



STEP-NC:n hyödyntämisen vaikutukset verkostomaiseen tuotantoon

Loppuraportti

Juha Sääski, Tapio Salonen & Jukka Paro

ISBN 978-951-38-6626-6 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1459-7683 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2007

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

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

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

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

Tekijä(t) Sääski, Juha, Salonen, Tapio & Paro, Jukka		
Nimeke STEP-NC:n hyödyntämisen vaikutukset verkostomaiseen tuotantoon Loppuraportti		
Tiivistelmä Teknoliateollisuuden yritykset toimivat verkottuneessa globaalissa ympäristössä, jossa tietoa siirretään paikasta toiseen salamannopeasti. Internet mahdollistaa luotettavan tiedonsiirron ympäri maailmaa, etäisyys on sivuseikka. Tuotetiedon tallentamiseen, päivittämiseen ja siirtoon käytetään eniten STEP (STandard for the Exchange of Product data) -standardia. STEPin eri sovellusaloille on kehitetty ja kehitetään omia alakohtaisia standardeja, jotka ottavat huomioon sovellusalan erityisvaatimukset. Kansainvälinen standardointielin on julkaisut keväällä 2007 työstökoneiden ohjelmointiin liittyvän standardin ISO 10303-238, ns. STEP-NC:n. Nykyään tuotannossa käytettävien koneiden ja laitteiden ohjelmointiin käytetään yleensä 50 vuotta sitten kehitettyä ISO 6983:n mukaista NC-koodia (ns. G-koodi). G-koodi sisältää lähinnä liikekäskyjä ja teknologista informaatiota, kuten syöttönopeuksia, jolloin komponenttien geometrian mallintamisessa käytettävien CAD-järjestelmien piirrepohjainen teknologia köyhtyy alhaisen tason informaatioksi. Alhaisen tason informaation vuoksi uusien työstökoneiden suurnopeus-, tarkkuus- ja ohjausominaisuuksia ei voida hyödyntää täysimääräisesti. Nykyinen suunnittelu-valmistusketju vaatii informaation useita muunnoksia CAD-suunnittelusta työstökoneen ohjauksikoodiksi. Informaation muunnokset ovat vielä yksisuuntaisia, jolloin NC-koodiin tehdyt muutokset eivät välity suunnittelu-valmistusketjun alkuun. Tässä tutkimuksessa sovellettiin uutta standardia, kartoitettiin uusia mahdollisuuksia verkottuneeseen tuotantoon globaalilla tasolla ja tutkittiin STEP-NC:n mahdollisuuksia tutkimustapausten avulla.		
ISBN 978-951-38-6626-6 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinnumero 40330/04
Julkaisu-aika Elokuu 2007	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 32 s. + liitt. 3 s.
Projektin nimi STEP-NC:n hyödyntämisen vaikutukset verkostomaiseen tuotantoon	Toimeksiantaja(t) Tekes, Perlos Oyj, Nokia Oyj, Joensuun Tiede- puisto Oy ja VTT	
Avainsanat STEP-NC, mould making, machining	Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	



Series title, number and
report code of publication

VTT Working Papers 75
VTT-WORK-75

Author(s) Sääski, Juha, Salonen, Tapio & Paro, Jukka		
Title Effects of utilising STEP-NC standard in global networked production Final report		
Abstract Modern manufacturing enterprises are built from facilities spread around the globe. Immense volumes of product information must be transferred between the various facilities and machines. Today's digital communications standards have solved the problem of reliably transferring information across global networks. For mechanical parts, the description of product data has been standardized by ISO 10303 (STEP). This leads to the possibility of using standard data throughout the entire process chain in the manufacturing enterprise. Barriers to realizing this principle are the data formats used at the machine level. Most computer numerical control (CNC) machines are programmed in the ISO 6983 "G-code" language. Programs are typically generated by computer-aided manufacturing (CAM) systems that use computer-aided design (CAD) information. However, "G-code" limits program portability for three reasons. First, the language focuses on programming the tool centre path with respect to machine axes, rather than the machining process with respect to the part. Second, the standard defines the syntax of program statements, but in most cases leaves the semantics ambiguous. Third, vendors usually supplement the language with extensions that are not covered in the limited scope of "G-code". The replacement for G-code is so-called "STEP-NC", the name STEP-NC meaning the STEP standard extended for NC. STEP-NC is a new model of data transfer between CAD/CAM systems and CNC machines.		
ISBN 978-951-38-6626-6 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number 40330/04
Date August 2007	Language Finnish, engl. abstr.	Pages 32 p. + app. 3 p.
Name of project Effects of utilising STEP-NC standard in global networked production	Commissioned by Tekes, Perlos Oyj, Nokia Oyj, Joensuu Tiedepuisto Oy ja VTT	
Keywords STEP-NC, mould making, machining	Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

Alkusanat

Tekesin osin rahoittama projekti ”STEP-NC:n hyödyntämisen vaikutukset verkostomaiseen tuotantoon” käynnistyi huhtikuussa 2004. Projektin päättymisajankohta oli 1.5.2006, mutta sitä jatkettiin 4 kk eli projekti päättyi 30.9.2006. Projektin rahoittajina olivat Tekesin lisäksi Perlos Oyj, Nokia Oyj, Joensuun Tiedepuisto Oy ja VTT. VTT:n tutkimuskumppaneina olivat Lapin ja Oulun yliopistot sekä Teknillinen korkeakoulu. Lisäksi Joensuun Tiedepuisto Oy osallistui tutkimukseen omalla työpanoksellaan ja Machinery Oy tarjosi mahdollisuutta suorittaa demonstraatioita työstökoneilla. Projektin vastuullisena johtajana toimi Risto Kuivanen VTT:ltä ja projektipäällikkönä toimivat tutkija Jukka Paro 1.4.2004–31.5.2005 ja tutkija Juha Sääski 1.6.2005–30.9.2006 samoin VTT:ltä. Lisäksi projektiin osallistuivat seuraavat henkilöt: Tapio Salonen (VTT), Anssi Ahonen ja Petri Kivelä (Lapin yliopisto), Kauko Lappalainen, Tomi Hautala ja Mika Ihatsu (Oulun yliopisto), Zhuang Jianjun ja Antti Korhonen (Teknillinen korkeakoulu) ja Juha Väyrynen (Joensuun Tiedepuisto Oy).

Projektin johtoryhmään osallistuivat puheenjohtajana Tapio Särkkä (Joensuun Tiedepuisto Oy) ja jäseninä Timo Lipponen (Perlos Oyj), Lea Myyryläinen (Nokia Oyj), Kauko Lappalainen (Oulun yliopisto), Kalevi Aaltonen (Teknillinen korkeakoulu), Petri Kivelä (Lapin yliopisto), Paavo Voho (VTT) ja Janne Viemerö (Tekes). Kiitämme heitä ja kaikkia muita projektiin myötävaikuttaneita henkilöitä.

Espoossa, huhtikuussa 2007

Tekijät

Sisällysluettelo

Alkusanat.....	5
Symboliluettelo.....	7
1. Johdanto	8
2. Tuotetiedon standardointi	10
2.1 STEP tuotetietoperhe.....	10
2.2 STEP-standardin kokonaisvaikutus.....	10
3. STEP-NC	12
4. CASE-tapaukset.....	17
4.1 Muovituotteen rinnakkaissuunnittelu	18
4.2 Ohjelmisto- ja työstödemonstraatiot.....	21
4.2.1 Ohjelmisto- ja työstödemonstraatioiden testitulokset	21
4.3 STEP-NC CAD/CAM-ohjelmien integroinnissa	22
4.3.1 Kokeet	24
4.4 CASE-tapausten yhteenveto	24
5. STEP-NC:n käyttöönotto.....	27
5.1 STEP-NC muotoilijan näkökulmasta	28
6. Yhteenveto	29
Lähdeluettelo	31
Liitteet	
Liite A: ISO 10303-238:n tunnistamat piirteet	
Liite B: Projektin julkaisut, raportit, esitelmät, lehtiartikkelit ja opinnäytteet	

Symboliluettelo

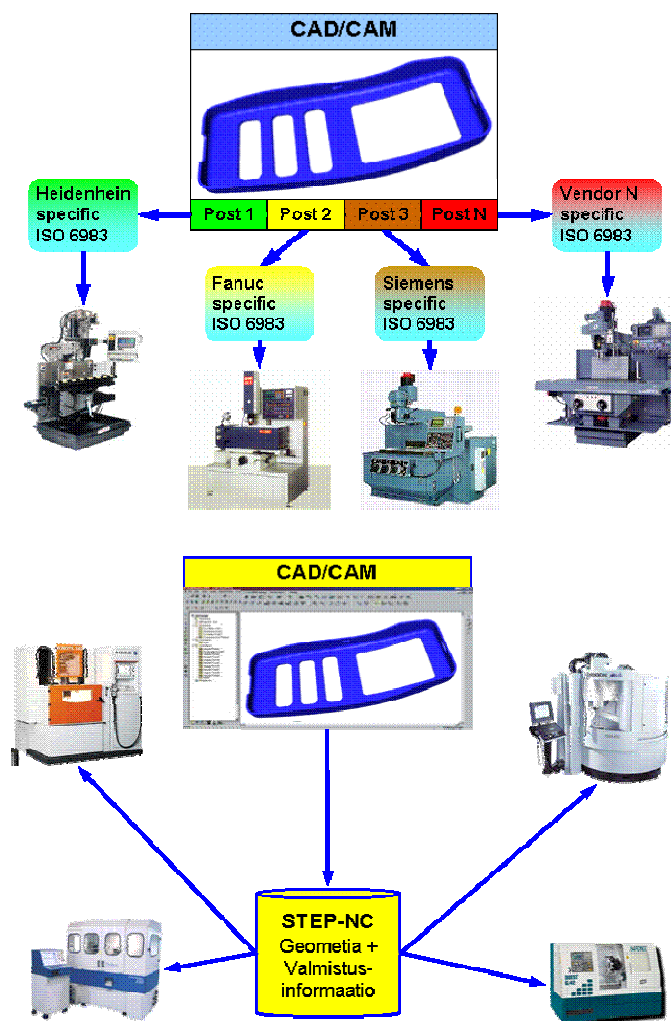
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAID	Computer Aided Industrial Design
CAPP	Computer Aided Process Planning
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CNC	Computer Numerical Control
DIS	Draft International Standard
IDEF0	Integrated Definition for Process Modelling
ISO	International Organization for Standardization
IMS	Intelligent Manufacturing Systems
NC	Numerical Control
PDM	Product Data Management
PLM	Product Lifecycle Management
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
STEP-NC	STEP standard extended for NC

1. Johdanto

Teknolohiateollisuuden yritykset toimivat verkottuneessa globaalissa ympäristössä, jossa valokaapeli siirtää dataa paikasta toiseen salamannopeasti. Internet mahdollistaa luotettavan datasiirron maailmassa, missä etäisyys on sivuseikka. Haasteeksi onkin muodostunut tuotteisiin liittyvän tiedon tulkinta eri sovellusten välillä. Standardointielimet ovat määritelleet tuotetiedon esittämiseen standardeja, joita hyödyntämällä sovellukset pystyvät kommunikoimaan ilman manuaalista välikäsitteilyä. Tuotekehityksen nopeuttaminen edellyttääkin kehittyneiden suunnitteluohjelmistojen ja tietojärjestelmien käyttöä. Tuotetiedon tallentamiseen, päivittämiseen ja siirtoon käytetään eniten STEP (STandard for the Exchange of Product data) -standardia (ISO 10303-203 1994). STEPin eri sovellusaloille on kehitetty ja kehitetään sovelluskohtaisia standardeja, jotka ottavat huomioon sovellusalan erityisvaatimukset. Nyt uusimpana sovellusaluestandardina ollaan ottamassa käyttöön työstökoneiden ohjelmointiin liittyvää määrittelyä, ns. STEP-NC:tä (ISO 10303-238 2007), joka julkaistiin virallisena standardina huhtikuussa 2007.

Nykyään tuotannossa käytettävien työstökoneiden ohjelmointiin yleensä käytetään lähes 50 vuotta sitten kehitettyä ISO 6983:n (ISO 6983-1 1982) mukaista NC-koodia (ns. G-koodi). G-koodi sisältää pääsääntöisesti kolme toimintoa: työkalun paikoitus, työkalun liike ja lisätoiminnot (lastuamismesteen käyttö, työkalun vaihto). G-koodin puutteellisuuden vuoksi uusien työstökoneiden suurnopeus-, tarkkuus- ja ohjauksominaisuuksia ei voida hyödyntää täysimääräisesti. CAD-järjestelmien piirrepohjainen teknologia köyhtyy alhaisen tason informaatioksi. Nykyinen suunnittelu-valmistusketju vaatii informaation useita muunnoksia CAD-suunnittelusta työstökoneen ohjaukskoodiksi. Informaation muunnokset ovat vielä yksisuuntaisia, jolloin NC-koodiin tehdyt muutokset eivät välity suunnittelu-valmistusketjun alkuun (Bedworth et al. 1991, Jung Hyun Han 1996, Suh et al. 2002, Suh et al. 2003).

Uudessa STEP-NC-teknologiaa hyödyntävässä suunnittelu-valmistusketjussa verkottuminen nousee aivan uudelle tasolle. Toimintojaan ulkoistavien yritysten kannalta on ensiarvoisen tärkeää uuden tekniikan mahdollistava riskien hallinta. Ennakoimattomien tapahtumien vuoksi voidaan komponenttivalmistusta siirtää nopeasti toisille konepajoille yhtenäisen STEP-NC-pohjaisen valmistusinformaation vuoksi. CAD-järjestelmillä luotu malli voidaan muuntaa STEP-NC:n mukaiseksi informaatioksi ja lähettää suoraan työstökoneelle. "Design Anywhere Manufacture Anywhere"-konsepti muuntuu visiosta todellisuudeksi. Tutkimusprojekteissa, kuten IMS STEP-NC, EU STEP-NC, US Super Model ja Korea STEP-NC, on suunnittelun ja valmistuksen integroivaa standardia viety eteenpäin ja testattu tietyillä osa-alueilla (Weyrich 2001, Maeder et al. 2002, IMS 2003, Xu & He 2004). STEP-NC-teknologian avulla voidaankin kuvan 1 mukaisesti generoida tuotemalli useilla eri CAD/CAM-järjestelmillä ja vastaanottaa se monilla NC-koneilla.



Kuva 1. Yläkuvassa näkyy nykyisen G-koodin yksi suurimmista puutteista. CAD/CAM-järjestelmällä luotu valmistussuunnitelma pitää jälkikäsitellä (post) jokaiselle työstökoneen ohjaimelle erikseen. G-koodin muunto toiselle työstökoneelle ei onnistu. Alakuvassa geometria ja sen valmistamiseen tarvittava informaatio kapseloidaan tiedostoksi, joka voidaan lähettää Internetin avulla STEP-NC:tä tulkitsevalle työstökoneelle.

Globalisaatio on nähty suurena uhkana perinteisille teollisuusmaille. Esimerkiksi vuodesta 1998 vuoteen 2005 teollisuustuotanto on kasvanut Kiinassa 2,3-kertaiseksi, Etelä-Koreassa noin kaksinkertaiseksi ja Intiassa puolitoistakertaiseksi samalla kun teollisuustuotanto on lähes polkenut paikallaan Yhdysvalloissa, Japanissa ja EU-maissa (Sitra 2005). STEP-NC korostaakin korkean teknologiaosaamisen merkitystä kehittyvien maiden halvemmän työvoimakustannusten sijaan.

2. Tuotetiedon standardointi

2.1 STEP tuotetietoperhe

STEP-standardi on ratkaisu tietokoneavusteisen suunnittelun (CAD), työsuunnittelun (CAPP) ja valmistuksen (CAM) tietojärjestelmien yhdistämiseen eli CAD/CAM-integraatioon ja edelleen tietokoneintegroituun tuotantoon CIMiin (Computer Integrated Manufacturing). Tällä hetkellä PLM (Product Lifecycle Management) on noussut yleiskäsitteeksi ja kattaa CAD-, CAM-, CAE-, CAPP- ja CIM-sovellukset sekä myös visualisointiohjelmistot (Henke & Horgan 2004, Hickley 2004). Pidemmällä tähtäimellä STEP on juuri ratkaisu PLM:n, tuotetiedon koko elinkaaren, hallintaan.

STEP-standardin kaltainen tuotemallijärjestelmä auttaa toteuttamaan monia rinnakkais-suunnittelun tarpeita. Esimerkiksi yleiset tuotetietomallit edistävät suunnitteluvaiheiden ja toimintojen yhteistoimintaa ja tiedon yhteiskäyttöä. Merkittävä piirre on myös tuotetiedon tallentaminen loogisesti yhtenäiseen tuotetietokantaan, jolloin versioiden ja muutosten hallinta, hyväksymisprosessit ja tietoturvallisuus on helpompaa toteuttaa. Käytämällä ratkaisussa järjestelmäriippumatonta teknologiaa mahdollistetaan erilaisten sovellusten liittyminen tuotetietokantaan.

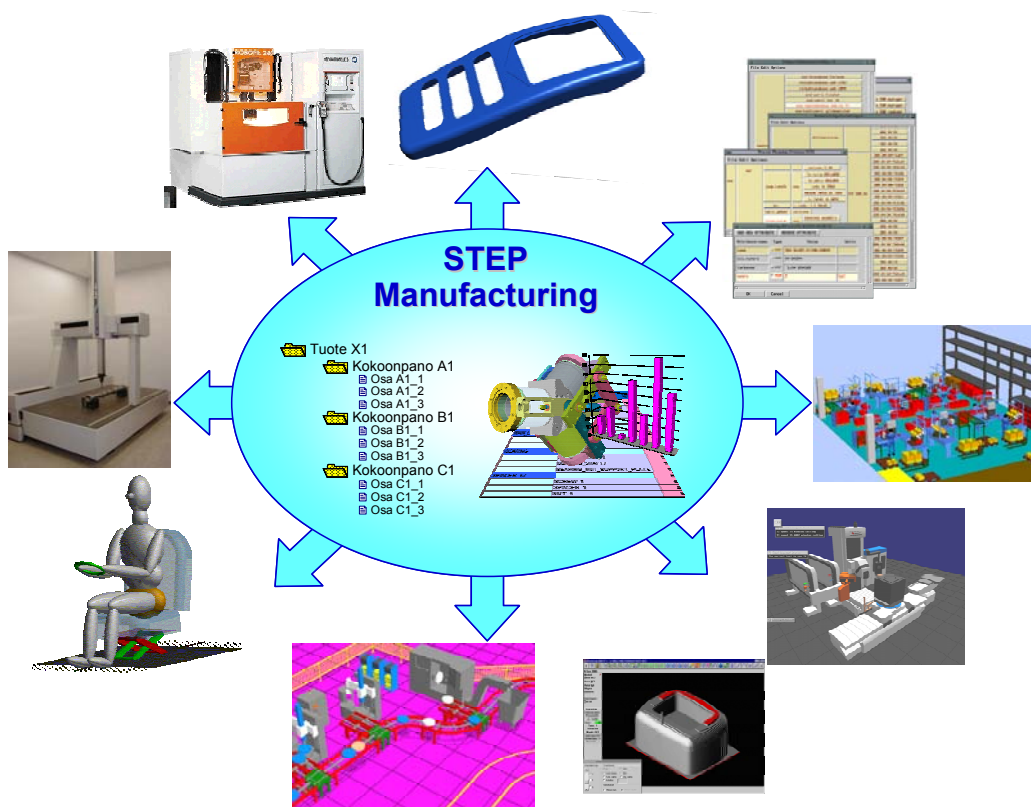
STEP-standardi kattaa perinteisen suunnittelutiedon lisäksi tuotteen toiminnallisia ominaisuuksia sekä tuotteen elinkaaritiedot. Standardi on laaja kokonaisuus, joka määrittelee perustan toimiala- tai sovellusaluekohtaisille ratkaisuille. Näitä ratkaisuja, jotka hyödyntävät STEPin yleisiä tietomäärittelyjä, kutsutaan sovellusprotokolliksi (Application Protocol). STEP voidaan ajatella metastandardina, joka määrittelee toimialakohtaiset standardit. Käytännössä sitä on hyödynnetty erilaisten CAD-järjestelmien välisen tiedonsiirron yhdenmukaistamisessa.

2.2 STEP-standardin kokonaisvaikutus

Suunnittelutiedon siirtyminen sovelluksesta toiseen ilman manuaalisia työvaiheita on tärkeä osa modernia valmistusketjuja. Mitä useampaa PLM:n osasovellusta valmistusketjussa käytetään, sitä tärkeämmäksi tulee tuotetiedon oikeaoppinen hallinnointi, siirtäminen, tallentaminen ja käyttö.

STEP-standardin tarkoituksena on levittäytyä koko valmistusketjuun. Tällöin kaikki valmistukseen liittyvä tieto olisi saman standardin mukaista ja helposti järjestelmästä toiseen siirrettävissä. STEP-standardia ovat voimakkaasti ajamassa eteenpäin mm. auto- ja ilmailuteollisuus, laivanrakennus ja puolustusvälineteollisuus. Näillä teollisuuden aloilla tiedon siirtäminen lukuisten alihankkijoiden ja tavarantoimittajien välillä aiheut-

taa usein paljon ylimääräistä työtä. Olisi kaikkien etu, jos eri osapuolet kykenisivät jonkun toimijan johdolla sopimaan mm. olemassa olevien standardien käytöstä, toimintatavoista, pelisäännöistä ja tietoteknisistä ratkaisuista. Asia on monimutkainen, ja kentällä vallitsevat eri ohjelmistotalojen voimakkaat intressit. NIST (National Institute of Standards and Technology, USA) esimerkiksi arvioi vuosittain kustannukseksi 9 miljardia dollaria siitä, että tietojärjestelmien yhteistoiminta autoteollisuuden ja elektroniikan alihankintaketjussa ontuu (Snack 2005). Yhtenäiselle standardille on täten tarvetta. Kuvasssa 2 on esitetty STEP-standardin mahdollisuudet suunnittelun, valmistuksen ja tuotannon tiedon hallinnan kehittämiseen.



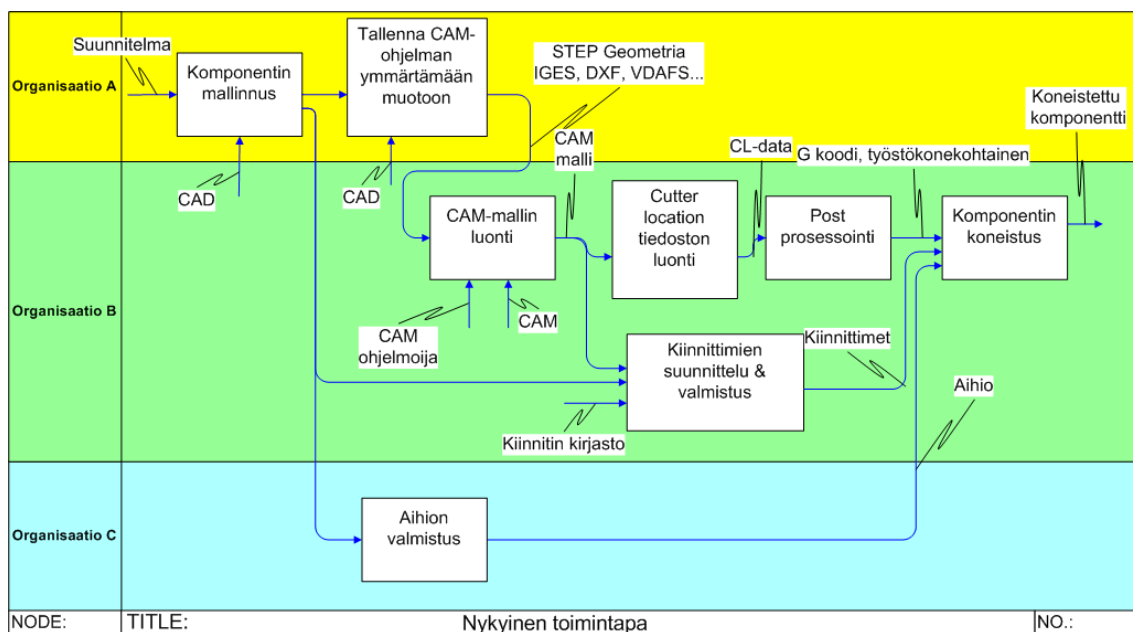
Kuva 2. STEP-standardia voidaan soveltaa koko digitaalisen tuotteen ja tuotannon suunnittelusta valmiiseen tuotteeseen.

STEP-standardin kehittämisen lähtökohtana on ajatus siitä, että standardia voitaisiin soveltaa minkä tahansa tuotteen elinkaaren hallintaan. STEP on siis joukko toisiaan tukevia sovellusprotokollia, jotka yhdessä määrittävät lähes kaiken teollisten tuotteiden valmistamisessa välitettävän ja tallennettavan tiedon. Peruseriaatteena on siirtää tietoa standardoidussa muodossa koko tuotantoketjun läpi. Sovellusprotokollat tukevat toinen toisiaan ja muodostavat yhdessä aukottoman tiedonsiirtoketjun, joka tulee käsittämään tuotesuunnittelun, tuotannosuunnittelun, valmistuksen, mittauksen ja simuloinnin.

3. STEP-NC

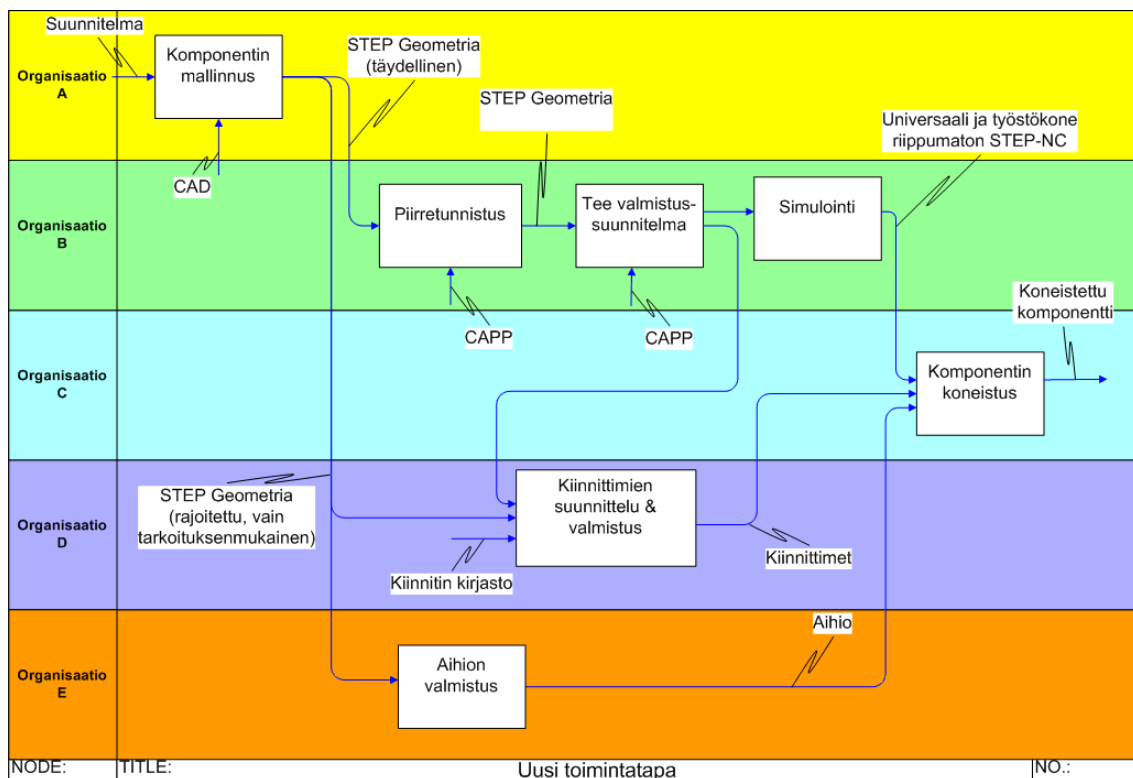
STEP-NC mahdollistaa uusien toimintamallien kehittämisen komponenttien tuotantoon teknologiayrityksille. Komponentin valmistamiseen tarvittava informaatio voidaan kapseloida digitaalisesti paketiksi ja siirtää paikkaan, missä komponenttia tarvitaan. Tietysti valmistus vaatii aihion ja koneen, joka työstää komponentin. Mutta tässä uudessa toimintamallissa erotetaan manuaalinen työ ja tuotantokone komponentin valmistamiseen liittyvästä tietämyksestä. Tämä tarkoittaa yrityksille mahdollisuuden suojata omaa tuotetietoa ja hajauttaa valmistusta eri tuotantolaitoksille. Komponentit virtautetaan kokoonpanotehtaille aina optimaalisesti tarvittavan kysynnän mukaan.

Tämän päivän tekniikkaa on ollut aluksi luoda geometriamalli ja siirtää se CAD/CAM-ohjelmoijalle, joka geometriamallia (ja useasti piirustuksia) hyväksikäyttäen luo käytettävillä resursseilla valmistussuunnitelman tarkoituksenmukaisilla toleransseilla. Tämä valmistussuunnitelma postprosessoidaan ja lähetetään edelleen NC-koneelle. NC-koneen ohjausjärjestelmä käyttää tätä G-koodia esim. jyrsinän ohjaamiseen. Nykyään kaikille ohjaustoimittajien ohjauksille tarvitaan omat erikoispostprossessorinsa. Kahden toimittajan kahden erilaisen NC-ohjauksen välillä on erittäin hankalaa siirtää G-koodia. G-koodin hankalan siirrettävyyden vuoksi yritykset keskittävätkin tuotantoaan harvoihin valittuihin tehtaisiin, ja monia komponentteja varastoidaan nopeiden toimitusten takaamiseksi (kuva 3).



Kuva 3. Nykyinen toimintatapa, joka perustuu G-koodipohjaiseen menetelmään. Yleensä organisaatio A ja B ovat saman yrityksen alla. Organisaatio B:hen kerääntyy komponentin valmistuksessa tarvittava tietämys. Kaavion kuvaustapa on IDEF0- mukainen (IDEF 1993).

STEP-NC-tekniikan avulla voidaan generoida tuotemalli useilla eri CAD/CAM-järjestelmillä ja vastaanottaa se monilla NC-koneilla (kuva 1). Eri järjestelmien on mahdollista kommunikoida keskenään. Monet STEP-NC-valmiudet omaavat konepajat voivat kommunikoida ja tarjota vapaata kapasiteettiaan komponenttien valmistamiseksi. Konepajan globaalilla sijainnilla ei ole enää merkitystä perustuen STEP-NC-tiedon sisältämiin CAD-mallin geometriamäärittelyihin yms., joihin on yksiselitteinen tulkinta. STEP-NC-standardi myös määrittelee, miten tämä tieto automaattisesti ohjelmoidaan tietyksi työstökoneen työksi (Andersson 2003). Kuvassa 4 esitetään uimaratamallina uusi toimintatapa.

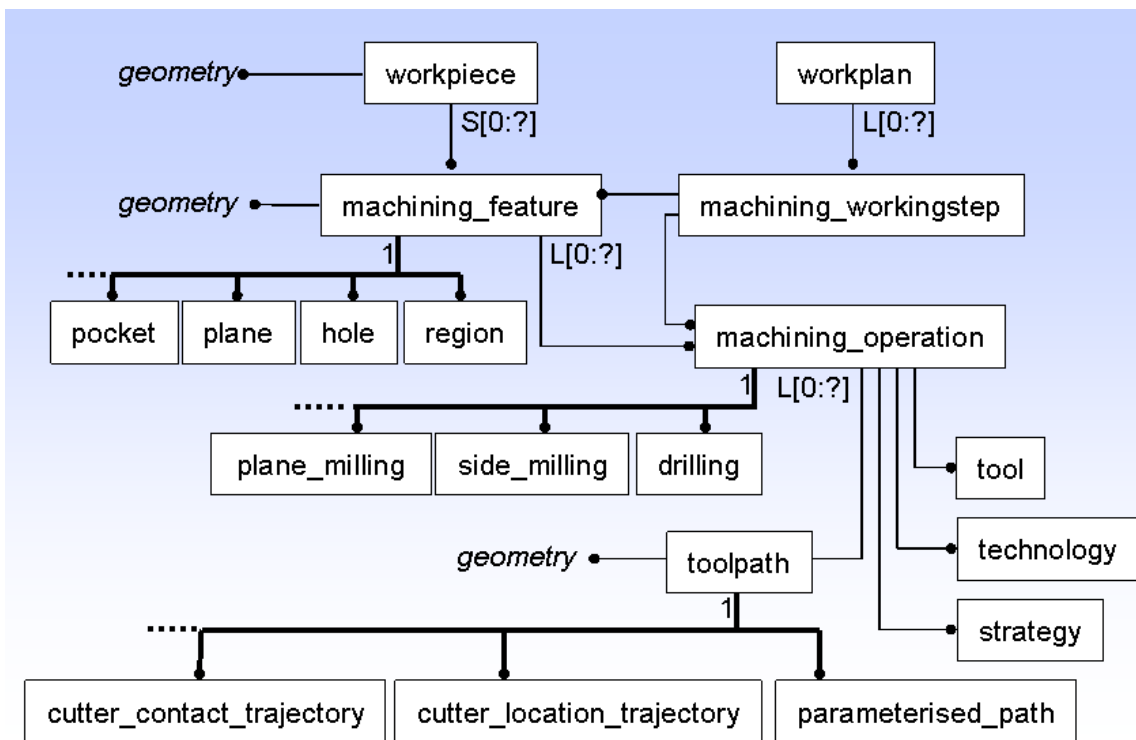


Kuva 4. Uusi toimintatapa. STEP-NC:n mukaisessa toimintatavassa tuotteen ja valmistuksen suunnittelu (ja tarvittaessa kiinnittimien) voidaan hajauttaa ja eriyttää varsinaisesta komponentin työstöstä.

STEP-NC-standardia on kehitetty kahdessa ISON komiteassa, joten STEP-NC:stä on määritelty kaksi standardia: ISO 14649 (ISO 14649 2003) ja ISO 10303-238 (ISO 10303-238 2007). Vaikka ISO 14649 ja ISO 10303-238 (jatkossa lyhyemmin AP238) käyttävät periaatteessa samoja käsitteitä, niiden implementointi työstökoneen ohjaimen eroaa toisistaan. ISO 14649 tietomalli on yksinkertaisempi ja siten helpompi toteuttaa ohjaimessa. Toisaalta AP238 tukeutuu ja käyttää STEPin määrittelyjä mm. geometrian ja piirteentunnistuksen osalta, joten CADillä tehtyä mallia voidaan hyödyntää paremmin. STEP-NC-standardin kaksi eri suuntaa hidastavat työstökone/ohjainvalmistajien mielenkiintoa tehdä STEP-NC:tä ymmärättäviä ohjaimia. Samalla on myös nähtävissä

kilpailuasetelma U.S.A.:n ja Euroopan välillä. Näiden kahden eri STEP-NC-standardin harmonisointi on kuitenkin käynnissä, ja ISO STEP-NC -yhteisö näkee ISO 14649:n välivaiheena kohti ISO 10303-238-standardia (Liu et al. 2006).

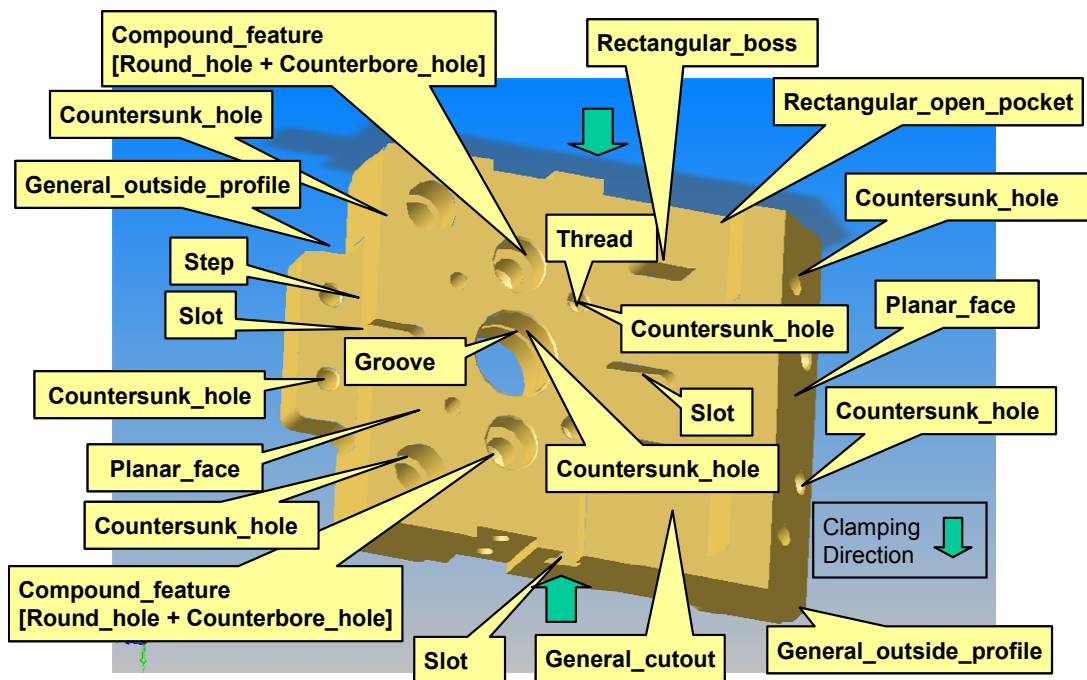
AP238 yhdistää CAD- ja CAM-datan yhdeksi yhtenäiseksi tuotemalliksi (kuva 5). AP238-protokollassa yhdistyvät työsuunnitelma, käytävissä oleva valmistusteknologia ja kappaleen geometria. Työsuunnitelmassa (workplan) määritetään, missä järjestyksessä kuhunkin projektiin liittyvät työvaiheet (machining_workingstep) tehdään. Käytävissä oleva valmistusteknologia määrittää tehtävät (machining operations) ja niihin liittyvät työkalut (tools), teknologiatiedot (technology) ja työstöstrategia (strategy), kuten zigzag, spiraali, jne. Varsinaiset työstöoperaatiot (machining_operations) suoritetaan tietyllä menetelmällä, esim. tasoajyrintä (plane_milling), jonka määrää kappaleen muotopiirteet (machining_feature). Kuhunkin tehtävään liittyy myös työkalun liikerata (toolpath), vaikka sen tarkoitus on olla lähinnä dokumentaatio terän liikkeestä. Työstöradat lasketaan työstökoneen ohjaimessa reaaliaikaisesti työstön edistytessä.



Kuva 5. STEP-NC (AP238) -standardin tuotetietomallin periaate.

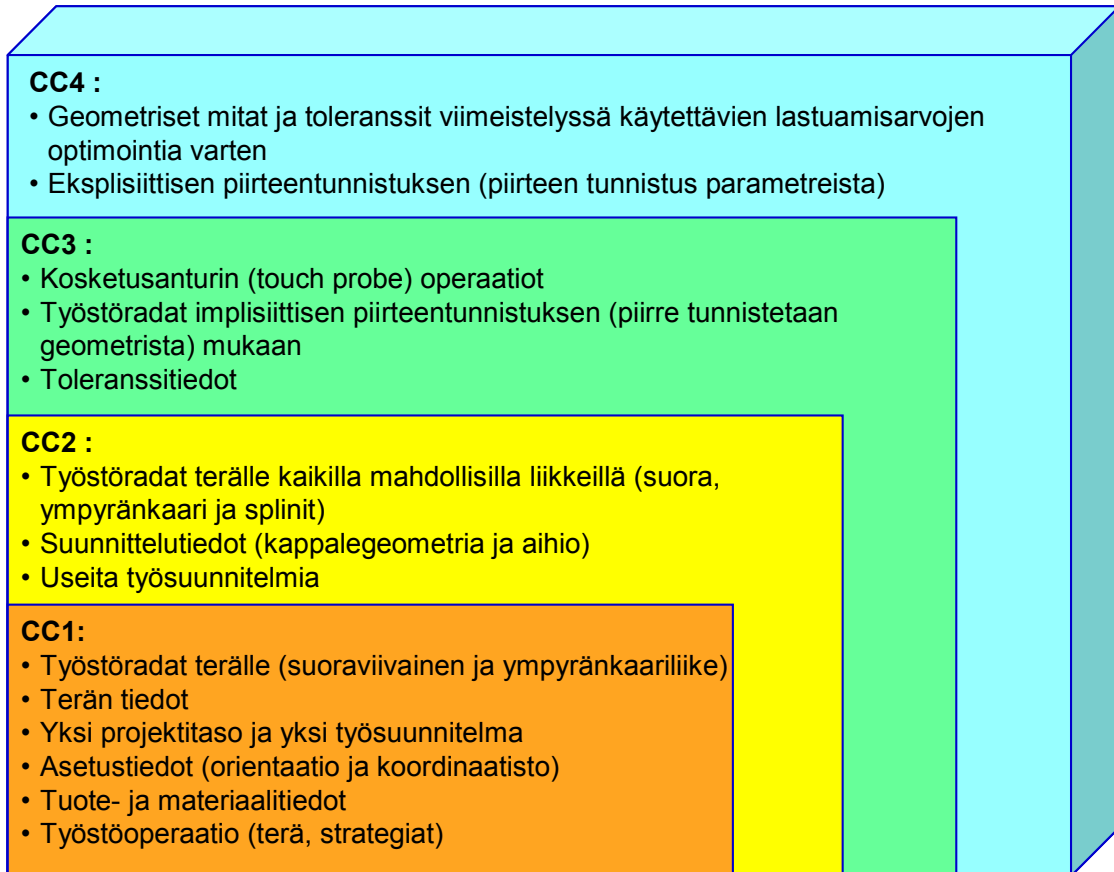
AP238-protokollassa yhdistetään kappaleen jokaiseen piirteeseen (kuva 6) sen valmistustapa. AP238-protokolla siis määrittelee työstämisen seuraavalla periaatteella:

- Valmista tämä geometria tästä aihioista
- Luo nämä piirteet materian poistolla
- Tässä järjestyksessä
- Näillä toleransseilla
- Tarkoitukseen sopivilla terillä
- Tällä työstöstrategialla.



Kuva 6. AP238 sisältää yli 50 määriteltyä valmistettavaa piirrettä (ks. liite A).

AP238 on jaettu sisäkkäisiin paloihin, minkä tarkoituksena on helpottaa CAD/CAM-toimittajien ja ohjainvalmistajien implementointia (Kuva 7). Esim. AP238 CC1 määrittelee pienimmän osajoukon, ja CC4 kattaa koko standardin. Tällöin CAD/CAM-valmistaja voi sanoa tukevansa STEP-NC:tä esim. CC2-tasolla.



Kuva 7. AP 238 -standardin kehitys on jaettu neljään sisäkkäiseen toisiaan täydentävään osakokonaisuuteen (conformation class CC1-CC4), jolloin CC4 käsittää koko standardin.

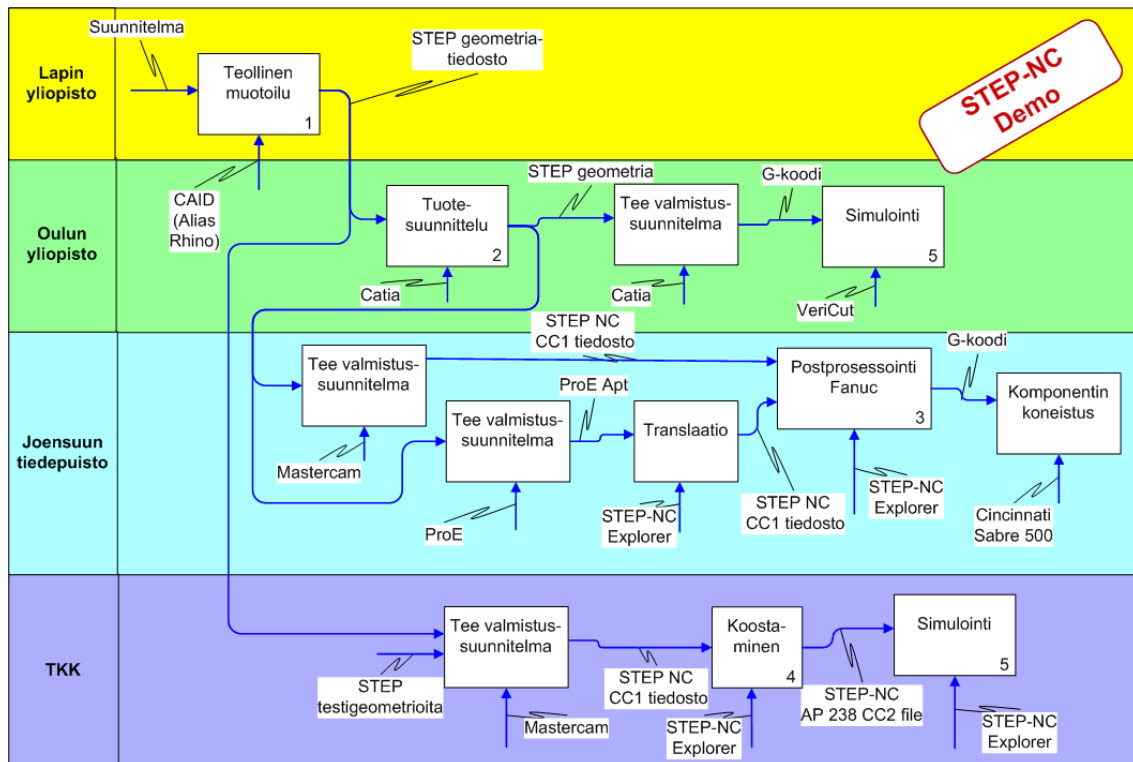
4. CASE-tapaukset

Lapin yliopiston teollisen muotoilun yksikkö ja Oulun yliopiston tuotantotekniikan laboratorio tutkivat muotoilullisesti haastavien kännykän ja hiiren kuorimallin siirtämistä CAID (Computer Aided Industrial Design) -ohjelmasta CAM-ohjelmistoon. Näiden tuotekehitysprosessia simuloivien esimerkkitapausten avulla luotiin virtaviivaistettu digitaalisen tuotekehitysprosessin malli muotoilusta mekaniikka- ja muottisuunnitteluun, jossa jo olemassa olevaa teknologiaa hyödyntäen tuotemuutokset, iteraatiot, päivityvät lähes automaattisesti. Lisäksi yhteistyön avulla päästiin käsiksi tyypillisiin tiedonsiirron ongelmiin ja niiden ratkaisuihin. Lapin yliopiston teollisen muotoilun yksikkö tutki myös digitoimalla tuotettujen pistepilvien muuntamista pintamalliksi ja pintamallien hyödynnettävyyttä STEP-NC-teknologialla.

Oulun yliopiston tuotantotekniikan laboratorio tutki CAD/CAM-järjestelmän integraatiota kännykän kuorimallin ja avaruuslaitteiden osilla. CAD/CAM-ohjelmistoilla pyrittiin selvittämään nykyisten kaupallisten ohjelmistojen suorituskyky.

Joensuun Tiedepuisto toteutti verkottuneen suunnittelu/valmistusprosessin demonstraation yhteistyössä Lapin yliopiston teollisen muotoilun yksikön ja Oulun yliopiston Tuotantotekniikan laboratorion kanssa. Demonstraatiossa siirrettiin kännykän kuorimallia eri ohjelmien (ProE, Rhino, Mastercam, STEP Tools Incin työkalut) välillä käyttäen STEP-geometriamallia ja STEP-NC (AP238) -mallia. Lopuksi kuorimalli koneistettiin Joensuun Tiedepuistossa.

TKK:ssa tutkittiin eri CAD-ohjelmilla luodun geometrian siirtämistä Mastercam-ohjelmaan ja samalla STEP-geometrietiedoston konvertoimista STEP-NC-tiedostoksi. Tavoitteena oli selvittää, millä keinoin STEP-geometrietiedosto muunnetaan standardin mukaiseksi STEP-NC-tiedostoksi. Projektissa suoritettun demonstraation kulku esitetään kuvan 8 uimaratamallissa.



Kuva 8. Projektissa suoritettu demonstraation kulku, jossa emuloitiin tuotekehitysverkoston toimintaa STEP-NC- teknologiaa hyödyntäen.

4.1 Muovituotteen rinnakkaissuunnittelu

Tutkimusesimerkeillä pyrittiin mahdollisimman monipuolisesti testaamaan ja kehittämään yritysverkostossa tapahtuvaa suunnittelua. Nämä esimerkit sisälsivät sekä solidi-että pintamallinnusta. Lapin yliopistossa käytettiin kolmea eri ohjelmistoa: Rhinoceros 3D:tä ("Rhino"), Alias Studiotools ("Alias") ja Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 -ohjelmaa ("ProE"). Näin hyödynnettiin sekä muotoiluun (CAID) että mekaniikkasuunnitteluun (CAD) käytettäviä ohjelmistoja kännykän kuoren suunnittelussa (kuva 9).



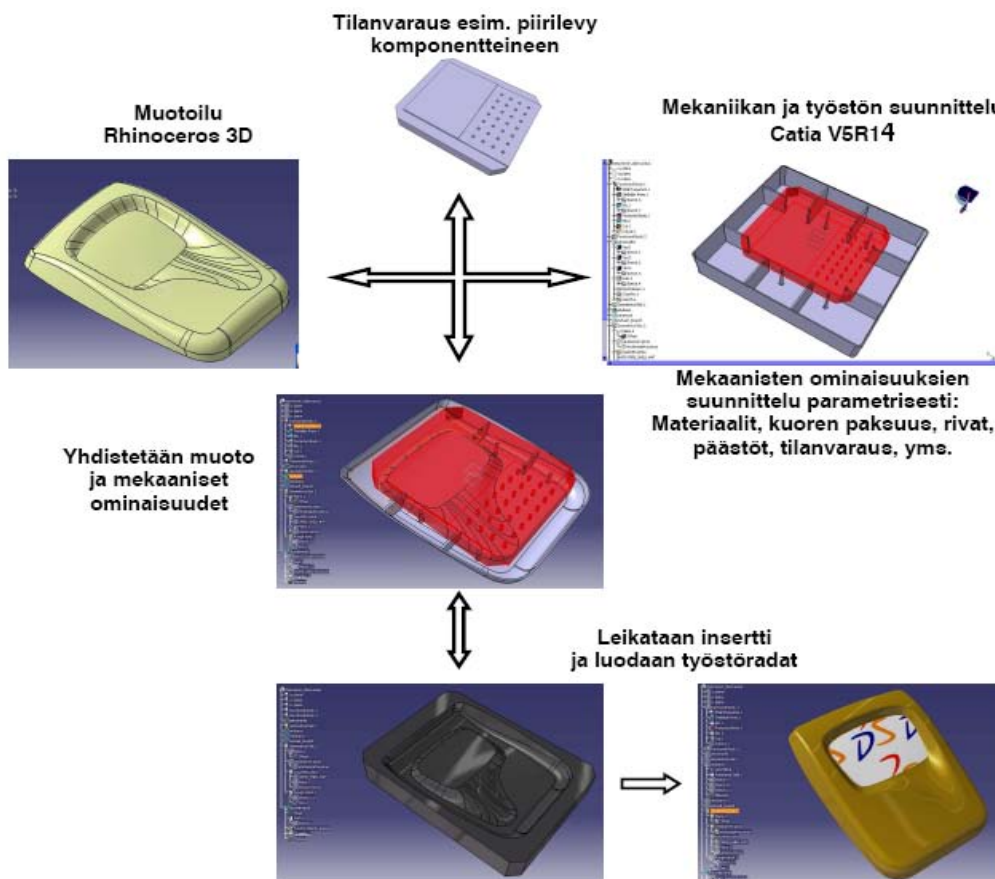
Kuva 9. Ylä- ja alakuori sekä näppäimistö.

Case osoittautui hyödylliseksi tutkimusta ajatellen. Siinä korostuivat tyypilliset pinta-mallinnuksen ja tiedonsiirron ongelmat. Esimerkiksi hyvältä näyttänyt pinta muotoilijan työkalulla tehtynä saattoi aiheuttaa ongelmia mekaniikkasuunnittelussa, kun pinnalle ei voinutkaan antaa paksuutta. Ongelma ratkaistiin leikkaamalla ongelmia aiheuttanut kohta pinnasta pois ja rakentamalla tilalle uusi ehjä pinalappu. Kun yläkuori oli muotoilun mielestä kyllin valmis – pieniä muutoksia voisi vielä tulla – tiedosto lähetettiin mekaniikkasuunnittelua varten Ouluun STEP-muodossa. Geometriassa oli kuitenkin edelleen virheitä eikä mekaniikkasuunnittelun aloitus onnistunut – pinnalle ei edelleenkaan voinut antaa paksuutta. Osa pinnoista täytyi tehdä uudelleen. Korjausten jälkeen geometria siirtyi Ouluun lähes virheettömästi ja materiaalivahvuuden määrittelemine onnistui. Seuraavaksi mallia jatkokäsiteltiin CATIAN mekaniikkasuunnittelua helpottavassa FMP-sovelluksessa (FMP, Functional Molded Part). Kokonaisuutena case oli mielenkiintoinen myös siksi, että käytössä ollut laaja ohjelmistovalikoima antoi mallintajalle mahdollisuuden tehdä pinnat siinä sovelluksessa, jossa se oli kaikkein mielekkäintä. Toisaalta tiedonsiirrot aiheuttivat jonkin verran ongelmia – esim. rikkoutuneita pintoja. Mallien siirto ohjelmasta toiseen on hyvin haavoittuvaa. Suunnittelijan pitää tehdä mallinnus juuri oikealla tavalla, jotta malli siirtyisi ongelmitta ohjelmasta toiseen.

Design-tuotteiden muottien valmistuksessa 2,5-akselinen työstö ei yksin riitä, koska muotit sisältävät runsaasti erilaisia kaarevia muotopintoja. Oulun yliopisto ja Lapin yliopisto testasivat ja kehittivät yhteistyössä yksinkertaista toimintamallia joustavaan, tehokkaaseen ja hyvin muutoksia sietävään tuotekehitysprosessiin. Siinä vietiin läpi tuotekehitysprosessi muotoilijan pinnasta aina työkalun valmistuksen suunnitteluun.

Varsinainen tuotesuunnittelu toteutettiin ensimmäistä kertaa funktionaalisen mallintamisen ominaisuuksia hyödyntämällä. Tuoteprosessia tehostettiin rinnakkaisuunnittelulla eli muotoilu ja mekaniikkasuunnittelu toteutettiin rinnakkaisesti eri järjestelmillä. Mekaniikkasuunnittelu suoritettiin parametrisesti ja funktionaalisesti. Muotoilijan Alias-ohjelmalla tuottama pinta määräsi lopulta tuotteen muodon. Prosessi saatiin eri järjestelmistä huolimatta virtaviivaistettua tehokkaaksi kokonaisuudeksi. Mekaaniset piirteet päivittyivät muotopinnan ja tuotteen tilanvarauksen mukaisesti. Kuoren tuotemalli oli mekaanisilta ominaisuuksiltaan täysin parametrinen. Valmiin tuotemallin avulla luotiin muotti-insertit ja työstöradat.

Prosessia kyettiin ohjaamaan muotoilijan pintamallilla, jolloin muutokset päivittyivät nopeasti ja miltei automaattisesti työstöratoihin asti. Kuvassa 10 esitetään kappale ja pelkistetty kuvaus prosessista.



Kuva 10. Koko prosessi on assosiatiivinen, jolloin muutos voidaan haluttaessa päivittää automaattisesti suoraan työstöratoihin saakka, tuli muutos missä vaiheessa tuotesuunnittelua tahansa. Muotoilu ja mekaanisten ominaisuuksien määrittely voidaan tehdä rinnakkain ja muodon liittämisen jälkeen voidaan analyysien ja simuloitien, sekä STEP-NC:n avulla valmistuksesta saadun informaation perusteella tehdä nopeasti tarvittavat muutokset. Samalla kyky vaikuttaa tuotteen valmistettavuuteen paranee.

4.2 Ohjelmisto- ja työstödemonstraatiot

Joensuun Tiedepuiston tehtävänä oli tutkia, kuinka helposti STEP-NC AP238:n mukaisista formaattia voidaan lastata työstökoneella. AP238-protokollan testausta varten hankittiin STEP-NC Explorer (STEP Tools Inc 2007) -ohjelma, jolla voidaan mm. eri CAM-ohjelmilla luotuja työstöratoja kääntää AP238-formaattiin. Tämän jälkeen STEP-NC Explorer voi kääntää AP238-tiedostot Fanuc- ja Siemens-ohjauksilla varustettujen työstökoneiden ymmärtämään muotoon.

Työstöratojen generointia AP238-formaattiin testattiin Mastercam- ja Pro/E CAD/CAM-ohjelmilla. Testeissä luotiin molemmilla ohjelmilla työstöradat hankkeen projektipartnereiden (Oulun yliopisto ja Lapin yliopisto) luomalle STEP-pohjaiselle kannykän kuoren tilavuusmallille.

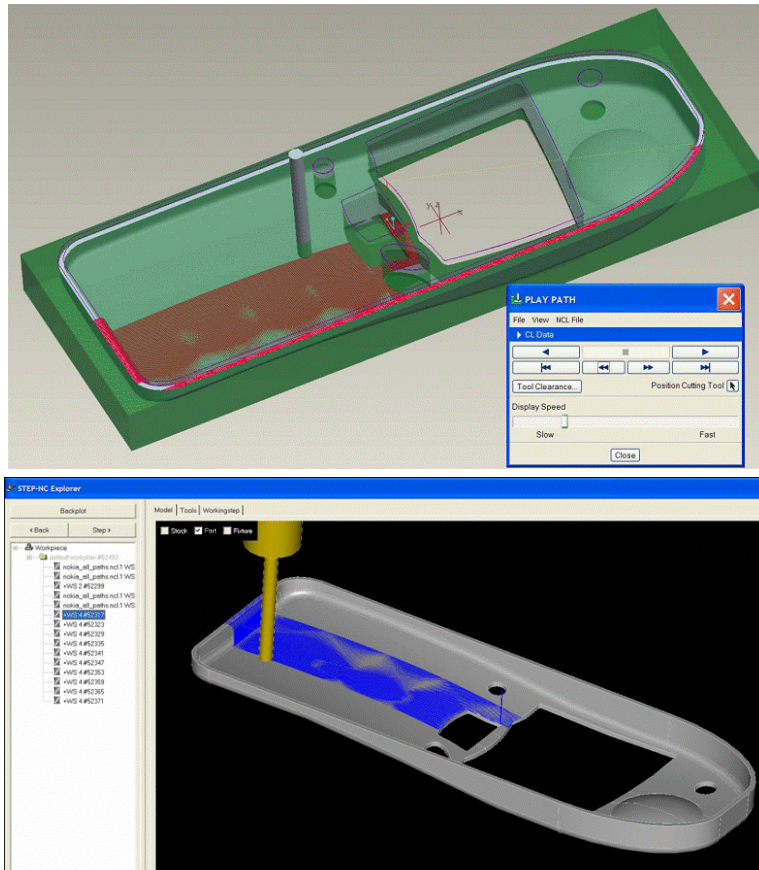
4.2.1 Ohjelmisto- ja työstödemonstraatioiden testitulokset

Mastercam, Pro/E ja STEP-NC Explorer -ohjelmilla suoritetuissa testeissä todennettiin seuraavat seikat. Mastercam CAM-ohjelmalla luodut työstöradat pystytään kääntämään AP238 CC1 -tason tiedostoiksi. Nämä tiedostot pystytään kääntämään Fanuc- ohjelmointikieleen ja lastuamaan työstökoneella. CC1-tason tiedosto sisältää ainoastaan työstöradan ja työstörata on tehtävä CAM-ohjelmalla.

Pro/E-ohjelmalla luodut työstöradat pystytään tallentamaan APT (Automatically programmed tools) -muotoon ja kääntämään yhdessä AP214- tai AP203- geometriatiedoston kanssa AP238 CC2 -tason tiedostoksi. Nämä tiedostot pystytään kääntämään Fanuc-ohjelmointikieleen ja lastuamaan työstökoneella. CC2-tason tiedosto sisältää CC1:n lisäksi kappaleen geometrian, terät, pitimet ja työstöradan.

STEP-NC Explorerilla voidaan tarkastella ja simuloida AP238-protokollan mukaisia tiedostoja esim. työvaiheita työstöratoineen. Tulevaisuudessa ohjelma kykenee tunnistamaan kappalegeometriasta peruspiirteitä ja niihin liittyviä työnvaiheita. Tehdyissä testeissä ohjelma toimi ainoastaan työstöradan simulaattorina. STEP-NC Explorer kykenee lisäksi kääntämään AP238-protokollan mukaiset työstöradat Fanuc- tai Siemens-formaattiin.

Testien yhteenvedona todettiin, että sovellusprotokollan AP238-mukaiset työstöradat kyettiin kääntämään NC-työstökoneiden ymmärtämään Fanuc-formaattiin ja radat koneistettiin uretaanipohjaiseen testimateriaaliin. Demonstraation työstöratojen generointia esitetään kuvassa 11.



Kuva 11. Yläkuvassa on ProE-ohjelmalla tehdyn pinnan viimeistelytyöstörata. Alakuvassa ProE-radat on konvertoitu STEP-NC-muotoon ja työstörataa simuloidaan. Lopuksi käännettiin työstöradat postprosessointiin ja lastuttiin uretaanipohjaiseen Cibatooll-materiaaliin Cincinnati Sabre 500 3-akselisella työstökoneella, joka ymmärtää Fanuc-ohjausta.

4.3 STEP-NC CAD/CAM-ohjelmien integroinnissa

Teknillinen korkeakoulun Tuotantotekniikan laboratoriossa tehtävien testien tavoitteena oli tutkia STEP- ja STEP-NC-muotoisten tiedostojen rakennetta ja pyrkiä tietojen pohjalta luomaan ISO 10303 AP238 CC 2:ta vastaava tiedosto. Samoin testien tavoitteena oli selvittää, kuinka hyvin CAD-ohjelmien STEP-translaattorit toimivat ja tutkia STEP-NC:n hyödyntämismahdollisuuksia tämän hetken ohjelmistoilla ja laitteilla.

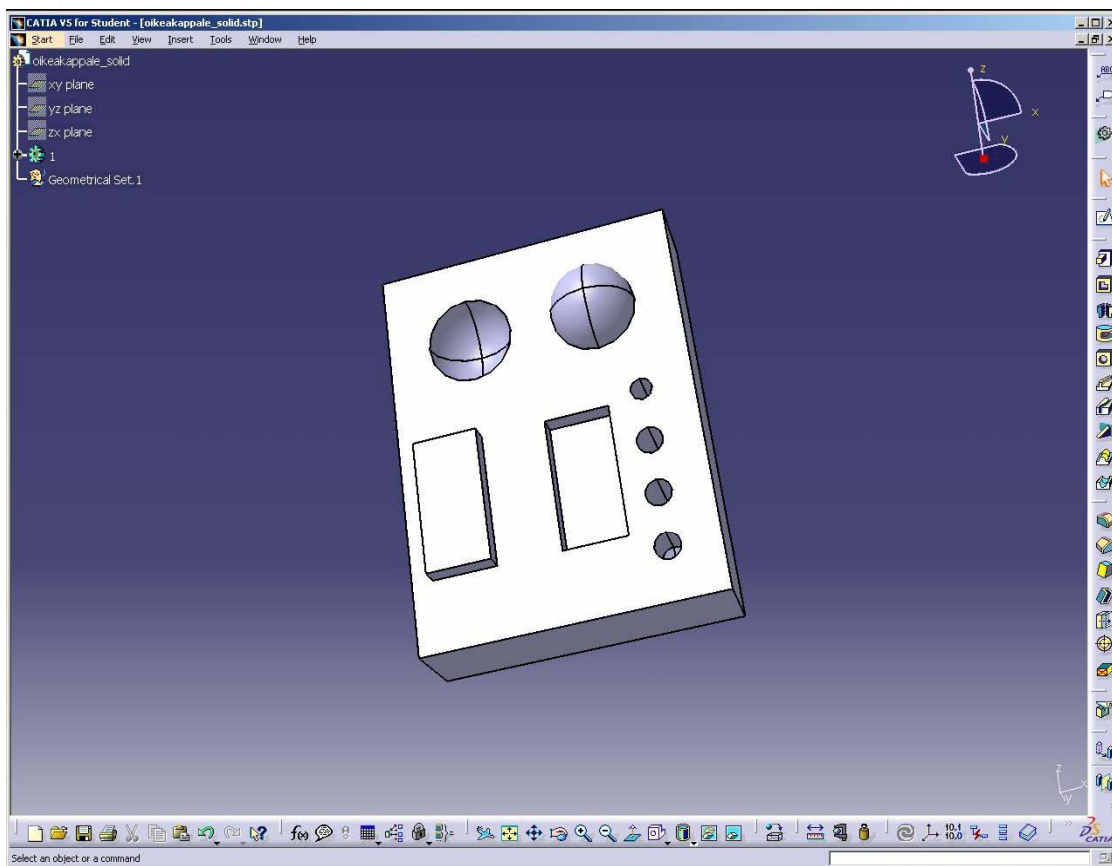
Tutkimuksissa käytettiin neljää erilaista geometriamallia:

- kuutio, jonka sivun pituus on 40 millimetriä
- suorakulmainen särmiö, jossa on reikä
- peruspieriteitä sisältävä prismaattinen 2,5/3-ulotteinen kappale
- veistospintainen, erilaisia kaksoiskaarevia pintoja sisältävä kappale.

Tutkimuksessa käytettiin seuraavia tietokoneohjelmia:

- CATIA V5
- Pro/E
- Solid Edge
- Mastercam 9.1
- STEP-NC Explorer.

Kuutio ja suorakulmainen särmiö olivat myös peruselementteinä kokeessa, jossa muodostettiin AP238 CC2 -mukainen tiedosto. Peruspiirteet sisältävällä prismaattisella 2,5/3-ulotteisella kappaleella testattiin muutamien yleisten geometrinen peruspiirteiden siirtymistä käyttäessä STEPiä tiedonsiirtoformaattina (kuva 12)



Kuva 12. Solid Edg:llä mallinnettu kappale on avattu Catiassa. Kierrereikä erottuu pienemmän halkaisijan perusteella. Testatut peruspiirteet olivat prismaattinen uloke, pallomainen uloke, prismaattinen syvennys, pallomainen syvennys, läpireikä, pohjareikä, kierteitetty reikä ja halkaisijaltaan toleroitu reikä.

Veistopintaisella kappaleella selvitettiin CAD-ohjelmien translaattoreiden selviytymistä monimutkaisemmista, erilaisia kaksoiskaarevuuksia sisältävistä geometrioista sekä Mastercamille tehdyn apuohjelman soveltuvuutta aidosti kolmiakseliseen työstöön.

4.3.1 Kokeet

CAD-ohjelmien STEP-translaattoreita testattiin kolmella tavalla:

- avaamalla mallinnettu kappale takaisin siihen CAD-ohjelmaan, jolla se oli mallinnettu eli peilikokeella
- avaamalla mallinnettu kappale muilla testatuilla CAD-ohjelmilla eli ristiin avaamalla
- lisäksi vertailtiin eri CAD-ohjelmilla luotujen samaa kappaletta kuvaavien STEP-tiedostojen sisältämää informaatiota sekä tiedoston rakennetta.

Lisäksi eri CAD-ohjelmilla mallinnetuille kappaleille tehtiin työstöratoja CAM-ohjelmalla. Nämä työstöradat muunnettiin STEP-NC-tiedostoiksi ST-Machinen avulla. CAM-ohjelmalla kokeissa käytettiin Mastercam 9.1:tä. Sillä luotiin koekappaleille työstöradat, joista muodostettiin STEP-NC-tiedosto.

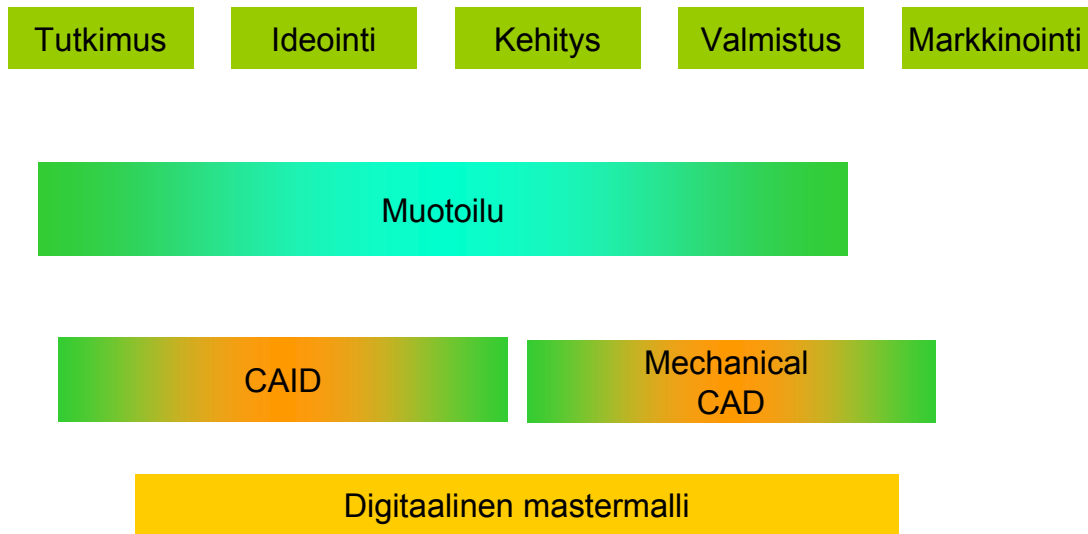
Koe suoritettiin mallintamalla samanlainen kappale jokaisella kolmella CAD-ohjelmalla ja tallentamalla se STEP-muotoon. Tämän jälkeen tiedostot avattiin Mastercamilla ja CATIAlla. Lisäksi kappaleisiin tehtiin Mastercamilla työstörata.

4.4 CASE-tapausten yhteenveto

Tutkimuspartnerit simuloivat yhdessä verkottunutta tuotekehitysprosessia käyttämällä testikappaleena kännykänkuorta. Kännykänkuoren suunnittelussa yhdistyy kattavalla tavalla ”art to part” -periaate (kuva 13).

Muotoilun näkökulmasta luotettava ja älykäs tiedonsiirto eri ohjelmistojen välillä eliminoisi monta ongelmakohtaa. Lisäksi se korostaisi kunkin osapuolen käyttämien ohjelmistojen vahvuuksia, piirteet voitaisiin tehdä siinä ympäristössä, missä se on kaikkein nopeinta ja helpointa. Tässä tilanteessa raja eri tuotekehitysosapuolten ja organisaatioiden välillä hämärtyisi. Yhteistyön aloittaminen vaatisi huomattavasti vähemmän järjestelyjä ainakin tiedonsiirrollisessa mielessä. Tätä voidaan pitää taloudellisesti merkittävänä – ohjelmistoja ei välttämättä tarvitsisi yhtenäistää asiakkaan kanssa, ja ajansäästö olisi huomattava.

Tuotekehitysprosessi



Kuva 13. Muotoilun merkitys ulottuu markkinointitutkimuksesta tuotteen valmistettavuuteen. Digitaalinen mastermalli on muotoilijoiden käyttämien ohjelmistojen (CAID) ja insinöörien käyttämien ohjelmistojen (CAD) yhteiskäytössä koko tuotekehitysprossin ajan (kuva mukailtu Petri Kivelän esityksestä 18.3.2005 Joensuu).

Muotoilijoiden käyttämät ohjelmistot perustuvat pintamallinnukseen, joka antaa suuria vapauksia halutun muodon luomiseen. STEP-NC-tuotemalli on kehitetty enemmän toiminnallisten geometrioiden esittämiseen, jotka koostuvat piirteistä kuten reikä, viiste ja tasku. Muotoilupiirteet taas ovat vaikeasti tunnistettavia kappaleen geometriamallista.

Oulun yliopiston Tuotantotekniikan laboratorio selvitti myös nykyisten kaupallisten CAD/CAM-järjestelmien suorituskykyä kännykän kuorimallin ja avaruuslaitteiden osilla. Ohjelmistojen käyttö todettiin vaativaksi ja suunnittelu/valmistusprosessia voitiin nopeuttaa kehittämällä järjestelmään komentojonoja.

Joensuun Tiedepuisto toteutti verkottuneen suunnittelu/valmistusprosessin demonstraation yhteistyössä Lapin yliopiston teollisen muotoilun yksikön ja Oulun yliopiston tuotantotekniikan laboratorion kanssa. Demonstraatioissa siirrettiin kännykän kuorimallia eri ohjelmien (ProE, Rhino, Mastercam, STEP-NC Explorer) välillä käyttäen STEP-geometriamallia ja STEP-NC (AP238) -mallia.

Työstöratoja ei kuitenkaan pystytty automaattisesti generoimaan piirteistä hankituilla STEP-NC-ohjelmilla, vaan radat tehtiin perinteisillä CAD/CAM-ohjelmilla. Nykyiset työstökoneiden numeeriset ohjaukset eivät myöskään kykene suoraan lukemaan AP238-

protokollan mukaisia tiedostoja eivätkä kykene lastuamaan tämän tiedoston perusteella. Protokollan käyttö vaatii toistaiseksi erillisen kääntäjän NC-koneiden ohjauksia varten. Lopuksi kuorimalli koneistettiin Joensuun Tiedepuistossa. Johtopäätöksiä olivat, että testien perusteella STEP-NC-standardia voidaan rajoitetusti käyttää numeerisesti ohjattujen työstökoneiden ohjaamiseen. Standardin käyttö edellyttää kuitenkin monia väli-vaiheita, ja standardin mukaisia tiedostoja ei pystytä toistaiseksi suoraan käyttämään numeeristen työstökoneiden ohjaamiseen, vaan työstökoneet vaativat edelleen ns. G-koodin käytön.

TKK:ssa tutkittiin CAD-ohjelmilla luodun geometrian siirtämistä Mastercam-ohjelmaan ja samalla STEP-geometriatiedoston konvertoimista STEP-NC-muotoiseksi tiedostoksi. Tavoitteena oli selvittää, millä keinoin STEP-geometriatiedosto muunnetaan standardin mukaiseksi STEP-NC-tiedostoksi. Suoritettujen kokeiden perusteella voidaan sanoa, että STEP on universaalina tiedonsiirtomuotona tehokkaampi kuin edeltäjänsä. Se siirtää kappalegeometrian järjestelmästä toiseen virheettää. Geometriamallin ja valmistusinformaatiomallin yhdistäminen (koostaminen) STEP-NC-muotoon toteutettiin ja testattiin simuloimalla.

5. STEP-NC:n käyttöönotto

STEP-NC:n käyttöönoton tulevaisuutta voidaan arvioida kolmella eri aikaperspektiivillä: selvittely-, kehitys ja kypsyminen- ja hyödyntämisvaihe. Taulukossa 1 vertaillaan toimintaympäristön ja CADin, CAMin ja ohjaintoimittajien kehitystä lähitulevaisuudessa. Tiedonsiirtoformaattina STEP-NC:tä voidaan hyödyntää Internetissä tämän arvion mukaan seuraavan viiden vuoden kuluessa. Implementoinnin ja tarvittavan ohjelmiston osalta STEP-NC:tä ymmärtävät ohjaimet ja STEP-NC:tä kirjoittavat CAD/CAM-ohjelmistot ovat myös tulossa lähitulevaisuudessa. Tutkimuslaitoksia tarvitaan varsinkin selvitysvaiheessa tiedonsiirtoon yrityksille ja kehitys- ja kypsymissivaiheessa liiketoimintamahdollisuuksien selvitykseen.

Taulukko 1. STEP-NC:n käyttöönoton skenaario. Skenaario pohjautuu mm. lähteeseen (Shin et al. 2007).

		Selvitysvaihe	Kehitys- ja kypsymissivaihe	Hyödyntämissivaihe
	Tavoite	STEP-NC-periaatteiden selvitys	Uusien mahdollisuuksien selvitys	eManufacturing ("printtaa komponentti osoitteeseen: tyosto@firma.com")
	Aikataulu	2 vuotta	3–4 vuotta	5 vuotta
	Toimintaympäristö	Yrityksen intranet	Verkoston Extranet	Internet
	CAD-toimittaja	CAD-ohjelmissa STEP geometria export, STEP-NC import ja postprosessointi nykyisiin ohjaimiin (Control)	STEP-NC import & export	Geometrian piirretunnistus ja niihin liittyvän valmistusinfon haku tietokannasta
	CAM-toimittaja	Tyypillinen CAM-ohjelmisto, mahdollisesti STEP-NC export -toiminnolla	STEP geometria import, osittainen piirretunnistus ja interaktiivinen käyttö -> STEP NC export	CAD/CAM tuottaa "automaattisesti" STEP-NC-koodia, piirretunnistus
	CNC-ohjaintoimittaja	Nykyinen ohjainteknologia, postprosessointia tarvitaan	STEP-NC-tuki tietyille piirteille	Älykkäät ohjaimet, jotka tulkitsevat STEP-NC-koodin ja tekevät itsenäisiä päätöksiä työstökoneen ominaisuuksien mukaan
Partnerit	Yritys	STEP-NC mahdollisuuksien kartoitus, Roadmap	STEP-NC- teknologian hankinta (ohjain, ohjelmisto)	eManufacturing valmiudet
	CAM-ohjelmistotalo	STEP-NC-konsultointi	STEP-NC- konsultointi (STEP-NC-tuote)	STEP-NC-tuote
	Tutkimuslaitos	STEP-NC-tiedonlevitys, Liiketoimintamahdollisuuksien selvitys	Teknologian siirto, STEP-NC:n kypsyysden testaus	Interoperability

5.1 STEP-NC muotoilijan näkökulmasta

Tällä hetkellä STEP-NC on keskittynyt työstöpiirteiden (reikä, tasku, jne.) hallintaan. Jos pelkästään ns. insinööripiirteet siirtyvät kunnolla STEP-NC:n mukana, jää hyöty muotoilun näkökulmasta vaillinaiseksi. Olisi toivottavaa, että myös pintamallinnus siirtyisi ”älykkäänä”. Tällöin avautuisi aikaisempaa luontevampi mahdollisuus yhteistyöhön muotoilun ja teknisen suunnittelun välille. Ongelmiin voitaisiin puuttua joustavammin ja muotoilutiimille kertyisi arvokasta käytännön osaamista esim. mekaniikka-suunnittelusta. Tämä tehostaisi tulevia tuotekehitysprojekteja – samoja virheitä ei toistettaisi.

STEP-NC tehostaa nimensä mukaisesti erityisesti muotinvalmistusta, mutta voi helpottaa myös muotoilijoiden työskentelyä. Erityisesti pintamallinnuksen siirtyminen parametriseena kaikkine jatkuvuuksineen olisi muotoilun kannalta tärkeää. Tämä tietysti edellyttää parametriseen ja kunnollisen piirrehistorian sisältävän mallinnusohjelman käyttöä. Ominaisuuksia, joita muotoilijoiden usein käyttämät pintamallinnusohjelmat eivät vielä toistaiseksi juurikaan tue. Toisaalta nyt havaittiin se, että nykyisilläkin työkaluilla prosessia voidaan tehostaa, kunhan vain yhteistyö kaikkien osapuolten välille suunnitellaan huolella. Tiedonsiirtoon liittyvät ongelmat voidaan minimoida, mutta se edellyttää perehtymistä, jota ei todennäköisesti opeteta riittävästi yhdessäkään muotoilijoita kouluttavassa oppilaitoksessa. Kyseessä on siis tieto, joka kertyy eräänlaisena ammattitaitona vuosien ja projektien mittaan. Yksi ratkaisu on muotoilijoiden siirtyminen käyttämään samoja ohjelmia teknisen suunnittelun kanssa, sillä esimerkiksi Pro/E sisältää kattavat pintamallinnusominaisuudet. Toisaalta pintamallinnusohjelmien hyödyt muotoilun apuvälineinä ovat toistaiseksi selvät. Mutta kysymys on suurelta osin mielipiteistä, tottumuksista, käytännöistä ja ohjelmistojen hinnoista. Tässä tutkimuksessa kuitenkin osoitettiin, että käytännössä prosessin voi pitää iteratiivisena ja tehokkaana ohjelmistoista riippumatta.

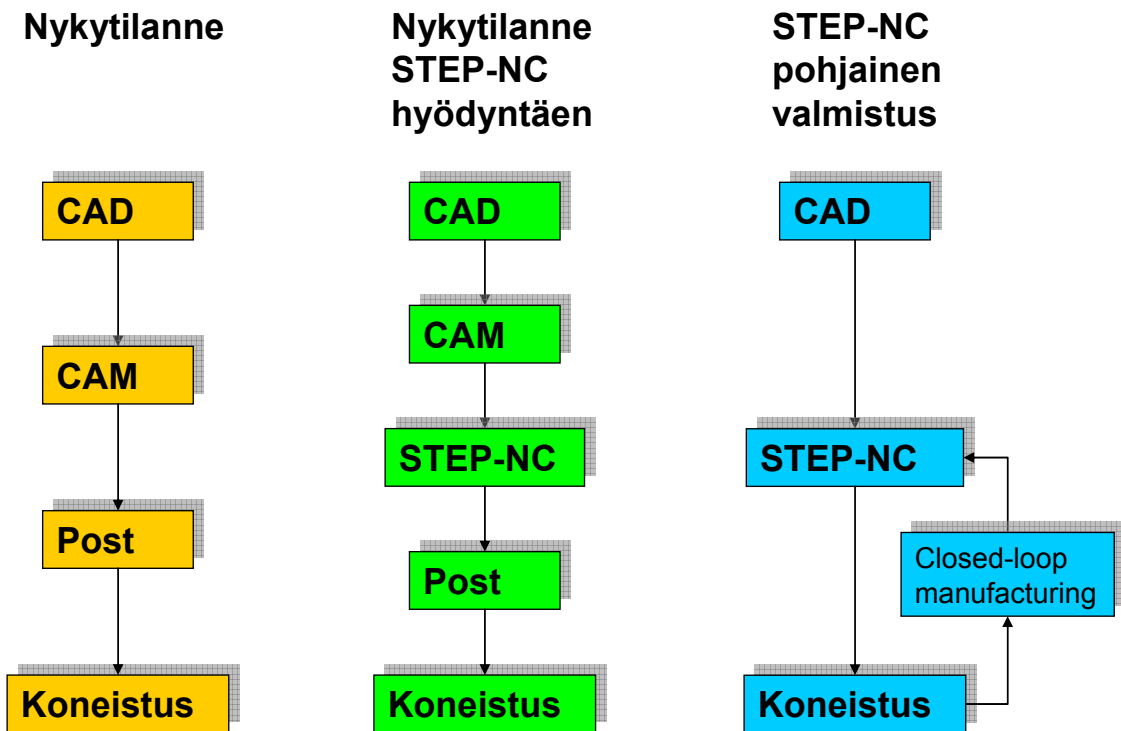
6. Yhteenveto

Tutkimuksen tavoite oli tuotteen suunnittelu- ja valmistusvaiheen radikaali lyhentäminen ja se, että luodaan suomalaiselle metalliteollisuudelle valmiudet ottaa käyttöön STEP-NC-teknologian mahdollistavaa valmistusta.

Tutkimus osoitti, että suunnittelu-valmistusketjua voidaan kehittää merkittävästi STEP-NC-teknologian avulla. STEP-NC:n avulla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä ja sen soveltaminen on valmistavien yritysten kannalta tärkeää. Tutkimukseen osallistuneet partnerit saivat paljon uutta tietoa STEP-NC-teknologiasta, ja teollisuusyritykset saivat tietoa siitä, kuinka niiden pitää muuttaa toimintaansa verkottuneessa globaalissa ympäristössä. Varsinkin kehittyvien maiden alhaiset yksikkökustannukset haastavat kehittyneiden maiden taloudet lisäämään tehokkuutta valmistavassa teollisuudessa.

STEP-NC-teknologian suurin puute tällä hetkellä on CNC-ohjaimien kyky ymmärtää STEP-NC:n mukaista tuotetietoa. Ohjainvalmistajat pystyvät tekemään STEP-NC-koodia ymmärättäviä ohjelmistoja, kun ne näkevät sen liiketoimintamahdollisuudeksi tai -uhaksi. Kilpailuasetelma Euroopan ja U.S.A.:n välillä sekoittaa markkinoita kahden kilpalevan standardin osalta. Tällä hetkellä STEP-NC-koodi joudutaan kääntämään uudestaan G-koodiksi (kuva 14).

STEP-NC:n käyttöönotto tulee olemaan haasteellista myös nykyisten ISO 6983-pohjaisten järjestelmien pitkien perinteiden ja laajan levinneisyyden vuoksi. Samoin tietyt itse STEP-NC-järjestelmiin ja tietoturva-asioihin liittyvät ongelmat on pystyttävä ratkaisemaan ennen kuin STEP-NC:stä voi tulla korvaaja ISO 6983:lle.



Kuva 14. Tällä hetkellä STEP-NC:tä ymmärtäviä ohjauksia ei ole kaupallisesti saatavana. STEP-NC-koodi täytyy jälkikäsitellä työstökoneen ohjaimelle. STEP-NC-pohjaisessa valmistuksessa STEP-NC-koodi tulkitaan työstökoneen älykkäässä ohjaimessa, johon voidaan liittää myös reaaliaikainen työkalun liikekorjaus esim. terän kulumisen kompensoimiseksi (closed-loop manufacturing).

Kokonaisuutena projektin arvona oli tuoda tietämystä, jolla suomalaiset yritykset voivat reagoida STEP-NC-tekniikan mahdollisuuksiin. Tutkimuslaitosten tehtävänä onkin aukoa uusia uria ja visioida uusia menetelmiä teollisuuden käyttöön.

Lähdeluettelo

Andersson, G. 2003. Från CAD till-NC-maskin: datakommunikation. Verkstäderna nr. 5, s. 52–54.

Bedworth, D. D., Henderson, M. R. & Wolfe, P. M. 1991. Computer-Integrated Design and Manufacturing. McGraw-Hill, Inc.

Henke, R. & Horgan, J. 2004. PLM – with and without CAD/CAM/CAE. Saatavissa 25.2.2005: http://www01.mcadcafe.com/magazine/commentary_20040108.php.

Hickley, T. 2004. PLM Market Projected to Top \$8.65 Billion in 2004, Up 5%. Daratech Inc. Saatavissa 25.2.2005: <http://www.daratech.com/press/releases/2004/040615.html>.

IDEF. 1993. Announcing the Standard for Integration Definition for Function Modeling (IDEF0). FIPS PUBS, National Institute of Standards and Technology (1993). Saatavissa: <http://www.idef.com/Downloads/pdf/idef0.pdf>, 20011210.

IMS Project 97006. 2003. STEP-Compliant Data Interface for Numerical Controls (STEP-NC). Technical Report 3. [refer 10.2.2005]. Saatavissa: <http://www.ims.org/projects/projects.html>.

ISO 10303-203. 1994. Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 203: Application protocol: Configuration controlled 3D designs of mechanical parts and assemblies. Geneva, Switzerland: ISO. 581 s.

ISO 10303-238. 2007. Industrial automation systems and integration. Product data representation and exchange. Part 238: Application protocol: Application interpreted model for computerized numerical controllers. Geneva, Switzerland: ISO. 1368 s.

ISO 14649-1. 2003. Industrial automation systems and integration – Physical device control – Data model for computerized numerical controllers – Part 1: Overview and fundamental principles. Geneva, Switzerland: ISO. 28 s.

ISO 6983-1. 1982. Numerical control of machines – Program format and definition of address words – Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems. Geneva, Switzerland: ISO. 14 s.

Jung Hyun Han, 1996. Survey of Feature Research. Technical Report IRIS-96-346, Institute for Robotics and Intelligent Systems, USC, USA.

Liu, R., Zhang, C. & Newman, S. 2006. A framework and data processing for interfacing CNC with AP238. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. Vol. 19, No. 6, September 2006, s. 516–522(7).

Maeder, W., Nguyen, V., Richard, J. & Stark, J. 2002. Standardisation of the Manufacturing Process: the IMS STEP-NC project. [refer 10.2.2005]. Saatavissa: http://eig.unige.ch/itech/publications/iplnetworkshop2002_paper_27082002.pdf.

Shin, S., Suh, S. & Stroud, I. 2007. Reincarnation of G-code based part programs into STEP-NC for turning applications. *Computer-Aided Design*. Vol. 39, Issue 1.

Sitra 2005. Suomi innovaatiotoiminnan kärkimaaksi. Kilpailukykyinen innovaatioympäristö -kehittämishjelman loppuraportti. 35 s.

Snack, P. 2005. Interoperability in the Automotive Sector: The AIAG Inventory Visibility & Interoperability Project. ARC Forum Performance Driven Manufacturing February 2, 2005.

STEP Tools Inc, 2007. Saatavissa: 20.4.2007:
<http://www.steptools.com/products/stepncexp/>.

Suh, S. H., Cho, J. H. & Hong, H. D. 2002. On the architecture of intelligent STEP-compliant CNC. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. Vol. 15, No. 2, s. 168–177.

Suh, S. H., Lee, B. E., Chung, D. H. & Cheon, S. U. 2003. Architecture and implementation of a shop-floor programming system for STEP-compliant CNC. *Computer-Aided Design* 35, s. 1069–1083.

Weyrich, M. 2001. The ultimate STEP. *American Machinist*. May 2001.

Xu, X. W. & He, Q. 2004. Striving for a total integration of CAD, CAPP, CAM and CNC. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. Vol. 20, Issue 2, s. 101–109.

Liite A: ISO 10303-238:n tunnistamat piirteet

Angle	_taper
General_closed_profile	Planar_profile_floor
Blind_bottom_condition	General_outside_profile
Pocket Specification_usage_constraint	BossGeneral_path
Pocket_bottom_condition	Spherical_cap
Catalogue_thread	General_patternProfile
Spherical_hole_bottom	Chamfer
General_pocket_bottom_condition	Profile_feature
Square_u_profile	Circular_closed_profile
General_profileProfile_floor	Circular_closed_shape_profile
General_profile_floor	Radiused_pocket_bottom_condition
Surface_texture_parameter	Circular_offset
General_shape_profile	Radiused_slot_end_type
Tee_profile	Circular_omit
Hole_bottom_condition	Rectangular_closed_profile
Thread	Circular_pathLinear_path
Rectangular_closed_shape_profile	Through_bottom_condition
Circular_patternLinear_profile	Rectangular_offset
Through_pocket_bottom_conditio	Closed_pocketLoop_slot_end_type
Rectangular_omit	Through_profile_floor
Closed_profile	Machined_surface
Rectangular_open_shape_profile	Toolpath_feature
Complete_circular_path	Machining_feature
Rectangular_pattern	Topological_region
Compound_feature	Ngon_profile
Region	Transition_feature
Conical_hole_bottom	Open_pocket
Region_projection	Travel_path
Counterbore_hole	Open_profile
Region_surface_list	Two5d_manufacturing_feature
Countersunk_hole	Open_slot_end_type
Replicate_feature	Vee_profile
Defined_thread	Partial_area_definition
Round_hole	Woodruff_slot_end_type
Diameter_taper	Partial_circular_path
Rounded_end	Edge_round
Partial_circular_profile	Rounded_u_profile
Flat_hole_bottom	Partial_circular_shape_profile
Shape_profile	Flat_slot_end_type
Planar_face Slot	Flat_with_radius_hole_bottom
Planar_pocket_bottom_condition	Slot_end_type

Liite B: Projektin julkaisut, raportit, esitelmät, lehtiartikkelit ja opinnäytteet

VTT

- Uutta teknologiaa tuotantomuottien nopeaan valmistukseen. VTT-katsaus 2006.
- Neue Technologie für die schnelle Herstellung von Fertigungsformen. VTT Rundschau 2006.
- New technology speeds up the manufacturing of production moulds. VTT Review 2006.
- Paro, J. & Sääski, J. Uusien teknologioiden mahdollisuudet tuotantomuottien nopeaan valmistamiseen. Muovi- sekä kumiteollisuuden mahdollisuudet terveydenhuollon tarvikkeiden korvaavaan tuotantoon. Muovi- ja kumipoolin valmiusharjoitus, 2.11.2006. 18 s.
- Yleinen 3d-tiedostomuoto etenee hitaasti. Metallitekniikka 2006/6.
- VTT:ltä uutta teknologiaa tuotantomuottien nopeaan valmistukseen. Rakennustaito 2006/5.
- Sääski, J. 2006. STEP-NC valmistuksen virtaviivaistamiseen. Konepajatekniikan päivien tutkijapäivä 31.5.2006. Teknillinen Korkeakoulu, Konepajatekniikan laboratorio. 18 s.
- VTT:ltä uutta teknologiaa tuotantomuottien nopeaan valmistukseen. Saatavissa 10.5.2006: <http://www.tiedetoimittaja.com/sivut/stepnc.html>.
- Mekaanisten osien valmistus jopa 30–70 prosenttia nopeammaksi. Tekniikka& Talous, 10.5.2006.
- Salonen, T. & Sääski, J. 2005. Tuotetietostandardien käyttö tuotannossa. VTT, Espoo. VTT Working Papers 23. 19 s.
Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2005/W23.pdf>.
- Paro, J., Sääski, J. & Salonen, T. 2005. STEP-NC-standardin hyödyt valmistusinformaation siirrossa. Työvälineiden valmistajien neuvottelupäivät. Naantali, 27–28.1.2005. VTT Tuotteet ja tuotanto. 6 s.
- Suomalaisyrityksille valmiudet STEP-NC-teknologian käyttöön. Syke, VTT Tuotteet ja tuotanto -yksikön asiakaslehti, 1/2005.
- Paavola, A., Haajanen, J., Salonen, T., Sääski, J. & Uoti, M. 2005. Tuotantotieto yritysverkostoissa. (esiselvitys). Teknologiateollisuus ry. 41 s.
Saatavissa: <http://www.ennakointifoorumi.fi/tiedostot/173.pdf>.
- Sääski, J., Salonen, T. & Paro, J. 2005. Integration of CAD, CAM and NC with Step-NC. VTT, Espoo. VTT Working Papers 28. 23 s.
Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2005/W28.pdf>.
- Sääski, J. 2005. STEP-NC project in Finland. OMAC STEP-NC Workgroup Meeting. Orlando, Florida, 4 Feb. 2005. 2 s.
- Paro, J., Sääski, J. 2004. STEP-NC. Työvälineiden valmistajien neuvottelupäivät 29.–30.1.2004, Naantali. Naantali (2004). 32 s.
- Irti G-koodista. Metallitekniikka 2004/4.

Lapin yliopisto

- Ahonen, A. 2005. Step-nc-tiedonsiirtomuoto muotoilijan näkökulmasta – digitaalinen tuotekehitysprosessi. Lapin yliopisto, Taiteiden tiedekunta, Teollinen muotoilu. 47 s.
- Kivelä, P. 2006. Reverse-engineering-näkökulma step-nc-teknologiaan – muotoilulliset haasteet CAD-malleissa ja niihin perustuvissa prosesseissa. Lapin yliopisto, Taiteiden tiedekunta. Teollinen muotoilu. 30 s.

Oulun yliopisto

- Ihatsu, M. Automaattinen työstönsuunnittelu koneistuskeskukselle. Diplomityö 2006.
- Lappalainen, K. & Ihatsu, M. 2006. Automated Process Planning and Simulation Based. Manufacturing of Space Instrument Parts. International Conference, Virtual Concept 2006, Cancun, Mexico.
- Lappalainen, K., Hautala, T. & Ihatsu, M. 2006. Piirrepohjainen työstönsuunnittelu ja sen automatisointi. Oulun yliopisto, Konetekniikan osasto, Tuotantotekniikan laboratorio, Oulu. 63 s.

TKK

- Zhuang Jianjun, 2005. A feature-based integrated automatic manufacturing technology. Diplomityö, Konetekniikan osasto, TKK.
- Korhonen, A. Standardien ISO 10303 ja ISO 14649 mukaisten toimintamallien soveltaminen nykyisillä suunnittelu-ohjelmilla tietokoneintegroituudessa verkostoituneessa tuotantoympäristössä. Diplomityö, Konetekniikan osasto, TKK.

Joensuun Tiedepuisto

- Väyrynen, J. 2006. STEP-NC:n hyödyntämisen vaikutukset verkostomaiseen tuotantoon. Sovellusprotokollan AP238 soveltaminen lastuavassa työstössä. Joensuun Tiedepuisto Oy / Imtec. 33 s.

Tutkimustuloksista on tiedotettu mm.

- Työvälineiden valmistajien neuvottelupäivillä 2004 ja 2005
- OMAC STEP-NC Workgroup Meeting, 2005 Florida
- ISO TC184 SC4 kokouksessa June 26–28, 2006, Toulouse, France
- Konepajatekniikan päivien tutkijapäivässä 31.5.2006. Teknillinen Korkeakoulu
- Useita workshop-tapahtumia tutkimuspartnereiden ja projektissa mukana olleiden yritysten kanssa.

