



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ALEKSI MATTSSON  
INFORMAATIOMALLI TUOTANTORESURSSIEN TIETOJEN JA  
HIENOKUORMITUKSEN HALLINTAAN

Diplomityö

Tarkastaja:  
Associate professor Minna Lanz  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
9.8.2017

## TIIVISTELMÄ

**ALEKSI MATTSSON:** Informaatiomalli tuotantoresurssien tietojen ja hienokuormituksen hallintaan

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 101 sivua, 17 liitesivua

Kesäkuu 2017

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Tuotantotekniikka ja -automaatio

Tarkastaja: Associate professor Minna Lanz

**Avainsanat:** tuotannosuunnittelu, tuotannonohjaus, tuotantorajoitteet, tuotannon resurssienhallinta, informaatiomallinnus

Diplomityössä tehtiin esiselvitys kohdeyrityksen tuotannon resurssitietojärjestelmän kehitysohjelmaksi varten. Selvityksen lopputuloksena tulevaa järjestelmää varten kehitettiin informaatiomalli järjestelmän keskeisestä sisällöstä, sekä kartoitus nykyisen järjestelmän tietojen käytöstä. Resurssitietojärjestelmä tulee palvelemaan erityisesti tuotannosuunnittelun käyttämien tuotannon rajoitetietojen hallinnassa.

Yrityksen tuotannosuunnitteluprosessia pyritään kehittämään tuotantoa kokonaisvaltaisemmin kuvaavaan suuntaan. Kehityksen tuloksena halutaan saada parempi läpinäkyvyys tuotannosuunnittelussa ja tuotannon hienokuormituksessa tehtävien päätösten vaikutuksesta tuotannon resurssien kapasiteettiin ja saatavuuteen. Kattavamman hienokuormituksen tekeminen vaatii tarkkojen tuotekohtaisten tuotantoreittien mallintamista tuotannosuunnittelujärjestelmän käyttöön.

Tuotannosuunnittelujärjestelmästä tunnistettiin tuotantoreittien tietorakenne, jonka perusteella informaatiomalliin kehitettiin tuotantoprosessin tietojen malli. Tuotteista ja tuotantoresursseista hankittiin tietoja haastatteluilla ja nykyisiä järjestelmiä tutkimalla. Lopputuloksena tuotantoprosessin informaatiomalli sekä tuotteen ja resurssien informaatiomallit yhdistettiin yhdeksi kokonaismalliksi, jossa on huomioitu tietojen väliset relaatiot. Mahdollista resurssien automaattista allokointia ja rajoitetietojen tarkempaa kuvausta varten malliin tehtiin tuotantoresurssien suorituskykyä kuvaava tietorakenne.

Resurssitietojen käytöstä tehtiin prosessikuvaus osana tuotannosuunnittelun prosessin mallintamista. Tuotannosuunnittelu on resurssitietojen tärkein yksittäinen käyttäjä ja prosessin mallintaminen osana sitä oli luontevaa. Tietojen käytöstä kerättiin tietoja käyttäjäryhmiä haastatteleamalla.

Informaatiomallin ja prosessikuvausten lisäksi työn tuloksena saatiin paljon järjestelmän kehityksessä tarvittavaa taustatietoa. Järjestelmäanalyysissä kerättiin integroitavien tietojärjestelmien tarpeita ja haastatteluissa dokumentoitiin paljon nykyisen järjestelmän haasteita ja käyttäjien kehitysoiveita.

## ABSTRACT

**ALEKSI MATTSSON:** An information model for manufacturing resource information management and scheduling

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 101 pages, 17 Appendix pages

June 2017

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

Major: Production Engineering and Automation

Examiner: Associate professor Minna Lanz

**Keywords:** Manufacturing operations management, production scheduling, production constraints, production resource management, information modelling

This thesis' main objective was to execute a preliminary study for the development of a new production resource information management system for a Finnish manufacturing company. As a result of the study, an information model of the essential information of the system was developed. A process model of the usage of the resource management information was also created. The new resource information management system will provide production planning constraint data for the company's production planning system. The production planning process is developed to model a larger portion of the production resources. The main development goal is to form a more comprehensive and realistic conception of the effects of production planning decisions on the availability and capacity of production resources. Planning the capacity usage of more resources requires exact and complex production route models for the production planning system.

Production process information model was established by analyzing the information and data structure used in the production planning system and its database. Information about products and production resources was collected by interviewing the responsible personnel and analyzing the current resource information system. As a result, a product and resource information models were developed and combined with the production process model, including relations between information classes. As an addition, a resource capability information model was included to provide an optional and more precise way to describe production planning constraints and to automate resource allocation.

A process model of the production resource information usage was developed based on user group interviews and system analysis. The usage process was modelled as a part of production planning process model. Production planning is the single most significant process using resource and planning constraint information. Additionally, a lot of essential background information was collected for the resource information system development. System analyses provide information about the data format and structure in other manufacturing management systems. Interviews produced information about problems, challenges and development ideas from the users concerning the current resource information system.

## ALKUSANAT

Työnantajani on mahdollistanut tämän diplomityön paitsi tarjoamalla siihen aiheen, mutta myös antamalla minulle paljon valinnanvapautta ja vastuuta työn tekoprosessissa. Olen saanut vaikuttaa työn aiheeseen, työskennellä itsenäisesti ja tehdä päätöksiä työn suorittamisesta oman harkintani mukaan, mikä on lisännyt työprosessista saatavaa kokemuksen arvoa sekä työn mielekkyyttä merkittävästi. Haluan kiittää työnantajaani ja esimiestäni luottamuksenosoituksesta sekä tuesta ja avusta diplomityöprosessin aikana. Kiitoksen ansaitsevat myös kaikki muut yrityksen henkilöt, jotka ovat auttaneet tutkimuksessa.

Kiitän työn tarkastajaa Minna Lanzia hyvistä neuvoista ja ohjauksesta työn aikana. Haluan kiittää Minna Lanzia myös erikseen hänen väitöskirjastaan, joka oli tärkeä ajatus-työtä stimuloiva kirjallisuuslähde työn teon aikana.

Perheelleni osoitan kiitokset varauksettomasta tuesta ja kannustuksesta läpi opintojeni. Ilman heidän tukeaan tämä diplomityö ei olisi nyt tässä.

Tampereella 20.6.2017

Aleksi Mattsson

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Tavoitteet.....	2
1.2	Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne .....	3
1.2.1	Työn rakenne ja sisältö .....	4
1.3	Tutkimuksen rajaus .....	4
2.	KIRJALLISUUSKATSAUS .....	6
2.1	Kirjallisuustutkimuksen tutkimuskysymykset .....	6
2.2	Informaatiojärjestelmätutkimus .....	7
2.3	Tuotannon tietojärjestelmät.....	10
2.3.1	Enterprise Resource Planning.....	10
2.3.2	Manufacturing Execution System.....	11
2.3.3	Advanced Planning and Scheduling .....	13
2.3.4	Product Lifecycle Management .....	14
2.4	Standardikatsaus.....	16
2.4.1	ISA95 .....	17
2.4.2	ISO 10303 STEP.....	21
2.4.3	SISO CSMD.....	22
2.4.4	Standardien käytöstä ja soveltamisesta .....	23
2.5	Tutkimuksissa kehitetyt semanttiset informaatiomallit.....	24
2.5.1	Funktionaalinen tieto.....	26
2.5.2	Core Ontology.....	29
2.6	Informaatiomallien kehittäminen .....	34
2.6.1	Formaalit kuvauskielet.....	37
2.7	Haastattelututkimuksen suunnittelu .....	38
2.8	Kirjallisuustutkimuksen tulokset.....	40
3.	PROSESSIEN JA JÄRJESTELMIEN TUTKIMINEN.....	42
3.1	Soveltavan tutkimuksen tehtävät ja tavoitteet.....	42
3.2	Prosessianalyysi .....	42
3.2.1	Tuotantoprosessi .....	43
3.2.2	Tuotannonsuunnittelumenetelmät ja rajoitteet.....	47
3.3	Järjestelmäanalyysi.....	52
3.3.1	Tuotannonsuunnittelujärjestelmän tietotarpeet .....	52
3.3.2	MESin tietotarpeet .....	57
3.3.3	Resurssienhallintajärjestelmä.....	58
3.4	Haastattelututkimuksen suorittaminen .....	60
3.4.1	Haastattelukonsepti .....	61
3.4.2	Haastattelut ja tulokset .....	62
3.5	Soveltavan tutkimuksen tulosten koonti .....	65
4.	INFORMAATIOMALLIN KEHITTÄMINEN.....	67
4.1	Informaatiomallin kehittäminen ja formalisointi .....	67

4.1.1	Mallin suunnitteluehdot ja rajoitteet .....	67
4.1.2	Informaatiomallin perusrakenne ja osat .....	68
4.1.3	Tuotemalli .....	69
4.1.4	Prosessimalli .....	72
4.1.5	Resurssimalli .....	74
4.1.6	Kykymalli.....	76
4.1.7	Yhdistetty informaatiomalli ja relaatiot .....	77
4.1.8	Informaatiomallin vaihtoehtoiset rakenteet .....	81
4.2	Tiedonkulkuprosessin kuvaus .....	82
5.	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	85
5.1	Työn tulokset.....	85
5.2	Kehitettyjen mallien käyttökelpoisuus .....	86
5.3	Tunnistetut jatkokehitystarpeet .....	87
5.3.1	Tuotannonsuunnitteluprosessin kehitys .....	88
5.3.2	Saatava hyöty .....	89
5.4	Tavoitteiden saavuttaminen.....	90
5.5	Jatkotutkimusehdotukset .....	91
5.6	Tutkimusmenetelmien käytön onnistuminen .....	93
6.	YHTEENVETO .....	95
	LÄHDELUETTELO.....	97
	LIITE 1: HAASTATTELUJEN TIEDONKERUUDOKUMENTTI .....	102
	LIITE 2: HAASTATTELU MUISTIINPANOT JA TULOKSET .....	104
	LIITE 3: TUOTANTOPROSESSIEN PÄÄVAIHEET .....	111
	LIITE 4: TUOTANNONSUUNNITTELUN PROSESSIKAAVIO.....	113
	LIITE 5: TUOTANNONSUUNNITTELUN RAJOITTEET .....	114
	LIITE 6: GRR: RESURSSITIE TORAKENNE .....	115
	LIITE 7: GRR, RESURSSIPARAMETRIT .....	116
	LIITE8: RESURSSIENHALLINTAJÄRJESTELMÄN INFORMAATORAKENNE	
	117	
	LIITE 9: INFORMAATIOMALLI ESIMERKKITUOTTEELLE.....	118

## KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Informaatiojärjestelmien tutkimuksen viitekehys, muokattu [4]</i> .....	8
<b>Kuva 2.</b>	<i>APS-funktiot toimitusketjun suunnittelumatriisissa muokattu [16]</i> .....	13
<b>Kuva 3.</b>	<i>Tuotetietojen vaihto tuotteen elinkaarella, sovellettu [20]</i> .....	15
<b>Kuva 4.</b>	<i>Core Product Model:n entiteetit [22]</i> .....	16
<b>Kuva 5.</b>	<i>ISA95/PERA toimintahierarkian tasot, muokattu [12]</i> .....	18
<b>Kuva 6.</b>	<i>ISA-95 part 3, tuotannonohjauksen ja hallinnan toimintamalli, muokattu [12]</i> .....	19
<b>Kuva 7.</b>	<i>ISA95 – Tuotemäärittelysten hallinta, muokattu [12]</i> .....	20
<b>Kuva 8.</b>	<i>ISA95 – Tuotantoresurssien hallinta, muokattu [12]</i> .....	21
<b>Kuva 9.</b>	<i>CSMD:n osamalli, muokattu [28]</i> .....	23
<b>Kuva 10.</b>	<i>MPIMM metamalli, muokattu [21]</i> .....	26
<b>Kuva 11.</b>	<i>MPIMM resurssimalli, muokattu [21]</i> .....	27
<b>Kuva 12.</b>	<i>Funktioviitekehyyksen osamalli, muokattu [33]</i> .....	28
<b>Kuva 13.</b>	<i>Tuote-, prosessi- ja järjestelmätietojen yhdistämiskonsepti, muokattu [27]</i> .....	29
<b>Kuva 14.</b>	<i>Product-Process-System-malli [27]</i> .....	30
<b>Kuva 15.</b>	<i>Tuotetietojen ontologia Core Ontology-mallissa [27]</i> .....	31
<b>Kuva 16.</b>	<i>Prosessitietojen ontologia ja liitynnät tuotetietoihin Core Ontology-mallissa [27]</i> .....	31
<b>Kuva 17.</b>	<i>Järjestelmätietojen ontologia Core Ontology-mallissa [27]</i> .....	32
<b>Kuva 18.</b>	<i>UML-kaavio Capability-tiedon rakenteesta [35]</i> .....	33
<b>Kuva 19.</b>	<i>1. tuotetyypin tuotantoprosessin päävaiheet</i> .....	44
<b>Kuva 20.</b>	<i>2. tuotetyypin tuotantoprosessin päävaiheet</i> .....	46
<b>Kuva 21.</b>	<i>Tuotannon hienokuormituksen tiedot ja vaikuttajat</i> .....	50
<b>Kuva 22.</b>	<i>Tuotantotilauksen tiedot</i> .....	54
<b>Kuva 23.</b>	<i>Tuotantotilaukseen liittyvien tietojen sijainti ja viittaukset järjestelmän tietokannassa</i> .....	55
<b>Kuva 24.</b>	<i>Tuotannonsuunnittelujärjestelmän Gantt-näkymä</i> .....	56
<b>Kuva 25.</b>	<i>Informaation perusrakenne</i> .....	68
<b>Kuva 26.</b>	<i>Tuotteen informaatiomalli</i> .....	71
<b>Kuva 27.</b>	<i>Tuotantoprosessin informaatiomalli</i> .....	73
<b>Kuva 28.</b>	<i>Tuotantoresurssin informaatiomalli</i> .....	75
<b>Kuva 29.</b>	<i>Kykytietojen informaatiomalli, mukailtu [35]</i> .....	76
<b>Kuva 30.</b>	<i>Kokonaisinformaatiomalli</i> .....	78
<b>Kuva 31.</b>	<i>Esimerkkimallin merkintätapa</i> .....	80
<b>Kuva 32.</b>	<i>GRR resurssitiedot ja relaatiot</i> .....	115
<b>Kuva 33.</b>	<i>GRR resurssien parametrit</i> .....	116

## TAULUKKOLUETTELO

<i><b>Taulukko 1.</b></i>	<i>Informaatiojärjestelmien tutkimuksen ohjeet [4] .....</i>	<i>9</i>
<i><b>Taulukko 2.</b></i>	<i>MES-funktiot eri määrityksissä .....</i>	<i>12</i>
<i><b>Taulukko 3.</b></i>	<i>Tuotannonsuunnittelujärjestelmän reitin osat.....</i>	<i>53</i>
<i><b>Taulukko 4.</b></i>	<i>Haastattelusuunnitelman perustiedot.....</i>	<i>61</i>
<i><b>Taulukko 5.</b></i>	<i>1. tuotetyypin tuotantoprosessin päävaiheet, kuvaukset ja resurssit... 111</i>	
<i><b>Taulukko 6.</b></i>	<i>2. tuotetyypin tuotantoprosessin päävaiheet, kuvaukset ja resurssit... 112</i>	
<i><b>Taulukko 7.</b></i>	<i>Tuotannonsuunnittelun rajoitteet .....</i>	<i>114</i>



## LYHENTEET JA MERKINNÄT

AML	Automation Markup Language
APS	Advanced Planning and Scheduling
ATP	Available-To-Promise
B2MML	Business to Manufacturing Markup Language
BOM	Bill Of Materials
CAD	Computer-Aided Desing
CAE	Computer-Aided Engineering
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CPM	Core Product Model
EAM	Enterprise Asset Management
ERP	Enterprise Resource Planning
ISA	International Society of Automation
ISO	International Organization for Standardization
KPI	Key Performance Indicator
MES	Manufacturing Execution System
MESA	Manufacturing Execution Solutions Association
MOMS	Manufacturing Operations Management System
MPIMM	Manufacturing Process Information Metamodel
NIST	National Institution of Standards and Technology
OEM	Original Equipment Manufacturer
OWL	Web Ontology Language
PDM	Product Data Management
PERA	Purdue Enterprise Reference Architecture
PLM	Product Lifecycle Management
PSL	Process Specification Language
RMS	Reconfigurable Manufacturing System
SISO	Simulation Interoperability Standards Organization
SOA	Service Oriented Architecture
SQL	Structures Query Language
STEP	STandard for the Exchange of Product data
TTY	Tampereen teknillinen yliopisto
UML	Unified Modeling Language
VDI	Verein Deutche Ingenieure)
XML	eXtensible Markup Language

Työssä on käytetty *kursiivia* korostamaan tekstistä lähteisiin ja kuviin viittaavia erisnimiä käsiteltyjä englanninkielisiä nimikkeitä ja termejä.

# 1. JOHDANTO

Koko valmistava teollisuus käy läpi voimakasta muutosta, joka vaikuttaa tuotantotoiminnan suorituskyvyn vaatimuksiin ja samat muutostrendit on havaittavissa käytännössä monin tavoin tämän työn teettävässä yrityksessä. Muutostekijöitä on paljon. Tuotannon digitalisaatio on jo pitkään jatkunut megatrendi, joka joidenkin tulkintojen mukaan on siirtymässä jo uuteen muutosaaltoon älykkäiden laitteiden, sulautettujen järjestelmien ja internet-teknologiaan perustuvan kommunikaation tarjoamien mahdollisuuksien myötä [1]. Markkinoiden vaatimukset tuotteille muuttuvat kohti yksilöllisemmin määriteltäviä tuotteita ja älykkäitä ratkaisuja, jotka käsittävät erilaisia palveluita läpi koko tuotteen elinkaaren, esimerkiksi tuotetietojen keruun ja analysoinnin muodossa [2]. Tuotannossa vaatimukset näkyvät esimerkiksi lyhyempinä tuotantosarjoina, kasvavana tuotevarianttien määränä ja nopeina tuotantosuunnitelma muutoksina [3].

Tässä diplomityössä tehdään esiselvitystutkimus tuotannon resurssitietojärjestelmän kehitystä varten. Pää tavoitteena on kerätä taustatietoa järjestelmään tulevan tiedon sisällöstä, rakenteesta ja käytöstä.

Työ tehtiin suomalaiselle, kansainvälisillä markkinoilla toimivalle kappaletavarateollisuuden yritykselle, joka on osa alalla toimivaa konsernia. Yrityksen oma tuotanto toimii Suomen tehtaassa ja konsernilla on tuotantotoimintaa myös ulkomailla. Kohdeyrityksen tuotanto keskittyy alan ammatti- ja erikoisasiakkaiden tarpeita palveleviin erikoistuotteisiin, joita myydään yksityismarkkinoille, ammattikäyttöön ja Original Equipment Manufacturing-asiakkaille (OEM). Yrityksen tuotantoa ja toimintaa määrittelee pääosin make-to-order-tyyppinen toimintamalli, joka asettaa kovia vaatimuksia tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen suorituskyvylle. Työn aikana työskenneltiin yrityksen tuotannon yhteydessä.

Yrityksellä on sekä itsenäisenä toimijana, että osana konsernin projekteja vahva historia tuotannon tietojärjestelmien kehityksestä ja käytöstä. Yrityksen haastava tuotantomalli ja toimintatapa ovat vaatineet tietojärjestelmien tukemaa suunnittelua ja ohjausta jo jonkin aikaa. Tähän työhön liittyvä tietojärjestelmäprojekti pyrkii korvaamaan vastaavan jo olemassa olevan järjestelmän. Yrityksen tuotannossa on käynnissä useita tuotannon tietojärjestelmäprojekteja. Työhön liittyvän tietojärjestelmän uusiminen on tullut ajankoh- taiseksi useasta syystä. Nykyinen järjestelmä on teknisesti elinkaarensa päässä ja järjestelmäratkaisun vanhan teknisen ohjelmistoalustan kehittämistä ei nähdä kannattavana. Järjestelmään integroitu tuotannosuunnittelujärjestelmä vaihdettiin, osittain samoista syistä, mikä on asettanut kehityspaineita myös resurssitietojärjestelmälle. Yrityksen tuotannon kehitys ja tuotantokaluston automatisaatio on muuttanut yrityksen tuotantoprosessia, prosessin ohjauspisteitä ja tuotannosuunnittelun rajoitteita. Resurssitietojärjestel-

mältä vaaditaan uudentyyppisten resurssien hallintakykyä. Tuotannon kehityksen kiihtyminen ja automaatioasteen kasvu ennustavat kasvavaa tarvetta muuttaa ja laajentaa järjestelmässä hallittavaa tietoa järjestelmän elinkaaren aikana.

## 1.1 Tavoitteet

Työlle asetettiin tavoitteet, jotka ohjaavat tutkimuksen suunnittelua ja toteutusta, sekä kuvastavat työltä tavoiteltavaa hyötyä ja takaisinmaksun tekijöitä. Tässä kappaleessa on esitelty työn päätavoitteita.

Työ on osa laajempaa tuotannosuunnittelun ja siihen liittyvien tietojen hallinnan kehitystä, jolla parannetaan tuotannon hienokuormituksen tarkkuutta, kattavuutta ja luotettavuutta. Tietojärjestelmien kehittäminen ja uusiminen on osa kehitysprosessia. Työn päätavoitteeksi asetettiin esiselvityksen tekeminen nykyisen resurssitietojärjestelmän mahdollisesti korvaavan järjestelmän kehitystä varten. Tarkemmiksi tavoitteiksi määritettiin nykyisen järjestelmän käytön ja tietojen kartoitus. Kerätystä tiedosta pyritään muodostamaan tulevaan järjestelmään tarvittava informaatiomalli, jota voidaan käyttää järjestelmän jatkokehityksen lähtökohtana. Tavoiteltuja konkreettisia lopputuloksia ovat tulevan järjestelmän sisältämän keskeisen tiedon informaatiomalli, sekä nykyisen resurssitietojärjestelmän käyttöön liittyvän tiedonkulkuprosessin kuvaus.

Edellä kuvattuja tavoitteita voidaan pitää työn strategiana, josta on johdettava tarkemmat osatavoitteet ja suunniteltava tutkimuksen kulku sekä tutkimusmenetelmien käyttö. Työstä saatava hyöty perustuu tietojärjestelmän kehitysprojektin esiselvitysosuuden toteuttamiseen. Myöhemmin kirjallisuuskatsauksessa esiteltävää Hevnerin et. al. [4] tietojärjestelmätutkimuksen viitekehystä mukaillen, onnistuneen informaatiojärjestelmätutkimuksen edellytyksiä ovat tiedonhankinta sekä sovellusalueelta, joka määrittelee järjestelmän tarpeet ja rajoitteet, että mahdollisista teknisistä ratkaisuista ja prosesseista.

Esiselvityksessä hankitaan kehitykseen tarvittavat taustatiedot [4]. Tieto tulee dokumentoida käyttökelpoiseen ja tarkoituksenmukaiseen muotoon, jotta sitä voidaan hyödyntää [4]. Näin ollen työn tarkempia konkreettisia tavoitteita ovat tietojärjestelmän kehitykseen tarvittavien taustatietojen hankinta, dokumentaatio ja jalostaminen. Tutkimuksen tulee kattaa tutkimuksen rajaukset huomioiden järjestelmätutkimukseen tarvittavat taustatietoalueet. Kerätty tieto tulee dokumentoida käyttökelpoiseen muotoon. Tietoja käyttämällä ja tulkitsemalla tulee muodostaa lisää tietoa järjestelmään tarvittavasta informaatiomallista ja toiminnoista.

Tutkimuksen rajaukset on esitelty kappaleessa 1.3. Rajaukset on huomioitava, kun työtä arvioidaan tietojärjestelmäkehityksen esiselvityksenä. Rajauksista johtuen joitakin tyyppilliseen esiselvitykseen mahdollisesti kuuluvia aiheita ei ole käsitelty työssä.

## 1.2 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne

Tässä kappaleessa esitellään tutkimuksen rakenne ja tutkimusprosessin vaiheet menettelyineen. Tutkimusprosessin suunnittelussa ja kehittämisessä käytetty tausta- ja teoretieto on esitelty tarkemmin kappaleessa 2.2.

Tutkimuksessa on kolme pääosaa, joiden tavoitteet ja tutkimuskohteet noudattavat pääosin kappaleessa 2.2 esiteltyä tutkimusviitekehystä. Ensimmäisessä osassa kartoitetaan kirjallisuudesta, enimmäkseen alan standardeista, oppikirjoista ja tutkimusraporteista, löytyviä ratkaisuja, taustatietoja ja esimerkkejä. Kirjallisuuskatsauksen aiheet käsittelevät varsinaisen tutkimusaiheen, informaation rakenteen ja mallinnuksen, lisäksi tutkimusmenetelmiä ja tutkimuksen sovellusalueita eli tuotannon tietojärjestelmiä.

Toisessa tutkimusosassa kartoitetaan lähtötietoja tutkimuksen sovellusalueesta sovelttavan tutkimuksen keinoin. Tutkimus kohdistuu yrityksen nykyisiin tietojärjestelmiin ja niiden käyttöprosesseihin. Järjestelmiin liittyviä tuotantoprosesseja ei mallinneta täydellisesti, mutta ne esitellään yleisellä tasolla. Tuotantoprosesseista on hankittu tietoa havainnoimalla ja muissa työtehtävissä. Vaiheen tavoitteena on kerätä riittävät lähtötiedot ja ymmärrys tutkimuksen kohdealueesta, menetelmistä ja tavoitellusta lopputuloksesta.

Kolmas osa on tietoa soveltava vaihe, jossa muodostetaan informaatiomalli kerättyjen lähtötietojen ja osaamisen tukemana. Soveltavaan tutkimukseen kuuluvat myös tutkimustulosten ja menetelmien arviointi.

Työssä käytettyihin tutkimusmenetelmiin kuuluvat kirjallisuustutkimus, haastattelututkimus, järjestelmäanalyysi ja informaatiomallinnus. Näistä viimeinen pyrkii tuottamaan varsinaisen tavoitellun lopputuotoksen, eli informaatiomallin. Mallia, sen sovellettavuutta, laatua ja käyttökelpoisuutta arvioidaan mallin kehittämisen jälkeen. Mallin kehittäminen itsessään sisältää jo paljon itsearviota, skeptistä tarkastelua ja vertailua kirjallisuustutkimuksessa kerättyyn tietoon, joten prosessi sisältää iteraatiota itsessään. Erillisessä arvioinnissa pyritään arvioimaan lopullisen mallin onnistumista sekä tutkimusmenetelmiä. Tutkimusmenetelmät kuuluvat kvalitatiivisen tutkimuksen piiriin, eli ne perustuvat ilmiöiden havainnointiin ja arviointiin [5]. Kvantitatiiviseen tutkimukseen, esimerkiksi mittaamiseen, verrattuna kvalitatiivisen tutkimuksen suunnittelu on epämääräisempää, mutta tästä huolimatta käytettyjen tutkimusmenetelmien käytössä ja soveltamisessa on tehtävä perusteltuja ratkaisuja [5]. Erityisesti haastattelututkimuksen suunnittelua on pyritty taustoittamaan työn kirjallisuuskatsauksessa.

Varsinaisten tutkimusvaiheiden jälkeen esitetään johtopäätöksiä tuloksista, tutkimusprosessista ja menetelmistä. Koko työtä pyritään arvioimaan kokonaisuutena. Tähän kuuluu työn ja tutkimuksen tuottaman hyödyn arviointi.

### 1.2.1 Työn rakenne ja sisältö

Kappaleessa on käyty läpi työn rakenne pääotsikkotasolla sekä pääkappaleiden keskeinen sisältö.

Johdantokappaleessa 1 määritellään työn tausta, tavoitteet sekä esitellään käytetyt tutkimusmenetelmät. Kappale 2 sisältää kirjallisuuskatsauksen, eli työn kirjallisuustutkimusosuuden tulokset. Kirjallisuuskatsauksella taustoitetaan työssä käytettyjä alan kirjallisuudesta, standardeista ja tutkimusraporteista kerättyjä konsepteja, tietoja ja malleja. Lisäksi kirjallisuuskatsauksella taustoitetaan työn keskeisiä tietojärjestelmäkonsepteja ja tutkimuksen suunnitteluperiaatteita. Kappaleessa 3 esitellään työn soveltavan tutkimuksen läpivienti ja esitellään tutkimuksen tulokset. Kappale 4 keskittyy tulosten perusteella kehitettävän informaatiomallin osien kehittämiseen ja tietovirtaprosessin kuvaukseen. Kappaleessa 5 esitellään tutkimuksen perusteella tehdyt keskeiset johtopäätökset, tunnistetut kehityskohteet ja kehitysmahdollisuudet sekä arvioidaan työn tuloksia suhteessa asetettuihin tavoitteisiin. Kappaleessa 6 on arvioitu lyhyesti työssä tehtyä tutkimusta tulosten laadun suhteen sekä pohdittu valittujen tutkimusmenetelmien soveltuvuutta tutkimukseen.

### 1.3 Tutkimuksen rajaus

Seuraavassa on pyritty selventämään työn sisältämän tutkimuksen rajauksia sen suhteen, mitä on haluttu tutkia ja käsitellä. Joitakin aihealueita on jätetty tietoisesti työn ulkopuolelle. Rajaukset on tehty työn laajuuden rajoittamiseksi. Rajauksissa on huomioitava, että työn taustalla on tuotantotekninen näkökulma.

Suurin yksittäisen tutkimus- ja sovellusalue, joka on päätetty jättää työn ulkopuolelle, on ohjelmistotekniikka. Tutkimusta tehtäessä on tiedostettu se, että lopputuloksen on tarkoitus tukea tietojärjestelmän kehitysprosessia. Kuten kirjallisuustutkimuksessa tullaan myöhemmin toteamaan, prosessiin kuuluu olennaisesti sovellusten ja teknisten ratkaisujen tutkiminen ja taustoittaminen. Nämä ovat prosessivaiheita, jotka eivät kuulu työhön, vaan työ keskittyy kehitysprosessin taustoittavaan ja valmistelemaan vaiheeseen. Lisäksi ohjelmistotekniikan tuloksellinen tutkiminen ja sovellusten analysointi vaatisi huomattavaa tietotaitoa ja taustaa kyseiseltä alalta, jota työn tekijä ei tunnusta omaavansa. Kehitysprosessin ohjelmistotekniset osat on lopputuloksen kannalta tuottavampaa jättää alan asiantuntijoiden vastuulle. Ohjelmistotekniikka-termin alle katsotaan tässä kuuluvan ohjelmointi, käyttöliittymät, tietokantarakenteet ja tiedonsiirtoprotokollat. Rajauksia on tarkennettu tarvittaessa myöhemmin työraportissa.

Tutkimus ja sen tuloksena tuotettava informaatiomalli on tehty tuotannon kehityksen intressien ja vaatimusten näkökulmasta. Tuleva järjestelmä palvelee tuotannon tarpeita. Sen taustoittaminen vaatii syvällistä ymmärrystä tuotantoprosessista ja sitä tukevista suunnittelu- ja ohjausprosesseista. Edellä mainittuun ohjelmistotekniikan ratkaisujen tutkimiseen

ja kehittämiseen tarvitaan lähtötietoina syvällistä tietoa tuotannosta ja tämä työ pyrkii palvelemaan tietotarvetta. Työtä hahmoteltaessa on pohdittu kehitysprojektiin tarvittavan henkilöstön osaamista ja taustaa. Tässä yhteydessä on päädytty painottamaan projektin alkuvaiheessa tuotannon tarpeiden syvällisempää analysointia ja tutkimaan aihetta tuotantotekniikan taustalla olevan henkilön näkökulmasta, ohjelmistotekniikan sijaan.

## 2. KIRJALLISUUSKATSAUS

Kirjallisuustutkimuksessa etsitään taustatietoa soveltavan tutkimuksen tueksi, sekä vastauksia kirjallisuustutkimuksen tutkimuskysymyksiin. Lähteinä on käytetty aiheita käsittelevää kirjallisuutta, oppimateriaaleja, standardidokumentteja, opinnäytetöitä sekä tutkimus- ja konferenssiartikkeleita.

Luvun rakenne ja sisältö on seuraava. Kappaleessa 2.1 esitellään kirjallisuustutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset. Kappale 2.2 esittelee informaatiojärjestelmien tutkimuksen yleisiä käytäntöjä ja periaatteita. Kappaleessa 2.3 käydään lyhyesti läpi työn kannalta oleellisten tuotannon tietojärjestelmien käsittelemä tieto ja toimintaperiaate. Kappaleessa 2.4 esitellään tuotannon informaatorakenteita käsitteleviä standardeja sekä tutkitaan standardien soveltamista tutkimuksessa. Kappaleessa 2.5 käsitellään tuotannon informaatiomalleja kehittäneiden tutkimusprojektien tuloksia. Kappaleessa 2.6 on kerätty kirjallisuudesta löydettyjä huomioita ja hyviä käytäntöjä informaatiomallien kehittämisessä. Kappaleessa 2.7 selvitetään haastattelututkimuksen suunnittelun periaatteita. Kappaleessa 2.8 on yhteenveto kirjallisuustutkimuksen tuloksista.

### 2.1 Kirjallisuustutkimuksen tutkimuskysymykset

Työn kirjallisuustutkimuksessa on kaksi selkeää päätutkimusaluetta. Ensimmäinen aihe on tutkimusmenetelmät ja käytännöt, johon liittyen kirjallisuudesta selvitetään informaatiojärjestelmien ja informaatorakenteiden tutkimuksen menetelmiä ja käytäntöjä. Tavoitteena on tunnistaa tutkimuksen tueksi alan vakiintuneet käytännöt, yleisimmät haasteet ja toimivaksi todetut tutkimusprosessit. Tutkimusmenetelmiin liittyen selvitetään haastattelututkimuksen suunnittelun hyviä käytäntöjä työn soveltavassa osuudessa tehtävää haastattelututkimusta varten.

Toinen päätutkimusalue on standardeihin ja tutkimusprojekteihin kehitetyt tuotteita, tuotantoprosesseja ja tuotannon resursseja kuvaavat informaatiomallit ja niiden kehittäminen. Tavoitteena on kartoittaa relevanttien standardien tarjoamat informaatiomallit ja tunnistaa niistä mahdollisesti työhön sovellettavissa olevia rakenteita. Varsinaisen diplomityön tekoa edelsi nopea, epäformaali selvitys aihepiiristä ja tutkimusalueesta, jonka perusteella tehtiin jo jotain olettamuksia työssä tehtävän tutkimuksen suunnasta. Yksi muodostunut oletushypoteesi oli, että standardeista ei löydy sellaisenaan valmista työhön sopivaa informaatiomallia. Standardeista tarkastellaan niiden tavoitteet ja informaatiomallien perusrakenteet. Mallien yksityiskohtainen järjestelmällinen vertailu ei palvele tämän työn tavoitteita. Tuotannon informaatiomalleja kehittävien tutkimusprojektien tuloksissa tarkastellaan standardien tapaan mallien tavoitteita ja rakennekonsepteja. Tutkimuksissa

käytettyjä tiedon formalisointimenetelmiä ja huomioita kehitysprosessista on myös syytä tarkastella.

Yleisimpien tuotannon tietojärjestelmätyyppien tehtävät ja ominaisuudet on selvitettävä standardien tulkinnan helpottamiseksi sekä soveltavassa osuudessa tehtävän järjestelmä-tutkimuksen tueksi. Työn tutkimus keskittyy tuotannon operatiivisten suunnittelu- ja ohjausjärjestelmien tasolle ja työn pohjalta kehitettävä järjestelmä asettuu näiden järjestelmien yhteyteen. Yleisten järjestelmätyyppien esittely on siksi perusteltua.

## 2.2 Informaatiojärjestelmätutkimus

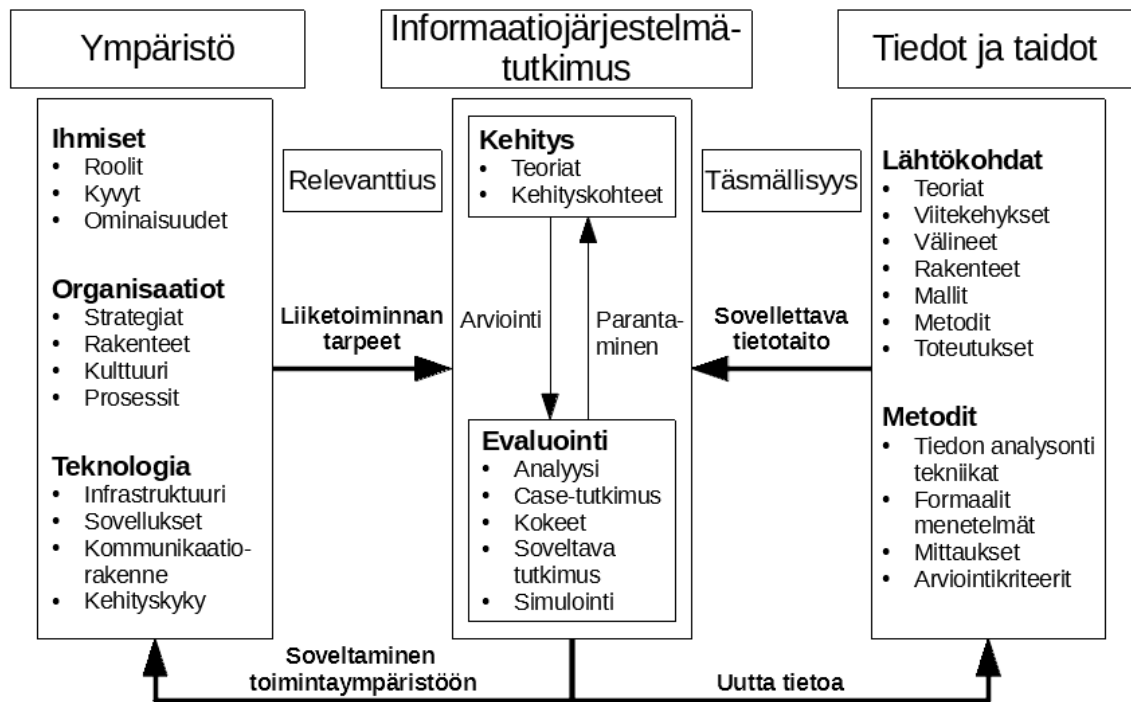
Työ on osa tietojärjestelmän kehitysprosessin alkuvaihetta, joten järjestelmäkehityksen tunnettuja prosesseja on syytä tarkastella. Tässä kappaleessa esitellään muutamia informaatiojärjestelmien kehitysprosesseja ja -menetelmiä koskevia huomioita ja käytäntöjä. Tavoitteena on tunnistaa työ ja sen tulokset osana suurempaa järjestelmän kehitysprosessia ja suunnitella tutkimusta tukemaan kokonaisprosessin tavoitteiden saavuttamista. Tutkimuksen kannalta järjestelmän kehittämisen lisäksi kehitysprosessin arviointi on hyödyllistä. Tietojärjestelmäratkaisut ovat tyypillisesti yhdistelmä tietorakenteita, malleja, metodeja sekä teknisiä toteutuksia [4]. Tässä kappaleessa keskitytään mainituista kahteen ensimmäiseen.

Rittel ja Webber [6] korostavat kehitys- ja suunnittelututkimuksen lähtökohtien alkuselivitystä prosessin ratkaisevana osana. Prosessin alussa on tehtävä riittävän kattava ja huolellinen lähtötilakartoitus ja määriteltävä varsinainen tutkimusongelma. Ongelman määrittelyssä on pyrittävä löytämään niin sanottu ydinongelma, joka on varsinainen juurisyy järjestelmällä ratkaistavaan ongelmaan. Rittel ja Webber [6] toteavat, että usein ydinongelman määrittelyprosessi johtaa luonnollisesti ongelman ratkaisuun. Ongelman formuloinnin ja ratkaisun etsimisen prosessit ovat lähes identtiset.

Edellä mainittuun tapaan Chandrasekaran et al. [7] sijoittavat järjestelmän sovellusalueen tietojen ja tietorakenteiden analysoinnin ja formalisoinnin ensimmäiseksi kehitysprosessissa. Järjestelmän käyttötarkoitus ja tavoitteet on mallinnettava konkreettisina tarpeina ja prosessimaisena mallina, josta käy ilmi tiedonkäyttövaiheiden käyttämä ja tuottama tieto sekä tiedonkäsittely. Analyysin tulee tuottaa tiedon rakennetta ja konsepteja, eli semantiikkaa, kuvaava malli. Rittelin ja Webberin [6] tavoin myös Chandrasekaran et al. [7] korostavat ensimmäisen vaiheen tärkeyttä koko prosessin onnistumisen kannalta. Huonosti tai vajavaisesti suoritettu analyysi ja mallinnus voi johtaa epä johdonmukaisiin tietokantarakenteisiin ja vaikeuttaa järjestelmän käyttöä [7].

Hevner et al. [4] esittelevät informaatiojärjestelmätutkimukselle viitekehysten, joka sisältää tutkimuksen keskeiset lähtökohdat ja vaikuttajat. Viitekehys on suomennettuna kuvassa 1.





**Kuva 1.** Informaatiojärjestelmien tutkimuksen viitekehys, muokattu [4]

Viitekehys määrittelee tutkimusprosessin perusteet, joiden avulla tuottava tutkimus voidaan suunnitella. Periaate on yksinkertainen ja painottaa muiden kappaleessa mainittujen lähteiden tavoin tutkimuslähtökohtien ja taustatietojen etsimistä ja analysointia. Tutkimusprosessi, joka koostuu lopputuotosten kehittämisen ja evaluoinnin iteratiivisesta kierrosta, voidaan toteuttaa vain kohdeympäristöstä sekä tausta- ja teorian tiedoista hankituilla resursseilla. [4] Tutkimusviitekehysten tueksi Hevner et al. [4] tarjoavat tutkimuksen yleisiä ohjeita. Ohjeet ja niiden selitteet ovat taulukossa 1.

**Taulukko 1. Informaatiojärjestelmien tutkimuksen ohjeet [4]**

1	Tutkimuksen on tuotettava käyttökelpoinen lopputuote, joka voi olla rakenne, malli, metodi tai toteutus
2	Tutkimuksen tavoite on kehittää teknologiaan perustuva ratkaisu liiketoiminnan kannalta tärkeään ja oleelliseen ongelmaan
3	Lopputuotoksen käytettävyys, laatu ja tehokkuus on osoitettava hyvin toteutetuilla arviointikeinoilla
4	Tehokkaan tutkimuksen on tuotettava selkeää ja todennettavissa olevaa tietoa tai sisältöä lopputuotosten, lähtökohtien tai metodien suunnittelun alalle.
5	Tutkimus tukeutuu täsmällisten ja tarkkojen metodien hyödyntämiseen sekä lopputuotteen tuottamisessa, että arvioinnissa
6	Hyödyllisen ratkaisun etsintä edellyttää käytettävissä olevien keinojen käyttöä tutkimusympäristön lainalaisuuksia noudattaen
7	Tutkimus on esitettävä tarkoituksenmukaisesti sekä teknologiaan, että hallintoon suuntautuneille yleisöille

Viitekehystä ja ohjeita on tarkoitus käyttää tässä työssä tutkimuksen organisoinnin ja työtehtävien priorisoinnin, sekä tutkimuksen arvioinnin apuvälineinä. Onnistuneesta ja tuloksellisesta tutkimusprosessista tulisi löytyä ohjeiden tunnusmerkistön piirteitä. Tutkimuksen onnistumista analysoidaan tarkemmin työn lopussa.

Ter Hofstede ja Proper [8] ovat keskittyneet tutkimuksessaan tiedon formalisointiprosessiin, joka liittyy voimakkaasti edellä mainittuun järjestelmäkehityksen prosessiin. Formalisointiprosessi [8] voidaan tulkita osaksi aiemmin esitellyn kehitysprosessin ensimmäistä vaihetta. Informaation formalisointia on esitelty tarkemmin kappaleessa 2.6.

Ydinongelman onnistuneesta määrittelystä huolimatta kehitysprosessin jatkovaiheessa on arvioitava muodostettuja malleja ja tavoitteita jatkuvasti järjestelmäkehityksen edetessä ja uuden tiedon kertyessä. Järjestelmäkehitykselle on tyypillistä, että järjestelmälle asetetut tarpeet ja vaatimukset eivät pysy vakioina, vaan muuttuvat ympäröivän systeemin mukana. Esimerkiksi organisaatiomuutokset voivat vaikuttaa välillisesti vaatimuksiin. Rittel ja Webber [6] nimeävät epästabiilisti määriteltävät ongelmat termillä ”*wicked problem*”. Muuttuvan ympäristön ja prosessin lisäksi Rittel ja Webber [6] mainitsevat prosessiin osallistuvien kehittäjien kekseliäisyyden ja luovuuden yhtenä muutosvaikuttajana.

Systemaattisten ja vakioitujen kehitysprosessiviitekehysten soveltamisessa on osattava arvioida prosessin sopivuus sovellustapaukseen. Systemaattiseen kehitysprosessiin ei ole yhtä yleisesti tunnettua ja testattua konseptia. Chandrasekaran et al. [7] mainitsevat, että järjestelmätutkimusta ja kehitysprosesseja on tutkittu huomattavasti vähemmän varsinkin

käyttäytymistieteiden näkökulmasta, kuin vastaavasti teknisten toteutusten ja ratkaisujen kehitystä. Systemaattisen prosessikonseptin ehdotonta noudattamista kehitysprojekteissa on myös kritisoitu. Hevner et al. [4] toteavat, että kehityskonseptin ydinkohdat tulisi tunnistaa osana kehitystä ja toimintaa, mutta luovuudelle ja innovatiivisuudelle tulisi jättää riittävästi tilaa. Yhtenä syynä mainitaan se, että huolimatta huolellisesta analyysistä ja tutkimuksesta, kehityksen lähtötiedot ovat usein riittämättömät sellaisenaan saavuttamaan kehitystavoitteita, mikä lisää suunnittelijoiden innovaatioiden, kokemuksen ja kokeilujen vaikutusta lopputulokseen. Nämä tekijät on hyväksyttävä osaksi kehitysprosessia. [4]

## 2.3 Tuotannon tietojärjestelmät

Tämän työn tulosten avulla on tarkoitus kehittää tietojärjestelmä, joka toimii tietovarastona ja yhteisenä integraationa mahdollisesti useiden tuotannon tietojärjestelmien kesken. Järjestelmän integroiminen useiden eri järjestelmien kanssa lisää järjestelmäkehityksen potentiaalista työmäärää, koska erilaisia toimintamalleja, tietomalleja ja rajapintaratkaisuja on erilaisia [9]. Tuotannonhallinnan Manufacturing Operations Management Systems-järjestelmien (MOMS) suorituskyvyn parantaminen ja edistyksellinen käyttö ovat joustavan ja jatkuvasti muutoksiin mukautuvan tuotantojärjestelmäkokonaisuuden edellytyksiä [10].

Näille järjestelmille on vaikeaa tunnistaa yhteisiä vakioituneita informaation rakennekonsepteja, sillä valmistajakohtaisia lähestymistapoja on paljon. Työn tavoitteiden kannalta järjestelmistä on hyödyllistä tunnistaa tyypilliset tehtävät ja käytetyt perustiedot sekä niiden vastaanottama ja tuottama tieto. Työn soveltavan osuuden kannalta on tärkeää tunnistaa eri järjestelmien roolit ja tehtävät järjestelmäjoukossa. Niiden perusteella voidaan tunnistaa mahdolliset integraatorajapintatarpeet, kun uusi järjestelmä sijoitetaan muiden järjestelmien joukkoon. Toisaalta on tiedettävä muiden järjestelmien tehtävät mahdollisten päällekkäisyyksien huomioimiseksi. Seuraavissa kappaleissa on käsitelty yleisimmät tuotannon tietojärjestelmätyypit.

### 2.3.1 Enterprise Resource Planning

Enterprise Resource Planning (ERP) on yrityksen liiketoiminnanohjauksen ylätasoinen tietojärjestelmä. Sen tehtävä on yhdistää liiketoimintaorganisaation kaikki osat sekä toimintusketjun oleelliset osat yhden tietokannan ja järjestelmän alle, jotta tietoa voidaan ylläpitää, jakaa ja hyödyntää keskitetysti. Järjestelmän ydintarkoitus on tuottaa oikeaa ja päivitettyä dataa oikeasta paikasta päätöksenteon tueksi. [11]

Tyypillinen ERP-järjestelmä koostuu joukosta moduuleita, jotka on integroitu keskenään. Järjestelmään tuotava tieto päivittyy siis samanaikaisesti kaikkien moduulien käytettäväksi. Yleensä moduulit edustavat jotain liiketoiminnan hallinnan prosessia tai tehtävää. Tavallisimpia ERP-moduuleja ovat esimerkiksi [11]

- Ostot ja hankinnat
- Varastonhallinta
- Tuotannon- tai palvelusuunnittelu
- Toimitusketjunhallinta
- Myynti ja markkinointi
- Yrityksen taloudenhallinta
- Henkilöstönhallinta
- Asiakkuuksien hallinta

Keskeisen roolinsa myötävaikutuksesta ERP-järjestelmä toimii monesti master-tietokantana monille tiedoille, joita käytetään muissa yrityksen tietojärjestelmissä. Siksi ERP-järjestelmä voi olla tarpeellista integroida muihin järjestelmiin. Vastaavasti ERP-järjestelmään voidaan tuoda tietoa muista järjestelmistä. Esimerkiksi tuotannosuunnittelu- ja -ohjausjärjestelmistä voidaan tuoda tuotannon valmistumistietoa liittyen tuotantotilauksiin. ERP on usein yrityksen laajin yksittäinen tietojärjestelmä ja siksi muita tuotannon järjestelmiä suunniteltaessa ERP:n mahdollisesti järjestelmään asettamat ehdot ja rajoitteet on otettava huomioon hyvissä ajoin. ERP:n laajuus tekee siitä usein myös heikosti laajennettavan ja muokattavan, koska esimerkiksi tietorakenteiden muokkaaminen vaikuttaa useisiin eri moduuleihin. Jos järjestelmä integroidaan ERP:in laajasti, on myös tietorakenteiden suunnittelussa tehtävä tarvittava vertailu järjestelmien välillä mahdollisten ristiriitojen poissulkemiseksi. [11]

ERP-järjestelmää vertailtaessa erityisesti muihin tuotannon hallintaan ja ohjaukseen suoraan tai välillisesti liittyviin tietojärjestelmiin on huomioitava järjestelmien käyttämät aikaskaalat. ERP-järjestelmän toiminnan tasolla aikayksikkönä käytetään yleensä vuoro-kausia ja sitä suurempia dimensioita [12], mitkä sopivat talouden ja liiketoiminnan hallinnan tarpeisiin, mutta eivät välttämättä sovellu tarkempaan tuotannosuunnitteluun tai -ohjaukseen [13]. Järjestelmätasojen tyypilliset aikaskaalat on esitetty myöhemmin kappaleessa 2.4.1.

### 2.3.2 Manufacturing Execution System

Manufacturing Execution System-järjestelmä (MES) on tietojärjestelmä joka vastaa tuotannon ohjauksesta. MES-konseptia on määritelty jo 1980-luvulta alkaen. Määrittelyjä ja standardeja on nykyisin useita, joista tunnetuimpia ovat MESA:n (Manufacturing Execution Solutions Association) määrittely tuotannonohjauksen keskeisistä funktioista, vastaava saksalaisen VDI:n VDI 5600 (Verein Deutche Ingenieure) ja ISA95-standardikonaisuus. [2] ja [14] lisäävät tunnettujen määritysten listalle vielä NAMUR:n (User Association of Automation Technology in Process Industries) työryhmän WG 2.4 MES-määrittelyn [15]. Taulukkoon 2 on koottu kolmen tunnetun määrittelyn MES:lle asettamat funktiot. Funktioiden nimeämiskäytännöissä on tapauskohtaisia eroja ja taulukon funktiot ovat suomennettuja yleistermejä, jotka on valittu määrittelyjen käyttämien nimien ja kuvausten perusteella.

**Taulukko 2.** MES-funktiot eri määrittelyissä

FUNKTIO	MESA [2]	VDI 5600 [2]	ISA95 MOM activity model [12]
Tuotannon hienokuormitus	X	X	X
Resurssien hallinta	X	X	X
Tiedonkeruu	X	X	X
Suorituskykyanalyysi	X	X	X
Jäljitettävyys	X		X
Materiaalinhallinta	X	X	
Tilausten hallinta	X		X
Prosessinhallinta	X		X
Laadun hallinta	X		
Kunnossapidon hallinta	X		
Dokumenttien hallinta	X		
Resurssien statusten valvonta	X		
Rajapintojen hallinta		X	
Henkilöstön hallinta		X	
Prosessimäärittelysten hallinta			X

Taulukosta käy ilmi eri määrittelysien erot ja samankaltaisuudet. ISA95:n osalta taulukossa on käytetty standardissa määritettyä generistä toimintamallia *Generic activity model of manufacturing operations management* [12]. Standardissa on määritelty generisestä mallista myös erikseen esimerkiksi tuotantotoiminnan funktiomalli. Taulukosta voidaan todeta, että määrittelysien välisiä eroja on lähinnä siinä, miten laajalle toiminnan alueelle MES:iin kuuluvat funktiot sijoittuvat. ISA95-malli on näistä generisin, mutta keskittyy rajatuimmin tuotannon toimintaan. MESA:n määrittelys laajenee tuotannon lisäksi tuki- ja palvelutoimintojen, kuten kunnossapidon, hallintaan.

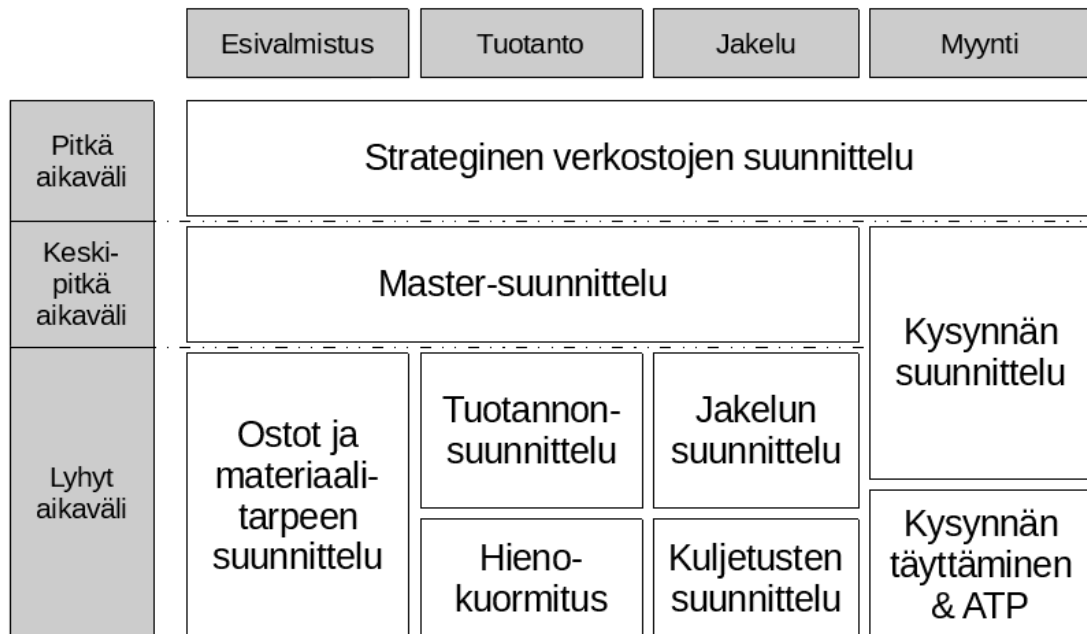
Määrittelysistä tai tehtävästä riippumatta MES:n toiminnassa korostuu reaaliaikainen vuorovaikutus tuotannon kanssa. MES:n tehtävien tärkeys ja painotus voi vaihdella toimialakohtaisesti paljon, eikä yksittäistä määrittelysistä voida pitää oikeana kaikille tuotannon aloille [14]. Esimerkiksi Kletti [2] muotoilee MES:n ydintehtäväksi tuotannon tehtävien tukemisen tiedolla, joka on saatavilla oikeassa paikassa ja oikeaan aikaan. Reaaliaikaisuus korostuu tuotantoympäristössä, jossa tehtävät ovat vuorovaikutuksessa keskenään ja tuottavat tietoa, jota toiset tehtävät tarvitsevat. MES:n funktio on olla tehtävien kesken yhteisenä tiedonkulkualustana.

Taulukon funktioille on mainituissa standardeissa ja määrittelysissä tarkemmat kuvaukset, mutta tämän työn kannalta niitä ei ole tarpeellista vertailla tarkemmin. Oleellista on tunnistaa MES-järjestelmän rooli ja asema tuotannon eri järjestelmien joukossa.

### 2.3.3 Advanced Planning and Scheduling

Jotkin määrittelyt ja standardit liittävät tuotannon hienokuormituksen suunnittelun osaksi MES-järjestelmien tehtäviä [2]. Riippuen yrityksen tarpeista ja toimintatavasta, tuotannosuunnittelu voi olla toteutettavissa myös ERP-järjestelmän tarjoamalla ratkaisulla [11]. ERP-järjestelmien tuotannosuunnitteluun tarkoitettujen toiminnallisuudet lukeutuvat kuitenkin useimmiten karkean kuormituksen toiminnallisuuksiin. Tuotannosuunnitteluun on tarjolla erillisiä hienokuormitusjärjestelmiä, joilla suunnitelmaa voidaan tehdä tarkasti työvaihetasolla ja minuuttien tarkkuudella. Näistä järjestelmistä käytetään yleisnimitystä Advanced Planning & Scheduling (APS). [2]

APS-järjestelmien tehtävien, roolien ja rajapintojen määrittelyyn vaikuttaa voimakkaasti se, mitä toimintaa on tarkoitus suunnitella. Esimerkiksi MES-järjestelmän rooli on määritelty tuotantotoiminnan tukemiseen ja hallintaan, mutta APS-järjestelmän tehtävä voi olla tuotannosuunnittelun lisäksi muidenkin toimintojen suunnittelua. Yleisellä tasolla APS:n tehtäviä voidaan määritellä osana kokonaisen toimitusketjun hallintaa. Meyr et al. [16] on määritellyt geneerisen matriisimallin APS-järjestelmien moduuleista tai funktioista, jotka kattavat toimitusketjun suunnittelun vaiheita eri hierarkian tasoilla. Matriisi on esitetty kuvassa 2.



**Kuva 2.** APS-funktiot toimitusketjun suunnittelumatriisissa muokattu [16]

Kuvassa on esitetty APS-funktionaalisuudet geneerisellä tasolla suhteessa toimitusketjun suunnitteluun. Suunnitteluhierarkia on pystyakselilla ja ketjun vaiheistus vaaka-akselilla. Tämän työn kannalta oleellisimpia matriisin osia ovat tuotannosuunnittelu ja hienokuormitus. Näille funktioille Meyr et al. [16] määrittelee tarkemmiksi tehtäviksi erien määrittelyn, koneiden hienokuormituksen ja tehdaslattiaohjauksen.

Tuotantoprosessiin osallistuvien resurssien hienokuormitus määrittää tässä työssä keskeiset APS-järjestelmien tietotarpeet. Järjestelmissä on valmistaja- ja sovellusaluekohtaisia eroja toiminnassa ja peruselementtien, kuten ajan, prosessien ja tehtävien mallinnustavoissa. Perustietotarpeet ovat silti pääosin aina samat. Tarvitaan tieto suoritettavan prosessin vaiheista ja niiden relaatioista toisiinsa nähden. Näille vaiheille tarvitaan tietoa siitä, millä resursseilla mikäkin vaihe voidaan suorittaa. Näistä tiedoista käytetään termiä ”rajoite” (*constraint*) [17]. Rajoitetiedot voivat olla joko staattisia, jolloin ne ovat tilanteesta ja ajasta riippumatta samat, tai dynaamisia, jolloin esimerkiksi ajanhetki ja prosessin käyttämät resurssit voivat vaikuttaa rajoitteiden sisältöön. Bartak [17] jakaa rajoitemallit kahteen ryhmään suunnittelun perustoimintafilosofian mukaan. Tehtäväkeskeisissä malleissa (*task-centric models*) suunnitellaan toiminta ryhmittämällä samat yhteen ryhmään. Tämä edellyttää koko prosessin tehtävien ja relaatioiden tuntemista. Resurssikeskeisissä malleissa (*resource-centric models*) aktiviteetit ryhmitellään niitä suorittavien resurssien mukaisesti. Mallissa korostuvat tuotannon resurssien rakenne ja tuotantokapasiteetin tarkka mallinnus. Malli edellyttää tarkkaa tietoa aktiviteettien allokoinnista resursseille.

Monet APS-toiminnot voivat olla osana muihin tehtäviin kohdistettujen järjestelmien toimintoja. Esimerkiksi ERP-järjestelmiin on tarjolla suunnittelumoduuleja jotka kattavat kuvan 2 tehtäviä ja samalla integroituvat tehokkaasti muihin järjestelmän osiin, jolloin voidaan ihannetilanteessa saavuttaa tehokkaasti toimiva suunnittelukokonaisuus. Varsinkin tuotannosuunnitteluun ja hienokuormitukseen on runsaasti erilaisia erillisiä järjestelmäratkaisuja, jotka keskittyvät tuotannon eri prosessien ja työvaiheiden tarkkaan suunnitteluun. Ratkaisut voivat olla toiminnaltaan ja rakenteeltaan erikoistuneita jonkin teollisuudenalan tarpeisiin ja käytäntöihin. [16]

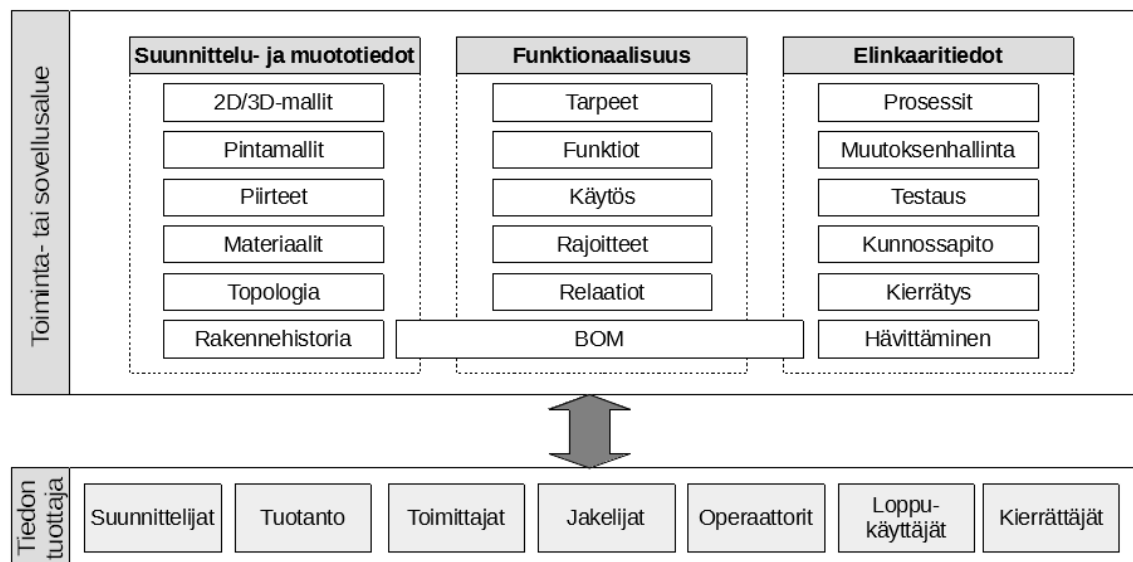
APS-toimintoihin kohdistuva tutkimus on keskittynyt voimakkaasti erilaisten suunnitteluskenaarioiden optimointimenetelmien kehittämiseen. Monissa suunnittelutyökaluissa on optimointia tai sen kaltaista systemaattista suunnittelua toteuttavia toimintoja. Optimointimenetelmissä tarkat ja todenmukaiset rajoitetiedot korostuvat voimakkaasti, sillä optimointialgoritmin tuottama tulos on yhtä totuudenmukainen, kuin algoritmiin syötetyt rajoitteet ja tavoitteet. Toisaalta systemaattinen optimointi edellyttää tarkasti rajattua ja hallittua tehtävänantoa ja pienetkin muutokset sovellusalueessa saattavat muuttaa optimointitulosta. Liian monimutkaiset rajoitteet voivat tehdä optimointitehtävästä mahdottoman ratkaista. Optimoinnin soveltaminen vaatii taitoa määrittellä monimutkainen reaaliaikaisen systeemin tarpeeksi yksinkertaisena, mutta silti totuudenmukaisena mallina, jonka optimointialgoritmi kykenee ratkaisemaan luotettavasti. [18]

### 2.3.4 Product Lifecycle Management

Tuotteen elinkaaren hallintajärjestelmän eli Product Lifecycle Management-järjestelmä (PLM) tarkoitus on tallentaa tuotteita koskeva tietotaito ja suunnittelutieto, tuotteen kehitykseen käytetty sekä siinä tuotettu tieto sekä tuotteen elinkaaren aikana syntyvä tuotetta koskeva tieto käyttökelpoisessa muodossa [19]. Tietoa hyödynnetään tuotetta koskevan

päätöksenteon tukena läpi tuotteen koko elinkaaren. Tyypillisesti tuotetiedot ovat hajaantuneet moniin eri prosesseihin ja järjestelmiin, joiden integroiminen keskenään on PLM-järjestelmän keskeisiä tehtäviä [20].

PLM-järjestelmä kokoaa tuotetietoja useista tuotteen elinkaaren vaiheista, jolloin tiedon perusrakenne, tuottaja ja suhteet muuhun tietoon vaihtelevat. Kuvassa 3 on esitetty Rachurin et al. [20] käyttämä tietalueiden ja tiedon tuottajien ryhmittely.



**Kuva 3.** Tuotetietojen vaihto tuotteen elinkaarella, sovellettu [20]

Rachuri et al. [20] jakaa tuotetiedon kolmeen sovellusalueeseen. Alueet sisältävät alueelle tyypilliset funktiot, jotka tuottavat tuotetietoa. Kuvan alalaitaan on listattu keskeiset tiedon tuottajaryhmät, joiden toiminta on osa tuotteen elinkaarta. Kuvan tarkastelutaso on melko geneerinen, mutta siitä käy jo ilmi PLM-järjestelmien keskeinen ongelma. Tuotteen elinkaarelle on mahdollista sijoittaa suuri määrä eri järjestelmäratkaisuja, jotka toteuttavat eri tehtäviä. Järjestelmien tuottamaa tietoa pitäisi hyödyntää keskitetysti PLM-järjestelmässä, mikä vaatii integraatiota useiden saman tason järjestelmien kesken.

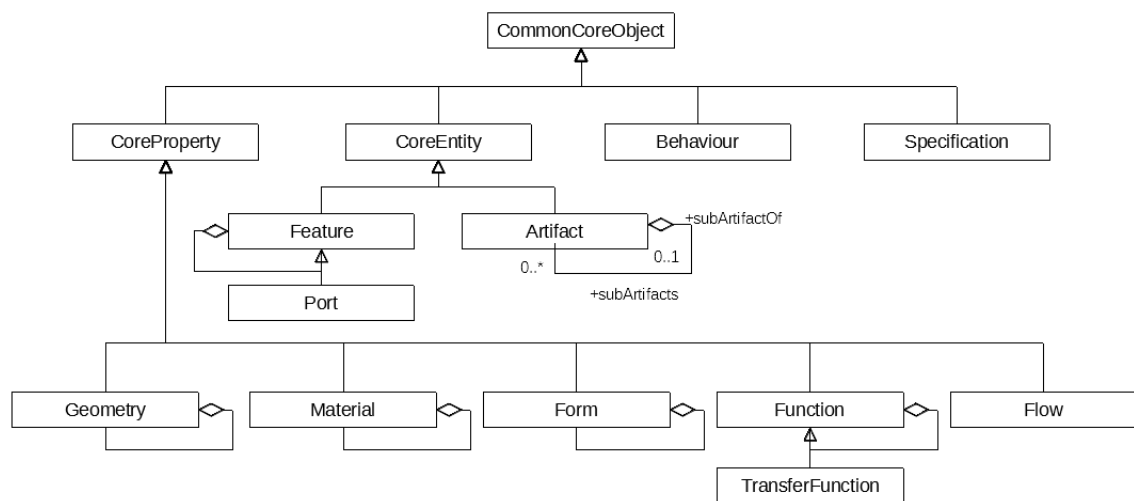
Tuotetietoa tuottavien järjestelmien ja prosessien välisestä tiedonvaihdosta käytetään termiä ”horisontaalinen integraatio”. PLM-järjestelmien suurimpia haasteita on tehokas horisontaalinen integraatio erilaisten tietoa tuottavien järjestelmien välillä. Tyypillisesti järjestelmien kesken ei ole yhteistä riippumatonta informaatiokonseptia. Järjestelmillä on erilaisia tehtäviä ja valmistajakohtaisia eroavaisuuksia on paljon myös samankaltaisia ratkaisuja tarjoavien järjestelmien kesken. Esimerkiksi CAD ja CAM-järjestelmien välinen integroitavuus on tunnetusti heikkoa eri valmistajien ratkaisujen kesken. [20] PLM-järjestelmät ovat hyödyllisiä referenssejä tämän työn kannalta, sillä niillä tavoitellaan yhdenmukaisia tietorakenteita ja integraatioarkkitehtuureja yritystasolla, jotta hajallaan oleva tieto saataisiin yksilöille käytettävässä muodossa [19]. Lisäksi tuote- ja tuotantoprosessien informaation mallintaminen liittyy aina tuotteen elinkaaren tietojen mallintamiseen, joten varsinaisten elinkaaren hallintajärjestelmien kehitykseen vaikuttavat mallit



voivat olla hyödyksi [21]. Yleistä tuotetietomallia on pyritty saavuttamaan niin tutkimuksen, kuin standardoinnin aloilla. Tunnetuin ja laajin standardi on ISO-10303 STEP, joka jakautuu tarkempiin sovellusaluekohtaisiin osiin. Standardia on käsitelty tarkemmin kapaleessa 2.4.2. Standardi on toistaiseksi ainoa, joka teoriassa pystyy kattamaan koko tuotteen elinkaaren. [20]

Tuotetietojen mallintamiseen keskittyneistä tietomalleista yksi tunnetuimpia on National Institution of Standards and Technology:n (NIST) Core Product Model (CPM). CPM:n tavoite on tarjota riippumaton ja geneerinen tuotemalli, joka kattaa tuotteen kehityksen kaikkien vaiheiden tuottama tieto [19]. CPM-mallin pääpainotus on tuotteen piirteiden ja muotojen, sekä niiden välisten relaatioiden mallintaminen [19], mikä ei vastaa tämän työn tavoitteisiin, joten mallia ei ole tarpeen käsitellä tässä tarkemmin. Malli on kuitenkin vaikuttimena monissa tuotetietomalleja käsittelevissä tutkimuksissa ja se on maininnan arvoisen.

CPM-mallista löytyy yksi työn soveltavaan osuuteen vaikuttanut yksityiskohta. Mallin ylätasen entiteetteihin kuuluu ”*Behaviour*” eli käytös, jota käytetään kuvaamaan tuotteen mallinnetun piirteen tai osan funktiota kokonaisuudessa [19]. Käytös kuvaa sitä, miten ”*Artifact*”-entiteetti toteuttaa sille osoitetun funktion [22]. CPM-mallin entiteettitaso on esitetty kuvassa 4, jossa nähdään myös *Behaviour*.



**Kuva 4.** Core Product Model:n entiteetit [22]

*Behaviour*-konsepti on lähellä myöhemmin esiteltyjä ja työssä käytettyjä funktionaalisuuksien kuvaustapoja ja on osaltaan vaikuttanut työn lopputulokseen.

## 2.4 Standardikatsaus

Valmistavan tuotannon tietojen rakennetta, prosesseja ja integraatioita kuvaamaan on kehitetty ja kehitteillä useita standardeja. Niillä on useita eri käyttötavoitteita, kuten ohjaus-

järjestelmien integrointi keskenään tai hallinta- ja simulointijärjestelmiin [23], mutta, kuten tämän kappaleen perusteella voidaan huomata, niiden keskeiset informaatorakenteet ovat hyvin samankaltaisia. Työn kannalta on tärkeää tunnistaa standardien yhteiset rakenteet, jotta niitä voidaan soveltaa ja noudattaa myöhemmin informaatiomallia kehitettäessä. Tarkoitus ei ole ehdottomasti noudattaa minkään standardin rakenteita tai käytäntöjä, mutta valmistavan teollisuuden tunnetuimpien standardien mukaileminen mahdollisuuksien mukaan on hyödyksi, jos esimerkiksi on integroiduttava johonkin niitä noudattavaan järjestelmään.

Standardikatsaus on koottu olettamalla, ettei suoraa tuotetta tai standardia ole, joten informaatorakenteen kehitystä tukemaan otetaan vastaavaa tietoa formalisoivia standardeja. Näin ollen näennäisesti irrelevantit standardit, kuten tietointegraatioita ja mallinnuskieliä määrittelevät standardit voivat tuoda arvokkaita näkökulmia tuote-, tuotantoprosessi- ja resurssitietojen formalisointiin. Seuraavissa kappaleissa on käyty läpi yleisimpien tuotantotietoa käsittelevien standardien tavoitteet, käyttökohteet ja konseptit.

### **2.4.1 ISA95**

ISA95 on International Society of Automation:n (ISA) kehittämä ja ylläpitämä standardikonaisuus. Se perustuu Purduen yliopistossa tehdyn tutkimuksen pohjalta luotuun Purdue Reference Model for Computer Integrated Manufacturing-malliin [24], joka tunnetaan myös nimellä Purdue Enterprise Reference Architecture (PERA) [23].

ISA95 standardi määrittelee geneerisen yrityksen toiminnan- ja tuotannonohjausjärjestelmien funktio- ja integraatiomallin. Mallissa on kuvattu funktiot ja niiden vaatima tiedonvaihto muiden funktioiden sekä muiden tietolähteiden kanssa. Siinä mallinnetaan erityisesti järjestelmien välistä vuorovaikutusta tiedonvaihdon osalta [12] [24]. Standardi jakaa järjestelmien toiminnan neljälle hierarkiatasolle PERA-mallin mukaisesti funktioiden ja toiminta-alueen ja aikaskaalan mukaan. Hierarkiarakenne on esitetty kuvassa 5. Standardin tavoite on yhdenmukaistaa eri ohjaus- ja hallintajärjestelmien integraatiokäytäntöjä, jotta eri järjestelmäratkaisut sopisivat paremmin eri järjestelmistä koostuviin kokonaisuuksiin. [23]

TASO	AIKA-SKAALA	TOIMINTO	FUNKTIOITA
4	Kuukausi Viikko Päivä	Liiketoiminnan ja logistiikan suunnittelu	Tuotantolaitosten toiminnan suunnittelu, materiaalinhallinta, toimitukset, kuljetukset, varastot
3	Päivä Vuoro Tunti Minuutti Sekunti	Tuotannonohjaus- ja suunnittelu	Hienokuormitus, resurssien ohjaus, prosessin optimointi, valmistusohjeiden hallinta, seuranta, raportointi
2	Tunti Minuutti Sekunti Osa- sekunti	Erä- ohjaus	Valvonta, logiikkaohjaus, prosessinohjaus
1		Jatkuva ohjaus	Prosesiin vaikuttaminen, mittaaminen
0	Reaali- aika	Erillis- ohjaus	Tuotantoprosessi

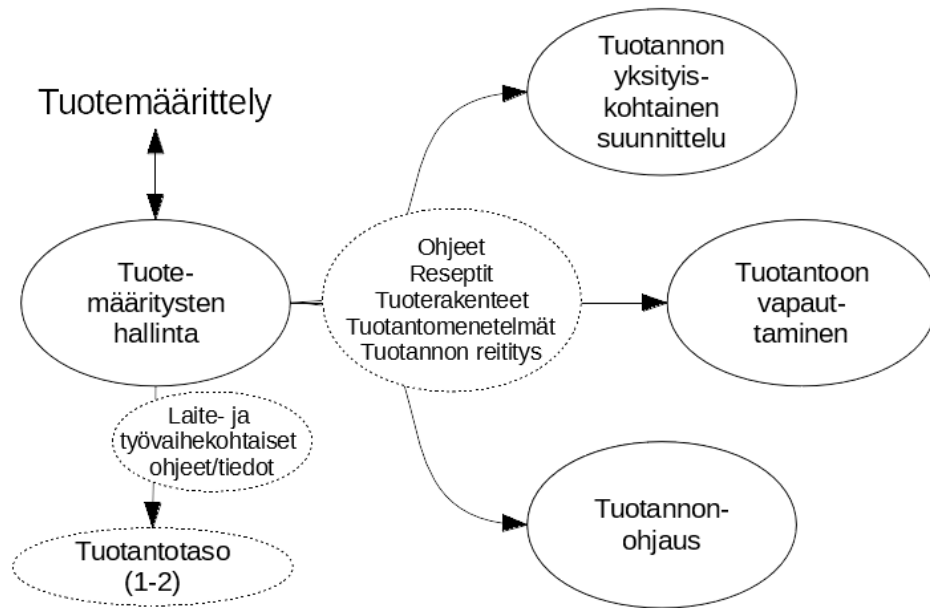
**Kuva 5.** ISA95/PERA toimintahierarkian tasot, muokattu [12]

Hierarkiassa liiketoiminta on ylimmällä tasolla ja laitekanta ja fyysinen ohjaus alimmalla tasolla. Vastaavasti ylimmällä tasolla toimitaan huomattavasti suuremmalla ja epätarkemalla aikatarkkuudella kuin alimmilla tasoilla. Liiketoiminnan tasolla aikatarkkuudeksi riittävät päivä ja kuukaudet, kun laitteiden ohjauksen tasolla ollaan alle sekunnin tarkkuudella. [12]

ISA95:n pohjalta on kehitetty myös B2MML-kuvauskieli (Business to Manufacturing Markup Language) [25]. B2MML:n on tehty valmiita XML-pohjaisia rakenneskeemoja, jotka noudattavat ISA95:ssä määriteltyä tietorakennetta. [23]

ISA95:n osassa 3 [12] määriteltyä tuotannonohjauksen toimintamallia on tarkasteltava tarkemmin. Malli on esitetty kuvassa 6.





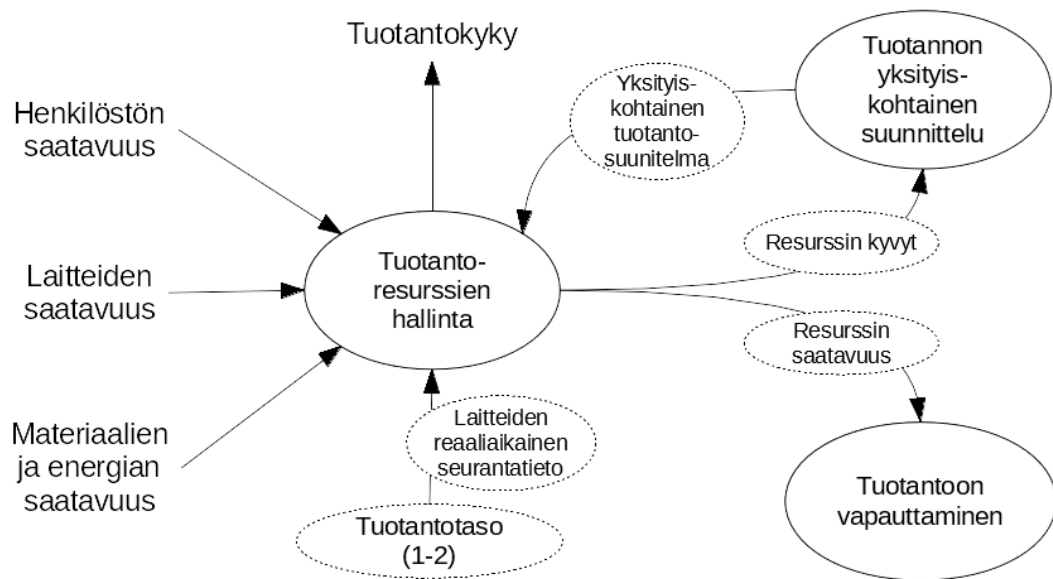
**Kuva 7.** ISA95 – Tuotemäärittysten hallinta, muokattu [12]

Kuvan mukaisesti, tuotemäärittysten hallintatehtävässä hallitaan ja jaetaan tuotannossa ja tuotannosuunnittelussa tarvittavaa tuotetietoa, kuten valmistusreseptejä, ohjeita, piirustuksia, kaavioita ja malleja. Standardi määrittelee tuotemäärittysten hallintaan seuraavat tehtävät:

- Tuotedokumenttien hallinta
- Uusien tuotemäärittysten hallinta
- Tuotetietojen muutosten hallinta
- Tuotemäärittysten tuottaminen muihin tehtäviin
- Yksityiskohtaisten tuotantoreittien ylläpito
- Tuotannon työvaihetietojen ylläpito
- Tuotetietojen vaihdon hallinta tason 4 toimintojen kanssa
- Tuotteiden tuotantotietojen ja tuotantoprosessin optimointi
- Tuotteisiin epäsuorasti liittyvien työvaiheiden (puhdistus, vaihtotyöt) tietojen ylläpito
- Tuotteisiin ja tuotantoon liittyvien Key Performance Indicator-lukujen (KPI) määrittäminen ja ylläpito

Tiedoista on voitava tuottaa työpiste- ja työvaihekohtaiset valmistustiedot, joilla muita kuvan tehtäviä voidaan suorittaa tuotannossa. Lisäksi tuotettavaan tietoon kuuluu oleellisesti tuotannon reititysten hallinta. Tuotannosuunnittelu tarvitsee toiminnassaan tarkasti määritellyt reitit, joilla kutakin tuotetta voidaan tuottaa. Tuotantotason 3 lisäksi toiminto vaihtaa tietoja esimerkiksi tuote- ja tuotantojärjestelmäsuunnittelusta. Nämä toiminnot on yleistetty mallissa ”Tuotemäärittely”-käsitteen osaksi. Toiminnon rooli tiedonkulun koordinaattorina korostuu, sillä tuotteita ja niiden valmistusta koskevaa tietoa voi olla useissa eri lähteissä, jolloin tietojen kerääminen keskitettyyn käyttöön tuotannossa tehostaa toimintaa ja läpinäkyvyyttä. [12]

Kuvassa 8 on standardinmukainen tarkempi malli tuotantoresurssien hallintatoiminnosta.



**Kuva 8.** ISA95 – Tuotantoresurssien hallinta, muokattu [12]

Tuotantoresurssien hallintaan määritetään standardissa tehtäviksi

- Resursseja koskevien saatavuuksien hallinta ja jakaminen
- Resurssien kyvykkyyttä koskevan tiedon hallinta ja jakaminen
- Resurssivarausten varmistaminen
- Resurssien saatavuuden ja kyvykkyuden varmistaminen suunnitelmaa vastaan
- Resurssien sijainti- ja tehtävätietojen hallinta ja jakaminen
- Resurssien kunnossapidon ja laadun ohjaaminen
- Resurssien, laitteiden ja henkilöstön nykytilan seuraaminen ja tallentaminen
- Resurssien, laitteiden ja henkilöstön laatu- ja suorituskykykoetietojen ylläpitäminen

Samoin, kuin tuotemäärittelyjen hallintatoiminnossa, resurssien hallinnassa korostuu eri lähteistä tulevan tiedon kerääminen ja jalostaminen käyttökelpoiseksi, sekä välittäminen eteenpäin tuotantoon ja liiketoiminnan ylemmille tasoille. [12]

Edellä kuvatut toiminnot määrittelevät geneerisellä tasolla sen toiminta-alueen, jolla tämän työn myötävaikutuksesta tehtävän järjestelmän on tarkoitus toimia. Prosessien yhdenmukaisuutta ISA95:n kanssa on syytä tarkastella tietojärjestelmäkehityksen aikana, kun kehitetään tuotannonhallinnan järjestelmää.

## 2.4.2 ISO 10303 STEP

Tuotetietojen hallinta on synnyttänyt tarpeen integroida eri valmistajien tietojärjestelmiä erityisesti tuotteen suunnittelu ja konseptivaiheissa, joissa käytettävien järjestelmien kesken on yleisesti heikko integroitavuus. CAD- ja CAM-järjestelmien sisältämän geometrisen tuotetiedon integrointi eri valmistajien järjestelmien välillä on tästä hyvä esimerkki.

Neutraaliksi standardiksi geometrisen tiedon vaihtoon on olemassa esimerkiksi IGES-standardi (Initial Graphics Exchange Specification). [26]

Laajemmin tuotetietoa käsittelevistä standardeista kehittynein ja tunnetuin on International Organization for Standardisation-organisaation kehittämä ISO 10303, joka tunnetaan nimellä STEP eli Standard for the Exchange of Product model data. Standardikokous sisältää tuotetietojen hallintaan kehitetyn mallin, jonka tavoite on palvella tuotetietojen välittämisessä ja tallentamisessa kaikissa tuotteen elinkaaren vaiheissa. ISO 10303 koostuu useista Application Protocol-osista (AP), joissa on AP:n sovellusalueelle sopiva tietorakenneskeema. [26]

STEP:n käyttöön liittyy hyviä ja huonoja puolia. Standardi on tunnettu ja sillä on käyttöhistoriaa, mikä lisää todennäköisyyttä, että sen hyödyntäminen parantaa integroitavuutta valmiisiin kaupallisiin järjestelmiin. Toisaalta STEP on hyvin laajalle kehittynyt, moniosainen standardi, jonka sovellettavuus riippuu tuotetyypistä ja toimialasta. Alakohtaiset AP:t ja mallit heikentävät mallien geneerisyyttä ja sovellettavuutta kohdealojen ulkopuolella [27].

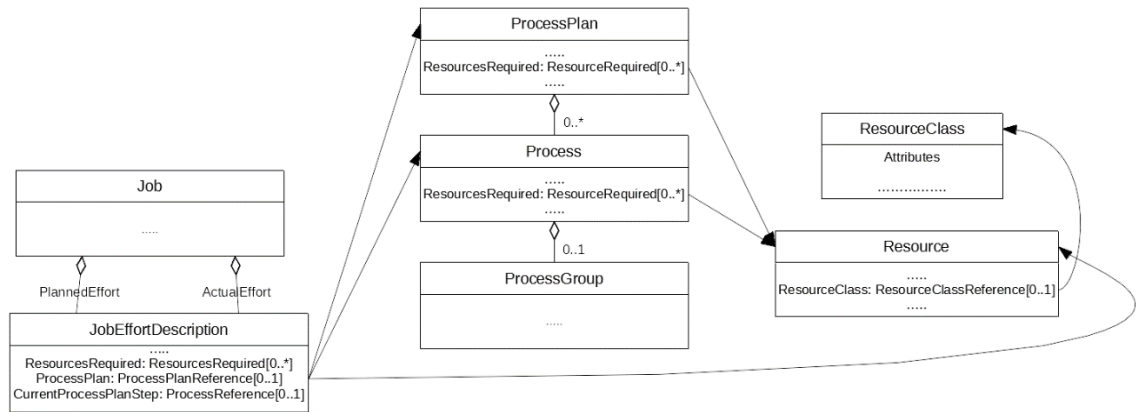
### 2.4.3 SISO CSMD

Simulation Interoperability Standards Organization (SISO) kehittämällä Core Manufacturing Simulation Data-standardilla (CMSD) on tarkoitus integroida tuotannon simulointijärjestelmät ja tuotannon tietojärjestelmien kanssa. Kuten ISO 10303 STEP:ssä, CSMD:n yksi tavoitteista on lisätä tuotannon tietojärjestelmien keskinäistä integroitavuutta ja vuorovaikutusta [28].

CSMD-mallikokonaisuuden ylin käsitetaso sisältää seuraavat osat [28]:

- Layout
- Part Information
- Support
- Resource Information
- Production Operations
- Production Planning

Näistä tämän työn tavoitteiden kannalta oleellisimpia ovat tuotannon resurssit, operaatioita ja suunnittelua mallintavat paketit. Pakettien sisältämät entiteetit on kuvattu standardin dokumentaatiosta soveltaen alla kuvassa 9. Kuvaan on mallinnettu Job-, ProcessPlan- ja Resource-entiteetit pelkistetyksi otsikkotasolla, sekä niiden lähimmät relaatiot. Entiteetteihin liittyvistä attribuuteista on tuotu kuvaan vain merkittävät relaatioihin liittyvät ja attribuuttirelaatiot on kuvattu nuolilla, toisin kuin CSMD-dokumentaatiossa.



**Kuva 9.** CSMD:n osamalli, muokattu [28]

Tuote-Prosessi-Resurssi-rakenne on CSMD-mallissa olemassa entiteettitasolla. Attribuuttimäärittelyt ovat riittävät mitatun ja suunnitellun tiedon tallentamiseen ja välittämiseen. CSMD-dokumentaatiosta [28] käy selkeästi ilmi standardin tavoitteet myös entiteettitasolla. Kuvassa 9 esitettyjen entiteettien ja niiden attribuuttien viittausten perusteella voidaan päätellä, että mallilla ei ole tarkoitus kuvata tuotannon rajoitetietoa tai esimerkiksi suunnittelun päätöksenteon perusteina olevaa tietoa. Tuotannon rajoitteet voidaan kuvata kytkemällä prosessivaiheet ketjuksi, joka muodostaa prosessimallin, mutta varsinaisia syy-yhteyksiä attribuuttien ja rajoitteiden olemassaolon välille ei pystytä mallintamaan entiteettien välisten relaatioiden varassa. Yleiseltä kuvauskyvyltään CSMD-mallia voidaan pitää generisenä ja määrittely on korkealla tasolla [27]. Määrittely- ja luokittelutarkkuuden puute voi olla ongelma esimerkiksi koneellista loogista päättelyä sisältävässä tiedon käytössä, jos joitakin yhteyksiä ei voida kuvata suoraan entiteettien väliseksi.

#### 2.4.4 Standardien käytöstä ja soveltamisesta

Kuten aiemmin todettiin, standardeilla tavoitellaan ensisijaisesti yhdenmukaisia menetelmiä, toimintatapoja ja toteutuksia. Näin voidaan saavuttaa esimerkiksi rajapinnoistaan toisiinsa yhteensopivia järjestelmämoduuleita, valmistajasta ja sovellusalueesta riippumatta. Standardien tehokkuus ja vaikutus riippuvat siitä, miten kattavasti niitä sovelletaan käytännössä. Standardeihin kohdistuu huomattavasti kritiikkiä, josta seuraavassa on käyty läpi keskeiset teemat.

Standardien heikkous on, että tuotannon kaltaisten informaatiokokonaisuuksien määrittelyyn tarvitaan useampia standardeja, jolloin niiden välinen yhteensopivuus muodostuu yleensä suureksi ongelmaksi. Suuria kokonaisuuksia käsitteleviä standardeja on kuten ISA-95 mutta se on yleisemmän tason prosessikonsepteja määrittävä standardi. Tämän työn tutkimus on tarkkaan rajattu, mutta käsittelee tuotantoa ja tuotteita koskevaa tietoa, joten erilaisia palveltavia tarpeita on paljon, mikä tekee standardien arvioimisesta ja soveltamisesta hankalaa. Kun hyödynnetään useampia standardeja, yleisimpiä haasteita



ovat termien käyttö eri standardien kesken ja konseptien soveltaminen kokonaisuuksiin, joihin niitä ei ole suoraan kohdennettu. [29] Esimerkiksi työn tavoitteiden suhteen relevantteja ovat tuote- tuotantoprosessi- ja tuotantoresurssitietojen mallinnus. Yksittäiset standardit saattavat sisältää jonkin osa-alueen kuvauksen riittävällä tasolla. Kuitenkaan standardeista ei löydy rakennetta, joka kuvaisi kaikki osa-alueet ja niiden välisen relaatiot samassa rakenteessa [27]. Lanz käyttää termiä ”*standardien saarekkeet*” [27, s. 9] kuvaamaan standardien kattamaa alaa. Standardien välisten rajapintojen puutetta korostaa myös se, että varsinkin pidemmälle kehittyneet standardit ovat kehittyneet alakohtaisiin suuntiin erillisillä lisäosilla, jotka palvelevat hyvin omaa kohdealuettaan, esimerkiksi autoteollisuutta, mutta sopivat heikosti muihin sovellusalueisiin [27]. Kehityssuuntien hajautumisen lisäksi standardien kehitysnopeus voi olla ongelma. Varsinkin laajojen standardien kehittäminen on hidasta ja nopeasti kehittyvillä aloilla, kuten tietotekniikassa, standardien kehityksen on vaikea seurata alan yleisiä kehitystrendejä [30].

Yritysten mielenkiinto suurempien tietojärjestelmäkokonaisuuksien standardointiin on kasvanut, mikä johtaa siihen, että eri standardeja on tarve soveltaa samalla sovellusalueella. [29] Standardit ovat yleensä geneerisiä ja niiden soveltaminen ja sovittaminen muihin standardeihin vaatii osaamista. Standardien voidaan väittää olevan joissain tilanteissa jopa harhaanjohtavia, mikäli sovellusalue ei suoraan sovi standardin määrittämiin. Von Euler-Chelpin [30] ja Lanz et al. [31] mainitsevat, että joillain sovellusalueilla standardinmukaisuus voi olla jopa ristiriidassa standardin hyödyllisen soveltamisen ja laajennettavuuden kanssa. Kansainvälisesti suurin standardointiyhteisö ISO on järjestänyt TC184 komitean, jonka alakomitea SC4:n tehtävänä on standardoida tuotteisiin liittyvää teollisuusdataa ja SC5 keskittyy integroitavuuteen ja yhteistoimintaan. Tavoitteena on kontekstiriippumaton tuotedata, joka palvelee kaikissa tuotteen elinkaaren vaiheissa. Toistaiseksi päätyö on tehty viestiliikenteen ja datanvaihdon semantiikan määrittelyyn, jotta saavutettaisiin parempi tiedon liikkuvuus. [29]

Tämän tutkimuksen aikana huomattu, että varsinkin viimeisen kymmenen vuoden sisällä on tehty paljon informaation semantiikkaa, formaalia kuvausta koskevaa tutkimusta ja konsepteja jotka pyrkivät hyödyntämään jotain tiedonjakoon ja integraatioon liittyviä standardeja tuotannon alalla. Tehdyn tutkimuksen perusteella varsinaiseen tuotannon suunnitteluun, -ohjaukseen ja tehdastason tuotantoresurssien hallintaan liittyvän ohjaus- ja taustatiedon kehittämiseen ja ylläpitoon suoraan pyrkiviä standardeja tai ratkaisuja on huomattavasti vähemmän ja olemassa olevien standardien soveltaminen on koettu haastavaksi.

## 2.5 Tutkimuksissa kehitetyt semanttiset informaatiomallit

Kirjallisuustutkimuksen alkupuolella kävi ilmi, että työn tutkimuskysymyksiin ja ongelmiin ei löydy ratkaisua pelkästään teknisten standardien joukosta. Tästä tehtiin päätelmä, että tuotannon kokonaisvaltaisia semanttisia tietomalleja ei käsittelevä tutkimus ei ole vielä edennyt siihen asti, että kerättyä tietoa olisi sovellettu standardiksi asti. Standardit

pyrkivät olemaan valmiita ja koherentteja dokumentaatioita, jotka ohjaavat käsittelemänsä aiheen sovellutuksia, mikä edellyttää paljon todennettua tutkimustietoa ja kokemusta. Kirjallisuustutkimusta jatkettiin tutkimusprojektien julkaisujen tutkimisella. Seuraavassa on esitelty työn kannalta oleellisten tutkimusprojektien tuloksia.

Tuotantoteollisuuden tietojen formalisointia käsittelevä tutkimus ja standardointi keskittyivät pitkään tuote- ja valmistustietoihin. Viimeisen 20 vuoden aikana tehtyjä tuotannon tietojen käsittelyä ja mallintamista koskevien tutkimusten läpikäynnissä havaittiin trendi, jossa korostui tuotteiden, tuotantoprosessin ja resurssien, sekä resurssien tuotantokyvyn tietojen mallintaminen. Tuotantokyvyn mallinnusta ei painotettu aiemmin tutkituissa standardoiduissa malleissa. Tuotantokalustoa, tuotannon kykyjä ja kapasiteettia koskeva tietoa on tutkittu huomattavasti vähemmän ja tietojen formaatti ja rakenne on jäänyt laite- ja järjestelmävalmistajien tulkinnan varaan. [32]

Markkinoiden vaatimukset yhä joustavampaan tuotantoon ovat lisänneet tarvetta kehittää joustavampia, tuotantojärjestelmiä ja valmistuksensuunnitteluratkaisuja, mikä on lisännyt tarvetta formalisoida tuotannon resursseja ja niiden funktioita kuvaavia tietoja koneellisesti käytettävämpään muotoon. [31] toteavat, että tuotantojärjestelmien joustavuutta ja hallintaa tutkivien projektien kesken vallitseva käsitys tuotannon kehityksestä on, että tulevaisuudessa joustavien ja mukautuvien tuotantojärjestelmien merkitys valmistavassa teollisuudessa kasvaa. Näiden järjestelmien käytön ja kapasiteetin suunnitteluun tarvitaan tuotantokykyä ja funktionaalisuutta kuvaavaa tietoa. Tietojen on oltava myös paremmin saavutettavissa ja käytettävissä monipuolisesti.

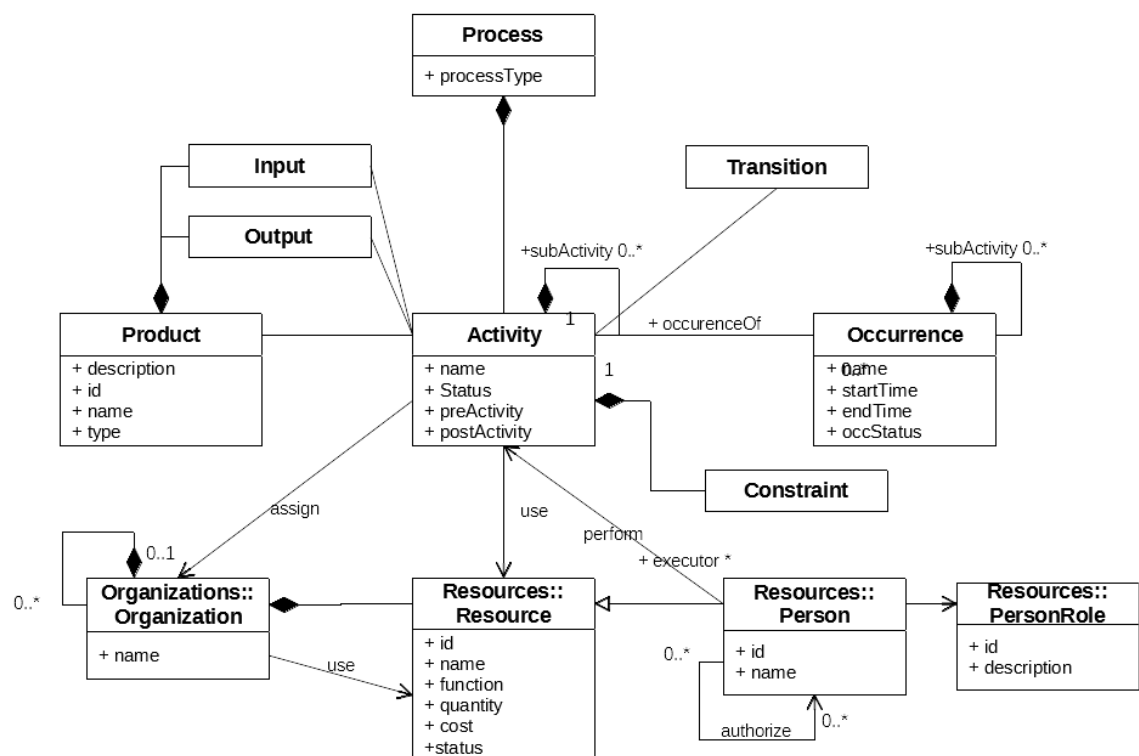
Sekä Kitamura et al. [33], että Lanz [27] toteavat tutkimuksiensa perusteella, että resurssien funktionaalisuutta kuvaavaa tietoa hyödyntävistä järjestelmistä on joitakin paikallisesti toteutettuja esimerkkejä, mutta markkinoilla ei ole yhtä yleisempää kaupallista ratkaisua tai yhteistä tietorakennetta. Puutetta selittää osittain se, että funktiotietoa kuvaavat standardit ovat vielä kehitysvaiheessa [20]. Kitamura et al. [33] mukaan funktioiden ja suorituskyvyn tietojen mallintamiseen on tehty viime vuosikymmeninä paljon tutkimustyötä, yhtenäistä mallinnustapaa tutkimusten välillä ei ole kehittynyt. Kitamura et al. [33] mainitsevat yhtenä haasteena tietomallin kuvauskyvyn ja tarkkuuden, kun tuotteista tai resursseista on pääteltävä samankaltaisia piirteitä ja kykyjä. Esimerkiksi samanlainen tuotteen piirre voidaan tuottaa sorvaamalla tai jyrsimällä, jolloin resurssin tietomallin on kyettävä kuvaamaan kyvyt niin, että samankaltaiset ja samaan lopputulokseen johtavat kyvyt voidaan päätellä. Kitamura et al. [33] korostavat tietomallin ja konseptin määrittelyä riittävällä abstraktion tasolla esimerkin kaltaisten ongelmien ratkaisussa. Tarpeeksi abstraktoituna kykyjen samankaltaisuus saadaan esiin. Esimerkiksi sorvauksen ja jyrsinnän yhdistävänä tekijänä voi olla materiaalia poistava lastuava työstö.

Näiden havaintojen perusteella kirjallisuustutkimuksessa jatkettiin tutkimalla mukautuvien ja uudelleen konfiguroitavien tuotantojärjestelmien tarpeisiin pohjautuvien tiedon mallinnustutkimusten tuloksia tutkimalla. Tutkimus alalla on selvästi lisääntymässä [34]

ja käsitellyt tutkimukset ovat tuoreita, mihin syynä voi olla aiemmin mainittu alan standardien ja vakiintuneiden käytäntöjen puute. Seuraavassa on esitelty työn soveltavissa osissa vaikuttaneita tietomalleja ja konsepteja.

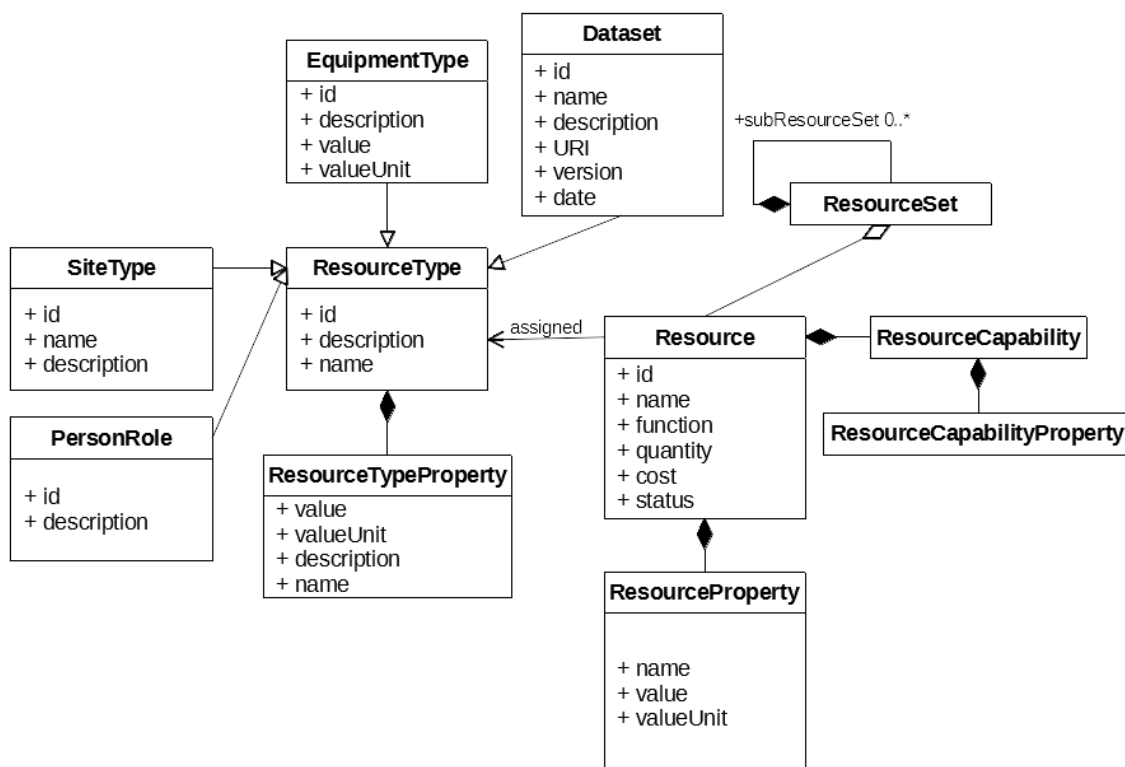
## 2.5.1 Funktionaalinen tieto

Yang et al. [21] kehittämä tuotantoprosessitietomalli Manufacturing Process Information Metamodel (MPIMM) on mallinnettu ontologisesti ja kehitystyössä on korostettu metatason mallintamista osana mallinnusprosessia. MPIMM:n termistö ja luokat noudattavat standardissa ISO 18629 Process Specification Language määriteltyjä prosessien kuvauksia. Mallin metatason osat on esitetty kuvassa 10.



*Kuva 10. MPIMM metamalli, muokattu [21]*

Mallista keskeisenä rakenteena löytyy monista tuotantotietomalleissa käytetty viittaus kolmen pääluokan, tuotteen, tuotantoprosessin ja resurssin välillä. Koneellisen loogisen päättelyn kannalta mallissa käytetty tuotantoprosessin ja tuotteen yhteys prosessin Input- ja Output-arvojen kautta mahdollistaa lopputuotteen lisäksi esimerkiksi kokoonpantavien osien kuvaamisen tuote-luokkaan kuuluvina. Mallissa esiintyy resurssia kuvaava *Capability*-tieto. MPIMM-mallin resurssimalli on kuvassa 11.

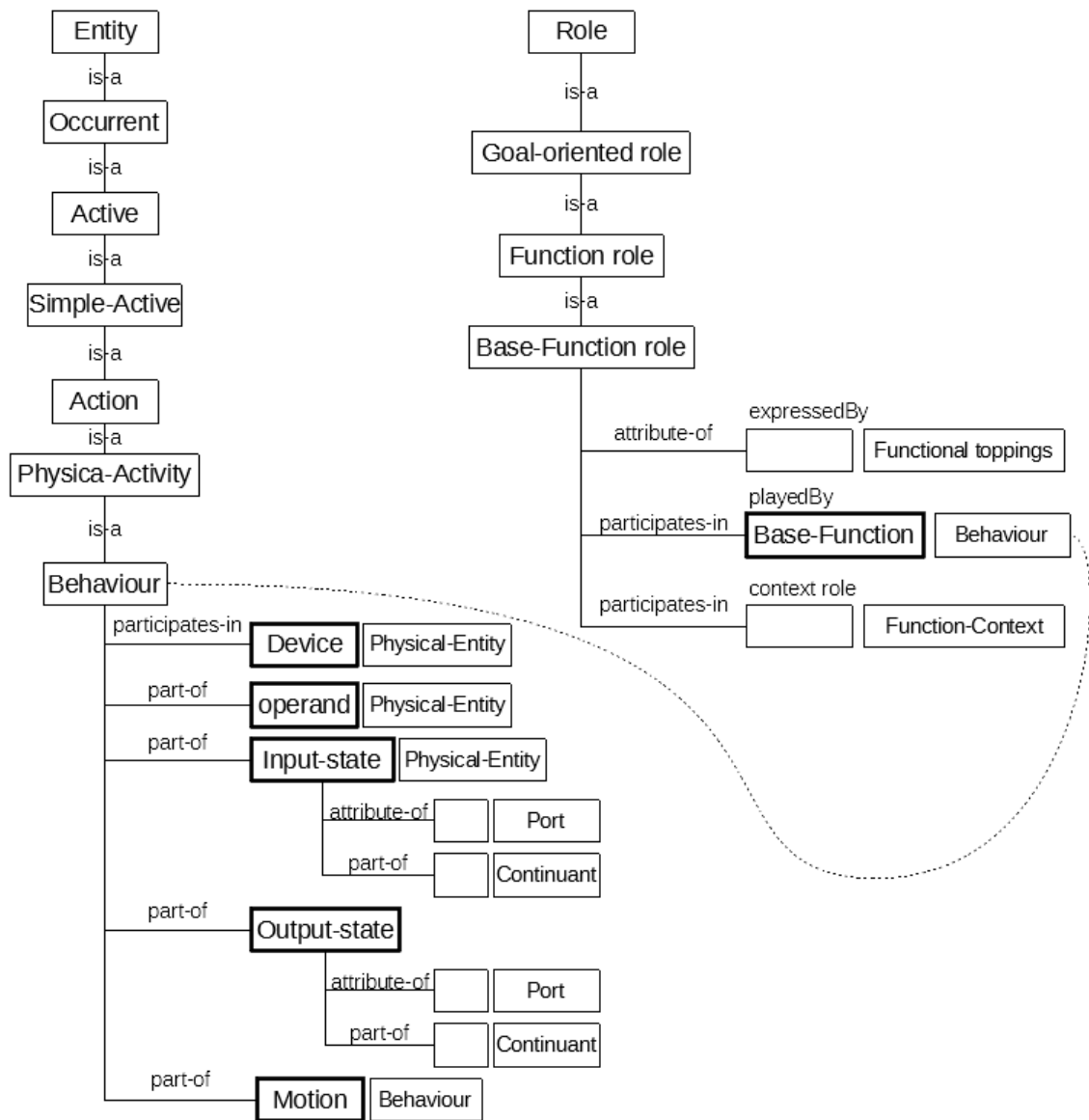


**Kuva 11.** MPIMM resurssimalli, muokattu [21]

*ResourceCapability* kuvaa siihen liitettyillä resurssin kykyä tuottaa. Yang et al. [21] eivät määrittele tarkemmin sitä, onko tietoa tarkoitus käyttää systemaattisesti mihinkään. *ResourceCapabilityProperty*-tietojen sisältöä tai formaattia ei tarkemmin määritetä. *Capability* voi määrittää esimerkiksi koneen tarkkuustoleranssitiedoilla tai työntekijän, joka myös luokitellaan resurssiksi, osaamisella. *ResourceCapability* ei viittaa suoraan mihinkään sitä vastaavaan tuotteeseen, tuotteen osaan tai tuotteen piirteeseen, joten malli ei suoraan määrittele resurssin kykyä vaikuttaa tuotteen valmistukseen.

Kitamura et al.:n [33] ontologinen viitekehysmalli kuvaa laitteen funktiota. Malli on kehitetty palvelemaan suunnittelutyön tarpeita ja tallentamaan suunnittelussa syntyvää tietoa jatkokäyttöä varten. Kitamura et al. [33] mukaan funktiotiedon jakaminen ja hajautettu käyttö suunnittelussa on haastavaa, koska tieto on subjektiivista ja tallennettu perinteisesti sanalliseen muotoon. Tietojärjestelmät eivät ratkaise ongelmaa, koska ilman funktionaalisen tiedon semantiikkaa ja käyttöä kuvaavaa mallia ei ole. Kokonaisuudessaan funktion konseptille ei ole yleisesti tunnustettua määrittelyä. Kitamura et al. [33] aloittaa funktion generisen ontologisen määrittelyn erottamalla funktion (*function*) ja käytöksen (*behaviour*). Käytös on fyysisen objektin ominaisuuksien muutosta ajan yli, joka on kontekstista riippumatta aina vakio. Funktio liittyy kontekstiin ja suunnittelijan tai käyttäjän aikomukseen. Kitamura et al. [33] kuvaa funktiota suunnittelijan tai käyttäjän käytökselle antamana roolina. Sama käytös voi toteuttaa eri kontekstissa eri funktiota. Kuva 12 esittää

osaa viitekehysmallista. Kuvan osat ovat osia mallin *Wholeness concepts*- ja *Role concepts*-osista. Kuvasta voidaan todeta käytöksen (*Behaviour*) rooli funktion (*Base-Function role*) osana.



**Kuva 12.** Funktioviitekehyyksen osamalli, muokattu [33]

Funktion toteuttaa muutoksen eli kohteen fyysisten alku- ja lopputilojen eron. Kitamura et al. [33] muodostavat funktion tiedot sen aiheuttamaa kohteen (*operand*) muutosta kuvaavista parametreista (*Functional Toppings*). Muutosta kuvaavat parametrit ovat

- **Obj-Focus:** määrittää muuttuvan kohteen tyyppin
- **O-Focus:** määrittää muutoksen kohteena olevan fyysisen attribuutin
- **P-Focus:** muutosvirtauksen lähde tai kohde
- **Necessity:** määrittää kohteen tarpeen funktion kontekstissa

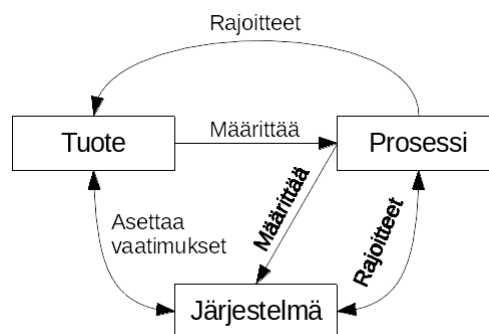
Parametrit mallintavat funktion kontekstin lokaalisti ja vakioidusti. Parametrien mahdolliset arvot rajautuvat kontekstin määrittämään joukkoon, jolloin funktiomallin mahdollisten yhdistelmien määrä on myöskin rajallinen ja koneellisesti laskettavissa. Tiedon tallennuksen subjektiivisuus on pyritty minimoimaan, jotta tieto olisi riippumatonta sen tuottajasta tai käyttäjästä.

Kitamura et al. [33] ovat soveltaneet mallia valmistavan teollisuuden käytössä. Mallin sovelluksena on ollut jakaa funktiotietoa tuotantolaitteistosta suunnittelijoiden kesken työkalulla, jossa voidaan tuottaa graafisia puumalleja funktioiden rakenteesta. Tallennetusta tiedosta voidaan etsiä funktioratkaisuja määritettyihin tarpeisiin. Sovelluksen hyödyiksi käytännössä on todettu muun muassa tiedon etsimisen, jakamisen ja vertailun nopeutuminen, suunnittelun iteraatioiden väheneminen sekä uusien vaihtoehtoisten ratkaisujen löytyminen funktiotietojen joukosta. Käyttäjät kokivat funktiotietojen mallintamisen ja soveltamisen hyvänä suunnittelun stimulanttina, mikä on myötävaikuttanut uusien ratkaisujen löytymiseen. [33]

## 2.5.2 Core Ontology

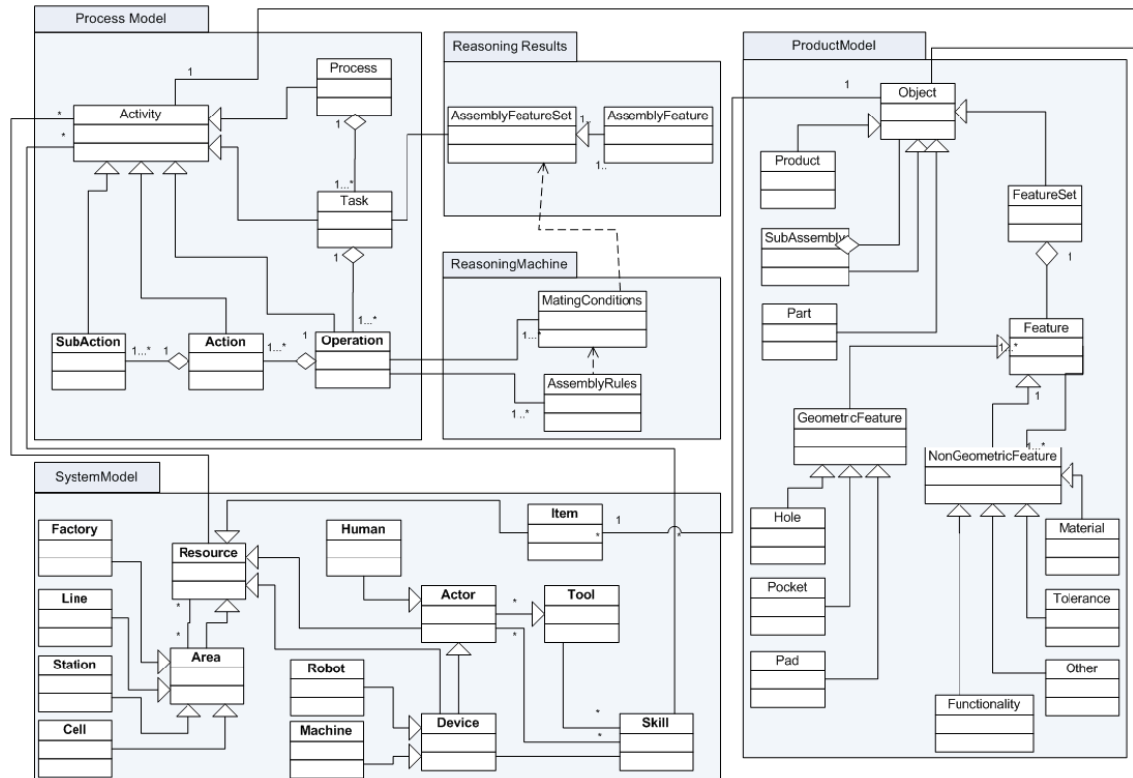
Seuraavassa on esitelty Core Ontology-malli, joka on kehittynyt vaiheittain useiden tutkimusten aikana. Lanz [27] kehittää ontologiamallin konseptin ja perusteet. Järvenpää [35] jatkokehittää mallin käyttöä uudelleenkonfiguroitavien tuotantojärjestelmien suunnitteluun ja hallintaan. Järvenpää et al. [34] esittelevät näihin liittyvät kykytietorakenteen kehityksen ja yksityiskohdat.

Lanz [27] on kehittänyt olemassa olevien tuotannon tietomallikonseptien ja standardien pohjalta tuote-, prosessi- ja tuotantojärjestelmätietojen tietomallikonseptit kattavaksi tuotannon tietomallikonseptiksi. Mallilla pyritään yhdistämään suunnittelussa ja tuotannossa käytettävien tietojen käyttöä ja yhteensopivuutta. Kuvan 13 esittää mallin perusosien, tuotteen, prosessin ja järjestelmän tietojen vuorovaikutusta ja suhteita.



**Kuva 13.** Tuote-, prosessi- ja järjestelmätietojen yhdistämiskonsepti, muokattu [27]

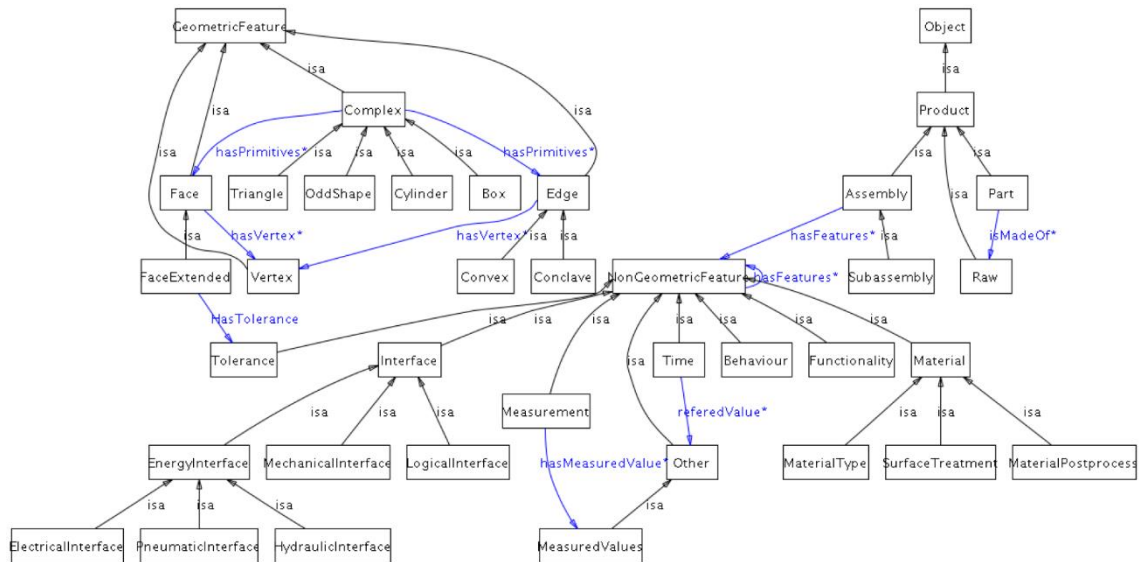
Perusosien vuorovaikutus mallin luokkien kautta tulee tarkemmin esiin varsinaisessa konseptimallissa. Lanz [27] esittää mallin osien yhteyksiä ja vuorovaikutusta tarkemmin *Product-Process-System*-konseptissa (PPS). PPS-malli on kuvassa 14.



*Kuva 14. Product-Process-System-malli [27]*

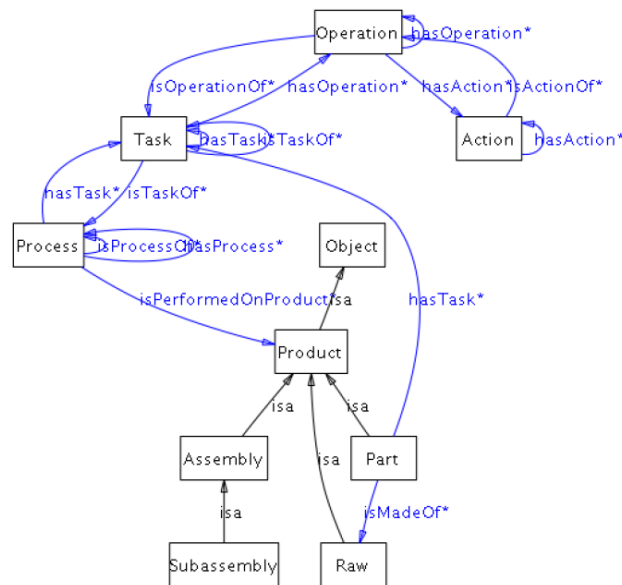
Malli on tuotokeskeinen, eli se kuvaa tuotantoa sen mukaan, mitä tuotteelle tapahtuu prosessissa ja minkä vaikutuksesta. Tuotekohtaiset tiedot ovat liittyvät prosessitietoihin kuvassa näkyvien *Reasoning Results*- ja *Reasoning Machine*-luokkien kautta. Tuotantojärjestelmän resurssit (*Resource*) liittyvät tuotetietoihin (*Object*) prosessiluokan *Activity*:n kautta. *Activity*-tietoon yhdistyvillä elementeillä tiedetään, miten prosessi vaikuttaa tuotteen osaan tai piirteeseen ja mikä on suorittava resurssi. [27]

Lanz [27] mallintaa PPS-konseptin perusteella *Product*-, *Process*- ja *System*-luokista ontologisen tietomallin (*Knowledge Representation*). Malli on kuvassa 15. Tuotetietojen malli on sisällöltään laaja mahdollistaakseen monien erilaisten tuotteiden mallintamisen. Tuotetietoihin liittyy tuotteen geometrinen piirteiden tietoja kuvaava *GeometricFeature*-luokka, joka mahdollistaa tuotteen geometrinen mallien, kuten CAD-mallien tietojen, soveltamisen tietorakenteeseen. Muita tuotteen tietoja kuvaavat *NonGeometricFeature*-luokan tiedot, joihin kuuluvat myös funktionaalisuutta kuvaavat luokat *Behaviour* ja *Functionality*. Sekä geometrinen, että ei-geometrinen piirteiden mittatiedot tallennetaan *NonGeometricFeature*-luokan *Measurement*-luokkaan. [27]



**Kuva 15.** Tuotetietojen ontologia Core Ontology-mallissa [27]

Lanzin kehittämä [27] prosessionontologia on suhteellisen yksinkertainen. Malli jakautuu yksinkertaisiin prosessitoimintoihin (*Action*) ja laajempiin tehtäviin (*Task*), jotka liittyvät tuotteen piirteisiin tai kokoonpanoon kuvan 16 mukaisesti.



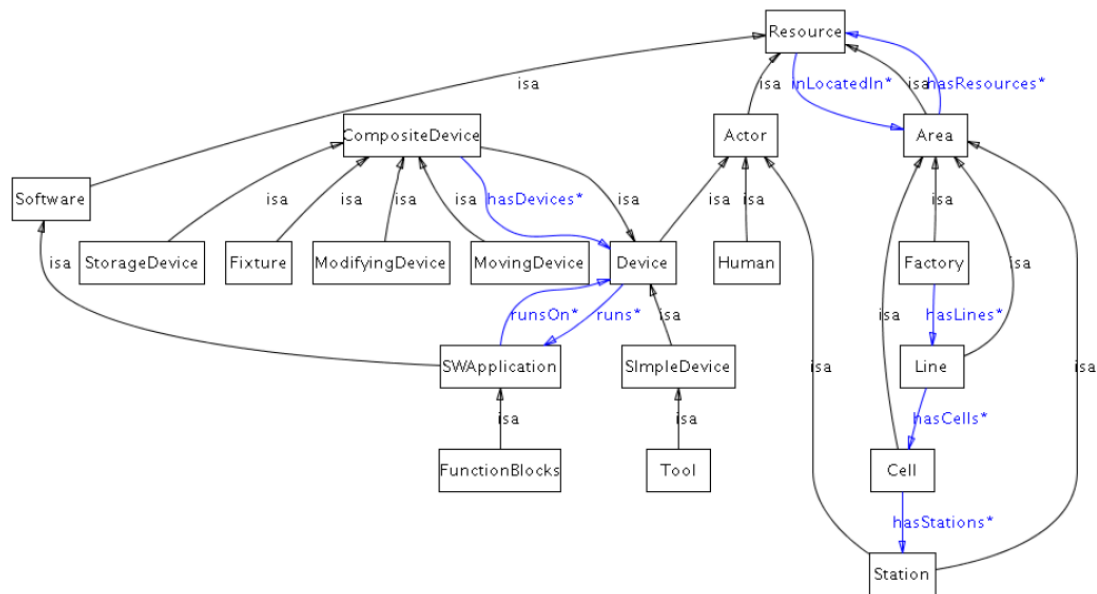
**Kuva 16.** Prosessitietojen ontologia ja liittynät tuotetietoihin Core Ontology-mallissa [27]

Lanzin mukaan [27] mukaan prosessimalli on joistakin vastaavista prosessitietomalleista poiketen, geneerinen ja suhteellisen yksinkertainen, eikä määrittele prosesseja tarkemmin esimerkiksi tyyppin tai toimialan mukaan. Yksinkertainen malli, jonka luokkien liittynät muihin mallin osiin on määritelty, mahdollistaa mallin tarkentamisen alakohtaisesti, eikä tuota päällekkäisyyksiä tuotantoresursseille määritettävien kyvykkyystietojen kanssa. Tarkka ja kompleksinen prosessimalli voi helposti määrittää tarpeettomasti samaa tietoa,



kuin resurssien kyvykkyksiä tai funktionaalisuutta kuvaavat mallit. Prosessimallin osien ja niiden yhteyksien tuote- ja resurssitietoihin on ontologian kannalta kuitenkin oleellisen tärkeää, koska prosessimalli on koko mallissa yhdistävänä tekijänä tuote- ja resurssitietojen välillä. [27]

Kuvassa 17 on Core Ontologyn tuotantojärjestelmäontologia.

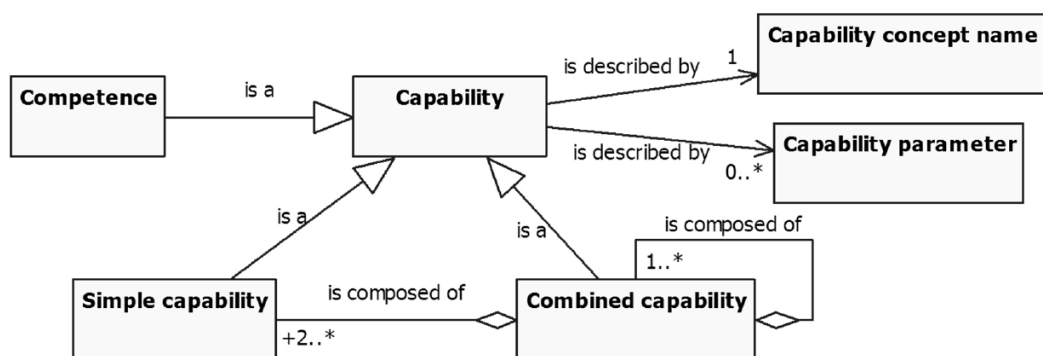


**Kuva 17.** Järjestelmätietojen ontologia Core Ontology-mallissa [27]

Yläluokka *Resource* jakautuu luokkiin *Software*, joka edustaa ohjelmistoja, ja *Area*, joka edustaa tuotantoympäristön perinteistä jakoa esimerkiksi tuotantolinjoihin ja soluihin. Viimeinen luokka *Actor* sisältää luokan *Device*, johon tuotannon laiteresurssit kuuluvat. Mallin tarkoitus on kuvata tuotantoon vaikuttavien resurssien kykyjä ja panosta prosessin suorittamiseen. Yleisempi, ja tuotannon asiantuntijoille ehkä luonnollisempi, tapa luokitella tuotannon resursseja on jakaa ne tuotantoympäristön järjestelyjen, osastojen tai prosessialueiden mukaan. Core Ontology malli mahdollistaa myös tämän jaottelun *Area*-luokan tiedoilla, mutta mallin toiminnan kannalta keskeisenä rakenteena on *Device*-luokka. [27] Muut luokat ovat mallissa ensisijaisesti helpottamassa mallin tulkintaa [27]. Tulkin-taa helpottavien rakenteiden hyödyntäminen mallissa on eduksi. Mallin tulkittavuutta pidetään Hevner et al. [4] ja ter Hofsteden ja Properin [8] esittämien periaatteiden mukaisesti yhtenä hyödyllisten informaatiomallien kehittämisen perusteista.

Core Ontology-mallia on käytetty osana tutkimusprojektia, jossa kehitetään uudelleen konfiguroitavien tuotantojärjestelmien hallintaan ja toiminnan suunnitteluun käytettävää järjestelmää. Tuotettava tuote syötetään järjestelmään, joka tuottaa päättelyn lopputulok-sena saatavana olevat tuotannon resurssit ja tarvittavan konfiguraation, jolla tuote voidaan tuottaa. Päättely vaatii kykytiedon tarkkaa määrittelyä osana koko tietorakennetta. [36]

Erilaisten sanallisesti tai vakioiduilla termeillä kuvattujen kyky- tai käytöstietojen esiintyminen tuotannon tietorakenteissa ei ole harvinaista. Yksinkertainen ja yksiulotteinen kyvyn liittäminen kuvaustietona tuotantoresurssiin ei riitä edellä kuvatun päättelyn suorittamiseen, kun päättely koskee kokonaisten tuotantojärjestelmien konfigurointia. [3] Kuvauskyvyn puutteen lisäksi puhtaasti sanalliseen kuvaukseen perustuvat rakenteeton kykykuvaus ei mahdollista eri kykyjen yhdistelmien kykyjen määrittelyä, mikä on oleellista mukautuvien tuotantojärjestelmien hallinnassa [35]. Järvenpään [36] ja Järvenpää et al. [35] esittämä kykytietorakenne ja ontologia soveltavat tässäkin työssä esiteltyä Kitamura et al. esittämää [33] funktionaalisen tiedon konseptia, jonka perusajatus on, että funktio on käytöksen ja halutun lopputuloksen konseptin summa. Järvenpään [36] kyky-mallin *Capability*-käsite vastaa Kitamuran et al. [33] *Behaviour*-käsitettä. *Capability*-konsepti on esitetty kuvassa 18.



**Kuva 18.** UML-kaavio *Capability*-tiedon rakenteesta [35]

*Capability*-tietoa määrittää sille annettu nimi *Capability concept name* ja parametrit *Capability parameter*. Kykyjen yhdistelmä *Combined capability* määritetään yksittäisten kykyjen joukkona. Yksinkertainen ja modulaarinen rakenne mahdollistaa kerran määritettyjen kykyjen käytön hyvin erilaisissa kohteissa. [35] Esimerkiksi kappaleiden liikuttaminen voidaan liittää kyvyksi useisiin erilaisiin resursseihin.

Kykytietorakenteen kehitys ja käyttö on jatkunut mukautuvien tuotantojärjestelmien uudelleenkonfigurointia tutkivassa ReCaM-projektissa [34]. Kykytiedon luontiprosessi alkaa yksittäisten kykyjen luomisesta. Kykyjoukko muodostaa tuotantojärjestelmän kykyjen joukon generisellä tyyppitasolla. Kun kyky assosioidaan jollekin resurssille, siihen lisätään kyseisen resurssin kykyyn liittyvät parametrien arvot. Resurssien yhdistelmät tuottavat niihin liitetystä yksittäisistä kyvyistä yhdistettyjä kykyä, joita määrittää yhdistelmän resurssien kykyjen joukko. Resurssiin liitetyt kyvyt pyritään yhdistämään loogisesti parametritasolla tuotteiden määrittämiin tarpeisiin. [34]

Järvenpää et al. [35] listaavat kykyjen ja tuotetarpeiden loogiseen yhdistämiseen kolme erilaista sääntötyyppiä.

1. Säännöt, jotka määrittävät kuinka kyky- ja tuotetietoja sovelletaan sovellusympäristössä.
2. Säännöt, jotka määrittävät, kuinka yhdistettyjen kykyjen parametrit muodostetaan.
3. Säännöt, jotka määrittävät kuinka dynaamiset tekijät, kuten saatavuus, kunto tai muut elinkaareen liittyvät tiedot vaikuttavat päättelyyn.

Järvenpää et al. [35] esittävät sääntöjen implementoinnista esimerkkejä yksinkertaisina koodia muistuttavina yhtälöjoukkoina. Sääntöjen ja kykyjen määrittämisessä tulisi huomioida mallin laajennettavuus ja ylläpidettävyyys.

Järvenpää et al. [3] esittelevät edellä kuvattuja informaatiomalleja hyödyntävän sovelluksen. Ratkaisu sisältää tuotteen piirteiden tunnistuksen tuotteen kolmiulotteisen CAD-mallin perusteella ja tuotantoresurssien ja niiden kykyjen tietojen luomiseen, muokkaamiseen ja tallentamiseen tarkoitetut käyttöliittymät.

Edellä esitettyjen informaatiomallien ja ontologioiden ja niitä kehittävien tutkimusprojektien tavoitteet ovat lähellä tämän työn tavoitteita. Edellä mainittuja ratkaisuja tullaan soveltamaan työssä soveltuvien osin myöhemmin informaatiomallin kehityksessä. Kriittisenä huomiona voidaan tässä mainita se, että kirjallisuustutkimuksessa tutkituissa lähteissä ei ollut korostettu tutkimuksissa kehitettävien järjestelmien ja konseptien elinkaaren hallintaa kaikilta osin. Informaatiomallien laajennettavuuden parantaminen mahdollisimman geneerisellä ja modulaarisella määrittelyllä oli korostettu. Lisää esimerkkejä tarvittaisiin muun muassa olemassa olevasta tuotantojärjestelmästä tehdyn kokonaisen tietomallinnuksen muokkaamisesta ja laajentamisesta.

## 2.6 Informaatiomallien kehittäminen

Seuraavassa kappaleessa käydään läpi informaatiomallinnuksen yleiset ratkaisut. Työn kannalta keskeisimpiä mallinnusmenetelmiä ovat ontologiset tietomallit, joita on käsitelty kappaleessa syvällisemmin. Työn tutkimuksen suunnittelun kannalta informaatiomallinnuksen prosessi on tärkeä.

Informaatiomalli määrittelee sen käsittelemän aiheen tai sovellusalueen tietojen rakenteen, konseptin, relaatiot ja hierarkian semanttisesti. Sen on tietoa tiedosta. [21] Tietomallien suunnittelu on kriittinen vaihe järjestelmäkehitystä varsinkin sellaisissa tapauksissa, joissa on tarkoitus integroitua useampiin muihin järjestelmiin [9]. Von Euler-Chelpin [30] korostaa tietomallien ja metatietojen rakenteiden kehittämiseen panostamista järjestelmäkehityksen alkuvaiheessa erityisesti sellaisissa järjestelmissä, joissa on tarkoitus ylläpitää suurta määrää tietoa. Metamallien suunnittelulla voidaan välttää esimerkiksi laajojen tietomäärien eriytyminen erillisiksi tiedon saarekkeiksi, joiden välillä tapahtuva yhteistoiminta tai tiedonvaihto voi olla hankalaa poikkeavien ja ristiriitaisten informaatiomallien rakenteiden vuoksi [30]. Kun tiedon rakenne on mallinnettu yksiselitteisesti ja se vastaa

konseptiltaan kuvaamaansa systeemiä, sitä voidaan käyttää useamman kuin yhden prosessin tai toiminnon tukena ja tietolähteenä [7].

Termi ”ontologia” on vakiintunut tietojenkäsittelyssä tarkoittamaan jonkin reaalimaailmasta rajatun aihealueen (*domain*) tietojen ja tietorakenteen kuvaamiseen tarkoitettua sanastoa ja termistöä. Ontologia kuvaa tietokäsitteiden ja varsinaisten tietoinstanssien välisiä relaatioita, hierarkiaa ja luokittelua. Karkeasti ontologisen mallin perusrakenneosat voidaan luokitella sanastoksi ja taksonomiaksi [37]. Ontologinen malli antaa tietoinstansseille merkityksen ja tulkitsee tietoa. [7]

Chandrasekaran et al. [7] listaavat kohdealueita kuvaavien ontologioiden yleisinä piirteinä seuraavat:

- maailma koostuu objekteista (*objects*)
- objekteilla voi olla attribuutteja (*attribute*) tai ominaisuuksia (*property*) joilla voi olla arvoja (*value*)
- objektien välillä voi olla relaatioita (*relation*)
- attribuutit ja relaatiot voivat muuttua ajan kuluessa
- eri aikahetkissä voi esiintyä tapahtumia (*event*)
- objektit voivat osallistua ajassa tapahtuviin prosesseihin
- maailma ja objektit voivat olla eri tiloissa (*state*)
- tapahtumat voivat aiheuttaa toisia tapahtumia tai tiloja
- objekteilla voi olla osia (*part*)

Chandrasekaran et al. [7] listaamat ontologioiden osatekijät antavat hyvän kuvan siitä, millaisista osista ontologiset mallit pohjimmiltaan rakentuvat. Konseptitasolla ontologia kuvataan yleensä taksonomisena puurakenteena, jossa luokituksen ja määrittelyn tarkkuus kasvaa edettäessä ylemmistä luokista alempiin. Luokitteluperusteissa ja siitä seuraavassa taksonomisessa rakenteessa voi olla alakohtaisia eroja, eikä selkeää generistä konseptirakennetta voida tehdä siten, että se sopisi mihin tahansa käyttöön. Rakennetta suunniteltaessa on siis tehtävä tietoisia päätöksiä esimerkiksi luokittelutavoista ja tiedostettava valintojen vaikutukset rakenteen käyttökelpoisuuteen.

Kaikissa tapauksissa, joissa tehdään hyötyä tuottava ohjelmaa tai järjestelmää, on tehtävä malli merkityksellisestä osasta reaalimaailmaa. Mallintamista voidaan hyödyntää myös erilaisten mahdollisten tietorakenteiden evaluoinnissa. Ontologisella mallintamisella voidaan vertailla eri rakenteiden samankaltaisuuksia ja eroja, sekä sovittaa niitä toisiinsa [29]. Ontologisten menetelmien avulla mallista ja sen kehityksestä on mahdollista tehdä systemaattisempaa ja havainnollisempaa, ja siten mahdollisesti myös relevantimpaa [7]. Esimerkiksi, jos mallia pystyvät tulkitsemaan ja ymmärtämään henkilöt ilman ohjelmistotai järjestelmäkehityksen osaamista, voi mallia evaluoida useampi henkilö, joilla voi olla osaamista kohdealaan liittyen.

Ontologisten mallien kehittämisessä ei ole yhtä oikeaa kehitysprosessia. Sovellusalueen laajuus ja tutkimustavoitteet on huomioitava kehityksessä. [38] Ontologisen mallinnuksen rooli suuremmissa järjestelmäkehityksessä on tunnettava. Ontologisen mallin ja mallinnusprosessin tehtävä on olla korkeamman tason abstraktointi sovellusalueesta. Mallin sisältö riippuu tavoitteista ja sovellusalueesta. Malli voi kuvata samaa asiaa esimerkiksi tietojen, prosessien tai toimijoiden kannalta. Ontologian käyttämä tarkastelutarkkuuden taso voi vaihdella tavoitteiden mukaan tarkemmista instansseja sisältävästä mallista abstraktimman tason konseptimalliin. Mallin kieliformaatti ja muoto ovat myös muuttuvia tekijöitä. Äärimmäisissä tapauksissa mallinnus voi olla erittäin formaali, lähes koodikielinen, tarkka malli tai hyvin epäformaali ja pääosin sanallisesti tehty kuvaus. Oikea lähestymistapa riippuu tilanteesta ja tavoitteista. [37] Jos esimerkiksi ontologisen mallin tarkoitus on parantaa projektin henkilöstön välistä kommunikaatiota ja yhteistä käsitystä sovellusalueesta, voi formaalin kuvauskielen käyttö olla tarpeetonta.

Ontologisia malleja tavalla tai toisella käytävissä tutkimuksissa on havaittavissa ontologisten mallien käsittelyä eri tarkasteluakseleilla. Esimerkiksi Lohse et al. [39] kuvaavat Reconfigurable Assembly System-järjestelmiä (RMS) varten kehitettyä laiteontologiaa kolmella akselilla: relaatio, hierarkia ja abstraktio. Akselien erittely on kuvaava tapa eriyttää esimerkiksi malliin tuodut instanssit, ja ontologiakonsepti toisistaan. Tarkastelutapa auttaa monimutkaisen ja tarkastelutasoltaan suhteellisen mallin osien tarkastelua ja vertailua, kun kaikkea malliin liittyvää tietoa ei kuvata samaan näkymään.

Leppänen [37] tunnistaa metatason mallinnukseen kolme erilaista lähestymistapaa. ”Ylhäältä alas”-menetelmässä mallin sisältö ja konsepti muodostetaan sen sovellusalueen koskevan teorian ja yleistiedon pohjalta. ”Alhaalta ylös”-menetelmässä muodostaa metatason mallin tarkempia sovellustason malleja abstraktoimalla. Kolmas menetelmä sekoittaa kahta aiempaa, käyttäen sekä alempien tasojen malleja, että teorian tietoja mallin lähteenä. Leppänen [37] korostaa mallinnusprosessissa samoja yleisiä vaiheita, kuin aiemmin kappaleessa 2.2 esitellyissä informaatiojärjestelmätutkimuksen viitekehyyksessäkin korostettiin. Kehitysprosessin tulisi alkaa tavoitteiden, käyttötarkoituksen ja rajaus-ten muodostamisella. Vasta niiden jälkeen voidaan siirtyä mallin rakentamiseen ja evaluointiin. Mallin rakentaminen koostuu konseptien, relaatioiden tunnistamisella ja jatkuu tunnistettujen kohteiden formaalilla mallintamisella. Evaluointi tehdään kehityksen alussa määriteltujen tavoitteiden ja kriteerien perusteella. [37]

Ter Hofstede ja Proper [8] toteavat informaatiomallien ja formalisoinnin olevan nouseva trendi tietojärjestelmäkehityksen alalla, mutta huomauttavat samalla, että formalisoinnin opetus ja koulutus on yleisesti heikolla tasolla. Vaihtelevat käsitykset ja osaamistasot on osattava huomioida, kun valitaan tiedon formalisoinnin tarkkuutta, mahdollista kuvauskieltä ja abstraktion tasoa. Ontologian yleinen ymmärrettävyys taustasta riippumatta on tärkeä onnistumisen kriteeri, jos mallia on tarkoitus hyödyntää tiedonjaossa. Osaamistaso vaikuttaa myös sekä mallin, että järjestelmien kehityksen kriittisessä alkuvaiheessa. Kehityksen alkuvaiheessa on tehtävä mallinnusta tilanteeseen sopivilla menetelmillä, ettei

mallin ymmärrettävyys, käytettävyys ja relevanttius kärsi väärinymmärrysten tai perusteettomien päätösten vuoksi. Yleisenä ohjeena ter Hofsteder ja Proper [8] toteavat, että varsinkin kehityksen alkuvaiheessa geneerisemmin ja abstraktimmin tehty malli on helpommin sovellettavissa tarpeiden ja rajoitteiden muuttuessa. Geneerisempi mallinnustaso auttaa myös rajaamaan konseptin laajuutta. [8]

## 2.6.1 Formaalit kuvauskielet

Erilaisten rakenteellisten mallien kuvaukseen on kehitetty muutamia täysin formaaleja kuvauskieliä. Edellisessä kappaleessa mainittiin, että mallinnusmenetelmä on valittava vallitsevien tarpeiden ja rajoitteiden mukaan. Tämän työn tuottamaa mallia on tarkoitus hyödyntää erilaisten henkilöiden kanssa järjestelmäprojektin keskeisenä tiedonvälitys- ja –keruualustana ja siksi tämän työn soveltavassa mallinnuksessa tehtiin päätös olla käyttämättä mitään yksittäistä formaalia kuvauskieltä. Tästä huolimatta joistakin kuvaskielistä on otettu vaikutteita ja esitystapoja soveltavassa osuudessa käytettyyn kuvaustapaan ja nämä kielet esitellään lyhyesti tässä kappaleessa.

Unified Modeling Language (UML) on graafinen kuvauskieli erilaisten tietojärjestelmien kaltaisten systeemien ja kokonaisuuksien sisältämien osien mallintamiseen ja visualisointiin. Se päätarkoitus on kuvata systeemien ja järjestelmien sisältämiä staattisia rakenteita ja toimintoja. [40] UML on lähtöisin ohjelmistosuunnittelun tarpeista ja käytännöistä ja on tarkoitettu alun perin täyttämään ohjelmistokehitysprosessien tarpeita [41]. UML koostuu monista eri tarkoituksiin sopivista kaavioista ja osista. Tärkeimpiä komponentteja ovat ”Class”, ”Object” sekä niiden välisiä riippuvuuksia kuvaava ”Association”. Class kokoaa samankaltaiset objektit yhden luokan alle. Luokkiin ja objekteihin liittyy niitä kuvaavia attribuutteja, joilla on reaaliarvoja. UML:n on määritelty monia erilaisia relaatiotyyppisiä, rooleja ja sääntöjä joita mallinnuksessa voidaan käyttää. [40]

Web Ontology Language (OWL) on tiedon sisällön ja rakenteen esittämiseen kehitetty kuvauskieli. OWL on osa W3C:n (World Wide Web Consortium) Semantic Web-konseptia, jolla tavoitellaan tietoverkkojen, erityisesti WWW:n sisältämän tiedon semanttisen kuvauksen kehitystä, jotta verkon sisältämä tieto olisi helpommin hyödynnettävissä koneellisissa ja automaattisissa sovelluksissa. Kielestä on kolme versiota. OWL Lite on ilmaisukyvyltään ja monimutkaisuudeltaan yksinkertaisin, OWL DL sisältää kompleksimpia ja ilmaisukyvyltään tarkempia rakenteita säilyttäen kuitenkin koherentin koneellisen laskettavuuden ja OWL Full lisää edellisiin vielä lisää ilmaisumenetelmiä. OWL-seema koostuu luokista (Class), niiden välisistä riippuvuuksista, määrittävistä (Property) ja luokkiin kuuluvista instansseista (Individual). Luokat muodostavat hierarkisia verkostoja, joissa määrättyt relaatiot luokkien välillä ilmaisevat luokkien suhteita toisiinsa. Relaatiot määrittävät sen, miten instanssit voivat kuulua verkoston eri luokkiin, ja miten Property-arvot assosioituvat instansseihin. [42] OWL on ontologiaa sivuavissa tutkimuksissa hallitseva kuvauskieli, vaikka se ei ole ainoa vastaaviin tarpeisiin kehitetty kieli [29].

OWL-kielisen ontologian kehittämiseen on tarjolla kehitystyökaluja. Esimerkkinä mainittakoon työn tutkimuksissa aputyökaluna käytetty Protégé. Formaalin kielen ja kieli-työkalun vahvuutena on ontologioiden validointi systemaattisten loogisten tarkistusalgoritmien avulla. Esimerkiksi Protégéssa OWL DL-kielellä kirjoitettuja ontologioita voidaan arvioida ohjelman Reasoner-työkalulla, jolla voidaan tarkistaa onko määrättyllä luokalla mahdollista olla instansseja. [43]

Formaali kuvauskieli yhdessä ontologisen mallinnuksen kanssa tukevat termien ja informaatiokonseptien yhteiskäyttöä ja jakamista määrittämällä käytettyjen informaatiokonseptien ja termien rakenteet ja relaatiot semanttisesti ja koneellisesti tulkittavassa muodossa, jolloin keskitetyn informaatiomallin tulkinta ja käyttö eivät ole ainoastaan mallin tekijän subjektiivisen näkemyksen varassa [29]. Informaatiomallin rakentaminen vähintään edellä mainittuja kuvauskieliä mukaillen voidaan nähdä mallin käytettävyyttä ja työstä saatavaa hyötyä lisäävänä tekijänä. Mallin tekeminen varsinaisella koodikielellä nähtiin tässä työssä tarpeettomaksi, koska koodikielisen mallille ei ollut todettavissa varmaa jatkokäyttöä tai sovellusta sellaisenaan. Kielien sisältämiä mallinnuskonsepteja ja yleisiä termejä ja menetelmiä mukailtiin kuitenkin mahdollisimman paljon siltä varalta, että malli halutaan myöhemmin kääntää formaalille kielelle.

## 2.7 Haastattelututkimuksen suunnittelu

Tässä kappaleessa on esitelty työn soveltavan osuuden haastattelututkimuksen suunnitteluperusteista ja suunnitellusta haastattelukonseptista. Haastattelua kehitettiin kirjallisuuden tietojen lisäksi iteratiivisesti saatujen kokemusten perusteella. Tutkimuskertomus haastattelujen suorittamisesta on kappaleessa 3.4.

Haastattelututkimus lukeutuu kvalitatiivisten tutkimusmenetelmien joukkoon, jos menetelmiä luonnehditaan kerätyn ja tutkitun tiedon perusteella. Kvalitatiivinen tutkimus tutkii määrittelyltään epämääräistä tai vapaamuotoista tietoa. Tutkimuksen kontekstilla on voimakas vaikutus siihen, miten tietoa tulkitaan ja käsitellään. Chism et al. [44] määrittelevät kvalitatiivisen tutkimuksen tavoitteeksi ymmärtää miten tai miksi jokin ilmiö tapahtuu. Chism et al. [44] mainitsevat positivistisen tutkimuksen lähestymistavan tyypilliseksi tekniisten tieteiden tutkimuksessa. Oletetaan, että esiintyy jokin absoluuttinen totuus, joka selvitetään tutkimuksen menetelmillä.

Haastattelututkimus on osa laajempaa tutkimusstrategiaa ja se on suunniteltava siten, että se on yhdenmukainen muun tutkimuksen strategian ja tavoitteiden kanssa. Strategia määrittelee esimerkiksi sen, mitä ja millä keinoin tutkimus pyrkii saavuttamaan. Tutkimus voi pyrkiä esimerkiksi selvittämään ilmiön aiheuttavia juurisyitä, ilmiön välittömiä ja välillisiä seurauksia tai ilmiön karakteristisia piirteitä. Kerätystä tiedosta voidaan pyrkiä muodostamaan kokonaiskäsitys, ydinteoria tai tapauskohtainen kuvaus. Erilaiset tutkimusstrategiat vaativat niitä tukevia menetelmiä ja tutkimuskysymyksiä. Chism et al. [44] jakavat haastattelut karkeasti kolmeen tyyppiin:

- Rakenteellinen haastattelu
- Puoli-rakenteellinen haastattelu
- Rakenteeton haastattelu

Rakenteellisen haastattelun kysymyksen on määritelty täysin ennalta ja vastaukset sovi- tetaan esimääritelyyn formaattiin ja vaihtoehtoihin, kuten monivalintavastauksiin. Puo- lirakenteellinen haastattelu koostuu rakenteellisen tapaan esimääritellyistä kysymyksistä. Vastaukset ovat vapaita ja haastattelua voidaan tilanteen vaatiessa laajentaa ylimääräisen tiedon hankkimiseksi. Rakenteeton tai vapaa haastattelu suoritetaan ilman varsinaisia ky- symyksiä, keskustelunomaisesti esivalittuja aihealueita käsitellen. Haastattelijalle jää pal- jon vastuuta aiheen määrittelystä ja tietojen laadun hallinnasta. Haastattelutyypin valin- taan ei ole yksiselitteistä ohjetta, vaan valinnassa on huomioitava suuri määrä tapauskoh- taisia piirteitä, kuten haastateltava joukko, taustatiedot, tutkimuskysymykset ja haastatte- luasetelma. Yleisesti voidaan ohjeistaa, että haastattelutyypin ja haastattelukysymysten valinnassa tulisi huolehtia tavoitteiden saavuttamisesta.

On varmistuttava, että haastattelussa käsitellään kaikki halutut kysymyksen tai aiheet ja kerätään mahdollisimman paljon tutkimukselle relevanttia tietoa. Haastattelutyypin ja ky- symykset voivat vaikuttaa tiedon laatuun ja relevanttiuteen. Esimerkiksi tarkkaan suun- nitellun ja rajatun rakenteellisen haastattelun kattamasta aihealueesta ja kerätyn tiedon kattavuudesta voidaan jo etukäteen tehdä ennusteita. Esimääritelty haastattelurakenne ja kysymykset voivat kuitenkin rajata kerätystä tiedosta pois aiheita, jotka ovat tutkimuk- selle relevantteja, mutta niitä ei osattu huomioida etukäteen. Vastaavasti täysin vapaa- muotoinen haastattelu mahdollistaa ennalta tuntemattomaan tietoon reagoimisen jous- tавasti, mutta tutkimuksen rakenne ja kysymysten johdattelevuus voivat vaihdella haastat- telutilanteiden kesken, jolloin kerätyn tiedon vertailukelpoisuus voi kärsiä haastattelujen kesken. Dokumentointitavan on tuettava haastattelun rakennetta ja kysymyksiä. Raken- teellisessä haastattelussa esimääritellyt lomakkeet ja vastauskaavakkeet ovat tyypillisiä. [44] Vapaamuotoisemmissa haastatteluissa voidaan käyttää muistiinpanoja ja erilaisia nauhoitusmenetelmiä. Chism et al. [44] listaavat useita haastattelun suunnittelun suuntaa- antavia ohjeita. Ainakin seuraavia tekijöitä tulisi huomioida haastattelun rakennetta, pros- sessia ja kysymyksiä suunniteltaessa:

- Ketä haastatellaan ja miksi?
- Kuinka monta henkilöä haastatellaan ja montako kertaa?
- Koska haastattelu suoritetaan ja kuinka kauan se kestää?
- Koska yksittäiset henkilöt haastatellaan?
- Kuinka haastatteluun osallistuminen on organisoitu?

Kokonaisuudessaan haastattelun prosessin ja mekanismien on oltava kompromissi jous- tavuuden ja rakenteellisen vakauden sekä ennustettavuuden välillä. Tärkeintä on, että



haastattelua suunniteltaessa tehdään tietoisia suunnittelupäätöksiä, joilla pyritään tavoitteisiin. Suunnitellun haastattelun onnistumista on arvioitava tutkimuksen aikana ja sen jälkeen. Kerätyn tiedon laatua on tärkeää arvioida tiedon jatkokäytön kannalta. Chism et al. [44] listaavat haastattelun arviointikriteereiksi seuraavat:

- Relevanttien, spontaanien ja sisällöllisten vastausten määrä
- Kysymysten pituus suhteessa vastauksien pituuteen
- Kuinka paljon haastattelija esittää jatkokysymyksiä ja selvennyksiä korostaakseen vastausten relevantteja osia?
- Kuinka paljon haastattelua tulkitaan ja sovelletaan haastattelun aikana?
- Kuinka usein haastattelijan on varmistettava käsityksensä haastateltavan vastauksesta?
- Pysyykö haastattelu halutussa aiheessa ilman ylimääräisiä vaikuttimia?

Voidaan todeta, että haastattelututkimus vaatii suorittajalta ja suunnittelijalta huomattavaa harkintakykyä ja osaamista tutkimusaiheesta. Haastattelun suunnittelu on tapauskohtaista, eikä tarkkoja ohjeita voi, eikä välttämättä kannatakaan noudattaa. Tarkkojen suunnitteluohjeiden ja viitekehysten puutteesta huolimatta hyvin suunniteltua haastattelututkimusta voidaan parantaa ja korjata systemaattisesti tarpeen mukaan, kun suunnitteluperusteet ja tavoitteet on dokumentoitu selkeästi.

## 2.8 Kirjallisuustutkimuksen tulokset

Tässä kappaleessa on lyhyt yhteenveto kirjallisuustutkimuksen tuloksista, tavoitteiden täyttymisestä sekä tulosten jatkokäytöstä.

Kirjallisuustutkimuksen tuottaman tiedon ensisijainen tarve on toimia taustatietona, suunnittelun stimulanttina ja apuna sekä referenssimateriaalina työn soveltavassa osuudessa. Soveltava osuus koostuu pääosiltaan tutkimuksesta ja informaatiomallin kehittamisestä. Soveltavan tutkimuksen taustatiedoksi tutkittiin haastattelututkimuksen suunnittelukäytäntöjä ja tutkimuksen suunnitteluun saatiin käyttökelpoinen viitekehys. Tietojärjestelmä-tutkimuksesta selvitettiin vastaavasti hyviä tutkimusprosesseja ja menetelmiä. Kappaleessa 2.2 esitelty tutkimusviitekehys antaa hyvän lähtökohdan sekä soveltavan osuuden tietojärjestelmä tutkimukseen ja jatkokehitykseen, kuin myös koko työn suunnitteluun. Kappaleen 2.3 sisältö toimii riittävänä taustatietona käytännön kokemuksen lisäksi tutkittaessa yrityksen tietojärjestelmiä sekä tuotannon järjestelmiä käsitteleviä standardeja. Standardikatsauksessa jatkotutkimuksen kannalta merkittävin selvinnyt tieto ei ollut standardien sisältämät ratkaisut, vaan tiedot standardien sovellettavuudesta ja standardien tavoitteista. Yhtä selkeää standardeista löytyvää ratkaisua ei työn tutkimusongelmiin löytynyt, mutta tieto siitä, että standardiratkaisua ei ole, on myös arvokasta jatkotutkimuksen kannalta. Tutkimusprojektien tuottamien informaatiokonseptien tavoitteet ja sovellukset ovat huomattavasta lähempänä tämän työn tavoitteita standardeihin verrattuna.

Kirjallisuustutkimus on riittävä työn tutkimuksen jatkamiseen, mutta samalla on aiheellista mainita, että kirjallinen tieto työn aihealueen standardeista, tutkimuksesta ja kehityksestä on tällä hetkellä melko hajanaista ja selkeän kokonaiskuvan hahmottaminen alan tutkimuksesta on haastavaa ja työlästä. Kattava kirjallinen selvitys alan tutkimuksen nykytilasta, sekä eri tutkimusprojektien lähtökohdista ja vaikuttimista olisi hyödyllinen lisä tämänkin työn tutkimukseen. Esimerkiksi tuotannon tietojen standardeista, niiden katealueista ja päällekkäisyydestä on tehty tutkimuksia [20], jotka auttavat huomattavasti hahmottamaan alan standardien tilaa ja fokusoimaan kirjallisuusselvitystä oleellisiin lähteisiin.

## 3. PROSESSIEN JA JÄRJESTELMIEN TUTKIMINEN

Soveltavan tutkimuksen tavoite on kartoittaa informaatiomallin kehitykseen taustatietoja ja tavoitteita kirjallisuustutkimuksessa esitettyjen Hevner et al. [4] ja Rittelin ja Webberin [6] suunnittelun ohjeiden mukaisesti. Kappaleessa 3 on esitelty soveltavan tutkimuksen tutkimuskysymykset, valitut tai kehitetyt tutkimusmenetelmät, tutkimuskertomukset ja tutkimustulokset.

### 3.1 Soveltavan tutkimuksen tehtävät ja tavoitteet

Hevner et al. [4] ja Rittelin ja Webberin [6] mukaan käyttöprosessien ja niihin liittyvien tietojärjestelmien tarpeiden kartoitus on ehdoton osa tietojärjestelmän kehitystä, joka palvelee sekä alkuvaiheen informaatiomallinnusta, että myöhempää järjestelmäkehitystä. Kappaleessa 2.2 esitettiin informaatiojärjestelmien tutkimuksen viitekehys, joka korostaa kehitysprosessin alkuosan selvitystyötä ja taustatietojen hankintaa kehityksen onnistumisen kannalta keskeisenä vaiheena. Prosesseja ja taustatietoja analysoimalla selvitetään ratkaistavan ongelman perimmäiset juurisyyt ja kehityksen tavoitteet [6].

Työssä tutkitaan tulevaan resurssienhallintajärjestelmään liittyviä prosesseja nykytilaansa. Tavoitteena on muodostaa käsitys kehityksen tavoitteista ja keskeisistä kehityskohteista. Prosesseista tutkitaan tuotantoa, tuotannonsuunnittelua ja nykyisten järjestelmien käyttöä. Tietojärjestelmistä tutkitaan tuotannonsuunnittelujärjestelmää, nykyistä resurssienhallintajärjestelmää sekä tuotannonohjausjärjestelmää. Järjestelmäanalyysissä keskitytään työn kannalta oleellisimpiin kohtiin. Tarkoitus ei ole tehdä kattavaa teknistä järjestelmäkuvausta kaikista järjestelmistä. Tärkeintä on tutkia järjestelmien sisältämää tietoa ja sen käyttöä järjestelmien sisällä ja niiden ulkopuolella.

Jokaisesta tutkimuskohteesta pyritään kokoamaan tulevan resurssienhallintajärjestelmän sekä informaatiomallin kannalta keskeisiä tavoitteita. Tavoitteet ovat ohjaavana tekijänä informaatiomallin kehityksessä, sekä toimivat suunnittelun lähtökohtina myöhemmässä järjestelmäkehityksessä.

### 3.2 Prosessianalyysi

Informaatiojärjestelmien tutkimukseen kuuluu järjestelmän käyttöön tai sen sisältämään tietoon liittyvien prosessien tutkiminen [4]. Prosesseja tutkimalla selvitetään järjestelmän kehitykseen tarvittavia tarpeita ja ydinongelmia. Työhön valittiin tarkasteluun yrityksen tuotantoprosessi erityisesti resurssien käytön kannalta sekä tuotannonsuunnitteluprosessi.

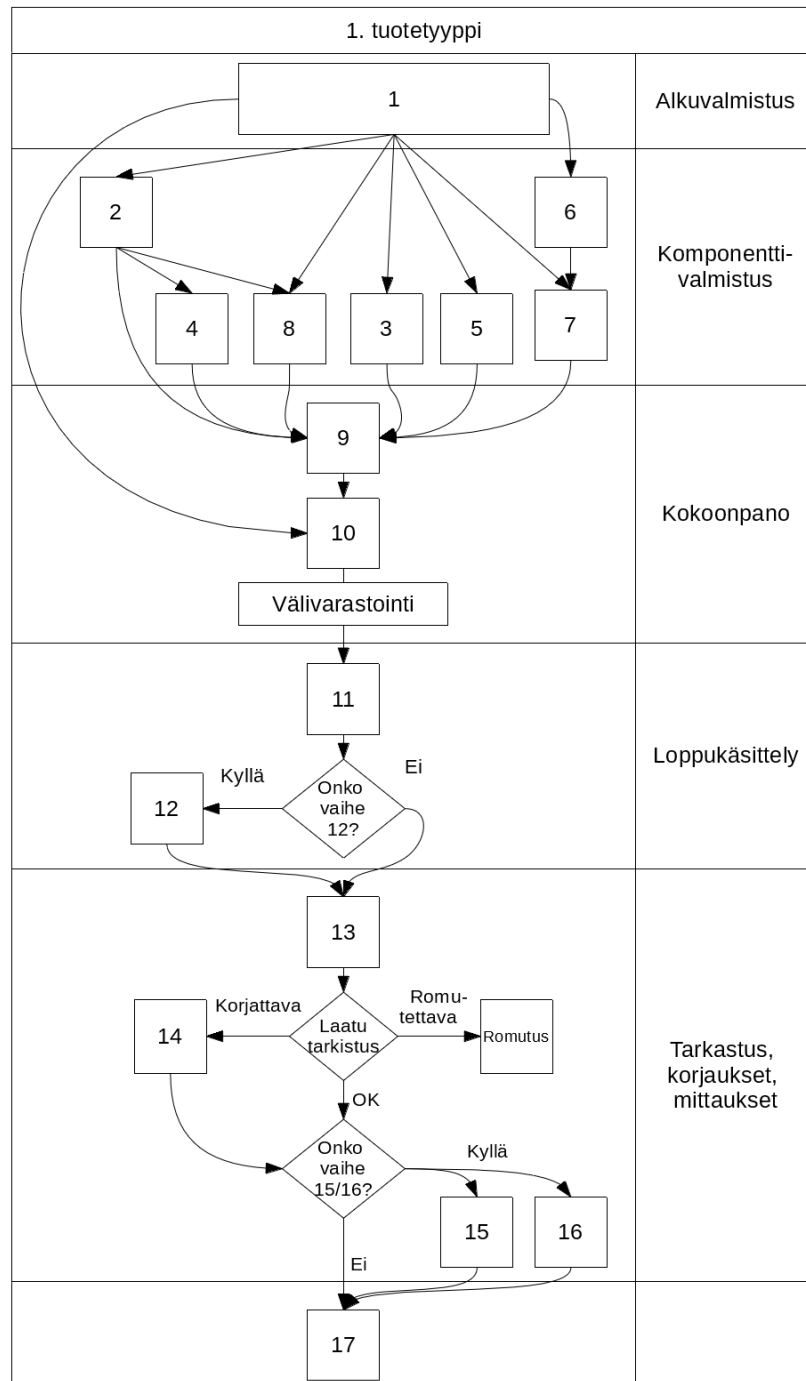
Tuotannosuunnitteluprosessin kehityksen tukeminen on uuden tietojärjestelmän takaisinmaksun tärkeimpiä edellytyksiä ja tuotantoprosessi liittyy tuotannosuunnitteluun oleellisesti. Prosessikuvaukset ovat myös lähtötietoja järjestelmän kehitykseen, kun yrityksen ulkopuolisille henkilöille selvitetään kehityksen lähtötilannetta ja tarpeita. Kappaleessa 3.2.1 on esittely ja analyysi tuotantoprosessista ja kappaleessa 3.2.2 vastaavasti tuotannosuunnitteluprosessista. Tuotannosuunnitteluprosessin tutkimuksessa ja kuvauksessa on tuotu esille myös prosessin käyttämien tietojen virtausta eri toimijoiden ja järjestelmien kautta. Tietovirtojen kuvaus on yksi työn tavoitteista.

### 3.2.1 Tuotantoprosessi

Seuraavassa on esitetty kohdeyrityksen tuotantoprosessin päävaiheet. Päävaiheilla tarkoitetaan varsinaisen lopputuotteen suoraa valmistusprosessia. Tuotantoprosessiin kuuluu lisäksi päävaiheita palvelevia sekundäärivaiheita, kuten asetustöitä ja kunnossapitoa, joita ei ole kuvattu prosessimalleihin erikseen. Kappaleessa, ja muualla työssä, esitetyt prosessikaaviot noudattavat Martinsuon ja Blomqvistin [45] prosessimallinnuksen ohjeita. Prosessikuvauksissa on selostettu tärkeimmät materiaalivirrat, resurssien käyttö, tuotannon rajoitteet ja tyypilliset ohjauksen haasteet.

Tuotantoprosessiin on tutustuttu pääosin aiemmin työsuhteen aikana ja muissa työtehtävissä. Tutkimusmenetelminä voidaan mainita havainnointi tuotantoympäristössä sekä tuotereseptien tutkiminen.

Tuotantoprosessi jakautuu tuotteittain kahteen erilliseen pääprosessiin. 1. ja toisen tuotetyypin rakenteet ja valmistusmenetelmät eroavat toisistaan merkittävästi. Joitakin komponenttivalmistuksen vaiheita, sekä prosessin loppuvaiheita lukuun ottamatta tuotetyyppien tuotantoprosessit ovat erilliset. Kuvassa 19 on esitetty 1. tuotetyypin tuotantoprosessi. Kaaviossa numeroidut neliöt edustavat prosessin päävaiheita ja nuolet materiaalin virtausta. Vaiheet on luokiteltu niitä vastaavien tuotantoalueiden mukaan.



**Kuva 19.** 1. tuotetyypin tuotantoprosessin päävaiheet

Kuvan 19 prosessit on numeroitu ja numeroita vastaavat prosessien kuvaukset ja resurssit ovat liitteessä 3, taulukossa 5. Vaihe yksi tuottaa materiaalia useiden myöhempien vaiheiden tarpeisiin. Komponenttivalmistuksen vaiheissa tuotetaan kaikki tuotteen kokoonpanossa käytettävät komponentit. Komponenttivaiheet 6 ja 7 suoritetaan peräkkäin. Kaikki komponenttivaiheiden koneresurssit ovat täysin kyseisten komponenttityyppien valmistuksen käytössä. Valmistettavien komponenttityyppien rakenne on samankaltainen, mutta ulkomitat ja muut geometriset parametrit sekä käytettävät materiaalityypit

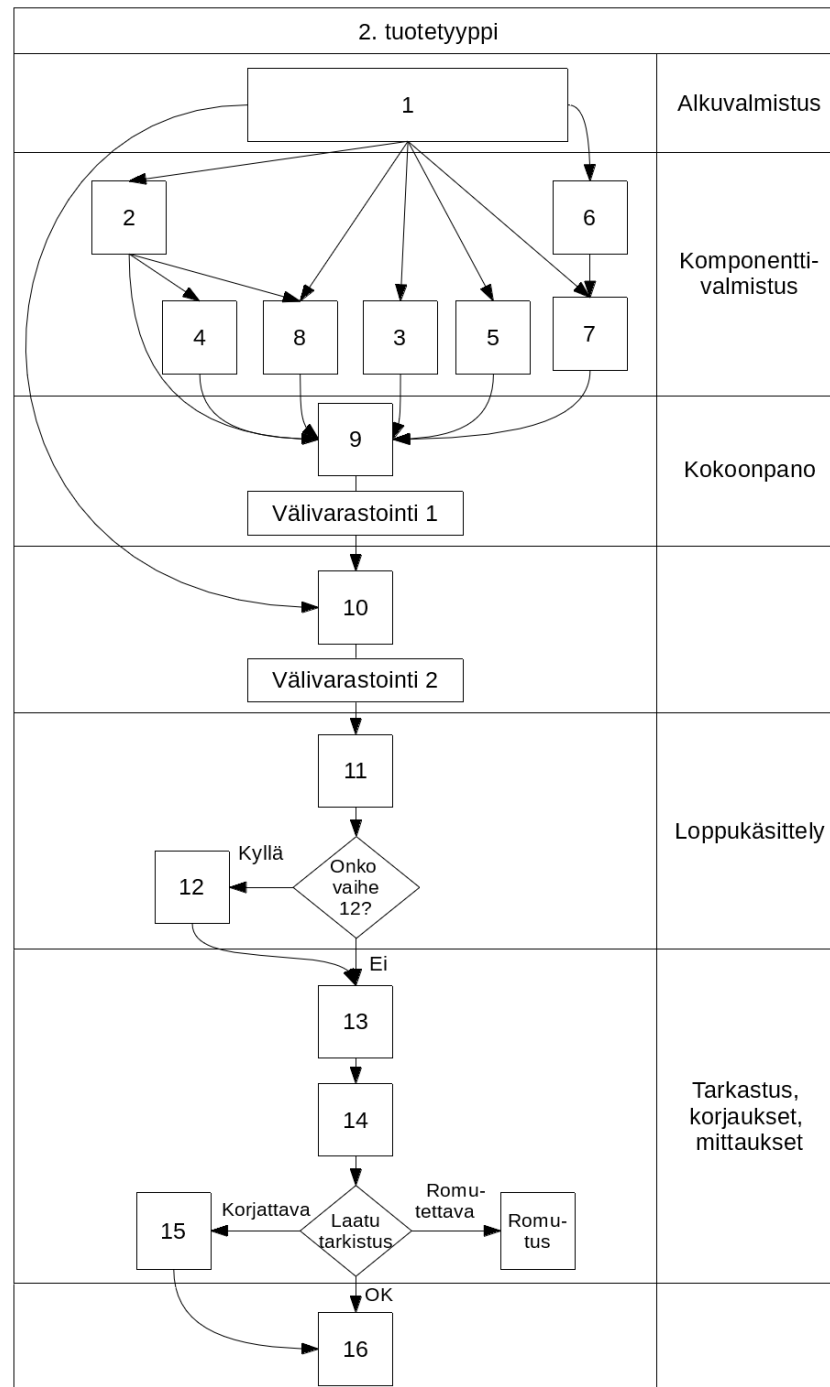
vaihtelevat tuotekohtaisesti. Useissa tuotteissa voi olla täysin samaa komponenttia. Komponentit tilataan kokoonpanoon tuotantotilaukskohtaisesti. Komponenttikoneiden työjonot ja tuotantojärjestys määräytyvät kokoonpanotilauksen aikataulun, sekä jonossa olevien komponenttien mittojen ja tyyppien mukaan. Koneiden operaattorit pyrkivät minimoimaan tuotevaihtomuutoksia. Komponenttivalmistuksen resurssirajoite on komponenttien varastointiin ja kuljetukseen käytettävien komponenttikelojen ja kasettien saatavuus. Kuljetuslaitteita on rajattu määrä ja tilaa niiden varastointiin tehtaan lattialla on hyvin rajautusti. Tuotannonohjaajilla on oltava riittävän ajantasainen kuva tehtaan lattialla olevista komponenteista ja saatavilla olevista kuljetuslaitteista.

Kokoonpano koostuu kahdesta vaiheesta, 9 ja 10, jotka suoritetaan eri koneilla. Kummallakin koneella tehdään koneenosien vaihtoja, jos merkitsevät tuotemit muuttuvat. 1. tyypin kokoonpanossa tehdään tyypillisesti 2-4 eri tuotetta jokaisella koneella vuorokauden aikana. Vaiheiden 9 ja 10 välissä on pieni, muutama tuotteen välivarastointiteline ja lattiatilaa kompensoimassa prosessien vaiheajoeroja ja koneiden miehityseroja.

Vaiheen 10 ja 11 välissä on suurempi, useiden satojen tuotteiden välivarasto. Varasto tarvitaan, koska vaiheen 11 vaihe aika on moninkertainen vaiheiden 9 ja 10 vaihe aikaan verrattuna. Välivarastopaikat on jaettu tuotteen korkeuden mukaan ja tuotteiden välivarastointiin käytettävät kuljetustelineet ovat rajallinen resurssi kokoonpanossa. Tuotteita voidaan kuljettaa vihivaunuilla vaiheiden 10, 11 ja 12 välillä, mutta manuaalinen kuljetus on mahdollista ja joskus tarpeellista ahtaiden kulkuväylien vuoksi. Vihivaunujen saatavuus riippuu vaiheissa 11 ja 12 käytettävistä resursseista. Osa resursseista on vihivaunualueen ulkopuolella.

Vaiheeseen 11 liittyy paljon rajallisia aliresursseja. Tuotteen vaihto vaiheen 11 resurssilla tarkoittaa useiden tuntien asetus aikaa, kun tuotteen muotti vaihdetaan. Muotit ja asennusvälineet ovat raskaita ja vaativat nostimia ja muista vastaavia logistisia resursseja sekä ammattitaitoisen henkilöstön. Vaihe 11 on tuotannon ensisijainen pullonkaula ja tärkein ohjauspiste. Vaiheen 11 tehokas kuormitus on tärkeintä koko tuotannon tehokkuuden ja tuottavuuden kannalta. Vaihe 12 kuuluu vain pieneen osaan tuotteista. Joissakin kuormitustilanteissa, joissa kyseisiä tuotteita valmistetaan useita samaan aikaan, vaiheen 12 resurssit voivat olla rajoittava tekijä. Vaiheiden 11 ja 12 välinen sallittu odotusaika on hyvin rajallinen. Loput vaiheet sisältävät lopputuotteiden laatutarkastukset ja mahdolliset siistimiset ja korjaukset. Joihinkin tuotteisiin tehdään mittauksia ja mittamerkintöjä asiakkaita varten. Mittauksiin on oma koneensa, jonka kapasiteetti voi olla tuotantoa rajoittava tekijä, jos kuormitus on korkea.

Kuvassa 20 on esitetty 2. tuotetyypin tuotantoprosessin päävaiheet.



**Kuva 20.** 2. tuotetyypin tuotantoprosessin päävaiheet

Tuotteen kokonaisrakenne eroaa merkittävästi 1. tuotetyypistä, mutta komponenttien rakennetyypit ovat samanlaisia kummassakin tuotteessa, joten komponentteja tuotetaan samoilla koneilla tuotteen 1. komponenttien kanssa. Kokoonpanovaihe 9 suoritetaan 2. tuotetyypin valmistukseen tarkoitetuilla kokoonpanokoneilla. Kuten 1. tyypin koneilla, myös tässä vaihdetaan koneen osia tuotteen mittojen mukaan. Tyypillisesti jokaisella kokoonpanokoneella valmistetaan 1-2 eri tuotetyyppeä vuorokaudessa. Vaiheiden 9 ja 10 välissä on välivarasto, joka jakautuu tuotekokojen mukaisiin varastopaikkoihin. Joidenkin varastopaikkakokojen saatavuus on tuotantoa rajoittava resurssi kun tuotantovolyyymi on suuri.

Vaiheessa 10 tuotteeseen aplikoidaan pintamateriaali. Vaihetta suorittavilla resursseilla tehdään koneenosavaihtoja tuotemittojen mukaan. Erityisesti suuremmilla tuotteilla koneiden kapasiteetti voi olla ajoittain tuotantoa rajoittava tekijä pitkien vaiheaikojen vuoksi. Vaiheen 10 jälkeen tuoteaihiot siirretään toiseen välivarastoon. Vaihe 11 ja sen jälkeen seuraavat vaiheet ovat identtisiä 1. tuotetyypin tuotantoprosessin kanssa ja niissä käytetään samoja resursseja. Tuotetyyppien 1. ja 2. aihoiden siirtämiseen ei käytetä samoja vihivaunuja, erilaisten aihoiden mittojen ja muotojen vuoksi.

### 3.2.2 Tuotannosuunnittelumenetelmät ja rajoitteet

Tässä kappaleessa on esitelty yrityksen tuotannosuunnittelun prosessi. Tuotannosuunnittelu on tärkein tulevan tietojärjestelmän käyttöprosessi ja nykyisen prosessin kuvaus ja keskeisten tietotarpeiden tutkiminen ovat oleellinen osa järjestelmän esiselvitystä. Tuotannosuunnitteluprosessi on myös osa kehitettävän tietojärjestelmän tietovirtaprosessia. Tuotannosuunnittelusta on hankittu tietoja pääosin työn ulkopuolisissa työtehtävissä vuosien 2015-2017 aikana.

Tämän työn tekovaiheessa yrityksen tuotannosuunnittelujärjestelmä vaihdettiin uuteen, minkä vuoksi suunnitteluprosessi on vielä osin muutosvaiheessa. Tässä esitetty prosessi vastaa suunnittelun tilaa työn tekohetkellä. Työhön tehdyn tutkimuksen pohjalta selvinneitä tuotannosuunnittelun kehityskohtia on käsitelty työn loppuosassa kappaleessa 5.3.1. Työssä käsiteltävä resurssienhallintajärjestelmän kehitys on osa suurempaa tuotannosuunnittelun kehitystä. Esitelty prosessi on rajattu siten, että se käsittää tuotantotilauksen luonnin ja varastolle vastaanoton välisen prosessin tuotannosuunnittelun kannalta. ERP-järjestelmän sisäiset prosessit on rajattu pois.

Tuotannosuunnittelun prosessikaavio on liitteessä 4. Sitä voidaan tulkita edellisen kappaleen tuotantoprosessikaavioiden tukemana. Prosessikaavio sisältää tuotannosuunnittelun ydinprosessin lisäksi tuotannosuunnitteluun liittyvät muut prosessit niiltä osin, kuin on tietovirtojen tai suoran ohjausvaikutuksen kannalta tarpeellista mallintaa. Näitä ovat tuotantoprosessi, josta on kuvattu edellisen kappaleen kuvien kokoonpano ja loppukäsittelyvaiheet, sekä tuotteiden tarkastus ja vastaanotto varastolla. Kaavio on jaettu uimarata-mallilla Martinsuon ja Blomqvistin ohjeen mukaisesti [45] vaakasuuntaisiin osioihin, jotka edustavat eri tietojärjestelmiä tai prosesseja. Kaavio sisältää kaikki suoraan tuotannosuunnitteluun liittyvät tietojärjestelmät ja niiden ja tuotannosuunnittelujärjestelmän välisen tiedonvaihdon. Kaaviota tulkitessa on huomioitava, että siitä ei käy ilmi järjestelmien välisiä rajapintoja tai tietokantojen välisiä yhteyksiä. Tuotannosuunnittelu- ja varastohallintajärjestelmien tietokannat on kuvattu malliin tulkinnan helpottamiseksi. Kaaviossa on mallinnettu prosessien suorittajia, merkitsemällä prosessin oletustekijän työnimike prosessiin katkoviivalla. Suorittajia on kuvattu ellipsin muotoisilla merkeillä. Uimaratakaavion lohkot on järjestetty kappaleessa 2.4.1 esitettyä ISA95-hierarkiamallia mukaillen liiketoiminnan tasojen mukaan. Näin ISA-95-standardissa korostettu vertikaalinen tiedonsiirto esitetään myös prosessikaaviossa pystysuuntaisena. Prosessien kulku



on esitetty kaaviossa vasemmalta oikealle. Keskeiset prosessit, eli tuotannosuunnittelu ja -ohjaus, on kuvattu tarkemmin ja muut tietoa tuottavat tai käyttävät prosessit otsikkotasolla. Joitakin kokonaisprosessin osia on mallinnettu tarkemmin ja ne esitellään kappaleessa erikseen.

Tuotannosuunnittelun perustehtävä yrityksessä on tyydyttää myyntiprosessin lopputuloksena syntyvät tuotetilaukset. Päätaavoitteet jakautuvat kahteen ryhmään. Myynnin asettamat tavoitteet ovat toimitusaikataulu ja toimitusmäärä. Tarvittava määrä tuotteita on valmistettava toimituspäivään mennessä. Tuotannon suoritustavoitteista tuotannosuunnittelun kannalta tärkeimpiä ovat tuotannon käyttöaste, tuottavuus ja ylityön määrä. Tuotannosuunnitteluprosessin sisäistä suorituskykyä ja palveluntuottoa mitataan lisäksi niin sanotulla Hit Rate-prosentilla, eli osumatarkkuudella, jolla tuotantosuunnitelma pitää paikkaansa. Hit Rate mitataan erikseen sekä pelkästään tuotteiden puuttuvien kappaleiden, että puuttuvien ja ylimääräisten kappaleiden suhteen, joista ensimmäinen on tavallisesti tärkeämpi.

Tuotetilaukset voivat tulla tuotannosuunnittelun piiriin useita eri reittejä. Yrityksen ERP-järjestelmä sisältää oman tuotantotilaustyökalunsa, jota käytetään myytyjen tuotteiden tai esimerkiksi OEM-asiakkaille toimitettavien tilausten ennusteiden kirjaamiseen. Tilauksien osoittaminen tuotannosuunnittelulle sähköpostin tai puhelimen välityksellä on myös tavallista, mutta kaikki myyty tilauskanta kulkee lopulta ERP-tilausten kautta. ERP-datalla ylläpidetään myynnin ja tuotannosuunnittelun perustyökalua, Available To Promise-näkymää (ATP), joka kertoo tuotteiden kokonaissaatavuuden myytyjen tilausten toimitusaikataulun, varastosaldojen ja ERP:n välitettävän tuotantosuunnitelman summana. Käytännössä negatiivinen tuotteen saldo ATP-näkymässä tai siitä tuotettavassa raportoinnissa tarkoittaa, että tuotantosuunnitelman mukainen tuotanto ei tyydytä toimitusaikataulun mukaisia tuotetoimituksia. Näiden tietojen, sekä myynnin asettamien prioriteettien perusteella tuotannosuunnittelijat muodostavat käsityksen tuotantotarpeesta.

Tuotantotarvetta tyydyttämään luodaan tuotannosuunnittelujärjestelmään uusia tuotantotilauksia tai muokataan olemassa olevia tilauksia. Yleensä luotavalle tilaukselle on alustavasti tiedossa sopiva paikka aikataulussa ennen tilauksen luontia. Paikan arviointiin tarvitaan tietoa olemassa olevasta suunnitelmasta, joka kertoo tuotannon kapasiteetin saatavuuden sekä tietoa tuotteiden tuotantoreiteistä, joka kertoo käytettävissä olevat koneet ja resurssit. Tuotantosuunnitelma on kokoonpanokoneiden, loppukäsittelyvaiheessa käytettävien koneiden ja niissä käytettävien muottien hienokuormitussuunnitelma. Suunnittelujärjestelmä esittää suunnitelman Gantt-kaaviossa. Koneille aikataulutettavien tuotantoporaatioiden kesto lasketaan tuotteiden valmistuksen vaiheajojen, resurssien miehitys- ja huoltokalenterien sekä resurssien häiriökertoimien perusteella. Tuotannosuunnittelujärjestelmän käyttämää reittimallia ja tietotarpeita on käsitelty tarkemmin kappaleessa 3.3.1.

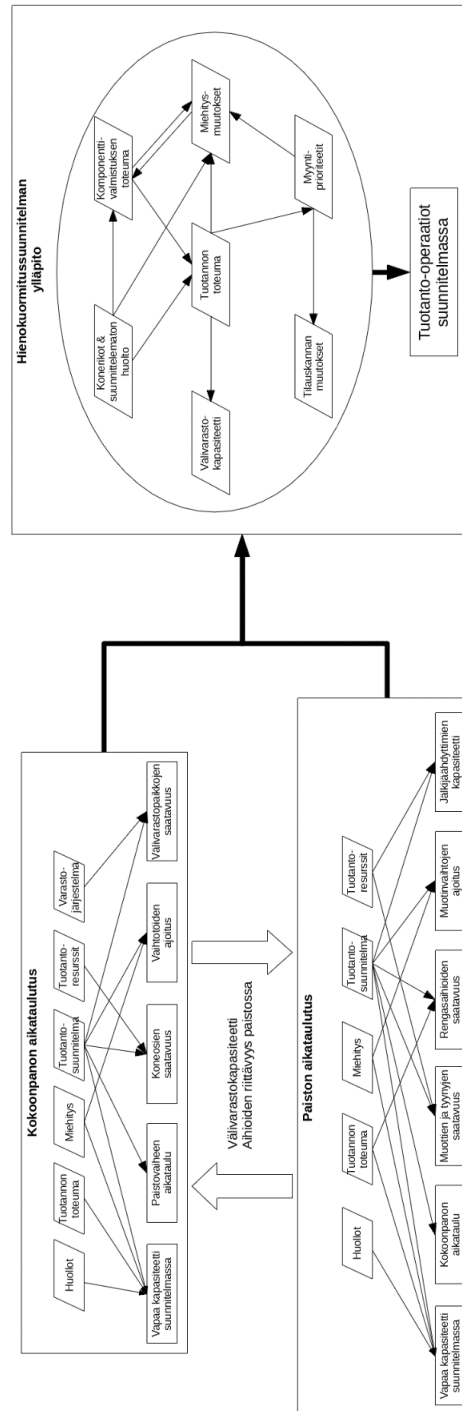
Minkä tahansa tuotantotilauksen aikataulutuksen ja sijoittaminen tuotantosuunnitelmaan vaatii vapaan tuotantokapasiteetin etsimistä valituilta resursseilta. Muita tuotantotilauksia saatetaan joutua siirtämään korkeamman prioriteetin tilauksen tieltä muualle. Kaikissa tapauksissa on huomioitava kokoonpano- ja loppukäsittelyvaiheiden keskinäinen sijoittelu. Jos kokoonpano alkaa huomattavasti ennen loppukäsittelyä, tuoteaihioiden välivarasto voi täytyä, jolloin kokoonpano keskeytyy. Loppukäsittelyn vaihe aika on yleensä moninkertainen kokoonpanoon verrattuna. Siksi kokoonpanotilaus jaetaan usean tuotanto-operaation sarjaksi, joiden välissä voi olla muiden tuotteiden tuotantoa. Yksi kokoonpanokone saattaa tyydyttää esimerkiksi kolmen loppukäsittelyvaiheen tuoteaihiotarpeen. Kokoonpanokoneen tuotantotyöjonon järjestys ja priorisointi on tärkeää ja siinä on huomioitava vastaavat loppukäsittelyvaiheet. Jos tuoteaihiot loppuvat kesken loppukäsittelystä, joutuu kyseinen resurssi odottamaan, jolloin tuotantoa ei tapahdu ja pullonkaularesurssien käyttöaste laskee, laskien samalla koko tuotannon tehoa ja tuottoa. Lisäksi kaikkien resurssien työjonojen suunnittelussa on huomioitava tuotevaihtojen vaikutus ja aikataulu. Tuotekokojen vaihtoja voidaan minimoida tekemällä peräkkäin samaa kokoa. Saman tuotekoon koneosia on rajallinen määrä, joka voi rajoittaa tuotekoon valmistusta samanaikaisesti usealla koneella.

Työvaiheita suorittavan henkilöstön vuorosuunnitelma on nykyisessä suunnitteluprosessissa oleellinen tekijä. Henkilöstö on ryhmitelty päätoimialueensa ja noudattamansa vuorojärjestelmän mukaan. Työntekijöiden vuoroja ja positioita, eli työtehtävää kussakin vuorossa suunnitellaan henkilökohtaisesti erillisessä vuorosuunnitelmajärjestelmässä, joka on prosessikaaviossa näkyvä ReHa (Resurssien Hallinta). Kaikkien täysiaikaista miehitystä tarvitsevien koneresurssien miehitysaikataulu tuodaan tuotannosuunnittelu-järjestelmään, jossa se näkyy avoimena ja suljettuna kalenteriaikana kyseisellä resurssilla. Puoliautomaattisten resurssien, jotka eivät tarvitse täysiaikaista miehitystä, kalenterit ovat tuotannosuunnittelun näkökulmasta haasteellisempia, sillä niiden kapasiteetti ei ole täysin suoraan verrannollinen henkilöstön määrään, jos henkilöstöpuutteet ovat pieniä.

Osa henkilöstöstä suorittaa tuotantoa tukevia töitä, kuten esiasetuksia ja kunnossapitoa, joka ei ole suoraan verrannollinen suunniteltuun tuotantokapasiteettiin, mutta joka voi aiheuttaa tuotantoon rajoitteita, jos esimerkiksi tuotantovaiheen valmistelu- ja asetustyöt viivästyvät miehityspuutteiden vuoksi. Miehityssuunnitelmaa suunnitellaan säännöllisesti tuotannosuunnittelun tarpeiden ohjaamana ja sitä ylläpidetään jatkuvasti poissaolojen, paikkausten ja ylitöiden suhteen työnjohdon ja esimiesten toimesta. Samassa tietojärjestelmässä hallitaan koneiden ennakkohuoltokalentereja, jotka tuodaan tuotantosuunnitelmaan.

Kaaviossa esitetty suunnitelman ylläpito käsittää tuotannosuunnittelijan päivittäisen päivitystyön, jossa tuotanto-operaatioita ajoitetaan viimeisimmän tiedon perusteella. Yleensä edellisenä päivänä tehdyn päivityksen jälkeen tuotannon toteuma on vaikuttanut käynnissä olevien tuotantosarjojen laskettuun loppumisaikaan, joka vaikuttaa muihin ko-

neen työjonossa oleviin töihin. Miehityskalenteriin on voinut tulla muutoksia, jolloin kokonaiset vuorot saattavat sulkeutua tai avautua. Tuotannon hienokuormitus prosessia on vaikeaa vakioida yhteen prosessikaavioon, koska prosessi on ihmisten tekemää ja mahdollisia tilanteita on paljon. Kuvassa 21 on esitetty tuotannon hienokuormituksen päätöksentekoon vaikuttavia tekijöitä ja niiden välisiä vuorovaikutuksia.



**Kuva 21.** Tuotannon hienokuormituksen tiedot ja vaikuttajat

Kuten kuvasta 2 nähdään kaikki vaikuttaa lähes kaikkeen. Tuotannon toteuma on merkittävä syiden seurauksia kokoava tekijä, mutta yleensä pelkästään siihen reagoiminen tuotannosuunnittelussa on liian myöhäistä. Suunnitelman haasteet on nähtävä aikaisemmin. Esimerkiksi tilanteet, joissa tuotannon mahdollinen myöhästymisen aiheuttaisi välillisesti kalustopuutetta muualla tuotannossa, voitaisiin havaita tekemällä kuormitus suunnitelmaa myös sekundääriresursseille, lähinnä koneiden vaihdettaville osille. Nykyisillä järjestelmillä tämän toteuttaminen on haastavaa ja tehotonta manuaalisen tuotantoreittien ja resurssien ylläpidon vuoksi.

Kokonaisuudessaan tärkeimpänä tuotannosuunnitteluprosessin kehitystä määrittävänä tekijänä voidaan pitää sitä, että myynti ei vahvista tuotetilauksia valmistuneita tuotteita vastaan, vaan suunniteltua tuotantokapasiteetin käyttöä vastaan. Lähes kaikki tuotannosuunnitelmassa oleva tuotanto on jo myyty asiakkaille sillä hetkellä, kun se suunnitellaan. Prosessikaaviossa tätä kuvaa integraatio tuotannosuunnittelujärjestelmän suunnitelman ja ERP:n ATP-tietojen välillä. Myynnin ja tuotannon välissä on lopputuotevarasto, mutta se ei riitä toimimaan puskurina myyntitoimitusten ja tuotannon välillä, koska suurta määrää eri tuotenimikkeitä ei pystytä valmistamaan varastoon pienen varsinkaan korkean myyntivolyymien aikana.

Tuotannosuunnittelun Hit Rate-prosentti on tärkeä mittari ja tavoite, jotta toimitukset asiakkaille voidaan tehdä tuotannosuunnitelmaan perustuvan lupauksen mukaisesti. Lisäksi Hit Rate-tavoite on saavutettava resursseja tehokkaasti käyttäen. Tuotannosuunnittelun kehityksen päätavoitteeksi voidaan näistä tiedoista todeta tarvittavien tuotantoresurssien tehokas ja realistinen hienokuormitus. Resurssirajoitteet on pystyttävä mallintamaan suunnittelujärjestelmään selkeästi ja niitä on pystyttävä hyödyntämään suunnittelu-prosessissa. Suunnitteluprosessissa on kuitenkin huomioitava sen kuormittavuus ja tehokkuus. Suunnittelujärjestelmään on teknisesti helppoa lisätä suuri määrä resursseja ja työvaiheita, mutta niiden jotta niitä voitaisiin hyödyntää, on tietoja ylläpidettävä jatkuvasti. Ylläpidosta ja suunnittelutyöstä ei saa aiheutua turhaa työtä.

Tietojen jaon ja laajan käytön haasteena on tiedon virtauksen tehokkuus [38]. Ehdottomien tuotannosuunnittelun rajoitteiden lisäksi on havaittu joukko niin sanottuja pehmeitä rajoitteita ja preferenssejä, koskien tuotantoresurssien valintaa. Esimerkiksi kokoonpanossa joidenkin tuotteiden suosikkikoneeksi on valittu kone, jolla tuotteen tekeminen on helpompaa, laadukkaampaa tai nopeampaa. Koneella voidaan esimerkiksi hyödyntää enemmän automaattisia työmenetelmiä käsityön sijaan. Vastaavasti loppukäsittelyssä osa resursseista on vihivaunujärjestelmien piirissä tai varustettu automaattisilla kuormaajilla, jotka vähentävät manuaalisen työn määrää. Mutta kriittisessä tilanteessa ei ole varsinaista teknistä estettä käyttää muitakin resursseja.

Tuotannosuunnittelun tietojärjestelmien kannalta suosikkikoneet ja vastaavat preferenssit ovat haastavia. Kuten myöhemmin kappaleessa 3.3 tehdyssä tutkimuksessa voidaan

todeta, tuotannonsuunnittelujärjestelmä ei tue resurssien preferenssiluokittelua yksinkertaista listajärjestystä lukuun ottamatta. Järjestelmä ei siis kykene kuvaamaan esimerkiksi suosikkikoneiden valintakriteerejä, eikä suoraan tue valintapäätöksentekoa preferenssikoneiden ja muiden resurssien välillä. Haastattelututkimuksessa (kappale 3.4) ilmeni myös, että konepreferenssejä ja niiden perusteita ei ole tällä hetkellä tallennettu minnekään keskitetysti vaan ne ovat osa suunnittelijoiden tietotaitoa. Osaltaan tähän vaikuttaa nykyisen resurssienhallintajärjestelmän tapa mallintaa tuotantoreittejä. Järjestelmään tehdään manuaalisesti niin sanottu Crossref-viittaus tuotteen ja resurssin välille, joka sallii tai estää tuotteen valmistuksen kyseisellä resurssilla. Binäärinen tieto (sallittu tai estetty) ei voi kuvata valintahierarkiaa tai -perusteita.

Kuten edeltävästä kuvauksesta voidaan todeta, suunnitelmassa olevien resurssien lisäksi tuotantoa rajoittavia tekijöitä on useita. Työvaiheissa tarvitaan rajallisia laiteresursseja tai henkilöstöä, joka ei ole hienokuormituksen piirissä. Työn tulkintaa ja käyttöä helpottamaan suunnittelun kannalta merkittävät hienokuormittamattomat rajoitteet on esitetty liitteen 5 taulukossa 7.

### 3.3 Järjestelmäanalyysi

Järjestelmäanalyysi käsittää tärkeimpien tulevaan tietojärjestelmään mahdollisesti integroitavien tietojärjestelmien sisältämän tiedon ja tietojen käytön. Tarkoitus ei ole tehdä kokonaisia järjestelmiä kattavia selvityksiä tai spesifikaatioita, vaan tutkia järjestelmien tapaa mallintaa ja käyttää integraatioihin liittyvää tietoa. Tavoitteena on selvittää mahdolliset integroitavien järjestelmien asettamat rajoitteet tai vaatimukset resurssienhallinnan sisältämälle tiedolle, jotka olisi hyödyllistä huomioida informaatiomallin kehityksessä. Integroitavien järjestelmien lisäksi tutkimus kattaa nykyisen resurssienhallintajärjestelmän sisältämän tiedon.

#### 3.3.1 Tuotannonsuunnittelujärjestelmän tietotarpeet

Tuotannonsuunnittelujärjestelmä on tulevan resurssienhallintajärjestelmän ensisijainen integraatiokohde. Tavoitteena tätä työtä tehtäessä on, että resurssienhallintajärjestelmä tuottaisi tuotannonsuunnittelujärjestelmään siinä tarvittavat tuotekohtaiset tuotantoreitit ja tuotantoresurssinimikkeet. Tuotannonsuunnittelujärjestelmä sisältää paljon tietoja ja tietorakenteita kuten resurssien kalentereita, tuotantotilauksia ja miehityssuunnittelua. Järjestelmän analysointi rajoitettiin tuotantoresurssien ja tuotantoreittien ja niiden sisältämien instanssien informaatiomallin tutkimiseen. Analyysin tuottama tieto tukee kehitettävän järjestelmän informaatiomallin kehitystä, sillä järjestelmien integroinnin edellytyksenä on, että resurssienhallintajärjestelmän sisällöstä voidaan muodostaa tuotannonsuunnittelun reitit ja että reittien hallinta ja ylläpito järjestelmässä on loogista ja selkeää. Toisin sanoen järjestelmien tavat mallintaa reittejä eivät saa olla ristiriidassa keskenään.

Seuraavassa on esitetty tutkimuksen tuloksia. Informaatiomallit esitetään kappaleessa 2.6.1 esitetyn UML-kielen graafista esitysmuotoa yksinkertaistetusti mukailleen.

Yrityksellä on käytössään tuotannon hienokuormitusjärjestelmä Rob-Ex. Järjestelmää on tutkittu käytännön testeillä, käyttöohje- ja spesifikaatiodokumentteja tutkimalla ja järjestelmän Multiuser-ympäristön SQL-tietokantaa lukemalla. Lisäksi järjestelmästä on kerätty runsaasti kokemustietoa muissa työtehtävissä ennen tutkimuksen tekoa.

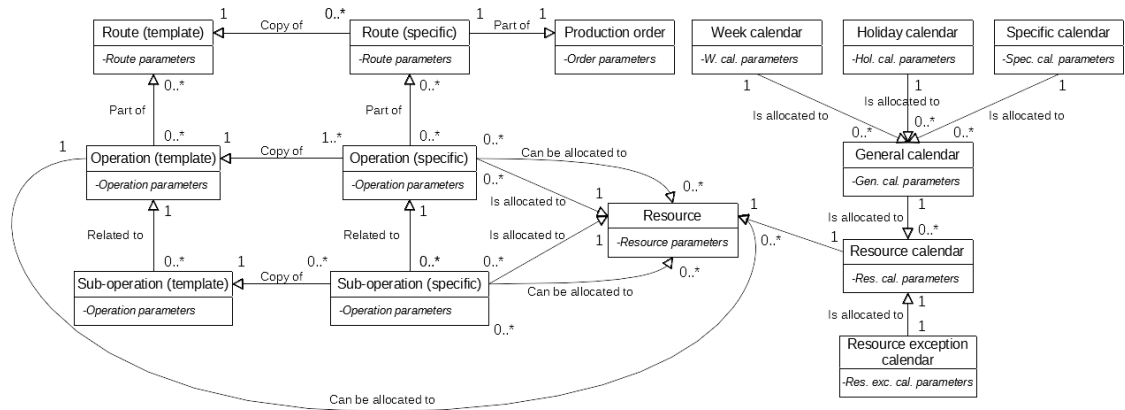
Tuotannosuunnittelujärjestelmän tuotantoreitin muodostavat perusosat on listattu selitteineen taulukkoon 3.

**Taulukko 3.** Tuotannosuunnittelujärjestelmän reitin osat

Nimi	Selite
Operaatio ( <i>Operation</i> )	Tuotantoaikaa käyttävä yksittäinen jakso, jolla on alku ja loppuaika. Edustaa yhtä tuotteen tuotantovaihetta. Operaatiolle määritetään resurssit, joille se voidaan aikatauluttaa.
Alioperaatio ( <i>Sub-operation</i> )	Pääoperaatiolle alistettu operaatio, joka on synkronoitu pääoperaation kanssa.
Reitti ( <i>Route</i> )	Tuotteen tuotantovaiheet sisältävä reititys, joka koostuu yhdestä tai useammasta operaatiosta määrättyssä järjestyksessä.
Tilaus ( <i>Order</i> )	Tuotteen tuotantotilaus, joka sisältää muun muassa tuotettavan määrän, tavoitetoimitusajan ja tuotannon mahdollisen aloitusajan. Tilaukseen liitetään reitti, joka sisältää tilaukseen tarvittavat tuotantovaiheet.
Resurssi ( <i>Resource</i> )	Tuotannosuunnitelman instanssi, jolta operaatiot varaavat aikaa. Resurssi edustaa esimerkiksi tuotantolaitetta, -työkalua, -solua tai henkilöä joka suorittaa operaatiota.
Materiaali ( <i>Material</i> )	Operaatioiden välille voidaan määrittää materiaalivirtaus, määräämällä niille materiaalinimikkeitä, joita ne tuottavat ja kuluttavat. Tuotto, kulutus ja saldot voidaan esittää graafisesti.
Resurssikalenteri ( <i>Resource calendar</i> )	Kalenteri, joka määrittää siihen liittyvien resurssien suunniteluun avoimen tuotantoajan.

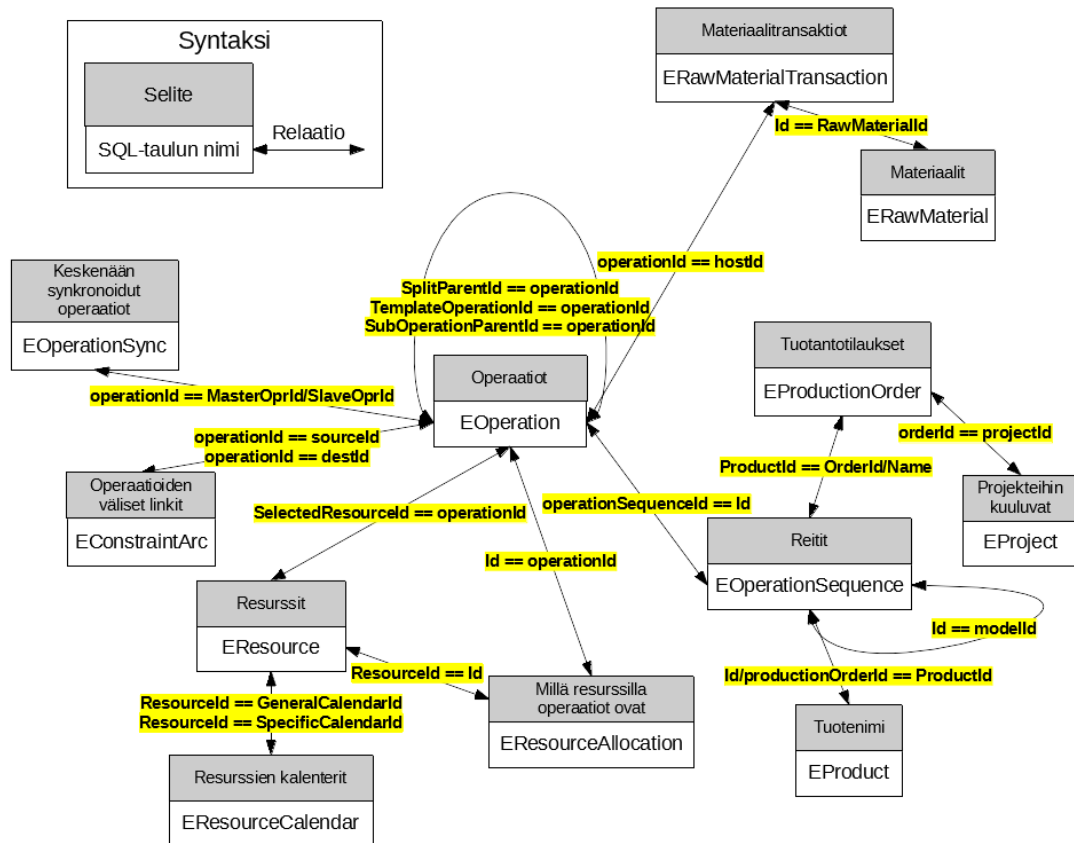
Tuotannosuunnittelujärjestelmään luodaan operaatioita, jotka edustavat suunniteltavia tuotantovaiheita. Operaatiot liitetään osaksi reittinimikettä, joka vastaa tuotteen tuotantoprosessia tai sen osaa, jota suunnitellaan. Reitillä määritetään operaatioiden sallittu järjestys ja relaatiot. Suunnitelmaan luodaan tilaus, johon muodostetaan tilauskohtainen

reitillä edellä luodun mallireitin perusteella. Kohdeyhteyksen tapauksessa reitit ovat tuotekohtaisia. Kun tilaus on luotu ja vahvistettu, se ilmestyy suunnittelunäkymään, jossa se aikataulutetaan tuotantoresurssille. Tuotantotilaukseen liittyvät tiedot ja niiden yhteyden on esitetty kuvassa 22.



**Kuva 22.** Tuotantotilauksen tiedot

Kuvasta käyvät ilmi tilauksen (*Production order*) hienokuormitukseen kuuluvat tiedot reitityksen osalta. Tietojen parametreja ei ole tarpeellista listata kokonaisuudessaan tähän, sillä ne löytyvät järjestelmän dokumentaatiosta selkeästi [46] (Liite A: Data Model GanttERP2). Kuvasta ei voi tulkita reitillä olevien operaatioiden hierarkian määräytymistä. Hierarkia ilmaisee operaatioiden järjestyksen reitillä. Se mallinnetaan järjestelmässä operaatioiden parametrien ja operaatioiden välisten relaatioiden avulla. Relaatiot reitteihin joihin operaatio kuuluu ja järjestyslukuparametri kertoo operaation sijoituksen reitillä. Kuvan 22 lisäksi vastaavista tiedoista tehtiin järjestelmän tietojen ja niiden välisten viittausten tulkinnan tueksi yksinkertaistettu tietokantakuvaus, josta käy ilmi tietorakenne. Kuvaus on kuvassa 23.

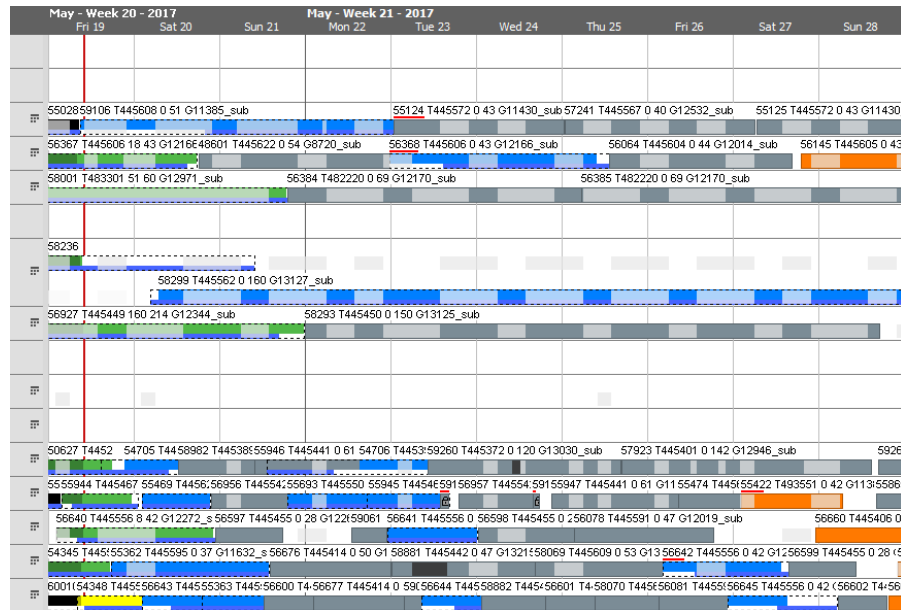


**Kuva 23.** Tuotantotilaukseen liittyvien tietojen sijainti ja viittaukset järjestelmän tietokannassa

Kuvan rakenne on yksinkertaistettu esitys järjestelmän integraatio-ohjeissa [46] dokumentoidusta tietorakenteesta, joka on esitetty järjestelmän SQL-kannan taulujen välisillä viittauksilla. Kuva esittää tilaukseen liittyvän tuotantoreitin ja sen tietojen mallin tietokantatasolla. Vaikka tässä työssä rajattiin resurssienhallintajärjestelmän tietokantarakenteiden suunnittelu työn ulkopuolelle, on tuotannosuunnittelun tietokantarakennetta hyödyllistä tutkia ja dokumentoida, jotta saadaan kattava käsitys järjestelmien välille suunniteltavan reititysintegraation tarvittavasta lopputilasta. Tulevassa järjestelmässä ylläpidettävä reitti on pystyttävä tallentamaan kuvan mukaiseen tietorakenteeseen.

Tuotanto-operaatioiden sijoittamiseen tuotantoresurssille tehdään Gantt-kaavionäkymässä, jossa vaaka-akselilla on aikajana ja resurssit listattu allekkain. Esimerkki Gantt-näkymästä on kuvassa 24.





*Kuva 24. Tuotannonsuunnittelujärjestelmän Gantt-näkymä*

Kuvassa on järjestelmän Gantt-näkymä kokoonpanoresursseilta, jossa resurssit ovat riivejä, aikajana vaaka-akselilla ja operaatiot vaakasuuntaisia palkkeja resurssien aikajanaalla. Operaatioiden väri kertoo niiden senhetkisen tilan. Tila kertoo onko operaatio enustettua, vahvistettua, käynnissä olevaa vai valmistunutta tuotantoa. Operaatioiden pituus riippuu operaatioiden ja resurssien tehokertoimista, operaatiolle määritetystä kapasiteetista, asetus ja vaihtoajoista ja resurssin kalenterista. Asetukset ja vaihdot ovat operaatioiden parametreja ja kalenterit osa resurssien tietoja kuvan 22 mukaisesti.

Kuvista 22 ja 23 voi havaita myös tuotannonsuunnittelujärjestelmän reittirakenteen puute, jota tulevilla resurssienhallintajärjestelmällä pyritään paikkaamaan. Sama puute on myös nykyisessä resurssijärjestelmässä. Operaatiot allokoitetaan niille sopiville resursseille yksinkertaisesti listaamalla sallitut resurssit operaation tietoihin. Tiedoissa ei oteta kantaa valintakriteereihin, eikä listattuja resursseja voi esimerkiksi ryhmitellä sopivuuden mukaan. Järjestelmään tuskin voidaan tuoda valintakriteeritietoa jatkossakaan, ellei resurssiallokoinnin toimintamalli muutu, mutta valintaan vaikuttavien kriteerien ja ehtojen talentaminen vakioformaattiin ja reittien muodostus ehtojen perusteella parantaisi resurssien allokoitinta koskevien tietojen parempaa jaettavuutta ja läpinäkyvyyttä suunnittelu rajoitteista. Suunnittelujärjestelmään päättyvät resurssiallokoinnit muodostettaisiin ehtojen perusteella koko tuotteistolle, jolloin allokoitinten perusteet olisivat tiedossa.

Suunnittelujärjestelmän analysoinnin perusteella järjestelmän reittirakenne on helposti ja yksinkertaisesti laajennettavissa. Jos reaali maailman tuotantotapahtumia voidaan mallintaa riittävällä tarkkuudella operaatioina, alioperaatioina ja niitä kuvaavina parametreina, voidaan reitille lisätä teoriassa rajattomia määriä osia. Tuotannonsuunnittelujärjestelmän käyttöönotossa kertyneiden kokemusten perusteella yrityksen suuren tuotemäärän mal-

lintaminen reiteiksi nykyisellä kahden tai kolmen operaation rakenteella tuottaa huomattavan määrän manuaalista ylläpitotyötä. Järjestelmässä ei ole tehokkaita työkaluja esimerkiksi tietojen massamuutoksien toteuttamiseen, eikä tapaa mallintaa esimerkiksi kuvaavia parametreja ehdollisesti toisten tietojen perusteella.

Kuten kappaleen alkupuolella todettiin, resurssienhallinnan käyttämä reittitietomalli tulisi ainakin tukea yhdenmukaisesti tuotannosuunnittelujärjestelmän reittimallia. Etuina todetaan yksinkertainen tietojen integrointi järjestelmien välillä. Jos mallit poikkeaisivat huomattavasti toisistaan, saatettaisiin integraatorajapinnassa joutua tekemään monimutkaista päättelyä ja tulkintaa tietojen muodostamiseksi. Monimutkainen päättely saattaisi rajoittaa resurssijärjestelmän käyttöä ja aiheuttaa epäselvyyksiä järjestelmään syötettävän tiedon formaatteihin ja rakenteisiin, jos esimerkiksi tietoja pitäisi syöttää rajatussa muodossa integraation toimivuuden varmistamiseksi.

### 3.3.2 MESin tietotarpeet

Yrityksen tuotannonohjausjärjestelmä oli työtä tehtäessä käytössä osittain tuotannon työvaiheissa ja kehitys vielä kesken. MES:n ja resurssienhallintajärjestelmän mahdollisista tietointegraatioista ei ollut selkeää suunnitelmaa työn tekoaikana, joten tarkempaa analyysia MES:n sisältämästä tietorakenteesta ei katsottu tarpeelliseksi. MES:n ja tulevan resurssijärjestelmän integrointitarpeesta ja saatavasta hyödystä on kerätty tietoa keskustelemalla kehitysprojektissa ja järjestelmätoimittajalla työskentelevien henkilöiden kanssa, sekä havainnoimalla järjestelmän nykyistä käyttöä tuotannossa. Tähän kappaleeseen on kerätty tutkimuksessa kertyneitä huomioita järjestelmien kehityksen tueksi.

MES-kehityksessä on toistuvasti huomioitu ja todettu haastavaksi epämääräinen ja formaatiton tuotantoresurssien tietojen hallinta yrityksen eri järjestelmissä ja dokumenteissa. Yhteisten käytäntöjen ja formaattien puute korostuu esimerkiksi koneiden nimeämiskäytännöissä, jotka vaihtelevat järjestelmien kesken. MES:n kannalta olisi eduksi, jos jossain järjestelmässä olisi keskitetysti saatavilla yhteisesti hyväksytty master-lista tuotannon eri resurssinimikkeistä ja niiden perustiedoista. MES ja tuotannosuunnittelujärjestelmä on tarkoitus integroida ja siten kummankin järjestelmän resurssien tulisi olla yhteensopivia. Tuotannosuunnittelujärjestelmän resurssitietoja tullaan hallitsemaan tulevalla resurssijärjestelmällä, joten myös MES:n resurssitietoja voitaisiin hallita samassa järjestelmässä jolloin järjestelmien tiedot olisivat keskenään yhteensopivia.

MES:n on suunnitteilla toimintoja tuotekomponenttien valmistuksen ja varastoinnin hallintaan ja ohjaukseen. Toiminnot saattavat tarvita tietoja komponenttien kuljetukseen ja varastointiin käytettävistä kuljetusvälineistä ehkä jopa yksilötasolla. Jos välineistöä on tarve kuvata yksilöllisesti, kasvaa niitä koskevien tietojen ylläpitokuorma huomattavasti. Tällöin tulisi harkita välineiden tietojen hallintaa tulevassa resurssijärjestelmässä MES:n sijaan. Järjestelmässä olisi jo vakioitu resurssitietorakenne ja prosessi tietojen ylläpitoon. Samalla tiedot olisivat keskitetyksi käytettävissä muissakin prosesseissa MES:n lisäksi.

Integraatiota MES:n kanssa on suositeltavaa harkita MES-projektin edessä säännöllisesti. Kuten Hevner et al. [4] ja Rittel ja Webber [6] mainitsevat, suunnittelutavoitteilla on taipumus muuttua kehityksen edessä, joten lopullista päätöstä integroinnista ei kannata vielä tehdä tällä hetkellä saatavilla olevan tiedon perusteella.

### 3.3.3 Resurssienhallintajärjestelmä

Yrityksen nykyistä resurssienhallintajärjestelmää, johon liittyvää toimintaa ja tietojen käyttöä pyritään kehittämään, tutkittiin järjestelmän sisältämien tietojen kartoittamiseksi. Resurssienhallintajärjestelmää Global Resource Registry (GRR) tutkittiin sen sisältämiä tietoja analysoimalla. Järjestelmää koskevia tietoja on kerätty myös kappaleessa 3.4 esitellyissä haastatteluissa. Yrityksen järjestelmässä käyttämä tietotyyppien määrä on suhteellisen pieni, vaikka tietoinstanssien määrä on suuri, joten järjestelmän sisältämää tietoa oli mahdollista tutkia manuaalisesti riittävän kattavasti.

Järjestelmällä on ollut alun perin kaksi päätehtävää: yrityksen tuotantoresurssien tietojen ja koneenosien yhteensopivuustietojen ylläpito ja tuotenimikkeiden resurssiallokointitietojen tuottaminen tuotannosuunnittelujärjestelmälle. Jälkimmäinen tehtävä on poistunut, kun vanha tuotannosuunnittelujärjestelmä poistettiin käytöstä. Haastatteluissa käyttyjen keskustelujen perusteella ensimmäinen tehtävä on edelleen tosi joidenkin resurssien osalta, mutta joidenkin tietojen ylläpito ja käyttö on jäänyt ajan myötä vähäiseksi tuotannon resurssien, toiminnan ja tietojärjestelmien muuttuessa.

Ensimmäiseksi järjestelmän tiedoista tehtiin kartoitus, jossa listattiin tietotyypit ja niihin kuuluvat parametrit. Listaus on esitetty liitteessä 7. Listauksessa on kaikki järjestelmän resurssija tai tuotenimikkeitä kuvaavat tietotyypit ja niiden parametrit. Jokainen taulu vastaa yhtä tietotyyppiä, jonka luokka on ylimmässä rivissä ja tyyppin nimi sen alla. Lähtökohtaisesti jokaiselle tietotyyppille on määritelty järjestelmään riippumaton ja yksilöllinen parametrijoukko, mutta joitakin perusparametreja, kuten jokaisen taulun lopussa olevia muutoslokeja, on käytetty kaikissa tiedoissa.

Järjestelmän tietoinstanssien nopealla selailulla huomion kiinnitti parametrien epäjärjestelmällinen käyttö. Tästä syystä parametreista tehtiin taulukkolaskentaohjelmaa hyödyntäen käyttöasteanalyysi, jossa parametrit jaettiin kolmeen luokkaan sen perusteella, kuinka aktiivisesti niissä on syötettyä tietoa. Luokitukset näkyvät liitteessä 7. Vihreään luokkaan kuuluvissa parametreissa on jokin syötetty arvo jokaisen instanssin parametrikentässä. Keltaisessa luokassa olevissa parametreissa ainakin yhdellä instanssilla oli parametrin arvo. Punaiseen luokkaan kuuluvista parametreista ei löytynyt arvoa yhdeltäkään instanssilta.

Kuten liitteestä 7 nähdään, parametrien käytössä on voimakasta hajontaa. Tarkemman tutkimuksen perusteella joillakin parametreilla käytön vähäisyyttä selittää esimerkiksi se, että parametri on binäärinen (Kyllä tai Ei) tai checkbox-tyyppinen merkintä, joka on tosi

vain harvoilla resursseilla tai tuotenimikkeillä. Täysin käyttämättömien parametrien määrä on silti huomattava. 11 tarkastellusta tietotyypistä vain kolmella ei ole yhtäkään täysin käyttämätöntä parametria. Resurssien tiedoista enimmäkseen status- ja lisätietotyypiset ovat vajaakäytöllä. Tuotenimikkeiltä sen sijaan puuttuu valtaosa tarvittavista mittaparametreista. Tietojen luotettavuuden kannalta huomiota herättävä puute on muutostietojen (muutettu, muuttaja, luotu, luoja) osittainen tai kokonainen puuttuminen joiltakin tietotyypeiltä. Muista järjestelmistä kertyneiden kokemusten perusteella vastaavat metatiedot ovat lähes aina järjestelmän automaattisesti tallentamia, eivätkä ne voi puuttua.

Edellä esitetystä tiedosta tehtiin vielä geneerisempi informaatorakennekuvaus, josta käy selkeämmin ilmi tuotannosuunnittelujärjestelmälle tuotettavan allokoitintiedon rakenne. Informaatorakenne on esitetty liitteessä 8. Liitteen kuvaan on mallinnettu tietotyypit joita on kuvattu luokka (*kursiivilla*), tietotyyppi (**korostettuna**) ja parametrit, sekä näiden väliset relaatiot. Järjestelmässä ei ole muita relaatioita kuvassa esitetyn yksinkertaisen puurakenteen lisäksi.

Resurssiallokointi Crossref, on yksinkertainen kahden instanssin välinen viittaus, joka yhdistää tuotenimikkeen tai koneosaresurssin tuotantoresurssiin. Resurssiallokoinnin lisäksi samaan rakenteeseen on toteutettu viittauksen tuotenimikkeiden välille, joiden rinnakkainen valmistus on sallittu kaksipaikkaisilla koneilla loppukäsittelyvaiheessa. Crossref-viittauksia ylläpidetään järjestelmässä manuaalisesti ja ne perustuvat tuotteiden tuotantoon oton yhteydessä tehtävään selvitykseen.

Tietoja tutkimalla ja vertaamalla informaatiomalleja tuotannosuunnittelujärjestelmän informaatorakenteeseen sekä kappaleessa 2 esitettyihin CSMD, MPIMM ja Core Ontology-malleihin, on GRR-järjestelmässä havaittavissa kaksi selkeää puutetta.

Ensimmäiseksi, tuotantoprosessia vastaavaa tietoa ei ole järjestelmän informaatorakenteessa lainkaan. Tuotteen prosessille asettamia vaatimuksia ja siten resurssien valinnan edellytyksiä ei voida suoraan mallintaa liitteen 8 kuvan rakenteella ilman lisätietoja. Eikä rakenteella voida suoraan tuottaa tuotantoreittiä uuteen tuotannosuunnittelujärjestelmään, koska tuotanto-operaatiota vastaavaa tietotyyppiä ei ole. Crossref-viittaus vastaa lähes suoraan nykyisessä tuotannosuunnittelujärjestelmässä ylläpidettävää operatiokohtaista resurssiallokointia, vaikkakin Crossref viittaa resurssin ja tuotteen, eikä resurssin ja operaation välillä. Yrityksen tapauksessa tuotannosuunnittelun operatiot ovat toistaiseksi tuotekohtaisia.

Toinen puute liittyy osin ensimmäiseen. Järjestelmä ei kuvaa resurssien tuotantokykyä lainkaan, lukuun ottamatta joitakin koneresursseille liitettyjä tuotteiden maksimi- ja minimimittoja. Koneiden parametreja ei ole informaatorakenteessa yhdistetty niihin verrattaviin tuotteiden parametreihin, joten järjestelmällä ei ole teknistä valmiutta päätellä loo-

gisesti tuotteiden sopivuutta resursseille. Tuotteiden ja resurssien mittaparametrien vastaavuuden ovat pääteltävissä manuaalisesti, mutta syötetyistä tiedoista ei saada sellaiseen hyötyä järjestelmässä ilman manuaalista käyttöä. Kehitysehdotuksena pohdittiin esimerkiksi tuotenimike-resurssi-Crossref:ien systemaattista validointia parametrien perusteella.

### 3.4 Haastattelututkimuksen suorittaminen

Kappaleessa kerrotaan haastattelututkimuksen suorituksesta ja sen aikana tehdyistä havainnoista tutkimusmenetelmiin liittyen. Varsinaisia kerättyjä tietoja on jatkokäsitelty kappaleessa 3.4.2.

Haastatteluja varten tehtiin ennalta suunnitelma haastattelujen sisällöstä ja kulusta. Suunnitelman ensimmäisessä versiossa haastatteluun ei tehty tiedonkeruuseen tai kysymyksiin dokumentaatiota, vaan keskeisenä ajatuksena oli suorittaa vapaamuotoinen haastattelu nykyisen järjestelmän käytöstä. Esitysmateriaalina oli järjestelmästä tehty sisältöselvitys (liite 7) ja sen pohjalta tehty kaavio järjestelmän tietorakenteen kehittämistä ja esimerkki tietojen käytöstä tuotannosuunnittelussa. Seuraavassa on lyhyt kuvaus ensimmäisestä haastattelusta.

Haastattelut aloitettiin yrityksen tuotannosuunnitteluosastoa haastatteleamalla. Osasto on tutkitun järjestelmän tietojen keskeinen käyttäjä ja myös toiminnaltaan ja henkilöstöltään työn tekijälle tutuin. Siksi se sopi luontevasti ensimmäiseksi haastateltavaksi. Ensimmäisessä haastattelusessiossa oli myös tarkoitus testata haastattelukonseptia ja esitysmateriaaleja. Varsinkin esitysmateriaaleissa oli havaittu haasteita, sillä abstrakteja informaatiomallikonsepteja on vaikeaa esitellä pintapuolisesti asiaan perehtymättömille haastateltaville. Väärinymmärryksien selvittäminen vie helposti turhaa aikaa ja saattaa johtaa haastattelun keskustelun pois ydinasiasta. Kuitenkin haastattelun kannalta olisi hyödyllistä esitellä haastateltaville työn ja tutkimuksen keskeinen konsepti ja tavoitteet.

Ensimmäisessä haastattelussa tuli välittömästi ilmi esitysmateriaalien ja haastattelukonseptin heikkous. Informaatorakennekonseptien esittäminen ja käyttäminen haastattelun keskeisenä yhdistävänä tekijänä ja stimulanttina ei toiminut halutulla tavalla ja johti tutkimuksen kannalta epärelevanttiin keskusteluun. Jälkikäteen arvioituna esitetty materiaali oli liian vaikeaselkoisia ja varsinkin semanttisten tietomallien konsepti ei avautunut asiaan perehtymättömille. Haastattelu päätettiin jättää kesken ja haastattelukonsepti ja materiaalit suunnitella uudelleen saatujen kokemusten perusteella ja toisesta näkökulmasta, jossa keskiössä on tiedonkäyttöprosessi, eikä uuden järjestelmän kehitys ja käyttö. Suunnitteluperusteista on kerrottu tarkemmin kappaleessa 2.7. Haastattelukonsepti on esitetty seuraavassa kappaleessa.

### 3.4.1 Haastattelukonsepti

Ensimmäisen haastattelun jälkeen päätettiin suunnitella hieman formaalimpi ja ennakoon määritelty haastattelukonsepti ja tiedonkeruudokumentti. Tässä kappaleessa on esitelty konsepti ja sen suunnittelussa tehdyt valinnat.

Haastattelusta ei haluttu tehdä kappaleessa 2.7 esitellyn täysin rakenteellisen haastattelun mukaista, koska oletettavasti suurta osaa vastausvaihtoehdoista ja kerättävistä tietonimikkeistä ei voisi määritellä ennakoon. Lisäksi haastatteluun haluttiin jättää tilaa vapaamuotoiselle keskustelulle nykyisen järjestelmän ongelmista ja kehitystoiveista. Aiempien työkokemusten perusteella järjestelmän käyttöprosessi ei olisi vakioitu tarkasti, joten prosessia koskeviin kysymyksiin piti jättää vapaan vastauksen mahdollisuus.

Kappaleessa 2.7 esitellyt haastattelun suunnittelun avainkohdat [44] huomioitiin haastattelun suunnittelussa. Niiden perusteella listattiin haastattelusuunnitelman ja haastattelu-järjestelyn perustiedot, jotka on esitetty taulukossa 4

*Taulukko 4. Haastattelusuunnitelman perustiedot*

Aihe	Suunnitelma
Ketä haastatellaan	Kohdeyrityksen toimihenkilöt, joiden työtehtäviin liittyy nykyisen resursienhallinnan käyttö tai siihen kuuluvan tiedon tuottaminen.
Miksi haastateltiin	Selvitettiin nykyisen järjestelmän käytön tilaa ja tietovirtojen perusteet. Lisäksi käyttäjiltä kerättiin kehitystoiveita uuteen järjestelmään sekä ongelmia nykyisen järjestelmän käytössä.
Haastattelukerrat	Haastattelukierros käsitteli jokaisen relevantin henkilöstöosaston yhden kerran. Tarkennuksia ja lisäkonsultaatiota varten ei järjestetty lisää haastattelutilaisuuksia, vaan tiedonhankinta toteutettiin epäformalisti esimerkiksi sähköpostin välityksellä ja keskustelemalla.
Haastattelujen aikataulu	Haastattelut toteutettiin 2016 lopulla ja 2017 alkuvuodesta.
Haastattelujen organisointi	Tutkimustyön tekijä kutsui haastatteluihin tarpeellisiksi katsomansa henkilöt ja järjesti haastatteluun sopivan tilan yrityksen tiloista. Yksi haastattelukerta käsitteli yhden osaston toimintaa ja henkilöstöä.
Tiedonkeruumenetelmät	Tietoja kerättiin ennalta tehtyyn kaavakkeeseen, joka sisältää taulukon yksittäisten tietonimikkeiden ja niitä koskevien tietojen tallentamiseen, kysymyssarjan sekä tilaa vapaamuotoisille muistiinpanoille ja huomioille. Haastattelija ylläpiti dokumenttia ja haastateltavilla oli mahdollisuus kommentoida merkintöjä.

Haastatteluja varten suunniteltiin etukäteen vakiokysymykset ja vastaustaulukot sisältävä muistiinpanodokumentti. Dokumenttipohja on liitteessä 1. Dokumentti on jaettu otsikkotasolla neljään keskustelun osa-alueeseen. Jaottelulla pyrittiin fokusoimaan keskustelua loogiseen järjestykseen. Osa-alueet ovat:

1. Tiedon käyttäminen
  - a. Mitä resurssienhallintajärjestelmän tietoja haastateltavat käyttävät nyt työssään ja mistä tiedot ovat peräisin?
2. Tiedon tuottaminen
  - a. Mitä tietoja haastateltavat tuottavat järjestelmään ja mikä on tietojen alkuperä?
3. Puuttuvat tiedot
  - a. Mitä tietoja haastateltavat haluaisivat lisätä järjestelmään ja miksi?
4. Kehitystoiveet
  - a. Vapaamuotoisia kehitystoiveita järjestelmän toimintaan tai käyttöön liittyen

Osa-alueille tehtiin muutamia keskustelua ohjaavia kysymyksiä, jotka on esitetty liitteessä 1 kunkin otsikon alla. Erityisesti kehitystoiveiden arvioitiin vievät haastattelua pois keskeisistä aiheista, jos niitä kerätään jatkuvasti ja ne jätettiin haastattelun loppuun muun avoimen keskustelun yhteyteen. Ensimmäinen osio käsittelee järjestelmän tietojen käyttöä tavallisissa työprosesseissa. Käytetyt tiedot kirjataan dokumentin taulukkoon ja tiedosta merkataan ylös siihen liittyvät metadata, kuten dimensio, lähteet ja käyttökohteet. Haastattelussa ei oleteta, että kaikkiin tietoihin saataisiin kaikki taulukon tiedot, mutta se on hyvä tavoite. Taulukon päätarkoitus on vakioida kerättyä tietoa heti haastattelutilanteessa ja varmistaa, että kaikista tiedoista kerätään vähintään tarvittavat metatiedot. Taulukkoon kerättävästä tiedosta saatiin ennakkokäsitys nykyistä käsiteltävän tietojärjestelmän sisältöä tutkimalla. Dokumentin käyttö, kieliasu ja muotoilu suunniteltiin selkeäksi ja helppolukuiseksi, jotta sen täyttö voitaisiin esittää haastatteluissa videoprojektorilla tai TV-ruudulla. Näin haastateltavilla on aina käsitys siitä, mitä tietoja kirjataan ylös ja mahdollisuus täydentää kirjattuja tietoja, jos huomaavat niissä puutteita.

### 3.4.2 Haastattelut ja tulokset

Haastatteluissa tehdyt muistiinpanodokumentit ovat liitteessä 2 ja niiden sisältämiä tietoja käytetään kappaleen 4 soveltavissa osissa. Haastattelumuistiinpanojen tulkinnassa on otettava huomioon se, että muistiinpanojen tulkinta vaatii hieman syvällisempää käsitystä yrityksen tuotannosta ja prosesseista, eikä ole tarkoitettu sellaisenaan yleisesti tulkittavaksi tietolähteeksi. Tutkimuksen tietolähteenä dokumentaation tarkkuustaso on riittävä, eikä jatkotutkimus ole tietojen suhteen pelkästään dokumenttien varassa, vaan tietojen tarkentaminen myöhemmin on mahdollista.

Haastattelut koostuivat kolmesta haastattelukerrasta. Haastattelukerrat, osallistujat ja heidän vastuualueensa yrityksen toiminnassa olivat:

1. Tuotannosuunnittelu
  - a. Tuotannosuunnittelupäälliköt
    - i. Tuotannon karkeakuormitus ja pitkän aikavälin suunnittelu
  - b. Tuotannosuunnitteluinsinööri
    - i. Tuotannon hienokuormitus ja päivittäissuunnittelu
2. Rakennetekninen osasto
  - a. Osastopäällikkö
    - i. Osaston toiminnan johtaminen ja kehitys
  - b. Osastoinsinööri
    - i. Tuotantokokeet ja mittaukset
  - c. Tuotetietoasiantuntija
    - i. Tuotetietojen ylläpito
3. Tuotekehitysosasto
  - a. Kehityspäällikkö
  - b. Projekti-insinööri
    - i. Tuotekehitysprojektit

Tuotannosuunnitteluosaston kanssa tehty ensimmäinen haastattelu uusittiin uuden haastattelusuunnitelman mukaisesti. Haastattelusession perusteella haastattelumenetelmään ja dokumentteihin tehdyt parannukset ja muutokset olivat toimivia. Haastattelu eteni tasaisesti, tietojen kirjaus ja kommentointi dokumenttipohjaan oli riittävän selkeää ja haastattelu pysyi aiheessa pääosin hyvin. Yleisesti nykyisen järjestelmän käytöstä tuotannosuunnittelussa jäi selkeä kuva. Osaston tarpeet ovat suhteellisen yksinkertaisia, mutta järjestelmän nykyisessä käyttöprosessissa olisi parannettavaa, jotta oikea tieto olisi automaattisesti aina oikeassa paikassa. Osastojen välistä tiedonvaihtoa tehdään paljon järjestelmän kautta siihen integroitujen muiden järjestelmien lisäksi.

Tuotannosuunnittelu on nykyisen järjestelmän käyttöprosessissa tiedon suurin loppukäyttäjä. Haastatteluissa seuraava osasto valittiin siirtymällä tietovirrassa taaksepäin edelliseen osastoon, joka vastaa yrityksessä tuotteiden tuotantoselvityksistä sekä tuotantokokeista. Osaston vastuulla on tuottaa tiedot, jonka perusteella tuotannosuunnittelujärjestelmään tehdään tuotantoreitit. Haastattelusession tulokset täydentävät ensimmäisen haastattelun tuloksia kattavasti. Haastattelu vahvisti käsitystä osastojen välisen tiedonvaihtoprosessin epävarmuuksista sekä yleisesti, että resurssienhallintajärjestelmän kautta. Halutusta tietojen ylläpito-prosessista vaikuttaa olevat yhteinen käsitys, mutta siitä joudutaan poikkeamaan erilaisista syistä, mikä herättää epäluottamusta järjestelmiin ja niiden sisältämiin tietoihin.

Kolmantena ja viimeisenä ryhmänä haastateltiin tuotekehitysosaston edustajia. Haastattelun tulokset täydentävät jälleen edellisten haastattelujen tuloksia ja auttavat kokonais kuvan muodostamisessa. Tuotekehitysosaston työskentely resurssienhallintajärjestelmässä on muita järjestelmän käyttäjiä yksinkertaisempaa. Osaston käyttöprosessin haasteena havaittiin erityisesti päällekkäinen tietojen ylläpito toisen tiedonhallintajärjestelmän, M-Filesin kanssa. Kyseinen järjestelmä on huomattavasti keskeisemmässä roolissa tuotekehitysprosessissa ja sen sisältämä tuotetieto on lähempänä master-tasoista tietoa



verrattuna resurssienhallintajärjestelmään. Haastattelun perusteella M-Files on ainakin tuotekehityksessä käytössä kappaleessa 2.3.4 esitettyjen PLM/PDM-järjestelmien roolissa. Järjestelmässä ylläpidetään tuotteiden kehitysprojekteja, niiden tietoja sekä tuotteiden dokumentaatiota, mikä vastaa kuvan 3 suunnittelu- ja elinkaaritietojen hallintaa.

Tuotekehitysosaston haastattelussa pohdittiin mahdollisuutta muuttaa tulevan järjestelmän tietojen ylläpitoa nykyiseen verrattuna siten, että tuotekehitysosasto sitoutuu ylläpitämään tuotetietoja omassa tietojenhallintajärjestelmässään nykyiseen tapaan. Tuotetiedot voisi tuoda resurssienhallintajärjestelmään integraation kautta, olettaen että tiedot ovat riittäviä. Joka tapauksessa päällekkäisen samankaltaisen tiedon erillisestä manuaalisesta ylläpidosta olisi tärkeää pyrkiä eroon. Tuotetiedot ovat keskeinen osa tuotannon kokonaistietojen hallintaa ja tuotantoprosessien tarpeiden parametreja, kuten kappaleessa 2.5 todettiin. Toisen järjestelmän integrointi tuotetietoja varten vaatii järjestelmäkehitysprojektiin analyysin tietojenhallintajärjestelmän sisältämän tuotetiedon muodosta ja rakenteesta mahdollisten puutteiden varalta. Tavoite on huomioitava tässä työssä kehitettävän tuotemallin rakenteessa. Tuotemalli ei voi olla liian jäykkä ja ehdoton ratkaisu koko mallin toiminnan kannalta, vaan siihen on jätettävä optioita muokkauksille ja lisäyksille.

Haastatteluissa kerättyä tietoa käytetään tässä työssä ja järjestelmän kehityksessä tukimateriaalina. Nykyisen järjestelmän keskeisistä käyttöprosesseista tehdään kappaleessa 4 prosessikuvaukset järjestelmäkehityksen tueksi. Yhdessä resurssienhallintajärjestelmästä tehdyn järjestelmäanalyysin kanssa tiedoista voidaan koostaa kattava kokonaiskuva nykyisen järjestelmän käytöstä. Haastatteluissa kertyi paljon kehitysehdotuksia tulevaan järjestelmään. Keskeisenä teemana kehitystoiveissa esiintyi järjestelmän käytettävyyden parantaminen ja laajennettavuuden mahdollistaminen. Haastattelujen ja järjestelmäanalyysin perusteella nykyisessä järjestelmässä on paljon tietoa, joka ei ole aktiivisessa käytössä. Näitä tietonimikkeitä on merkitty järjestelmäanalyysin tietoihin. Tulevan järjestelmän kehityksessä on harkittava, mitä staattisia ja tarpeettomia tietoja on järkevää pitää järjestelmässä, jossa niitä ei käytetä.

Kuten aiemmin mainittiin, haastattelujen perusteella yrityksen tuote-, resurssi- ja tuotantoprosessitietojen hallinnasta on haastatteluissa osastoissa suhteellisen selkeä käsitys, mutta prosessista poiketaan paljon ja tietojen käytöstä on erilaisia käsityksiä käyttäjien kesken. Poikkeamat haittaavat tiedon loppukäyttäjien, lähinnä tuotannosuunnittelun, toimintaa, sillä tiedon ylläpitoa ei varmisteta ennen sen päätymistä tuotannosuunnittelu-prosessiin. Tuotannosuunnitteluvaiheessa joudutaan odottamaan vajavaisten tietojen korjauksia, koska tietojen puuttumista ei huomata aiemmin. Tulevan järjestelmän toiminnan ja uskottavuuden kannalta tietojen tasalaatuinen ylläpito on tärkeää, sillä tiedot ovat tuotannosuunnittelujärjestelmän toiminnan edellytys. Tulevaan järjestelmään tulisi harkita mekanismeja tietojen laadun ja ylläpidon varmistamiseksi. Lisäksi järjestelmän käyttöprosessista tulisi tehdä selkeä suunnitelma, joka voidaan hyväksyttää kaikilla käytävillä osastoilla. Kaikilla tekijöillä tulisi olla selkeä käsitys omasta vastuustaan ja toimin-

tansa vaikutuksesta järjestelmän käyttöympäristössä. Nykyisen järjestelmän käytössä havaittiin haastatteluissa paikallisia puutteita siinä, mitä eri käyttäjät tietävät syötettävien tietojen käytöstä eri osastoilla ja eri prosesseissa.

Tulevan järjestelmän kannalta tärkein yksittäinen haastatteluissa havaittu prosessi on tuotteen tuotantoonottoselvitys ja siihen liittyvät toimenpiteet. Prosessi tuottaa samaa tietoa, jota uuteen järjestelmään on tarkoitus tallentaa. Tietoa siitä, miksi ja miten tuotteita voi tehdä määrättyillä resursseilla. Selvitysprosessi tuottaa haluttua tietoa, mutta tieto tallennetaan perinteisiin raportteihin ja muihin kirjallisiin formaatteihin. Tässä muodossa tieto on heikosti käytettävissä digitaalisissa prosesseissa sellaisenaan. Tiedon ylläpidossa on myös puutteita tilanteissa, joissa jokin resurssi muuttuu. Vanhoja selvitysraportteja ei välttämättä päivitetä ja jos uutta selvitystä ei tehdä, muuttuneen resurssin vaikutukset resurssienhallintajärjestelmän tietoihin saattavat jäädä puuttumaan. Tulevan järjestelmän on pystyttävä tukemaan tuotantoonottoselvitystä, jotta tietojen ylläpito on helppoa eikä vaadi järjestelmän edistynyttä käyttöosaamista. Selvitystiedot on pystyttävä tallentamaan siten, että informaatorakenne mahdollistaa tietojen automaattisen päivytyksen esimerkiksi tuotantoresurssien suoritus- tai kykyparametrien muuttuessa.

### **3.5 Soveltavan tutkimuksen tulosten koonti**

Soveltavassa tutkimuksessa tutkittiin tuotanto- ja tuotannonsuunnitteluprosesseja, tuotannon tietojärjestelmiä sekä haastateltiin järjestelmien käyttäjiä. Tutkimuksen tavoitteena oli hankkia laaja-alaisesti taustatietoja uuden resurssienhallintajärjestelmän kehityksen sekä järjestelmän informaatiomallin kehityksen tueksi.

Tuotanto- ja tuotannonsuunnitteluprosessien analysoinnin tuloksena todettiin pääosin välivarastojen rajallisen kapasiteetin, eri tuotantovaiheiden vaiheajoerojen sekä resurssien asetusajojen aiheuttama haastava tuotannon ohjattavuus ja suunniteltavuus. Haastavuutta lisää tuotannonsuunnitelman ja myynnin ATP-tietojen suora yhteys, joka edellyttää ennen kaikkea luotettavaa ja pitkälläkin aikavälillä todenmukaista ja vakaata tuotantosuunnitelmaa. Tuotannossa on pullonkaula loppukäsittelyvaiheessa, mutta muissa tuotantovaiheissa esiintyvä epävarmuus ja kompleksisuus vaikeuttavat pullonkaulan ohjaamista ja suunnittelua luotettavasti. Luotettavan tuotantosuunnitelman tekeminen vaatii paljon taustatietoa laajasti koko tuotannon tilasta sekä useiden tuotanto- ja asetusvaiheiden huomioimista suunnitelmassa. Tiivistetysti voidaan todeta, että kaikki vaikuttaa kaikkien. Tuotannonsuunnitteluprosessin kehittäminen luotettavammaksi ja varmemmaksi edellyttää nykyistä laajempaa hienokuormitusta ja tukitietoa tuotantoresurssien kuormituksesta ja saatavuudesta.

Tuotannonsuunnittelujärjestelmää analysoimalla selvitettiin järjestelmän käyttämä informaatorakenne. Järjestelmä tai sen käyttämä tieto ei kuitenkaan tue ehdollista resurssien allokointia tuotteiden ja resurssien tietoihin tai kykyihin perustuen. Nykyistä laajemman

resurssiallokoinnin ylläpito suunnittelujärjestelmässä aiheuttaisi huomattavasti manuaalista työtä, joka nykyisin rajoittaa järjestelmässä käytettävän tuotantoreittimallin laajentamista käsittämään muitakin työvaiheita.

Nykyistä resurssienhallintajärjestelmää tutkimalla selvitettiin järjestelmän tietosisältö, tietojen tasalaatuisuus ja resurssiallokoinnin rakenne. Järjestelmässä havaittiin puuttuvan tieto tuotantoprosessista ja sen vaiheista, mikä heikentää järjestelmän informaation yhteensopivuutta tuotannosuunnittelujärjestelmän informaatorakenteeseen. Järjestelmän todettiin olevan sopimaton resurssien kyvykkyyksien ja tuotteiden tuotantoprosessille asettamien tarpeiden kuvaamiseen vertailuun.

Haastattelututkimuksessa kartoitettiin nykyisen resurssienhallintajärjestelmän käyttöprosessia sekä käyttäjien kehitystoiveita uuteen järjestelmään. Haastatteluista kertyi hyödyllistä tietoa tuotannosuunnittelun ja tuotekehityksen tarpeista sekä tietojen käyttäjänä, että tuottajana. Tietojen lisäksi kaikki haastateltavat painottivat toiveissaan erityisesti järjestelmän käytettävyyden ja laajennettavuuden kehittämistä nykyiseen verrattuna.

## 4. INFORMAATIOMALLIN KEHITTÄMINEN

Kappaleessa 4 kehitetään ehdotus resurssienhallintajärjestelmän informaatiomalliksi edellisissä kappaleissa esitettyjen tutkimustietojen perusteella. Kappaleessa 4.1.1 esitellään informaatiomallin suunnitteluperusteet ja rajoitteet. Kappaleessa 4.1.2 esitellään mallin keskeinen rakenne ja perustieto-osat. Kappaleissa 4.1.3 - 4.1.7 esitellään perustietoluokkien informaatorakenteet sekä niistä koostuva kokonaismalli. Kappaleessa 4.1.8 on kirjattu lyhyesti muutamia ehdotetun mallin kehitysehdotuksia ja mahdollisia kehitysskenaarioita. Kappaleessa 4.2 on esitelty tutkimusten perusteella tehdyn tuotannonsuunnittelu- ja ohjausprosessimallin sisältämiä tietovirtoja erityisesti resurssienhallinnan osalta, sekä pohdittu tulevan resurssienhallintajärjestelmän kehitystä suhteessa tuotannonsuunnittelun kehitykseen.

### 4.1 Informaatiomallin kehittäminen ja formalisointi

Informaatiomallin kehityksen lähtökohtana käytettiin Lanzin [27] tuote-, prosessi- ja järjestelmätietojen yhteyskonseptia, joka on esitelty kappaleessa 2.5. Kirjallisuustutkimuksessa selvisi tuotannon kokonaisuutta kuvaavaksi informaation perusrakenteeksi tuotteet, prosessin ja tuotantojärjestelmän pääluokat yhdistävä malli sekä tuotantoresurssien funktionaalisuutta kuvaavat tietorakenteet, jotka voidaan liittää tuotantotietojen osaksi.

Mallit tehtiin englanniksi, jotta nimeämiskäytännöt saatiin yhdenmukaisiksi tuotannonsuunnittelujärjestelmän, sekä kirjallisuustutkimuksessa esitettyjen mallien termien kanssa vertailun helpottamiseksi.

#### 4.1.1 Mallin suunnitteluehdot ja rajoitteet

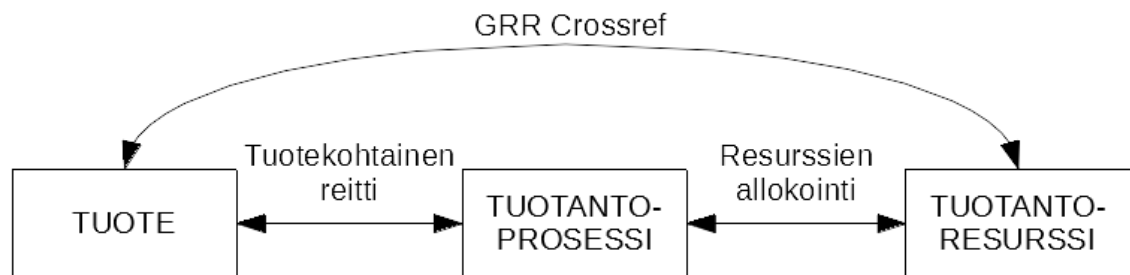
Informaatiomallin tärkein tehtävä on mallintaa järjestelmän tiedot siten, että niistä voidaan tuottaa tuotekohtaiset reittitiedot tuotannonsuunnittelujärjestelmän tarpeisiin. Tehtävä toteuttaminen on mallin kehityksen prioriteeteissa ensimmäisenä ja huomioitava jatkuvasti. Toisena tehtävänä on mallintaa tietoa siten, että reittimalli, eli resurssien allokointi tuotantovaiheille, on mahdollista tuottaa perustuen tuotteiden ja resurssien tietoihin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tuotannon rajoitteet tuotannonsuunnittelun kannalta on pystyttävä kuvaamaan mallilla.

Toisen tehtävän taustalla on tarve tallentaa tuotannonsuunnittelun tietotaitoa ja suunnitteluperusteita tietojärjestelmään, sekä pienentää järjestelmän sisältämien reititystietojen, eli resurssiallokoinnin, ylläpitotyötä. Tuotannonsuunnittelussa on paljon tietoa ja päätöksentekoprosesseja, jotka perustuvat tekijöiden kokemukseen ja tietoihin. Suunnitteluprosessin kestävä kehitys ja riskienhallinnan kannalta näiden tietojen tallentaminen uu-

delleenkäytettävään muotoon on tärkeää. Ylläpitotyön määrässä on huomioitava tuotannosuunnittelun kehityksen tuottama tarve hallita nykyistä suurempia suunnittelureittejä, jotka sisältävät enemmän prosessivaiheita.

#### 4.1.2 Informaatiomallin perusrakenne ja osat

Tuotannosuunnittelujärjestelmän käyttämästä tiedosta tunnistettiin informaatorakenteena tuotantoprosessivaiheen ja tuotantoresurssin relaatio. Nykyisessä resurssienhallinnassa tuote on liitetty Crossref-viittauksella suoraan resurssiin. Viittaus ilmaisee, että resurssia on mahdollista käyttää tuotteen valmistukseen, mutta ei semanttisesti kerro, mihin tuotantoprosessivaiheeseen resurssi liittyy. Tiedon käyttö vaatii lisätietoa tuotantovaiheista, joita resurssit suorittavat. Crossref-viittauksesta ei voida tehdä johtopäätöksiä siitäkään, mitä tuotantovaiheita tuotteen valmistukseen (reittiin) kuuluu. Tuotantoprosessin vaihe on tuotannosuunnittelujärjestelmän toiminnan peruselementti, jonka välityksellä suunnitellaan tuotetilauksen aiheuttamaa kuormitusta resurssille. Tuotannosuunnittelujärjestelmässä tuote liittyy yksiselitteisesti tuotanto-operaatioon, koska reitit ovat tuotekohtaisia. Kuvassa 25 on esitetty nykyisten järjestelmien viittaukset informaatiokäsitteiden välillä.



*Kuva 25. Informaation perusrakenne*

Nykyisen resurssienhallintajärjestelmän Crossref-viittaukset eivät ole tarvetta toistaa tulevaan järjestelmään, mutta järjestelmässä olevat tiedon käyttö on kuitenkin huomioitava. Nykyisen resurssienhallinnan ja tuotannosuunnittelun järjestelmien viittaustavat yhdistävä rakenne muodostaa tuote-prosessi-resurssi-rakenteen, joka on esitetty yksinkertaisena versiona kuvassa 25. Sama rakenne ja käsitteiden väliset yhteydet on käytössä useissa tuotannon tietomalleissa, joita ovat esimerkiksi kuvassa 10 esitetty MPIMM-mallin Product-Activity-Resource-rakenne [21] ja kappaleessa 2.5.2 esitelty Core Ontology-malli [27]. Kappaleessa 2.4.3 esitetty CSMD-malli sisältää myös relaation prosessin ja resurssin välillä, sekä välillisesti relaation myös tuotenimikkeeseen.

Nykyiset tietojärjestelmät eivät sisällä formaalia tietoa, joka kuvaisi sellaisenaan tuotantoresurssien allokointiehtoja ja rajoitteita, tosin joitakin resurssien tietoja voitaisiin käyt-

tää allokoinnin ehtoina. Rajoitetietojen käyttöön muissa järjestelmissä, lähinnä tuotannosuunnittelujärjestelmässä, ei todettu olevan mahdollisuuksia, joten muut järjestelmät eivät varsinaisesti rajoita tietojen formaattia tai informaatiomallia.

Rajoitetiedon kuvaamiseen haluttiin mahdollisimman yksinkertainen informaatorakenneratkaisu, jotta rajoitteiden ylläpito ja erityisesti tulkinta olisi yksinkertaista. Toiseksi rajoitetietorakenteen implementointi varsinaiseen järjestelmään ei ollut työn tekovaiheessa, eli järjestelmän kehityksen alkuvaiheessa, vielä selvää. Rajoitetieto haluttiin mallintaa informaation modulaariseksi osaksi, joka voitaisiin tarvittaessa poistaa mallista pienillä muutoksilla, jos todettaisiin, ettei tietoja ylläpidetä järjestelmässä. Kirjallisuustutkimuksessa esitetty kykytietojen kuvaus valittiin parhaaksi lähestymistavaksi rajoitetietojen mallintamiseen. Valinnan perusteena oli kykyjen tai funktioiden mallintaminen resursseista erillisinä geneerisinä kykykäsitteinä, jotka liitetään haluttuihin resursseihin.

Kykytietoja voidaan käyttää kuvassa 25 esitetyn resurssien allokoitviittausten tuottamiseen Järvenpään [35] ja Järvenpää et al. [34] esittämällä menetelmällä, jossa resurssiin liitetty kyky ja tuotteen tuotantoprosessivaiheelle asettama tarve pyritään yhdistämään. Järvenpään [35] ja Järvenpää et al. [34] esittämä looginen päättelymekanismi on prosessina samankaltainen tuotannosuunnittelijan päätöksentekoprosessiin ja tuotantoonotoselvitykseen verrattuna. Suunnittelija tietää tuotteen mitat ja rakenteen sekä tuotantoresurssien rajoitteet, joiden perusteella tehdään päätös siitä, millä resursseilla tuotetta voidaan valmistaa. Järvenpään [34] esittämä Capability-malli valittiin kykymallin perustaksi yksinkertaisen rakenteensa, sekä kykyjä yhdistävän Combined Capability-ratkaisun vuoksi. Lisäksi Järvenpää [35] on suunnitellut kykymallin käytettäväksi osana Lanzin [27] Core Ontology-mallia, jossa on käytössä kuvaa 25 vastaava perustietorakenne. Kykymallin käyttöä on käsitelty tarkemmin kappaleessa 4.1.6.

Mallin kehitys jatkuu neljän informaatiokäsitteen, tuotteen, tuotantoprosessin, tuotantoresurssin ja kykyjen informaatiomallien kehityksellä. Tietotyyprien kehitystä ei voi eristää kokonaan toisistaan, koska niistä koostuvan kokonaismallin on toteutettava edellisessä kappaleessa esitetyt tavoitteet ja tehtävät. Informaatiomalleja on käsitelty seuraavissa kappaleissa.

### 4.1.3 Tuotemalli

Kappaleessa on esitetty tuotemallin suunnittelutiedot, ratkaistavat tarpeet ja rajoitteet. Ehdotus tuotemalliksi esitellään ja sen sisältö käydään läpi.

Tuotemallin suunnittelua ohjaavat voimakkaasti useat tekijät. Kuten kappaleessa 3.4.2 on kerrottu, tuotteiden rakennetietojen ylläpitovastuu on tuotekehityksellä ja haastatteluisissa saatujen tietojen perusteella todettiin, että tuotetietojen manuaalisen ylläpidon minimoimiseksi on harkittava tietojen tuomista tuotekehityksen pääasiallisesta tietojärjestelmästä,

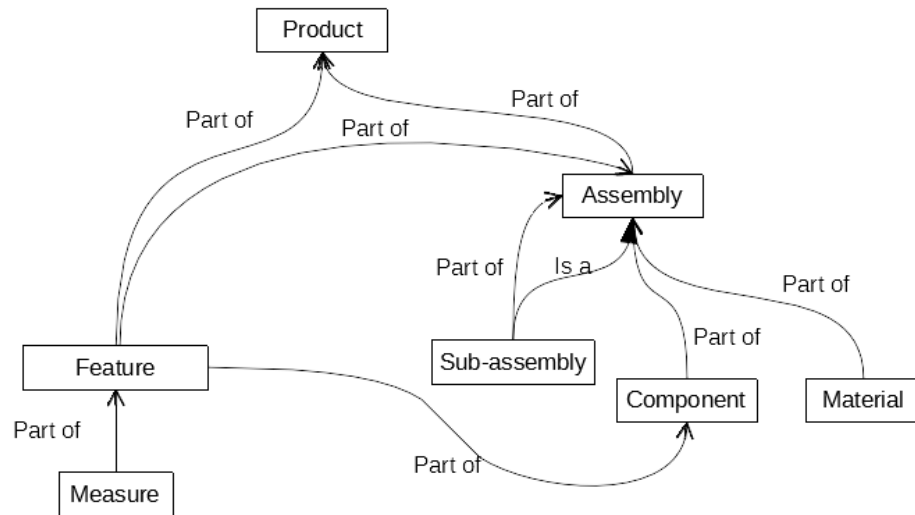
M-Filesista. Järjestelmästä ei työlle asetettujen aikataulujen puitteissa voitu tehdä kattavaa analyysia ja järjestelmän tarkempi tutkimus on erittäin suositeltavaa järjestelmäkehitysprojektin myöhemmissä vaiheissa. Haastatteluissa M-Filesin sisältämää tuotetietorakennetta käytiin läpi. Tuotetiedot sisältävät tuotteen yksilöllisen tunnistekoodin, kuvauksen ja perusmitat, sekä joukon valmistukseen liittyviä tietoja.

Tuotemallin kehityksessä havaittiin kaksi selkeää lähestymistapaa, jotka molemmat on huomioitava tässä kehityksen vaiheessa. Tarpeet muuttuvat sen mukaan, tehdäänkö resurssien allokointi manuaalisesti vai automaattisesti. Jos allokointipäätöksenteko jää manuaalisen prosessin varaan, kuten tähänkin asti, ei resurssienhallintajärjestelmässä tarvita kuin tuotteiden tunnistenumerot, kuvaukset ja perusmitat. Tarkempia tietoja vaativat päätökset tehtäisiin edelleen reseptien ja tuotteiden piirustusten perusteella. Prosessivaihe viittaisi suoraan tuotenimikkeeseen, eikä tuotteen tietoja käytettäisi muuten järjestelmässä. Näin tuotantoreittitieto olisi tuotekohtaista.

Jos reittien tai resurssiallokoinnin toimintoihin halutaan toteuttaa automaattisia ratkaisuja, on tuoterakenteessa oltava loogiseen päättelyyn tarvittavat tiedot. Tässä on otettu huomioon kaksi reitinmuodostukseen ja resurssien allokointiin tarvittavaa tietoryhmää. Jos generoitavaan tuotantoreittiin halutaan sisällyttää komponenttivaiheiden tuotanto, on järjestelmään saatava tuotteen reseptin komponenttilistaus, eli Bill Of Materials-nimikkeet (BOM), jotta niitä vastaavat tuotantovaiheet voidaan luoda. Nimikkeitä vastaavat komponentit on kuvattava osana tuotetietoja, jotta niitä vastaavat tuotantovaiheet voidaan generoida. Yksi komponenttinimike tuottaa tarpeen yhdelle tai useammalle tuotantovaiheelle. Komponenttien tietoja varten on mahdollista tuoda parametritietoja, mutta niille ei tässä vaiheessa todettu tarvetta, sillä komponenttituotannossa ei käytännössä ole vaihtoehtoisia resursseja.

Tuotetietojen tallentaminen ja ylläpito on tätä tehtäessä tilanteessa, jossa tietojen osia on eri järjestelmissä, jotka eivät vaihda tietoja keskenään. Tuotteiden perustiedot, kuten kuvaus ja tunniste, on saatavissa useammassa järjestelmissä. Tuotekehitykseen liittyvät tiedot ja tuotteen elinkaarenhallintaan kuuluvat tiedot ovat ensisijaisesti M-Files-järjestelmässä ja tuoterakenne, valmistus- ja komponenttiedot ovat reseptijärjestelmässä. Resepti- ja rakennetietojen järjestelmä on huomattavan vanhentunut, eikä yrityksen tietohallinto-osaston arvion mukaan tarjoa kannattavaa teknistä integraatoratkaisua tuoteresepti- ja rakennetietojen käyttämiseen järjestelmän ulkopuolella. Kokemukset reseptitietojen käyttämisestä yrityksen MES-projektissa tukevat käsitystä. Tämä vaikeuttaa tuotteiden BOM-tietojen käyttöä muissa järjestelmissä. Resurssienhallinnan kehityksen kannalta tuotetta kuvaavaan informaatorakenteeseen on otettu mukaan tuotekomponentteja kuvaavat tiedot, vaikka tietojen saatavuudesta ei tätä tehtäessä ole varmaa tietoa. Tuotemallissa ei ole varauduttu digitaalisen geometrisia piirteitä kuvaavan CAD/CAM-tiedon käyttöön, joka on tärkeä osa Lanzin [27] tuotemallia.

Ehdotettu tuotteen informaatiomalli on esitetty kuvassa 26.



**Kuva 26.** Tuotteen informaatiomalli

Esitetyssä tuotteen tietorakenteessa on huomioitu mahdollinen tarve käyttää tuotteen BOM-nimikkeitä ja niitä koskevia tietoja järjestelmässä. *Product* vastaa yrityksen käyttämää lopputuotenumikettä, jota edustaa yksilöllinen tuotekoodi. Kokoonpano on kaikki tuotteen komponentit ja osat sisältävä joukko, joka koostuu alikokoonpanoista, komponenteista ja materiaaleista. Alikokoonpano otettiin rakenteeseen mukaan optiona, jos komponenttien kokoonpanoja halutaan mallintaa tarkemmin. *Feature* vastaa lopputuotteen, komponentin tai kokoonpanon muotoa, jota halutaan kuvata tarkemmin. *Feature* voidaan liittää kuvaamaan lopputuotetta, jolloin se kuvaa lopputuotteen geometrisia ulkomittoja. Kokoonpanoon (*Assembly*) liitettynä muoto kuvaa käsittelemättömän tuoteaihion geometrisia muotoja. Komponenttiin liitettynä se kuvaa komponentin ulkomuotoa. Komponenttiin *Feature* liitettiin siltä varalta, että komponenttivalmistuksen kuljetusresursseja halutaan ylläpitää järjestelmässä. On huomattava, että *Feature*, joka kuvaa kokoonpanoa tai tuotteen komponenttia ei välttämättä kuvaa fyysisistä lopputuotetta. Työvaiheisiin liittyy paljon muotoa antavia valmistusmenetelmiä. Esimerkiksi aihio muuttaa ulkomuotoaan loppukäsittelyssä, joten samoilla mitoilla ei voida tarkastella esimerkiksi aihion ja lopputuotteen kuormausta loppukäsittelyn koneisiin. *Feature:en* on mahdollista liittää ennalta määritettyjä mittaparametreja. *Assembly*-käsite on geneerinen ja esiintyy myös standardeissa ja tutkimuksien tietomalleissa. Tässä se on tarkoitettu kuvaamaan tuotetta loppukokoonpanossa, ennen loppukäsittelyä. Ylimmän tason *Assembly* on tuote silloin, kun siihen ei enää lisätä materiaaleja tai komponentteja. Määrittäminen mahdollistaa alikokoonpanojen (*Sub-assembly*) käytön rakenteessa suhteellisen vapaasti, mutta määrittelee yrityksen tuotteiden tapauksessa tarkasti sen, mitä *Assembly* tarkoittaa.

*Measure* on haluttu määrittää erikseen tietotyyppien parametrien ulkopuolelle, jotta mitainformaatiota voidaan käyttää joustavammin ja lisätä uusia mittoja ilman tarvetta muuttaa tietotyyppien parametreja. Nykyiseen järjestelmään verrattuna tuoteinformaatiokuva on monimutkaisempi, sillä nykyinen järjestelmä sisältää vain tuotenumikkeen ja



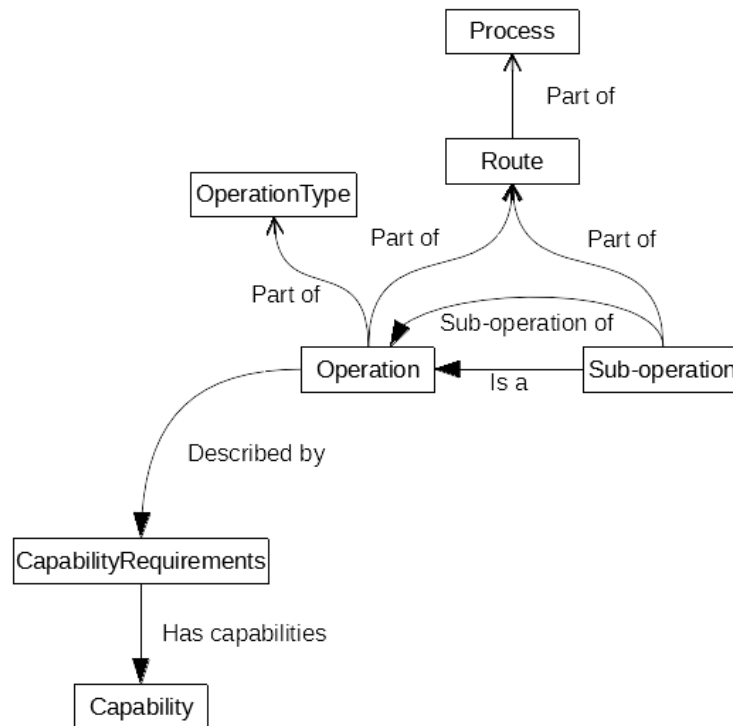
siihen kuuluvat vakioparametrit. Malliin harkittiin geometrinen piirteiden jakoa jo luokatasolla lopputuote-, tuoteaiho- ja komponenttikohtaisiin piirteisiin, mutta tämän arviointiin rajaavan piirretietojen käyttömahdollisuuksia, jos piirteitä haluttaisiin käyttää muiden kohteiden kuvaamiseen.

Tuotteen kokoonpanon osalta alikokoonpanorakenne *Sub-assembly* mahdollistaa pääkokoonpanon komponenttien sisäisen rakenteen purkamisen tarkempiin osiin, esimerkiksi jos halutaan kuvata komponentti sen sisältämien materiaalien alikokoonpanona. Alikokoonpano on rakenteeltaan yhdenmukainen kokoonpanon kanssa eli se saa sisältää materiaaleja, komponentteja ja toisia alikokoonpanoja. Näin rakenteella on teoreettisesti mahdollista muodostaa ääretön määrä allekkaisia alikokoonpanorakenteita, mikä mahdollistaa joustavan kokoonpanon määrittelyn ja tarkkuuden. Todellisuudessa yrityksen tapauksessa alikokoonpanoja on korkeintaan kahdella tasolla.

#### **4.1.4 Prosessimalli**

Prosessimallin suunnittelun vaikutteet ja rajoitteet tulevat suoraan kappaleessa 4.1.1 esitetystä mallin kehityksen ensimmäisestä tehtävästä. Prosessimallia käyttää ensisijaisesti tuotannonsuunnittelujärjestelmä ja mallin tietojen on oltava yhteensopivia tuotannonsuunnittelujärjestelmän tietoihin. Malli pyrittiin pitämään mahdollisimman yksinkertaisena, joten suunnittelun lähtökohdaksi otettiin kappaleessa 3.3.1 esitelty tuotannonsuunnittelujärjestelmän informaatiomalli. Mallista käytettiin ainoastaan varsinaista tuotantoprosessia kuvaavat osat. Kalentereja ja kunnossapitoa hallitaan toisilla järjestelmillä, joiden tietoja ei ole tarpeellista tuoda resurssienhallinnan käyttöön.

Ehdotus tuotantoprosessin tietomalliksi on kuvassa 27.



**Kuva 27.** Tuotantoprosessin informaatiomalli

Tuotannosuunnittelujärjestelmän reittiä vastaa *Route*. Lanzin [27] esittämää prosessimallia mukailien malliin haluttiin jättää ylätasoksi *Process*, koska *Route* ei vastaa sitä täysin yksiselitteisesti. Teknisistä syistä tuotteen tuotantoprosessi on tätä tehtäessä jaettu tuotannosuunnittelujärjestelmässä kahdelle eri reitille, jotta voidaan hyödyntää järjestelmän laskentaominaisuuksia. *Route*-luokka *Process*:a sisältöä tarkentavana luokkana mahdollistaa tuotteen koko tuotantoprosessin koostumisen useammasta reitistä, kuten tuotannosuunnittelujärjestelmässä tällä hetkellä tehdään.

Tuotannosuunnittelujärjestelmässä hyödynnetään operaatioita ja aliopeaatioita. Alioperaatio (*Sub-operation*) on itsenäinen operaatio ja myös mallissa liitetty osaksi *Operation* luokkaa. Alioperaatio liitetään noudattamaan varsinaista operaatiota (*Sub of*) suunnitelmassa. *OperationType* lisättiin malliin, jotta operaatioita voidaan luokitella järjestelmässä yhdellä luokitustasolla. Operaatiot luodaan tuotannosuunnittelujärjestelmään enimmäkseen tuotekohtaisiksi, joten operaatioinstansseja on paljon. *OperationType*-luokka on tarkoitettu resurssienhallintajärjestelmän sisäiseksi luokaksi, jolla samankaltaisia, mutta tuotekohtaisia operaatioita voidaan luokitella. *OperationType*-luokille voitaisiin esimerkiksi määrittellä malliopeaatiot, jota kopioimalla tuotekohtaiseksi, voitaisiin nopeuttaa uusien operaatioiden rutiininomaista luomista.

Operaatioiden järjestystä reitillä ei kuvata mallissa relaatioilla, vaan se ilmaistaan reitille operaatioiden järjestyslukuparametreilla. Ratkaisu on yhdenmukainen tuotannosuunnittelujärjestelmän kanssa, kuten kappaleesta 3.3.1 voidaan todeta. *CapabilityRequirement* edustaa operaation tarvetta tuotantokyvyille ja viittaa kykytietoinstansseihin. Operaatiolle

määritetään joukko kykyjä, jotka tarvitaan sen suorittamiseen. Jo *CapabilityRequirements*-tietojen, sekä siihen annettujen parametrien tallentaminen järjestelmään parantaisi resurssiallokoinnin ehtojen läpinäkyvyyttä tietojen jaossa ja käytössä tuotannosuunnittelussa nykyiseen verrattuna. Vaikka resurssien allokointi tehtäisiin manuaalisesti, voisi *CapabilityRequirements*-tiedoista tarkistaa operaatiolle määritetyt tarpeet, ja esimerkiksi pyytää allokointiin tarkistusta siitä vastaavalta henkilöltä.

Ehdotetussa prosessimallissa oletuksena on, että sitä käytetään ainoastaan tuotannosuunnittelujärjestelmän reittien generointiin. Jos tarpeet muuttuvat, on mallia suositeltavaa laajentaa käsittämään operaatiota tarkempia työvaiheita kuvaavia tietoja, kuten liikkeitä ja toimintoja, joista operaatiot koostuvat. Näin yksittäisiä työliikkeitä ja toimintoja voitaisiin ryhmitellä.

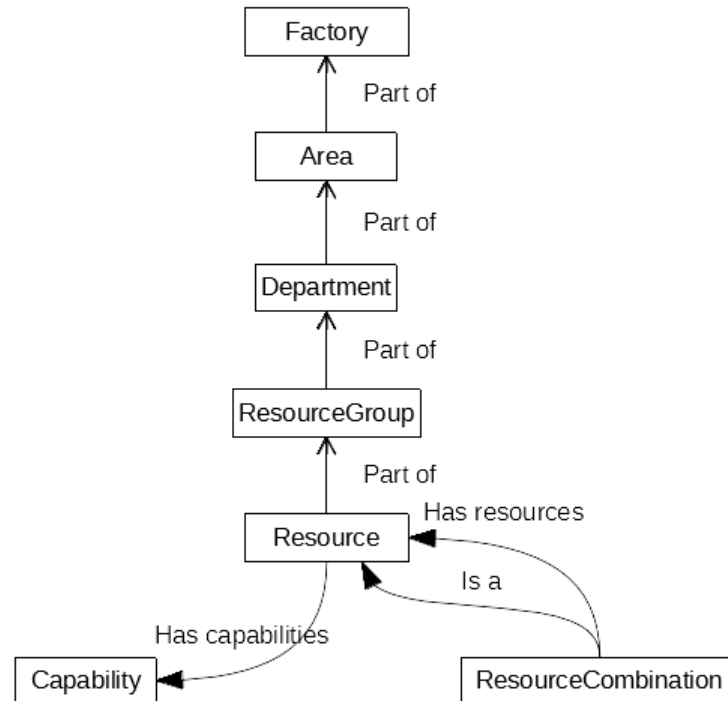
*Operation*-luokkaan ei ole liitetty sitä kuvaavia parametreja, koska ne on tarkoitus toteuttaa yhdenmukaisesti tuotannosuunnittelujärjestelmän operaatioparametrien kanssa. Parametrit sisältävät tehokertoimia, sekä operaation asetus, kuljetus ja vaihto aika-asetuksia, jotka ovat yleensä tuotteen tuotantoreseptitietoja.

Yksi resurssienhallintajärjestelmältä tavoiteltavista hyödyistä on suurien operaatio- ja reittijoukkojen tietojen massamuutokset. Useat parametrit ovat vakioarvoja ja niiden muuttaminen kerralla pienentäisi ylläpidon aiheuttamaa kuormaa. Siksi operaatioparametrien ylläpito tuotannosuunnittelujärjestelmän ulkopuolella on perusteltua. Dynaamisia parametreja, kuten vaihtoajoja edellisen resurssilla tuotetun tuotteen perusteella asetettavaa vaihtoa ei ole tarkoitus hallita tuotannosuunnittelujärjestelmän ulkopuolella.

#### 4.1.5 Resurssimalli

Resurssimallin suunnittelua määrittää ensisijaisesti laajennettavuus ja joustavuus. Haastatteluissa selvisi, että yksi nykyisen resurssijärjestelmän käytön haasteista on ollut muuttuvat tarpeet. Järjestelmän kehityksen jälkeen on otettu käyttöön uusia tuotantomenetelmiä ja uutta kapasiteettia, joka on muuttanut tuotannonohjauksen painopisteitä ja siten muuttanut järjestelmässä tarvittavien resurssien joukkoa. Esimerkiksi tätä tehtäessä tuotekehityksellä on kasvava tarve päästä hyödyntämään uudentyypisten muottien käyttöä tuotannossa, mutta se vaatisi muottien ja niiden käyttöön tarvittavien osien hienokuormituskäytön, jotta tarvittava resurssikapasiteetti voitaisiin selvittää. Yrityksen tietohallinnon asiantuntijoiden mukaan nykyiseen järjestelmään tehtyjen teknisten ratkaisujen vuoksi uudentyypisten nimikkeiden luominen järjestelmään on haastavaa. Järjestelmään on määritelty vakiojoukko nimikkeitä, joilla on määrätty parametrit ja käyttö järjestelmässä. Tulevassa järjestelmässä resurssinimikkeiden määrittelyn tulee sallia uusien resurssien mallintaminen järkevästi. Resurssin määrittely ei saa olla täysin sidoksissa vakiomääriteltyihin parametreihin ja järjestelmään ohjelmoituihin toimintoihin.

Järjestelmään ehdotettu resurssimalli on kuvassa 28.



**Kuva 28.** Tuotantoresurssin informaatiomalli

Resurssinimikettä kuvaa yksinkertaisesti *Resource*. Resurssia kuvaa kaksi yhteyttä. Se kuuluu resurssiryhmään *ResourceGroup*, joka edelleen luokitellaan ylemmillä luokilla *Department*, *Area* ja *Factory*. Luokittelu on yhdenmukainen yrityksen tuotannon nykyisen luokittelun ja osastojaon kanssa. Luokittelu on suunniteltu perustuvat työvaiheiden suoritusvastuuseen. Esimerkiksi kokoonpano-osastoon kuuluvat kokoonpanokoneet ja koneiden osat ja koneita palvelevat laitteet. Kokoonpanon vaihto- ja asetustöihin tarvittavat laitteet kuuluvat taas asetusosastoon, yrityksen luokittelun mukaisesti, koska asetuksen kapasiteettia käytetään muillakin osastoilla. Resursseja voidaan yhdistää *ResourceCombination*-nimikkeeseen, jota kuvaa siihen liittyvien resurssien joukko ja niihin liittyvät tiedot. Yhdistelmä mahdollistaa esimerkiksi ennalta määritettyjen koneenosien yhdistelmien kuvaamisen järjestelmään. Tärkein resurssiin liitetty kuvaava tieto on *Capability*, josta on kerrottu tarkemmin kappaleessa 4.1.6. *Capability*-käsitteen alle voidaan ulkoistaa suuri osa niistä resurssin suorituskykyä ja rajoitteita kuvaavista parametreista, jotka nykyjärjestelmässä on määritelty resurssinimikkeen parametreiksi.

Lanzin [27] resursseja kuvaavassa mallissa on huomioitu omina luokkina esimerkiksi ihmiset ja ohjelmistot, kuten kuvasta 17 nähdään. Vastaavaa erottelua ei nähty tässä tarpeelliseksi, koska sovellusalue on huomattavasti Lanzin [27]:n mallia rajatumpi. Henkilöstöresurssien hallintaan yrityksellä on omat järjestelmänsä ja ohjelmistojensa ja tietojärjestelmiä ei voida tulkita tuotannonsuunnittelun rajoitteina. Jos *Resource*-luokkaa halutaan mallintaa vielä tarkemmin, suositellaan sen jakamista hieman Lanzin [27] mallia mukailleen esimerkiksi laitteisiin (*Device*) ja työkaluihin. Tällä hetkellä järjestelmään implementoitavien resurssityyppien lukumäärä vaikuttaa kuitenkin niin rajalliselta, että resurssien

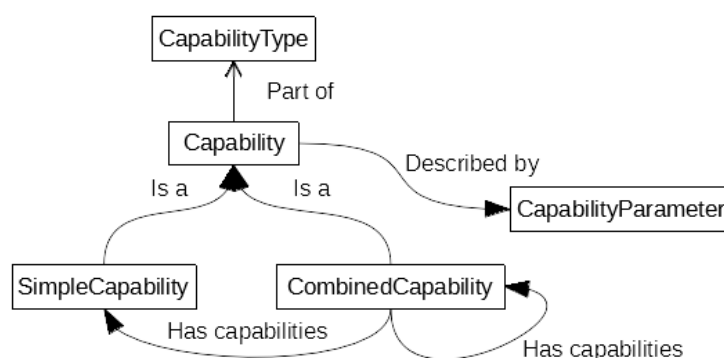
tarkempaa luokittelua ei tässä nähty tarpeellisenä. Resurssien jaottelu jo ylemmän tason luokissa *Department* ja *ResourceGroup* riittää rajaamaan resurssityypeistä syntyviä joukkoja.

Resurssia kuvaavaan tietoon olisi ollut mahdollista ottaa mukaan resurssin lokaatiota kuvaavaa tietoa. Resurssia kuvaavat luokat *Factory*, *Area* ja *Department* kuvaavat resurssin sijaintia suhteessa yrityksen organisaatioon, mutta resurssien fyysistä sijaintia suhteessa toisiin resurssisiin ei tästä tiedosta voida yksiselitteisesti päätellä ilman lisätietoa. Lokaatiotieto jätettiin informaatiomallista pois, koska lokaatiolle ei löydetty selkeää tarvetta ja käyttöä järjestelmän sisällä tai muissa järjestelmissä. Tuotannosuunnittelu- tai ohjausjärjestelmissä ei ole valmiutta hyödyntää tietoa, joten tiedon ylläpidolle ei ole perusteita.

#### 4.1.6 Kykymalli

Kykytieto otettiin osaksi informaatiomallia ratkaisemaan resurssiallokoinnin mahdollinen automatisointi. Käsite ”kyky” on toteutettu informaatiomalliin mukailten Järvenpään [35] kehittämää ja Järvenpää et al. [34] jatkokehittämää *Capability*-käsitettä, jolla kuvataan uudelleen konfiguroitavien tuotantojärjestelmien suorituskykyä. Järvenpään [35] kykymalli on itsessään yksinkertainen, mutta helposti laajennettava. Kykyinformaation toteuttaminen modulaarisesti mahdollistaa kykyjen vapaan määrittelyn myöhemmin kehitysprojektin aikana ja sallii tavoitteidenkin muuttua kehityksen mukana. Kykytyyppejä tai tarkkoja kuvauksia ei ole tarpeen tai mahdollistakaan määritellä kehityksen alkuvaiheessa, sillä tarpeet muuttuvat [6] ja kehitysprojekti itsessään saattaa stimuloida suunnittelijoita etsimään uusia ratkaisuja [4].

Ehdotus kykytietojen rakenteeksi on kuvassa 29.



**Kuva 29.** Kykytietojen informaatiomalli, mukailtu [35].

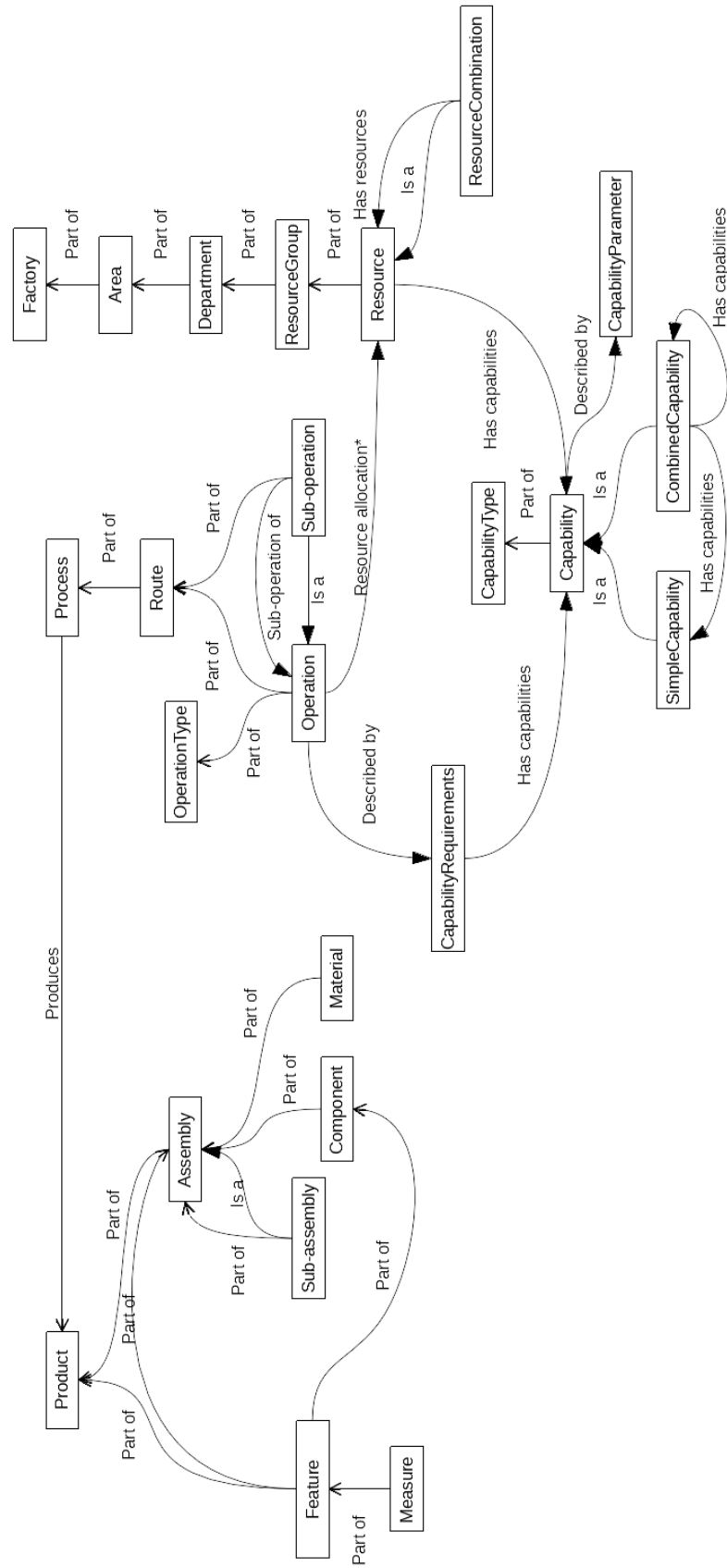
Kykyjen avulla toteutettava loogiseen päättelyyn perustuvat reitinmuodostus on tuotannosuunnittelun tarve ja riippuu siten tuotannosuunnitteluprosessin kehityksestä eikä

pelkästään resurssienhallinnasta. Valittu Järvenpään [35] mallin mukainen kykyinformaattiorakenne mahdollistaa varsinaisten kykyinstanssien mallinnustarkkuuden ja kompleksisuuden vapaan valinnan, kun kykyjä kuvaa yksi tietotyyppi ja sen sisältämät parametrit. Yhdistetty kyky (*CombinedCapability*) mahdollistaa kykyjen muodostamisen useista osista, mikä yksinkertaistaa kyvyn käsitettä. Kykyjä yhdistämällä voidaan modulaarisesti lisätä tai poistaa kyvyn osia, esimerkiksi sen perusteella, mitä tietoja on saatavilla. Esimerkiksi tuoterakenteeseen, kuten erikoisten komponenttien aplikointiin, perustuvia resurssiallokointipäätöksiä voidaan tehdä tuotereseptitietojen perusteella, jos reseptitieto on saatavilla. Jos tietoja ei ole, voidaan niitä vastaavat tarpeet ja kyvyt jättää pois ja korvata manuaalisella päätöksenteolla. Monimutkaiset kykykäsitteet, kuten kokoonpanokyky, voidaan purkaa osakäsitteisiin.

Tässä on todettu tärkeäksi korostaa, että kykyrakennetta ei voida jättää täysin huomiotta järjestelmää kehitettäessä, vaikka sitä ei heti toteutettaisikaan, sillä kykyihin perustuva looginen päättely tarvitsee toimiakseen tietoja tuotteista ja resursseista. Tarvittavat tietojen saatavuus on taattava, jos päättelyä halutaan automatisoida luotettavasti.

#### **4.1.7 Yhdistetty informaatiomalli ja relaatiot**

Edellä kuvatut tuote-, tuotantoprosessi-, resurssi- ja kykytiedot yhdistetään yhdeksi kokonaisuksi, jotta voidaan kuvata tietojen väliset yhteydet. Kokonaisuksi on esitetty kuvassa 30.



**Kuva 30.** Kokonaisinformaatiomalli

Edellisissä kappaleissa esitettyjen mallien lisäksi kokonaismalliin on kuvattu keskeiset pääluokkien (*Product, Process, Resource, Capability*) väliset relaatiot. Tuotteen ja prosessin välille ei ole tehty muita yhteyksiä, kuin ylimmän tason prosessin *Process* ja tuotteen välillä viittaus prosessin tuottamaan tuotteeseen. Viittaus vastaa käytännössä tapaa, jolla tuotteeseen viitataan tuotannosuunnittelujärjestelmän sisällä, kuten kappaleessa 3.3.1 selvitettiin. Tuotteiden tuotantoon suoraan osallistuvat prosessit ovat aina tuotekohtaisia.

On mahdollista, että tuotannosuunnittelujärjestelmään tarvitaan myöhemmin reittirakenteita, jotka eivät ole tuotekohtaisia. Näitä voivat olla esimerkiksi koneiden asetustyöt. Reitin informaatio ei ole tuoteviittauksesta riippuvainen ja se voi olla järjestelmässä kuvassa 31 esitetyn rakenteen mukainen, mutta reitin parametreihin on liitettävä tieto siitä, että reitti ei kuulu tuotekohtaisiin reitteihin. Vaihtoehtoisesti informaatiomalliin voidaan lisätä reitin tyyppiä kuvaava ylemmän tason luokka. Tuotannosuunnittelujärjestelmään jää mahdollisuus tehdä reittejä, joita ei ylläpidetä tulevassa resurssienhallintajärjestelmässä, mikä mahdollistaa poikkeuksellisten reittien hallinnan.

Prosessin *Operation* viittaa yhteen tai useampaan resurssiin *Resource* viittauksella *Resource allocation*. Viitatu resurssit suorittavat operaation. Viittaus vastaa tuotannosuunnittelujärjestelmässä käytettävää operaation ja resurssin välistä viittausta, joka on esitetty kuvassa 22 viittauksena ”*Can be allocated to*”. *Operation* viittaa myös tietoon *CapabilityRequirements*, joka sisältää viittaukset yhteen tai useampaan *Capability*-luokan instanssiin. Viittaus ilmaisee tiedon operaation suorittamiseen tarvittavista kyvyistä. Viittausta käytetään, jos kykytieto halutaan osaksi järjestelmää.

*Resource*-luokan nimike viittaa yhteen tai useampaan *Capability*:n instanssiin, joka tuottaa resurssille kuuluvan kykyjoukon. Viitattu *Capability* voi olla *Capability*-tiedon rakenteen mukaisesti yksi kyky (*SimpleCapability*) tai kykyjen joukko (*CombinedCapability*), joka sisältää useita kykyjä. Kuten edellä, näitä viittauksia käytetään vain, jos kykytiedot valitaan käytettäväksi järjestelmään.

Informaatiomallia testattiin mallintamalla sillä yhden tuotteen valmistukseen liittyviä tietoja. Tietoinstansseilla rikastettu kokonaismalli on liitteessä 9. Liitteessä käytetty merkin-tätapa on esitetty kuvassa 31.



<b>Luokka</b>
<i>Tietonimike</i>
Parametri = arvo

**Kuva 31.** Esimerkkimallin merkintätapa

Liitteen 8 esimerkkiin on otettu yksi kappaleessa 3.2.1 tutkitun 2. tuotetyypin tuotantoprosessin osa. Kappaleessa 3.2.1 kuvassa 20 esitetystä tuotantoprosessimallista esimerkissä käytetään prosessivaiheita 9, 10 ja 11 vastaavia operaatioita, sekä muutamia niihin liittyviä alioperaatioita.

Tuotteesta esimerkissä on mallinnettu lopputuotteen ulkomuoto yhtenä piirteenä, johon liittyy tuotteen päämittoja. *Assembly*-luokkaan mallinnettiin esimerkinomaisesti tuotteen runko ja muutama runkoon liittyvä komponentti ja materiaali. Yksi komponentti mallinnettiin alikokoonpanona komponentin rakenteen mukaisesti. Mallia tarkasteltaessa on huomioitava, että tuotteen rakenne ei sisällä kaikki siihen todellisuudessa kuuluvia komponentteja.

Resursseista esimerkissä on operaatioiden toteuttamiseen sallitut tuotannon koneresurssit sekä alioperaatioihin liittyvät koneenosaresurssit. Niiden ylemmät luokat noudattavat tuotannon osastojakoa. Mallin selkeyden vuoksi muutamaa esimerkkietoa lukuun ottamatta instansseille ei ole esitetty niitä kuvaavia parametreja. Relaatioden nimet on poistettu mallista sen tulkinnan helpottamiseksi. Relaatiot noudattavat kuvassa 30 määritellyjä relaatioita.

Esimerkkimalli esittää mallinnusta ilman *Capability*-tietoa, joka voitiin muodostaa nykyisen resurssienhallintajärjestelmän ja tuotannonsuunnittelujärjestelmän sisältämistä tiedoista. *Capability*-instanssien tarkempi määrittely vaatii ehdottomasti tarkempaa tutkimusta, eikä niitä ole siksi spekuloitu tässä työssä.

Esimerkkimalli osoittaa, että informaatiomallia voidaan käyttää yrityksen tuotantoreitityksen ja resurssien mallintamiseen. Mallin tiedot on kerätty nykyisistä järjestelmistä, joten mallin käytölle jo olemassa olevan tiedon hallintaan on hyvät valmiudet. Esimerkin instanssien tavoin mallia voitaisiin teoriassa laajentaa yhä tarkemmiksi ja kuvaavimmiksi operaatioiksi, alioperaatioiksi ja resursseiksi, malli ei rajoita sen käytön laajuutta. Resurssien kykyjä tai vaihtoehtoisesti rajoittavia parametreja malliin lisäämällä voitaisiin nähdä esimerkiksi tuotteen piirteiden mittojen ja resurssien suorituskykyjen asettamien rajoitteiden välisiä yhteyksiä. Vaikka *Capability*-tietoa ei mallinnettaisi, olisi rajoitteiden hahmittaminen järjestelmää käytettäessä nykyistä tuotannonsuunnittelujärjestelmässä tehtävää reitinluontia helpompaa, koska resurssien rajoiteparametreja ja tuotteiden tietoja voitaisiin tarkastella samassa järjestelmässä ja tehdä esimerkiksi hakuja resurssikantaan tuotemittojen perusteella.

#### 4.1.8 Informaatiomallin vaihtoehtoiset rakenteet

Edellisessä kappaleessa esitetty informaatiomalli on korostetusti ehdotus järjestelmässä käytettäväksi informaatiomalliksi. Sitä on tarkasteltava kriittisesti järjestelmän kehityksen kaikissa vaiheissa mahdollisten kehityskohtien löytämiseksi. Edellä esitetyn mallin oleellisin rakenne, joka tulisi kuitenkin vähintään pitää mukana mallissa, on edellisessä kappaleessa esitetty päätietotyypin *Resource*, *Process* ja *Resource* välinen yhteys. Viittaukset on suunniteltu yhdenmukaisiksi tuotannosuunnittelujärjestelmän informaatiokenteen kanssa ja ne huomioitava järjestelmien integraatiota ja yhteistoimintaprosesseja suunniteltaessa. Ehdotettuun malliin ei esitetty kaikkia mahdollisia mallin parannus ja kehitysvaihtoehtoja, koska ne olisivat saattaneet hankaloittaa mallin tulkintaa. Taulukossa 1 esitetty Hevnerin et al. [4] ohjeistuksen mukaisesti, tietojen selkeä esitystapa on tärkeä osa informaatiojärjestelmätutkimuksen tuloksia esittäessä ja hyödynnettäessä. Seuraavassa on esitetty tunnistettuja mallin kehitysvaihtomahdollisuuksia, joilla mallin kuvauskykyä ja käyttöä voidaan laajentaa.

Tuotannosuunnittelujärjestelmässä työvaiheita mallinnetaan tuotantoresurssikeskeisesti ja tuotekohtaisesti. Edellä esitetty informaatiomalli noudattaa tätä periaatetta sisältäen vain yksinkertaisen viittauksen tuotteen ja prosessin välillä. Ehdotettu rakenne ei kuvaa yksiselitteisesti sitä, mikä tuotantovaihe tuottaa minkäkin tuotteen osan ja miten tuotantovaihe vaikuttaa lopputuotteeseen. Useimmissa tapauksissa resurssin ja työvaiheen nimeämiskäytännöt ovat suhteellisen kuvaavia ihmisille. Esimerkiksi kokoonpanokoneella tehtävästä työvaiheesta ”Rungon kokoonpano” tai leikkureilla tehtävästä työvaiheesta ”Koordina leikkaus” on käyttäjän kannalta helppo tulkita työvaiheen merkitys, mutta ohjelmallisesti tulkinta on haasteellisempaa. Jos informaatiomalliin halutaan kuvata tarkemmin työvaiheiden (*Operation*) ja tuotteen osien yhteys, voidaan *Operation* ja *Feature*, *Assembly*, *Component* tai *Material* yhdistää relaatiolla ”*Produces*” toisiinsa. Relaatio mahdollistaisi monipuolisempien loogisten päättelyiden tekemisen järjestelmän tiedoista.

Tuotekehityksessä tuotteista tehdään 3D CAD-mallit moderneilla mallinnustyökaluilla. 3D-geometriatietojen hyödyntäminen tuotteen rakennetta ja tuotantoprosessia kuvaavissa tiedoissa ei arvioitu olevan hyötyä kohdeyrityksen tarpeet huomioiden, sillä koneiden konfiguroitavuus on rajallista ja lopputuotteen ulkomuodon antava resurssi on kiinteärakenteinen muotti. Työn aikana osallistuttiin vastaavan resurssijärjestelmän kehityspohdintoihin myös konsernitasolla ja konsernin muissa osissa järjestelmällä on keskeisempi rooli resurssien käytön ja kunnossapidon kannalta. Lanzin [27] mallissa käytetään 3D-mallien tietoja osana informaatiomallia ja tässä nähtiin kehitysmahdollisuuksia konsernin muiden tuotantoyksiköiden muottien kunnossapidon hallintaan. Jos resurssit kuvattaisiin Lanzin [27] mallin tuotetietorakenteen mukaisesti hyödyntäen muottien 3D-tietoja, voitaisiin kunnossapito ja huoltotarpeet kohdistaa suoraan muotin 3D-mallin piirteisiin, mikä helpottaisi muottien kunnossapitotyötilausten kirjausta ja tulkintaa. Kappaleen 3D-visualisointiin tehty merkintä on lähtökohtaisesti helpommin tulkittavissa, kuin vastaavan

kohteen ilmaisu vain sanallisesti varsinkin jos kirjauksen jättäjän ja käsittelijän välillä on kokemus-, tietotaito- tai kielieroja.

Kuten alussa todettiin, esitetyn informaatiomallin kehitystä ei tule lopettaa tähän työhön. Uusien tarpeiden ja kehityssuuntien ilmaantuessa mallia ja sen kuvauskykyä tulisi revidoida järjestelmällisesti, jotta mallin käyttökelpoisuus voidaan taata.

## 4.2 Tiedonkulkuprosessin kuvaus

Tiedonkulkuprosessin kuvaaminen ei asetettiin työn rajausta ja tavoitteita määritettäessä yhdeksi tavoitteeksi. Prosessin kuvaus ei kuitenkaan ollut työn päätavoite, vaan se otettiin työn osaksi, koska sen arvioitiin syntyvän työtä varten tehtävien tutkimusten tuotoksena. Lisäksi prosessien mallintaminen on hyödyllistä järjestelmän kehitysprojektin kannalta, sillä se auttaa hahmottamaan ongelmia visuaalisesti [45]. Tiedonkulkuprosessia päätettiin tarkastella tuotannosuunnittelukeskeisesti, jotta tarkastelu olisi yhdenmukainen työn muiden osien näkökulmien kanssa. Tiedonkulkuprosessi on esitelty seuraavassa kappaleessa.

Tiedonkulkuprosessia tutkittiin haastattelututkimuksen yhteydessä sekä järjestelmiä analysoimalla. Kokonaisprosessista tehtiin tuotannosuunnittelukeskeinen kuvaus ja selostus aiemmin kappaleessa 3.2.2, eikä selostusta ole tarpeellista toistaa enää tässä. Prosessikuvaus on esitetty liitteen 4 kuvassa.

Nykyisen resurssienhallinnan kannalta aktiivisia käyttöprosesseja on vähän. Järjestelmässä olevat resurssit on luotu jo jokin aika sitten, eikä niiden tietoja aktiivisesti tarkastella haastattelujen perusteella. Poikkeuksena ovat tuotteiden muotit. Tuotekehitys tekee muottitilaukset ja muottien vastaanottotarkastukset, sekä luo muotit resurssienhallintajärjestelmään. Luonnin jälkeen järjestelmään luodaan tarvittava tuotenimike, jos sitä ei jo ole, ja yhdistetään se muottiin Crossref-viittauksella. Vanhassa tuotannosuunnittelujärjestelmässä viittaus olisi päätyntä suunnitteluun automaattisesti, uusi järjestelmä on toistaiseksi manuaalisen tiedonsyötön varassa. Vastaavasti uusissa viitataan muutkin tarvittavat resurssit tuotteeseen, joiden perusteella tehdään tuotantoreitti suunnittelujärjestelmään.

Muottihuolto (*Kalustohuolto*) valmistelea tuotantoon tarvittavat muotit tuotantosuunnitelman perusteella. Muotit huolletaan niiden kunnan perusteella ja kuntostatus raportoidaan resurssijärjestelmään, josta se edelleen tuodaan näkyviin tuotanto-ohjelmiin. Muottien valmistelu sisältää mahdollisen kunnostuksen lisäksi niiden ja tarvittavien asennustarvikkeiden kuljetuksen muottivarastosta. Muotti asennetaan tuotantoon tuotantosuunnitelman mukaisesti asetushenkilöstön toimesta. Käytettävä muotti suunnitellaan tuotantosuunnitelmaan, joten suunnittelijalla on tiedossa, mitkä muotit ovat tuotannossa. Vuoro-työnjohto, sekä osastojen esimiehet ohjaavat ja priorisoivat muottien huoltoa, valmistelua

ja asetusta tuotantosuunnitelman, tuotantotilanteen, saatavilla olevan henkilöstön ja tuotannon prioriteettien mukaan. Tuotannossa olevia muotteja saatetaan tarvittaessa määrätä huollettavaksi niiden visuaalisesti tarkastettavan kunnan ja laaduntuoton perusteella, mutta tätä ei raportoida resurssijärjestelmään.

Muottinimikkeet ovat nykyisen järjestelmän resurssinimikkeistä selkeästi käytetyimpiä, johtuen niiden suhteellisen aktiivisesta asetuksesta, huollosta ja lisäyksestä suhteessa muihin resursseihin. Uusia muotteja hankitaan jatkuvasti uusien tuotteiden ja lisäkapasiteetin tarpeisiin, kun taas kokoonpanokoneita ja muita vastaavia suuria hankintoja tehdään korkeintaan muutamia kertoja tietojärjestelmän elinkaaren aikana. Nykytilassaan resurssienhallintajärjestelmän käyttö on rajattua ja yksinkertaista. Se palvelee ensisijaisesti tuotannonsuunnittelua keräämällä tuotteiden valmistukseen liittyviä yksinkertaisia resurssiallokointitietoja. Järjestelmän olemassaolo kertoo kuitenkin siitä, että suuri tuotteiden määrä ja tuotantoresurssien allokointi on tehnyt järjestelmätyypin tarpeelliseksi jo aiemmin. Tämän tutkimuksen perusteella tarve ei ole vähentynyt ja suunnittelun kompleksisuuden kasvaessa myös tiedon tehokkaamman hallinnan tarve tulee kasvamaan.

Prosessikuvausta tarkasteltaessa prosessista on tunnistettavissa ISA95-standardissa nimeytyt tuotannonhallinnan tehtävät tuotantoresurssien hallinta ja tuotemääritysten hallinta [12], jotka on esitetty kuvissa 6, 7 ja 8. Tuotemääritykset ovat tuotekehityksen ja RTO-osaston vastuulla. Osastojen tuottamasta tiedosta luodaan tarvittava tuotteen reitti resurssitietojärjestelmään. Tuotantoresurssien hallinta on vähemmän aktiivista toimintaa, muotteja lukuun ottamatta, koska uusia resursseja tehdään vähän. Tuotekehitys vastaa tilaamiensa muottien tietojen tallentamisesta ja muottihuolto tekee kunnossapitotöiden perusteella muutokset muottien kuntotietoihin. Tuotantoresurssien muutoksia koskevat tietojen päivitykset tehdään yleensä tapauskohtaisesti laitekehitys-, laatu-, tuotekehitys-, tuotannosuunnittelu- ja RTO-osastojen kesken.

Edellä ja kappaleessa 3.2.2 kuvattua prosessimallia tulkittaessa on huomioitava sen näkökulma ja käytetyt tutkimusmenetelmät. Kuten kappaleen alussa mainittiin, malli on tuotannosuunnittelukeskeinen, eikä kuvaa kaikkia sisältämiään osaprosesseja parhaalla mahdollisella tarkkuudella. Prosessia koskeva tieto on hankittu järjestelmiä tutkimalla, haastatteluilla sekä työuran aikana kertyneestä henkilökohtaisesta tietotaidosta. Jos jotain osaprosessia tulisi analysoida tarkemmin, olisi prosessia tutkittava vielä lisää valvomalla ja tarkkailemalla sen toimintaa pidemmän ajan yli ja keräämällä tietoja prosessivaiheiden käyttämästä ja tuottamasta tiedosta. Huolellinen ja kattava prosessinkehitys vaatisi varsinaisen tutkittavan prosessin mittaamista ja havainnointia riittävän aikavälin yli, jotta siitä saataisiin oikeaa ja luotettavaa tietoa [45]. Tässä työssä prosessitutkimus ei sisältänyt esimerkkitalanteiden tai case-tapausten tutkintaa, vaan prosessia tutkittiin yleistasolla. Prosessi sisältää paljon ihmisten tekemää työtä joka mahdollistaa erilaisten variaatioiden ja vaihtoehtoisten osaprosessien olemassaolon organisaatiossa, eikä edellä esitettyä kuvausta voida pitää ainoana totuudenmukaisena tulkintana prosessista. Kuvaus on kattava

ja suhteellisen tarkka kuvaus järjestelmien ja tuotannosuunnittelun tietojen kulun nykytilasta, kun suunnittelujärjestelmä on vasta käyttöönotettu ja vielä kehitetään lopulliseen muotoonsa.

Prosessikuvaus esittää tuotannosuunnittelun keskeisimmät haasteet, eli suoran takaisinkytkennän myynnin tietoihin, hienokuormitukseen vaikuttavien tietojen suuren määrän sekä yksiselitteisen pullonkaulaohjauspisteen puutteen. Nämä tekijät muodostavat merkittävän osan tulevan resurssienhallintajärjestelmän tarpeita määrittävistä lähteistä. Resurssienhallinta palvelee jatkossa ensisijaisesti tuotannosuunnittelua ja järjestelmän kehitysstrategian tulisi olla tietoisesti yhdensuuntainen tuotannosuunnittelun kehityksen kanssa.

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Edeltävässä työselostuksessa on pyritty esittämään suoraan havainnoista ja tuloksista tehtyjä johtopäätöksiä, joita ovat esimerkiksi informaatiomallin kehittämiseen ja tuotannonsuunnitteluprosessin analysointiin liittyvät päätelmät. Seuraavassa kappaleessa on esitetty koko työstä tehtyjä päätelmiä ja pohdintoja, koskien työn tulosten laatua, tavoitteiden saavuttamista ja työssä kehitettyjen konseptien käyttökelpoisuutta sekä työstä saatavaa hyötyä. Työssä tehdyn tutkimuksen perusteella on syntynyt ideoita hyödyllisistä jatkotutkimuskohteista, joita on esitelty kappaleessa.

### 5.1 Työn tulokset

Tutkimustuloksia saatiin kaikista tutkimuksen osista, kirjallisuustutkimuksesta, haastatteluista, järjestelmänalyyseista ja informaatiomallien kehityksestä. Työ on osa tuotannon kehitysprosessin kehitystä, joten tiedon keruu ja dokumentointi ovat tuloksia jo sellaisenaan. Työn varsinaisina tuloksina voidaan pitää kehitettyjä informaatiomalleja, prosessikaavioita ja päätelmiä tuotannonsuunnittelun kehityksestä.

Kirjallisuustutkimuksen tuloksia olivat:

- Standardikatsaus: standardit eivät tarjoa valmiita ratkaisuja resurssienhallinnan haasteisiin
- Tutkimuskatsaus: uudelleenkonfiguroitavia tuotantojärjestelmiä varten kehitetyt tietomallit sekä funktionaalisuutta kuvaavat tietomallit ovat hyviä referenssejä resurssienhallinnan ja reitinmuodostuksen informaatiomallinnukseen

Kirjallisuuskatsauksien perusteella voitiin todeta, että standardit eivät tarjoa ratkaisuja työn tutkimuskysymyksiin. Standardien kehitystyö on hidasta ja referenssejä resurssienhallinnan informaatiomallinnukseen etsittiin alan tutkimusraporteista. Tutkimusraporttikatsauksessa löydettiin tietomallien kehitystutkimuksia, joiden tuloksia voitiin hyödyntää työn soveltavassa osuudessa vertailumalleina, esimerkkeinä ja referensseinä.

Soveltavan tutkimuksen ja informaatiomallikehityksen tuloksia olivat:

- Haastattelututkimus: dokumentoitiin eri käyttäjäryhmien käyttämät tiedot ja tarpeet nykyisestä tietojärjestelmästä
- Järjestelmänalyysi: Tuotannonsuunnittelujärjestelmän ja nykyisen resurssienhallintajärjestelmän käyttämät tietorakenteet
- Prosessianalyysi: Tuotannonsuunnitteluprosessista tunnistettiin resurssi- ja reittitietojen hallintaan liittyvät kehitystarpeet
- Informaatiomallinnus: Informaatiomalli resurssien ja tuotannonsuunnittelureittien tietojen hallintaan

Haastattelututkimuksessa kerättiin tietoa käyttäjäryhmien toiminnasta ja työskentelystä nykyisessä resurssienhallintajärjestelmässä. Dokumentaatiota voidaan käyttää resurssitietojenkäsittelyn kehityksessä. Järjestelmäanalyysissä selvitettiin muiden tietojärjestelmien käyttämät tietorakenteet tarpeellisilta osin. Tietorakenteiden perusteella tehtiin päätöksiä informaatiomallinnuksessa. Järjestelmien tietojen rakenne on tunnettava järjestelmien välisiä integraatioita suunniteltaessa ja analyysitietoja voidaan käyttää integraatioiden esiselvityksinä. Tuotannosuunnitteluprosessin kehitys on työn tutkimuksen taustalla vaikuttava kehitysprosessi. Resurssi- ja reittitietojen hallinnan keskeisin hyötypotentialiaali on arvioitu olevan tuotannosuunnittelun kehityksessä. Suunnitteluprosessianalyysissä tunnistettiin prosessin kehityksen keskeiset kohdat, joita on esitelty tarkemmin kappaleessa 5.3.1. Informaatiomallinnuksessa tuotettiin malli resurssi- ja reittitietojen hallintaan. Mallin avulla voidaan kehittää resurssienhallintajärjestelmässä suoritettavaa tietojenkäsittelyä ja järjestelmien välisiä integraatioita.

## 5.2 Kehitettyjen mallien käyttökelpoisuus

Informaatiomalliin tarvittava keskeinen tietorakenne tunnistettiin tuotannosuunnittelujärjestelmää ja muita nykyisiä järjestelmiä analysoimalla. Tuotteen, tuotantoprosessin ja resurssin yhdistävää perusrakennetta havaittiin käytettävän useissa eri tarkoituksiin alun perin tarkoitetuissa kirjallisuuslähteissä. Eri lähteitä, standardeja ja tutkimusraportteja, tutkittiin jotta löydettäisiin mahdolliset yhteiset tavoitteet ja ratkaisuvaihtoehdot. Tärkeimpänä yksittäisenä lähteenä mainittakoon Lanzin [27] kehittämä ja Järvenpään [35] jatkokehittämä Core Ontology-malli. Kirjallisuustutkimuksen tuloksista omaksuttiin myös ontologiseen mallintamiseen perustuva esitystapa ja suunnitteluperiaate, jonka keskiössä on informaation merkityksen ja sisällön kuvaaminen informaatorakenteella ja relaatioilla.

Edellä kuvatuista lähtökohdista suunniteltiin kappaleessa 4 esitetty informaatiomalli. Tutkimuksessa käytetyn tiedon, sekä tuotannosuunnittelujärjestelmästä kertyneen kokemuksen ja tietotaidon perusteella voidaan väittää, että kappaleessa 4 esitetyn informaatiomallin mukainen tieto on yhteensopivaa tuotannosuunnittelun tietojen kanssa ja integroitavissa järjestelmään. Yhteensopivuus tuotannosuunnittelujärjestelmän kanssa nimettiin mallin kehityksen tärkeimmäksi kriteeriksi. Tuotannosuunnittelujärjestelmän tietorakenne on informaatiomallin suunnittelun rajoittava tekijä, sillä resurssienhallintaan ei ole tarpeellista luoda informaatiomallia, jonka esittäminen suunnittelujärjestelmässä vaatisi tietojen tai rakenteen huomattavaa karsimista tai yksinkertaistamista. Suunnittelujärjestelmä on reittitietojen ainoa käyttökohde, eikä tiedoista oleteta saatavan merkittävää hyötyä muussa käytössä.

Mallin suunnittelun toinen keskeinen kriteeri oli mallin mukaisten tietojen helppo laajennettavuus ja sovellettavuus. Tällä tarkoitetaan sitä, että mallia noudattavaan järjestelmään on mahdollista luoda uusia samaan perustietorakenteeseen perustuvia resursseja ja pro-

sesseja joustavasti. Laajennettavuus ja joustavuus tunnistettiin nykyisen järjestelmän yhdeksi suurimmista haasteista ja ongelmista. Tietojärjestelmän elinkaari tulee olemaan sidottu tuotannonsuunnittelujärjestelmän käyttöön, joten voidaan olettaa, että järjestelmien käyttöönsä aikana yrityksen tuotannossa tullaan näkemään tuotannonsuunnittelun rajoitteisiin ja ehtoihin merkittävästi vaikuttavia muutoksia. Uuden järjestelmän kehityksessä on siis varauduttava muuttuviin tarpeisiin ja painotuksiin. Joustava ja helposti laajennettava tietorakenne parantaa osaltaan järjestelmän sietokykyä muutoksia vastaan, sillä uudentyyppiset resurssit ja prosessit voidaan sovittaa informaatiomalliin ilman merkittäviä muutoksia järjestelmän toimintaan ja rakenteeseen.

### 5.3 Tunnistetut jatkekehitystarpeet

Tuotannon resursseja, sekä tuotteiden tuotannolle asettamia rajoitteita koskevaa tietoa ylläpidetään tällä hetkellä useissa eri paikoissa ja tiedoissa on osittaisia päällekkäisyyksiä. Kaikelle resurssitiedolle ei ole tunnistettavissa selkeää master-ylläpitoa, joten eri järjestelmissä olevien tietojen ajantasaisuudessa ja paikkaansa pitävyydessä voi olla eroja. Tuotannon rajoitteisiin suoraan tai välillisesti liittyvien tietojen ylläpitoon tarvitaan järjestelmällisempi prosessi ja keskitetympi tiedonjako.

Haastattelujen perusteella tuote- ja resurssitiedon käytöstä prosesseissa on eri organisaation osista hieman erilaisia käsityksiä, joka osaltaan haittaa tiedon ylläpitoa ja tiedonkulkuprosessin luotettavuutta. Esimerkiksi tuotannonsuunnittelun tietotarpeista ja järjestelmiin tarvittavista tiedoista ei välttämättä olla tietoisia tuotekehityksessä, minkä vuoksi tarvittavat tiedot saatetaan joskus syöttää järjestelmiin myöhässä tai puutteellisina. Nykyisen resurssijärjestelmän vaihto antaa mahdollisuuden käydä käyttöprosessit läpi kaikkien käyttäjärühmien kanssa ja sopia käytännöt uudestaan. Sovitut käytännöt olisi syytä dokumentoida nykyistä selvemmin, jotta niihin voidaan myöhemmin palata ja tarvittaessa muuttaa. Tulevaan resurssienhallintajärjestelmään on ehdotettu myös muistutus- ja mekanismeja, joilla esimerkiksi varmistettaisiin uuden tuotteen tai resurssin tarvittavien minimitietojen syöttö järjestelmään. Järjestelmä voisi lähettää käyttäjärühmille muistutuksia puuttuvista tiedoista, jos niitä ei ole syötetty.

Uuden resurssienhallintajärjestelmän kehityksessä tulisi vähintään seurata aktiivisesti yrityksen tuotannonohjausjärjestelmän kehityssuuntia. Kuten tuotannonsuunnittelujärjestelmässäkin, MES-järjestelmän valmiudet suurten resurssi- ja tuotenimikemäärien ylläpitoon ja tietojen muutosten tehokkaaseen toteutukseen ovat kokemusten perusteella rajalliset. Kehitettävän resurssienhallintajärjestelmän tarjoamat tiedot ja integraatiomahdollisuudet tulisi arvioida, jos MES-järjestelmään suunnitellaan käytettäväksi tuotannon resurssien tietoja. Lisäksi resurssienhallintaa varten kehitetty informaatiomalli mahdollistaa muidenkin, kuin tuotannonsuunnittelussa käytettävien resurssien ja niiden perustietojen kuten kuvausten ja tunnisteiden ylläpidon järjestelmässä.



### 5.3.1 Tuotannosuunnitteluprosessin kehitys

Tuotannosuunnittelun kehityksen tärkeimpinä näkyminä nähtiin laajenevan tuotantoresurssikapasiteetin tehokas ja tarkka hienokuormitus suunnittelu. Tuotannosuunnittelu toimii Make-to-order-tyyppisessä prosessissa, jossa lähes kaikki suunniteltava tuotanto on myyty suunnitteluhetkellä. Tuotantosuunnitelman suora takaisinkytkentä myynnin asiakaspalveluprosessiin ja tuotantotilauksiin edellyttää tuotannosuunnittelulta ja tietojärjestelmiltä korkeaa luotettavuutta ja tarkkuutta. Yrityksen suuri tuotenimikemäärä suhteessa tuotantokapasiteettiin, sekä eri työvaiheiden vaiheajojen suuret erot aiheuttavat tuotantosuunnitelmaan epävarmuutta. Osa työvaiheista on käsityövaltaisia, joten henkilöstön saatavuus ja suorituskyky ovat myös huomattavassa roolissa suunnitelman luotettavuuden suhteen. Tuotannosuunnittelun ja erityisesti päivittäisen hienokuormituksen haasteena on hallita realistisesti jatkuvasti muuttuvia suunnittelurajoitteita ja taustatietoja.

Nykyinen suunnitteluprosessi keskittyy kahteen päätuotantovaiheeseen. Suunnittelumalli edellyttää suunnittelijalta huomattavaa tilannetajua ja paljon kokemusta. Tuotannosuunnittelun luotettavuuden ja ennustuskyvyn parantamiseksi tutkimustulosten perusteella ehdotetaan suunnittelun kehitysstrategiaa, jossa tuotannosuunnittelujärjestelmän tuotantoprosessimallia (reittiä) laajennetaan käsittämään useampien resurssien hienokuormitus suunnitelman. Kriittisiä resursseja voidaan tarvittaessa suunnitella tarkemmin ja tutkia kapasiteetin maksimikäyttötilanteessa useampien resurssien kapasiteetin riittävyttä. Tuotannon pullonkaulat ja rajoitteet vaihtelevat tuotettavan tuotteiston, henkilöstön saatavuuden ja käyttöasteen suhteen, joten tuotannosuunnittelun hienokuormitustarpeiden voidaan olettaa muuttuvat samassa suhteessa. Tuomalla suunnittelujärjestelmään tarjolle tarvittavia resursseja suunniteltavaksi ja tarkasteltavaksi mahdollistetaan suunnittelu tarvittaessa nykyistä laajemmalla resurssijoukolla.

Tuotannosuunnittelureitityksen laajentaminen edellyttää tuotantoprosessitietojen tehokasta ja keskitettyä hallintaa mahdollisimman automaattisesti. Tuotannosuunnittelujärjestelmän reitinhallintatyökalut eivät tarjoa riittäviä ominaisuuksia yrityksen tuotemäärän edellyttämää ylläpitotyötä varten. Reittien ylläpidon tehottomuus on rajoite, joka tällä hetkellä hankaloittaa uuden tuotannosuunnittelujärjestelmän täysimääräistä hyödyntämistä ja joustavaa testaamista. Tutkimuksien perusteella ehdotetaan tuotannosuunnittelun kokonaisratkaisua, jossa suunnittelureittien tiedot ylläpidetään resurssienhallintajärjestelmässä.

Tuotannosuunnittelussa ja nykyisessä resurssienhallintajärjestelmässä havaittiin puutteena suunnittelun rajoitetietojen heikko tai olematon ylläpito. Nykyinen järjestelmä sisältää tiedon tuotantoresurssien tuotekohtaisesta tuotantokyvystä, mutta tietoja suunnittelurajoitteiden juurisyyistä ei ylläpidetä järjestelmällisesti tai vakioformaattissa. Tuotannosuunnitteluprosessin lopputulos riippuu siten suunnittelijan tietotaidosta. Tutkimustulosten perusteella nähtiin tarpeelliseksi ehdottaa resurssienhallinnan informaatiomalliin tuotantokykyä kuvaava tietorakenne, jotta rajoitteiden syitä ja todellisia tuotantorajoitteita

voitaisiin kuvata. Kykytietorakenne noudattaa kirjallisuustutkimuksessa löydettyä uudelleen konfiguroitavien tuotantojärjestelmien hallintaan kehitettyä mallia [35] [34]. Kirjallisuustutkimuksessa havaittiin samankaltaisuuksia mallin kehityksen sekä tämän työn tavoitteiden kanssa. Tuotantorajoitteiden mallintaminen kykytietojen kautta voisi olla hyödyllinen kokeilu uudentyypisen tiedon tallentamiseen. Tietorakenteen konsepti on yksinkertainen ja laajennettavissa ja tarkennettavissa modulaarisesti. Kykytietojen tallentamisen kannattavuudesta ja jatkokehitystarpeesta ei voitu tehdä johtopäätöksiä työn teon aikana, joten kykytietorakenne suunniteltiin vaihtoehtoiseksi osaksi kokonaisinformaatiomallia, joten sen poistaminen mallista on mahdollista menettämättä mallin muita ominaisuuksia.

### 5.3.2 Saatava hyöty

Diplomityöprojekti on oltava tuloksellista ja tavoitteellista toimintaa. Työllä on ennalta asetetut tavoitteet, jotka on kirjattu työn alkuun kappaleeseen 1. Osa työn tuottamasta hyödyistä saavutetaan tavoitteet täyttämällä. Osa saatavasta hyödyistä ei välttämättä osata määrittää ennalta, sillä työn teko ja tutkimuksen suorittaminen ovat uutta tietoa ja osaamista tuottavia prosesseja ja siten ennalta arvaamattomia. Seuraavassa on pohdittu työstä saatavaa hyötyä.

Kirjallisuuskatsauksessa kerättiin tietoa olemassa olevien standardien sopivuudesta työn ongelmien ratkaisuksi. Tutkittujen standardien joukosta ei tunnistettu sopivia ratkaisuvaihtoehtoja ja tuotannon reitityksen ja tuotannonsuunnittelurajoitteiden hallintaa tai sen kaltaisia aiheita käsittelevien standardien todettiin olevan korkeintaan kehitysasteella. Tutkimusraporttien perusteella esimerkiksi funktionaalisen tiedon ja ontologisten tietomallien käyttö todettiin olevan vielä tuore tutkimuksen ala, joka ei ole ehtinyt vielä vakiintua ja standardoitua käytännössä. Tieto siitä, että alan tutkimus on tuoretta ja standardeista ei saada riittävää tukea auttaa keskittämään tietojärjestelmän kehitystä soveltavampaan tutkimukseen valmiiden ratkaisujen sijaan. Kirjallisuuskatsauksessa käsitellyissä tutkimustuloksissa nähtiin paljon potentiaalia. Tutkimuksissa korostui semanttisten tietomallien kehitys järjestelmäkehityksen osana ja tiedon ontologian kuvaaminen osana järjestelmän toimintaa. Alan tutkimuksen kehitystä tulisi seurata suhteellisen aktiivisesti kehitystrendien ja mahdollisten vakiintuvien käytäntöjen tunnistamiseksi.

Soveltavan tutkimuksen tuloksia, käyttäjäryhmien haastatteluja ja tuotannon tietojärjestelmien analyysia, voidaan käyttää sellaisenaan osana järjestelmäkehitykseen kuuluvaa esiselvitystä. Haastattelututkimus kattaa kaikki nykyisen resurssienhallinnan käyttäjäryhmät ja tutkimushetkellä käytetyt toimintamallit ja prosessit. Haastattelujen perusteella voidaan kohdentaa mahdollisia jatkoselvityksiä tarkemmin käyttäjiin ja käyttäjäryhmiä voidaan sitouttaa tulevan järjestelmän kehitykseen. Tuotannon tietojärjestelmiä analysoidaan tarvittavilta osin. Analyysien tulokset on dokumentoitu työhön ja niistä on tehty perusteltuja päätelmiä järjestelmien tarpeista ja rajoittavista tekijöistä. Rajoitteet ja tarpeet

on myös dokumentoitu ja niitä voidaan käyttää järjestelmän kehityksen tukena ja taustatietona. Järjestelmäkehityksen kannalta tärkein yksittäinen käyttöprosessi, tuotannosuunnitteluprosessi, dokumentoitiin nykytilassaan työssä kerättyjen tietojen perusteella ja prosessimallia voidaan käyttää sekä järjestelmäkehityksen tukena, että tuotannosuunnittelun kehityksen apuna ja stimulanttina.

Kerättyjen tietojen perusteella kehitettiin yksinkertainen, mutta joustava ja laajennettava informaatiomalli. Malli edustaa järjestelmän tietoihin kohdistuvien tarpeiden ja rajoitteiden perusteella muodostettua käsitystä tulevassa järjestelmässä hallittavan tiedon formaatista, sisällöstä sekä merkityksestä eli ontologiasta. Mallin suunnitteluperusteet ja rakenteiden ja tietoluokkien funktiot on dokumentoitu työhön. Mallia voidaan täten muuttaa tarpeiden ja rajoitteiden muuttuessa hallitusti.

Kokonaisuudessaan työn toivotaan sopivan osaksi järjestelmäkehityksen esiselvitys ja määrittelyvaihetta. Järjestelmäkehitykseen osallistuu paljon henkilöitä, jotka toimivat yrityksen ulkopuolella tai muissa kuin tuotannon prosesseissa, eikä kaikilla osallistujilla voida olettaa olevan yhtenäistä ja selkeää käsitystä kehitettävän järjestelmän ydintavoitteista ja tarpeista. Työssä on pyritty korostamaan keskeisiä kehitettävän järjestelmän suunnittelua ohjaavia tekijöitä. Työssä dokumentoitujen tietojen ja tulosten avulla voidaan toivottavasti käsitystä kehitysprojektin tavoitteista.

## 5.4 Tavoitteiden saavuttaminen

Seuraavassa on pohdittu työn tavoitteiden saavuttamista ja tulosten laatua. Pää tavoitteet määriteltiin kappaleessa 1.1.

Työn alussa päätavoitteeksi asetettiin esiselvityksen tekeminen tulevaa resurssienhallintajärjestelmää varten. Esiselvitykseen tulisi kuulua nykyisen järjestelmän käyttöprosessin sekä järjestelmään tulevien tietojen asettamien tarpeiden ja rajoitteiden kartoittaminen. Kerätystä tiedosta tulisi muodostaa järjestelmäkehityksen pohjaksi sopiva informaatiomalli järjestelmän keskeisistä tiedoista, sekä järjestelmään liittyvien tietojen virtausprosessi nykytilassaan.

Informaatiomallin toimivuuden todistaminen täysin aukottomasti on haastavaa järjestelmäkehityksen alkuvaiheessa. Mallin toimivuuden arviointi perustuu mallin toimivuuden osoittamiseen kappaleessa 4.1.7 esitetyllä esimerkillä, sekä kappaleessa 3.3.1 esitettyihin tuotannosuunnittelujärjestelmän tietotarpeisiin. Esimerkkimalli osoittaa, että nykyisissä järjestelmissä olevaa tietoa voidaan käyttää kehitetyssä informaatiomallissa. Mallin prosessiosia ja resurssiallokointi vastaavat tarvittavilta osin tuotannosuunnittelujärjestelmän tietorakennetta, jonka perusteella oletetaan, että järjestelmien välinen tiedonvaihto on toteutettavissa suhteellisen yksinkertaisesti, eikä tietoja tarvitse tulkita tai muuttaa järjestelmien välisessä rajapinnassa merkittävästi. Yhdenmukainen prosessitietorakenne yhdenmukaistaa eri järjestelmissä käytettävien tietojen formaattia ja käyttöprosesseja. Kun

tieto on samassa muodossa järjestelmien kesken, tietojen muutosten syy-seuraus-suhteita on helpompaa havaita ja tutkia. Näiltä osin informaatiomallia voidaan pitää tavoitteisiin nähden onnistuneena. Mallia voidaan tarvittaessa laajentaa esimerkiksi kappaleessa 4.1.8 esitetyillä tavoilla, mikäli tarpeet muuttuvat.

Nykyisten järjestelmien tietojen käyttöprosessi kuvattiin tuotannosuunnittelukeskeisesti osana suunnitteluprosessimallia kappaleissa 3.2.2 ja 4.2. Näkökulma valittiin, koska tuotannosuunnittelun havaittiin olevan tulevan järjestelmän kehityksen ja takaisinmaksun kannalta keskeisin yksittäinen prosessi. Lisäksi tuotannosuunnitteluprosessin mallinuksesta toivotaan olevan hyötyä järjestelmiä ja prosessia kehitettäessä.

Kirjallisuuskatsausta ei voida pitää erityisen laajana tai kattavana otantana alan kirjallisuudesta tai tutkimuksesta, mutta laajan selvityksen tekeminen ei ollut työn tavoitteissa, eikä välttämättä mahdollistakaan käytettävissä olevassa ajassa. Kirjallisuuskatsaus sisältää kuitenkin käyttökelpoista tietoa alan tutkimuksen trendeistä ja kehityksessä olevista ratkaisuista. Järvenpään et al. [34] uudelleen konfiguroitavien tuotantoresurssien hallintaan keskittyvä projekti ja sen taustalla kehitetyt mallit, joita kirjallisuuskatsauksessa on käsitelty, ovat hyvä esimerkki tutkimuksista, joiden edistymistä kannattaisi seurata valmistavan teollisuuden yrityksissä, joiden toimintaan valmistuksen globaalit muutostrendit, kuten digitalisaatio vaikuttavat.

Soveltavassa tutkimuksessa tehtyjen prosessi- ja järjestelmäkartoitusten tulokset ovat sellaisenaan osia tietojärjestelmän kehitystä Hevnerin et al. [4] mukaan. Kerätystä tiedosta on tehty johtopäätöksiä, joita voidaan hyödyntää osana järjestelmän kehitystä. Erityisesti tuotannosuunnittelusta saatiin selville paljon järjestelmäkehityksen kannalta tärkeitä kehityssuuntia ja tarpeita. Tutkimustuloksista on esitetty suoria ehdotuksia tuotannosuunnitteluprosessin kehitykseen, sillä resurssienhallintajärjestelmän kehitys ja tarpeet ovat riippuvaisia tuotannosuunnittelun kehityksestä. Soveltavassa tutkimuksessa kerätystä tiedosta on voitu tehdä perusteltuja johtopäätöksiä ja ratkaisuja informaatiomallin kehityksessä, joten tutkimustulosten ja mallin rakenteen välillä olevat yhteyden voidaan todeta työstä.

Kokonaisuutena työtä voidaan olettaa käytettävän järjestelmäkehityksen esiselvityksessä. Työn rajoitteista johtuen työ ei kuitenkaan kata koko esiselvitysprosessia, sillä tärkeät esiselvityskohteet, kuten teknisten ratkaisuvaihtoehtojen kartoitus [4] ei kuulu työn piiriin. Tämä on huomioitava työtä käytettäessä järjestelmäkehityksen taustatietojen lähteenä

## **5.5 Jatkotutkimusehdotukset**

Seuraavassa on pohdittu lyhyesti työn teon aikana esiin nousseita ajatuksia jatkotutkimustarpeista.

Aluksi on syytä palata kirjallisuuskatsauksen alussa esitettyyn kuvaan 1, joka esittää Hevnerin et al. [4] informaatiomallin kehitystutkimuksen viitekehysmallia. Työssä tehty tutkimus käsittelee Hevnerin et al. mallin ympäristöosaa koskevia tietoja. Nykyisiä järjestelmiä sekä niiden käyttöä ja käyttäjiä on tutkittu ja tutkimustulokset on dokumentoitu. Tuloksena on saatu vähintään osittainen käsitys kuvan ”Kehitys”-otsikon alaisista järjestelmän kehityskohteista ja tarpeista sekä taustateorioista. Kerättyä tietoa on jo analysoitu ja siitä on tehty päätelmiä ja ratkaisuja informaatiomallin muodossa. Hevnerin mallin mukaisesti järjestelmätutkimuksen seuraavat tutkimuskohteet olisivat

- Käytettävän teknologian ja teknisten ratkaisujen kartoittaminen
- Projektiin tarvittavan osaamisen ja tietotaidon kartoittaminen
- Tietojen, teknologian ja prosessien evaluointi ja testaaminen

Kehitysprojektiin käytettävää tietotaitoa ei työssä kartoitettu, lukuunottamatta kirjallisuuskatsauksessa esiteltyjä tutkimusprojekteja ja standardeja. Kehitysprojektin organisaatio ja sitoumukset tulisi sopia mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jotta vastuunjako olisi selkeää. Hevnerin et al. [4] viitekehyksessä tietojen ja osaamisen kartoitus on korostetussa roolissa. Sovellettavan teknologian kartoittaminen rajattiin työn ulkopuolelle. Kartoituksen tekeminen järjestelmän esiselvitysvaiheessa on suositeltavaa. Käytettävissä olevan teknologian kartoitukseen voidaan liittää myös yrityksessä saatavilla olevan osaamisen sovellettavuus saatavilla olevaan teknologiaan ja ratkaisuihin.

Tietojärjestelmän esiselvityksen ja kehitystutkimuksen jatkaminen ovat tämän työn tulosten perusteella tärkeimpiä kehityskohteita. Tietojärjestelmäkehitystä ei tule eriyttää omaksi prosessikseen, vaan se tulee jatkossakin pitää osana suurempaa kehitystä, jolla tavoitellaan tuotannonsuunnittelun suorituskyvyn ja tarkkuuden parantamista.

Lanzin [27] tutkimuksessa esitetty ratkaisu sisältää tuotteiden 3D-mallien hyödyntämistä tietorakenteen keskeisenä osana ja järjestelmän tietolähteenä. Kohdeyrityksessä tuotteista tehdään 3D-malleja, mutta niitä ei suoraan hyödynnetä tuotekehityksen ja tuotteiden tuotantoon oton ulkopuolella merkittävästi. 3D-mallit sisältävät runsaasti tuotteen geometriatietoa. Verrattuna tavanomaisiin parametriisiin tietoihin, 3D-malli tarjoaa tulkinnasta riippumattomamman tavan esittää tietoja tietojärjestelmissä. Käyttämällä 3D-malleja Lanzin [27] esittämän ratkaisun tapaan osana tuotteen ja sen tuotantoprosessin määrittystä, voitaisiin esimerkiksi käyttöliittymästä kehittää intuitiivisempia ja nopeammin omaksuttavia.

Tuotannon rajoitetietojen mallintaminen erityisesti tuotannonsuunnittelun osalta vaikuttaa tehdyn kirjallisuuskatsauksen ja tuotannonsuunnittelujärjestelmiin tutustumisten perusteella pitävän sisällään runsaasti järjestelmätoimittaja-, toimiala ja yrityskohtaisia käytäntöjä. Erilaisia ratkaisuja olisi hyödyllistä kartoittaa ja pyrkiä kehittämään joitakin yhtenäisiä geneerisiä tietorakenteita, joita voitaisiin hyödyntää järjestelmästä riippumatta.

Kuten kohdeyrityksen kehityshaasteista ja tarpeista voidaan todeta, perinteiset tehokkuuden ja tuottavuuden parantaminen kehitystavoitteina tuottavat suurta tuotevarianttien määrää valmistavassa tuotannossa samankaltaisia haasteita, kuin uudentyyppisten muutuvien ja uudelleen konfiguroitavien tuotantojärjestelmien käyttö. FMS- ja RMS-tyyppien tuotantojärjestelmiin suoraan kohdistuva tutkimus voi tuottaa kohdeyrityksen kannalta hyödyllistä tietoa ja ratkaisuja. Alan tutkimuksen seuraaminen työn kirjallisuuskatsauksen perusteella on suositeltavaa.

## 5.6 Tutkimusmenetelmien käytön onnistuminen

Tutkimusmenetelmät valittiin ja suunniteltiin palvelemaan tutkimuksen tavoitteita. Tässä kappaleessa on arvioitu valintojen onnistumista ja menetelmien sopivuutta tutkimukseen.

Tutkimusmenetelmiä olivat kirjallisuustutkimus, prosessien havainnointi, haastattelu ja järjestelmien tietojen havainnointi ja analysointi. Kirjallisuustutkimuksella kartoitettiin tutkimuksen taustatietoja ja etsittiin vertailukelpoisia tutkimuksia ja standardeja, joiden tavoitteet ovat samankaltaisia tämän tutkimuksen ja järjestelmäkehityksen kanssa. Kirjallisuustutkimusta voidaan pitää tyypillisenä osana tämän kaltaista tutkimusta. Kirjallisuustutkimuksen tuloksia on koottu kirjallisuuskatsaukseen. Tulosten perusteella kirjallisuudessa on runsaasti selvittävää alan tutkimuksen nykytilasta. Kirjallisuuskatsauksessa esitellyt standardit ja tutkimusraportit ovat hyviä esimerkkejä alan nykytilasta. Esitellyt tutkimukset ovat suhteellisen tuoreita ja standardien kehityksestä saatiin tietoa, jonka mukaan selkeää standardointisuuntaa ja standardien kehitystrendiä tuotannon resurssirajoitusten hallintaan ei tällä hetkellä ole. Standardeista löytyy kuitenkin tuotannon simulointiin ja tuotteiden elinkaarenhallintaan liittyviä standardeja, joita tutkimalla ja soveltamalla saattaisi löytyä alakohtaisesti sopivia käytäntöjä tietojen rakenteen ja ontologian mallintamiseen.

Haastattelututkimuksen suunnitteluperusteita taustoitettiin kirjallisuuskatsauksen lähteistä. Haastattelututkimuksen lopullista formaattia, tiedonkeruutapaa ja järjestelyä voidaan pitää onnistuneena. Haastattelu suunnitelmaa muutettiin huomattavasti ensimmäisen haastattelukerran jälkeen ja muutoksista saatiin hyviä tuloksia. Loput haastattelut toteutettiin uusitulla suunnitelmalla. Haastatteluissa saatiin tarvittavat lähtötiedot järjestelmän kehitykseen. Käyttäjärühmien roolit, käyttöprosessit ja kehitystoiveet on kartoitettu ja tietojen perusteella voidaan tehdä tarvittaessa tarkentavia jatkohaastatteluja. Haastatteluun jäi myös kehitettävää. Jos työn aikataulu olisi sen mahdollistanut, haastatteluihin olisi toteutettu iteratiivinen kierros, jossa olisi voitu testata informaatiomallin toimivuutta käyttöprosessissa syöttämällä malliin esimerkkietoja käyttäjiltä.

Prosessien havainnointiin oli hyvät mahdollisuudet työn aikana ja muissa työtehtävissä. Osallistuminen tuotannonsuunnittelujärjestelmän kehittämiseen tuotti selkeän kokonaiskuvan tuotannonsuunnitteluprosessista ja sen kehitystarpeista. Tuotannonsuunnittelun prosessikuvaukseen toteutettiin dokumentaatio työn tavoitteena olleesta resurssitietojen

virtausprosessin selvityksestä. Kokonaisprosessikuvausta voidaan käyttää prosessikehityksen tietolähteenä. Prosessimallinnuksessa olisi ollut hyödyllistä evaluoida prosessimallit prosessiin liittyvän henkilöstön kanssa tarkemmin. Mallin huolellinen tarkistaminen olisi toiminut tuloksien laatua varmistavana vaiheena ja olisi voinut toimia positiivisena stimulanttina prosessinkehitykselle.

Järjestelmäanalyysit tuottivat tärkeää tietoa muiden tietojärjestelmien asettamista rajoitteista. Tärkein analysoitu järjestelmä on tuotannosuunnittelujärjestelmä, joka on tarkoitettu integroida resurssitietojärjestelmään. Resurssitietojärjestelmän tietorakenteen on oltava yhteensopiva oleellisilta osin, jotta tuotannosuunnittelun tarvitsemat tiedot voidaan tuottaa tarvittavassa formaatissa. Jatkotutkimuksena järjestelmiä voitaisiin tutkia niiden teknisten integraatoratkaisujen ja tiedonsiirtomenetelmien osalta, jotta integraation teknistä toteutusta voitaisiin suunnitella.

## 6. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli kehittää informaatiomalli tuotannon resurssitietojärjestelmän kehitystä varten ja kartoittaa järjestelmän keskeisten tietojen käyttöprosessi. Tutkimus koostui informaatiomallin ja käyttöprosessin taustatietojen kartoituksesta, tulosten tarkastelusta, informaatiomallin kehityksestä ja prosessikuvauksen tekemisestä.

Resurssitietojen käyttöprosessista kerättiin tietoja haastattelemalla käyttäjiä ja analysoimalla nykyisen järjestelmän sisältämää tietoa. Tietojen käyttöä kuvattiin osana tuotannosuunnitteluprosessia, joka on tärkein yksittäinen tietojen käyttöprosessi ja oleellinen osa resurssitietojen informaatiomallin kehityksen taustatietoja. Tuotannosuunnitteluprosessin kuvauksesta sekä tuotannosuunnittelujärjestelmän tietojen analysoinnista tehtiin johtopäätöksiä tuotannosuunnittelun kehitysstrategiasta ja tulevan resurssitietojärjestelmän roolista kehityksen osana. Tuotannosuunnittelun kehityksen kannalta tärkeimpänä nähtiin hienokuormitussuunnitelman ennustetarkkuuden ja luotettavuuden parantaminen. Kehityksen edellytyksenä on kyky hienokuormittaa nykyistä laajempaa resurssijoukkoa, esimerkiksi tuotannon koneenosaresursseja, jotka voivat olla tuotannon rajoitteita riippuen tuotannossa olevista tuotteista ja tuotantovolyymista. Suuremman resurssijoukon hienokuormitus vaatii nykyistä suurempaa tuotantoreittitietoa tuotannosuunnittelujärjestelmään ja suuren reittitietomäärän ylläpitoon tarvitaan resurssitietojärjestelmän tietoja.

Toisena tuotannosuunnittelun kehityskohteenä todettiin suunnittelurajoitetietojen dokumentointi, tallentaminen ja käytettävyys. Todellisten rajoitteiden tunnistaminen ja hallinta on nykyisin pääosin tuotannosuunnittelijoiden tietotaidon varassa, sillä nykyinen resurssitietojärjestelmä ei kuvaa rajoitteiden syitä tai muodostusehtoja. Rajoitteita on pysyttävä käyttämään nykyistä tarkemmin tuotannon kokonaiskapasiteetin määrittämisessä tuotannosuunnittelujärjestelmässä ja resurssien allokoinnissa.

Resurssitietojärjestelmän päätehtäväksi tulee ylläpitää tuotekohtaisia tuotantoreittejä ja tuottaa niistä tarvittavat tiedot tuotannosuunnittelujärjestelmään. Reittiin kuuluvia prosessivaiheita ja resursseja on voitava kehittää tuotannon ja suunnittelun tarpeiden mukaan joustavasti ja järjestelmän tietoja on voitava tarvittaessa laajentaa. Tuotannosuunnittelujärjestelmän tuotantoreittitietojen rakennetta tutkittiin järjestelmän tietoja, toimintaa ja tietokantaa analysoimalla. Analyysien perusteella tehtiin tietorakennekuvaukset järjestelmän reittitiedoista.

Resurssitietojärjestelmän informaatiomallin kehityksen perustaksi valittiin tuotannosuunnittelujärjestelmän keskeinen tuotantoreittirakenne, joka mallinnettiin informaatiomalliin tuotantoprosessina. Tuotantoprosessiin liittyy sen tuottama tuote ja prosessivai-



heen suorittamiseen allokoitua tuotantoresurssit. Mallin kehityksessä ei voitu ottaa lopullisesti kantaa siihen, miten resurssiallokointitiedot, eli tuotannon rajoitteet, muodostetaan resurssitietojärjestelmän sisällä. Rajoitteiden tarkempaa mallinnusta varten malliin tehtiin tuotantoresurssien tuotantokykyä kuvaava Järvenpään [35] kehittämän Capability-tiedon mukainen tietorakenne osaksi resurssia kuvaavaa tietoa. Capability-tietoa voidaan käyttää rajoitetietojen tarkempaan ja vakioformaattiseen tallentamiseen sekä resurssien allokointiin automatisointiin. Informaatiomallin rakenne ei kuitenkaan edellytä kykytietojen olemassa oloa ja se voidaan tarvittaessa jättää mallista pois, jolloin resurssien allokointi tehtäisiin resurssitietojärjestelmässä manuaalisesti, kuten nykyisessä järjestelmässä.

Informaatiomallin tuotetietorakenteeseen tehtiin mahdollisuus mallintaa tuotteen kokoonpanorakenne, mukaan lukien komponentit, alikokoonpanot ja materiaalit. Näillä mahdollistetaan tuotteiden reseptitietojen tuominen järjestelmään. Haastattelujen perusteella järjestelmään vähintään tarvittavat tuotetiedot, eli tuotenimikkeet, tuotekuvaukset ja tuotteen perusmitat, voidaan tuoda tuotekehityksen tietojenhallintajärjestelmästä, jossa niitä nykyisin ylläpidetään. Toisena tuotetietojen lähdevaihtoehtona on yrityksen ERP-järjestelmän ja tuoterseptikirjaston sisältämä tuotenimikkeistö. Työn tuloksena tehtyä informaatiomallia ja prosessikuvauksia voidaan käyttää resurssitietojärjestelmän kehitysprojektin tukena ja esiselvityksen osana. Tuotannosuunnitteluprosessin kehityksen tukeminen on huomioitava järjestelmää kehitettäessä ja jatkuvasti muuttuva tuotantoympäristö asettaa haasteita järjestelmän elinkaaren hallintaan. Uuden resurssitietojärjestelmän on pystyttävä mukautumaan muuttuviin suunnittelu- ja tuotantotavoitteisiin. Järjestelmän käytön on kehityttävä sitä ympäröivien prosessien, tuotannon ja tuotannosuunnittelun mukana.

## LÄHDELUETTELO

- [1] H. Lasi, P. Fettke, T. Feld ja M. Hoffman, Industry 4.0, *Business & Information Systems Engineering*, nro 4, 2014, s. 239-242
- [2] J. Kletti, Manufacturing Execution System - MES, Springer-Verlag Heidelberg, 2007
- [3] E. Järvenpää, P. Luostarinen, M. Lanz, F. Garcia ja R. Tuokko, Dynamic Operation Environment - Towards Intelligent Adaptive Production Systems, *IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing - ISAM 2011, 25-27 May 2011 Tampere Hall Tampere Finland*, 2011
- [4] A. R. Hevner, T. M. Salvatore, J. Park ja S. Ram, Design Science in Information Systems Research, *MIS Quarterly*, vuosikerta 28, nro 1, 2004, s. 75-105,
- [5] U. Flick, Qualitative Research Designs, *Designing Qualitative Research*, SAGE Publications Ltd, 2011, s. 36-50
- [6] H. W. Rittel ja M. M. Webber, Planning problems are Wicked Problems, *Developments in Design Methodology*, Wiley, 1984, s. 135-144
- [7] B. Chandrasekaran, J. R. Josephson ja R. V. Benjamins, What are ontologies and why do we need them?, *IEEE Intelligent Systems and their Applications*, vuosikerta. 14, nro 1, 1999, s. 20-26
- [8] A. H. M. ter Hofstede ja H. A. Proper, How to formalize it? Formalization principles for information system development methods, *Information and Software Technology*, vuosikerta 40, 1998, s. 519-540
- [9] O. Lindström, Standardoitu tiedonkeruu teollisessa tuotantoympäristössä, Tampereen teknillinen yliopisto, 2014
- [10] E. Lammervo, A Roadmap towards agility for Finnish manufacturing companies, Tampereen teknillinen yliopisto, 2015
- [11] W. J. Stevenson, Operations Management (12<sup>th</sup> edition), McGraw-Hill Education, 2014

- [12] ISA, ANSI/ISA-95.00.03-2005 Enterprise Control System Integration Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management, ISA - The Instrumentation, System, and Automation Society, 2005
- [13] E. Järvenpää, M. Lanz, H. Tokola, T. Salonen, M. Koho, J. Backman, K. Katajisto ja H. Reinilä, LeanMES: Tuotannosuunnittelu ja -ohjaus suomalaisissa valmistavan teollisuuden yrityksissä - Nykytila, haasteet ja tarpeet, FIMECC - Finnish Metals and Engineering Competence Cluster, 2014
- [14] M. Naedele, H.-M. Chen, Kazman, C. Y. Rick, L. Xiao ja C. V. Silva, Manufacturing execution systems: A vision for managing software development, *The Journal of Systems and Software*, nro 101, 2015, s. 59-68
- [15] NAMUR, WG 2.4 Manufacturing Execution Systems (MES), NAMUR, 2017, Saatavilla: <http://www.namur.net/en/work-areas-and-project-groups/wa-2-automation-systems-for-processes-and-plants/wg-24-manufacturing-execution-systems-mes.html>. (Haettu 11.5.2017)
- [16] H. Meyr, M. Wagner ja J. Rohde, Structure of Advanced Planning Systems, *Supply Chain Management and Advanced Planning*, Springer Berlin Heidelberg, 2008, s. 109-115
- [17] R. Bartak, Dynamic Constraint Models for Planning and Scheduling Problems, Charles University, Praha, 2000
- [18] J. W. Herrman, M. Dawande, J. T. Dickersbach, J. W. Fowler, J. Kalagnanam, S. Kreipl, M. Kuchta, H. S. Lee, E. J. Lodree, B. MacCarthy, M. Martinez, S. J. Mason, K. N. McKay, L. Mönch, A. Newman, B. A. Norman, M. E. Piund, M. Pinedo, C. Reddy, O. Rose, S. Siegel, M. Trumbo, G. E. Vieira ja V. C. S. Wiers, Handbook of production scheduling, Springer Science+Business Media Inc., 2006
- [19] S. Rachuri, S. J. Fenves, R. D. Sriram ja F. Wang, A product information modeling framework for product lifecycle management, *Computer-Aided Design*, vuosikerta 37, 2005, s. 1399-1411
- [20] S. Rachuri, E. Subrahmanian, A. Bouras, S. J. Fenves, S. Foufou ja R. D. Sriram, Information sharing and exchange in the context of product lifecycle management: Role of standards, *Computer-Aided Design*, nro 40, 2008, s. 789-800
- [21] B. Yang, L. Qiao, N. Cai, Z. Zhu ja M. Wulan, Manufacturing process information modeling using a metamodeling approach, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2017, s. 1-18

- [22] S. J. Fenves, S. Foufou, C. Bock, R. Sudarsan, N. Bouillon ja R. D. Sriram, CPM 2: A Revised Core Product Model for Representing Design Information, National Institute of Standards and Technology, 2004
- [23] S. Kivikunnas ja J. Heilala, Tuotannonsimuloinnin tietointegraatio - Standardikatsaus,” *VTT Working Papers*, nro 172, 2011
- [24] ISA, ISA95, Enterprise-Control System Integration, Saatavilla: <https://www.isa.org/isa95/>. (Haettu 12.4.2017)
- [25] MESA, Business To Manufacturing Markup Language (B2MML), MESA, 2016 Saatavilla: <http://www.mesa.org/en/B2MML.asp>. (Haettu 11.4.2016)
- [26] M. J. Pratt, ISO 10303, the STEP standard for product data exchange, and its PLM capabilities, *International Journal of Product Lifecycle Management*, vuosikerta 1, nro 1, 2005, s. 86-94
- [27] M. Lanz, Logical and Semantic Foundations of Knowledge Representation for Assembly and Manufacturing Processes, Tampereen teknillinen yliopisto, 2010
- [28] Core Manufacturing Simulation Data Product Development Group, SISO-STD-008-2010 Core Manufacturing Simulation Data - UML Model, Simulation Interoperability Standards Organization, 2010
- [29] N. Chungnoora, A.-F. Cutting-Decelle, R. Young, G. Gunendran, Z. Usman, J. Harding ja K. Case, Towards the ontology-based consolidation of production-centric standards, *International Journal of Production Research*, vuosikerta 51, nro 2, 2011, s. 327-345
- [30] A. von Euler-Chelpin, Information modelling for the manufacturing system life cycle, Doctoral Thesis, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 2008
- [31] M. Lanz, E. Järvenpää, P. Luostarinen, F. Garcia ja R. Tuokko, Towards Intelligent Assembly and Manufacturing Environment- Modular ICT Support for Holonic Manufacturing System, *6th IFIP WG 5.5 International Precision Assembly Seminar, Chamonix*, 2012
- [32] P. Vichare, A. Nassehi, S. Kumar ja S. T. Newman, A Unified Manufacturing Resource Model for representing CNC machining systems, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vuosikerta. 25, nro 6, 2009, s. 999-1007

- [33] Y. Kitamura, Y. Koji ja R. Mizoguchi, An ontological model of device function: industrial deployment and lessons learned, *Applied Ontology*, vuosikerta 1, nro 3-4, 2006, s. 237-262
- [34] E. Järvenpää, N. Siltala ja M. Lanz, Formal resource and Capability Description Supporting Rapid Reconfiguration of Assembly Systems, *In Proceedings of the 12th Conference on Automation Science and Engineering, and International Symposium on Assembly and Manufacturing*, 2016
- [35] E. Järvenpää, Capability-based Adaptation of Production Systems in a Changing Environment, Tampereen teknillinen yliopisto, 2012
- [36] E. Järvenpää, P. Luostarinen, M. Lanz ja R. Tuokko, Presenting capabilities of resources and resource combinations to support production system adaptation, tekijä: *IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing, ISAM 2011, 25-27 May, 2011, Tampere Hall, Tampere, 2011*
- [37] M. Leppänen, An Ontological Framework and a Methodical Skeleton for Method Engineering - A Contextual Approach, Faculty of Information Technology of the University of Jyväskylä, 2005
- [38] T. Kallela, Design and Evaluation of Ontologies for Advanced Knowledge Infrastructure, Tampereen teknillinen yliopisto, 2008
- [39] N. Lohse, H. Hirani ja S. Ratchev, Equipment ontology for modular reconfigurable assembly systems, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, vuosikerta 17, nro 4, 2005, s. 301-314
- [40] M. Gogolla, Unified Modeling Language, *Encyclopedia of Database Systems*, Springer US, 2009, s. 3232-3239
- [41] K. Kiko ja C. Atkinson, A Detailed Comparison of UML and OWL, University of Mannheim, Mannheim, 2008
- [42] W3C, OWL Web Ontology Language - W3C Recommendation, 2004, Saatavilla: <https://www.w3.org/TR/owl-features/>. (Haettu 28.4.2017)
- [43] M. Horridge, A Practical Guide To Building OWL Ontologies Using Protege 4 and CO-ODE Tools, 1.3, University of Manchester, 2011
- [44] N. V. N. Chism, E. Douglas ja W. J. Hilson, Qualitative Research Basics: A Guide for Engineering Educators, Rigorous Research in Engineering Education, 2008

- [45] M. Martinsuo ja M. Blomqvist, Prosessien mallintaminen osana toiminnan kehittämistä, Tampereen teknillinen yliopisto, Teknis-taloudellinen tiedekunta, 2010
- [46] Novotek Planning Systems, ROB-EX Database integration to ERP systems (ei-julkinen), Novotek Planning Systems A/S, 2015