

Sauli Kivikunnas & Juhani Heilala

# Tuotantosimuloinnin tietointegraatio

Standardikatsaus

ISBN 978-951-38-7514-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)  
ISSN 1459-7683 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2011

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374



Tekijä(t) Sauli Kivikunnas & Juhani Heilala		
Nimeke <b>Tuotantosimuloinnin tietointegraatio Standardikatsaus</b>		
Tiivistelmä <p>Tämä standardikatsaus on tehty osana Autonomisen tuotantosolun optimointi – reaaliaikaista tuotannon älykkyyttä (ATOR) -projektia. Sen tavoitteena on ollut etsiä ja arvioida standardeja, joilla tuotantosimulointiin käytettävien tietojärjestelmien integrointi voidaan toteuttaa siten, että työlästä rajapintojen räätälöintiä voitaisiin oleellisesti vähentää. Projektissa arvioitiin valittujen integraatiostandardien hyödynnettävyyttä kotimaisen valmistavan teollisuuden ominaispiirteiden ja kehitystrendien kannalta: SISO CMSD Core Manufacturing Simulation Data -työryhmän kehitystyö on juuri saanut hyväksynnän. ISA-95-standardointi fokusoituu MES/ERP-järjestelmien integrointiin. MIMOSA on avoin standardi operointi-, kunnossapito ja elinkaari informaation hallintaan. MTConnect kehittää avointa ommunikointistandardia tuotannon laitteiden välille. Automation Markup Language (AutomationML) -standardi mahdollistaa digitaalisten suunnittelujärjestelmien ja todellisen tuotantolaitteen integraation.</p>		
ISBN 978-951-38-7514-5 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Avainnimeke ja ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Projektinumero 32114
Julkaisuaika Toukokuu 2011	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 29 s.
Projektin nimi Autonomisen tuotantosolun optimointi – reaaliaikaista tuotannon älykkyyttä (ATOR)	Toimeksiantaja(t)	
Avainsanat Information integration, production simulation, standards	Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4520 Faksi 020 722 4374	



Series title, number and  
report code of publication

VTT Working Papers 172  
VTT-WORK-172

Author(s) Sauli Kivikunnas & Juhani Heilala		
Title <b>Information integration in production simulation: Standards survey</b>		
Abstract <p>This standards survey is a part of Autonomisen tuotantosolun optimointi - reaaliaikaista tuotannon älykkyyttä (ATOR) project. It explores standards for manufacturing simulation aiming at reducing time-consuming system interface tailoring. The feasibility of selected standards in national production was a baseline for the survey. SISO CMSD Core Manufacturing Simulation Data has just been approved. ISA-95 standardisation work focuses on MES/ERP integration. MIMOSA is an open standard for operation, maintenance and lifecycle information management. MTConnect develops an open communication standard for machine tools. Automation Markup Language (AutomationML) enables the integration of the digital factory and the real life production system.</p>		
ISBN 978-951-38-7514-5 URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Series title and ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Project number
Date May 2011	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 29 p.
Name of project Optimization of autonomous production cell – real time production intelligence	Commissioned by	
Keywords Information integration, production simulation, standards	Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4520 Fax +358 20 722 4374	

## Alkusanat

Tämä standardikatsaus on tehty osana Autonomisen tuotantosolun optimointi – reaaliaikaista tuotannon älykkyyttä (ATOR) -projektia. Sen tavoitteena on ollut etsiä ja arvioida standardeja, joilla tuotantosimulointiin käytettävien tietojärjestelmien integrointi voidaan toteuttaa siten, että työlästä rajapintojen räätälöintiä voitaisiin oleellisesti vähentää.

Projekti on tuottanut konkreettisia tuotantosimulointijärjestelmiä, ja niiden kehityksessä havaitut ongelmat ja mahdollisuudet ovat osaltaan ohjanneet tämän katsauksen sisältöä. Perinteisesti tapahtumapohjainen simulointi (DES, Discrete Event Simulation) on tuotantojärjestelmän suunnittelun ja kehittämisen menetelmä. Laajennettaessa suunnitteluvaiheen mallinnuksesta ja analysoinnista jokapäiväiseen tuotantotoiminnan ja tuotannonajoituksen suunnitteluun keskeiseksi tekijäksi nousee erilaisissa tuotannon sekä yritystoiminnan tietojärjestelmissä olevien tietojen mahdollisimman automaattinen hyödyntäminen. Käytettävien tietojen on oltava ajan tasalla.

Katsaus on luonteeltaan taustaselvitys, joka pyrkii luomaan pohjaa myöhempiä soveltavia tutkimushankkeita varten.

# Sisällysluettelo

Alkusanat .....	5
Symboliluettelo .....	7
1. Johdanto .....	8
1.1 Tuotantosimulointi .....	8
1.2 Tunnistetut integrointitarpeet.....	9
1.3 Dokumentin sisältö.....	11
2. Standardit.....	12
2.1 ISA-S95 / IEC 62264.....	12
2.2 MIMOSA / ISO 13374 .....	14
2.3 SISO CSMD.....	15
2.4 MTConnect .....	21
2.5 AutomationML.....	22
2.6 Muita .....	23
3. Liityntä tuotantojärjestelmien kehitykseen.....	25
4. Arvioita ja yhteenveto.....	26
Lähdeluettelo .....	28

## Symboliluettelo

AMT	The Association For Manufacturing Technology
B2MML	Business To Manufacturing Markup Language
CAEX	Computer Aided Engineering Exchange
CMSD	Core Manufacturing Simulation Data
DES	Discrete Event Simulation
EDI	Electronic Data Interchange
ERP	Enterprise Resource Planning
EXPRESS	ISO 10303-11:1994 standardin määrittelemä tietomallikuvaus
IDEF	Integrated Computer Aided Manufacturing Definition
IEC	The International Electrotechnical Commission
ISA	The Instrumentation Systems and Automation Society
ISO	International Organization for Standardization
IV&I	Inventory Visibility & Interoperability
MES	Manufacturing Execution System
MIMOSA	Machinery Information Management Open Systems Alliance
NIST	National Institute of Standards and Technology
OAGi	Open Applications Group, Inc.
OASIS	Organization for the Advancement of Structured Information Standards
OEE	Overall Equipment Efficiency
OPC	OPC Foundation, OLE for Process Control
OSA-CBM	Open System Architecture for Condition Based Maintenance
OSA-EAI	Open System Architecture for Enterprise Application Integration
OWL	Ontology Web Language
PERA	Purdue Enterprise Reference Architecture
RFID	Radio Frequency Identification
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SDX	Simulation Data Exchange
SISO	Simulation Interoperability Standards Organization
UML	Unified Modeling Language
W3C	World Wide Web Consortium
XML	Extensible Markup Language

# 1. Johdanto

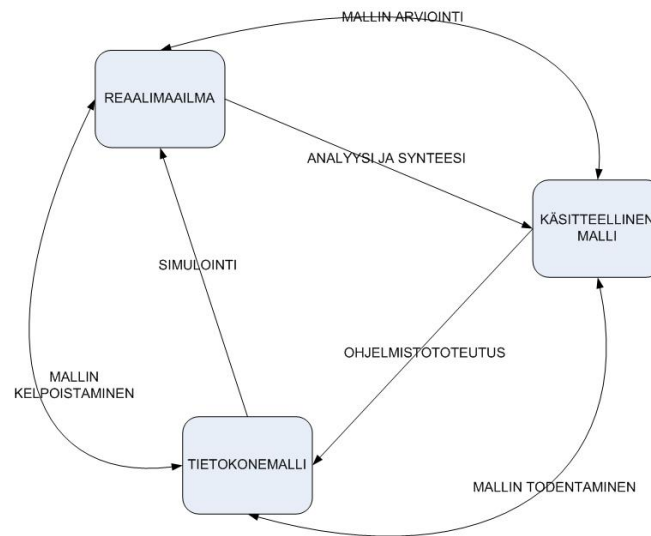
Tämän selvityksen alustana olevassa ATOR-projektissa kehitettiin ja demonstroitiin tuotantosimuloinnin rajapintoja sekä simulointimenetelmiä autonomisen tuotelinjan ja -solun hallintaan. Menetelmä yhdistää tiedot yhteisistä resursseista kilpailevista tilauksista, resurssi- ja materiaalitiedot, tuotannolliset häiriötilanteet sekä tulevien tilanteiden ennakkoinnin visuaalisesti. Ongelmatilanteissa menetelmällä voidaan etsiä optimaalista ratkaisua automaattisella, oppivalla tehtävien uudelleen ajoituksella. Hankkeessa demonstroitiin tuotannon tietojärjestelmien integrointia, graafista käyttöliittymää operaatoreille sekä keinoja lähtötietojen analysointiin reaali- ja virtuaalimaailmojen erojen pienentämiseksi. Esitetty menetelmäkehitys laajentaa simuloinnin hyödyntämistä tuotantojärjestelmän suunnittelun ja kehityksen välineestä jokapäiväiseksi tuotannon ajoituksen suunnittelun menetelmäksi (Heilala et al. 2010a, 2010b).

Standardiselytystehtävä on rajattu valmistavaan teollisuuteen ja kappalevarateollisuuteen. Tavoitteena on tunnistaa keskeiset tuotantosimuloinnin järjestelmäintegraatiota tukevat standardit ja standardointihankkeet sekä toimijat tässä ympäristössä.

## 1.1 Tuotantosimulointi

Tuotantosimulointi liittyy kuvassa 1 esitettyyn yleiseen mallinnuksen ja simuloinnin käyttöskenaarioon: reaali maailman ilmiöitä ja tapahtumia kuvataan oleellisilta osin eri menetelmien ja järjestelmätoteutusten avulla. Hyödyntämisen mahdollistaa mallin arviointi, todentaminen ja kelpoistaminen. Mallin soveltuvuuden arvioinnissa käsitteellistä mallia verrataan todellisuuteen, todentamisessa tietokonemallia verrataan käsitteelliseen malliin ja kelpoistamisessa simulointituloksia verrataan todellisuuteen. Tällä varmennussyklillä saadaan haluttu yksityiskohtaisuus ja yhteys kohdejärjestelmän todelliseen käyttäytymiseen.





Kuva 1. Malli vs. todellisuus.

Tuotantosimulointi asettaa jo lähtökohtaisesti järjestelmäintegraatiovaatimuksen. Kyseessä on yrityksen tai tuotantoverkoston eri tietojärjestelmien tuottaman ja tallentaman tiedon hyödyntäminen lähtien vaikkapa ennustetun myynnin sijoittamisesta kustannusoptimointimielessä eri tuotantoyksiköille pitkällä aikajänteellä ja päätyen yksittäisen tuotantoyksikön hienokuormituksen suunnitteluun ja optimointiin lyhyellä aikajänteellä.

Kategorisesti tuotantosimulointi lukeutuu diskreettien systeemien simulointiin (Discrete Event Simulation, DES), jossa tarkastellaan tiloja, tapahtumia ja prosesseja. Moderneissa simulointijärjestelmissä pystytään käsittelemään samanaikaisesti myös jatkuva-aikaisia ilmiöitä.

Vertailua suoritettaessa on pidettävä mielessä mallin suunniteltu käyttöalue, kelpoisuusalue ja tarkkuustaso. Kelpoistetuksi tulee siten malli, jonka on todettu toimivan kelpoisuusalueellaan hyväksytyllä tarkkuustasolla. Käytännössä kelpoisuusalueen ja tarkkuustason määrittäminen on hyvin laaja ja vaikea tehtävä eikä aina edes mahdollinen. Todellisuuden tuloksia ei aina ole saatavissa kaikissa tarvittavissa tilanteissa. Tulokset puuttuvat kokonaan, jos kohdetta vasta suunnitellaan.

## 1.2 Tunnistetut integrointitarpeet

Tavoiteltaessa standardien mukaista toimintaa joudutaan punnitsemaan saavutettuja hyötyjä syntyneitä uusia kustannuksia vasten. Pelkistettynä asetelma on senkaltainen, että tuotannon tehostumisen taloudellisen hyödyn pitää kattaa simulointijärjestelmän kehitys-, hankinta-, käyttö- ja ylläpitopanokset. Käytännössä simuloinnin lähtötietojen hankinta on merkittävin panostus, jossa standardien rajapintojen rooli voi olla ratkaise-

## 1. Johdanto

va. Lisäksi simuloinnin tulokset voivat olla vain niin hyviä kuin lähtötietojen laatu ja tarkkuus sallivat.

Skooghin (2009) mukaan jopa 40 % simulointiprojektin ajankäytöstä voi kohdistua syöttötietojen hankintaan ja esikäsittelyyn. Viitteenä olevassa tutkimuksessa oli kyseessä tapahtumapohjainen materiaaliavirtojen analysointi ja niiden tehostaminen. Kokemukset simulointiprojekteista puoltavat tätä tulosta, ja seuraavat tuotantosimuloinnin osat alueet ovat käytännössä merkityksellisiä tuottavan simulointitoiminnan kannalta:

- Rajapinnat: Tarvitaan neutraaleja rajapintoja valmistuksen tietojärjestelmien integrointiin simulointijärjestelmien kanssa lähtien tuotannon lattiatasen datan määrittelystä edeten hankinta-tuotanto/valmistus-jakelu-ketjujen hallintaan. Myös liiketoimintajärjestelmien integrointi arkkitehtuuriratkaisuineen tulee kyseeseen täysiverisessä tuotantosimuloinnissa.
- Mallien uudelleenkäyttö: Tarvitaan tätä tukeva arkkitehtuuri ja siihen sopivat mallikirjastot tms. uudelleenkäytettävät elementit. Myös mallikirjastojen ylläpito on muistettava.
- Hajautus/keskitys: Keskitetyssä simuloinnissa on käytössä yksi ajoitusmekanismi ja se voi olla toteutettu yhtenä ohjelmana. Hajautetut mallit muodostuvat keskenään vuorovaikutuksessa olevista mallin osista, ja ne voivat olla hajautettuja myös eri tietokoneille. Sekä mallin osien kommunikoinnissa että simuloinnin hajautetussa toteutuksessa tulee esiin synkronointitarpeita.
- Järjestelmän laajuus: Laaja järjestelmä on väistämättä kompleksinen – miten hallitaan kokonaisuutta? Hyötypotentiaali kasvaa kohdejärjestelmän monimutkaistumisen myötä, koska useat vuorovaikutukset ja satunnaisuus voidaan hallita helpommin.
- Muutoshitaus: Totutuista toimintatavoista poikkeamista tukee olemassa olevan järjestelmäkannan (luonnollinen) muutoshitaus.
- Tulosten tulkinta: Tarvitaan käyttäjystävällistä tulkintatukea ja visualisointia järjestelmän tuottamana.
- Kannattavuus: Kytkeä taloudelliseen hyötyyn on tehtävä näkyväksi.
- Optimointitoiminnot: Etenkin laajojen järjestelmien tapauksessa kehittyneet optimointitoiminnot voivat tarjota takaisinmaksun ponnisteluille.

von Euler-Chelpin et al. (2008) ovat tutkineet simuloinnin ja sen kohteen linkaaren aikaista mallien hallintaa ja integrointia. He ovat jaotelleet tuotantojärjestelmän mallit seuraavasti:

- Informaatiomallit ja -standardit: Määrittelevät rakenteen käsiteltävälle tiedolle.
- Käsitellimet: Esittävät kohdejärjestelmän tärkeät käsitteet ja niiden väliset suhteet. Yhtenäistää nimeämiskäytäntöjä.

- Ontologiat: Käsitelmalleja formaalimpi esitystapa, jossa esimerkiksi aksiomaattisesti rajoitetaan mahdollisia tulkintoja. Laajennettavissa loogisilla säännöillä, joita voidaan käsitellä automaattisten päättelymekanismien avulla.
- Mallien dataformaatit: Tietokoneen tulkittavissa oleva kuvaus mallin tietosisällöstä. Käsitelmallit ja ontologiat voidaan kuvata esimerkiksi OWL- ja EXPRESS-kielillä.
- Prosessi/aktiviteetti-mallit: Täydentävät informaatiomalleja kuvaamalla, milloin ja miksi tietoja tarvitaan. Esimerkkinä IDEF0.

Edelleen, informaatiomalleihin perustaen, tietointegraation lähestymistapoina he käsittelevät seuraavia esimerkkejä:

- geneerisen mallin käyttö eri mallien yhteisenä formaattina
- yhteisen mallin käyttö siten, että se sisältää mallit niiden omassa formaatissa (edellisen variantti)
- toteutetaan tiedonvaihtomekanismi mallien välillä.

Tässä katsauksessa noudatetaan pääosin em. listan viimeistä lähestymistapaa.

### **1.3 Dokumentin sisältö**

Seuraavassa esitellään ja arvioidaan tuotantosimuloinnin kannalta merkittäviä standardeja ja standardointihankkeita.

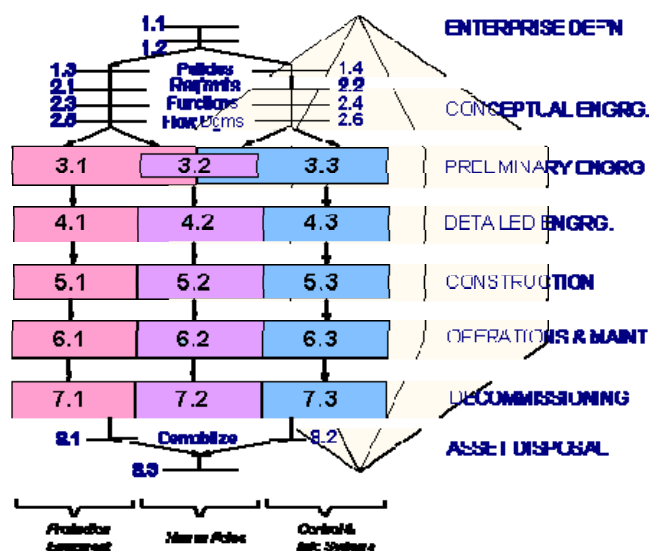
## 2. Standardit

### 2.1 ISA-S95 / IEC 62264

PERAn geneerisessä ja laajassa yritysmallissa tiivistyy Purdue'n yliopiston piirissä (prof. T. J. Williams) tuotannonohjauksen alueella tehty tutkimustyö. Mallin kehitystyö painottui vuosiin 1989–1991. Malli muodostuu seuraavista kolmesta osasta:

- tuotantolaitteet
- ihmiset ja organisaatio
- ohjaus- ja informaatiojärjestelmät.

Malli korostaa näiden osa-alueiden vuorovaikutusta keskinäisten rajapintojen välityksellä. Seuraavaksi tärkeimpänä nähdään tarve rakenteistaa liiketoiminta ja tuotanto toisiaan seuraaviin vaiheisiin – elinkaareksi. Kuvassa 2 esitetty ”tuulikellokaavio” esittää näin syntyvän tiedon organisoinnin periaatteen.

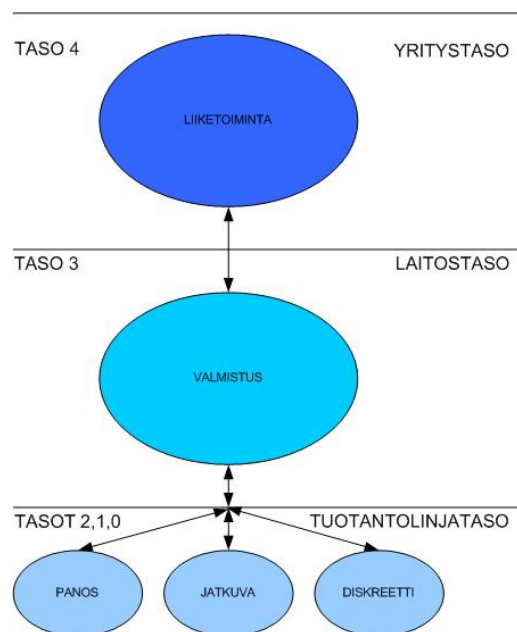


Kuva 2. PERA-elinkaarimalli (Lähde. [www.pera.net](http://www.pera.net)).

Samasta tutkimusyksiköstä on peräisin myös The Purdue Reference Model for CIM (Williams 1991). Keskeistä näissä malleissa on Enterprise Integration -ajattelu, jolla tarkoitetaan yrityksen kaikkien toimintojen koordinoitua niin, että saavutetaan optimaalinen yrityksen tavoitteiden täyttymys.

ISA:n SP95:n integraatiostandardi ja sen kansainvälinen IEC-standardiversio on perinyt aineksia PERAsta. Suurten järjestelmätoimittajien ja ISA:n yhteistyönä on kehitetty integraatiomalli liiketoiminta- ja tuotannonhallintajärjestelmien integroimiseen. Kuvasta 3 käyvät ilmi standardin perusrakenteet.

Standardin osa 1 kuvaa rajapintojen sisällön tuotannonohjausjärjestelmien ja liiketoiminnanohjausjärjestelmien välillä. Määrittelyn kohteena ovat standardin tasojen 3 (tuotannonhallinta) ja 4 (liiketoiminnanohjaus) väliset rajapinnat. Tavoitteena on vähentää riskejä, kustannuksia ja virheitä näiden rajapintojen toteutuksessa. Standardia voidaan hyödyntää uusien tuotteiden toteutuksen työmäärän vähentäjänä. Perimmäisenä tavoitteena on mahdollistaa tuotannonohjausjärjestelmien ja liiketoiminnanohjausjärjestelmien yhteiskäyttö ja helppo integroitavuus.



Kuva 3. Liiketoiminnan ja tuotannonhallinnan tasot.

IEC 62264 koostuu kolmesta julkaistusta osasta yleisnimikkeeseen Enterprise-control system integration alla:

- Part 1: Models and terminology
- Part 2: Model object attributes
- Part 3: Activity models of manufacturing operations management.

## 2. Standardit

Kaksi ensimmäistä osaa määrittelevät terminologian ja mallit rajapintojen ja tietovirtojen kuvaamiseen. Kolmas osa tarkastelee tuotannonhallintatason toimintoja tuotannon, kunnossapidon, laadun ja varastonhallinnan näkökulmista. Työn alla ovat seuraavat osat:

- Part 4: Object Models and Attributes of Manufacturing Operations
- Part 5: Object Models and Attributes of Manufacturing Operations Management
- Part 6: Business to Manufacturing Transactions.

Standardin vaikutusala rajoittuu seuraaviin kohtiin:

- tuotannonhallintatason sisällön määrittely
- valmistavan teollisuuden laitoshierarkian käsittely
- luettelo toiminnoista, jotka liittyvät määriteltävään rajapintaan
- kuvaus tuotannonohjausjärjestelmien ja liiketoiminnanohjausjärjestelmien välillä vaihdettavasta tiedosta.

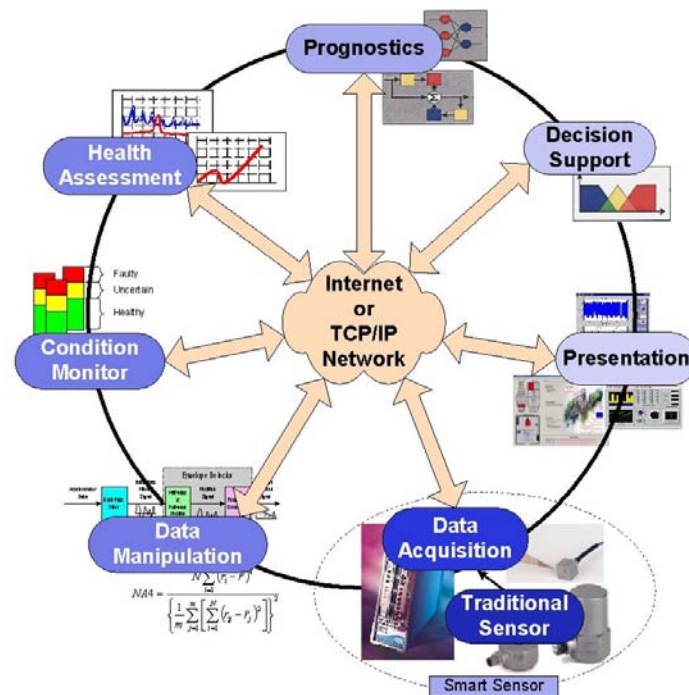
Standardi tarjoaa formaalin mallin tiedonvaihtoon tuotannonohjausjärjestelmien ja liiketoiminnanohjausjärjestelmien välillä. Standardi ei ota kantaa toteutusratkaisuihin, joten mm. tietojen esitystavat, tiedonsiirtomenetelmät ja alustaratkaisut voivat vaihdella eri järjestelmätoimittajien välillä. XML-pohjaiset ratkaisut ovat kuitenkin vallitsevia.

Kiinnostus standardiin kasvaa vauhdilla. Soveltaminen on käynnistynyt järjestelmätoimittajien tuen myötä. Käytännön toteutusratkaisujen mahdollinen kirjavuus voi hidastaa soveltamista. World Batch Forum on kehittänyt B2MML-kielen (Business to Manufacturing Markup Language), joka tarjoaa joukon tähän standardiin perustuvia XML-skeemoja, jotka toteuttavat ISA95-standardin tietomallit. B2MMLkieli koostuu paketista XMLskeemoja, jotka on kirjoitettu käyttäen W3C:n XML Schema -kieltä (XSD).

Montonen (2004) on esitellyt standardin artikkelissaan ja arvioinut sen jatkuvasta standardin kehityksestä huolimatta jo täysin sovellettavissa olevaksi sekä uusien että olemassa olevien järjestelmien integrointiin.

## 2.2 MIMOSA / ISO 13374

MIMOSA ja OSA-CBM ovat yhteistyössä kehittäneet kuvan 4 mukaisen kehikon kunnonvalvonta- ja diagnostiikkajärjestelmien datan käsittelyyn, kommunikointiin ja esittämiseen.



Kuva 4. Kunnossapitotiedon käsittelyn jäsentely OSA-CBM -mallin mukaan (Lähde: www.mimosa.org).

Tästä mallista periytyvä standardi ISO 13374 esittää yleisiä suosituksia ohjelmistospesifikaatioiden toteuttamisesta kunnonvalvonta- ja diagnostiikkajärjestelmien datan käsittelyyn, kommunikointiin ja esittämiseen.

ISO 13374 koostuu neljästä osasta yleisnimekkeellä Condition monitoring and diagnostics of machines:

- Part 1: General guidelines
- Part 2: Data-processing
- Part 3: Communication
- Part 4: Presentation.

Osia 3–4 ei ole vielä julkaistu, ja niitä saataneen odottaa vielä pitkään, koska alustavia-kaan versioita ei ole saatavilla. Standardi ei ole tämän katsauksen ytimessä, mutta yhä lisääntyvään kunnossapitotiedon käsittelyyn elimellisenä osana tuotantoa se tarjoaa välineitä.

## 2.3 SISO CSMD

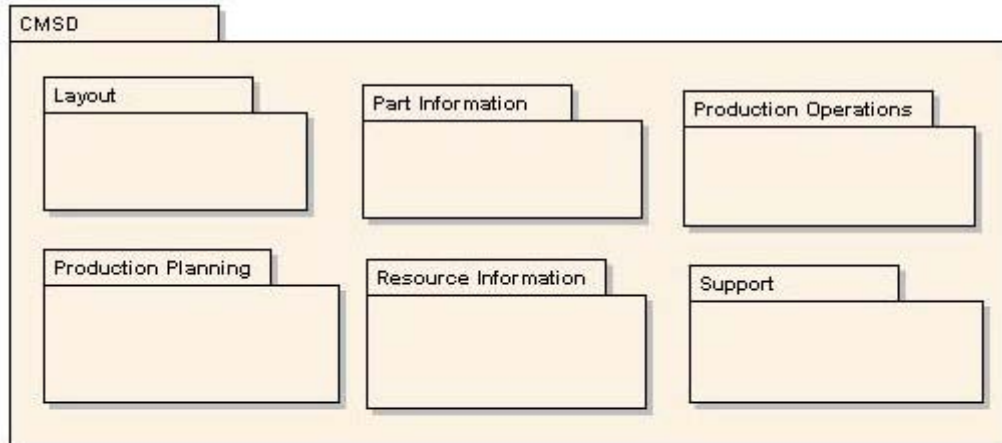
Tämän katsauksen kannalta keskeinen on Simulation Interoperability Standards Organization (SISO) -työryhmän The Core Manufacturing Simulation Data (CMSD) -standardointialoite. Se määrittelee simuloinnin tehokkaaseen tiedonsiirtoon tarvittavat

## 2. Standardit

rajapinnat valmistuksen koko elinkaaren ajalle. Spesifikaatio (SISO-STD-008-2010 ) tarjoaa neutraaleja rajapintoja valmistuksen tietojärjestelmien integrointiin simulointijärjestelmien kanssa erityisesti tuotannon lattiatasen datan määrittelyyn. Määrittely on ilmoitettu laajentuvan vähitellen toimitusketjut, tiettyjen teollisuudenalojen kokoonpanoprosessit ja tuotantolinjojen layout-suunnittelun kattavaksi. Aloitteen tarkoituksena on sekä edistää simuloinnin leviämistä valmistuksen työkaluksi että hyödyttää yleisemminkin mallinnus- ja simulointiosajia. CMSD-konsortion työtä koordinoi NIST ja Chalmers University (Lee et al. 2008) on siinä mukana. VTT on jo osallistunut työryhmän kokouksiin, ja on keskusteltu VTT osallistumisesta kansainväliseen yhteistyöhön. Standardi hyväksyttiin syyskuussa 2010. CMSD XML -skeeman kehitys on vielä kesken.

SISO ylläpitää myös kahta IEEE-standardiperhettä: IEEE 1278 (Distributed Interactive Simulation) ja IEEE 1516 (High Level Architecture for Modeling and Simulation).

CMSD tarjoaa datarajapinnan tuotannon tietojärjestelmien liittämiseksi tuotantosimulointijärjestelmiin. Laaja joukko organisaatioita valmistavasta teollisuudesta, järjestelmätoimittajista, tutkimuslaitoksista ja viranomaistahoista ovat osallistuneet standardin työstämiseen. Validointiin ovat osallistuneet mm. Volvo ja Chalmers University. Uni-graphics (nyt Siemens), Enterprise Dynamics ja Simul8-simulaatio-ohjelmistot ovat olleet käytössä tässä työssä.



Kuva 5. CMSD-standardin ylin taso: malliin sisältyvät paketit (Lähde: [www.siso.org](http://www.siso.org)).

Standardin kuvan 5 mukainen rakenne ja sisältö:

- **Layout**-paketti määrittelee valmistusjärjestelmän layoutin käsittelemiseksi tarvittavan informaation. Layout kuvaa tuotantoyrityksen tilankäytön ja sen loogisten ja fyysisten entiteettien väliset suhteet.
- **Part Information** -paketti määrittelee tuotantoprosessin raaka-aineiden, komponenttien ja valmiiden tuotteiden informaation. Lisäksi voidaan määrittellä kompo-



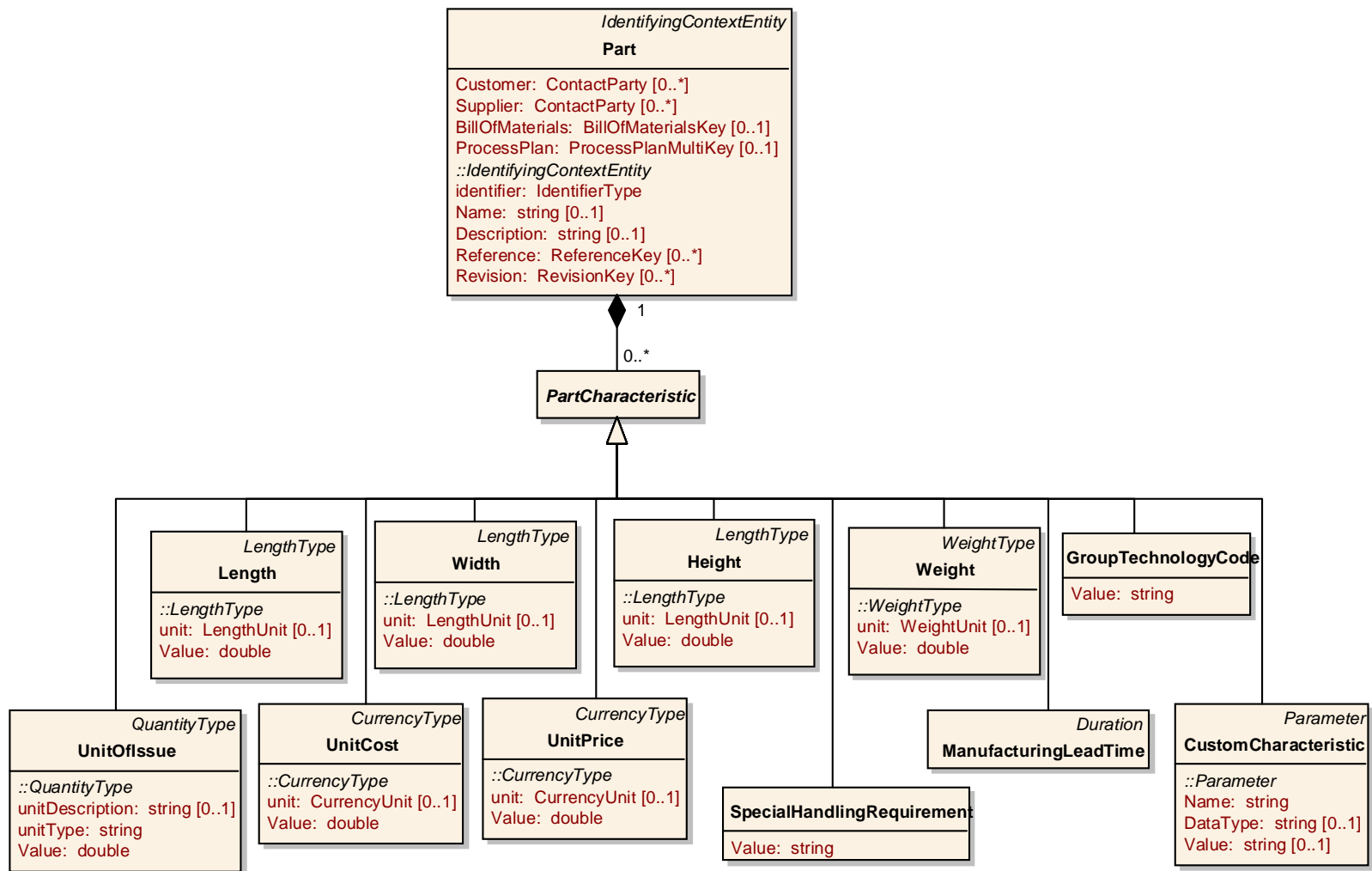
nenttien ja osien rakenne/kokoonpanotietoja ja tietoja tuotannossa valmistuneiden tai käytettävissä olevien osien lajista ja määrästä.

- **Production Operations** -paketti määrittelee tuotteiden asiakastilaukset, tuotannon työtilaukset ja työn järjestelyt sekä tuotannon kuormitustiedot.
- **Production Planning** -paketti sisältää tuotteiden valmistuksessa tarvittavien tuotanto-operaatioiden ajoituksen ja suunnitellun järjestyksen käytettävissä olevia resursseja hyödyntäen.
- **Resource Information** -paketti määrittelee tuotantoprosessin laitteiden ja työntekijöiden piirteet ja kyvykkyudet, työntekijöiden taidot sekä ne tuotantoasetelmaan liittyvät tiedot, joiden avulla muita kuin työntekijäresursseja voidaan käyttää tehokkaasti.
- **Support** -paketti määrittelee apuvälineinä käytettäviä paketteja, jotka sisältävät yksinkertaisia tietotyyppejä ja rakenteita. Näitä voidaan käyttää muissa CMSD-paketeissa monimutkaisempien rakenteiden määrittelyyn.

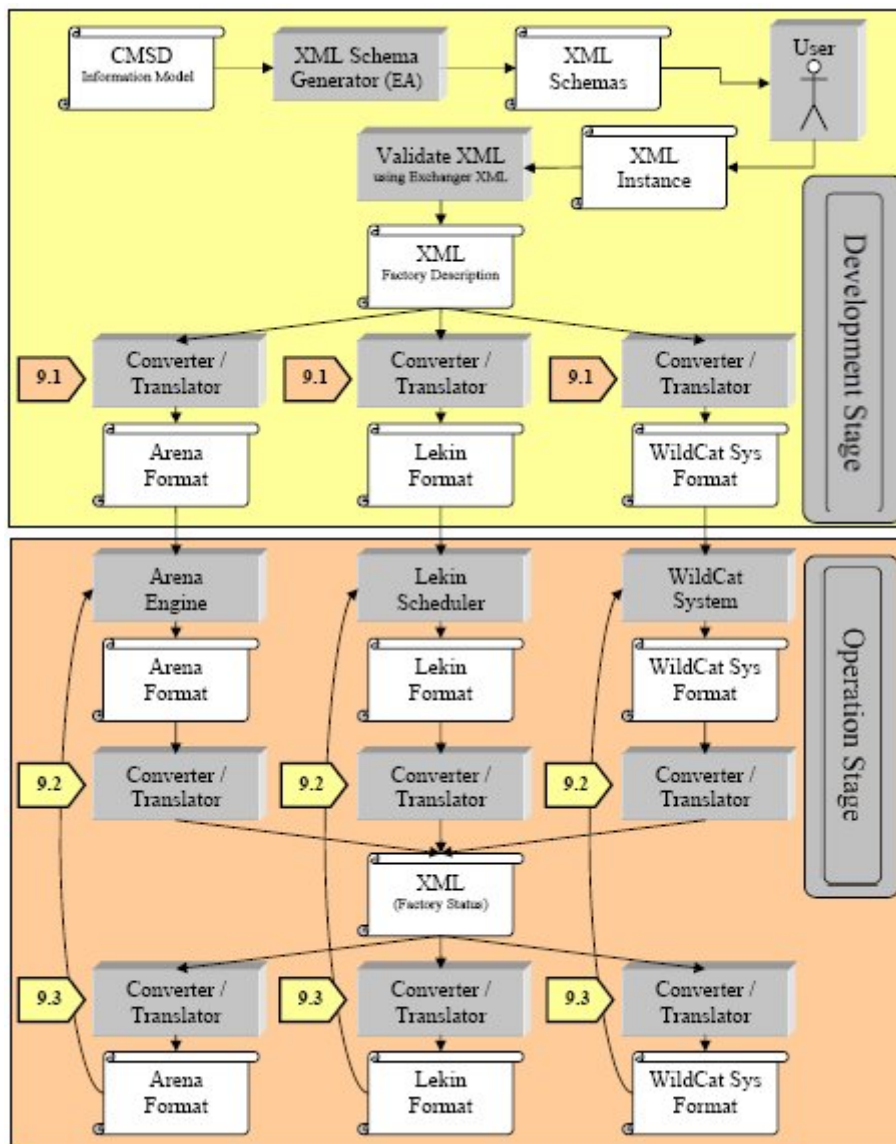
CMSD-informaatiomalli käsittää pääkategoriat: Organization, Calendar, Schedule, Work, Process plan, Operation definition, Resource, Skill definition, Setup definition, Part, Bill-of-Materials, Inventory, Maintenance plan, Revision, Probability distribution ja Reference.

Esimerkiksi kuvan 6 mukainen Part-luokkakaavio määrittelee luokat ja niiden väliset riippuvuudet raaka-aineille, välituotteille ja lopputuotteelle, joka on tuotantoaktiviteetin tuotos tai sitä voidaan käyttää tuotantoaktiviteetissa. Lisäattribuutteina voidaan määrittellä sen valmistuksen tilanne, nimetä kategoria johon se kuuluu jne.

Arizonan yliopiston Department of Systems & Industrial Engineering (SIE) on demonstroinut tutkimuksissaan standardin hyödyntämistä järjestelmien yhteiskäytössä (Mazhari & Son 2008). Kuva 7 esittää demonstraatiojärjestelmän periaatteen, sen eri moduulit ja projektin vaiheet: CMSD-standardi lähtökohtana, XML-skeemojen generointi ja muokkaus, XML-dokumenttien luonti ja validointi, käytetyt valmistuksen tietojärjestelmät (Arena, Legin ja WildCat) ja XML-dokumenttien translaatiot eri järjestelmiin. Näistä Arena on simulaattori, Legin skedulointiohjelmisto ja WildCat tilausten- ja varastonhallintasovellus.



Kuva 6. CMSD Part -luokkakaavio.



Kuva 7. SIE:n demonstraatiojärjestelmän periaatekaavio. EA=Enterprise Architect -ohjelmisto. (Lähde: Mazhari & Son 2008)

Järjestelmä on onnistuneesti demonstroitu generisen tuotantoympäristön (job shop) tapauksessa eli Lekin- ja WildCat-järjestelmät on saatu toimimaan yhdessä Arenasimulaattorin kanssa. Jatkossa järjestelmää aiotaan laajentaa yhteensopivaksi muiden valmistuksen tietojärjestelmien kanssa ja demonstroidaan kehitetyt moduulit hajautetussa, Web Services -pohjaisessa ympäristössä.

Toinen standardin käytännön soveltamisen kannalta mielenkiintoinen tutkimus (Lee et al. 2008) on tehty autotehtaan pintakäsittelyosaston datalla. Pilotoinnin keskeisenä kohteena oli tuotannon tietojärjestelmien ja simulaattorin (Enterprise Dynamics) välinen resurssitietojen (materiaalinkäsittely, koneet/työasemat ja työntekijöiden määrä) vaihto. Tutkimuksen aikana havaittiin, että kaikkien käytettävien tietojen kuvaaminen CMSD:n

## 2. Standardit

perusluokkien avulla ei aina ollut mahdollista. Tämä ratkaistiin laajentamalla luokkakuvausvauksia.

NIST:n MEL-laboratorio työstää keskeisesti standardia. Se ohjaa kehitystä ohjelma-toiminnassaan auto-, ilmailu- ja muun teollisuuden järjestelmien dynaamisen yhteiskäytön suuntaan. Kehitys on organisoitu projekteina seuraaviin päälinjoihin:

- **Harmonisointi ja laajennukset.** Yhdessä SISON kanssa laajennetaan määrittelyjä huomioimaan ISA 95, OAGIS IV&I ja OASIS UN/CEFACT Components -standardit. Samoin määritellään tietotyyppejä tehtaan layoutin, varastoinnin, kustannuslaskennan, viestinvälityksen, laitespesifikaatioiden, flow-shop-operaatioiden ja toimitusketjujen kuvaamiseen.
- **Virtuaalitehdas.** Vahvistetaan nykyisiä toimitusketjun, tehdastason ja lattiataason simulaatioita toiminnallisuuksilla, jotka tukevat ulkoisten varasto-, prosessispesifikaatio-, materiaaliluettelo-, kustannuslaskenta- ja elinkaaritietojen hyödyntämistä ja yhteiskäyttöä.
- **Testityökalujen integrointi.** Tunnistetaan, valitaan ja integroidaan testaustyökaluja virtuaalitehdasta varten: infrastruktuuri, kommunikointikanavien monitorointi, kokonaisjärjestelmän ja moduulien statuksen näyttö, loggaus- ja raportointityökalut, viestien ja tiedostojen syntaksitarkistus, järjestelmän initialisointi, ohjausvälineet, paluu takaisin, konfiguraation hallinta, työkalujen ohjelmistokehitys ja testitapausten datasetit.
- **Testijärjestelyt.** Määritellään yhdessä teollisuuden, tutkimusyhteisöjen, ja standardikehittäjien kanssa neutraaleja testitapauksia, datasettejä, menettelytapoja, prosedureja ja tarkistuslistoja. Ohjelmistotoimittajien kanssa pyritään yhteistyöhön, joka veisi yhteiskäytön osaksi ohjelmistotuotteita.

Tunnettuja pilotointihankkeita:

- Boeing 777 -ohjelma  
(<http://www.dtic.mil/ndia/2009/systemengr/9092ThursdayTrack2Leong.pdf>)
- Volvo Car -maalaukslinja (Johansson et al. 2007)
- Volvo Truck -moottorikokopanolinja (Johansson et al. 2008)
- Chalmers University ja VTT -yhteistyö (Johansson et al. 2009)
- University of Arizona -yhteistyö (Mazhari & Son 2008).

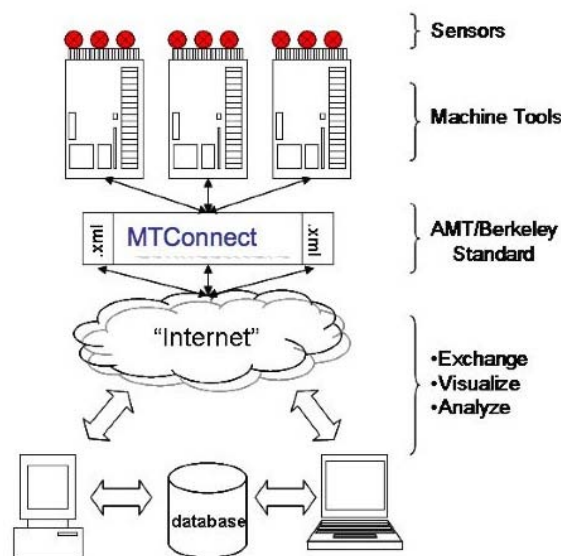
Boulonne et al. (2010) ovat luoneet CMSD-pohjaisen lähtötietojen hallinnan arkkitehtuurin ja toteuttaneet siihen perustuvan tietokantajärjestelmän. Aiemmin kehitettyä GDM-työkalua (Skoogh 2009) on tässä ratkaisussa käytetty tämän kannan sisällön tuottamiseen.

## 2.4 MTConnect

MTConnect on avoin ja maksuton standardi, joka on tarkoitettu edistämään valmistavan teollisuuden ohjausjärjestelmien, laitteiden ja ohjelmistojen yhteiskäyttöä. Lähtökohtana on näiden sisältämän tiedon julkaisu XML-viesteillä ja Internet-protokollien avulla. (MTConnect Standard Part 1, 2 ja 3, 2010)

Tätä melko tuoretta hanketta ajaa yhdysvaltalainen The Association For Manufacturing Technology (AMT) yhdessä yliopistojen ja yritysten kanssa. Keskeisissä rooleissa ovat yliopistoista UC/Berkeley and Georgia Tech ja osallistuva yritysjoukko on laaja. Yrityksistä mainittakoon Bosch Rexroth, Fanuc, Mazak ja Sun. Myös NIST osallistuu jäsenenä perustetun instituutin toimintaan.

Tavoitteena on kehittää kuvan 8 mukainen middleware-ratkaisu, josta jo ilmenee keskeinen tavoite suoraviivaisesta ja siten potentiaalisesti elinkelpoisesta tuotantojärjestelmän tuottaman tiedon välityksestä ylemmille järjestelmille.



Kuva 8. MTConnect (Lähde: mtconnect.org).

MTConnect-spesifikaatio on hyväksytty huhtikuussa 2010 ja se on jaettu seuraaviin kolmeen osaan:

- Part 1: Overview and Protocol – Version 1.1.0
- Part 2: Components and Data Items – Version 1.1.0
- Part 3: Streams, Events, Samples, and Condition – Version 1.1.0.

Osa 1 antaa yleiskuvan standardin rakenteesta ja määriteltävästä protokollasta sisältäen laitteiden välisen kommunikoinnin, vikasietoisuuden, yhteyksien muodostamisen ja virhetilanteiden käsittelyn. Osa 2 keskittyy laitteista kerättävän informaation rakentee-

## 2. Standardit

seen ja sisältöön. Osa 3 käsittelee koneiden mittaus- ja tilatietojen esitystä. Standardi on lähtökohtaisesti kevyt ja laajennettava eikä tavoittele muutoksia olemassa olevien järjestelmien toiminnallisuuteen. Instituutin tavoitteena on näiden ohjelmistostandardien avulla mahdollistaa yleiskäyttöinen tiedonkeruu valmistusjärjestelmästä visualisointi, analysointi ja optimointityökalujen käyttöön. Standardien lisäksi instituutti tarjoaa järjestelmien kehityksessä tarvittavia ohjelmistotyökaluja ja esimerkkitoimituksia.

Atluru ja Deshpande (2009) ovat soveltaneet MTConnect-standardia työstökoneiden kunnonvalvontaan ja tarkastusmittauksiin. Keskeisenä rajoituksena he näkevät sen, että standardi määrittelee vain monitorointitoimintoja eikä tarjoa toista suuntaa – koneen ohjausjärjestelmään päin tapahtuvaa tiedonsiirtoa. Samoin puutteina nähdään se että standardi ei juuri ota kantaa ohjausjärjestelmien, työkalujen, kiinnittimien ja laajemmin prosessitietojen käyttöön.

OPC Foundation ja MTConnect ovat ilmoittaneet syyskuussa 2010 käynnistävänsä yhteistyön, jonka tavoitteena on varmistaa molempien standardien yhteensopivuus. Yhteistyö kulkee nimellä MTConnectOpcUa. Periaatteessa tältä rintamalta löytyisivät myös keinot edellä mainittujen puutteiden paikkaamiseen.

Skoogh et al. (2010) ovat soveltaneet standardia kehittämänsä lähtötietojen hallintaan tarkoitettua GDM-työkalunsa yhteydessä.

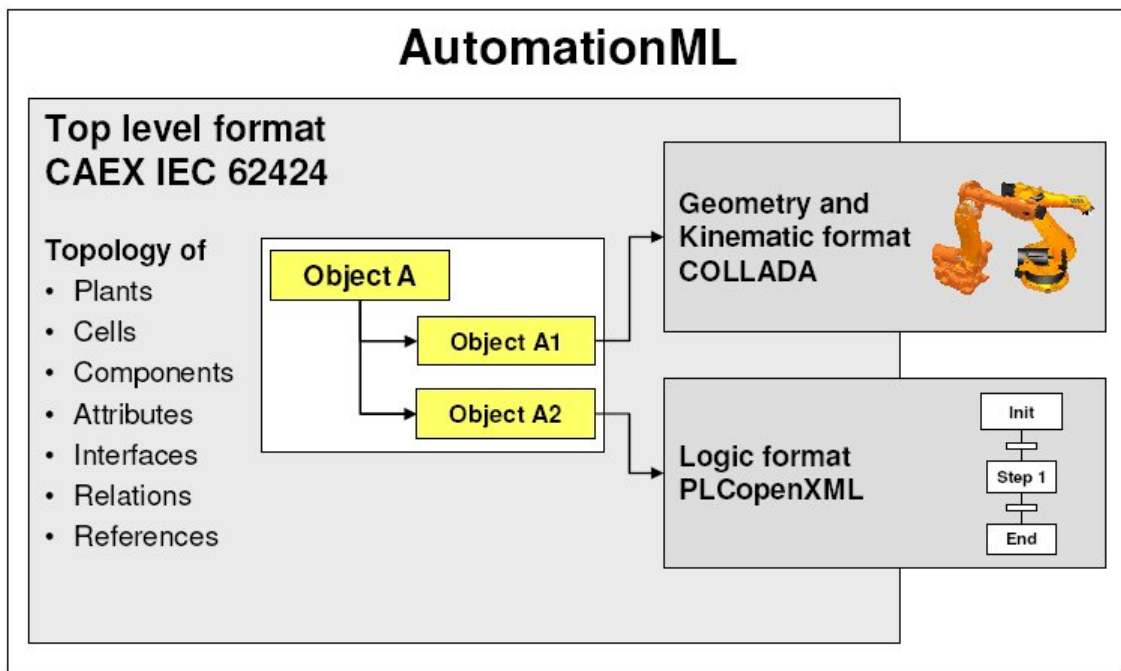
Kuriositeettina todettakoon vielä, että Applen laitteisiin on jo saatavissa ensimmäinen MTConnect-sovellus: <http://appshopper.com/business/mtconnect>.

## 2.5 AutomationML

AutomationML on huhtikuussa 2009 perustettu organisaatio, jonka ytimenä on pari vuotta yhteistyötä rakentanut konsortio keskieurooppalaisia autoteollisuudessa toimivia yrityksiä. Daimler AG:ta voidaan pitää sen kärkenä ja muita osallistujia ovat ABB, Fraunhofer IITB, NetAllied Systems, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Siemens, Zühlke, KUKA ja Rockwell.

Konsortion visiona on tuotannon monitorointi- ja ohjausjärjestelmien saumaton integrointi niin, että muodostuvan digitaalisen tehtaan puitteissa voidaan suorittaa tuotannon arviointia ja optimointia.

Yhteistyön ilmentymä, Automation Markup Language (AML) hyödyntää lähtökohtaisesti CAEX-, PLCopen- ja COLLADA-määrittelyjä kuvan 9 mukaisessa asetelmassa. Kieli voidaan nähdä digitaalisen tehtaan toteutuslupasta riippumattomana välimuotona, jota eri järjestelmät voivat hyödyntää.



Kuva 9. Yleisnäkymä AutomationML-arkkitehtuuriin (Lähde: [www.automationml.org](http://www.automationml.org)).

CAEX on prosessiteollisuuden piiristä ponnistava neutraali tietorakenne tuotantolaitoksen ja sen hierarkkisesti rakennettujen objektien määrittelyyn. Se tukeutuu oliomallinnuksen periaatteisiin ja on realisoitu XML-skeemana. Alkuperäinen käyttötarkoitus oli laitossuunnittelun ja automaatio suunnittelun joustava tiedonvaihto. Soveltaminen on kuitenkin laajenemassa mm. dokumentti- ja tuoterakenteiden alueille.

COLLADA (Khronos) on vuorovaikutteisen 3D-grafiikan välimuoto, joka on toteutettu XML-skeemana.

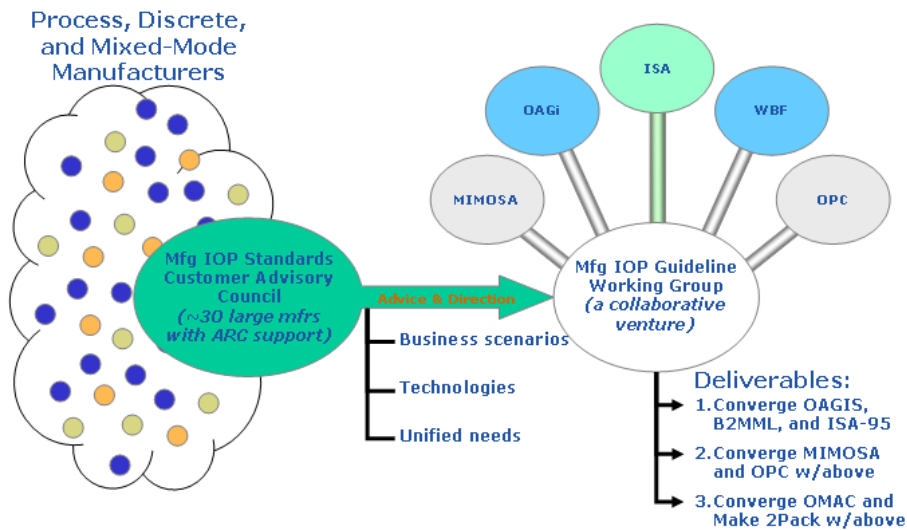
PLCopen-organisaatio on määritellyt avoimen IEC61131-3-standardin mukaisen ohjelmointitavan, joka mahdollistaa ohjelmoinnin joustavasti viidellä eri tyylillä.

- Part 1 Architecture and general requirements
- Part 2 Libraries
- Part 3 Modelling of geometry and kinematics
- Part 4 Modelling of logic.

## 2.6 Muita

OAGi perustettiin vuonna 1994 edistämään elektronisen kaupankäynnin sovellusten integraatiota. Ryhmä edistää sekä yritysten sisäisten että niiden välisten liiketoimintaprosessien yhteensovittamista standardointityön avulla. Päästääkseen syvemmin kiinni yritysten ja tuotantoverkoston tietoihin OAGi pyrkii konvergoimaan standardinsa ISA-95:n kanssa kuvan 10 mukaisesti. Tätä varten on perustettu Mfg IOP Guideline -työryhmä.

## 2. Standardit



Kuva 10. OAGin OAGIS & ISA-SP95 konvergenssisuunnitelma (Lähde: [www.isa.org](http://www.isa.org)).

Simulation Data Exchange (SDX) -formaatti mahdollistaa simuloinnin prosessi-informaation linkityksen tuotantojärjestelmän layout-suunnitteluun. Parhaat valmiudet siinä on materiaalinkäsittelyn simulointidatan kuvaukseen. SDX-formaattia tukevia simulointityökaluja ovat mm: Simul8, AutoMod, Witness ja eM-Plant. Nykyisin Siemens PLM -tuoteperheeseen kuuluva FactoryCAD-työkalu on keskeinen formaattia hyödyntävä ohjelmisto. Vuodesta 2007 alkaen on suunniteltu SDX:n sisällyttämistä aiemmin esiteltyyn CMSD-standardiin.

SISO:n Standard for COTS Simulation Package Interoperability Reference Models (SISO-STD-006-2010) luokittelee tavanomaisia hajautetussa simuloinnissa esiintyviä yhteiskäyttötilanteita. Tarkoituksena on muodostaa loppukäyttäjille, järjestelmätoimittajille ja kehittäjille yhteinen ratkaisupohja.

ISO 10303-239 -standardi, Product Life Cycle Support (PLCS), on kehitetty laajentamaan alkuperäisen STEP-standardin sisältöä. Laajennus tarjoaa tietomallin linkaaren aikaiseen tietojen vaihtoon.



### 3. Liityntä tuotantojärjestelmien kehitykseen

Suomalaisen valmistavan teollisuuden kannalta on hyödyllistä tarkastella edellä esitettyjä standardeja sille ominaisten piirteiden ja kehitystrendien kannalta. Täkäläiselle teollisuudelle on ominaista:

- Protosarjat
- Pienet sarjat
- Räätelöidyt tuotteet
- High mix – low volume -tuotteet
- Kasvava verkottumisen merkitys. Alihankkijoiden ja koko toimitusketjun pitää kyetä ottamaan enemmän vastuuta tuotekehityksestä, tuotannosta ja logistiikasta.
- Kasvava palveluiden merkitys
- Asiakasohjautuvuus.

Mikä olisi sitten se tuotantoasetelma (hankinta, valmistus, jakelu), johon standardien soveltaminen iskisi parhaiten ensivaiheessa? Kappaletavaratuotannon tuotantojärjestelmien simulointi, tehdassimulointi, on perinteisesti ollut työväline järjestelmäsuunnitteluun, keino varmistaa järjestelmän toimivuus ennen investointeja. Tapahtumapohjaista simulointia voidaan hyödyntää myös tuotannon hallinnassa, tuotantokapasiteetin suunnittelussa ja asiakastilauksien ajoituksessa. Haasteena ovat usein monimutkaiset, toisistaan keskenään riippuvat prosessivaiheet; yhden vaiheen ajoitusmuutos näkyy seuraavissa ja useassa rinnakkaisessa vaiheessa. Lisäksi tuotannossa on liikkuvat eli dynaamiset pullonkaulat; riippuen tilauksista, kuormituksesta pullonkaulana on eri resurssi. Luonnollisesti myös materiaalien ja komponenttien on oltava mukana tarkasteluissa. Tällaiset Monimutkaiset virtausrakenteet tulisivat parhaiten hallituiksi standardirajapintoja hyödyntäen. Kilpailukykytekijöistä: laatu, kustannustehokkuus, hinta ja toimitusai-ka käsin katsottuna räätelöityjen tuotteiden joustava automatisoitu valmistus olisivat luonnollista soveltamisaluetta.

ICT-kehityksen mahdollistava vaikutus voisi standardien kautta ilmentä eri osalu-alueiden vahvempana kytkeytymisenä, tuotetiedon automaattisena siirtona, muutostiedo sähköisenä käsittelynä ja yleisesti järjestelmien parantuneena yhteensopivuutena.

## 4. Arvioita ja yhteenveto

Selvityksen nosti esiin seuraavat tuotantosimuloinnin kannalta merkittävät standardit:

- SISO CMSD -hankkeessa on vahva kehitys käynnissä. Laajemman yritysjoukon mukaantulo voisi antaa sille käytännön soveltamisen alkusysäyksen. Standardikehikko on laaja – hallittavuus, kehitys ja ylläpito tulevat olemaan haastavia.
- MTConnectia leimaa yksinkertaisuuden ideaali ja tämä voi olla sen voima. Työstökoneiden tiedonkeruu on sen keskeinen sovellusalue.
- AutomationML perustaa digitaaliseen tehtaaseen. Uusi, mutta voimakas ponnistus. Kannattaa seurata ja pyrkiä koeponnistamaan jossakin tulevassa projektissa rajallisesti. Sisältää Plug and Produce -elementtejä.
- ISA-S95 / IEC 62264 + B2MML tunkee reaali maailmaan hitaasti mutta varmasti.
- MIMOSA / ISO 13374 tarjoaa hyvän jäsenyyksen kunnonvalvonnan ja ennako-huollon järjestelmäintegraation tarpeisiin. Käynnissäpito lähtökohtana MIMOSA pyrkii integroimaan tuotantojärjestelmän kunto- ja kunnossapitotiedon lähtökohdaksi tuotanto-ohjelman suunnittelussa.

Useiden standardien määrittelyjen esittäminen UML-kaavioina ja niihin liittyvinä XML-skeemoina madaltaa kynnystä tietojärjestelmätoteutukseen. Samoin tämä lähestymistapa on omiaan pitämään soveltamistavan yhtenäisenä. Nyt, kun CSMD-standardin sisältö (UML-malli) on hyväksytty ja XML-skeemoja luonti SISO-organisaation puitteissa on käynnissä, olisi aika tarttua asiaan demonstraatio- ja evaluointimielessä Suomessakin. Mahdollisia painotuksia olisivat piensarjatuotanto ja tuotantoverkostot.

ISA95 edistää osaltaan jatkuvien ja diskreettien prosessien automaation (mallit ja työkalut) konvergenssia. Ylimmällä tasolla se tarjoaa kehikon tiedolla ohjaamiseen ja johtamiseen. Mikä tahansa malli on parempi kuin ei mitään mallia!

Tässä asiayhteydessä olisi erityisen luontevaa ulottaa lean-ajattelu myös simulointijärjestelmien toteutuksen ohjenuoraksi. Mikä siis olisi tietojärjestelmävarustine turhuuksille?

- Kuljetukset – data kaikkien järjestelmien käyttöön syntypaikalla
- Varastot – tietokannat vain tarpeellisen historian hyödyntämiseksi
- Liike – heikko integraatio aiheuttaa tätä

- Odotusaika – riittävä reaaliaikaisuus
- Ylituotanto – "varmuuden vuoksi" kerätään ja tallennetaan tarpeetonta dataa
- Yliprosessointi – käyttäjien ohjaama yksinkertainen visuaalinen liittymä (visual analytics) vs. raskaat ja kömpelöt päättelyjärjestelmät
- Viallinen tuote – datan oikeellisuus, vain oikea data on tarpeen ja hyödyllistä.

Näin syntynyt asetelma viittaa siihen, että tarvitaan datan arvoketjuanalyysi: data-> informaatio-> tieto-> viisaus. Kun näistä eri jalostusasteen datoista löydetään yritykselle arvokkaimmat kohteet, on samalla kaivettu esiin myös tuotantosimuloinnin ensimmäiset potentiaaliset sovelluskohteet.

Tietojärjestelmien yleisenä kehitystrendinä on pyrkimys yhdistää erilliset informaatiotilot web-pohjaisina palveluina ja samalla ulkoistaa IT-palveluita. Kansainvälisessä simulointikentässäkin tämä liikehdintä on alkanut. Parhaimmillaan voi olla tuloksena asetelma, joka madaltaa soveltamiskynnystä alentuneiden kustannusten ja osaamisvaatimusten kautta erityisesti PK-yrityksissä.

Tämän lähtökohtaisesti standardihakuisen katsauksen lopuksi on syytä myös esittää vasta-argumentteja puhtaalle standardien mukaiselle lähestymistavalle. Ohjelmistokehitys on nopeaa, ja standardeihin sitoutuminen voi joissakin tapauksissa jarruttaa kehitystä. Yhtenä välimuotona voidaan käyttää metadataa ei-standardirajapinnassa. Ohjelmistoyrityksen IPR on vahvasti sitoutunut järjestelmäratkaisuihin, ja niiden avaaminen voidaan nähdä liiketoiminnalle haitallisena.

Integrointi liiketoimintatietoihin on nähty potentiaalisesti semanttisen teknologian (ontologiat) sovellusalueena. Mallinnuksen ja simuloinnin avoin käyttöjärjestelmä Simantics on VTT:llä kehitetty avoimen lähdekoodin ohjelmisto. Simantics on kehitetty edistämään mallinnuksen, simuloinnin ja muiden laskennallisten menetelmien soveltamista teollisuudessa ja tutkimuksessa. Semanttisiin malleihin perustuva Simantics-ympäristö yhdistää erilaisia simulaattoreita ja teollisuuden tietosisältöjä. Avoimen Simantics-käyttöjärjestelmän tarjoamat mahdollisuudet tähtäävät uudentyyppisen ohjelmistokomponentteihin ja palveluihin pohjautuvan simulointiliiketoiminnan syntymiseen.

Tuotannon informaatiojärjestelmien lisääntynyt yhteensopivuus lisää tiedon läpinäkyvyyttä, tarvittaessa myös yrityksen ulkopuolelle eri sidosryhmille. Verkostomaisen tuotantotavan edellytykset paranevat.

# Lähdeluettelo

- Atluru, S. H. & Deshpande, A. 2009. Data to information: can MTConnect deliver the promise? 37th North American Manufacturing Research Conference (NAMRC 37), May 19–22, 2009, Greenville, SC.
- Boulonne, S., Johansson, B., Skoogh, A. & Aufenanger, M. 2010. Simulation data architecture for sustainable development. Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Huan & E. Yücesan (Eds.).
- Heilala J., Montonen J., Järvinen P. & Kivikunnas S. 2010a.. Decision Support Using Simulation for Customer-Driven Manufacturing System Design And Operations Planning. Chapter 15. In: Decision Support Systems, Advances in, Ed. by: Ger Devlin. S. 235–260. ISBN:978-953-307-069-8. Intech, available: <http://sciyo.com/articles/show/title/decision-support-using-simulation-for-customer-driven-manufacturing-system-design-and-operations-pla>
- Heilala J., Montonen J., Kivikunnas S., Järvinen, P., Maantila M, Sillanpää J. & Jokinen T. 2010b. Developing Simulation Based Decision Support Systems For Customer-Driven Manufacturing Operation Planning. Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference. <http://www.informs-sim.org/wsc10papers/311.pdf>
- IEC 62264-1: 2003 Enterprise-control system integration – Part 1: Models and terminology.
- IEC 62264-2:2004 Enterprise-control system integration – Part 2: Model object attributes.
- IEC 62264-3:2007 Enterprise-control system integration – Part 3: Activity models of manufacturing operations management.
- ISO 10303-239:2005 Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 239: Application protocol: Product life cycle support.
- ISO 13374-1:2003 Condition monitoring and diagnostics of machines – Data processing, communication and presentation – Part 1: General guidelines.
- ISO 13374-2:2007 Condition monitoring and diagnostics of machines – Data processing, communication and presentation – Part 2: Data processing.
- Johansson, B., Fasth, Å., Stahre, J., Heilala, J., Leong, S., Lee, Y.T. & Riddick, F. 2009. Enabling Flexible Manufacturing Systems By Using Level Of Automation As Design Parameter. In: Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (Ed. by M.D. Rossetti, R.R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin & R.G. Ingalls). WSC 09, Austin, Texas, USA, 13–16 September 2009. IEEE. S. 2176-2184.
- Johansson M., Johansson, B., Leong, S., Riddick F. & Lee, Y. T. 2008. A real world pilot implementation of the core manufacturing simulation data model. In: Proceedings of the Simulation Interoperability Standards Organization (SISO), Spring 2008, SIW Workshop. Edinburgh, Scotland. <[http://www.nist.gov/customcf/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=824670](http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=824670)>
- Johansson, M., Leong, S., Lee, Y. T., Riddick, F., Shao, G., Johansson, B., Skoogh, A. & Klingstam, P. 2007. A Test Implementation of the Core Manufacturing Simulation Data Specification. In: Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, (Ed. by S.

- G. Henderson, B. Biller, M.-H. Hsieh, J. Shortle, J. D. Tew & R. R. Barton) Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. S. 1673–1681. (<http://www.informs-sim.org/wsc07papers/208.pdf> )
- Lee, Y. T., Leong, S., Riddick, F., Johansson, M. & Johansson, B. 2008. A Pilot Implementation of the Core Manufacturing Simulation Data Information Model. In: Mason, S., Hill, R., Mönch, L. & Rose, O. (Eds.). Proceedings of the 40th Conference on Winter Simulation, 2008. Miami, Florida, December 7–10, 2008. Los Alamitos, California: IEEE Computer Society Press. S. 1777–1784.
- Mazhari, E. & Son, Y.-J. 2008. Inter-operability of Manufacturing Applications in a Simulated Environment via CMSD Information Model. Systems and Industrial Engineering, The University of Arizona. <<http://www.sie.arizona.edu/faculty/son/Final%20report%20on%20the%20interoperability-22.pdf>>
- Montonen, M. 2004. Ohjenuora vertikaaliseen järjestelmäintegraatioon. Automaatioväylä, No.1, s. 14–17.
- MTConnect Standard Part 1 – Overview and Protocol Version 1.1.0 – Final <[http://mtconnect.org/images/documents/standard/MTC\\_Part\\_1\\_Overview\\_1.1.0.pdf](http://mtconnect.org/images/documents/standard/MTC_Part_1_Overview_1.1.0.pdf)>
- MTConnect Standard Part 2 – Components and Data Items Version 1.1.0 – Final <[http://mtconnect.org/images/documents/standard/MTC\\_Part\\_2\\_Components\\_1.1.0.pdf](http://mtconnect.org/images/documents/standard/MTC_Part_2_Components_1.1.0.pdf)>
- MTConnect Standard Part 3 – Streams, Events, Samples, and Condition Version 1.1.0 – Final <[http://mtconnect.org/images/documents/standard/MTC\\_Part\\_3\\_Streams\\_1.1.0.pdf](http://mtconnect.org/images/documents/standard/MTC_Part_3_Streams_1.1.0.pdf)>
- OAGIS Release 9.2, [www.oagi.org](http://www.oagi.org)
- SISO-STD-008-2010 Standard for: Core Manufacturing Simulation Data – UML Model. SISO-STD-006-2010: Commercial Off-the-Shelf (COTS) Simulation Package Interoperability (CSPI) Reference Models.
- Skoogh, A. 2009. Methods for Input Data Management – Reducing the Time-Consumption in Discrete Event Simulation. Göteborg: Chalmers University of Technology. (Research series from Chalmers University of Technology, Department of Product and Production Development: report; 44). 58 s. + liitt.
- Skoogh, A., Michaloski, J. & Bengtsson, J. 2010. Towards continuously updated simulation models: combining automated raw data collection and automated data processing. In: Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Hugan & E. Yücesan (Eds.).
- von Euler-Chelpin, A., Semere, D.T., Kjellberg, T. & Lindberg, B. 2008. Model integration for a wider representation of a manufacturing system during its life cycle. In: Proceedings of the 2nd Swedish Production Symposium. S. 45–52.
- Williams, T. J. (toim.) 1991. The Purdue Reference Model for Computer Integrated Manufacturing (CIM). A Description from the Viewpoint of Industrial Automation. 2. p. Instrument Society of America. 223 s. <<http://www.pera.net/Pera/PurdueReferenceModel/ReferenceModel.html>>



## VTT Working Papers

- 153 Teemu Tommila, Juhani Hirvonen & Antti Pakonen. 2010. Fuzzy ontologies for retrieval of industrial knowledge – a case study. 54 p. + app. 2 p.
- 154 Raili Alanen. Veneiden uudet energijärjestelmät. 2010. 86 s.
- 155 Maija Ruska, Juha Kiviluoma & Göran Koreneff. Sähköautojen laajan käyttöönoton skenaarioita ja vaikutuksia sähköjärjestelmään. 2010. 46 s.
- 156 Jussi Lahtinen, Kim Björkman, Janne Valkonen, Juho Fritz & Ilkka Niemelä. Analysis of an emergency diesel generator control system by compositional model checking. MODSAFE 2010 work report. 2010. 35 p.
- 157 Tero Sundström, Ari Kevarinmäki, Stefania Fortino & Tomi Toratti. Shear resistance of glulam beams under varying humidity conditions. 2011. 125 p. + app. 12 p.
- 158 Hannes Toivanen. From ICT towards information society. Policy strategies and concepts for employing ICT for reducing poverty. 2011. 38 p. + app. 1 p.
- 161 Sebastian Teir, Toni Pikkarainen, Lauri Kujanpää, Eemeli Tsupari, Janne Kärki, Antti Arasto & Soile Aatos. Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS). Teknologiakatsaus. 2011. 106 s. + liitt. 6 s.
- 162 Mikael Haag, Tapio Salonen, Pekka Siltanen, Juha Sääsä & Paula Järvinen. Työohjeiden laadintamenetelmiä kappaletavaruutuotannossa. Loppuraportti. 2011. 40 s.
- 163 Marko Nokkala, Kaisa Finnilä, Jussi Rönty & Pekka Leviäkangas. Financial performance of Finnish technical networks. 2011. 56 p. + app. 90 p.
- 164 Jussi Rönty, Marko Nokkala & Kaisa Finnilä. Port ownership and governance models in Finland. Development needs & future challenges. 2011. 104 p.
- 165 Aira Hast, Tommi Ekholm & Ilkka Savolainen. Suomen kansallisten päästövähennystoimien epävarmuuksien ja riskien arviointi. 2011. 44 s. + liitt. 3 s.
- 166 Mustafa Hashmi. Survey of smart grids concepts worldwide. 2011. 74 p.
- 167 Aimo Tiilikainen, Kyösti Pennanen & Maarit Heikkinen. Tulevaisuuden elintarvikepakkaus. Kvantitatiivinen kuluttajatutkimus pakkausprototyypin ja kaupallisten verrokkituotteiden eroista. 2011. 36 s. + liitt. 8 s.
- 168 Pekka Leviäkangas, Anu Tuominen, Riitta Molarius & Heta Kajo (Eds.). Extreme weather impacts on transport systems. 2011. 119 p. + app. 14 p.
- 169 Luigi Macchi, Elina Pietikäinen, Teemu Reiman, Jouko Heikkilä & Kaarin Ruuhilehto. Patient safety management. Available models and systems. 2011. 44 p. + app. 3 p.
- 170 Raine Hautala, Pekka Leviäkangas, Risto Öörni & Virpi Britschgi. Perusopetuksen tietotekniikkapalveluiden arviointi. Kauniaisten suomenkielinen koulutoimi. 2011. 67 s. + liitt. 16.
- 172 Sauli Kivikunnas & Juhani Heilala. Tuotantosimuloinnin tietointegraatio. Standardikatsaus. 2011. 29 s.