



Mikael Haag, Tapio Salonen, Pekka Siltanen, Juha Sääski & Paula Järvinen

Työohjeiden laadintamenetelmiä kappaletavaratuotannossa

| Loppuraportti

ISBN 978-951-38-7504-6 (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 5, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374



Tekijä(t) Mikael Haag, Tapio Salonen, Pekka Siltanen, Juha Sääski & Paula Järvinen		
Nimeke Työohjeiden laadintamenetelmiä kappalevaratuotannossa Loppuraportti		
Tiivistelmä Useasta lähteestä saadun palautteen mukaan työohjeiden tila suomalaisessa valmistavassa teollisuudessa ja varsinkin pk-sektorilla ei ole sillä tasolla, millä sen haluttaisiin olevan. Työohjeiden tärkeys, varsinkin kokoonpanotyön laadunohjaamisessa, tuottavuuden parantamisessa ja resurssien joustavuuden lisäämisessä, on kuitenkin yleisesti tunnistettu ja tunnustettu, vaikka korkeatasoisten ohjeiden tuottamiseen ja ylläpitämiseen ei kuitenkaan näyttäisi olevan tarvittavia resursseja. Työohjeiden sisällön tuottoon, ylläpitämiseen ja esittämiseen on käytössä varsin kirjava kokoelma käytäntöjä, tiedostoformaatteja ja työkaluja. Työohjeiden hallinnasta kokonaisuutena puuttuvat prosessinomaisuus ja myös tiedonsiirto-standardit, jotka yhdistettynä mahdollistaisivat pelkän työohjeen lisäksi varsinaisen tuotannon opastuksen ja koko siihen liittyvän prosessin paremman automatisoinnin. Tuotannon opastukseen liittyy oleellisena osana myös opastusjärjestelmän liittäminen tuotannon tapahtumiin. Ohjeiden pitää olla ajan tasalla, ja ne pitää näyttää oikeaan aikaan ja oikeassa paikassa. Tekniset edellytykset edistyksellisen opastusjärjestelmän rakentamiselle ovat olemassa, ja eri osioiden toimivuus on voitu osoittaa joko käytännössä tai demonstraatioissa. Tässä paperissa esitelty ProDigi-konsepti on esimerkki siitä, miten työohjeet voidaan luoda suunnittelun 3D-malleista, miten niihin voidaan lisätä strukturoidun tekstin elementtejä sekä tarvittavaa tietoa tuotannon eri tietojärjestelmistä ja miten työohjeet voidaan näyttää työpisteillä lisätyn todellisuuden avulla oikeassa paikassa oikeaan aikaan RFID-tunnistusta hyödyntäen.		
ISBN 978-951-38-7504-6 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinnumero
Julkaisuaika Maaliskuu 2011	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 40 s.
Projektin nimi ProDigi	Toimeksiantaja(t) Tekes, Digitaalinen tuoteprosessi -ohjelma	
Avainsanat Work instruction, assembly instruction, product data management	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 162
VTT-WORK-162

Author(s) Mikael Haag, Tapio Salonen, Pekka Siltanen, Juha Sääsäski & Paula Järvinen		
Title Concept for manual assembly work instructions Final report		
Abstract According to feedback reserved from several sources work instruction in Finnish manufacturing companies are not on the level the companies would require them to be. This is the case especially in the SME sector. The importance of work instruction as a means to improved quality, productivity and flexibility especially in manual assembly work is though recognized and acknowledged. Even so, it is also common that companies do not have the required resources to produce and maintain high quality instruction. For content creation, maintenance and visualization of work instruction there are many different established practices, file formats and software tools. The process like approach to work instruction management is lacking as well as standardized methods of data exchange between different IT systems. These would be needed in order to create a real manufacturing guidance system instead of common work instructions and also to enable the automatisisation of the instruction creation and maintenance processes. Identification of events on the factory floor is an essential part of a manufacturing guidance system. The right and up to date instructions should be shown in right place at the right time. Technical preconditions for developing an advanced guidance system exist and the functionality of separate subsystems has been in proved in practice and demonstrations. The proposed ProDigi concept is an example how augmented reality work (AR) instruction can be created from engineering 3D models, adding text elements from structured documents as well as order information and product structures from connected production's information systems. Further more the concept demonstrates how displaying of the AR instructions can be connected to manufacturing events with aid of RFID identification.		
ISBN 978-951-38-7504-6 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number
Date March 2011	Language Finnish, Engl. abstract	Pages 40 p.
Name of project ProDigi	Commissioned by Tekes, Digitaalinen tuoteprosessi programme	
Keywords Work instruction, assembly instruction, product data management	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

Projekti ”ProDigi – Tuotannon opastuksen digitaaliset prosessit” käynnistyi maaliskuussa 2009. Projekti kuuluu Tekesin Digitaalinen tuoteprosessi -teknologiaohjelmaan. Projekti päättyi 31.12.2010. Projektin rahoittajina olivat Tekesin lisäksi Tamware, Maaseudunkone, ATR Soft Oy, Deskartes ja VTT. Projektin vastuullisena johtajana toimi teknologiapäällikkö Riikka Virkkunen (VTT). Projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Mikael Haag (VTT). Lisäksi projektiin osallistuivat seuraavat henkilöt VTT:ltä: Tapio Salonen, Juha Sääski, Pekka Siltanen ja Paula Järvinen. Projektin johtoryhmään osallistuivat Tero Suomalainen (Maaseudun Kone Oy), Jarno Halme (After Sales Engineer), Mika Reinilä (ATR Soft Oy), Ismo Mäkelä, (DeskArtes Oy), Kari Penttinen ja Juhani Lempiäinen (Tekes) sekä Riikka Virkkunen ja Paavo Voho (VTT).

Espoossa, helmikuussa 2011

Tekijät

Sisällysluettelo

Alkusanat	5
Symboliluettelo	7
1. Johdanto	8
1.1 Mahdollisuuksien luojia	10
2. Kokoonpano	11
3. Työohjeet	13
3.1 "State of the art"	16
3.2 Ohjeistuksen tietojärjestelmät	17
3.3 Työohjeiden luontiohjelmistoja	18
3.3.1 3DVIA Composer	18
3.3.2 DITA-editorit	19
4. Työohjeiden luontiprosessi	21
4.1 Mahdollistavat teknologiat	22
4.1.1 Lisätty todellisuus	22
4.1.2 3D-tiedostoformaatit	23
4.1.3 DITA: XML-pohjainen standardi ohjedokumentaation tuotantoon	24
4.1.4 RFID	26
4.2 Konsepti	27
4.2.1 Prosessi-integraatio	27
5. Case 1: RFID-pohjainen järjestelmä turvaohjaamoiden kokoonpanolinjaan	29
6. Case 2: XML-pohjainen työohjeiden tuotanto	33
7. Konseptidemonstraatio	35
7.1 Sisällöntuotanto	35
7.2 Kokoonpano-ohjeiden esittäminen	37
8. Yhteenveto	39
Lähdeluettelo	40

Symboliluettelo

AR	Augmented Reality
ANSI	American National Standards Institute
CAD	Computer Aided Design
CAX	Computer-aided technologies
DITA	Darwin Information Typing Architecture
ERP	Enterprise Resource Planning
HMD	Head Mounted Display
ICT	Information and Communications Technology
ISA-95	The international standard for the integration of enterprise and control systems
MBOM	Manufacturing Bill Of Materials
MES	Manufacturing Execution Systems
OASIS	Organization for the Advancement of Structured Information Standards
PDM	Product Data Management
PLM	Product Lifecycle Management
RFID	Radio Frequency Identification
SOA	Service-Oriented Architecture
STEP	ISO 10303 standard family
VR	Virtual Reality
WI	Work Instruction
VRML	Virtual Reality Modelling Language
XML	Extensible Markup Language
XSLT	Extensible Stylesheet Language Transformations

1. Johdanto

Valmistavassa teollisuudessa tuotteiden varioituvuus ja komponenttien optimointi on johtanut tilanteeseen, jossa tuotannon joustavuus ja laaduntuottokyky edellyttävät henkilöstöltä entistä suurempaa kykyä mukautua alati muuttuviin tuotekonfiguraatioihin ja vaihtelevaan kapasiteetin tarpeeseen. Optimaalisessa tilanteessa henkilöstö on perehdytetty useaan eri tehtävään, ja tarvittaessa työvoimaa voidaan siirtää joustavasti eri työpisteiden välillä. Teknisesti haastavien tuotteiden osalta tämä on kuitenkin osoittautunut käytännössä mahdottomaksi. Työvoiman osaamisen taso, vaihtuvuus ja saatavuus ovat useassa konepajateollisuuden yrityksessä akuutteja ongelmia.

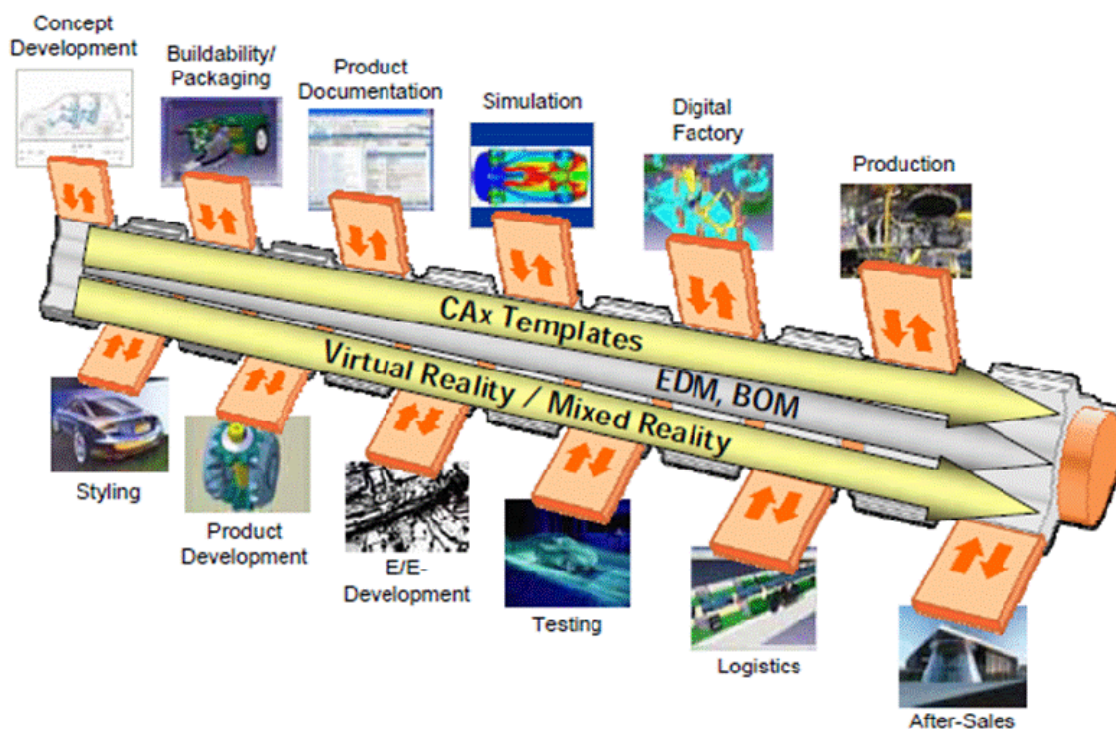
Viime vuosina prosessilähtöisen ajattelutavan ja myös laatustandardien käyttöönotto ovat tuottaneet tuotantoon valtavan määrän dokumentaatiota. Myös laajalti yleistyneet ERP-, CAx- ja PDM/PLM-järjestelmät sekä monet muut yrityskohtaisesti toteutetut käytännöt ja apujärjestelmät tarjoavat dokumentaatiota ja lisäinformaatiota. Voidaankin havaita, että tuotantohenkilön kannalta oleellinen tieto hukkuu liian usein valtavaan informaatiotulvaan tai on hajaantunut moneen eri lähteeseen ja järjestelmään.

Varioituvat, muuttuvat ja tilauksesta valmistettavat tuotteet edellyttävät, että ohjeistus, osaluettelot, kuvat, muutosilmoitukset sekä muut erityisohjeet voidaan kohdistaa sekä yksittäiselle tuotteelle että työvaiheelle. Tämä edellyttää myös tuotteen ja tilauskohtaisten avainkomponenttien luotettavaa tunnistamista jokaisessa työvaiheessa. Tuotannon opastuksen yksi keskeisimpiä haasteita on tarvittavan tietosisällön tuottamiseen ja ylläpitoon tarvittava työ. Erityisen haastavaa on se, että eri osastot tai henkilöt tuottavat tietoa tuotteen elinkaaren aikana usealla eri järjestelmällä, jolloin tiedon viite-eheys ja yhteensopivuus ja sitä myöten hyödynnettävyys ja luotettavuus vaarantuvat.

Tuotannon opastusprosessin tavoite voidaankin kiteyttää lyhyesti: ainoastaan oleellinen – viimeisin tieto oikeassa paikassa, oikeaan aikaan ja helposti ymmärrettävässä muodossa. Tavoitteeseen pääseminen edellyttää kuitenkin innovatiivista ICT-tekniikan hyödyntämistä ja organisaatorajat ylittävää, systemaattista integraatiota sekä prosesseissa että järjestelmissä.

ProDigi-hankkeen visiona oli luoda vaihtelevaa ja varioituvaa yksittäis- tai piensarjavalmistusta harjoittavaan yritykseen referenssimalli viite-eheästä digitaalisesta tietosel-

kärangasta (data backbone), joka mahdollistaa tuotannon opastusjärjestelmien vaatiman tietosisällön luonnin ja hallinnan tuoteprosessin jokaisessa vaiheessa (kuva 1). Tässä mallissa tuotannossa tarvittava tietosisältö tuotetaan hallitusti ja kontrolloidusti siten, että a) tarvittava tieto on aina saatavilla b) tieto on aina ajan tasalla ja c) tieto on aina sopivassa muodossa. Digitaalinen tietoselkäranka mahdollistaa yrityksen organisaatiotilat ylittävän tiedonjaon, ja mikä olennaista, modernin IC-teknologian hyväksikäytön uudelle tasolle nousevien, reaaliaikaisten ja entistä havainnollisempien opastusjärjestelmien toteuttamisessa.



Kuva 1. Digitaalinen tietoselkäranka (data backbone) (Daimler AG, 2008).

Haasteena oli yhdistää opastusjärjestelmän toteutuksessa tarvittavat keskeiset teknologiat sekä määrittellä yleisellä tasolla toimiva arkkitehtuuri digitaalisen tietoselkärangan toteutukselle. Tietojärjestelmien integraatiot eivät ole toteutuneet oletetulla tavalla, vaikka lukuisissa kansainvälisissä hankkeissa on laadittu tiedonsiirtoja varten varsin täydellisiäkin standardeja. Erilaiset lähtökohdat eri yrityksissä sekä hajautuneet, eritasoiset tietojärjestelmät ja niiden historiallinen painolasti ovat tehneet yleiskäyttöisten ratkaisuiden löytämisen vaikeaksi tai jättäneet generisen ratkaisun liian abstraktiksi.

1.1 Mahdollisuuksien luoja

Yhtenä vaihtoehtona tuotannon ja tuotekehityksen prosessien integroimiseksi on tarjottu ”Template based engineering” -ympäristöä. Tällaisessa ympäristössä pyritään luomaan erilaisten pohjien avulla suunnittelun ja tuotannon prosessien toteutumisille toistuva kaava, jolla varmistetaan tarvittava tietosisältö ja sen formaatti prosessin jokaisessa vaiheessa. Templatejen avulla pyritään myös tallentamaan toistuva, uudelleen käytettävä informaatio.

Viime aikoina tietojärjestelmien integroinnissa on suosittu myös palvelukeskeistä ohjelmistoarkkitehtuuria (SOA), jota käyttäen esimerkiksi OASIS-konsortio pyrkii standardoimaan tärkeimmät järjestelmäintegraatiot. Uusimmat tuotannon tietojärjestelmät, kuten ERP-, PDM- ja MES-järjestelmät toteuttavat enenevässä määrin palvelupohjaisen arkkitehtuurin periaatteita, mikä pitkällä aikavälillä tulee avaamaan uusia mahdollisuuksia digitaalisen tietoselkärangan toteutukselle.

Suunnittelun ja valmistuksen väliseen tiedonsiirtoon on kehitetty jo pitkään standardeja, esim. ANSI-/ISA95-/STEP-standardit. Suuri osa yleisesti käytössä olevista järjestelmistä tukee em. standardeja, ja vaikka kaikki järjestelmät eivät suoraan niitä tukisiakaan, ne toimivat erinomaisina lähtökohtina suunniteltaessa digitaalisen tietoselkärangan geneeristä toteutusta ja siirrettävän tiedon sisältöä.

Lisätty todellisuus (augmented reality, AR) yhdistää käyttäjän näkemään todelliseen maailmaan digitaalisesti tuotettua informaatiota. Lisätty todellisuus soveltuu teknologiana jo nyt opastusjärjestelmien toteutukseen rajatuilla alueilla, kuten tehdashalleissa. AR-pohjaiset järjestelmät mahdollistavat erittäin havainnollisen tiedon visualisoinnin. AR-teknologian avulla päästään jopa kulttuuri- ja kieliriippumattomiin universaaleihin opastusjärjestelmiin. Visualisointiohjelmat kuitenkin käyttävät omia standardejaan, eikä tiedonsiirtoa suunnittelun tietojärjestelmistä visualisointiohjelmistoihin olekaan usein tyydyttävästi ratkaistu.

Tuotteiden tunnistamisessa reaaliaikaisesti työpisteissä voidaan hyödyntää RFID-teknologiaa. Myös 3D-konenäköjärjestelmät luovat uusia mahdollisuuksia sekä komponenttien tunnistamiseen että suoritettujen työvaiheiden valvontaan ja siten mahdollistavat automaattisen palautetiedon takaisinkytkemisen opastusjärjestelmään.

2. Kokoonpano

Kokoonpano on tuotekohtaisesti valmistettujen osien, standardikomponenttien ja tarvikkeiden liittämistä toisiinsa toimivaksi tuotteeksi. Tuotteessa voi olla osakokoonpanoja, joista syntyy osakokonaisuuksia. Loppukokoonpanossa osakokoonpanot ja muut osat liitetään toisiinsa valmiiksi lopputuotteeksi. Kokoonpanotyön osuus tuotteen kokonaistyöajasta saattaa olla jopa 20–40 prosenttia. (Tekes 2001.)

Kokoonpanotyö on usein manuaalista kokoonpanoa, koska kaikkea kokoonpanoa ei voi eikä kannata automatisoida. Kokoonpano vaatii kalliita henkilöstöresursseja, ja siksi kokoonpanon osuus tuotteen kokonaiskustannuksista on usein suuri. Osien valmistamiseen kuluva aika nykyaikaisilla valmistusmenetelmillä on minimoitu, mutta kokoonpanoon kuluva aikaa ei ole pystytty minimoimaan yhtä tehokkaasti. Kokoonpanossa saattaa olla turhia työvaiheita, jotka voidaan yhdistää toisiin työvaiheisiin. Yhdistelemällä samanlaiset työvaiheet yhdeksi kokonaisuudeksi säästetään aikaa. Tällöin kokoonpanijan ei tarvitse yhtä useasti suorittaa tehtävää, joka toistuu kokoonpanon edetessä.

Whitneyn (2004) mukaan kokoonpano on paljon enemmän kuin pelkästään osien liittämistä toisiinsa valmiiksi tuotteeksi. Kokoonpano on tuotteen valmistuksen kannalta tärkein työvaihe. Kokoonpano yhdistää valmiiksi tuotteeksi kaiken suunnittelutiedon, joka sisältää tiedot tuotteen toiminnasta, muotoilusta, osien valmistuksesta ja osien logistiikasta. Kirjallisuudesta löytyy paljon tietoa siitä, miten yksittäiset osat pitää valmistaa, jotta ne täyttävät niiltä vaaditut ominaisuudet. Kokoonpanosta, joka synnyttää valmiin tuotteen, on vähän tietoa kirjallisuudessa. Kokoonpano onkin vähiten ymmärretty prosessi tuotteen valmistuksessa. (Whitney 2004.)

Kokoonpanot ovat suunnitteluprosessin tuloksia. Suunnitteluprosessi sisältää tuotteen ominaisuuksien määrittelyn ja toteutustavan siitä, miten tuotteelle määritellyt ominaisuudet saadaan toimimaan lopullisessa tuotteessa. Valmiin tuotteen suunnittelussa tulee huomioida kaikki eri osien yhteenliittymäkohdat ja niiden suhteet muihin osiin. Jotta tuote toimisi niin kuin on suunniteltu, pitää osien suhteet ja käyttäytyminen toisiinsa nähden olla selvillä. Kokoonpanolla on suuri merkitys siihen, miten osat käyttäytyvät toisiinsa nähden. Ongelmana on, että ei ole olemassa yhtä ja ainoaa oikeaa kokoonpanorakennetta. (Whitney 2004.)

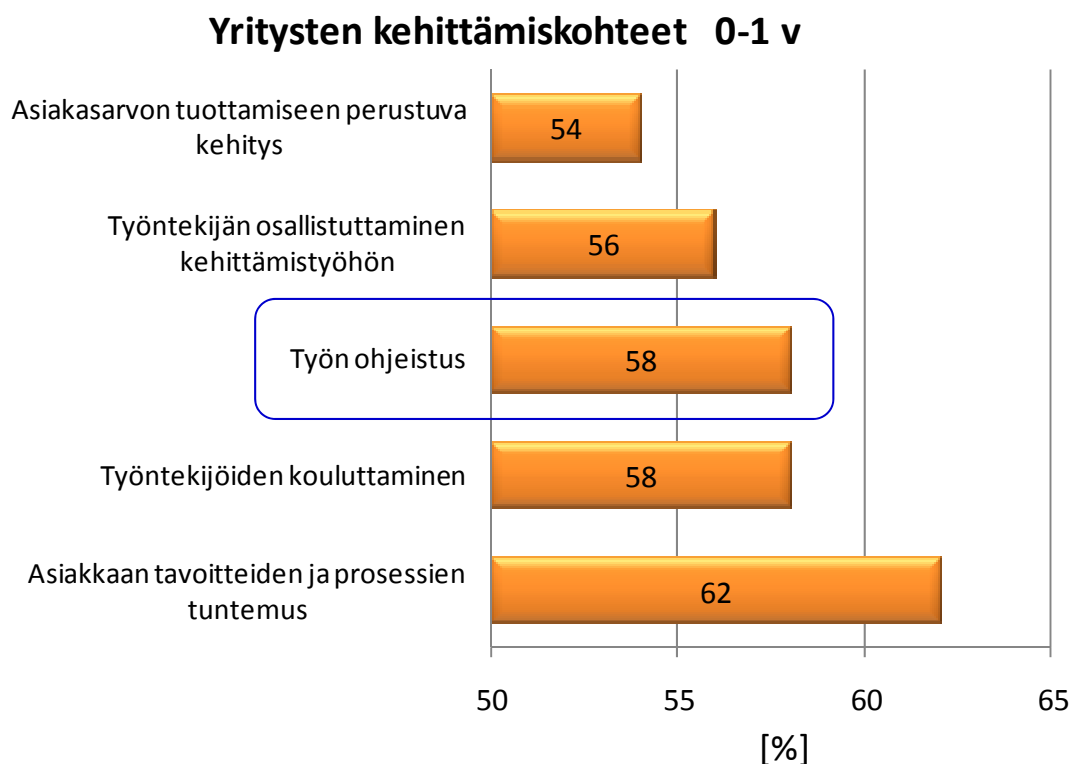
2. Kokoonpano

Huonoistakin osista voi valmistaa toimivan tuotteen kokoonpanemalla huonot osat toimivaksi kokonaisuudeksi. Laadullisesti hyvät osat voi puolestaan pilata huonolla kokoonpanolla, jolloin tuotteesta ei tule toimivaa. Ei siis ole aivan yksikäsitteistä, mistä tuotteen laatu syntyy. Tärkeintä on kuitenkin oikea kokoonpano, koska kokoonpanolla ratkaistaan koko tuotteen lopullinen laatu. Whitney (2004) mukaan tuotteen loppukokoonpano onkin totuuden hetki, jolloin tuotteen lopullinen toimivuus ja laadukkuus selviävät. Loppukokoonpano ratkaisee koko valmistusprosessin lopullisen laadun.

Kokoonpanojärjestykseen vaikuttaa myös suunnittelu (Design For Assembly, DFA) eli kokoonpantavuuden suunnittelu. Tällöin tuotteen kokoonpantavuuteen voidaan vaikuttaa moninkertaisesti verrattuna tuotannossa tapahtuvaan kokoonpanon suunnitteluun. Tuotteita suunniteltaessa ei aina onnistuta huomioimaan aivan kaikkia yksityiskohtia. Tällöin kokoonpantavuus saattaa kärsiä, koska ei ole osattu ottaa huomioon tuotteen kokoonpantavuutta vaan on panostettu tuotteen toimivuuteen.

3. Työohjeet

Työohjeet ovat tärkeä osa suomalaisen valmistavan teollisuuden kehittämistavoitteita. ”Uuden valmistavan teollisuuden tutkimusagenda” -projektissa (FOFFI) suoritettiin kyselytutkimus, johon vastasi 250 alan asiantuntijaa suomalaisista yrityksistä (Foffi 2010). Kyselytutkimuksessa kerättiin tietoa teollisuuden kehitystarpeista nyt ja tulevaisuudessa. Yrityksistä 85 prosenttia vastasi ydinliiketoiminnakseen valmistuksen tai kokonpanon. Työn ohjeistus oli kyselyyn mukaan yritysten yksi keskeisimmistä kehittämiskohteista (kuva 2).

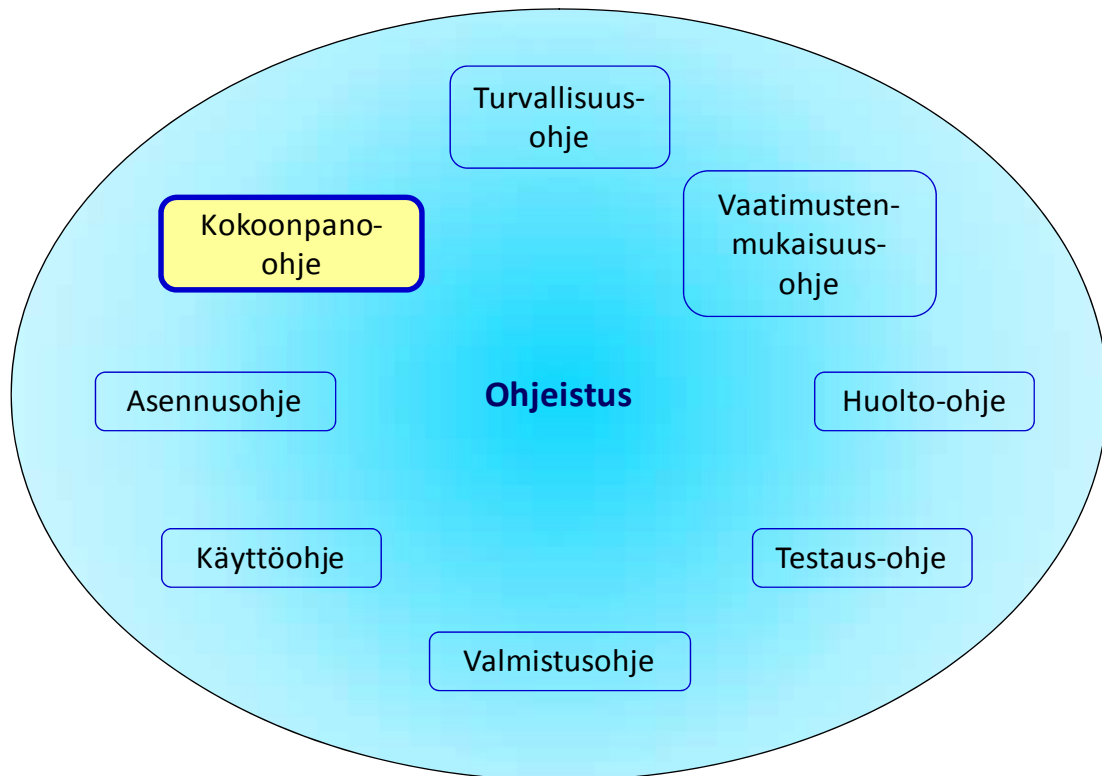


Kuva 2. Yritysten kehittämiskohteet vuoden sisällä.

3. Työohjeet

Vastaajista 58 prosenttia näki työn ohjeistuksen kehittämisen akuuttina tehtävänä, kun aikajänteeksi ilmoitettiin 0–1 vuotta (muut aikajänteet olivat 1–4 vuotta ja 4–10 vuotta).

Tässä hankkeessa on paino kokoonpano-ohjeissa mutta myös muut ohjetyypit, esimerkiksi kunnossapidossa tuotteen purkamiseen ja uudelleen kokoamiseen tarkoitetut ohjeet, ovat pitkälti analogisia kokoonpano-ohjeiden kanssa (kuva 3).

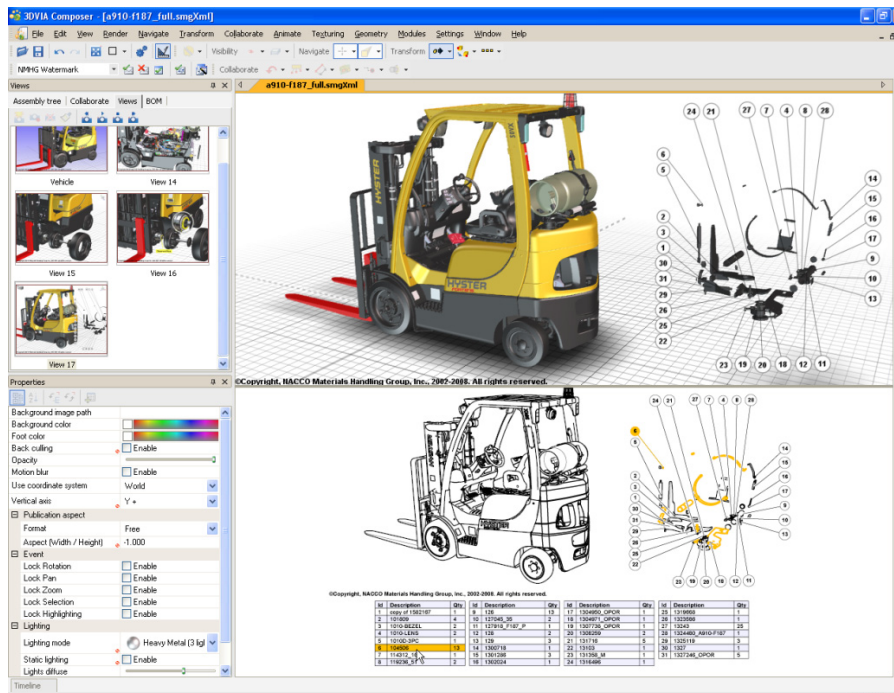


Kuva 3. Foffi-hankkeessa kyseltiin ohjeistusta usealta osa-alueelta.

Kokoonpano-ohjeiden pitää kuvata, mitä on tehtävä ja missä järjestyksessä sekä millä työkaluilla kokoonpano suoritetaan. Työohjeiden tulee minimoida työntekijän opettelu-aika, ja niiden luomisen, ylläpidon ja jakamisen tulee olla taloudellisia.

Tärkeä osa kokoonpano-ohjeita ovat visuaaliset ohjeet, kuten valokuvat, piirustukset ja 3D-mallit. Työohjeisiin vaikuttavat mm. kulttuuri, kieli ja osaamistaso. Tyypillisesti samat perinteiset manuaalisen työn kuva- ja tekstiohjeet eivät toimi sekä Suomessa että esimerkiksi Kiinassa. Kyse ei ole pelkästä tekstin kääntämisestä kielestä toiselle, vaan siitä, että eri kulttuureissa ohjeet käsitetään eri tavalla AR-teknologia antaa kuitenkin mahdollisuuden tehostaa manuaalista työtä todellisessa ympäristössä tapahtuvalla uudella visuaalisuudella – työntekijä näkee seuraavaksi tehtävän työn animoituna työympäristössä. Esimerkiksi kokoonpanotyössä työntekijä näkee, mihin kohtaan, missä asennossa ja millä tavalla kiinnitettyä seuraava osa tulee kokoonpanoon. Selittävää tekstiä ei juuri tarvita. Lopullisena tavoitteena ovatkin kielestä ja kulttuurista riippumattomat universaalit työohjeet.

3. Työohjeet



Kuva 5. 3D-malli on tietokonepohjaisten ohjeiden ydin. Siitä generoidaan erilaiset ohjeistuksen kuvannot.

3.1 ”State of the art”

Työohjeiden nykytilanne päivitettiin kyselytutkimuksella, joka kohdistettiin suomalaisiin yrityksiin, jotka valmistavat omat tuotteensa. Kyselyn ja aikaisemman tiedon pohjalta tilanne ei ole juurikaan muuttunut viime vuosina. Tutkimuksen tuloksina voidaan listata seuraavaa:

- Tyypillisin työohje on edelleen osalista ja piirustukset.
- Työohjeet tehdään ja julkaistaan A4-formaatissa.
- Usein työohjeet tulostetaan ja kootaan työpistekohtaiseen kansioon.
- Työohjeiden kokoamista tai päivitystä ei ole linkitetty tuote- tai valmistusprosessiin.
- Työohjeita tehdään MS Office -ohjelmistolla ja niissä käytetään yleisesti valokuvia ja kuvaruutukaappauksia.
- Työohjeet laatii tavallisesti tuotanto.
- Kaikkia työtehtäviä ei ole dokumentoitu työntekijöiden korkean ammattitaidon vuoksi.

Vaikka työohjeet ovat edelleen pääsääntöisesti ”perinteisessä” A4-formaatissa, ne ovat entistä useammin saatavissa suoraan tietokoneen ruudulle (työpistepääte tai useamman työpisteen yhteiskäytössä oleva PC). Tämä mahdollistaa työohjeiden päivittämisen, ja tällä voidaan varmistaa uusimman ohjeen käyttö.

Suomalaisten konepajatuotteiden erityispiirteitä ovat räätälöidyt tuotteet, lyhyet sarjat investointituotteita. Tämä vaikeuttaa tuotekohtaisten työohjeiden tekemistä: yksilökohtaista työohjetta pitäisi tehdä jokaiselle yksittäiselle tuotteelle. Tuotekohtaiset työohjeet pitäisi saada generoitua automaattisesti jokaiselle tuoteversiolle.

Työohjeistuksen suurimmat haasteet ovat seuraavanlaisia:

- Ohjeiden luonti on manuaalista. Lisäksi ohjeiden tekemiseen ei ole riittävästi resursseja.
- Ohjeita ei ole helppo päivittää luontitavan takia (kuvankäsittely, valokuvat).
- Ohjeiden tekeminen ja ylläpito koetaan liian työlääksi tai tarpeettomaksi.
- Ohjeiden laatimista tai päivittämistä ei ole linkitetty suunnittelu- tai valmistusprosesseihin. Työohjeen laadinta nähdään kertaluonteisena työnä. Ohjeet jäävät helposti päivittämättä.
- Todellisia opastusjärjestelmiä ei ollut käytössä. Päivitettyjenkin ohjeiden lukeminen on täysin kiinni työntekijöiden aktiivisuudesta.
- Ammattitaitoiset työntekijät eivät tarvitse työohjeita. Työt osataan jo tehdä. Voidaan kuitenkin kysyä, mitä tapahtuu, jos omaa tuotantoa siirretään, ulkoistetaan tai työntekijät vaihtuvat?

3.2 Ohjeistuksen tietojärjestelmät

Tyypillisesti tuotteita valmistavalla yrityksellä on suunnittelua varten CAD-/PDM-/PLM-järjestelmä, jossa kuvataan, millainen tuote on valmistettava. Tuotantoa varten on erillinen ERP-järjestelmä, jossa taas kuvataan, mistä komponenteista sekä miten ja milloin tuote valmistetaan. Työn ohjeistus voi olla kummassa järjestelmässä tahansa. Yrityksen prosesseista riippuu, kumpaan järjestelmään työohjeet luontevimmin istuvat. Yleisesti trendi näyttäisi olevan, että PLM-järjestelmät ovat valtaamassa ERP-järjestelmistä valmistuksen tietorakenteiden ylläpidon sekä valmistuksen suunnittelun – tämä onkin loogista muutosten hallintaa silmälläpitäen.

Kaikilla suurilla PLM-järjestelmien toimittajilla löytyy ratkaisuja, joilla työohjeiden laadinta voidaan liittää tuoteprosessiin. Suunnittelun 3D-mallien käyttö ja versioiden tai muutosten hallinta sisältyvät järjestelmiin. ERP-järjestelmä nähdään tässä yhteydessä enemmän tilaus-toimitusprosessin hallinnan ohjelmistona. Toisaalta PLM-järjestelmät (vaikka ovatkin avoimia) sitovat käyttäjät yhden toimittajan ratkaisuun, varsinkin jos järjestelmästä halutaan kaikki hyöty.

3. Työohjeet

PLM-järjestelmän käyttöönotto tai sen ominaisuuksien hyödyntäminen saattaa vaatia suuria muutoksia yrityksen toimintatapoihin ja IT-järjestelmiin. Mikäli yrityksellä on käytössä PLM-järjestelmä, ja varsinkin, jos valmistuksen osaluettelo ja siihen liittyvä suunnittelu tehdään jo PLM-järjestelmässä, työohjeiden laadinta kannattaa liittää siihen. Tämä antaa mahdollisuuden hallinnoida työohjetta osana muuta tuotetietoa, jolloin ohjeiden kuten myös muunkin dokumentaation versiointi on yhteydessä tuoterakenteisiin, niihin liittyviin 3D-/2D-kuviin sekä myös toimitettujen laitteiden versiointiin.

3.3 Työohjeiden luontiohjelmistoja

Office-työkalujen lisäksi työohjeiden luontiin on tarjolla myös varsinaisia työohjeiden luontiohjelmissa. Jotkut niistä ovat integroitu tiukasti tuotetiedon hallintaprosessiin. Nämä ovat tyypillisesti suurten CAD-ohjelmistotalojen tuotteita ja ne on integroitu ko. ohjelmistotalon omaan PDM-/PLM-ratkaisuun. Tällä saavutetaan selvä etu työohjeiden päivittämisessä. Muilla työohjeohjelmilla integrointi PLM- tai ERP-järjestelmään on tyypillisesti heikompi. Niiden etuna on yleensä eri 3D-formaattien tuki ja järjestelmäriippumattomuus. Projektissa käytiin pintapuolisesti läpi seuraavia työohjeohjelmistoja: PTC Windchill MPMLink, Siemens/UGS Teamcenter, DELMIA AWI (Assembly Work Instruction), DELMIA 3DVIA Composer, Adobe LifeCycle ES ja Lattice Technology XVL. 3DVIA Composer -ohjelmaan tutustuttiin tarkemmin.

Silloin kun yrityksen tuoteprosessissa käytetään useiden toimittajien ohjelmistoja, järjestelmät kuten Lattice tai 3DVIA Composer saattavat olla mielenkiintoisia vaihtoehtoja. Jos 3D-malleja ei ole kaikista osista saatavilla, ohjeita koostetaan useilla eri ohjelmistoilla ja työohjeiden laadintaa ei voida liittää olemassa olevaan IT-tukeen, voidaan Adoben ohjelmistoilla luoda työohjeiden tekoprosessille varsin hyvät puitteet. Lisäksi suurten PLM-järjestelmätoimittajien ratkaisut istuvat huonosti vahvasti varioituvien tuotteiden kokoonpano-ohjeiden laatimiseen. Nämä ohjelmat vaativat, että 3D-malli ohjeistettavasta tuotevariaatiosta on oltava olemassa.

3.3.1 3DVIA Composer

3DVIA Composer on sovellus, joka on tarkoitettu tuotedokumentaation tuottamiseen hyödyntäen olemassa olevaa 3D-tuotetietoa. Se on suunniteltu loppukäyttäjille, jotka eivät käytä CADia, eikä sen käyttö vaadi CAD-tuntemusta tai -koulutusta. Sovelluksella voidaan luoda mm. räjäytyskuvantoja ja -näkyymiä, joihin voidaan tehdä kommentteja yrityskohtaisesti sovittuihin kenttiin.

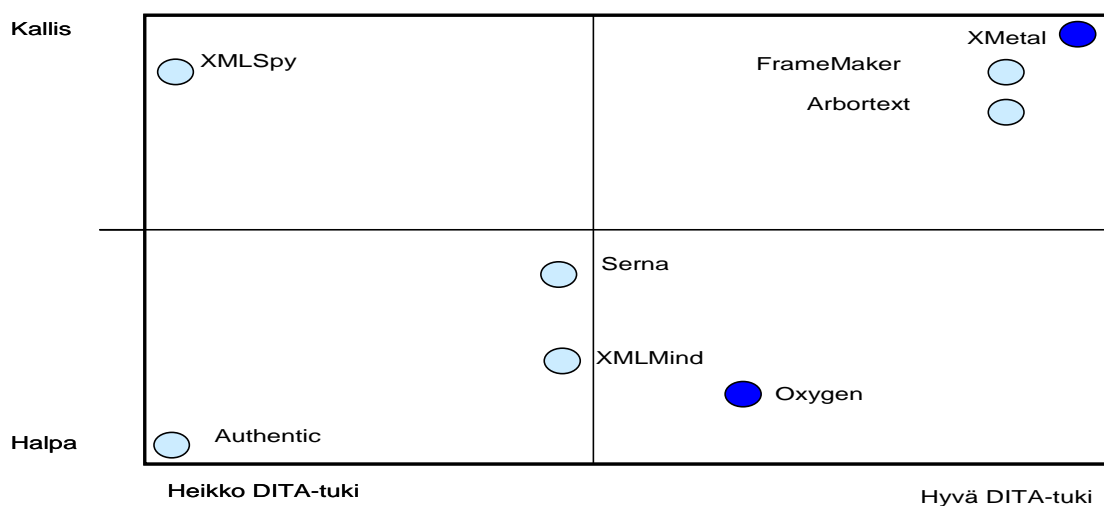
3DVIA Composerilla voi luoda nopeasti animoituja esityksiä olemassa olevia CAD-malleja hyödyntäen lisäämällä staattisiin CAD-malleihin liikettä, värejä, ohjetekstejä yms. Ohjelmaan liittyvällä 3D Via Sync-ohjelmalla voidaan automatisoida käännöksiä CAD-formaateista ja päivittää CAD-mallien muutokset animaatioihin. Työohjeita voi

katsella pdf- tai html-muodossa tai omalla 3DVIA Player -ohjelmalla. Ohjelma mahdollistaa mallien muuntamisen eri formaatteihin, esim. erillistä visualisointiohjelmaa varten (ks. luku 4.1.2).

Projektin konseptidemonstraation 3D-animaatiotuotanto tehtiin 3DVIA Composerilla. Ohjelmisto vaikutti toimivalta ja periaatteessa helppokäyttöiseltä. Kuitenkin animaatioiden luonnissa tehdyt virheet johtivat hyvin helposti tilanteeseen, jossa käyttäjän on pakko aloittaa animointi kokonaan alusta tai ainakin perua suuri joukko komentoja, koska virheiden korjaaminen jälkikäteen oli hyvin hankalaa. Demonstraation toteutusta haittasi myös se, että samanlainen animaatio voidaan tehdä ohjelmalla usealla eri tavalla, jolloin animaatiot myös tallennetaan eri tavalla 3DVIA Composerin XML-formaatissa. XML-formaatin dokumentaatio ei ole julkinen, joten kaikkia animaation luontimahdollisuuksia ei ollut mielekästä selvittää. Demonstraatiossa päädyttiin tukemaan vain yhtä vaihtoehtoa animaatioiden tuottamiseen.

3.3.2 DITA-editorit

XML-pohjaisen työohjeistuksen tuotantoon on saatavana useita editoreja, jotka tukevat vaihtelevasti projektissa käytettyä DITA-standardia (Darwin Information Typing Architecture, ks. luku 4.1.3). Työkaluvalintoja varten arvioitiin lyhyesti olemassa olevia työkaluja, joiden hinnan ja DITA-tuen suhdetta arvioitiin (kuva 6).



Kuva 6. DITA-editorit (kesä 2009).

Projektin CASE-tutkimuksessa ja konseptidemonstraatiossa päätettiin käyttää oXygen-editoria¹. oXygeniin, kuten useimpiin muihinkin DITA-editoreihin, on integroitu ilmainen

¹ <http://www.oxygenxml.com>

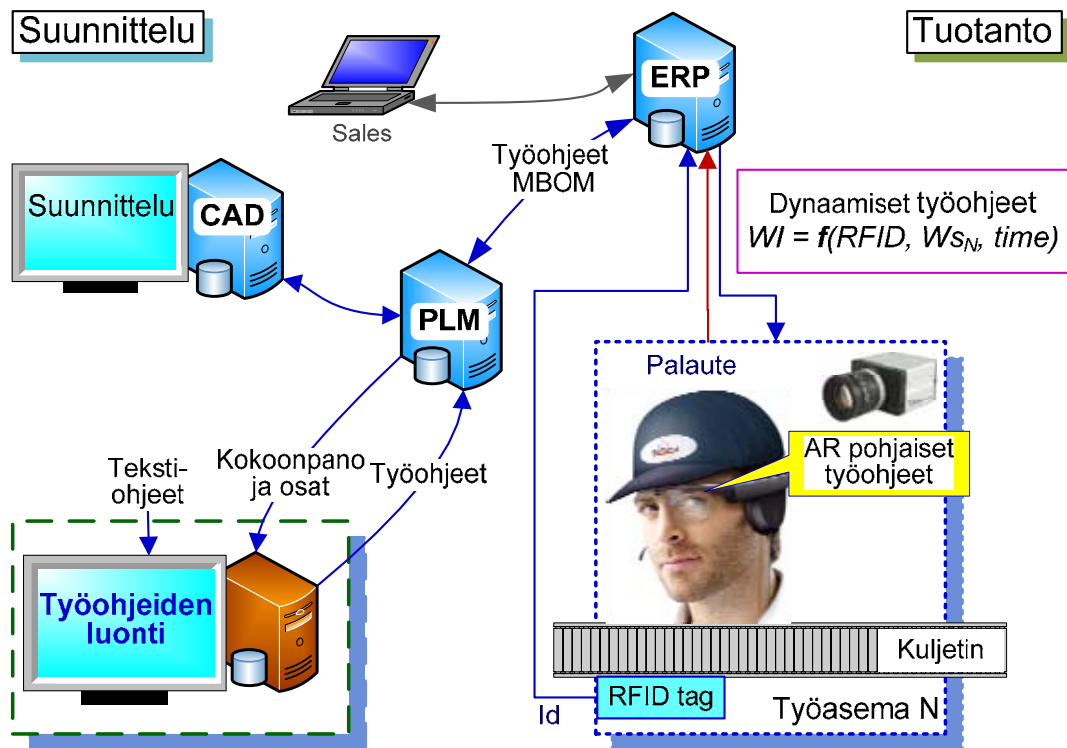
3. Työohjeet

DITA Open Toolkit -ohjelmisto, jolla voi tehdä muunnoksen XML-dokumentaatiosta PDF-, HTML- ja Help-tiedostoiksi.

Käytännön kokemukset oXygenista olivat hyvät: editori toimii luotettavasti, joskin se kärsii normaalista Eclipse-pohjaisten työkalujen ongelmista, eli ohjelman käynnistyminen kestää kohtalaisen kauan ja ohjelma käyttää melko paljon muistia. DITA Open Toolkitin integrointi on onnistunut hyvin. DITA Open Toolkit sisältää oletusulkoasumäärittelyt esim. muodostettaville PDF-tiedostoille. Näitä muokattiin projektin tarpeisiin sopiviksi. Dokumentaation puutteellisuuden vuoksi muokkausten tekeminen oli melko hankalaa. Teknisesti ulkoasujen muokkaaminen tapahtuu XSLT-skriptejä muokkaamalla, mikä vaatii jonkin verran erikoisosaamista.

4. Työohjeiden luontiprosessi

Luvussa 3.1 kerrottiin nykytilasta suomalaisessa konepajayrityksessä. Työohjeet tehdään tietokoneella mutta kuitenkin tyypillisesti vastaavalla tavalla kuin paperiohjeet aikaisemmin. Edelleen vaaditaan piirustusten lukukykyä eli käytetään 2D-leikkauskuvia ja suoraan kokoonpanon osaluetteloa sekä vaaditaan, että ohjeet on pystyttävä tulostamaan paperille mustavalkoisena. Hyödyntämättä jää pitkälti vaihekohtainen visualisointi, kuten osien animoinnit ja värien käyttö. Ohjeet sinänsä ovat digitaalisessa muodossa, mutta päivittäminen on työlästä. Työohjeiden luontiprosessi on osa yrityksen suunnitteluvalmistusprosessia (kuva 7).



Kuva 7. Työohjeiden luontiprosessi on osa yrityksen järjestelmiä.

4. Työohjeiden luontiprosessi

Työohjeiden luontiprosessi on suunnittelun ja valmistuksen yhtymäkohdassa. Työohjeiden luontiprosessin päävaiheet ovat yhdistä, tuota sisältö ja julkaise (kuva 8). Ensimmäiseksi CAD-järjestelmässä luotu 3D-malli ja ERP-järjestelmän ylläpitämä tuote(perhe)kohtainen työvaihelista yhdistetään. Seuraavaksi luodaan tarvittavat animaatiot, ohjektekstit ja muut tarvittavat ohjeistuksen yksityiskohdat. Lopuksi työohjeet julkaistaan halutuissa muodoissa: HTML, PDF, AR-pohjaiset ohjeet jne.



Kuva 8. Työohjeiden luontiprosessissa eri järjestelmien tietoja kytketään työohjeiksi.

Luodut työohjeet tallennetaan PLM- tai ERP-järjestelmään. Vahvasti varioituville tuotteille ohjeistukseen tulee mukaan tuotannonaikaiset muutokset (aikatekijä). Muutokset johtuvat monesta eri syystä, ja muutosten huomioinnin merkitys vaihtelee. Esimerkiksi tietystä hetkestä tai sarjanumerosta lähtien tietyn komponentin tilalle tulee korvaava komponentti (viallinen komponenttiera) tai juuri tietylle asiakasvariaatiolle käytetään vakiokomponentin tilalla erikoiskomponenttia (laite toimitetaan Siperiaan).

4.1 Mahdollistavat teknologiat

4.1.1 Lisätty todellisuus

Lisätyssä todellisuudessa reaali maailma ja virtuaali maailma yhdistetään. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi liittämällä reaali maailmasta otettuun videokuvaan virtuaaliolioita skaalattuna ja asemoituna. Virtuaaliolioiden paikoitukseen käytetään esimerkiksi markkereita tai tuotteen tai ympäristön piirteitä. Toisin kuin virtuaali todellisuus, lisätty todellisuus ei korvaa todellista maailmaa vaan täydentää sitä lisäämällä siihen virtuaaliolioita.

Lisätystä todellisuudessa käytettyjä laitteita ovat tietokoneen ohella kamerat, erilaiset näytöt ja kamerapuhelimet. Lisäksi käyttäjän paikantamiseen on monenlaisia laitteita. Näyttöjä on hyvin erilaisia mm. käyttötarpeen ja hinnan mukaan. Tavallisen näytön lisäksi voidaan käyttää kosketusnäyttöä, silmikkoa tai kännykkää tai heijastaa kuva sopivalle pinnalle. Silmikot ovat erittäin kiinnostavia. Ne vapauttavat käyttäjän kädet itse työn tekemiseen ja käyttäjä voi liikkua vapaasti työpisteessä; esimerkiksi suurten kappaleiden kokoonpanossa näyttö on vietävä työkohteeseen, jolloin kiinteä näyttö on epäkäytännöllinen. Silmikot ovat edelleen hyvin kalliita, yli 20 000 euroa. Militaarisovelluksissa silmikkonäyttöjä on jo käytössä. Esimerkki lisätystä todellisuudesta (kuva 9) on kohdistimen päälle augmenoitu virtuaaliobjekti. AR-pohjaisten ohjeiden ja paperiohjeiden välistä eroa on selvitetty julkaisussa Sääski et al. (2008).



Kuva 9. Vasemmalla puolella virtuaaliolion kohdistin eli markkeri ja oikeanpuoleisessa kuvassa virtuaaliolio lisättyä kuvaan.

4.1.2 3D-tiedostoformaattit

Visualisointiohjelmat, kuten lisätyn todellisuuden ohjelmistot, käyttävät erilaista 3D-tiedon esitystapaa kuin teollisessa suunnittelussa käytetyt CAD-ohjelmat. Visualisointiohjelmisto, kuten esimerkiksi lisätyn todellisuuden sovelluksissa paljon käytetty OpenSceneGraph, järjestää mallin geometriat ns. scene graphin (suom. näkymäverkko, maisemagraafi) avulla, jossa hierarkkiseen tietorakenteen solmupisteisiin voidaan liittää esimerkiksi geometrian eri osiin liittyvät animaatiotiedot. CAD-ohjelmissa tietorakenteet ovat enemmänkin mallin osien etsintää hyödyttäviä rakenteita, eikä niissä oteta huomioon mallin animoinnin vaatimuksia. Koska mallit kuitenkin suunnitellaan kokoonpanon näkökulmasta, on muunnos CADin ja visualisoinnin välillä mahdollista tehdä käyttäen esim. edellisessä luvussa esiteltyjä ohjelmistoja.

Käytännössä 3D-kokoonpano-ohjeiden tuotantoon tarkoitettujen ohjelmistot sisältävät myös visualisointiominaisuudet, mutta niiden käyttämät tallennusformaattit eivät ole

4. Työohjeiden luontiprosessi

helposti muunnettavissa visualisointiohjelmistojen ymmärtämään muotoon. Esimerkiksi projektin demonstraatioissa käytetty 3DVIA Composer-ohjelmisto pystyy tallentamaan mallin 17 eri formaatissa, mutta näistä vain kaksi (VRML ja 3DS) ovat sellaisia, joita OpenSceneGraph pystyy lukemaan. Näissäkin formaateissa pystyy siirtämään ainoastaan mallien geometriat, ei esimerkiksi animaatioita.

XML:n yleistyminen tallennusformaateissa helpottaa kuitenkin tiedonsiirtoa visualisointiohjelmiin. 3DVIA Composerin oma XML-pohjainen formaatti esittää animaatiot muodossa josta ne voidaan helposti ohjelmallisesti lukea. Demonstraatioissa tiedonsiirto voitiin toteuttaa kaksivaiheisesti: geometriat siirrettiin 3DS-formaatin avulla ja animaatiot 3DVIA Composerin XML-formaatin avulla.

4.1.3 DITA: XML-pohjainen standardi ohjedokumentaation tuotantoon

DITA (Darwin Information Typing Architecture) on XML-pohjainen teknisen dokumentaation tuottamiseen, hallintaan ja julkaisemiseen tarkoitettu menetelmä. Menetelmä koostuu alun perin IBM:n kehittämästä, standardoidusta dokumenttirakenteesta ja työkaluista, joilla XML-pohjaiset dokumentit voidaan esittää erilaisissa ulkoasuissa. Nykyään DITA on OASIS-standardi.

Menetelmä muodostuu nimensä mukaisesti seuraavista asioista:

- Darwin: standardoituja rakenteita voidaan muokata ”periyttämällä” dokumenttirakenteet omiin tarpeisiin soveltuviksi.
- Information Typing: menetelmässä on standardoitu semantiikka dokumenttien sisältämälle tiedolle.
- Architecture: menetelmässä on määritelty perusarkkitehtuuri dokumenttituotantojärjestelmälle.

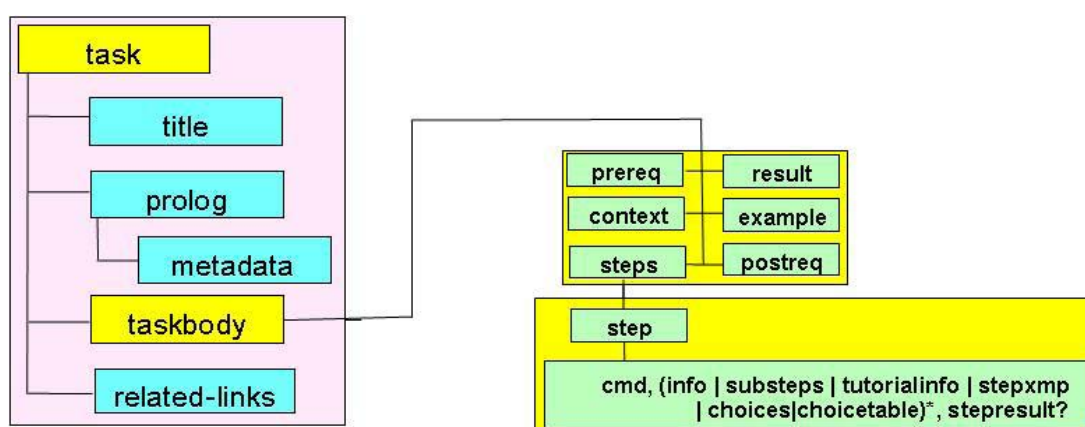
DITAn ajatus on jakaa dokumentaatio pieniin osiin (topiceihin), jotka ovat itsessään täydellisiä dokumentin palasia, eli niitä voi käyttää itsenäisesti eri dokumenteissa. Itsenäisyys tarkoittaa siis sitä, että topicia kirjoitettaessa ei saa tehdä mitään oletuksia muiden dokumentin osien suhteen.

DITAssa, kuten XML-pohjaisessa dokumentoinnissa yleensä, dokumenttien sisältö jaetaan pienempiin osiin, elementteihin, joiden nimet kuvaavat elementin sisältämää tietoa eivätkä sitä, miten sisältö esitetään esimerkiksi paperitulosteena. Tämä tarkoittaa sitä, että XML-editorit eivät ole koskaan ns. WYSIWYG-editoreja, mutta toisaalta tämä mahdollistaa sen, että dokumentit voidaan julkaista eri ulkoasuissa ja eri formaateissa käyttäen automaattisia konversioita. Elementtejä voidaan tarkentaa attribuuteilla, joilla esim. voidaan kertoa elementin tarkempi tyyppi tai antaa elementille tunniste.

DITA-julkaisut koostuvat joukosta DITA-topiceja, joita on kolmea tyyppiä: konsepti (*concept*), tehtäviä (*task*) ja viitteitä (*reference*). Konseptit ja tehtävät voivat sisältää

viittauksia toisiin topicihin, mutta samalla viittaukset luovat riippuvuuksia topicien välille. Viite-topiceja käytetään listaamaan viittauksia, joita ei haluta tehdä muiden topicien sisään.

Tehtävät (kuva 10) koostuvat otsikosta, yleiskuvauksesta (*prolog*), tehtävän rungosta (*taskbody*) ja tehtävään liittyvistä linkeistä. Tärkein osa on tehtävän runko, jossa varsinaiset ohjeet esitetään. Runko koostuu ennakkovaatimusten tai ennakkotoimenpiteiden kuvauksesta (*prereq*), taustatietojen kuvauksesta (*context*), tehtävän suoritusaskelista (*steps*) ja tehtävän suorituksen odotetun lopputuloksen kuvauksesta (*result*). Lisäksi tehtävän suorituksesta voidaan antaa esimerkkejä (*example*) ja kuvata jälkitoimenpiteet (*postreq*). Kaikki edellä mainitut elementit ovat vapaaehtoisia.



Kuva 10. Tehtävä-topicin rakenne.

Suoritusaskeleen kuvaus koostuu askeleiden kuvauksista (*step*), joita voi olla yksi tai useita. Suoritusaskeleen kuvaus alkaa lyhyellä, komentotyyppisellä ohjeella (*cmd*), josta voidaan antaa lisätietoa (*info*), ja askel voidaan jakaa aliaskeleisiin (*substeps*) jne.

Konseptit (*concept*) ovat ylätasoin rakenteeltaan samanlaisia kuin tehtävät, kuitenkin tehtävän runko on korvattu konseptin rungolla (*conbody*). Konseptin runko koostuu erilaisista tekstielementeistä, tärkeimpinä leipätekstikappaleet (*p* = paragraph), huomiotekstit, kuten varoitukset (*note*), kuvat, joita voi olla joko otsikoituja (*fig*) tai pelkkiä kuvia (*image*), sekä listoja, jotka voivat olla numeroituja (*ol* = ordered list) tai ilman numeroita (*ul* = unordered list).

Tehtävä- ja konsepti-rakenteita ei ole pakko käyttää, vaan koko teksti voidaan kirjoittaa pelkkänä ”leipätekstinä”, jolloin kirjoittaminen muistuttaa normaalia tekstinkäsittelyä. Tämä ei ole kuitenkaan suositeltavaa, koska DITAn (ja rakenteisen dokumentoinnin yleensäkin) perusajatus on se, että sisältörakenne ohjaa kirjoittajaa tekemään eri dokumenttimoduuleista myös sisällöllisesti samankaltaisia.

DITA-topicit tallennetaan XML-dokumentteina eli merkattuina tekstiedostoina. XML:ää voi periaatteessa tuottaa millä tahansa tekstieditorilla, mutta käytännössä kannattaa käyttää erikoistuneita XML-editoreja, jotka ohjaavat kirjoittajaa kirjoittamaan

4. Työohjeiden luontiprosessi

edellä kuvatun rakenteen mukaisia dokumentteja ja tarkistavat (validoivat), että lopputulos on varmasti standardoidun rakenteen mukaista.

Konsepti-demonstraatiossa DITA-standardia hyödynnettiin kirjoittamalla teksti-muodossa olevat ohjeet DITA-muodossa, jotka yhdistettiin 3DVIA Composerilla tuotetuihin animaatioihin lisätyn todellisuuden sovelluksessa. Samat ohjeet saatiin myös tu-
lostettua haluttuun ulkoasuun DITA Open Toolkitin pdf-konversion avulla.

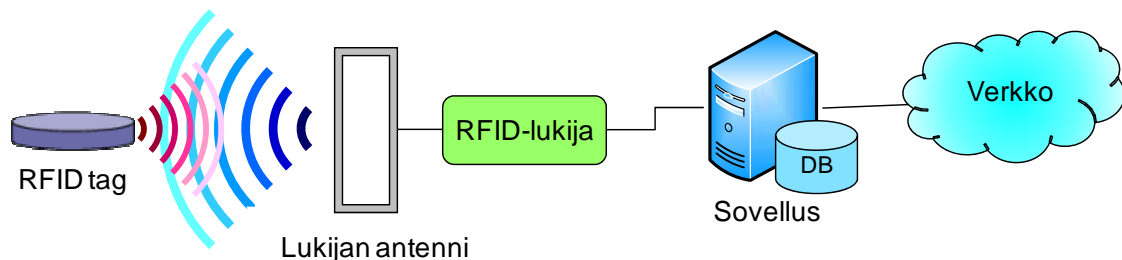
4.1.4 RFID

RFID (Radio Frequency Identification, Radiotaajuinen etätunnistus) sisältää antennin ja mikrosirun, jossa on yksilöllinen koodi. RFID-tagia voi verrata viivakoodiin, mutta sillä on selviä etuja viivakoodiin nähden. Viivakoodi luetaan valon avulla, joten lukijan on nähtävä viivakoodi. RFID-tagin lukemisessa käytetään sähkömagneettista säteilyä 100 kHz – 1 GHz taajuusalueella, jolloin RFID-tagia on tyypillisesti luettavissa ja kirjoitettavissa, vaikka itse RFID-tagia ei nähdä; esimerkiksi pakkauksen sisällä olevan RFID-tagin lukeminen onnistuu. Koteloitu RRID-tagia kestää hyvin säätä ja kolhuja sekä on helposti kiinnitettävissä sopivaan paikkaan tuotteessa.

RFID-tagin lukuetaisyys vaihtelee alle senttimetristä useaan metriin, joten lukija voidaan sijoittaa tarpeen ja tilanteen mukaan sopivaan paikkaan. RFID-tagista on myös aktiivinen versio. Se pystyy oman paristonsa turvin lähettämään tunnistensa ohella muutakin tietoa. Näihin tageihin on tyypillisesti liitettyä jotain mittausta tai seurantaa, kuten minimi- ja maksimilämpötilat, suhteellinen kosteus jne.

RFID-tagissa oleva tunniste on yksiselitteinen eli se yksilöi tuotteen. Tämä mahdollistaa tuotannossa yksilökohtaisen tuoteseurannan. Suomessa pyritään usein keskittymään yksilöllisiin tuotteisiin. Tarvittavat komponentit ja operaatiot voidaan kohdistaa RFID-tagin avulla niihin tuotteisiin, joihin ne kuuluvat.

RFID-järjestelmä sisältää tyypillisesti RF-tageja, antennia, lukijoita ja sovellusohjelman tietokoneessa (kuva 11).



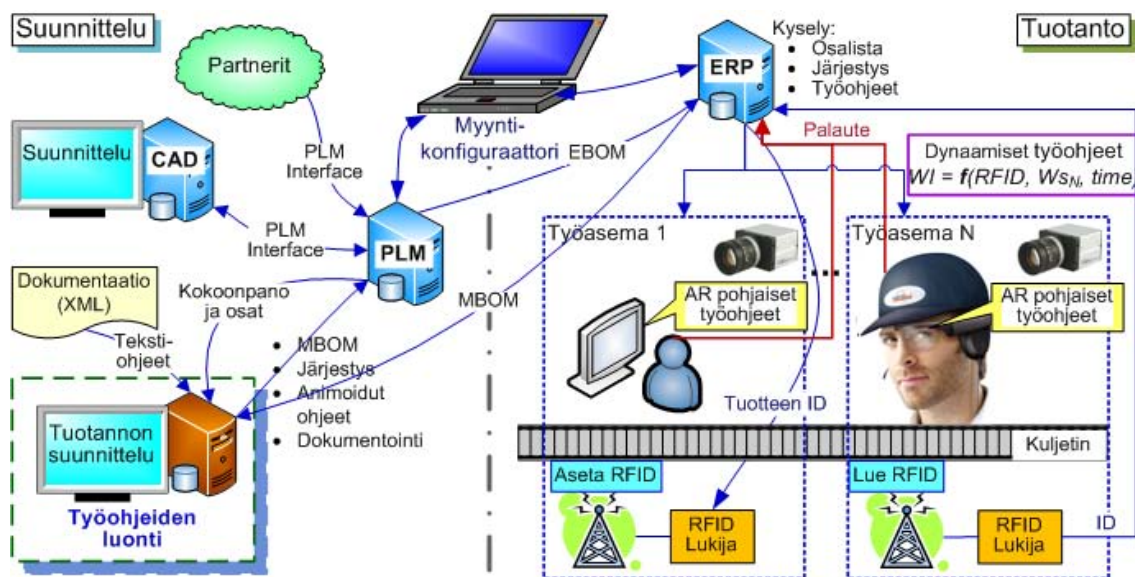
Kuva 11. RFID-järjestelmän periaatekuva.

4.2 Konsepti

Prodigi-projektissa kehitetty konsepti visuaalisten, lisätyn todellisuuden teknologiaa hyödyntävien työohjeiden tuottamiseksi on esitetty yleisellä tasolla (kuva 12). Konseptissa esitetään, kuinka 3D CAD -mallit, valmistuksen tuoterakenne (MBOM) ja XML-muotoiset ohjetekstit muunnetaan lisätyn todellisuuden ohjekäyttöliittymäksi, joka on tuote- ja valmistusvaihekohtainen. Konseptin tarkoituksena on lisäksi mahdollistaa työohjeiden tuotanto, päivitys ja palautetiedon lisääminen yritysverkostossa niin, että tiedon viittausten eheys säilyy koko tuotetiedon elinkaaren ajan.

4.2.1 Prosessi-integraatio

Työohjeet muodostuvat tiedosta, joka on syntynyt useissa eri prosesseissa tuotteen elinkaaren aikana. Ehdotetussa konseptissa suunnitteluosasto aloittaa työohjeiden tuotannon. Suunnitteluosasto myös luo kokoonpanon 3D CAD -mallit ja XML-dokumentin, joka määrittelee osien tekniset vaatimukset ja näiden linkityksen itse kokoonpanoon.



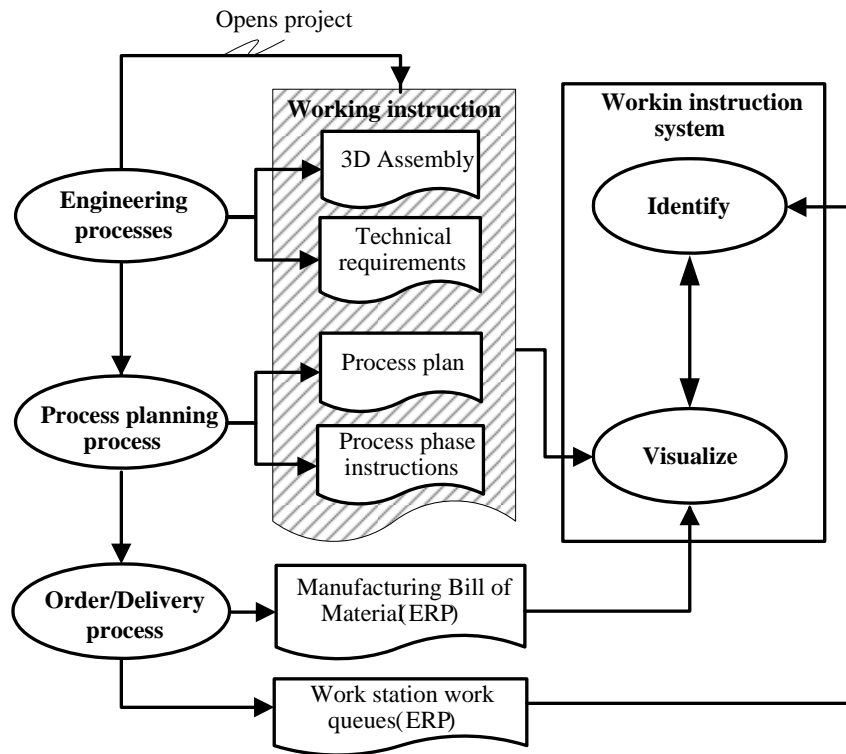
Kuva 12. Konseptin arkkitehtuurikuvaus.

Kokoonpanoprosessin suunnittelija animoi 3D CAD -malleihin perustuvat kokoonpanoanimaatiot, kirjoittaa tarvittavat tekstimuotoiset ohjeet ja linkittää tekstiohjeet ja animaatiot toisiinsa. Kokoonpanovaihekohtaiset ohjeet voidaan tallentaa animaation yhteydessä tai erillisenä XML-tiedostona. Työohjeet, jotka koostuvat 3D-animaatiosta ja mahdollisesta XML-tekstiohjeesta, tallennetaan dokumentinhallintajärjestelmään. Työohjeisiin liitetään ohjetta vastaavan tuotteen nimiketunniste viittaustiedoksi.

4. Työohjeiden luontiprosessi

Koska kokoonpanon kaikkia komponentteja ei määritellä täydellisesti suunnitteluvaiheessa, vaan vasta kun ostettavien komponenttien hankintapäätökset on tehty, lopullisissa ohjeissa pitää käyttää valmistuksen tuoterakennetta (MBOM) eikä suunnittelun tuoterakennetta (EBOM). Realististen visuaalisten ohjeiden luominen edellyttää luonnollisesti sitä, että komponenttitoimittajilta on saatavissa komponentin 3D CAD -malli ohjetta varten.

Valmistuksen tuotantotilaukset tallennetaan toiminnanohjausjärjestelmään, josta työohjejärjestelmä löytää kaikkien aikataulutettujen tilauksien tilausnumerot. Kokoonpanon alussa tilausnumero kirjoitetaan RFID-tagiin, joka kulkee tuotteen mukana koko kokoonpanoprosessin ajan. Tilausnumero toimii avaimena, jolla haetaan kokoonpanon työohjeet ja animaatiot. Visualisointiohjelma liittää valmistuksen osaluettelon komponentit ja tekniset tiedot 3D-animaatioihin. Prosessin kulku on kuvattu kuvassa 13.



Kuva 13. Työohjeiden valmistus ja jakelu.

5. Case 1: RFID-pohjainen järjestelmä turvaohjaamoiden kokoonpanolinjaan

Casen tavoitteena oli demonstroida tuotteiden tunnistamista RFID:n avulla kokoonpanolinjalla sekä tutkia, miten tuotannon eri tietojärjestelmistä voidaan hakea, yhdistää ja näyttää tarvittavat tiedot automaattisesti juuri oikeaan aikaan. Erityisesti etsittiin ratkaisua siihen, miten osalistat ja ohjeet voitaisiin näyttää kokoonpanosekvenssin mukaisessa järjestyksessä eri kokoonpanoasemissa voimakkaasti varioituvassa kokoonpanossa.



Kuva 14. Näkymä kokoonpanolinjalta.

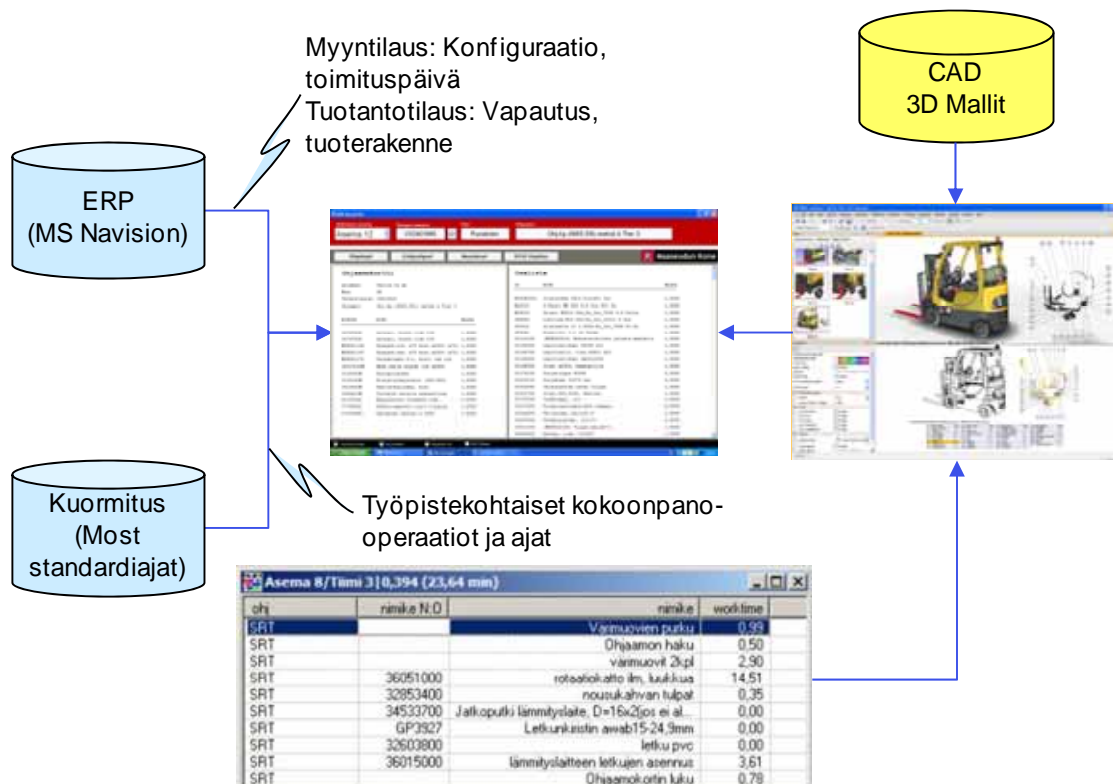
Turvaohjaamoiden kokoonpanolinja (kuva 14) koostuu yhdestätoista kokoonpanoasemasta ja kolmesta tarkastusasemasta, joita kaikkia valvotaan asemakohtaisella RFID-antennilla. RFID-tunnisteet on asennettu ohjaamoiden kokoonpanoalustoihin, jotka siirtyvät asemalta toiselle ja toimivat myös ohjaamoiden kuljetusalustoina ohjaamon loppuasiakkaalle. Jokaisella asemalla on myös PC-tietokone, jolle asennettu ohjelmisto kommunikoi RFID-lukijoiden ja tuotannon tietojärjestelmien kanssa. Kun ohjaamon

5. Case 1: RFID-pohjainen järjestelmä turvaohjaamoiden kokoonpanolinjaan

runko asennetaan kokoonpanoalustalle linjan alussa, sen RFID-tunnisteeseen kirjoitetaan sen koneen runkonumero, jolle ohjaamo on tilattu. Runkonumero on keskeinen identifiointivain kaikkeen kyseiseen tilaukseen liittyvään dataan. Ohjaamon saapuessa kokoonpanoasemasta seuraavaan RFID-tunnisteelta luetun runkonumeron ja aseman työvaihenumeron avulla voidaan yrityksen ERP-järjestelmän tietokannasta hakea kaikki tarvittava tieto.

ProDigi tuotannonopastusjärjestelmän toteutuksen kannalta oleellista tietoa tässä tapauksessa olivat seuraavat (kuva 15):

- Myyntitilaus, josta voidaan hakea työn alla olevan ohjaamon konfiguraatio eli ohjaamon asennettavat optiot.
- Tuotantotilaus, jonka alta tässä tapauksessa voidaan hakea sekä kyseisen ohjaamon kokoonpanopistekohtainen osaluettelo että valmistusajankohdat.
- Vaihekohtaiset kokoonpanosekvenssit ja työvaiheiden ajat. Tämän casen tapauksessa nämä tiedot olivat myös saatavilla tuotantotilauksen tunnisteiden avulla ERP:n tietokannasta, jonne ne oli tallennettu MOST-standardiaika-analyysin jälkeen.
- 3D-mallit kokoonpanosta työöhjeiden luontia varten.



Kuva 15. Opastusjärjestelmän tietolähteet.

5. Case 1: RFID-pohjainen järjestelmä turvaohjaamoiden kokoonpanolinjaan

Case-tutkimuksessa pystyttiin demonstroimaan, että RFID-tunnisteeseen tallennetun runkonumeron ja kokoonpanoaseman tunnistenumeron perusteella tietoja yhdistelmällä opastusjärjestelmässä voidaan esittää kokoonpanon suunniteltu sekvenssi ja sekvenssin jokaisen operaation standardiaika. Työohjeiden luonti 3D-kokoonpanomalleista demonstrointiin VTT:llä. Case-tutkimuksessa pystyttiin todentamaan, että ehdotettu ProDigi-konsepti voitaisiin toteuttaa teknisesti suurilta osin kyseessä olevassa yrityksessä.

Nykyisen kokoonpanojärjestelmän ominaisuuksien parantamiseksi projektissa tehtiin seuraavia toimenpiteitä:

1. RFID-järjestelmän luotettavuutta parannettiin sekä kirjoituksen että lukemisen osalta ohjelmistomuutoksien ja RFID-tunnisteiden ja -antennin uudelleen sijoittamisilla. Järjestelmän luotettavuutta testattiin useaan otteeseen, kunnes kirjoituksen ja lukemisen onnistumisprosentiksi saavutettiin 100.
2. Edelliseen kohtaan liittyen ohjelmistoon suunniteltiin selvät indikaatiot RFID-lukemisen ja -kirjoittamisen onnistumisesta järjestelmän käyttäjille. Lisäksi ohjelmistoon lisättiin mahdollisuus käyttää viivakoodijärjestelmää, jos RFID-järjestelmässä on tekninen häiriö.
3. Ohjelmistoon suunniteltiin myös takaisinkytkentä ERP-järjestelmän tietokantaan linjan reaaliaikaisen tilanteen seurantaan varten.

Kokoonpanon opastusjärjestelmään suunniteltiin projektin puitteissa myös seuraavat kehitysaskleet, jotka yritys voi halutessaan ottaa ProDigi-konseptin toteuttamiseksi:

1. Kokoonpanosekvenssin näyttö myyntioptioiden ja osalistojen lisäksi. (Kokoonpanosekvenssin haku ERP-järjestelmän tietokannan tauluista demonstrointiin.)
2. Kokoonpanosekvenssin näyttö ajastetusti käyttäen apuna standardiaikoja (demonstrointiin edellisen kohdan yhteydessä).
3. Work Instruction -ohjelmiston, kuten 3D VIA Composerin, käyttöönotto ja ohjeiden luonti kokoonpanosekvenssien mukaisesti.
4. Work Instruction -ohjelmiston ja 3D-mallien automaattisen synkronointi.
5. Work Instruction -ohjelmiston ja AR-sovelluksen linkitys projektissa suunnitellun funktiokirjaston avulla (demonstroitu VTT:llä).
6. AR-sovelluksen yhdistäminen nykyiseen kokoonpanon opastusjärjestelmään.

Kehitysaskelistasta kohdat 1 ja 2 olisivat toteutettavissa varsin helposti ja pienin kustannuksin ja toisivat mielestämme tärkeän lisäominaisuuden nykyiseen järjestelmään. Kehityskohdat 3–6 vaatisivat suurempia ja riskialttiimpia investointeja. Täydellisen ProDigi-konseptin käytännön toteutuksen ongelmiksi identifioitiin tässä tapauksessa seuraavat seikat:

5. Case 1: RFID-pohjainen järjestelmä turvaohjaamoiden kokoonpanolinjaan

1. AR-sovelluksen ja WI-ohjelmiston yhdistämiseksi ei ole olemassa kaupallista tuotetta, vaan tämä jouduttiin tekemään itse räätälöimällä. Jatkossa tämänkaltaiset räätälöinnit voivat johtaa yhteensopivuusongelmiin.
2. Work Instruction -ohjelmiston ja ERP-tietokannan kokoonpanosekvenssejä ei pystytty integroimaan, vaan kumpaakin jouduttaisiin ylläpitämään erikseen.
3. Palautetiedon tuonti Work Instruction -ohjelmistoon kokoonpanijoilta on mahdollista toteuttaa automaattisesti, vaikka se onkin mahdollista tehdä AR-ohjeille.
4. Konseptin vaatima tietotekninen toteutus on varsin monimutkainen ja hankalasti ylläpidettävä. Järjestelmä vaatii ylläpitäjän, jota normaalista tuotanto-organisaatiosta on vaikea löytää.

Case-tutkimuksen yhteydessä haastateltiin myös nykyisen opastusjärjestelmän käyttäjiä. Kyseisen tapauksen kohdalla voidaan esittää seuraavat havainnot:

- Linjakokoonpanotyössä, jossa linja on tasapainotettu standardiaikojen avulla, työntekijöillä ei ole aikaa etsiä tietoa, vaan kaiken tarvittavan tiedon tulee olla automaattisesti esillä. Tämä puoltaa mielestämme kokoonpanon opastusjärjestelmien ja niihin liittyvien prosessien kehittämistä.
- Kokeneet työntekijät eivät tarvitse yksityiskohtaisia ohjeita, vaan ennemminkin tietoa mahdollisesta muutoksesta totuttuun työtapaan tai käytettyihin komponentteihin.

Yhteenvetona case-tutkimuksesta voidaan todeta, että se saavutti asetetut tavoitteet. Työvaihemalli pystyttiin liittämään tuotannon reaaliaikaisiin tapahtumiin RFID-järjestelmän ja MOST-analyysin vaiheikamallinnuksen avulla. Toisaalta on huomattava, että case-tutkimuksen tulosta ei voida yleistää, vaan jokainen tapaus on lähtökohdiltaan erilainen.

6. Case 2: XML-pohjainen työohjeiden tuotanto

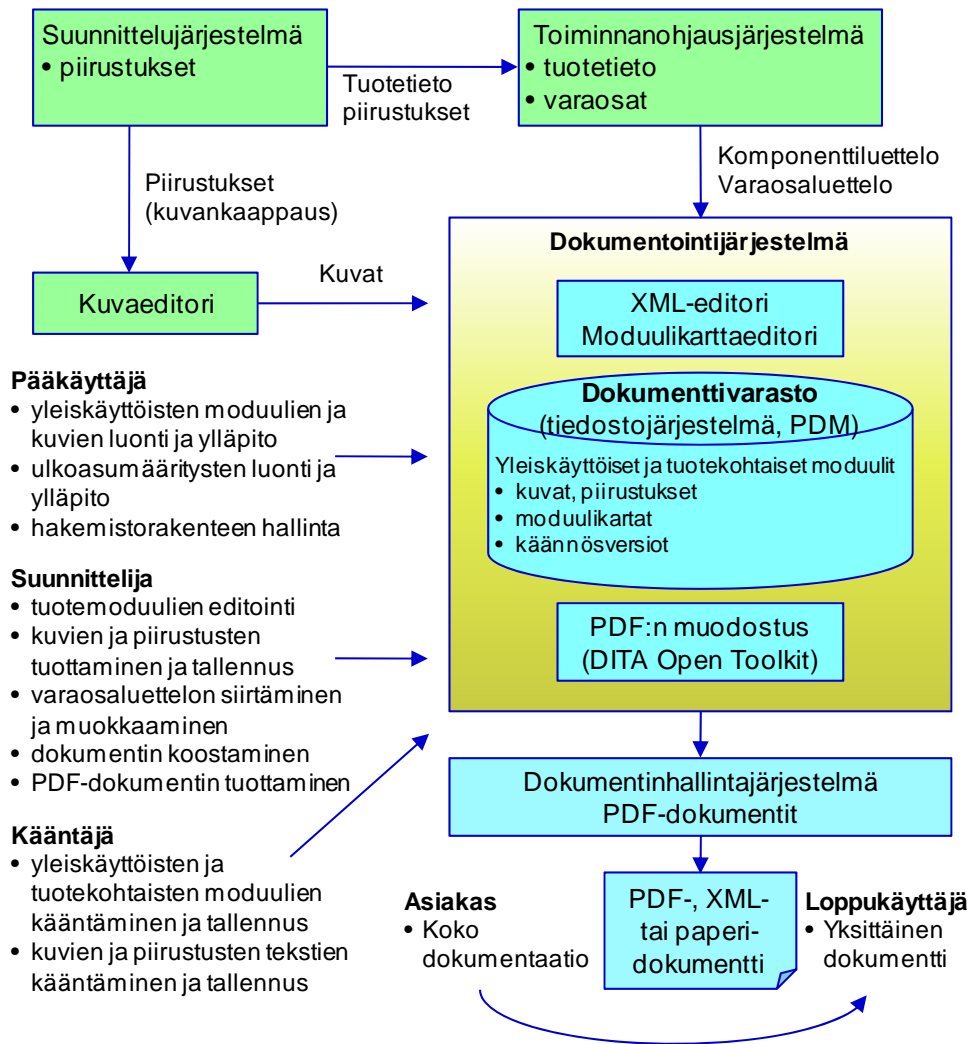
Case-tutkimuksen tavoitteena oli tutkia konfiguroituvan tuotteen ohjedokumenttien tuotantoa hyödyntäen suunnittelun tuoterakenteita ja myynnistä saatua asiakaskohtaista tuotekonfiguraatiota. Projektissa toteutettiin DITA-standardiin perustuva dokumenttien tuotantojärjestelmän prototyyppi, jolla pystytään tuottamaan konfiguroituvan tuotteen ohjedokumentaatio paperi- ja HTML-versioina. Prototyyppiä hyödynnettiin projektin konseptidemossa tekstimuotoisten ohjeiden sisällöntuotannossa.

Kuva 16 esittelee prototyypin toimintaperiaatetta. Suunnittelija kokoaa dokumentin XML-dokumenttimoduuleista, jotka voivat olla yleiskäyttöisiä (vakiotekstejä, kuvia ja graafisia elementtejä, esim. varoitustekstit tai logo) tai tuotekohtaisia dokumentin osia. Moduulit laaditaan XML-editorilla ja kootaan dokumentiksi moduulikarttaeditorilla. Näistä muodostetaan paperiversiota varten PDF-dokumentti. Dokumentin ulkoasu muotoillaan erikseen tyylitiedostoilla PDF:n muodostuksen yhteydessä. Valmiit dokumentit tulostetaan paperille tai toimitetaan sähköisesti asiakkaalle, joko PDF- tai XML-muodossa.

Dokumenttien rakenne perustuu DITA-standardiesitykseen. Prototyypissä dokumenttimoduulien ja moduulikarttojen tietovarastona käytetään palvelimen tiedostojärjestelmää. Mikäli dokumentti on tuotettava useilla kielillä, kääntäjä tekee käännösversiot dokumenttimoduuleista XML-editorilla ja tallettaa ne järjestelmän tietovarastoon. Tietovarastoon tallennetaan myös moduulien historiaversiot. Valmiit PDF-dokumentit talletetaan dokumentinhallintajärjestelmään. Projektin aikana kohdeyrityksessä käynnistyi PDM-implementointiprojekti, ja tulevaisuudessa PDM-järjestelmää voitaneen hyödyntää tietovarastona.

Case-tutkimuksessa toteutettiin prototyyppi, joka periaatteessa toteuttaa pk-yrityksen tarpeet modulaarisessa rakenteisen dokumentaation tuotannossa. Projektin aikana kohdeyritys aloitti PDM-implementaatioprojektin, joka toisaalta tukee uuden menetelmän käyttöönottoa pakottamalla suunnittelun jakamaan tuotteen järkevästi paloitelluksi tuoterakenteeksi, mutta toisaalta käytännön PDM-projektikiireet aiheuttivat sen, että projektin aikana ei päästy testaamaan prototyypin toimivuutta oikeassa käytössä.

6. Case 2: XML-pohjainen työohjeiden tuotanto



Kuva 16. DITA-pohjaisen dokumentaatiotuotannon prototyyppi.

7. Konseptidemonstraatio

Projektissa demonstroitiin ”digitaalisen tietoselkärangan” konseptia toteuttamalla kokonaisuus, jossa 3DVIA Composer- ja oXygen-ohjelmistoja (ks. luvut 3.3.1 ja 3.3.2) käyttäen luotiin kokoonpano-ohjeet 3D-animaatioina ja XML-tekstinä. Nämä kokoonpano-ohjeet muunnettiin aikaisemmassa projektissa (AugAsse-projekti, Salonen et al. 2009) toteutetun lisätyn todellisuuden kokoonpano-ohjeistusohjelman ymmärtämään muotoon. Kokoonpantavan tuotekonfiguraation tunnistamista varten RFID-tagin tunniste linkitettiin konfiguraatiota vastaaviin vaihekohtaisiin animaatioihin. Kokoonpanolinjalla saatiin avattua oikeaa konfiguraatiota vastaava lisätyn todellisuuden työpiste- ja vaihekohtainen ohje.

7.1 Sisällöntuotanto

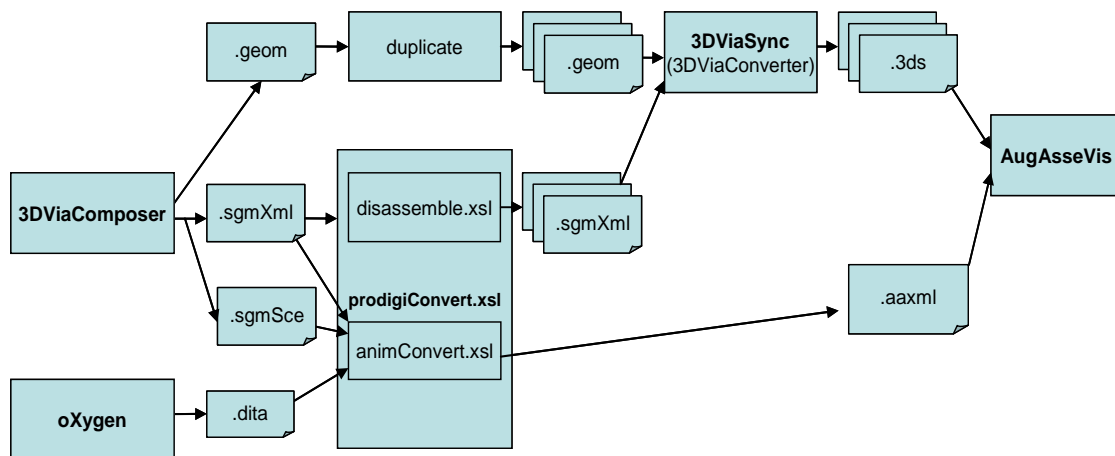
Lisätyn todellisuuden kokoonpano-ohjeet vaativat kohteen 3D-geometrian, kokoonpanojärjestyksen, animaatiopolut kullekin kokoonpanon komponentille ja mahdollisia lisäohjeita tekstimuodossa. 3D-geometriat ovat yleensä olemassa CAD-suunnittelun tuloksena. Visuaalisen ohjeistuksen tuotantoon tarkoitettujen ohjelmien, kuten 3DVIA Composer, pystyvät lukemaan yleisimpiä CAD-formaatteja ja tallentamaan ohjelmalla suunnitellut animaatiopolut. Samoja ohjelmia pystytään periaatteessa käyttämään myös tekstimuotoisen ohjeistuksen kirjoittamiseen, mutta se ei ole yleensä käytännössä järkevää.

Demonstraatiossa käytettiin AugAsse-projektissa tehtyä lisätyn todellisuuden visualisointiohjelmaa, joka perustuu VTT:llä tehtyyn AR-ohjelmistoon ja käyttää OpenSceneGraph-järjestelmää 3D-visualisoinnissa. Visualisointiohjelmisto saa syötteekseen joukon geometriatiedostoja OpenSceneGraphin ymmärtämässä muodossa sekä XML-tiedoston, joka sisältää jokaista tiedostoa vastaavat animaatiot, käytännössä tiedon siitä miten kappale siirtyy, skaalautuu ja pyörähtää tietyn ajan kuluessa. Lisäksi XML-tiedosto voi sisältää tekstimuotoisen ohjeen kutakin kokoonpanovaihetta kohden.

Konseptidemonstraatiossa testattiin (de facto) standardiesitysmuotojen ja kaupallisesti saatavilla olevien tuotteiden käyttöä AR-sisällön tuotannossa ja esitysmuunnoksissa.

Kuva 17 kuvaa koko muunnosketjun sisällöntuotannosta AR-visualisointiin.

7. Konseptidemonstraatio



Kuva 17. Muunnosketju sisällöntuotannosta visualisointiin.

CAD-malli siirrettiin Catiasta 3DVIA Composeriin STEP-muodossa. 3DVIA Composerissa on myös import-tuki Catian omalle tiedostoformaatile, jonka kautta malli olisi myös voitu siirtää. Tämän jälkeen geometriat järjesteltiin 3DVIA Composerissa sopiviksi osakokoonpanoiksi ja tehtiin animaatiot, jotka kuvaavat, miten kukin osakokoonpano siirretään oikeaan paikkaan kokoonpanovaiheessa. Animoitu malli tallennettiin 3DVIA Composerin omassa XML-formaatissa. 3DVIA Composer tallentaa XML:nä omiin tiedostoihinsa kokoonpanorakenteet (tiedostopäätte .smgXml), animaatiot ja muut aikariippuvat näkymän muutokset (tiedostopäätte .smgSce), kamerakulmat (tiedostopäätte .smgView) sekä geometriat binääritiedostona (tiedostopäätte .smgGeom).

AugAsse-projektissa toteutettu lisätyn todellisuuden ohjelma, AugAsseVis, pystyy lukemaan animaatiopolut omasta XML-tiedostostaan. AugAsseVisin käyttämä formaatti on käsitetasolla niin lähellä smgSce-tiedostoa, että animaatioiden konvertointi ohjelmien välillä onnistui melko yksinkertaisella XSLT-skriptillä (prodigiConvert.xsl kuvassa 17). 3DVIA Composerilla voi samanlaisen animaation toteuttaa monella tavalla, ja eri tavalla tehdyt animaatiot esitetään myös smgSce-tiedostossa eri tavoilla. Demonstraatiossa toteutettiin vain yksi animaation esitystapa. Kaikkien mahdollisuuksien toteuttaminen olisikin ollut hankalaa, koska eri vaihtoehtoja smgSce-tiedostoformaattissa ei ole dokumentoitu mitenkään.

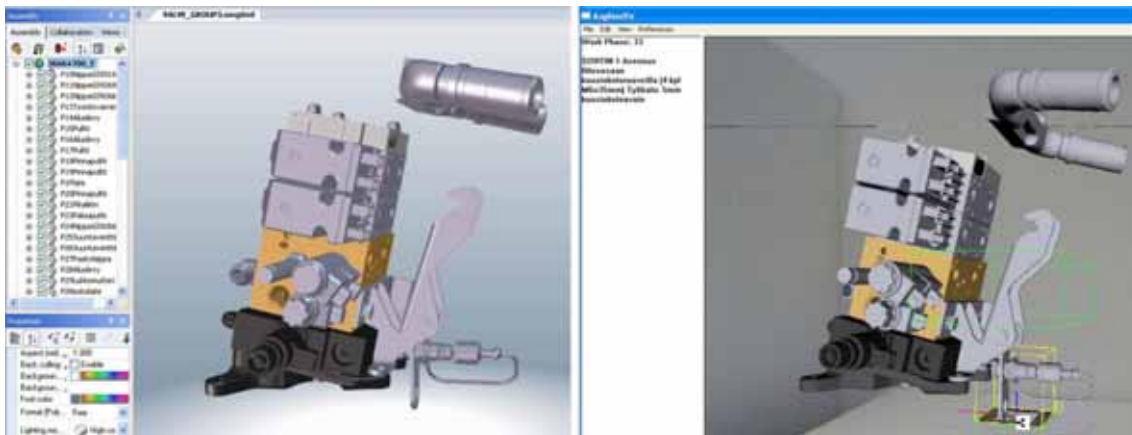
3DVIA Composerin geometria-tiedosto muunnettiin 3DS-formaattiin. 3DS on 3D Studio Max -mallinnusohjelman tiedostoformaatti, josta on tullut de facto -standardi 3D-visualisointiohjelmien tiedonsiirrossa. Koska AugAsseVis vaatii erillisen geometria-tiedoston jokaista kokoonpanoanimaatiota kohden, 3DVIA Composerin kokoonpanotiedosto jaettiin osiin niin, että yksi tiedosto sisältää yhden osakokoonpanon, ja tämän perusteella tehtiin geometriamuunnos 3DVIA Sync -ohjelmalla.

Tekstimuotoiset ohjeet tuotettiin oXygen XML -editorilla DITA-standardimuodossa ja ohje kohdistettiin oikeaan kokoonpanovaiheeseen antamalla standardin mukaiselle

ohje-elementille kokoonpanovaiheen numero tunnistetietona. Tunnistetietojen avulla XSLT-skripti yhdisti tekstiohjeet AugAsseVis-ohjelman animaatiokuvaustiedostoon.

7.2 Kokoonpano-ohjeiden esittäminen

Demonstraatioympäristössä tunnistetaan kokoonpano RFID-tunnisteen avulla ja käynnistetään automaattisesti oikeaa kokoonpanoa vastaava animaatio. Animaatio näytetään lisätyn todellisuuden näkymässä, jossa se voidaan esittää oikean kokoonpantavan tuotteen päällä videokuvassa. 3DVIA Composerilla tuotetut animaatiot voi myös tallentaa videotiedostoina tai animaatioita voi katsella erillisellä katseluohjelmalla, joten erilaisia kokoonpanoja voi harjoitella myös työpisteen ulkopuolella. Kuva 18 esittää visuaalista kokoonpano-ohjetta 3DVIA Composer-ohjelmassa ja AugAsseVis-ohjelmassa. 3DVIA Composer -ohjelma esittää kokoonpanoanimaation virtuaalimaailmassa ja AugAsseVis-ohjelma esittää saman animaation reaaliaikaisessa, kuvassa toimistopöydän päällä. Kuten kuvasta ilmenee, muunnoksessa pystyttiin siirtämään 3D-objektien materiaalitiedot ja animaatoradat.



Kuva 18. Visuaalinen kokoonpano-ohje: vasemmalla 3DVIA Composer -animaatio ja oikealla vastaava lisätyn todellisuuden animaatio AugAsseVis-ohjelmassa.

DITA-standardiesityksen käyttö mahdollisti sen, että samasta materialista voitiin tulostaa myös paperiohjeet (kuva 19). Paperidokumentissa käytetyt kuvat tallennettiin 3DVIA Composerista animaatioiden mallintamisen yhteydessä, ja DITA Open Toolkitilla ohjeet tulostettiin paperidokumentiksi. Ohjeiden kirjoittaminen XML-muodossa mahdollistaa erilaisten ohjeiden automaattisen konfiguroinnin erilaisia kokoonpanover-siötä varten.

7. Konseptidemonstratio



Kuva 19. Paperiohje.

8. Yhteenveto

Tuotannon opastusjärjestelmät ja tietosisällön tuottaminen ja hallinta ovat keskeisiä ongelmakohtia varioituvassa ja muuttuvassa tuotannossa. Olemassa olevat opastusjärjestelmät eivät ole integroituneita tuote- ja tuotantoprosesseihin, ja sisällön tuottaminen on yleisesti ottaen varsin järjestäytymätöntä. Lisäksi oikean ja oleellisen tiedon esittäminen oikeaan aikaan ei yleensä toteudu. ProDigi-projektissa käytettiin yleisesti teollisuudessa käytössä olevia teknologioita paremman opastusjärjestelmän tuottamiseen.

Projektin kokemukset osoittivat, että eri teknologioiden integroiminen on mahdollista, mutta vaatii edelleen usein tapauskohtaista räätälöintiä, mikä johtuu suurelta osin vaihtelevasta ohjelmistokannasta eri organisaatioissa ja edelleen järjestelmien puutteellisesta standardituesta. Kuitenkin voitiin todeta, että monella alueella on tapahtunut edistystä: kuten konseptidemonstratio osoittaa, CAD-ohjelmistoihin sisältyviä työohjeohjelmistoja voidaan kohtuullisen pienellä työllä integroida ulkopuolisiin visualisointiohjelmiin. Samoin automaattisesti konfiguroitavien tekstidokumenttien tuottaminen on tullut jo pk-yritystenkin ulottuville: DITA-standardia hyödyntävien työkalujen hinnat ovat pudonneet huomattavasti.

Projekti osoitti, että on mahdollista hyödyntää vakiintuneita teknologioita parempien työohjeiden tuottamiseen. Em. teknologioilla tuotetut tuotevariaatiokohtaiset ohjeet voidaan liittää oikeaan tuotteeseen oikeaan aikaan kokoonpanolinjalla, kuten projektin case-tutkimus osoitti. Tuotevariaation tunnistamiseen käytettiin RFID-tekniikkaa, joka osoittautui toimivaksi myös aidoissa tuotanto-olosuhteissa.

Tutkimuksessa selvisi myös, että pelkkä ohjeistuksen konfiguroitavuus tuotevariaation mukaan ei riitä, vaan ohjeistuksen täytyy varioitua myös käyttäjän ammattitaidon mukaan: aloittelija tarvitsee tarkemmat ohjeet kuin kokenut työntekijä. Rakenteisten tekstidokumenttien tuottamisessa tähän on olemassa vakiintuneet käytännöt, sen sijaan visuaalisten kokoonpano-ohjeiden työntekijäkohtainen variointi voi olla nykyisillä työkaluilla liian työlästä onnistuakseen käytännössä.

Lähdeluettelo

Daimler AG, CIRP Design Conference 2008.

Foffi 2010. FOFFI – Suomalaisen pk-valmistavan kappaletavarateollisuuden tutkimusagenda 2020. Finnish SME Manufacturing Industry Research Agenda 2020. Käynnissä oleva projekti. <http://www.teknologiateollisuus.fi/fi/toimialat/foffi-hanke.html>.

Salonen, T., Sääski, J., Woodward, C., Hakkarainen, M., Korkalo, O. & Rainio, K. Augmented Assembly – Ohjaava Kokoonpano. Loppuraportti. VTT, Espoo, 2009. 31 s. + liitt. 17 s. VTT Working Papers 138. 32 s. + liitt. 36 s. ISBN 978-951-38-7477-3. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2009/W138.pdf>.

Sääski, J., Salonen, T., Liinasuo, M., Pakkanen, J., Vanhatalo, M. & Riitahuhta A. Augmented Reality Efficiency in Manufacturing Industry: A Case Study. NordDesign 2008, Tallinn 21–23 August 2008. <http://innomet.ttu.ee/norddesign2008>.

Tekes. 2001. Keskiraskas ja raskas kokoonpanotoiminta 1998–2000. Teknologiaohjelmaraportti 2/2001, Loppuraportti. 131 s.

Whitney, D.E. 2004. Mechanical Assemblies: their Design, Manufacture, and Role in Product Development, Oxford University Press, New York. 544 s.

XML Author for DITA. <http://www.oxygenxml.com/>

VTT Working Papers

- 147 Juhan Viitaniemi, Susanna Aromaa, Simo-Pekka Leino, Sauli Kiviranta & Kaj Helin. Integration of User-Centred Design and Product Development Process within a Virtual Environment. Practical case KVALIVE. 2010. 39 p.
- 148 Matti Pajari. Prestressed hollow core slabs supported on beams. Finnish shear tests on floors in 1990–2006. 2010. 674 p.
- 149 Tommi Ekholm. Achieving cost efficiency with the 30% greenhouse gas emission reduction target of the EU. 2010. 21 p.
- 150 Sampo Soimakallio, Mikko Hongisto, Kati Koponen, Laura Sokka, Kaisa Manninen, Riina Antikainen, Karri Pasanen, Taija Sinkko & Rabbe Thun. EU:n uusiutuvien energialähteiden edistämisdirektiivin kestävyyskriteeristö. Näkemyksiä määritelmistä ja kestävyuden todentamisesta. 130 s. + liitt. 7 s.
- 151 Ian Baring-Gould, Lars Tallhaug, Göran Ronsten, Robert Horbaty, René Cattin, Timo Laakso, Michael Durstewitz, Antoine Lacroix, Esa Peltola & Tomas Wallenius. Wind energy projects in cold climates. 2010. 62 p.
- 152 Timo Laakso, Ian Baring-Gould, Michael Durstewitz, Robert Horbaty, Antoine Lacroix, Esa Peltola, Göran Ronsten, Lars Tallhaug & Tomas Wallenius. State-of-the-art of wind energy in cold climates. 2010. 69 p.
- 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 Sääski & Paula Järvinen. Työohjeiden laadintamenetelmiä kappaletavaratuotannossa. 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.