

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotantotekniikka

2014

Hannu Rainio

ROBOTTIEN ETÄOHJELMOINNIN KYPYSYSTASO



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Tuotantotekniikka

Huhtikuu 2014 | 30

Ohjaajat Putkonen Ari, Koivunen Sakari

Hannu Rainio

ROBOTTIEN ETÄOHJELMOINNIN KYPYSYYSTASO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Turun ammattikorkeakoulu Oy:ssä käynnissä olevaan ProMaGNet-projektiin liittyen. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää robottien etäohjelmoinnin ja siihen tarvittavien suunnitteluohjelmistojen käyttö yrityksissä. Digitaalinen valmistusprosessi mahdollistaa digitaalisen tuotetiedon hallinnan (PDM) läpi tuotteen koko elinkaaren. Tämä tutkimus suoritettiin kartoittamalla yritysten nykytilaa, aiheesta kirjoitettujen ja julkaistujen opinnäytetöiden perusteella. Tutkimus rajattiin yrityksiin, jotka käyttävät robottia tuotannossaan.

Alun teoriaosuudessa käsitellään mallinnusta, simulointia, tuotetiedon hallintaa, teollisuusrobotteja sekä ohjelmoinnin tekniikoita. Tuotetiedon hallinta on merkittävä osa digitaalista valmistusprosessia. Sen avulla mahdollistetaan tuotteen tietojen mukana pysyminen koko valmistuksen ja koko elinkaaren ajan.

Tutkimus suoritettiin analysoimalla tarkoitusta varten valitut opinnäytetyöt, mitkä ajoittuvat vuosille 2003-2013. Robottien etäohjelmoinnin kypsyystason arvioimiseen on työssä kehitetty analyysikehikko, joka on kuvattu "menetelmät"-osiossa.

Tutkimuksen perusteella voidaan päätellä, että kehitys on pysynyt lähes paikoillaan viimeisen kymmenen vuoden aikana. Pääsääntöisesti yritykset hyödyntävät vain 3D-mallinnusta. Robotteja käyttävät yritykset valmistavat suuria sarjoja tiettyä tuotetta. Näin ollen robottien ohjelmointi opettamalla on halvempaa kuin etäohjelmointi. Ohjelmistoja sekä niiden käyttäjien koulutusta pidetään liian kalliina.

Digitaalisen tuoteprosessin kehittäminen robottien etäohjelmointiin liittyen, vaatisi mielestäni enemmän etäohjelmoinnin koulutusta ammattikorkeakouluissa ja ohjelmistojen kilpailukykyisempää hinnoittelua. Osaavista työntekijöistä on tällä saralla pulaa.

ASIASANAT:

3D-malli, etäohjelmointi, robotti, simulointi

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Production engineering

April 2014 | 30

Instructors Putkonen Ari, Koivunen Sakari

Hannu Rainio

MATURITY LEVEL OF ROBOT REMOTE PROGRAMMING

The present thesis was written for the needs of the project ProMaGNet in Turku University of Applied Sciences. The goal of the work was to study the utilization rate of robot remote programming tools and software in companies.

The idea of digital manufacturing process is that all the product related information can be utilized through the product lifecycle, i.e. product data management (PDM). This research was conducted by reviewing published research results on the present status of remote programming in companies. The research was focused on companies that utilize robots in production. In the theoretical part of the study technologies related to modeling, simulation, PDM, industrial robots and different programming methods are reviewed. Product data management is a vital function of digital manufacturing. Product data management is the technology to track and control data related to a particular product through manufacturing and whole lifecycle.

The research was conducted by analyzing selected research publications that were dated between 2003 and 2013. An analysis matrix was developed to evaluate the maturity level of robot remote programming. The analysis matrix is described in chapter "Menetelmät", i.e. methods.

It can be concluded that during the last 10 years there has not been any major improvement in utilization of remote programming, although 3D-modeling is an exception. Robots are used in massproduction, which makes it more economical to utilize teaching instead of remote programming. Software and training of programmers are considered to be too expensive. Further development of digital manufacturing process related to robot remote programming would require enhanced training of programming professionals in universities, as well as more competitive pricing of software tools. The major obstacle is the lack of professional programmers.

KEYWORDS:

3D-model, remote programming, robot, simulation

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY	8
3 3D-MALLINNUS JA SIMULOINTI ROBOTTIEN ETÄOHJELMOINNISSA	9
3.1 3D-mallinnus	9
3.2 3D-malli	9
3.3 Piirustukset ja mallinnus	10
3.4 Simulointi	11
4 DIGITAALINEN VALMISTUS	14
4.1 Tuotetieto	14
4.2 Tuotetiedonhallinta	14
4.2.1 Nimikkeet	15
4.2.2 Dokumentit	15
4.2.3 Tuoterakenne	16
4.2.4 Muutosten hallinta	16
5 ROBOTTI JA OHJELMOINTITAVAT	18
5.1 Teollisuusrobotti	18
5.2 Ohjelmointitavat	19
6 TUTKIMUSMENETELMÄT	21
6.1 Analyysikehikko	21
6.2 Tutkimusmateriaalin valintaperusteet	23
7 TULOKSET	25
8 PÄÄTELMÄT	28
LÄHTEET	30

KUVAT

Kuva 1. Solidimalli. (Cenic 2014)	10
Kuva 2. Teollisuusrobotti. (Wihuri 2014)	18

TAULUKOT

Taulukko 1. Analyysikehikko.	23
Taulukko 2. Analysoitava aineisto	24
Taulukko 3. Löydökset.	26
Taulukko 4. Kypsyystaso.	26

KÄYTETYT LYHENTEET

CAD	Computer-aided Design, Tietokoneavusteinen suunnittelu (Wikipedia 2014)
CMMI	Capability Maturity Model Integration, Tuotekehityksen kypsyyssmalli (Wikipedia 2014)
DWG	CAD-ohjelmien käyttämä tiedostomuoto (Wikipedia 2014)
DXF	Drawing Interchange Format, Autodeskin kehittämä tietöformaatti, eri CAD-ohjelmistojen väliseen tiedonsiirtoon (Wikipedia 2014)
ERP	Enterprice Resource Planning, Toiminnanohjausjärjestelmä (Peltonen ym. 2002, 158)
FMS	Flexible Manufacturing System, Joustava valmistusjärjestelmä (Fastems 2014)
IGES	Initial Graphigs Exchange Specification, 3D-kuvatiedosto (Solvusoft 2014)
JPEG	Joint Photographic Experts Group, Kuvien katselumuoto (Wikipedia 2014)
Off-line	Etäohjelmointi, Robotti ohjelmoidaan ulkoisella tietokoneella (Aalto ym. 1999, 179)
PDF	Portable Document Format, Dokumenttien katselumuoto (Peltonen ym. 2002, 162)
PDM	Product Data Management, Tuotetiedonhallinta (Peltonen ym. 2002, 9)
PLM	Product Lifecycle management, Tuotteen elinkaaren hallinta (Sääksvuori & Immonen 2002, 192)
STEP	Standard for the Exchange of Product Data, Kääntöformaatti (Peltonen ym. 2002, 163)

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään Turun ammattikorkeakoulu Oy:ssä käynnissä olevaan ProMaGNet-projektiin liittyen. Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa robottien etäohjelmoinnin kypsyystasoa yrityksissä, tutkimalla aiheeseen liittyviä opinnäytetöitä.

Digitaalinen valmistusprosessi sisältää koko tuotteen elinkaaren. Kokonaisuutena tämä kuitenkin osoittautui niin laajaksi, että päätimme keskittyä tuotteen alkuvaiheen digitaalisiin prosesseihin. Robottien etäohjelmointi on osa digitaalista valmistusprosessia, koska pyrkimyksenä on suorittaa tuotesuunnittelu ja tuotannonsuunnittelu tietokoneen avulla, simuloimalla.

Alun teoria osuudessa kerrotaan virtuaalisuunnittelun keinoista ja tuotetiedon hallinnasta. Tuotteen tiedot pitäisi kulkea mukana suunnittelusta valmistukseen digitaalisessa muodossa.

Robottien etäohjelmoinnin kypsyystasoa arvioin työssä kehittämäni analyysikehikon avulla. Sen avulla pyrin kartoittamaan yritysten tasoa digitaalisessa valmistusprosessissa, koska etäohjelmoinnissa digitaalisuus on avain asemassa. Etäohjelmointi perustuu 3D-mallien ja simulointitietojen käyttöön.

2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY

Koneteknologiakeskus Turku OY on vuonna 2005 perustettu teknologian koulutamis- ja kehittämiskeskus. Se toimii yhteistyössä monien Varsinais-Suomen alueen yritysten kanssa. Keskus tarjoaa ajanmukaisen oppimis- ja kehitysympäristön oppilaitoksille, yrityksille ja tutkijoille.

Turun kaupunki, Turun Aikuiskoulutussäätiö ja Varsinais-Suomen teknologiateollisuus ry ovat Koneteknologiakeskus Turku Oy:n pääomistajia. Edellä mainittujen lisäksi, sen osakkeita omistaa 80 alueella toimivaa yritystä, joko suoraan tai Varsinais-Suomen Teknologiateollisuus ry:n kautta. (Koneteknologiakeskus Turku OY, 2013)

Koneteknologiakeskuksessa on nykyaikaiset koneet ja laitteet. Siellä on mm. levytyökeskus, laserilla ja muovaavilla työkaluilla, robottihitsaussolu, kuitulaser, robottisärmäyssolu, FMS-järjestelmä (Flexible Manufacturing System) koneistuskeskuksineen sekä manuaaliset koneet. (Koneteknologiakeskus Turku OY, 2013)

Koneteknologiakeskuksessa toimii myös opiskelijoiden TTI-toimisto. Kyseessä on opiskelijoiden insinööritoimisto. Täällä voidaan mahdollisesti hyödyntää tämänkin opinnäytetyön tuloksia.

3 3D-MALLINNUS JA SIMULOINTI ROBOTTIEN ETÄOHJELMOINNISSA

3.1 3D-mallinnus

Erilaisten tuotteiden suunnittelua kolmiulotteisesti, kutsutaan 3D-mallinnukseksi. Kaikki mallinnettavat kappaleet, osat ja kokoonpanot näyttävät oikeilta ja niille annetaan kaikki fyysiset ja mekaaniset ominaisuudet. (Tuhola & Viitanen 2008, 17)

Mallipohjainen robottien etäohjelmointi hyödyntää 3D-muototietoja. Tästä syystä robottisolu, robotti, työkalut, kiinnittimet ja muut oheislaitteet on mallinnettava. (Aalto ym. 1999, 81-82)

Erilaisia 3D- mallinnusohjelmia on lukuisia. Tässä muutama esimerkki teollisuuden alalla käytettävistä ohjelmista: (Tuhola & Viitanen 2008, 16)

- Autodesk Inventor
- Pro/ENGINEER
- SolidWorks
- SolidEdge
- Vertex G4

3.2 3D-malli

3D-malli vastaa lopullista tuotetta ulkonäöltään ja ominaisuuksiltaan ja sitä voidaan tarkastella kolmiulotteisessa avaruudessa. Tällä tavoin pystytään näkemään tuote aivan eri tavoin kuin 2D-piirustuksesta. Perustarkastelutapoja on kolme: (Tuhola & Viitanen 2008, 20-22)

- Rautalankamalli

- Pintamalli
- Solidimalli eli tilavuusmalli

Kokoonpanoja ja kappaleita mallinnettaessa, yleisin ja toimivin malli on solidimalli (Kuva 1. Solidimalli). Se on todellinen kuva kappaleesta. (Tuhola & Viitanen 2008, 22-23)



Kuva 1. Solidimalli. (Cenic 2014)

Robottien mallipohjainen ohjelmointi perustuu paikoituspisteisiin. Pisteiden luomisessa hyödynnetään 3D-mallin muototietoja. Eri tuotteiden, kuten työkalujen ja kiinnittimien 3D-mallit voidaan tuoda ohjelmistossa olevaan kirjastoon ja siten hyödyntää niiden muototietoja etäohjelmoitaessa robottia. (Aalto ym. 1999, 82-83)

3.3 Piirustukset ja mallinnus

Monimutkaisten kokonaisuuksien hallitseminen 2D- ympäristössä on hankalaa ja työlästä. Kaikki muutokset on piirrettävä viiva kerrallaan jokaiseen projektiioon ja piirustukseen. Jos piirustuksessa huomataan epäsopivuutta, on kaikki piirustukset käytävä läpi, missä epäsopivuutta havaitaan. 3D-ympäristössä mallia voidaan muuttaa ja koko rakenne päivittyy muutoksien mukaisesti. (Tuhola & Viitanen 2008, 33-34)

Robottien etäohjelmoinnin käyttöönotto vaatii siirtymistä 2D- ajattelusta 3D-mallinnukseen. Tuotteen täydellistä geometristä kuvausta kutsutaan 3D-

malliksi. 3D-mallin tulee olla helposti siirrettävissä vaikkapa suunnitteluohjelmasta simulointi ohjelmaan. Tästä syystä malli tulee tallentaa jossakin standardimuodossa, kääntäjien avulla. (Aalto ym. 1999, 96-97)

Tässä joitakin yleisesti käytettyjä kääntäjiä: (Tuhola & Viitanen 2008, 130)

- Dwg
- Dxf
- Iges
- Jpeg
- Pdf
- Step

3.4 Simulointi

Simuloinnilla tarkoitetaan todellisuuden jäljittelyä tietokoneen avulla. (Wikipedia 2014)

Kun asiakas tilaa tuotteen, hän odottaa, että toimitus tapahtuu lyhyellä aikavälillä. Tästä syystä suunnittelun tulee myös olla tehokasta ja konkreettista. (Tuhola & Viitanen 2008, 33)

Nykyaikaisilla mallinnus- ja simulointiohjelmilla, nopeaan ja virheettömään toimintukseen on hyvät mahdollisuudet. Virtuaalisuunnittelulla pystytään tarkastelemaan työstökoneen tai robotin liikeradat, kappaleen kiinnityspisteet ja työkalujen vaihdot jo ennen valmistusta. Tuotantoa ei tarvitse keskeyttää vaan kaikki tapahtuu virtuaalisesti tietokoneruudulla. Osien yhteensovittaminen ja kinemaattiset tarkastelut hoituvat myös virtuaalisesti. Optimitilanteessa prototyyppi onkin jo valmis tuote. (Tuhola & Viitanen 2008, 34; Ahola ym. 2011, 57)

Simulointiin perustuvassa tuoteprosessissa lähdetään liikkeelle tuotteen yleisten vaatimusten ja kysynnän kartoittamisesta, kuten muissakin tuoteprosesseissa.

Tämän jälkeen selvitetään onko mahdollista käyttää jotain uutta teknologiaa ja mitä mahdollisesti uusia komponentteja tarvitaan. Näiden tietojen perusteella päästään itse mallinnus- ja simulointivaiheeseen, jota kutsutaan tuotekonseptin suunnitteluksi. Tietokoneella luodaan karkeat CAD-mallit osista ja kokoonpanoista. CAD-mallien avulla suoritetaan alustavat lujuustarkastelut ja tehdään kinemaattiset ja dynaamiset simuloinnit. Nämä tulokset kertovat mahdolliset muutostarpeet mallissa. Kun muutokset on tehty, voidaan ottaa seuraava askel, tuotteen suunnittelu. Tuotesuunnittelu poikkeaa konseptisuunnittelusta vain siten, että mallit ovat paljon yksityiskohtaisempia. Mallista, joka sisältää kaikki yksityiskohdat, tehdään virtuaaliprototyyppi. Tätä vaihetta kutsutaan testaus- ja verifiointivaiheeksi. Tällä virtuaaliprototyypillä suoritetaan todellisia oloja vastaavat simuloinnit ja näin saadaan valmis tuote tuotantoon. Kaikkia asioita ja määryksiä ei voida testata virtuaalisesti. Siinä tapauksessa on rakennettava aito prototyyppi. Kun tuote on tehty tätä kaava noudattaen, mallinnettu, simuloitu ja testattu virtuaalisesti, on prototyyppi mahdollisesti markkinoille valmis tuote. (Ahola ym. 2011, 28-30)

Viimeisenä simulointikohteena on tuotanto. Tuotannon simuloinnilla varmistetaan tuotantokoneiston toimivuus ja materiaalivirrat. Tällä tavoin voidaan ajaa tuotannon uudet parametrit, ilman kalliita seisonta-aikoja, sekä optimoida raaka-aineen käyttöä ja minimoida materiaalihukkaa. (Ahola ym. 2011, 30-31)

Tätä edellä kuvattua simulointiprosessia kutsutaan kuusiportaiseksi simulointipohjaiseksi tuotekehitysprosessiksi. Tämä toimintamalli sopii hyvin ainakin mekaniikkasuunnitteluun. (Ahola ym. 2011, 31)

Edellä kuvatun tuoteprosessin neljä viimeistä vaihetta ovat keskeisessä osassa myös robottien etäohjelmoinnin kannalta. Robottisolun mahdollisimman korkea käyttöaste on tärkeää investointia harkitessa. Käyttöastetta voidaan nostaa pienentämällä seisokki aikoja. Robotti pitää ohjelmoida aina uudelleen, kun valmistettava kappale muuttuu. Pelkkä ohjelmointi ei kuitenkaan riitä. Pitää myös valmistaa uudet kiinnittimet ja mahdollisesti robotin työkalua joudutaan muuttamaan. Etäohjelmoinnin avulla tuotantoa ei tarvitse keskeyttää. (Aalto ym. 1999, 96)

Simulointipohjainen suunnittelu mahdollistaa kiinnittimien ja työkalujen suunnittelun robottisolun ulkopuolella. Uudet laitteet mallinnetaan ja simuloidaan tietokoneen avulla. Testaus ja verifiointi suoritetaan myös tietokoneen ruudulla. Simulointi mahdollistaa ohjelman testauksen ilman robottia. Testiajot ajetaan tietokoneella ja mahdolliset törmäykset tai muut ongelmakohdat voidaan korjata simulointimallissa. Tämä testattu ohjelma voidaan ajaa robotille ja käyttöönottoaika lyhenee huomattavasti. (Aalto ym. 1999, 86, 96)

4 DIGITAALINEN VALMISTUS

Edellä kuvatuista mallinnus- ja simulointiprosesseista syntyy paljon tietoa ja dokumentaatioita. Jotta tuote voidaan valmistaa, näiden tietojen hallinnointi pitää pystyä tekemään tarkasti ja ajantasaisesti. Tämä edellyttää jonkinlaista tiedonhallinta systeemiä yrityksessä.

4.1 Tuotetieto

Kaikki tieto, mikä syntyy ideasta aina tuotteen elinkaarenloppuun, kutsutaan tuotetiedoksi. Tuotteen elinkaaren aikana syntyy paljon tietoa tuotteesta. Tämä tieto tulisi olla niin suunnittelun, valmistuksen, markkinoinnin kuin huollonkin käytössä. Eri organisaatiot kuitenkin tarvitsevat erilaista ja erimuotoista tietoa tuotteesta. Tiedon tulee olla reaaliaikaista ja helposti saatavilla koko organisaatiossa. Tämä aiheuttaa haasteen, johon tietojärjestelmillä pyritään löytämään ratkaisu. (Sääksvuori & Immonen 2002, 17-18)

4.2 Tuotetiedonhallinta

Usein tuotetiedonhallinta, PDM, mielletään yksittäiseksi tietokoneohjelmaksi. Näin ei kuitenkaan ole, vaan tuotetiedonhallinta on systemaattinen tapa hallita tuotteen tietoja. Usein yrityksissä syntyy ongelmia tiedon käyttötarkoituksen määrittelyssä. Esimerkiksi tietojen tallennusmuoto on sellainen, että valmistus ei pysty käyttämään suunnittelun tietoja suoraan hyödyksi, vaan joutuvat syöttämään tiedot käsin uudestaan. Toisaalta tietoja voidaan säilyttää eri paikoissa, suunnittelijan omissa tiedostoissa tai vaikkapa paperidokumenttina. Tämä ei mahdollista reaaliaikaista tietojen saantia ja lisää huomattavasti työtä tiedon löytämiseksi. Tämän tyyppisten ongelmien ratkaisuun on kehitetty tietojärjestelmiä. Tietojärjestelmät eivät yksin poista näitä ongelmia, vaan kaikki lähtee yrityksen sisältä. On sitouduttava uudenaikaiseen ajatteluun tietojen hallinnassa. (Sääksvuori & Immonen 2002, 18-19)

PDM-järjestelmät käsittelevät pääsääntöisesti suunnittelutietoa. Alun alkaen nämä järjestelmät ovat kehitetty tuotesuunnittelun tarpeita silmälläpitäen. Moneissa yhteydessä PDM:llä ja PLM:llä tarkoitetaan samaa asiaa, mutta näin ei kuitenkaan ole. PLM-järjestelmä on tuotteen koko elinkaaren hallintajärjestelmä, jossa on mukana myös mm. tuotekehitys-, markkinointi- ja huoltotiedot. Eri termien vuoksi pitää olla tarkkana, mitä milloinkin tarkoitetaan. (Peltonen ym. 2002, 9; Ahola ym. 2011, 44)

Tuotetiedonhallinta voidaan jakaa esimerkiksi neljään pääalueeseen (Peltonen ym. 2002, 9-10):

- Nimikkeiden hallinta
- Dokumenttien hallinta
- Tuoterakenteiden hallinta
- Muutosten hallinta

4.2.1 Nimikkeet

Tuotetiedonhallinta perustuu nimikkeiden hallintaan. Kun yritys alkaa suunnitella PDM-järjestelmän käyttöönottoa, tulee sen selvittää, mitä nimikkeitä se käyttää. Nimikkeistä riippuu, mitä tietoja PDM-järjestelmässä voidaan käsitellä. (Peltonen ym. 2002, 15)

4.2.2 Dokumentit

Dokumenttien hallinta on yleisesti ensimmäinen syy yrityksessä hankkia PDM-järjestelmä. Dokumenttien viimeisimmän version saanti helposti, on avainasioita hyvän ja laadukkaan tuotteen valmistamisessa. Dokumentit ovat myös yhdenlaisia nimikkeitä, niitä koskee kaikki nimikkeiden yleiset ominaisuudet. (Peltonen ym. 2002, 10)

4.2.3 Tuoterakenne

Tuoterakenne luo pohjan koko PDM-järjestelmälle, yhdessä nimikkeiden kanssa. Tuoterakenteen pitää olla hierarkkinen, alemman tason olioilla on ylemmän tason olion ominaisuudet ja muuttuneet lisäominaisuudet. PDM-järjestelmässä nimikkeet kiinnitetään tuotteeseen ja toisiinsa tuoterakenteen kautta. (Sääksvuori & Immonen 2002, 51)

4.2.4 Muutosten hallinta

Muutoksia pitää saada aikaan välillä hyvinkin nopeasti. Monet tuotetiedot ovat riippuvuussuhteessa toisiinsa, joten yhden muutoksen tekeminen vaikuttaa moneen asiaan. PDM-järjestelmä pystyy hallitsemaan muutoksia siten, että kaikki muutoksen piirissä olevat tiedot päivittyvät. (Peltonen ym. 2002, 10)

Monella yrityksellä on käytössään tuotannonohjaus-, eli ERP-järjestelmä. Järjestelmä pyrkii hallinnoimaan kaikkea yrityksen tietoa, näin myös kaikki tuotetiedon osa-alueet voisivat kuulua ERP-järjestelmän piiriin. Yritys kuitenkin usein tarvitsee kummatkin järjestelmät. (Peltonen ym. 2002, 10-11)

Näiden kahden järjestelmän suhde on yleensä sellainen, että PDM hallitsee suunnittelutietoa ja ERP tuotanto- ja toimitustietotietoja, materiaalivirtoja, hankintaa, myyntiä ja niin edelleen. ERP-järjestelmä pystyy käyttämään PDM:n tietoja, mutta ei toisinpäin, koska se ei ole tarpeellista. (Sääksvuori & Immonen 2002, 66)

Robotteja voidaan ohjelmoida eri tavoilla. Kaikista tavoista kuitenkin muodostuu jonkinlainen ohjelma. Nämä ohjelmat ja niihin mahdollisesti tehdyt muutokset, pitää olla hallitusti tallennettuna ja helposti löydettävissä. Ohjelmistoversiot voidaan määrittää nimikkeiksi tuotetiedonhallintajärjestelmässä. Mikäli ohjelmistoja on muutettu, viimeisin versio on oltava kaikkien saatavissa, jotta ei valmistettaisi virheellistä tuotetta.

Etäohjelmoinnissa hyödynnetään 3D-malleja. Näitä malleja tarvitsevat muutkin tahot, kuten tuotesuunnittelu. Mallien tulee olla siis helposti kaikkien saatavilla.

Edellä on lueteltu nimikkeet, dokumentit ja muutostenhallinta. Näiden asioiden hallitseminen helpottuu tuotetiedonhallintajärjestelmän avulla.

5 ROBOTTI JA OHJELMOINTITAVAT

Robotiikka termillä tarkoitetaan oppia robottien suunnittelusta, rakentamisesta ja käyttämisestä. (Wikipedia 2014)

5.1 Teollisuusrobotti

Tietokoneohjattua, työkappaleita tai työvälineitä käsittelevää, yleiskäyttöistä konetta kutsutaan teollisuusrobotiksi (Kuva 2. Teollisuusrobotti). Yleiskäyttöisyydellä tarkoitetaan sitä, että robotti on helposti ohjelmoitavissa uudelleen ja robottia voidaan käyttää useisiin käyttötarkoituksiin. SFS-EN 775 standardin mukaan robotti on automaattisesti ohjattu, uudelleenohjelmoitava ja monikäyttöinen käsittelylaite. Robotilla on useita vapausasteita ja se voi olla joko kiinteästi paikalleen asennettu tai liikkuva. (Wikipedia 2014)



Kuva 2. Teollisuusrobotti. (Wihuri 2014)

Robottien liikeratoja hallitaan eri koordinaatistojen avulla. Työkalukoordinaatistolla määritetään työkalun asento. Peruskoordinaatisto on sidottu robotin jalustaan ja ulkoinen koordinaatisto esimerkiksi työkappaleeseen. (Wikipedia 2014)

5.2 Ohjelmointitavat

Robottien ohjelmointi alkoi sähkömekaanisista kytkennöistä. Näiden avulla robotti saatiin ajamaan päin rajakatkaisijoita, vaihe kerrallaan. Tämä jälkeen siirryttiin opettamaan käden liikkeitä johdattamalla. Toinen ohjelmointi vaihtoehto on opettamalla ohjelmointi. Kolmas ja nykyaikaisin ratkaisu on etäohjelmointi (off-line). (Aalto ym. 1999, 78)

Johdattamalla ohjelmoinnissa robotin käsivarsi vapautetaan ja ihminen liikuttaa työkalua lihasvoimin haluttua liikerataa pitkin. Nivelten paikka-anturien lukemat tallennetaan muistiin ja näin robotti toistaa saman liikeradan. Tätä ohjelmointitapaa on käytetty mm. maalausrobottien ohjelmointiin. Tämän ohjelmointitavan haittapuolina on muuttamisen hankaluus ja ohjelmien epätarkkuus. Jos ohjelmaan halutaan muutos, pitää robotti ohjelmoida alusta asti uudelleen. (Aalto ym. 1999, 78)

Opettamalla ohjelmoinnissa robotti vieään käsiohjaimen avulla tiettyyn pisteeseen ja tämä asema tallennetaan muistiin. Tätä menetelmää toistetaan niin kauan, että haluttu liikerata saadaan aikaiseksi. (Aalto ym. 1999, 79)

Etäohjelmointi (off-line) tarkoittaa robotin ohjelmoimista tuotannon ulkopuolella, PC-tietokoneen avulla. Etäohjelmointi hyödyntää valmistettavan kappaleen 3D-muototietoja. Tämä ohjelmointijärjestelmä sijoittuu tuotekehityksen ja valmistuksen väliin. Tämä järjestelmä vastaa CNC-koneiden CAM/CAD ohjelmointia. (Aalto ym. 1999, 82)

Toisin kuin perinteisillä CAD-ohjelmistoilla, mallipohjaisella etäohjelmoinnilla voidaan testata tuotteen valmistettavuutta simuloimalla. Tällä tavoin voidaan selvittää nykyisten oheislaitteiden, kiinnittimien, työkalun ym., soveltuvuutta uuden tuotteen valmistamiseksi. Muilla ohjelmointimenetelmillä joudutaan tuotanto pysäyttämään ainakin uusien oheislaitteiden testauksen ajaksi. Mallipohjaista etäohjelmointia hyödyntämällä voidaan testaukset suorittaa simuloimalla. (Aalto ym. 1999, 82)

Rajapinnat muihin CAD-ohjelmistoihin ovat edellytys etäohjelmoinnille. Pitää huolehtia, että 3D-mallit ovat tallennettu oikeassa muodossa. Tyypillisesti geometrian siirto tapahtuu DXF- tai IGES-formaatissa. (Aalto ym. 1999, 82)

Etäohjelmistoissa on kirjasto valmiiksi mallinnetuista oheislaitteista. Uusia oheislaitteita voidaan mallintaa CAD-ohjelmistojen avulla ja tuoda ne ohjelmiston kirjastoon. Näin pystytään helpottamaan robotin ohjelmoimista. Koska robotien mallinnus on paljon vaativampaa kuin oheislaitteiden, kirjastossa on myös eri robottityyppejä. Nämä vastaavat kinematiikaltaan ja ohjaukseltaan eri valmistajien teollisuusrobotteja. Laajimmissa kirjastoissa voi olla yli 400 robottityyppiä, yli 50 valmistajalta. (Aalto ym. 1999, 82-83)

Robottisolun simulointimalli tehdään etäohjelmointijärjestelmän mallinnus- ja simulointiominaisuuksia hyväksi käyttäen. Nämä ohjelmistot ovat samanaikaisesti tehokkaita suunnitteluohjelmistoja ja etäohjelmointiohjelmistoja. Näiden avulla pystytään varmistamaan robotin ulottuvuus ja törmäystarkastelut ilman tuotannon keskeytystä, simuloimalla. (Aalto ym. 1999, 83-84)

Mallipohjainen ohjelmointi ja opettamalla ohjelmointi perustuu paikoituspisteisiin. Mallipohjaisessa ohjelmoinnissa hyödynnetään CAD-muototietoja. Aluksi on tehtävä robottisolusta kalibroitu simulointimalli, joka vastaa todellista robotisolua. Tämän jälkeen ohjelmoija hakee 3D-tuotemallin järjestelmään. Ennen ohjelmointia on valittu paikoituspisteet. Nopea paikoituspisteiden generointi mahdollistuu muototietojen käytöllä. Etäohjelmointia käytetään tyypillisesti silloin kun käsiohjaimella ohjelmointi vie paljon aikaa ja ohjelmointi muuttuu kannattamattomaksi. (Aalto ym. 1999, 84-85)

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1 Analyysikehikko

Kehittämäni analyysikehikko (Taulukko 1. Analyysikehikko) perustuu kahteen malliin: tuotekehityksen kypsyyssmalliin ja kuusivaiheiseen simulointiin perustuvaan tuotekehitysprosessiin.

Tuotekehityksen kypsyyssmalli, CMMI (Capability Maturity Model Integation), sisältää 22 avainprosessialuetta. Näiden alueiden tulisi sisältyä yrityksen tuotekehitysprosesseihin ja käytäntöihin. Kypsyyssmallissa toiminnan kehittäminen etenee askel askeleelta ylöspäin. Näin tähdätään kypsempään ja järjestelmällisempään toimintaan (Wikipedia 2014)

Yksi avainprosessialue on tekninen ratkaiseminen (technical solution). Tähän alueeseen viittaaan kehittämälläni analyysikehikolla. (Wikipedia 2014)

Kypsyytasoja on viisi kappaletta: (Arkko 2013, 16)

1. Lähtötaso (Initial)
2. Johdettu (managed)
3. Määritetty (Defined)
4. Mitatusti hallittu (Quantitatively Managed)
5. Optimoitu (Optimizing)

Kuusivaiheinen simulointiin perustuva tuotekehitysprosessi koostuu kuudesta osa-alueesta: (Ahola ym. 2011, 28-30)

- Asiakastarve ja yleiset vaatimukset
- Teknologian kehitys
- CAD-mallit ja karkea simulointi (Design concept)

- Tuotteen suunnittelu (Design product)
- Testaus ja verifiointi
- Tuotannon suunnittelu

Kaksi ensimmäistä vaihetta tuotekehitysprosessissa toteutuu riippumatta siitä, onko prosessi simulointipohjainen vai ei. Neljä jälkimmäistä taas liittyvät simulointipohjaiseen tuotekehitys prosessiin. (Ahola ym. 2011, 28)

Robottien etäohjelmointi koostuu 3D-mallista ja simuloinnista. Etäohjelmointi ohjelmisto käyttää hyödykseen valmistettavan tuotteen 3D-muototietoja paikointipisteiden luomiseen. Ohjelmistoilla voidaan myös simuloida robottien liikera-dat, työkalun asennot ja muut oheislaitteet. Nämä seikat huomioon ottaen, etäohjelmoinnissa täyttyvät kuusivaiheisen simulointiin perustuvan tuotekehitys-prosessin kaikki neljä viimeistä kohtaa. (Aalto ym. 1999, 81-82)

Näitä kahta edellä mainittua teoriaa apuna käyttäen kehitin kypsyystasoa osoit-tavan analyysikehikon. Analyysikehikko on siis etäohjelmoinnin kypsyystaso-malli, jonka tasot perustuvat simulointipohjaiseen tuotekehitysprosessiin.

Taulukko 1. Analyysikehikko.

1.	Lähtötaso (Initial)	Yrityksessä käytössä ainoastaan 2D-piirrustukset.
2.	Johdettu (Managed)	Yritys käyttää suunnittelussa 3D-mallinnus ohjelmaa.
3.	Määritetty (Defined)	Yrityksen robottisolu on suunniteltu simulointia ja etäohjelmointi huomioon ottaen. (Työkalujen ja oheislaitteiden paikat)
4.	Mitatusti hallittu (Quantitatively Managed)	Yrityksellä on käytössään etäohjelmointiohjelma. Robottisolu, robotti, työkalut ja kiinnittimet on mallinnettu ja tallennettu ohjelman kirjastoon.
5.	Optimoitu (Optimizing)	Yritys käyttää etäohjelmointia. Robottisolu, robotti, työkalut ja oheislaitteet on mallinnettu. Yritys testaa ja verifioi robotin liikeradat, ulottuvuudet ja törmäystarkastelut simuloimalla. Tämän avulla tekee tarvittavat korjaukset ohjelmaan ja generoi lopuksi ohjelman robotille.

6.2 Tutkimusmateriaalin valintaperusteet

Keskeisimmät kriteerit opinnäytetöiden valitsemiseen olivat yritykset ja robotti. Töiden pitää olla tehty yrityksille ja yritysten pitää hyödyntää robottia tuotannossaan.

Näiden kahden asian perusteella lähdin tutkimaan ammattikorkeakoulujen julkaisuarkistoa, Theseusta. Hakusanoiksi valikoitui ensimmäisenä off-line. Tämä hakusana tuotti 236 kappaletta osumia. Se oli liian suuri määrä aineistoa tutkittavaksi, joten päätin tarkentaa hakuja. Kun lisäsin edelliseen hakuun sanan ro-

botti, osumia löytyi 24 kappaletta. Näistä kuitenkin vain kolme oli tehty yrityksille. Seuraavaksi suoritin haun sanalla etäohjelmointi ja tuloksia löytyi 42 kappaletta. Viisi näistä oli tehty yrityksille ja niistä kaksi oli samaa kuin valikoitui sanoilla off-line, robotti. Robotstudio oli seuraava hakusana. Tämä tuotti kaksi kriteerit täyttävää osumaa. Päätin vielä koettaa toista arkistoa, kansalliskirjaston julkaisuarkistoa, Doriaa. Suoritin haun sanalla etäohjelmointi ja osumia löytyi 17 kappaletta. Näistä yksi diplomityö täytti kriteerit ja valikoitui tutkimusaineistoon. Yhteensä löysin yhdeksän kappaletta opinnäytetöitä tutkittavaksi. (Taulukko 2. Analysoitava aineisto)

Taulukko 2. Analysoitava aineisto

Tekijä:	Työn nimi:	Yritys:	
Korpelainen J. 2013	Laatusuunnittelu osana konepajan uustuoteprosessia	Outokummun metalli Oy.	C1
Koskinen J. 2007	Robotisoidun hitsaussolun toiminnan kehittäminen	Aslemetals Oy.	C2
Kuha M. 2012	Automaattisen tuotantosolun kehitystyö	Kilkanen Oy.	C3
Lähdeniemi H. 2003	Tuotteen suunnitteluketjun tehostaminen 3D-ympäristössä	Andritz Oy.	C4
Rajamäki P. 2013	Etäohjelmointiympäristö FMS-robotisoluun	Wärtsilä Oyj. Bigcover	C5
Roukala J. 2013	Hitsaussolun kehittäminen	Fortaco Group Oy.	C6
Toikkanen A. 2011	W20-kiertokangen jäysteenpoiston kehittäminen	Wärtsilä Oyj. Kiertokankiverstas	C7
Setälä V. 2013	Hitsausrobotin käyttöönotto sekä hitsauskiinnittimen suunnittelu	Bestron Oy.	C8
Holkkola J. 2013	Robottien etäpalvelu	ABB Oy.	C9

ABB Oy:tä käsittelevä opinnäytetyö valikoitui mukaan, koska se käsittelee teollisuusrobottien etäpalveluita. Tutkimusaineiston hakuun käytin ammattikorkeakoulujen julkaisuarkistoa, Theseusta ja kansalliskirjaston julkaisuarkisto Doriaa.

7 TULOKSET

Tutkittavat työt sijoittuvat aikavälille 2003-2013. Ne ovat tehty seuraaville yrityksille: ABB Oy, Andritz Oy, Aslemetals Oy, Bestron Oy, Fortaco Group Oy, Kilkanen Oy, Outokummun Metalli Oy ja kahteen Vaasassa sijaitsevaan Wärtsilä Oyj:n toimipisteeseen, Bigcover-koneistusyksikköön ja kiertokankiverstaalle. Kaikki kyseiset yritykset ovat metallialan yrityksiä.

Kuten jo analyysikehikosta ilmenee, niin paras mahdollinen tilanne yrityksen etäohjelmoinnin kypsyystasossa olisi se, että kaikki tieto tuotteesta ja tuotannosta olisi digitaalisessa muodossa. Tiedon tulisi liikkua suunnittelusta, mallinnuksen kautta valmistukseen ja takaisin. Mahdolliset muutokset tuotteen valmistavuuden kannalta pitäisi olla kaikkien saatavilla reaaliajassa. Nämä keinot mahdollistavat tuotteen valmistuksen virtuaalisesti, ilman kalliita kokeilu- ja prototyypivaiheita. Dokumenttien saatavuus ja reaaliaikaisuus on myös erittäin tärkeä asia. Virtuaalisuunnittelun eri keinoilla ja tehokkaalla tuotetiedonhallinnalla, tämä on mahdollista toteuttaa.

Aineiston tutkimusta varten, laadin taulukon. (Taulukko 3. Löydökset) Taulukon avulla pyrin selvittämään yritysten etäohjelmoinnin kypsyystason. Siihen on kirjattu avainkysymyksiä etäohjelmoinnin kanalta.

Taulukko 3. Löydökset.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Yrityksen toimiala	Kone- ja laitevalm.	Konepaja teollisuus	Konepaja ja teollisuus	Konepaja teollisuus	Laiva teollisuus	Konepaja teollisuus	Laiva teollisuus	Metalli teollisuus
Henkilö määrä	Ei mainita	113	25	Ei mainita	n.18600	Ei mainita	n.17500	12
2D-piirrustukset	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
3D-mallinnus	Ei mainita	Ei mainita	Ei mainita	Otetaan	Kyllä	Kyllä *	Kyllä *	Kyllä
Simulointi	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Ei	Ei	Ei
Ohjelmointi tapa	Opettamalla	Opettamalla	Ei mainita	Opettamalla	Opettamalla	Opettamalla	Opettamalla	Opettamalla
Kuka ohjelmointi	Operaattori	Toimittaja	Toimittaja	Operaattori	Ei mainita	Operattori	Toimittaja	Operaattori
Etäohjelmointi	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei
Ohjelmistot	Ei mainita	Ei mainita	Ei mainita	Ei mainita	Fastems Fastsimu	Ei mainita	Ei mainita	Ei mainita
Robottien lukumäärä	1	2	1	1	1	1	2	2
Robottien merkki	Ei mainita	OTC AX-MV6	Kawasaki RS20N	Motoman	Ei mainita	Ei mainita	Fanuc R-2000iB/165 F Fanuc M-710iC 50	Panasonic TA-1800

(*) Yrityksien C6 ja C7 voidaan olettaa käyttävän 3D-mallinnus ohjelmistoa, koska esimerkiksi kaikki kappaleet olivat tehty kyseisillä ohjelmistoilla.

Näiden kysymysten avulla hahmottelin eri yritysten kypsyiden, robottien etäohjelmoinnissa. (Taulukko 4. Kypsyystaso)

Taulukko 4. Kypsyystaso.

C1	Lähtötaso (1)
C2	Lähtötaso (1)
C3	Lähtötaso (1)
C4	Lähtötaso (1)
C5	Määritetty (3)
C6	Johdettu (2)
C7	Johdettu (2)
C8	Johdettu (2)

Tutkimuksen keskiarvoksi, digitaalisen valmistusprosessin hyödyntämisessä, muodostui johdettu (2). Tämä tarkoittaa, että yritykset käyttävät hyödykseen virtuaalisuunnittelua tuotteen elinkaaren alussa, mutta ei tuotannossa. Heikoin tilanne oli vuonna 2003 yrityksessä C4, jossa käytössä oli vain 2D-piirrustukset. Näiden perusteella operaattori ohjelmoi robotin opettamalla. Kyseisessä yrityksessä oli käynnissä pilot-hanke 3D-mallinnuksen käyttöönottamiseksi. Diplomi-työn valmistuttua, voidaankin yrityksen kypsyystaso robottien etäohjelmoinnissa nostaa askeleen ylöspäin. Paras tilanne taas oli yrityksessä C5, vuonna 2013. Robottisolu oli jo mallinnettu, mutta etäohjelmointi ei ollut vielä käytössä. Kehityssuunta on oikea, mutta yritykset ottavat hitaasti uusia keinoja käyttöön.

Kyseiset yritykset valmistavat suuria määriä samaa tuotetta. Kun robotti on saatu ohjelmoitua oikein, parametrien muutostarve on vähäinen. Tämän vuoksi kaikki tutkittavat yritykset käyttivät hyödykseen opettamalla ohjelmointia. Yritykset C2, C3 ja C7 olivat tilanneet myös ohjelmointipalvelun robotin toimittajalta.

Etäohjelmointi ohjelmistot ja käyttäjien koulutus ovat edelleen kallista. Massatuotantoa harjoittavat yritykset ovat katsoneet halvemmaksi tuotannon seisauttamisen ohjelmoinnin ajaksi, kuin etäohjelmointi ohjelmistojen hankkimisen ja niiden käyttäjien kouluttamisen.

8 PÄÄTELMÄT

Opinnäytetyössä tutkittavien yritysten perusteella voidaan todeta, että kehitys ei ole ollut suurta viimeisen kymmenen vuode aikana, robottien etäohjelmointi ohjelmien käytössä. Jo vuonna 2003, yrityksessä C4, otettiin suunnittelussa käyttöön 3D-mallinnus. Yhä edelleen yritykset hyödyntävät virtuaalisuunnittelua vain mallinnuksen osalta. Tämä koskee ainakin robotteja hyödyntäviä yrityksiä. Syyksi tähän voidaan todeta kustannukset ja tarve. Etäohjelmointi ohjelmistot ja niiden käyttökoulutus ovat kalliita. Suuria sarjoja valmistavat yritykset hyödyntävät robotteja valmistuksessa. Kun robotilla valmistetaan vain tiettyä tuotetta, niin robotin ohjelmointia ei tarvitse suorittaa useasti. Tästä syystä opettamalla ohjelmointi on kustannustehokkain ratkaisu. Robottien toimittajat tarjoavat myös ohjelmointipalveluja. Tämä on hyvä ratkaisu kun valmistetaan suuria määriä tuotteita ja parametrejä ei tarvitse muuttaa, mutta ei tue digitaalista valmistusprosessia yrityksissä. Tällä tavoin suunnittelu ja valmistus ovat eri yksikkönsä.

Johannes Holkkolan opinnäytetyö kertoo teollisuusrobottien etäpalveluista. Robotin ohjausyksikköön tallentuu tiedot virheistä. Ohjelma pystyy myös ennakoimaan mahdolliset vikaantumiset.

Tämän kaltaiset palvelut ovat varmasti tarpeellisia. Huoltoinsinööri pystyy havaitsemaan ongelmat ilman, että hänen tarvitsisi mennä paikan päälle. Pienissä ongelmissa saattaa riittää pelkkä konsultaatio. Tämä ei kuitenkaan lisää digitaalista valmistusprosessia yrityksen sisällä, koska ohjelmoinnit ja konsultoinnit ostetaan palvelun tarjoajalta.

Tutkimuksessa oli mukana erisuuruisia yrityksiä. Voidaan kuitenkin havaita, että henkilömäärällä tai robottien lukumäärällä ei ollut suurta vaikutusta robottien etäohjelmoinnin kypsyystasoon keskimäärin. Parhaan kypsyystason saavuttanut yritys C5, oli toki henkilömäärältään suurin ja heillä oli käytössä yksi robotti. Kuitenkin pääsääntöisesti kypsyystaso ei riippunut yrityksen henkilömäärästä. Esimerkiksi yrityksen C8 kypsyystaso oli sama kuin yrityksen C7, vaikka ensin mainitussa yrityksessä oli vain 12 henkilöä ja yrityksessä C7, noin 17500 henki-

lää. Löydöksistä voidaan myös tehdä havainto, että yhtä robottia käyttävän yrityksen kypsyystaso on parempi kuin kahta robottia hyödyntävien yritysten.

Digitaalisuuden lisääminen yrityksen koko valmistusprosessissa, tarvitsee mielestäni ohjelmistojen hinnan alentamista ja lisää koulutusta. Ohjelmistotoimittajien määrän lisäys, voisi olla yksi keino kilpailukykyisempään hintaan. Ammattikorkeakoulussa voisi opettaa enemmän simulointia ja etäohjelmointia. Uskoisin, että yritykset olisivat kiinnostuneita sellaisista työntekijöistä, jotka hallitsisivat nämä asiat. Tämän tutkimuksen perusteella voi ainakin tehdä sellaisen johtopäätöksen. Tutkimuksen yritykset viittasivat useasti osaamisen puutteeseen ja koulutuksen kalleuteen, etäohjelmointiasioissa.

Koneistuksen puolella nämä asiat ovat jo paremmin hallinnassa. Siellä käytetään paljon hyväksi ainakin työstöratojen simulointia. Ilmeisesti robotit ja niiden etäohjelmointi ovat kuitenkin vielä sen verran uudempaa teknologiaa työöstökeskuksiin verrattuna. Mikäli halutaan kehittää digitaalista valmistusprosessia, mallinnuksen ja simuloinnin opetuksen lisäksi, ammattikorkeakouluissa tulisi lisätä tuotetiedon hallinnan ja robottien etäohjelmoinnin opetusta. Tällä tavoin yritykset saisivat työntekijöitä, jotka parantaisivat digitaalista valmistusprosessia omalla osaamisellaan.

LÄHTEET

Aalto, H.; Hietala, J.; Hirvelä, T.; Kuivanen, R.; Laitinen, M.; Lehtinen, H.; Lempiäinen, J.; Lyylynoja, A.; Renfors, J.; Selin, K.; Siintoharju, T.; Temmes, J.; Tuovila, T.; Veikkolainen, M.; Viikinen, J. & Virtanen, A. 1999. Robotiikka. Vantaa: Talentum Oyj.

Ahola, J.; Hovila, J.; Karhunen, E.; Nevala, K.; Schäfer, T. & Nevala, T. 2011. Moniteknisen piensarjatuotteen digitaalinen tuoteprosessi. Espoo: VTT.

Arkko, L. 2013. CMMI-malli – Hyödyt ja haasteet projektin hallinnan näkökulmasta. Kandidaattityö. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto

Cenic 2014. Solidimalli. Viitattu 13.5.2014 www.cenic.fi/GibbsCAM_moniaxis_sorvi.htm

Fastems 2014. FMS. Viitattu 13.5.2014 www.fastems.com/fi/tuotteet

Koneteknologiakeskus Turku Oy 2014. Viitattu 4.2.2014 <http://www.koneteknologiakeskus.fi/content/fi/1/5/etusivu.html>

Peltonen, H.; Martio, A. & Sulonen, R. 2002. PDM – Tuotetiedon hallinta. Helsinki: Edita.

Solvusoft 2014. IGES. Viitattu 4.2.2014 <http://www.solvusoft.com/fi/file-extensions/file-extensions-iges/>

Sääksvuori, A. & Immonen, A. 2002. Tuotetiedonhallinta – PDM. Jyväskylä: Gummerus.

Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Tampere: Tammermekniikka.

Wihuri 2014. Teollisuusrobotti. Viitattu 13.5.2014 www.machinetools.wihuri.fi/mazak_koneet/automaatio_ja_ohjelmistot/fi_FI/teollisuusrobotit

Wikipedia 2014. Auto CAD. Viitattu 4.2.2014 fi.wikipedia.org/wiki/AutoCAD

Wikipedia 2014. CMMI. Viitattu 6.5.2014 fi.wikipedia.org/wiki/CMMI#Tekniset_prosessit

Wikipedia 2014. DXF. Viitattu 4.2.2014 fi.wikipedia.org/wiki/DXF

Wikipedia 2014. JPEG. Viitattu 4.2.2014 fi.wikipedia.org/wiki/JPEG

Wikipedia 2014. Robotiikka. Viitattu 19.3.2014 fi.wikipedia.org/wiki/Robotiikka