

Elli Morko

Konepaja-automaatio ja tuotantotiedostot

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

31.08.2018

Tekijä Otsikko	Elli Morko Konepaja-automaatio ja tuotantotiedostot
Sivumäärä Aika	32 sivua 31.08.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan koulutusohjelma
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka
Ohjaajat	BIM-asiantuntija Pasi Kivimäki Osastopäällikkö Pekka Toivanen Lehtori Mervi Toivonen
<p>Opinnäytetyössä selvitettiin Suomessa toimivien konepajojen automaatiotasoa sekä automatisoidun tuotannon vaatimia tuotantotiedostoja ja tiedonsiirtoa. Työn tavoite oli esitellä konepaja-automaation mahdollisuuksia ja rajoitteita, sekä vaikutusta rakennesuunnittelijan toimintaan ja yhteistyöhön konepajan kanssa. Työssä käsiteltiin myös tietomallintamisen roolia uudenlaisen tuotantodatan luomisessa sekä kasvavan tietomäärän hallinnointia rakennusprojekteissa.</p> <p>Työ toteutettiin selvitystyönä, jonka pohjana on käytetty kirjallisia ja sähköisiä lähteitä. Lisäksi vierailtiin kolmella konepajalla tutustumassa tuotantoon ja haastateltiin konepajatyöntekijöitä ja rakennesuunnittelijoita.</p> <p>Opinnäytetyössä huomattiin jonkin verran eroja konepajojen automaatiotasossa sekä tuotannonohjauksessa. Kuitenkin kaikilla pajoilla on käytössä tuotantoautomaation sovelluksia, ja kiinnostus investointeihin on suurta. Konepaja-automaation haasteen voidaan pitää kommunikointia konepajan vaatimuksista toimitettavan suunnitteludatan suhteen. Ratkaisuna tähän löydettiin konepajojen omat dokumenttiohjeet sekä valmiit asetuspaketit mallinnusohjelmiin tuotannonohjaustiedostojen luomiseksi.</p> <p>Työn tuloksena syntyi kirjallinen raportti, jonka sisältö toimii johdatuksena tietomallintamiseen ja automatisoituun konepajatoimintaan, sekä näiden vaatimaan dataan ja tietojenkäsittelyyn.</p>	
Avainsanat	konepaja, automaatio, tietomallintaminen, tuotantotiedosto, tuotannonohjaus

Author Title	Elli Morko Workshop Automation and Production Data
Number of Pages Date	32 pages 31 August 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Structural Engineering
Instructors	Pasi Kivimäki, BIM Specialist Pekka Toivanen, Department Manager Mervi Toivonen, Lecturer
<p>The purpose of this project was to research current technology in workshop automation and common data formats for guiding workshop machinery. This report also presents the use of Building Information Modeling program Tekla Structures for creating different files used in structural design and workshops.</p> <p>The methods used in this project were studying literary and internet references related to the subject and visiting three Finnish workshops to examine the current working methods in the field. Workshop employees and structural designers were interviewed about their work, communication during projects and their views of the possibilities of workshop automation.</p> <p>Differences were found in the working methods of the visited workshops. The automation degree differed but all workshops have some level of automated manufacturing in use. In general workshops seem to be interested in investing in additional automation in the future and believe it will improve work efficiency. The main challenge encountered during the project was communicating the exact requirements of the production data used in the workshop to the structural designer. The solution found for this is for the workshops to draw up document guidelines describing the production data needed in their manufacturing process. Pre-defined settings for creating the data in modeling software can also be released for the designers to use.</p> <p>The result of this project is a written report. The report serves as an introduction to the topic of workshop automation, production files used in manufacturing of steel parts and structures, and managing data created in modern Building Information Modeling software.</p>	
Keywords	workshop, automation, Building Information Modeling

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rakennesuunnittelu	3
2.1	Tietomallinnus	4
2.2	Konepajasuunnittelu	5
3	Tiedonsiirto	10
3.1	Tiedostomuodot	10
3.1.1	Osat: DSTV(.nc1), dxf, ja step (.stp)	10
3.1.2	Yhdistelmä- ja tuotantomallit: ifc, xml	14
3.1.3	Tietomalli lähtötietona	16
3.2	Toimituskäytännöt ja rajoitukset	17
3.2.1	Rakentamisen organisaatiot	17
3.2.2	Suuret tiedostot	18
4	Konepajatoiminta	20
4.1	Tietojenkäsittely	20
4.2	Tuotanto	21
4.3	Konepaja-automaatio	23
4.3.1	Osavalmistus	23
4.3.2	Kokoonpano	26
4.3.3	Prosessinhallinta	28
5	Yhteenveto	29
	Lähteet	31

Lyhenteet

BIM	Building Information Model. Tietomalli.
CAD	Computer-aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
CNC	Computerized Numerical Control. Työstökoneen (tietokoneohjattu) numeerinen ohjaus.
DSTV	Deutsche Stahlbau-Verband. Standardisoitu dataformaatti työstökoneen ohjaamiseen.
DXF	Data Exchange Format. Autodeskin kehittämä tiedostomuoto geometrian siirtämiseksi ohjelmasta toiseen.
IFC	Industry Foundation Classes. ISO 16739, Oliopohjaisen tiedonsiirron ISO-standardi.
XML	Extensible Markup Language. Standardoitu merkintäkieli, jota käytetään laajaasti tiedonvälityksessä ja dokumenttien tallennuksessa.

1 Johdanto

Nykyinen konepajatuotanto on monelta osin automatisoitua, osien valmistelusta kokoonpanojen hitsaamiseen. Asentamisen suunnittelussa ja seurannassa ollaan siirtymässä käyttämään piirustusten lisänä ja korvaajana 3D-malleja. Laajasti teräsrakenteiden suunnittelussa käytettävät tietomallinnusohjelmat lisäosineen mahdollistavat konepajalaitteiden käyttämän tuotannonohjauskoodin tuottamisen suoraan rakennesuunnittelijan laatimasta mallista.

Konepajojen työvälineet ja automaatiotaso määrittävät käytettävien tuotantotiedostojen laadun, mutta epäselvyydet nykyaikaisten konepajojen vaatimuksista aiheuttavat ylimääräistä työtä vanhentuneiden tuotantotietojen, kuten osakuvien, tuottamisessa sekä viivästyksiä kun kaikkea tarvittavaa dataa ei toimiteta heti projektin alusta alkaen. Konepajan ja suunnittelijan välisiä sopimuksia voidaan tarkentaa näiltä osin, jotta tarvittava tieto kulkee tehokkaasti eri osapuolten välillä.

Opinnäytetyön tilanteen Sweco Rakennetekniikka Oy:n teräsrakenneosastoilla työskennellään suurissa projekteissa, joissa yhteistyökumppanit ja sopimustyytit vaihtelevat projektista toiseen. Myös konepajojen vaatimukset vaihtelevat työtapojen ja käytetyn automaation mukaan, mutta suunnittelussa on helppo jämähtää vanhoihin tapoihin. Toisinaan myös tilaajan vaatimukset voivat pakottaa tuottamaan valmistuksen, asennuksen ja seurannan kannalta merkityksettömiä piirustuksia.

Suunnittelijoiden ja konepajojen yhteistyötä voidaan tehostaa selvittämällä konepaja-automaation mahdollisuuksia sekä vaatimuksia nyt ja tulevaisuudessa. Suunnittelijoille asti siirtyvä ymmärrys nykyaikaisesta konepajatuotannosta helpottaa ydintyöhön, suunnitteluun, keskittymistä ja uusien toimintatapojen juurtumista alan vakiokäytännöiksi.

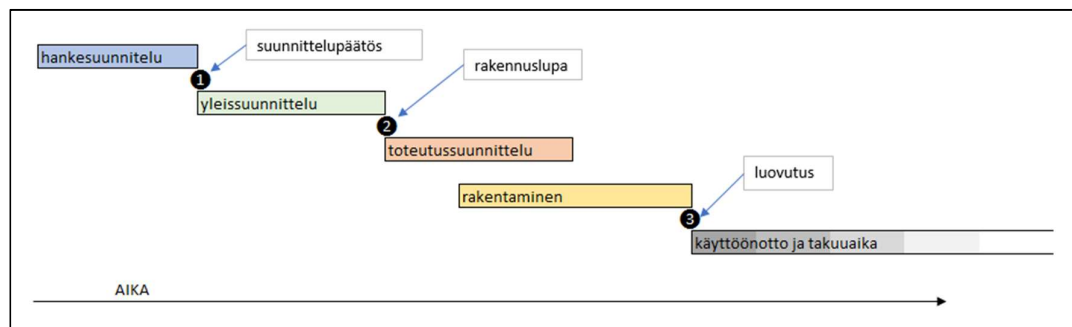
Opinnäytetyössä esitellään käytössä olevia tuotantotiedostoja ja niiden käyttöä nykyisen tasoisessa automatisoidussa konepajatuotannossa. Opinnäytetyön tavoitteena on selkeyttää suunnittelijan näkökulmaa nykyaikaisten konepajojen tuotantoprosesseihin nyt ja lähitulevaisuudessa.

Tutkimus toteutettiin haastattelemalla suomalaisten konepajojen edustajia sekä Swecon rakennesuunnittelijoita, lähteinä käytettiin myös rakennus-, konepaja- ja tietojenkäsittelyalan julkaisuja. Opinnäytetyön alkuvaiheessa käytiin eri konepajoilla ja selvitettiin toiveita yhteistyön suhteen sekä perehdyttiin nykyisin käytössä olevaan teknologiaan. Haastattelujen tarkoitus oli selvittää konepajojen mahdollinen kiinnostus automaation lisäämiseen, tarkat toiveet toimitettavan datan laadusta sekä viimeaikaisia kokemuksia suunnittelijoiden ja konepajan yhteistyöstä.

2 Rakennesuunnittelu

Opinnäytetyön tässä osassa tarkastellaan rakennesuunnittelijan roolia rakennushankkeen aikana ja nykyistä tekniikkaa mallintamisessa sekä piirustusten ja perinteisten konepajadokumenttien tuottamisessa.

Kuvassa 1 esitetään rakennushankkeen eteneminen päävaiheittain. Rakennesuunnittelijoita työllistävät yleis- ja toteutussuunnittelu. Yleissuunnitteluvaiheessa päätetään lopullinen rakennemalli ja suunnitellaan kantavien rakenteiden sijoitus ja mitat sekä seinä- ja pohjarakenteet. Lisäksi koordinoidaan tilankäyttöä muiden suunnittelualojen kanssa. Toteutussuunnittelussa tuotetaan rakentamiseen tarvittavat dokumentit, eli paikallavalujen ja elementtien raudoitus, teräskokoonpanojen liitokset ja muut yksityiskohtaiset suunnitelmat. Eri suunnittelualojen tulee toimia tiiviissä yhteistyössä ja verrata suunnitelmia toisiinsa, jotta rakentaessa vältetään ongelmia aiheuttavat yhteentörmäykset ja päällekkäisyydet.



Kuva 1. Rakennushankkeen eteneminen.

Rakenne- ja konepajasuunnittelun kannalta on huomattava, että rakentaminen aloitetaan ennen toteutussuunnittelun valmistumista, sillä aikataulullisesti ei ole taloudellista odottaa esimerkiksi kattoliitosten detaljeja, kun pohjarakenteiden valaminen ollaan suunnitelmien puolesta valmiita aloittamaan. Laajat projektit suunnitellaan ja toteutetaan lohkoittain, jolloin teräsrakennesuunnittelijoita työllistävät toteutussuunnittelun lisäksi edellisten lohkojen lisä- ja muutostyöt rakentamisen aikaisten havaintojen ja poikkeamien pohjalta.

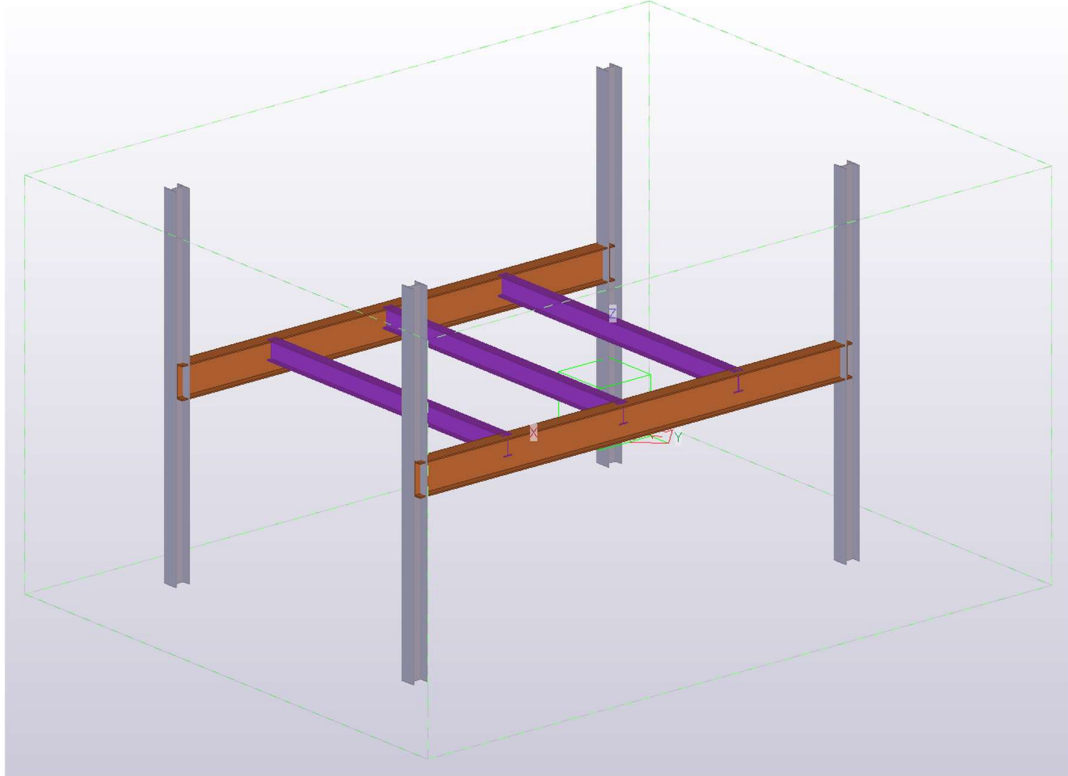
2.1 Tietomallinnus

Tietomalli (BIM, Building Information Model) on rakennushankkeesta luotava digitaalinen virtuaalimalli, johon sisältyy geometria- ja mittatietojen lisäksi laajasti muuta valmistuksen ja käytön suunnitteluun ja analysointiin tarvittavaa informaatiota. Kolmiulotteinen malli helpottaa eri alojen suunnitelmien yhteensovittamista sekä projektin ja eri toteutusvaihtoehtojen havainnollistamista. [Mitä on BIM.]

Eri alojen suunnittelijat tarvitsevat usein mallinnusohjelmistoiltaan erilaisia ominaisuuksia, minkä takia on hankkeen onnistumisen kannalta tärkeää varmistaa ohjelmien yhteensopivuus. Mallipohjaisessa suunnittelussa käytetään pääsääntöisesti IFC-standardin (Industry Foundation Classes) mukaisia mallinnusohjelmistoja, mutta tästä voidaan poiketa tilaajan luvalla. Mallinnusohjelma, sen versio sekä tuetut IFC-tiedostojen versiot sovitaan suunnittelun alussa ja mahdolliset muutokset projektin aikana tulee sopia ja testata ennen käyttöönottoa. [YTV2012 osa 1.] Vähimmäissuosituksena käytetyn IFC2x3-standardin mukaisia ohjelmistoja on markkinoilla ja käytössä nykyään paljon, mutta sertifiointikäytännön takia niiden tiedonsiirto-ominaisuudet eivät välttämättä vastaa toisiaan riittävällä tasolla. Siirtyminen laajempaan ja yhtenäisempään IFC4-standardiin on käynnistetty vuonna 2017. [Building Smart, b-Cert Documentation.]

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä Tekla Structures on tuotannonohjauksen kannalta erityisen käyttökelpoinen BIM-ohjelmisto, sillä se tukee mallin jakamista eri toimijoille sekä useita teräs- ja betoniteollisuudessa käytettyjä tuotannonohjausjärjestelmiä [Tekla Structures -yhteistyökumppanit]. Muut täysimittaiset BIM-ohjelmistot eivät sisällä työkaluja tuotannonohjauskoodin tulostamiseen, kun taas tuotannonohjauskoodia tuottavat 3D-mallinnusohjelmat eivät yleensä täytä IFC-standardin vaatimuksia tai rajautuvat vain joko betonin tai teräksen mallintamiseen [BIM Handbook chapter 7].

Rakennesuunnittelija mallintaa suunnittelukohteen rakenteet ja liitokset laskelmiensa pohjalta tarkkuudella, joka projektille on sovittu. Kuvassa 2 on esimerkki yksinkertaisesta teräsrakenteesta, johon on mallinnettu rakenneosat, mutta liitosdetaljit puuttuvat.



Kuva 2. Tekla-malli

Tähän rakennemalliin on mahdollista edelleen mallintamalla sisällyttää kaikki valmistamiseen tarvittavat tiedot, joiden lisäksi BIM-ohjelmistolla 3D-mallista luodaan tarvittavat piirustukset rakennuslupia, työmaata ja elementtivalmistajia varten. BIM-ajattelun yleistyessä piirustusten tarve on vähenemässä ja rakennushankkeen kaikki osapuolet siirtyvät etenevissä määrin tietomallien käsittelyyn ja tarkasteluun.

2.2 Konepajasuunnittelu

Konepajasuunnitteluvaiheessa rakenteen yksityiskohdat mallinnetaan laskentamallin mukaisin vahvuuksin ja liitosdetaljein. Suunnittelun tuloksena saadaan tarkka kuvaus rakenneosien mitoista ja yksityiskohdista. Monesta muusta maasta poiketen Suomessa myös teräsrakenteiden liitossuunnittelu ja detaljointi tehdään suunnittelutoimistoissa eikä konepajoilla. Tämän takia konepajat ovat vahvasti suunnittelijalta saatavan tiedon varassa. Perinteisesti konepajalle toimitetaan konepajakuvien lisäksi kohteen teräsrakenteiden toteutuseritelmä sekä materiaali-, kiinnike- ja osalistoja hankintoja ja tuotannon suunnittelua varten.

Taulukossa 1 esitellään yleisesti vaaditut konepajadokumentit, joita eri konepajat tyypillisesti tarvitsevat tuotantoa varten. Muut -sarakkeessa on lueteltu joitain yleisimpiä tiedostotyyppisiä, jotka täysimittaisen BIM-mallin lisäksi korvaavat perinteistä kuva- ja lista-pohjaista tiedonvälitystä.

Taulukko 1. Konepajadokumentit

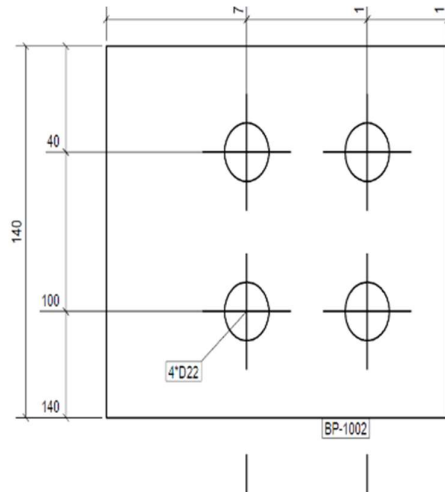
	PDF	EXCEL	DWG	MUUT
Teräsrakenteiden toteutuseritelmä	x			
Materiaalilista	(x)	x		.xsr
Kokoonpanolista	(x)	x		
Kiinnikelista	(x)	x		
Asennuskuva	x		x	.ifc .xml
Kokoonpanokuvat	x		x	.xml
Osakuvat	(x)			.Nc1 .dxf .stp

Teräsrakenteiden toteutuseritelmä on rakennusprojektin perusdokumentti, jossa eritellään projektin teräsrakenteiden suunnittelun ja valmistuksen vaatimukset. Toteutuseritelmästä selviävät rakenteen perustiedot, rakennemalli, toteutus- ja suunnitteluluokat sekä paljon tuotantoon liittyvää tietoa kuten käyttävät teräslaadut, tarkastuskriteerit ja pintakäsittelyluokat. Toteutuseritelmä laaditaan projektia aloittaessa, joten se on kaikkien osapuolien saatavilla hyvissä ajoin. Materiaalilista toimitetaan tuotannon alussa konepajan hankintoja varten. Listasta selviävät rakenteessa tarvittavien profiilien ja levyjen määrät sekä materiaalit. Näitä ja muita listoja ja dokumentteja toimitetaan ja revisoidaan toteutussuunnittelun ja rakentamisen edetessä.

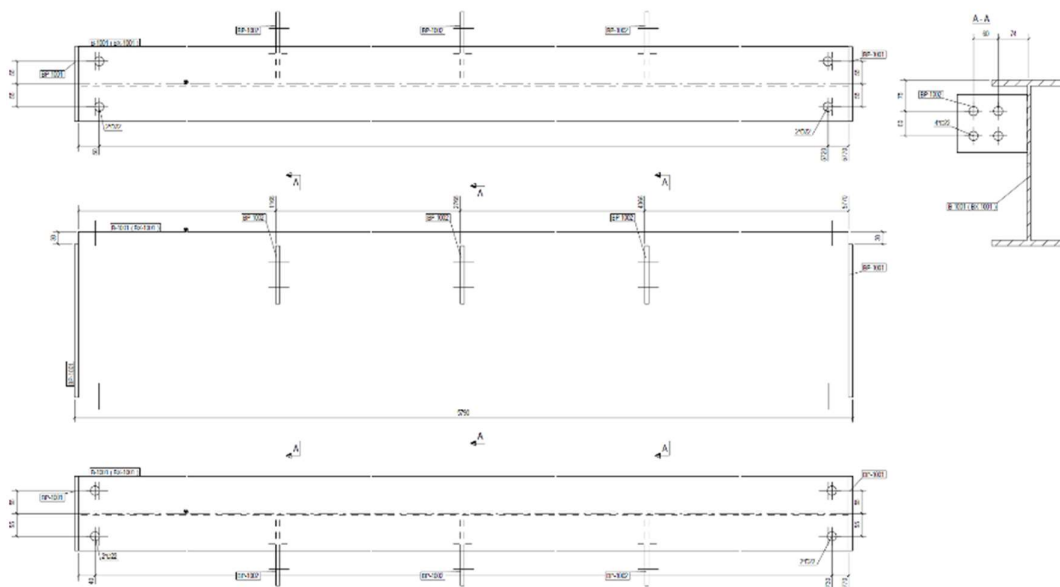
Osakuvassa (kuva 3) esitetään yhden osan mitat ja mahdolliset reiitykset. Kuvan taulukoissa näytetään kappaleen valmistusmäärä, materiaali, profiili, sekä kokoonpanot joita varten osaa valmistetaan. Samat tiedot löytyvät osatunnuksin yksilöityinä osalistasta. Tyypillisesti identtiset osat nimetään samalla osatunnuksella ja valmistetaan samalla kuvalla. [RUUKKI WSDG.] Jotkin konepajat ovat automaation myötä luopuneet osakuvien käytöstä tuotannossa, mutta useimmiten niitä vielä tarvitaan osien tarkasteluun ja tuotannon suunnitteluun.

Kokoonpanokuvassa (kuva 4) näytetään osien liittyminen toisiinsa. Kokoonpanokuvaan merkitään osat niiden osatunnuksilla, liitoshitsit ja yksiselitteiset mitat kokoonpanon val-

mistusta varten. Kuvassa esitetään lisäksi taulukoituna kokoonpanon osat, valmistustoleranssit, pintakäsittely sekä hitsausluokka ja yleishitsi, jota käytetään, kun kuvaan ei erikseen ole merkitty hitsiä. Kuten osat, myös identtiset kokoonpanot nimetään samalla tunnuksella ja valmistusmäärät merkitään muiden taulukkotietojen lisäksi kuvaan sekä kokoonpanolistoihin. [RUUKKI WSDG.] Kokoonpanokuvat ovat edelleen konepajoilla tiiviissä käytössä, sillä täysin robotisoitu hitsaaminen on rakennusosien kaltaisissa pienissä sarjoissa ja yksilöllisissä kappaleissa toistaiseksi hyvin harvinaista.

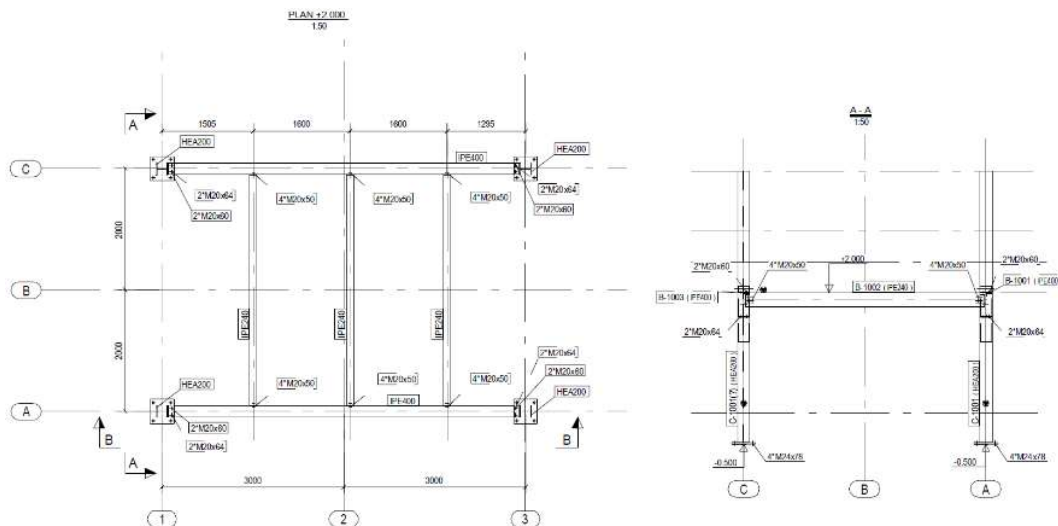


Kuva 3. Liitoslevyn BP-1002 osakuva.



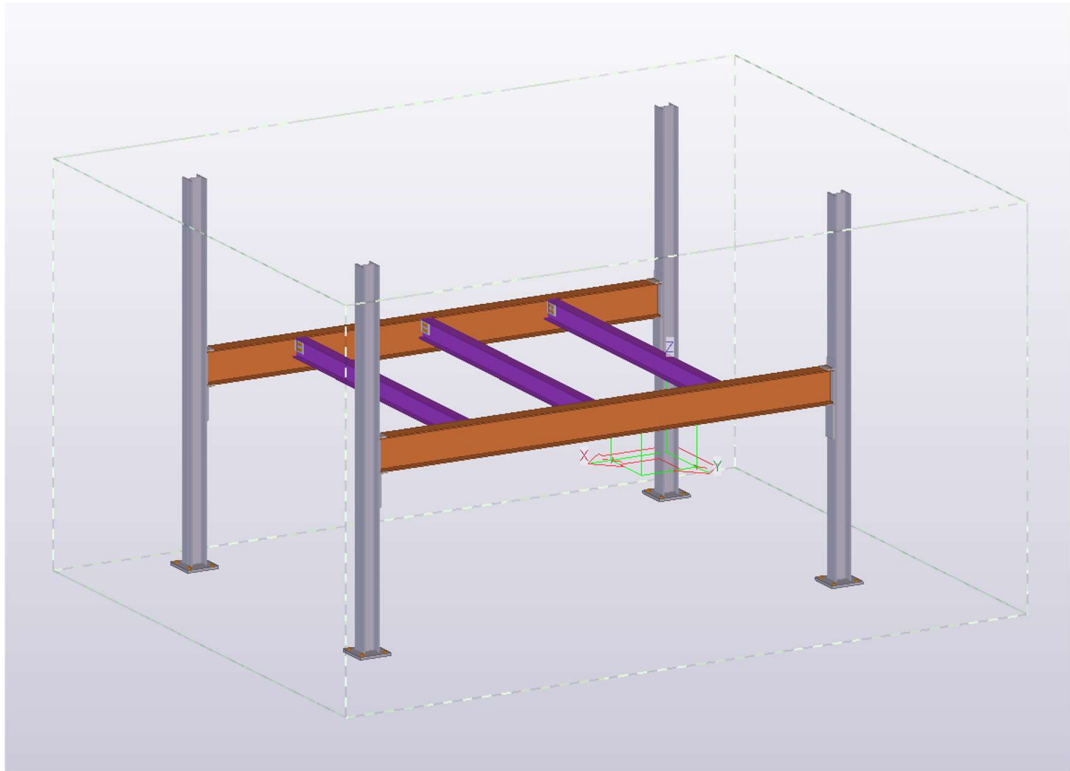
Kuva 4. Teräspalkin B-1001 kokoonpanokuva.

Asennuskuva (kuva 5) havainnollistaa teräsrakenteen kokonaisuutta ja asennustapaa. Kuvaan merkitään kokoonpanot pääprofileineen, liitoksissa käytetyt ruuvit ja hitsit sekä rakenteen paikka ja oleelliset mitat. Asennuskuvia korvataan ja täydennetään nykyään 3D-malleilla, mutta rakennushankkeen dokumentoinnin ja tiedonvälityksen takia asennuskuviakin vaaditaan toistaiseksi lähes kaikkialla.



Kuva 5. Teräsrakenteen asennuskuva.

Kaikki yllä esitetyt kuvat on tuotettu Tekla Structures -ohjelman piirustusominaisuuksilla loppuun asti mallinnetusta rakenteesta (kuva 6). Tämä on nopeampaa ja vähemmän virhealtista kuin aiemmin käytetty näkymä kerrallaan piirtäminen tietokoneella CAD-ohjelmalla (Computer-aided Design), mutta kuvien generointi, tarkistaminen ja tulostaminen vievät edelleen suunnittelijalta oman aikansa.



Kuva 6. Valmis Tekla-malli

Konepajasuunnittelu voidaan tehdä täysin tietomallipohjaisesti, mutta tavanomaisissa projekteissa esimerkiksi hitsien mallintaminen ja tarkistelu vaativat enemmän aikaa ja harjoitusta kuin tietojen muokkaaminen kuviin, eivätkä läheskään kaikki konepajat tois-
taiseksi käytä mallinnettua hitsitietoa tuotannossa. Täysin mallipohjaiseen suunnitteluun siirtymisen etuna voidaan kuitenkin nähdä tiedon keskittyminen, kun erityisvaatimukset ja poikkeukset opitaan kirjaamaan suoraan malliin eivätkä ne jää piiloon erikseen luota-
viin ja muokattaviin piirustuksiin.

3 Tiedonsiirto

Tässä kappaleessa esitellään rakennesuunnittelijan ja konepajan välistä tiedonvälitystä. Kappaleessa esitellään sekä tavanomaisimpia tiedostotyyppejä ja niiden erityispiirteitä, että tiedonvälitykseen liittyviä organisaatio- ja teknologiakysymyksiä.

3.1 Tiedostomuodot

3.1.1 Osat: DSTV(.nc1), dxf, ja step (.stp)

Osien valmistuksessa käytetään tuotantotiedostoja, joista yleisimmät ovat DSTV ja DXF. Tiedostot ovat yleensä osakohtaisia, eli yksittäisen tiedoston koko on pieni ja tiedostojen kokonaismäärä suuri. Näitä tiedostoja käytetään työstökoneiden ohjaamiseen konepajalla.

Tekla Structures -ohjelmalla, kuten muillakin tietomallinnusohjelmilla, on mahdollista tuottaa mallinnetusta rakenteesta tuotantotiedostoja. Multi converter -työkalulla voidaan tuottaa mm.

- STEP
- IGES
- STL
- DGN
- DWG ja
- DXF-tiedostoja.

Monipuolisuudesta huolimatta kaikkien tiedostojen luominen ei vielä onnistu aivan toivottu laajuudessa. Tämän takia tarvitaan uusia työkaluja tai vanhojen päivitystä, jotta konepajoille voidaan toimittaa tuotantotiedostot vaaditussa laajuudessa. Esimerkiksi esikorotettujen palkkien uuma- ja laippalevyt joudutaan konepajoilla piirtämään uudestaan milloin milläkin käytössä olevalla tekniikalla, alkaen käsin laskemisesta ja CAD-piirtämisestä ja päättyen konepajan omiin automaattisiin muuntotyökaluihin.

Yleisin tuotantotiedostotyyppi on DSTV, joka perustuu Saksan teräsrakentamisiiton (Deutsche Stahlbau-Verband) standardiin. Tekla Structures -ohjelmalla luodut DSTV-tie-

dostot ovat tiedostopäätteeltään.Nc1. Esimerkkikoodi 1 näyttää DSTV-tiedoston rakenteen, jossa ensin eritellään projekti, osan tunnus, materiaali ja ainevahvuus, joiden jälkeen esitetään levyosan mitat ja muoto (170 mm x 140 mm suorakaide) sekä reikien koko ja sijainti (4 x 22 mm reikää). [DSTV file description.]

```

ST
** BP-1002.nc1
  Konepajan Projektinumero
  1
  BP-1002
  BP-1002
  S235JR
  3
  PL10
  B
    170.00
    140.00
    10.00
    10.00
    10.00
    0.00
    78.500
    2.261
    0.000
    0.000
    0.000
    0.000

AK
  v    0.00u    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00
    170.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00
    170.00    140.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00
    0.00    140.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00
    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00

BO
  v    40.00s    40.00    22.00
  v    40.00s    100.00    22.00
  v    100.00s    40.00    22.00
  v    100.00s    100.00    22.00

EN

```

Esimerkkikoodi 1. Rei'itetyn levyn DSTV-tiedosto

DSTV-tiedostoon on mahdollista sisällyttää tieto osiin piirrettävistä ja leimattavista merkinnöistä. Tekla Structures -ohjelmassa merkinnät täytyy ennen tiedostojen luontia asettaa Contour marking -valikosta halutunlaisiksi. Kertaalleen huolellisesti tehdyt merkintäasetukset voidaan tallentaa myöhempää käyttöä varten ja siirtää sellaisenaan myös seuraaviin projekteihin.

Toinen osien valmistuksessa käytettävä tiedostotyyppi on DXF (Data eXchange Format). Tämä Autodeskin kehittämä Ascii-pohjainen DWG kuvaa kappaleen 3D-geometrian viivaesityksenä. Esimerkkikoodi 2 on lyhyt osa saman rei'itetyn levyn DXF-tiedostosta, josta yllä on esitetty koko DSTV. Koko osan kuvaaminen vie tässä yksinkertaisessakin tapauksessa 636 riviä. Tekstipohjaisuutensa ansiosta tiedosto on kevyt, ja geometrian

viivaesitys on hyödyllinen ominaisuus konepajan suunnitellessa graafisesti esimerkiksi levyosien tuotantoa.

```

...
POLYLINE
8
22
6
CONTINUOUS
62
7
66
1
10
0.000
20
0.000
30
0.000
70
1
0
VERTEX
8
22
10
40.000
20
111.000
30
0.000
42
1.00000000
0
VERTEX
8
22
10
40.000
20
89.000
30
0.000
42
1.00000000
0
SEQEND
0
...

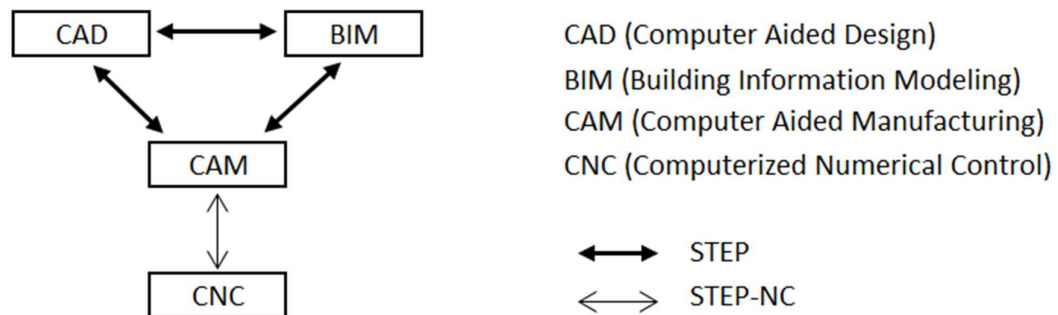
```

Esimerkkikoodi 2. Osa rei'itetyn levyn DXF-tiedostosta

Tekla Structures -ohjelmalla ei voi luoda DXF-tiedostoja suoraan mallista, vaan ne luodaan muuntamalla DSTV erillisellä työkalulla. Tämän takia DXF-tiedostoon ei saa sisällytettyä enempää informaatiota kuin DSTV-tiedostoon, vaikka se voisi teknisesti olla mahdollista.

Kolmas käytössä oleva tiedostotyyppi on STEP, jonka ominaisuudet määritetään ISO 10303 -standardissa. ISO 10303 standardisoi EXPRESS -mallinnuskielen, jota käytetään useilla teollisuudenaloilla tuotetiedon mallintamisessa. Standardin mukaista tietoa voidaan välittää eri muodoissa, käytännössä XML- tai STEP-tiedostoina. STEP-tiedosto voidaan luoda koko mallista tai jokaisesta osasta erikseen. Useimmiten tuotannossa vaaditut STEP-tiedostot ovat osakohtaisia. STEP-tiedostoja voidaan käyttää osatiedon siirtämiseen yksinään, tai sitä voidaan käyttää DSTV- ja DXF-tiedostojen lisänä silloin, kun nämä tiedostotyyppit eivät sovellu kaikkien rakenneosien kuvaamiseen. Kaarevat palikat ja putkien muotoillut päät ovat esimerkkejä osista, joiden kuvaamiseen STEP-tiedostoja käytetään, vaikka projektissa muuten käytettäisiin valmistustietona DSTV- ja DXF-tiedostoja.

STEP-tiedostoista on johdettu yksittäisten kappaleiden tuotantotiedon siirtämiseen erillinen STEP-NC -tiedostotyyppi, jolla ohjataan CNC-työstökoneita (kuva 7). STEP-NC eroaa vanhemmasta ISO 6983-tuotannonohjausstandardista siinä, että vanhan standardin mukainen tuotannonohjaukoodi ohjasi laitteiden työstöpäitä ottamatta kantaa työstettävään kappaleeseen, kun taas STEP-NC sisältää tiedon tehtävistä työstöoperaatioista suhteessa työstettävään kappaleeseen. [The STEP-NC AP238 Standard.]



Kuva 7. STEP- ja STEP-NC -tiedostojen rajapintoja.

Tekla Structures -ohjelmalla voidaan luoda STEP-tiedostoja mallinnetuista rakenteista käyttämällä Multi converter -työkalua. Ensin työkalu luo valituista osista IFC-tiedostot, joista se muokkaa STEP-tiedostoiksi. Tämän lisäksi voidaan käyttää muita IFC-STEP -kääntäjiä, joita on kehitetty näiden toisiinsa liittyvien ISO-standardisoitujen tiedostomuotojen kääntämiseen.

3.1.2 Yhdistelmä- ja tuotantomallit: ifc, xml

Konepajan toimintaa voidaan ohjata osakohtaista tietoa laajemmassakin mittakaavassa. Rakenne- ja konepajasuunnittelun tietomallista voidaan tuoda osakohtaisen informaation lisäksi koko mallin geometriaan ja projektidataan liittyvää tietoa. Osien lisäksi konepajalla voidaan siis tarkastella esimerkiksi kokoonpanoja ja asennettavia kokonaisuuksia, sekä seurata ja päivittää aikataulua toteutuneiden tehtävien pohjalta. Tällaista tuotannon tarpeisiin luotua tietomallia kutsutaan tuotantomalliksi. Lähtömallista tuodun tiedon päälle voidaan tuotantomallissa lisätä ja muokata valmistukseen tarvittavaa tietoa. Esimerkiksi kokoonpanojen lopullinen, työstökoneita ohjaava hitsimallinnus voidaan tehdä tuotanto-ohjelmistossa konepajalla.

Mallitiedon viemiseen ohjelmasta toiseen on käytössä kaksi tiedostotyyppiä, IFC ja XML. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa käytetty IFC on standardisoitu ja siten avoin rajapinta, joka on laajasti käytössä yritysrajat ylittävässä tiedonsiirrossa. IFC on selvästi eniten käytetty tiedostotyyppi eri suunnittelualojen tietomallien yhteensovittamisessa ns. yhdistelmämalliksi törmäystarkasteluja ja työn koordinoitua varten. Yksityiskohtaisempaa tietoa vaativissa tuotannonohjaussovelluksissa IFC ei kuitenkaan ole riittävä tiedonsiirtomuoto, vaan tuotannonohjaus- ja tuotantoautomaatio-ohjelmistot käyttävät omia XML-pohjaisia (eXtensible Markup Language) tuotantotiedostojaan. XML-merkintäkieli on yksinkertainen, ISO8879-standardin mukainen tekstipohjainen formaatti. Sen tarkoitus on toimia joustavana ja tarpeisiin muokattavana alustana tiedonsiirrossa eri osa-alueilla, joista yksi sovellusala on siis teräsrakennetuotannon tiedonsiirto ja tuotannonohjaus. [Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition).]

Opinnäytetyötä tehdessä perehdyttiin erityisesti ranskalaislähtöisen yrityksen Steel Projects XML-tiedostoihin, koska yrityksen tuotannonohjausohjelmistoa käytetään yhdellä opinnäytetyössä tarkastellulla konepajalla. Yritys valmistaa terästuotannon tuotannonohjausohjelmistojen avulla, joiden avulla voidaan hallita koko tuotantoketjua projektisuunnittelusta valmistukseen ja asennustöihin. Esimerkkikoodi 3 kuvaa osia samasta reikälevystä kuin aikaisemmatkin koodit. Koodissa nähdään XML-koodin HTML:ää muistuttava puurakenne, jossa materiaali-, geometria-, työstö- ja muut ominaisuudet ryhmitellään aloitavien (esim. <Part>) ja päättävien (esim.</Part>) otsikoiden alle.

```
<Part>
  <MasterPart>BX-1001</MasterPart>
  <PartName>BP-1002</PartName>
  <Quantity>&gt;</Quantity>
  <Profile>PL10</Profile>
```



```

        <Z>u*|N</Z>
    </Point1>
    <Point2>
        <X>KW,</X>
        <Y>?h</Y>
        <Z>u*|N</Z>
    </Point2>
    <Point3>
        <X>KU&amp;</X>
        <Y>Ma</Y>
        <Z>u*|N</Z>
    </Point3>
</Holes>

...

</Part>

```

Esimerkkikoodi 3. Osia rei'itetyn levyn Steel Projects XML-tiedostosta

XML voidaan luoda Tekla Structures -ohjelmasta Steel Projectsin omalla lisäosalla. Tällöin on yleensä tarkoituksenmukaista luoda yksi tiedosto kaikista samaan aikaan lähetettävistä kappaleista, eikä jokaisesta yksittäisestä kappaleesta erikseen. Tämä xml-tiedosto toimii siis tuotantomallina, johon voidaan automatisoidusti viedä, päivittää ja lukea tietoa esimerkiksi materiaalmääristä, osien valmiusasteesta tuotantolinjalla sekä monista muista tuotantoon liittyvistä tiedoista. [Features, Steel Projects.]

Rakenteiden mallintamisessa Tekla Structures -ohjelmalla erillistä tuotantomallia varten tulee kiinnittää huomiota osien muokkaamiseen ja luomiseen. Automaattiset tuotannon-ohjausjärjestelmät ja muutkin ohjelmien väliset rajapinnat seuraavat osien ja kokoonpanojen muutoksia osa-ID:iden perusteella. Tämä ominaisuus on jokaiselle mallinnetulle osalle yksilöllinen, ja kadotetaan mikäli osa poistetaan mallista. Vaikka osat ja kokoonpanot mallinnettaisiin uudelleen täsmälleen samalaisina malliin, voidaan tuotannossa osat tulkita täysin uusiksi ja menettää kaikki konepajan puolella tehty detaljointi, valmistelu ja mahdollisesti tulkita virheellisesti jo valmiit osat ja kokoonpanot ylimääräisiksi. [Model sharing toiminnallisuus, Sweco.]

3.1.3 Tietomalli lähtötietona

Tietomallia voidaan käyttää konepajalla lähtötietona itsessään. Eri konepajojen tavat hyödyntää tietomalleja valmistuksen tukena vaihtelevat suuresti, joillain pajoilla valmistus voidaan suunnitella ja toteuttaa täysin mallin pohjalta ja toisilla taas laitteisto ja työtavat eivät tue tietomallin käyttöä juuri mihinkään. Tällöin tietomalliin olemassaoloon tukeutuminen ja selkeiden valmistusdokumenttien laiminlyönti aiheuttaa kaikille osapuolille

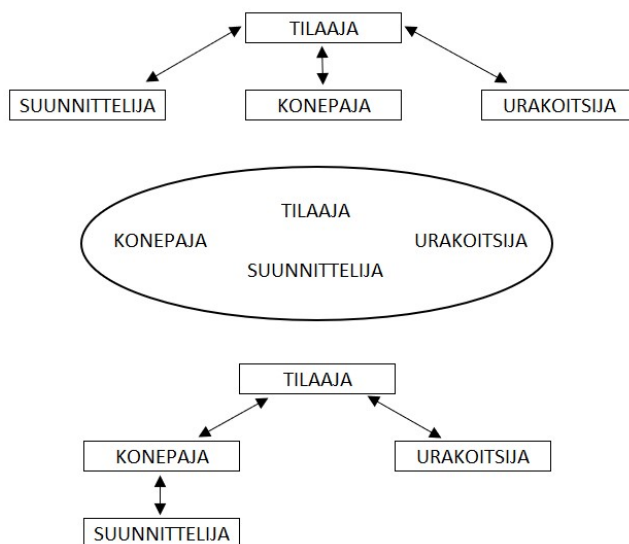
lähinnä harmia ja turhaa ajankäyttöä, kun konepaja joutuu ihmettelyn jälkeen kääntymään suunnittelijan puoleen epäselvissä tapauksissa.

Kansainvälisissä projekteissa koko tietomalli luovutetaan usein tilaajan käyttöön, joka voi toimittaa sen tarvittavassa laajuudessa edelleen konepajalle. Tietomallia voidaan käsitellä myös nykyaikaisten pilvipalveluiden, kuten Trimble Connect, avulla. Tekla Structures -mallien jakamisesta ja käsittelystä on kerrottu tarkemmin kohdassa 3.2.2 Suuret tiedostot.

3.2 Toimituskäytännöt ja rajoitukset

3.2.1 Rakentamisen organisaatiot

Suunnittelija rooli rakennushankkeen organisaatiossa voi vaihdella projektista toiseen (kuva 8). Tavanomaisessa tapauksessa tilaaja valitsee urakoitsijan ja suunnittelijan, ja hankkeen edetessä joko tilaaja tai urakoitsija valitsee alihankkijat konepaja mukaan luken. Haastavammissa kohteissa myös Suomessa yleistyy allianssimalli, jossa projektin toteuttajat valitaan aikaisessa vaiheessa ja koko projektiorganisaatio toimii yhteistyössä alusta alkaen. Teräsrakennesuunnittelu voi saada työtä myös konepajojen tilauksesta, jos rakennushankkeen tilaaja tai urakoitsija on tilannut konepajalta valmistuksen lisäksi myös konepajasuunnittelun.



Kuva 8. Esimerkkejä organisaatiomalleista.

Organisaation rakenne vaikuttaa suunnittelijan ja konepajan väliseen kommunikaatioon. Konepajan toiveita ja työskentelytapoja on mahdotonta ottaa suunnittelussa huomioon, jos pajaa ei suunnitteluvaiheessa ole vielä valittukaan. Sopimuksien ketjuttaminen voi pahimmillaan johtaa tilanteeseen, jossa teräsrakennesuunnittelija ja konepaja eivät saa kommunikoida suoraan keskenään, vaan kaikki yhteydenpito tapahtuu tilaajan kautta. Tämä hidastaa kommunikaatiota ja altistaa väärinymmärryksille, kun viestit kulkevat ylimääräisen osapuolen kautta. [Karhu, Normek.]

3.2.2 Suuret tiedostot

Suuret rakennushankkeet ja niiden suunnitelmat sisältävät valtavasti tietoa, jonka käsittelyn ja osapuolille toimittamisen tulee olla suunniteltua ja hallittua. Pilvessä toimivat projektipankit ovat rakennusalalla laajasti käytetty tiedonsiirtokeino, sillä niiden ominaisuudet mahdollistavat suuren tietomäärän käsittelyn ja revisioiden järkevän hallinnan. Jotkin projektipankit ovat käytännössä lähinnä piirustus pohjaisen suunnittelun jatkeita, ja niitä käytetään PDF- ja DWG-muotoisen piirustus- ja dokumenttiedon välittämiseen.

Tietomallintava suunnittelu ja tuotanto ovat luoneet uusia pilvipohjaisia tiedonvälitystapoja, joissa manuaalisesti päivitettävien piirustusten sijaan osakohtaista informaatiota muokataan ja siirretään yksilöllisen ID:n perusteella. Opinnäytetyötä tehdessä tutustuttiin Trimble Connect -palveluun, joka toimii tällaisena uuden polven tietopankkina, johon projektin osapuolet voivat tallettaa tietoa ja rajata niiden käyttöoikeuksia sopimusten mukaan. Tällainen projektipankki mahdollistaa tuotantotiedon linkittämisen suoraan objekteihin. Esimerkiksi osien ja kokoonpanojen tuotantotiedostot ja -piirustukset voidaan liittää tietopankkiin, jossa on myös IFC-malli koko projektista. Tällöin tuotantotiedot voi etsiä käyttöönsä listojen sekä ID:n tai osatunnuksen lisäksi myös 3D-mallia selaamalla.

Koko tietomallin jakaminen konepajan ja muiden toimijoiden käyttöön on mahdollista. Tekla Structures -malli voidaan helpoimmin jakaa eri osapuolten käyttöön Tekla Model Sharing -toiminnallisuudella. Tällöin jokaisella käyttäjällä on oma lokaalimalli, johon omat mallinnukset ja muokkaukset tehdään. Nämä muutokset kirjoitetaan erillisellä komenolla pilvessä sijaitsevaan mastermalliin, josta myös muiden tekemät muutokset luetaan takaisin omaan lokaalimalliin. Model Sharing -malliin voidaan antaa sekä muokkausoikeuksia sekä pelkkiä katseluoikeuksia. Model Sharing on korvannut aiemmin käytössä olleen Multiuser -mallin, jossa useampi käyttäjä tallensi muutokset suoraan samaan tietomalliin. Muutoksen hyötyjä ovat muun muassa:

- omalla koneella sijaitsevan mallin avaamisen ja tallentamisen nopeus
- mastermallin synkronoinnin nopeus, kun pilveen viedään vain muuttuneet tiedot osa-ID:n perusteella eikä koko mallia
- vanhojen malliversioiden säilyminen pilvessä, josta niitä voidaan tarkastella ja virhetilanteessa palauttaa
- mahdollisuus jakaa ajantasainen malli muokattavaksi ja katseltavaksi myös ulkopuolisille.

Kuten tietomallintamisen yleisesti, myös Model Sharing vaatii suurissa projekteissa tarkkaa numerointisuunnitelmaa ja riittävää mallinnuskuria, jotta ongelmilta vältytään. Automatisoidun tuotannon näkökulmasta suurena riskinä on osien täydellinen poistaminen, joka tuottaa ongelmia osalD:n poistumisen takia, vaikka alkuperäisen tilalle mallintaisi heti täysin vastaavan kappaleen. [Model sharing toiminnallisuus, Sweco.] Lähtökohtaisesti Model Sharing -mastermalli sijaitsee Trimblen palvelimilla, mutta myös oman palvelimen pystyttäminen on mahdollista, jos esimerkiksi tietoturva aiheuttaa projektissa huolta [Tekla Model Sharing on-premises server installation and management guide].

Tietomalli voidaan luovuttaa myös pakattuna tiedostona sähköpostitse, jos malli ei ole erityisen suuri. Tällöin mallikansiosta valitaan lähetettävät tiedostot, yleensä varsinaisen mallitiedon sisältävä .db1 ja mallintamisessa käytetyt profiili-, materiaali- ja muut tietokannat. Lähetettävien tietokantojen mukana voidaan luovuttaa tavallisten, mallin tarkasteluun tarvittavien tietojen lisäksi yrityksen omia komponentteja ja asetuksia. Yritykset tyypillisesti välttävät oman kehitystyönsä, kuten komponenttien ja ympäristöjen, jakamista, sillä nämä ovat usein vaatineet paljon työtä ja niiden luovuttaminen muiden käyttöön ilmaiseksi ei ole juuri koskaan tarpeellista mallin luettavuuden tai muokattavuuden mahdollistamiseksi muille toimijoille.

4 Konepajatoiminta

Teräsrakenteita valmistetaan Suomessa monilla konepajoilla, joiden koko, tuotantokapasiteetti ja käytössä olevan teknologian taso vaihtelevat suuresti. Osapuolten välinen kommunikaatio kehittyi yhteisten projektien kuluessa, kun ihmiset sekä suunnittelu- ja valmistusprosessien rajat ja mahdollisuudet tulevat tutuiksi. Vanhat ja hyväksi havaitut toimintatavat voivat kuitenkin myös estää kehitystä, sillä tiukan aikataulun projektien alussa ei usein ehditä selvittää tehokkaimpia toimintatapoja tiedonvälityksen suhteen. Tässä kappaleessa perehdytään siis konepajojen nykypäivän tietojenkäsittely- ja tuotantovalmiuksiin sekä lähitulevaisuudessa edessä oleviin muutoksiin.

4.1 Tietojenkäsittely

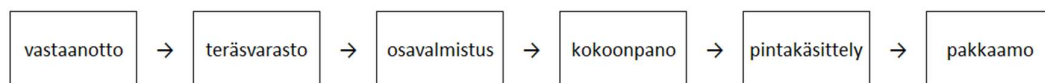
Suunnittelijalta vastaanotettu data viedään ensimmäisenä konepajan omaan tuotannonohjausjärjestelmään ja tarkastetaan puutteiden tai selkeiden virheiden varalta. Käytössä olevasta teknologiasta riippuen voidaan tarkastella kuvia, listoja, tuotannonohjaustiedostoa ja tietomallia. Konepajojen tuotannonohjaukseen on tarjolla erilaisia ratkaisuja, opinäytetyössä tarkastelluilla pajoilla käytettiin xsr- ja Steel Projectsin xml-pohjaisia tuotannonohjausjärjestelmiä sekä yhtä laajempaa datapankkityyppistä ratkaisua, jossa voidaan hallita erilaisia suunnittelutiedostoja sekä projektin aikataulutusta ja taloutta.

Perinteisemmillä konepajoilla tuotantoa ohjataan osalistojen ja -kuvien pohjalta. Listat järjestetään taulukossa tai tuotannonohjausjärjestelmässä uudelleen materiaalin ja levyvahvuuden/profiilin mukaan, jonka jälkeen tuotanto jaetaan koneille ja alihankkijoille. Levyosien valmistuksessa käytetään myös kuvia, jos koneiden ohjaamiseen käytettävä (yleensä nc1 tai dxf) tiedosto ei sisällä kaikkia geometriatietoja, esimerkiksi hitsattavien osien viisteitä.

Automaatitotasoltaan korkeammilla konepajoilla osakuvia ei enää käytetä, vaan valmistukseen tarvittavat tiedot sisältyvät tuotannonohjauskoodiin. Levy- ja profiiliosien leikkaussuunnittelu eli nestaus (eng. nesting) tehdään automaattisesti, jolloin tietokone optimoi osien leikkauksen levystä tai varastopituisesta profiilista minimoiden hukkapalojen määrän. Ihmisen työksi jää suunnitelmien tarkistaminen, mahdollinen muokkaus ja hyväksyntä.

4.2 Tuotanto

Teräsrakenteiden valmistus voidaan jakaa kolmeen päätehtävään: osavalmistukseen, kokoonpanoon ja pintakäsittelyyn. Kuvassa 9 on esitetty materiaalin kulku konepajalla, alkaen materiaalilistojen ja tuotantosuunnittelun perusteella tilatun materiaalin vastaanottamisesta ja päättyen valmiiden rakennneosien pakkaamiseen sekä lähettämiseen työmaalle. Riippumatta konepajan automaatioasteesta ja työstökonekannasta pitkät sarjat ja mahdollisimman yksinkertaiset vakiodetaljit nopeuttavat valmistusta ja pienentävät kustannuksia.



Kuva 9. Materiaalin kulku konepajalla

Osavalmistuksessa levyt leikataan, rei'itetään ja viistetään. Profiilit katkaistaan oikeaan mittaan, rei'itetään ja niihin merkitään hitsattavien levy- ja profiiliosien kiinnityskohdat kokoonpanoa varten. Levy- ja profiiliosien nestauksessa pyritään materiaalin tehokkaiseen käyttöön ja hukkapalojen (kuva 10) minimoimiseen. Osien leikkaamiseen voidaan käyttää plasmaleikkureita, mekaanisia leikkureita, sahoja sekä muita työstövälineitä, mutta tämä ei juuri vaikuta tiedonvälitykseen tai suunnitelmien detaljeihin.



Kuva 10. Levyjä ja leikkuujätettä

Levy- ja profiiliosien rei'itys on tyypillisesti yksinkertainen valmistusvaihe, jossa reiät tehdään lävistämällä tai poraamalla. Poikkeavat levypaksuudet, suuret reikäkoot ja kierre-reiät (kuva 11) voivat lisätä työmäärää, kun tarvitaan useampia työkaluja tai laitteita.



Kuva 11. Yksityiskohta kierreistä ja porausta odottavia muuten valmiita levyjä

Kokoonpanovaiheessa lopulliset rakenneosat valmistetaan hitsaamalla. Osat siirretään kokoonpanopisteelle joissa työntekijät kokoavat rakenneosat valmistuspiirustusten mukaan. Varsinkin ristikoiden (kuva 12) valmistuksessa toistuvuus nopeuttaa työskentelyä, kun työpisteestä riippuen ohjaimia ei tarvitse säätää tai valmiita ristikoita voidaan käyttää uusien kokoonpanojen mallipohjina.



Kuva 12. Leikatut profiiliosat ja hitsattu ristikko

Valmiiden kokoonpanojen hitsit ja tärkeät mitat tarkistetaan suunnittelijan määräämässä laajuudessa. Hitsien tarkastamista voidaan keventää älykkäillä hitsausjärjestelmillä, jotka seuraavat ja tallentavat hitsaustyön tiedot työn edetessä. Näin mahdolliset virheet ja poikkeamat voidaan havaita ja yksilöidä hitsikohtaisesti.

Kokoonpanot merkitään kokoonpanotunnuksella ja viedään pintakäsittelyyn. Ensinnä osien pinnalta hiekkapuhalletaan työn aikana syntyneet epäpuhtaudet, jonka jälkeen kokoonpanot käsitellään suunnittelijan määräämällä pintakäsittelyllä. Valmiit kokoonpanot varastoidaan väliaikaisesti tai pakataan ja lähetetään työmaalle.

4.3 Konepaja-automaatio

Prosessiteollisuudessa pitkien, yhtenäisten tuotesarjojen valmistus on pystytty koneellistamaan tavalla, johon nyt ollaan siirtymässä myös yksilöllisten tuotteiden, kuten rakenneosien, valmistuksessa. Yksilöllisten tuotteiden valmistus vaatii tuotantolaitteistolta joustavuutta ja ohjelmoinnilla saavutettua älykkyyttä mukautua muuttuviin työstökappaleisiin ja -kulmiin. Tämän kehityksen edistämiseksi myös suunnittelijan kannattaa ainakin pintapuolisesti tuntea nykyaikaisia tuotantotiedostoja ja niitä hyödyntäviä prosesseja.

4.3.1 Osavalmistus

Osavalmistuksessa alkeellisiin tietokoneisiin tukeutuvat NC-ohjatut koneet ovat olleet käytössä 1970-luvulta saakka. Nykyiset laitteet ja ohjelmistot mahdollistavat osien automatisoidun tuotannon varastolevyn tai -profiilin noutamisesta valmiiden osien keräämiseen kokoonpanoa varten. Työntekijän tehtäväksi jää suunnitelmien hyväksyntä ja vika-tilanteiden ratkaisemien. Näitä järjestelmiä ei täydessä mitassa juuri ole käytössä, mutta kaikilla opinnäytetyössä tarkastelluilla konepajoilla on käytössä tai hankinnassa levyleikkureita sekä profiililinjaja, jotka pystyvät valmistamaan osia itsenäisesti tietomallista tuotetun ohjaustiedon perusteella.

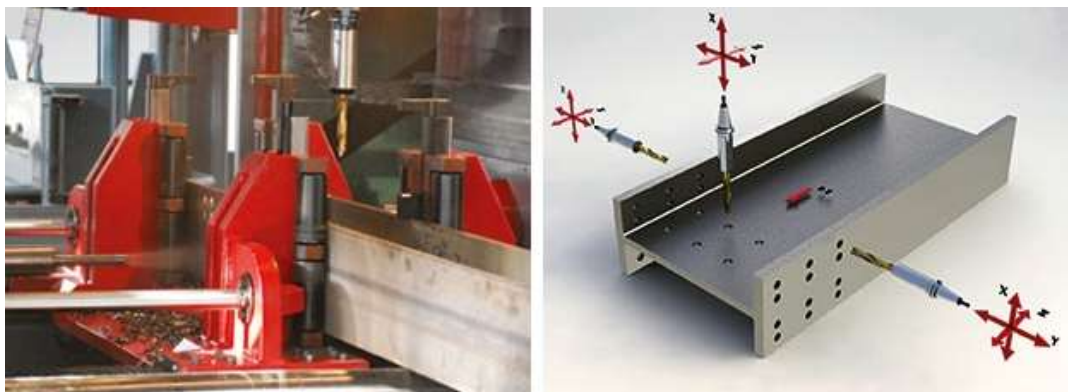
Levyosien automaattinen valmistus on teknisesti melko helppo osa-alue, ja suomalaisilla konepajoilla on automatisoitu monia levyvalmistuksen työvaiheita. NC-laitteilla (kuva 13) saadaan leikattua mittatarkkoja muotoiltuja levyosia ilman työ- ja mittavirheitä. Levyjen reiät voidaan myös tehdä automaattisesti, mutta laitteiston rajoitukset lisäävät tois- taiseksi työmäärää konepajoilla. Leikkaus ja rei'itys tehdään osittain erilaisilla koneilla, ja näiden järjestelmien yhdistäminen vaatii yksittäisten laitteiden korvaamista laajempaa investointia.



Kuva 13. Levyleikkureita

Täysin automatisoidun levyvalmistuksen esteenä voidaan pitää käynnissä olevaa konekannan muutoksen lisäksi perinteisten tuotannonohjaukoodien puutteita. Ainakin viisteiden puuttuminen NC-tiedostoista aiheuttaa toistaiseksi ylimääräistä työtä ja osakuviin turvautumista konepajoilla.

Profiilien valmistuksessa osat katkaistaan oikeaan mittaan, rei'itetään ja hitsattujen osien paikat merkitään. Katkaisua tehdään nykyään sekä käsin että eri ohjaustiedostoin ohjatuilla automaateilla. Reiät ja merkinnät voidaan teettää yhdellä koneella, jos nämä tiedot on sisällytetty suunnittelijan tuottamaan osakohtaiseen valmistustiedostoon (NC, xml). Kuvassa 14 on esitetty yksi tähän suunniteltu laite sekä sen toimintavapaudet. Automaatioitu terien vaihto mahdollistaa erilaisten reikien poraamisen ilman ihmistyöntekijän tarvetta. Automaatin ominaisuudet rajoittavat joidenkin profiilien ja ratkaisujen käyttöä, mutta näitä ongelmia tavanomaisille laitteille aiheuttavat erikoisprofiilit ja vinot reiät ovat muutenkin epätyypillisiä suunnitteluratkaisuja.



Kuva 14. Palkin käsittelijä ja itsenäisten terien toimintavapaudet [AKYAPAK USA]

Palkkien käsittelyyn tarkoitettuja laitteita on käytössä Suomen konepajoilla melko paljon. Niihin siirtyminen vaatii konepajalta jonkin verran valmistelua myös suunnittelijoiden suuntaan, sillä se asettaa tietomallin käsittelylle uusia vaatimuksia. Nämä muutokset ovat kuitenkin melko pieniä ja tarkoittavat lähinnä kertaluontoista asetusten säätämistä ohjaustiedostojen luomisessa.

Hitsattuja profiileja valmistetaan pitkittäissaumojen hitsaamiseen rakennetuilla hitsausportaaleilla (kuva 15). Laitteella saadaan hitsattua yhdellä ajolla kaikki saumat, mutta vahvat hitsit joudutaan ajamaan useammassa osassa aivan kuten manuaalisesti hitsatessakin. Hitsausportaalit eivät ole mitenkään uusi tai mielenkiintoinen keksintö, ja niitä on käytössä kaikkialla missä hitsattuja palkkeja tehdään.



Kuva 15. WQ-palkki hitsausportaalissa

Hitsattujen palkkien esikoroitukset huomioidaan levyjen leikkauksessa. Nykyään konepajat laskevat tämän osakuviin tai tietomalliin syötetyn tiedon pohjalta, sillä korotusten mallintaminen ei ole järkevää sen työläyden ja siitä aiheutuvien tietomallin yhteentörmäysten takia. Suoraan malliin lisättävän esikoroitustiedon pohjalta laskettavat laippojen ja uumien NC-tiedostot on mahdollista luoda erillisillä työkaluilla, joita joillain konepajoilla on käytössä. Yhtenäinen käytäntö kuitenkin vähintään mallinnusohjelmakohtaisesti olisi hyvä saada aikaan, jos halutaan varmatoiminen ratkaisu, joka ei vanhene heti mallinnus- tai konepajatekniikan kehittyessä.

4.3.2 Kokoonpano

Kokoonpanovaiheessa ei nykyään juuri käytetä muuta tietoa kuin paperisia valmistuskuvia. Huonot kuvat aiheuttavat konepajoilla viivästystä, kun epäselvän asian varmistamiseksi hitsaajan täytyy pahimmillaan siirtyä toimiston puolelle tutkimaan tietomallia tuotantoinsinöörin kanssa tai ottaa yhteyttä suunnittelijaan. Tämän takia yhtenä kokoonpanoautomaation haasteena voidaan hitsaustyön lisäksi pitää tiedonvälityksen automatisointia, jota voidaan edistää vähentämällä riippuvuutta paperisista suunnitelmista ja ylimääräisistä välikäsistä.

Konepajoilla ei juuri löydy vaihtoehtoja kokoonpanokuvien käytölle, mutta joitain ideoita on esitelty suunnittelu- ja puurakentamispuolella. Kokoonpanokuvan ja 3D-mallin yhdistely lähtötietona on mahdollinen kehityssuunta, jonka käyttöönottoa rajoittavat kokoonpanokohtaisten mallien vaikea käsittely sekä konepajaympäristössä käyttökelpoisten laitteiden hankinta. Sweco on esitellyt SmartDrawings-toiminnallisuuden, jolla paperiseen kokoonpanokuvaan printattu QR-koodi linkittyy pilvestä löytyvään 3D-malliin samasta kokoonpanosta. Tekniikan mahdollisuudet ovat kuitenkin toistaiseksi rajalliset, ja kolmiulotteisen mallin tarkastelu auttaa lähinnä kokonaisuuden hahmottamisessa eikä anna kovin hyvää mahdollisuutta esimerkiksi mittojen tarkistamiseen. Puuristikoiden kokoamisessa on hyödynnetty kokoonpanokuvan projektointia työtasolle, jolloin erillisiä paperikuvia ei tarvita. Tämä tekniikka saattaisi soveltua myös teräsistikoiden kokoamiseen, mutta lienee liian epätarkka liitoslevyjen ja muiden millintarkkojen osien kohdistamiseen. Lisäksi paperisista kuvista luopuminen on pieni ilo, jos kokoonpanokuvat joudutaan kuitenkin valmistamaan samaan tapaan kuin tähänkin asti.

Kokoonpanotyön automatisointi tarkoittaa käytännössä hitsausrobotteja. Automaattiset hitsausrobotit voidaan ohjelmointitavan perusteella jakaa kahteen päätyyppiin; opetettaviin ja etäohjelmoitaviin. Joillain konepajoilla on käytössä opetettavia hitsaussoluja, mutta niiden käyttömahdollisuudet teräsrakenteiden valmistuksessa ovat lähes olemattomat. Opettamalla ohjelmointi sopii pitkiin toistuviin sarjoihin, sillä uusien hitsausrutiinien ja muutosten syöttäminen on työlästä ja keskeyttää robotin työskentelyn. Etäohjelmoitavia laitteita ei vielä ollut käytössä opinnäytetyössä tarkastelluilla konepajoilla, mutta ainakin yhdellä pajalla sellaisen hankintaa harkitaan ja etsitään mahdollisia yhteistyökumppaneita pilottiprojektia varten. Etäohjelmoitavan robotin työtä voidaan suunnitella ja ohjata erillisellä tietokoneella simulointiohjelmia käyttäen, jolloin robotin työtä ei tarvitse keskeyttää uusien hitsausrutiinien luomisen ajaksi. [Koskinen]

Teräsrakenteista varsinkin tavanomaiset palkit ja pilarit on mahdollista valmistaa automaattista hitsaussolua käyttäen. Tämän tyyppisestä tuotannosta on kokemusta maailmalta juuri opinnäytetyössä käsiteltyä Tekla Structures -ohjelmaa tuotesuunnittelussa hyödyntäen [Cullen Steel]. Teräsrakenteiden automaattisessa kokoonpanossa käytetyt laitteet käyttävät pääasiassa NC- ja xml-muotoista tietoa, joiden tarkemmat sisältövaatimukset riippuvat laitetoimittajasta sekä robotin ohjelmointityökaluista. Hitsausrobottien yleistyessä konepajatyö siirtyy hitsaamisesta kohti laitteiden ohjelmointia ja työsuunnitelmien tarkistamista, mikä keventää fyysistä kuormittavuutta. Työn joustavuus lisääntyy, kun hitsausrutiinit voidaan ohjelmoida etupainotteisesti ja laitteita ajaa pienemällä työntekijämäärällä kuin nyt työskentelee konepajojen kokoonpanolinjoilla. Kaikkien rakennesosien valmistuksen täysautomatisointi ei ole nykytekniikalla ajankohtainen tavoite, vaan manuaalinen hitsaus pysyy käytössä esimerkiksi ristikoiden kokoonpanossa sekä monimutkaisissa hitsaustöissä. Suuriteisten hitsien (kuva 16) automatisointi edes osittain voi kuitenkin tulevaisuudessa kasvattaa konepajojen tuotantokapasiteettia sekä vähentää raskaita ja virhealttiita työvaiheita.



Kuva 16. WQ-palkin madallettu pää

Kokoonpanoautomaatiolla voidaan vähentää hitsi- ja mittatarkistusten tarvetta, sillä kokonaisuudessaan automatisoitu osavalmistus- ja kokoonpanolinja saavuttaa perustasollaankin mittatarkkuuden, johon ihmistyöllä on lähes mahdoton yltää. Hitsauspään automaattinen ohjaus on teknisesti melko haasteellista, minkä seurauksena hitsaustyön automaattinen seuranta on tarpeeksi kehittyneitä työn aikaisten virheiden automaattiseen

tunnistamiseen. Itsenäiset hitsausrobotit eivät ole tällaisen seurantatekniikan vaatimus, vaan jo nyt joillain konepajoilla on käytössä hitsausjärjestelmä, joka tallentaa yksilöitynä jokaisen konepajalla hitsatun sauman. Pilveen tallentuu tieto hitsauksessa käytetystä langasta ja kaasusta, poikkeamat hitsauksen aikana sekä hitsin tehnyt työntekijä. Järjestelmän avulla voidaan seurata työn etenemistä sekä tarkastella työjälkeä.

4.3.3 Prosessinhallinta

Osien muokkaamisen lisäksi konepajoilla voidaan automatisoida materiaalinhallintaa ja tuotannon seurantaa. Monet osavalmistuksessa käytetyt laitteet voidaan yhdistää automaattiseen tai puoliautomaattiseen materiaalin- ja varastointiin. Kokonaisvaltaisempi automaatio mahdollistaa tuotannon tarkan seurannan varastomateriaaleista asennettuihin teräsrakennuksiin. Automaattisia kuljetuslinjoja on käytössä osavalmistuksessa ja pintakäsittelyssä. Nykyisin pintakäsittelyt voidaan suorittaa automatisoidulla linjalla, jossa valmis kokoonpano kuljetetaan hiekkapuhallus- ja maalausolosuhteiden kautta ilman tarvetta ihmistyöntekijöille.

Tietomallintamisessa osien tunnistamiseen käytetty ID mahdollistaa yksilöityjen status-tietojen kuljettamisen eri systeemien välillä. Tämän ansiosta konepajan omasta tuotannonohjausjärjestelmästä voidaan tuoda valmiustietoa suunnittelijalle ja tilaajan tietomalliin. Tehokas tiedonvälitys statusten kautta helpottaa aikataulun hallintaa ja työn suunnittelua, sillä asianmukaisesti päivitettyt statustiedot rakennesuunnittelun tilanteesta välittyvät myös konepajalle. Tehokkaaseen valmistuskoneistoon yhdistetty tarkempi seuranta helpottaa rakentamisen prosessien parantamista kohti Lean-ajattelun mukaista, aiempaa virtaviivaisempaa tuotantoa.

5 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin konepaja-automaation nykytilaa ja sen vaatimuksia tiedonsiirrossa ja -käsittelyssä. Tavoitteena oli esitellä suunnittelijan roolia ja tuotantodokumenttien hallintaa valmistusprosessissa, tavanomaisimpia konepajadokumentteja ja tuotannonohjaustiedostoja, sekä selvittää konepajojen automaatiotasoa nyt ja lähitulevaisuudessa. Opinnäytetyösuunnitelmassa mainittiin myös mahdollisuus kirjoittaa yrityksen käyttöön tarkistuslista konepajoille toimitettavista tiedostoista, mutta tämä havaittiin työtä tehdessä liian yksinkertaistavaksi lähestymistavaksi erilaisten tuotannonohjauskoodien ja -järjestelmien takia.

Opinnäytetyön tavoite selvittää konepajojen työtapoja ja automaation määrää toteutui melko hyvin, ja työssä esitellyt erilaiset konepajat kuvaavat alan nykyistä tasoa Suomessa. Konepajoilla vieraillessa havaittiin, että automaation käyttöönotto vaatii rahallisen investoinnin lisäksi vaaditun suunnittelutiedon tarkempaa yksilöintiä. Konepajat hyötyisivät omien dokumenttiohjeiden laatimisesta, joissa määritellään vaadittujen tiedostotyyppien lisäksi sisältövaatimukset. Vielä tätä toimintavarmempaa on, jos konepajat pystyvät luomaan tietomallinnusohjelmiin omat asetuspaketinsä, jotka tuottavat varmasti työtapojen ja laitteiston kanssa yhteensopivaa tuotannonohjauskoodia.

Tiedon kerääminen toteutettiin käymällä kolmella suomalaisella konepajalla tutustumassa tuotantoon ja käytännön työtapoihin. Lisäksi työssä hyödynnettiin kirjallisia ja sähköisiä tietolähteitä esimerkiksi tietomallintamiseen, konepajalaitteistoon ja kansainvälisiin standardeihin liittyen. Aiheeseen liittyvää tietoa löytyi myös alan yritysten omilta sivuilta, mutta erilaisten referenssiprojektien ja mainospuheiden käyttämistä tietolähteenä vältettiin, ja niihin on viitattu lähinnä pohtiessa esiteltyjen teknologioiden käyttömahdollisuuksia. Koska opinnäytetyössä esitelty tekniikka on käytännössä yritysten omaisuutta ja kehitystyön tulosta, tarkemman yleiskuvan selvittäminen vaatisi tiiviimpää yhteistyötä alan yritysten kanssa haastattelujen ja vierailujen muodossa. Tämä muodostui insinööriyötä rajoittavaksi tekijäksi rajatun ajan ja työmäärän takia.

Insinööriyön hyödynnettävyys sellaisenaan on melko huono, sillä tulokset eivät ole yleistettävissä käytettäväksi projekteissa tai muiden konepajojen kanssa. Työssä on kuitenkin esitelty joitain konepaja-automaation peruskäsitteitä ja rajoituksia nykykäytössä, ja ke-

rätty tieto toimii hyvänä pohjana aiheen käsittelylle esimerkiksi konepajojen kanssa kommunikoidessa sekä uusien suunnittelu- ja tiedonvälitystapojen kehittämisessä ja käyttöönotossa.

Lähteet

Aaltonen, Kalevi & Torvinen, Seppo. 1997. Konepaja-automaatio. Porvoo, WSOY

b-Cert Documentation. 2018. Building Smart. Verkkoaineisto. Luettu 17.01.2018
<<https://www.b-cert.org/Documentation>>

Cullen Steel: Productivity through automation. 2017. Trimble. Verkkoaineisto. Luettu 19.02.2018
<<https://www.tekla.com/references/cullen-steel-automation-with-tekla-structures>>

DSTV file description. 2018. Trimble. Verkkoaineisto. Luettu 16.03.2018
<https://teklastructures.support.tekla.com/fi/2016/en/int_nc_dstv_file_description>

Eastman, Chuck; Teicholz, Paul; Sacks, Rafael & Liston, Kathleen. 2011. BIM Handbook. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition). 2008. W3C. Suositus.

Features. 2018. Steel Projects. Verkkoaineisto. Luettu 08.08.2018
<<https://www.steel-projects.com/en/solutions/features/>>

Karhu, Vesa. 2017. Tuotantojohtaja, Normek Oy, Koria. Haastattelu 07.11.2017

Kaikkonen, Pete. 2017. Tuotantopäällikkö, Normek Oy, Naarajärvi. Haastattelu 07.11.2017

Koskinen, Jussi. 2007. Robotisoidun hitsaussolun kehittäminen. Rauma / Tampere, Tampereen ammattikorkeakoulu, opinnäytetyö.

Liljamaa, Kimmo. 2017. Toimitusjohtaja. Kavamet Konepaja Oy, Tornio. Haastattelu. 23.03.2017

Mitä on BIM?. 2018. Trimble. Verkkoaineisto. Luettu 17.01.2018
<<https://www.tekla.com/fi/tietoa-meist%C3%A4/mit%C3%A4-bim>>

Model sharing toiminnallisuus. 2018. Sweco. Sisäinen ohje.

Ruukki Workshop drawing guide 1.2. 2008. Ruukki Construction.

Salonen, Juuso. Structural Engineer. 2017. Peikko Oy, Lahti. Haastattelu 24.11.2017

The STEP-NC AP238 Standard. STEP Tools, Inc. 2018. Verkkoaineisto. Luettu 19.03.2018 <<https://www.steptools.com/stds/stepnc/>>

Tekla Model Sharing on-premises server installation and management guide. 2018. Trimble. Verkkoaineisto. Luettu 21.03.2018. <https://teklastructures.support.tekla.com/not-version-specific/en/ms_installing_on_premises_sharing_service>

Tekla Structures -yhteistyökumppanit. 2018. Trimble. Verkkoaineisto. Luettu 17.01.2018 <<https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures/tekla-structures-yhteisty%C3%B6kumppanit>>

Vauhkonen, Juha. 2017. Projekti-insinööri, Normek Oy, Naarajärvi. Haastattelu 07.11.2017