketoimintaprosessia kuvaava malli voi täsmentyä käytön ja ylläpidon osalta myös esim. kemiallisen tuotteen valmistusprosessin kuvaukseksi.

Tällainen tapa kuvata elinkaari-toimintoja ei määrittele asioiden ajallista etenemistä kovin tarkasti, koska esityksen pääpaino on sisällöissä ja niiden syy-seuraussuhteissa. Toiminnot voivat aktivoitua useaan kertaan, kuten tapahtuu iteratiivisessa suunnittelussa. Lisäksi esim. rinnakkaisessa suunnittelussa (concurrent engineering) on useita toimintoja aktiivisena samaan aikaan. Ylemmän tason toiminto voi myös aktivoitua osittain, jos vain osan sen osatominnosta aktivoituu. Aktiivinen toiminto on yksilö (activity instance), joka käsittelee tietyt syötteet ja tuottaa tietyt tulokset (work items).



Kuva C5. Yksittäisen työkohteen kulku toimintaprosesseissa.

Seurattaessa yksittäisen työkohteen kulkua eri elinkaartoimintojen läpi (ja samalla niiden fyysisten suorittajien kautta) tulee esiin uusi näkökulma, *työnkulku* (work flow). Tätä hierarkkisesti ositettua elinkaartoimintojen kuvausta ei tue kovin hyvin, koska työnkulku liittyy useisiin eri kaavioissa oleviin toimintoihin, mahdollisesti jopa eri organisaatioiden liiketoimintaprosesseissa (kuva C5). Tosin työnkulun kuvaus voi määritellä tarkemmin myös yhden toimintaprosessin sisäisen toteutustavan. Tällöin voidaan soveltaa esim. kuvan C6 tyyppistä graafista esitystä.



Kuva C6. Eri osapuolien prosessit ja roolit työnkulussa.

## Liiketoimintaprosessit

Jo vuosien ajan teollisuudessa on korostettu asiakaslähtöisyyttä. Ns. *prosessijohtamisessa* on ollut kyse koko yrityksen toimintatavan merkittävästä muutoksesta (Hannus 1994) verrattuna perinteiseen *funktionaaliseen* työnjakoon, jossa samaa toimenkuvaa (funktio) toteuttavat, erikoistuneet henkilöt kootaan samaan *organisaatioyksikköön*. Tuloksena on yleensä hierarkkinen osastojako. Funktionaalinen organisointi ja siihen liittyvä tulosjohtaminen johtavat usein päällekkäiseen toimintaan, tiedonkulun ongelmiin ja jopa organisaatioyksiköiden väliseen kilpailuun (Hannus 1994).

Prosessijohtamisessa yrityksen toiminnan lähtökohtana ovat asiakkaalle lisäarvoa tuottavat *ydinprosessit*, jotka leikkaavat yrityksen eri organisaatioyksiköitä ja ulottuvat myös yrityksen ulkopuolelle kattaen asiakkaiden, alihankkijoiden ja muiden sidosryhmien toimintoja (Hannus 1994). Ydinprosessien ohella tarvitaan *tukiprosesseja*, joiden tuottamille suoritteille ydinprosessit ovat asiakkaita (Tuominen 1998). Liiketoimintaprosessit voidaan jakaa joukoksi pienempiä *aliprosesseja*. Suorituskyvyn mittaaminen, ohjaus ja organisointi tapahtuvat ensisijaisesti prosessien pohjalta, ei funktionaalisesti. Olennaista on horisontaalinen, asiakkaan tarpeista lähtevä toiminnan ohjaus. Ydinprosesseille määritellään *prosessinomistajat*, jotka vastaavat prosessinsa suorituskyvystä. Henkilöstön osalta tämä voi merkitä mm. sitä, että jokainen tuntee liiketoimintaprosessit kokonaisuutena sekä niiden merkityksen asiakkaan kannalta (ns. *systeeminen* työtapana).

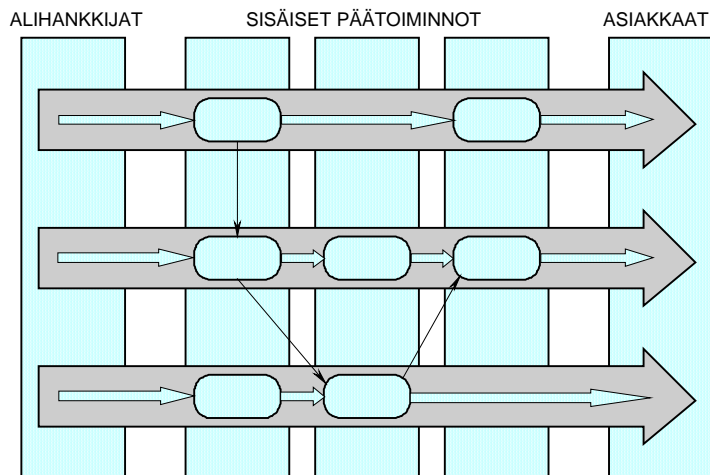
Ei liene itsestään selvää, millainen organisointitapa ja johtamiskäytäntö on paras ratkaisu yksittäisen yrityksen kannalta, molemmilla on etunsa ja haittansa. Myöskään liiketoimintaprosessit ja niiden kehittäminen (business process re-engineering) eivät ole yhtenäisesti ja täsmällisesti määritelty liikkeenjohton alue (Harrison 1995).

Ydinvoimalaitoksissa organisaation toiminnan luotettavuus on tärkeää. Nykyisin linjaorganisaatio on tavanomainen tapa organisoida. Tällä saadaan aikaan selkeät vastualueet ja toimenkuvat. Jokaisella on yksi esimies, ja tapahtumien selvittelyissä löydetään organisatoriset puutteet melko helposti. Ongelmana on kuitenkin, että tehokkuussyistä halutaan vähentää organisatorisia tasoja. Konsultit tarjoavat myös prosessijohtamista. Tämä tapa on potentiaalisesti tehokkaampi, mutta sisältää sen vaaran, että tärkeä toiminto ei ole selkeästi kenenkään vastuulla. Erityisvaatimukset ydinvoimapuolella ovat sellaiset, että linjaorganisaatio todennäköisesti on jatkossakin ensisijainen tapa organisoida, mutta siten että siihen otetaan prosessijohtamisen piirteitä. Erityisesti Ruotsissa on lähdetty määrittelemään toimintoja uudelleen siten, että tuotannon katsotaan palvelevan asiakkaita, jolloin muut organisaatioyksiköt joutuvat aina palvelemaan tuotantoa. Tästä syystä esim. muutostöissä korostetaan tuotannon roolia tilata työt ja esim. teknisen toimiston roolia toimittaa tilatut työt. Periaatteessa voimayhtiöt ovat tyytyväisiä järjestelmään, mutta siinä on myös omat hankaluutensa.

*Liiketoimintaprosessi* (business process) on siis toisiinsa liittyvien toimintojen ja tehtävien muodostama kokonaisuus, joka alkaa asiakkaan tarpeesta ja päättyy asiakkaan tarpeen tyydyttämiseen (Hannus 1994). Luonteenomaista liiketoimintaprosesseille on se, että niillä on asiakas, että ne ylittävät organisatoriset rajat ja että niiden suorituskykyä tulee arvioida asiakkaan näkökulmasta. Esimerkkejä tyypillisistä liiketoimintaprosesseista ovat

- ydinprosessit:
  - uusien tuotteiden kehittäminen
  - tilaus ja toimitus
  - valmistus ja hankinta
  - asiakaspalvelu
- tukiprosessit:
  - henkilöstön ja osaamisen kehittäminen
  - suorituskyvyn seuranta
  - liiketoiminnan suunnittelu.

Liiketoimintaprosessin määrittelyn tulisi siis lähteä asiakkaiden tunnistamisesta. Prosessijohtamisen kirjallisuudessa esimerkkeinä ovat yleensä valmistava teollisuus tai palveluiden tuottaminen. Ydinvoimalaitoksilla tilanne on hieman erilainen. Ne ovat suuria investointeja, joihin liittyy myös turvallisuusnäkökohtia. Sähköenergiaa tuotetaan pitkäaikaisin sopimuksin ja mahdollisimman suurella käyttöasteella. Tuotteita on vain yksi. Pääasiakkaita ovat (myyntiorganisaation kautta) sähkön suurkuluttajat (teollisuus, tukkumyyjät), joiden tarve on saada sähköä edullisesti ja luotettavasti. Merkittävä sidosryhmä on myös jakeluverkon haltija (Suomessa Fingrid). Toinen, kuvitteellinen ydinvoimalan tuote on 'turvallisuus', jonka asiakas on yhteiskunta edustajinaan viranomaiset (Suomessa pääasiassa Säteilyturvakeskus, STUK). Tällöin voidaan ajatella, että ydinvoimalan kaksi ydinprosessia ovat 'sähköenergian tuottaminen' ja 'turvallisuuden varmistaminen'.



*Kuva C7. Liiketoimintaprosessit ovat asiakkaalle lisäarvoa tuottavia toimintojen ketjuja.*

Kuvassa C7 hahmoteltu prosessikartta kuvaa yrityksen ja sen sidosryhmien keskeiset toiminnot (funktiot, toimintoryhmät, esim. osto, tekninen tuki, valmistus jne.) ja niitä leikkaavat horisontaaliset liiketoimintaprosessit. Perinteisessä funktionaalisessa lähestymistavassa organisaatioyksiköt on muodostettu juuri toimintojen perusteella, joten niiden nimet sekoittuvat helposti organisaatioyksiköihin. Ydintoiminnot tulisi kuitenkin määrittellä riippumatta organisaation rakenteesta (Hannus 1994). Tällöin on kysyttävä, mitä 'funktio' ovat ja millä perusteilla ne pitäisi ryhmitellä. Yksi mahdollinen tulkinta on, että toiminnot määräytyvät sen mukaan, mikä on niiden sisältö, tekemisen luonne tai mahdollisesti tekemisen kohde. Tällöin päädytään pitkälti samoihin toimintoihin kuin ennenkin, tarkkoja ohjeita lienee tosin vaikea antaa. Nimien tulisi viitata toimintaan, ei organisaatioyksikköön. Esim. ydinvoimalaitoksessa kaksi mahdollista päätoimintoa ovat 'laitoksen käyttäminen' sekä 'laitoksen ylläpitäminen ja kehittäminen'. Molemmilla on merkittävä rooli edellä mainituissa ydinprosesseissa, sähköenergian tuottamisessa ja turvallisuuden varmistamisessa.

Kuten kuvassa C7 on esitetty, on kullakin toiminnolla, siis sen rajatuilla osatoiminnoilla, tietty rooli liiketoimintaprosessissa. Toiminto voi olla merkittävässä tai marginaalisessa asemassa. Kaikki toiminnot eivät välttämättä liity kaikkiin liiketoimintaprosesseihin. Osatoimintojen välillä on riippuvuuksia (materiaali- ja tietovirtoja) sekä liiketoimintaprosessien suunnassa että niiden välillä.

Tästä herää kysymys, mikä on toimintojen ja liiketoimintaprosessien ero. Tarkoittaako toiminto nimestään huolimatta fyysistä organisaatioyksikköä? Eräs ajatusmalli on, että eri hierarkiatasoilla olevat prosessit ovat kaikki muunnoksia (transformation), jotka muuttavat panokset tuotoksiksi. Muunnokset on jaettava hierarkkisesti osiin, jotta niitä



voitaisiin hallita paremmin. Eri tasoilla käytetään eri nimityksiä, esim. liiketoimintaprosessi, aliprosessi, aktiviteetti tai tehtävä. Merkittävin ero on laajuus ja se, että ylin taso, liiketoimintaprosessit, ulottuvat yrityksen ulkopuolelle (Harrison 1995).

Toinen mahdollinen, kuvaan C7 liittyvä vastaus on, että toiminnot edustavat 'reaalista toimintaprosessia', siis sitä, mitä tuotteiden ja palveluiden aikaansaamiseksi on yrityksessä käytännössä tehtävä. Liiketoimintaprosessit puolestaan voivat olla asiakkaan tai johdon näkökulma näihin toimintoihin. Niihin on poimittu asiakkaan kannalta merkittäviä arvoketjuja (työnkulkuja), joiden avulla toimintoja voidaan hallita ja kehittää. Tällöin liiketoimintaprosessi ei siis olisi kovin konkreettinen asia.

Toiminnot ovat riippumattomia organisaatiosta ja määräytyvät paljolti tuotteiden ja valitun tuotantoteknologian perusteella. Niiden jäsentämisessä on kuitenkin paljon vapausasteita, joten se pitäisi tehdä niin, että tulos tukee liiketoimintaprosesseja, siis asiakkaan arvoja. Eräs mahdollisuus lienee lähteä liikkeelle osittamalla liiketoimintaprosesseja osatavoitteiksi ja -toiminnoiksi. Tällä tavalla voidaan tunnistaa sopivia ehdokkaita toiminnoiksi.

Edellä esitetty käsittelee lähinnä toimintaa, jota suorittamaan tarvitaan fyysisiä resursseja, toisaalta ihmisistä muodostuvia organisaatioyksiköitä ja toisaalta niiden työtä tukevaa tietotekniikkaa. Prosessijohtamiseen liittyy ajatus, että molemmat pitäisi toteuttaa liiketoimintaprosessien, ei toimintojen perusteella.

Tietotekniikasta sanotaan muutama sana jäljempänä. Organisaatioyksiköillä ja yksittäisillä työntekijöillä on tietyt roolit toimintojen ja sitä kautta liiketoimintaprosessien suorittamisessa. Jos asioita tarkastellaan työntekijän näkökulmasta, voidaan hahmottaa kokonainen työ, tehtävät ja yksittäiset toimenpiteet (toiminta, teot, operaatiot). Osittain roolit voidaan määritellä vastuina liiketoimintaprosessien ja toimintojen tavoitteista, osittain tarkasti määriteltynä tehtävinä. Voidaan myös sanoa, että työntekijöillä on kykyjä (capability), joita tarvitaan toimintojen suorittamiseen. Toimintoihin ja työhön liittyvät näkökulmat ja käsitteet lähestyvät siis periaatteessa samaa asiaa eri suunnista.

Eräitä prosessilähtöisen organisaation piirteitä ovat ([www.qualitas-fennica.fi/artikkelit](http://www.qualitas-fennica.fi/artikkelit)):

- Tiimit ovat poikkifunktionaalisia ja hoitavat asiakkaan tarpeet mahdollisimman pitkälle alusta loppuun.
- Matala organisaatio, laajat työnkuvat ja valtuudet.
- Yhdellä henkilöllä voi olla monta roolia.
- Vahva integroituminen ja kokonaisuuden optimointi.
- Arvoihin ja suorituskyykyyn perustuva johtaminen.

- Prosessinomistajat vastaavat prosessien kehittämisestä.
- Vetäjät toimivat valmentajina, johtaminen perustuu 'pehmeisiin' arvoihin.

Edellä esitetystä syntyy melko monimutkainen käsiterakenne, johon kuuluvat arvoketjuja edustavat liiketoimintaprosessit, konkreettiset toiminnot, organisaatioyksiköt sekä tietojärjestelmät. Tässä julkaisussa pääpaino on tietotekniikan kehittämisessä. Olennaista olisi ymmärtää sovellusalueen toiminnot, käsitteet, tietovirrat ja mahdolliset ongelmat suhteellisen käytännönläheisellä tasolla. Tällöin lienee syytä keskittyä laitoksen sisäisiin toimintoihin muistaen, että toimintojen tavoitteet liittyvät liiketoimintaprosesseihin. Sanaa toiminto (funktio) kuormittaa vanha funktionaalisen organisoinnin painolasti, joten ehkä on parempi puhua yleisemmin toimintaprosesseista tai aktiviteeteista.

Jos liiketoimintaprosesseja uudistetaan funktionaalisesta työnjaosta kohti horisontaalisia tehtäväkokonaisuuksia, tulisi myös tietotekniikka rakentaa prosessilähtöisesti (Hannus 1994). Markkinoilla olevat valmisohjelmistot eivät kuitenkaan välttämättä tue tätä lähestymistapaa. Ne on yleensä rakennettu funktionaalisesti. Kullekin osa-alueelle (tuotannonohjaus, kunnossapito jne.) etsitään valmisohjelmistot, joita sitten pyritään integroimaan toisiinsa. Vaikka integrointi nykyisin voi onnistuakin, on perusongelma, että osien toteutus on alun perin funktionaalinen. Prosessilähtöisessä tietojärjestelmien rakentamisessa tulisi olla mahdollista käyttää modulaarisia, standardirajapinnoilla varustettuja valmisosia, joista kootaan räätälöity kokonaisuus.

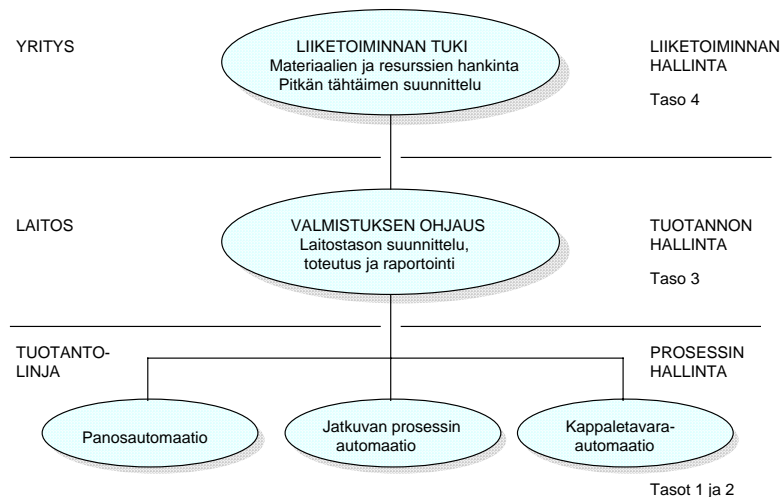
Ohjelmistokomponentit ehkä ratkaisevat tämän ongelman. Tähän luultavasti vaikuttaa se, miten komponenttiliiketoiminta kehittyy eli millä tavalla rajattuja komponentteja tuotetaan. Ovatko ne funktionaalisia vai eivät? Tyypillisesti prosessiajattelu ei niissä juuri näy. Komponentit ovat varsin teknisiä, esim. käyttöliittymäkomponentteja tai ns. business-objekteja. Komponentit (siis CORBA, COM, EJB:llä rakennetut) ovat kylläkin mahdollistava tekniikka (engl. enabling technology) ja tarjoavat uudenlaisia työkaluja prosessilähtöisten sovellusten toteuttamiseen.

## **Tietotekniikka**

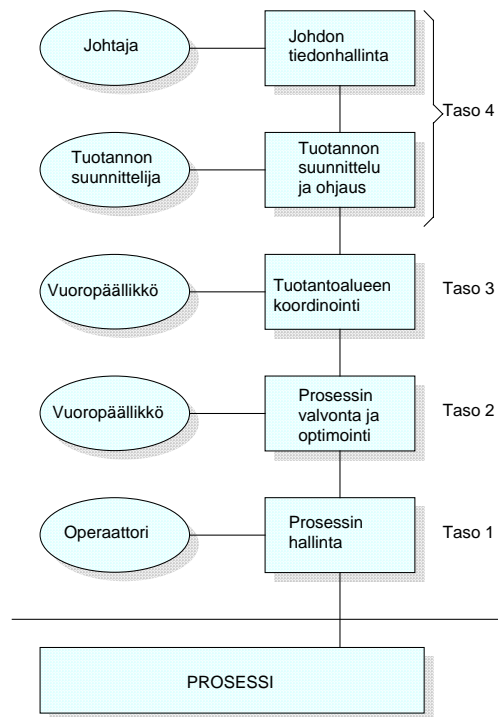
Lopuksi esitetään joitakin näkökohtia prosessilaitosten tietotekniikasta. Fyysisesti se muodostuu joukosta järjestelmiä (SW, HW), jotka on kytketty tiedonsiirtoverkolla toisiinsa. Tämä toteutustekniikka muuttuu nopeasti eikä ole tämän julkaisun kannalta tärkeintä. Olennaista sen sijaan on se, miten tietotekniikalla toteutettavat, toimintaprosesseja tukevat tehtävät organisoidaan toiminnalliseksi arkkitehtuuriksi. Ydinvoimalan tietojärjestelmien pitkäjänteistä kehittämistä varten tarvitaan tällainen yleinen 'referenssimalli'. Lähtökohtana voidaan käyttää standardoinnin piirissä työn alla olevia, yleisiä jäsennyksiä.

ISAn (International Society for Measurement and Control, [www.isa.org](http://www.isa.org)) komitea SP95 on käyttänyt lähtökohtanaan ISAn dokumenttia 'Purdue Reference Model for CIM'. Sen mukaan tuotannon toiminnot voidaan jäsentää tasoihin kuvan C8 mukaisesti. Taso neljä edustaa yritystason toimintoja (enterprise domain) ja alemmat tasot varsinaista tuotannon hallintaa (control domain). Alimmat kaksi tasoa 1–2 vastaavat tyypillistä automaatiojärjestelmää (perusautomaatio ja suojausjärjestelmät). Panosautomaation alueella ISA on kehittänyt jo pitkään tarkempaa standardia (ISA-S88.01 1995). Jatkuviissa prosesseissa ei yleistä 'referenssimallia' tietyvästi ole tekeillä. Kuvassa C9 on kuitenkin esitetty eräs mahdollinen jäsenitys.

Keskeltä, tasolta 3 löytyy toimintoja, joista sekä kappaletavara- että prosessiautomaatioissa on viime vuosina käytetty termiä *Manufacturing Execution System (MES)* puhuttaessa 'ylemman tason' järjestelmistä. Tällä alueella on menossa standardointityötä sekä erilaisten yhteenliittymien kehityshankkeita. Myös kaupallisia ohjelmistoja on tullut markkinoille.



Kuva C8. Purdue Reference Model, ohjausjärjestelmien tasot (mukailtu lähteestä ISA-dS95.01).



Kuva C9. Eräs jäsenitys jatkuvan prosessin hallinnalle (yksinkertaistettu lähteestä ISA-dS95.01 1999).

Tuotannon hallinnan ja yritystason rajanvedossa SP95 käyttää seuraavia kriteereitä tuotannon ja prosessin hallintaan (control domain) kuuluville toiminnoille:

- Toiminnot ovat tärkeitä viranomaisvaatimusten ja laitoksen luotettavuuden kannalta.
- Toiminnot liittyvät nimenomaan tuotantovaiheeseen, eivät laitoksen suunnitteluun ja rakentamiseen.
- Käsiteltävät tiedot ovat tarpeellisia laitoksen käyttöhenkilökunnalle (operaattoreille).

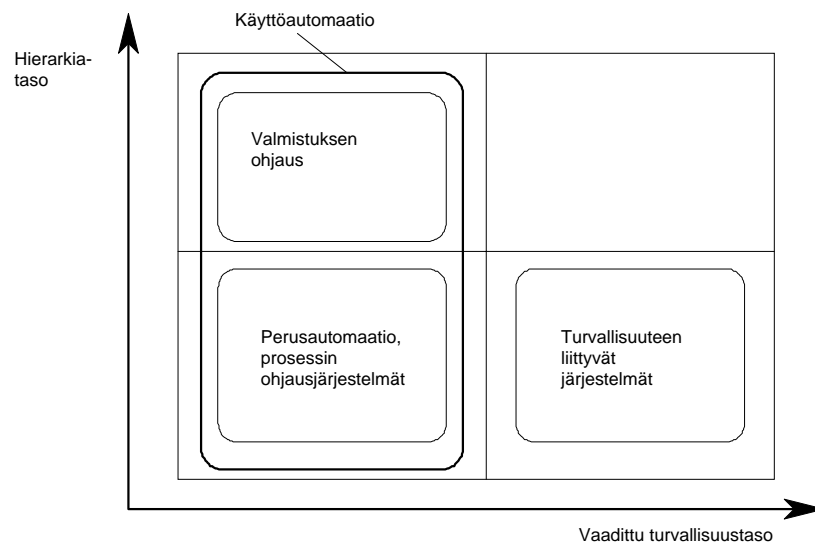
Tuotannon hallinnan ja varsinaisen prosessin hallinnan välistä rajaa SP95 ei määrittele sen tarkemmin. Yleinen piirre tuotannon hallinnassa lienee se, ettei se ohjaa suoraan prosessilaitteita. Yleensä se on operaattorin apuväline, joka tarjoaa jalostettua tietoa ja jonka avulla voidaan tehdä suunnitelmia. Niiden toteuttaminen on pääosin operaattorin vastuulla. Rajanveto kuitenkin riippuu sovellusalueesta.

Yleisesti ottaen tuotannon hallinnan rooli on siis toimia yritystason suunnittelun ja seurannan sekä varsinaisen prosessinohjauksen välissä. Se auttaa yksittäisen laitoksen henkilökuntaa täsmentämään ja toteuttamaan ylempää tulleita tuotantotavoitteita. Useinhan

esim. yritystason suunnitelmissa ei oteta huomioon laitoksen käytännön rajoitteita ja laitteiston senhetkistä tilaa. Näin tuotannon hallinta siis toimii tyypillisesti yhden tuotantolaitoksen sisällä, kun yritystasolla saatetaan käsitellä useita tehtaita. Tuotannon hallinnan kattama aikajänne vaihtelee tyypillisesti vuoron (vuorokauden) ja reaaliajan välillä. MESA (Manufacturing Execution Systems Association, [www.mesa.org/html](http://www.mesa.org/html)) sisällyttää MESiin seuraavia toimintoja:

- resurssien hallinta (Resource allocation & status) (seuranta ja allokointi): koneet työkalut, ihmiset, materiaalit, jne.
- valmistuksen ajoitus (Detailed scheduling): tehtävien aikataulutus ja resurssointi
- valmistuksen ohjaus (Dispatching production units)
- prosessin hallinta (Process management)
- tiedonkeruu (Data collection & acquisition)
- tuotteiden seuranta (Product tracking & genealogy)
- laadun hallinta (Quality management)
- henkilöstöresurssien hallinta (Labour management)
- teknisen informaation hallinta (Document control): reseptit, ohjeet, raportit, jne.
- suorituskyvyn seuranta (Performance analysis): Esim. käyttöaste ja SPC
- kunnossapito (Maintenance management): ennakoivan huollon ja korjausten ajoitus ja tiedonkeruu.

Edellä kuvattujen automaatiojärjestelmän toimintojen 'alapuolelle' sijoitetaan yleensä vielä turvallisuuteen liittyvät ohjaukset. Ne ovat tyypillisesti *suojauksia*, vaikka myös usein tai jatkuvasti käytettävät toiminnot, kuten säädöt, *lukitukset* jne., voivat olla turvallisuuden kannalta kriittisiä. Tällaisten *turvatoimintojen* tehtävänä on saavuttaa tai ylläpitää turvallinen tila, ja ne ovat siinä suhteessa kriittisiä (vaadittava turvallisuuden eheystaso vähintään 1). Tästä seuraa, että ne tulee toteuttaa erillisellä *turvallisuuteen liittyvällä järjestelmällä (TLJ)* (IEC 61508, IEC 61511). Erotuksena tästä *turvallisuusautomaatiosta* voidaan käyttää ilmaisua *käyttöautomaatio*, joka siis kattaa sellaiset toiminnot ja osajärjestelmät, joiden vaatimustaso jää rajan alle, kuva C10. Tällöin sanaa *perusautomaatio(järjestelmä)* (*basic process control (system)*) voidaan käyttää kuvaamaan niitä käyttöautomaation toimintoja tai automaatiojärjestelmän osia, jotka liittyvät välittömään, reaaliaikaiseen prosessin hallintaan. Nämä ovat tyypillisesti sellaisia säätöjä, sekvenssejä, lukituksia, näyttöjä jne., jotka ovat välttämättömiä prosessin tilan ylläpitämiseksi ja tuotannon aikaansaamiseksi (ks. ISA-S88-01 1995). Perusautomaatio ei siis sisällä turvallisuuteen liittyviä järjestelmiä.



Kuva C10. Automaation luokittelu kriittisyyden ja hierarkiatason perusteella.

Edellä olevasta käynee ilmi, että laitoksen tietotekniikka on laaja alue ja että sen tarkka määrittely ei ole helppoa. Kokonaisuutta voidaan ehkä havainnollistaa alla olevan taulukon avulla. Siihen on koottu muutamia esimerkkejä eri tasoista ja toimintojen tyypeistä. Kun ohjauksesta puhutaan, voidaan kunkin toiminnon kohdalla erottaa seuraavia osia:

- ennakointi: toimenpiteiden suunnittelu, tavoitteiden määrittely
- mittaus: tarvittavan lähtötiedon hankinta
- suoritus: tavoitteen saavuttamiseksi tarvittava toimenpiteet
- raportointi: tiedon keruu, tallennus ja jalostus ylemmälle tasolle.

TASO	Ennakointi	Mittaus	Suoritus	Raportointi
Liiketoiminnan hallinta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuotantosuunnitelma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suorituskykymitat</li> <li>• Historiatietokanta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suunnitelmat laitoksille</li> <li>• Kehitystoimet</li> </ul>	
Tuotannon hallinta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuotantosuunnitelma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Töiden ja prosessiyksiköiden tilat</li> <li>• Historiatiedot</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suunnitelmat automaatioon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuotantoraportti</li> <li>• Suorituskyky</li> <li>• Käyttöaste</li> </ul>
Prosessin hallinta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Työlista</li> <li>• Trendit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anturit</li> <li>• Visuaalinen valvonta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Säädot, sekvenssit jne.</li> <li>• Käsitoiminnot</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raportit</li> <li>• Historiatietokanta</li> </ul>

## Lähdeluettelo

- ATU 1992. Prosessin hallinta – Automaation tehtäväkuvaus. Helsinki, Suomen Automaation Tuki Oy (ATU). 125 s.
- ISA-S88.01 1995. Batch control – Part 1: Models and terminology. International Society for Measurement and Control (ISA).
- ISA-dS95.01 1999. Enterprise – control system integration – Part 1: Models and terminology. International Society for Instrumentation and Control (ISA), draft standard, July 1999.
- ISO 10628 1997. Flow diagrams for process plants – General rules. 59 s.
- Hannus, J. 1994. Prosessijohtaminen. Ydinprosessien uudistaminen ja yrityksen suorituskyky. Espoo, HM&V Research Oy. 268 s.
- Harrison, A. 1995. Business processes: Their nature and properties. Teoksessa: Burke, G. & Peppard, J. 1995. Examining business process re-engineering – Current perspectives and research directions. London, Kogan Page Limited. S. 60–69.
- NIST 1993. Integration Definition for Function Modeling (IDEF0). Draft Federal Information Processing Standards Publication 183. (ks. <http://www.idef.com>)
- Tuominen, K. 1998. Muutoshallinnan mestari. Helsinki, Laatukeskus.



Tekijä(t) Tommila, Teemu, Jakobsson, Stefan, Ventä, Olli, Wahlström, Björn & Wolski, Antoni			
Nimeke <b>Ydinvoimaloiden uudet tietojärjestelmät Sovellusalueen analyysistä käyttäjän vaatimuksiin</b>			
Tiivistelmä Suomen sähköenergian tarpeen tyydyttämiseksi on keskusteltu ydinvoimalayksikön rakentamisesta. Toisaalta voimayhtiöt ovat panostaneet myös olemassa olevien yksiköiden käyttöiän pidentämiseen. Molemmissa tapauksissa tarvitaan ennen pitkää merkittäviä uudistuksia myös informaatio- ja automaatiojärjestelmissä. Uudet tietojärjestelmät perustuvat moderniin hajautettuun ohjelmistotekniikkaan. Sovellusalueen korkeiden laatuvaatimusten vuoksi on kuitenkin löydettävä muilla aloilla koeteltuja ratkaisuja. Kokonaiskonseptin on oltava selvillä jo ennen suunnittelun aloittamista. Tekniikka ja standardit kehittyvät nopeasti, ja myös ydinvoimaan kohdistuvat vaatimukset muuttuvat, joten toimivan kokonaiskonseptin löytäminen ei ole helppoa. Tutkimuksessa pyrittiin tunnistamaan tärkeimmät ydinvoimalan tietojärjestelmille asetettavat vaatimukset sekä hahmottelemaan toiminnallinen kokonaiskonsepti ja kuvaamaan mahdollisia toteutuksissa käytettäviä standardeja ja teknologioita. Lähtökohtana käytettiin sovellusalueen keskeisten toimintaprosessien kuvausta ja tunnistettuja kehitystarpeita. Tarkastelun pääkohteena olivat operatiiviset tietojärjestelmät, joiden tarkoitus on tarjota informaatiota voimalaitoksen käytöstä ja kunnossapidosta vastaaville henkilöille. Tämän painotuksen mukaisesti raportissa ei tarkastella alatason instrumentointia ja ohjausjärjestelmiä. Myös selvästi hallinnolliset sovellukset, kuten palkanlaskenta, on rajattu ulkopuolelle. Tuloksia voidaan hyödyntää nykyisten laitosten tietotekniikan kehittämisessä sekä mahdollisen uuden voimalan suunnittelussa ja tarjouskyselyissä. Lisäksi raportti tukee tarkemmin rajattujen kehityshankkeiden määrittelyä. Raportti on tarkoitettu palvelemaan ydinvoimateollisuuden tarpeita, mutta myös konventionaalisen prosessiteollisuuden edustajat voinevat löytää siitä hyödyllistä tietoa.			
Avainsanat information systems, nuclear power plants, nuclear power generation, process automation, process industry, distributed software architecture			
Toimintayksikkö VTT Automaatio, Teollisuusautomaatio, Tekniikantie12, PL1301, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5669-0 (nid.) 951-38-5670-4 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Projektinumero A9SU00256	
Julkaisuaika Kesäkuu 2000	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivuja 152 s. + liitt. 22 s.	Hinta D
Projektin nimi		Toimeksiantaja(t) Fortum Engineering Oy, Teollisuuden Voima Oy, Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Teknologian kehittämiskeskus (Tekes)	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	



Published by



Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
Phone internat. +358 9 4561  
Fax +358 9 456 4374

Series title, number and  
report code of publication

VTT Research Notes 2031  
VTT-TIED-2031

Author(s) Tommila, Teemu, Jakobsson, Stefan, Ventä, Olli, Wahlström, Björn & Wolski, Antoni			
Title <b>New information systems for nuclear power plants From domain analysis to users' requirements</b>			
Abstract <p>There have been plans in Finland for building a new nuclear power plant unit to meet the increasing demand for electricity. On the other hand, the utilities have also invested in the extended life-time of the existing four units. In both cases, major upgrades of information systems and process automation can be expected.</p> <p>New information systems will be based on modern distributed software architectures. Due to the high quality requirements of nuclear power, well proven solutions from other industrial fields must be found. A long term strategy for applying information technology must be existent before new investment projects are started. However, this area of technology is developing very fast. The business environment and requirements of nuclear power are also changing. Therefore, finding a good total concept for integrated information systems is not easy.</p> <p>The aim of the report is to identify the most important requirements of new information systems at nuclear power plants, to outline an integrated functional structure and to describe some enabling technologies and standards. An analysis of the work processes in the domain and the identified development needs are used as a starting point. The focus is on operative information systems intended to provide information and support for plant operation and maintenance. Accordingly, low-level instrumentation and control systems, as well as administrative applications, such as calculation of salaries, are outside the scope of the report.</p> <p>The results can be used for development of information systems at existing plants, as well as in the design and purchase of a new power plant unit. The report may further provide some inputs for other, more specific research and development projects. It is mainly written to serve the needs of nuclear power generation, but also the representatives of the conventional process industries may find it useful.</p>			
Keywords information systems, nuclear power plants, nuclear power generation, process automation, process industry, distributed software architecture			
Activity unit VTT Automation, Industrial Automation, Tekniikantie 12, P.O.Box 1301, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-5669-0 (soft back ed.) 951-38-5670-4 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Project number A9SU00256	
Date June 2000	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 152 p. + app. 22 p.	Price D
Name of project		Commissioned by Fortum Engineering Oy, Industrial Power Company Ltd, Technical Research Centre of Finland (VTT), National Technology Agency (Tekes)	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	