

Arto Aho

CAD/CAM-prosessin kuvaus

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Tekniikan yksikkö

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKO-ULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Arto Aho

Työn nimi: CAD/CAM-prosessin kuvaus

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2014

Sivumäärä: 48

Liitteiden lukumäärä: 0

Työssä selvitettiin CAD/CAM-prosessin toiminta ja datan liikkuminen eri järjestelmien välillä. Teoriassa perehdyttiin tuotetietojen ja muutostenhallintaan sekä järjestelmien integrointiin. Siemens PLM -järjestelmästä esitellään valmistusprosessin suunnitteluun ja hallintaan tarkoitettuja sovelluksia. Työssä käsitellään muutoksenhallintaa järjestelmien välillä sekä nopeiden muutosten aikaansaamat hyödyt prosessissa ja integraation tuomat edut virheiden ja kustannusten vähentämisessä.

Työssä käy selville mallien välillä automaattisesti tapahtuvien muutoksien parannukset ja syntyvät hyödyt suunnitteluprosessissa. Näitä ovat esimerkiksi suunnitteluprosessin nopeutuminen ja helpottuminen. Tämä säästää yrityksiltä aikaa ja kustannuksia. Kustannuksia voi syntyä myös, kun valmistetaan tuotteesta väärää versiota. Nämäkin kustannukset voidaan poistaa järjestelmien avulla. Kun suunnittelija tekee malliin pienen mittamuutoksen ja unohtaa mainita siitä NC-ohjelmoijalle, se voi johtaa virheellisten tuotteiden valmistukseen, mutta automaattisesti tapahtuvien muutosten ansiosta NC-ohjelmoija saa tiedon mallin muutoksesta suoraan ohjelmankäyttöliittymään ja hänen tarvitsee vain huomioida sen vaikutukset.

Teamcenter-järjestelmässä toimintojen ja tarkistusten automatisoinnin avulla voidaan helpottaa suunnittelijoiden työtaakkaa. Toiminto voi olla esimerkiksi piirustuksien tai valmistusdokumenttien automaattinen generoiminen. Automaattista toimintaa voi olla myös attribuuttitietojen tai nimikkeeseen liitettyjen dokumenttien tarkistus. Tämän tyyppistä automaatiota on mahdollista hyödyntää lähes kaikkien nimikkeidenhallintaan liittyvien tietojen kanssa.

Avainsanat: NX, Teamcenter, tietokoneavusteinen suunnittelu, tietokoneavusteinen valmistus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Arto Aho

Title of thesis: CAD/CAM process

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2014

Number of pages: 48

Number of appendices: 0

The thesis presents how the CAD/CAM process works and how the information moves between the different systems. The basics about the product data management and change management are presented in the theory part. The Siemens PLM system programs that are developed for manufacturing planning are presented in this thesis. Also the change management between the different systems and the benefits that the fast changes made in the processes are presented.

This thesis presents how the automatic changes and the resulting benefits can improve the design processes. Those kinds of benefits are for example the faster and easier design processes. This saves money and time. The costs may also be the results of the facts that the product was manufactured as a wrong version. These costs can also be eliminated by using the PLM systems. When the designer makes some changes to the model and forgets to mention it to the manufacturing. This can lead to a manufacture of the incorrect products and lead to additional costs. Thanks to the automatic changes the NC programmer is informed of the changes automatically directly from the program interface, and he only needs to take the effects of it into account.

The PLM system with the automated functions and checks can make the designer job easier. The function can be for example automated making of drawings or manufacturing documents. Checks such as the attribute information check and the check if the correct documents are attached to the item can also be done with the automated functions. This kind of automation can be used for almost all information that is related to the management of the items.

Keywords: NX, Teamcenter, Product Data Management, Product Lifecycle Management

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Tavoitteet ja rajaus.....	8
1.2 Yritysesittely	9
2 PLM	10
2.1 PDM	10
2.1.1 Nimike	11
2.1.2 Revisio	12
2.1.3 Tuoterakenteet.....	13
2.1.4 Muutoksenhallinta	15
2.1.5 PDM:n integrointi CAD-järjestelmään	16
2.1.6 CAD-järjestelmän integrointi CAM-järjestelmään	16
2.2 Teamcenter.....	18
2.2.1 Classification.....	18
2.2.2 Manufacturing Process Management	19
2.2.3 Resource Manager	19
2.2.4 Manufacturing Process Planner	20
2.2.5 Part Planner	21
3 NX.....	22
3.1 CAD	22
3.2 CAM	22
3.3 PMI.....	23
4 VALMISTUS JA KOKOONPANOYSTÄVÄLLINEN SUUNNITTELU	
.....	24
4.1 DFA.....	25

4.2 DFM	26
4.3 Toleranssit	27
4.4 Geometriset toleranssit	27
4.5 Työkalut	28
4.6 Kiinnittimet	28
5 SIEMENS CAD/CAM-PROSESSI	31
5.1 CAD-mallin suunnittelu ja PMI-mitointi	31
5.2 CAM-mallin tekeminen	33
5.3 Työstöohjelman postprosessointi ja tallennus	35
5.4 CAD-mallin muutoksenhallinta CAM-järjestelmässä	36
6 SIEMENS PLM -TUOTTEIDEN KÄYTTÖ YRITYKSISSÄ	41
6.1 Dyson: Mallin suunnittelu ja prototyyppien valmistus	41
6.2 Nexion Group: Kustannusten vähennys ja osien uudelleenkäyttö	41
6.3 Telsmith: Nopea ohjelma takaa nopeat muutokset	42
6.4 ANDRITZ Ritz: Suora yhteys insinööreiltä työpajaan minimoi koneiden käyttökätköt	43
7 YHTEENVETO	44
8 OMIA POHDINTOJA	46
LÄHTEET	47

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. PDM-järjestelmässä hallittavia tietoja.....	11
Kuvio 2. Monitasoinen tuoterakenne.....	14
Kuvio 3. Esimerkki nimikkeen tilakaaviosta.....	15
Kuvio 4. Esimerkki Classification luokkien hierarkiasta.....	20
Kuvio 5. DFMA:n tavoitteet.....	25
Kuvio 6. Tuotteen valmistuksesta aiheutuvat kustannukset.....	26
Kuvio 7. Esimerkki kiinnitintornista.....	29
Kuvio 8. PMI-mitoin varustettu CAD-malli.....	32
Kuvio 9. PMI-mittojen näkyvyys Teamcenter Viewer -ikkunassa.....	33
Kuvio 10. CAM-malli PMI-mittoineen.....	34
Kuvio 11. Teamcenter latausikkuna.....	35
Kuvio 12. Part Planner käyttöliittymä.....	36
Kuvio 13. Esimerkki työstöohjelman muutosprosessista.....	36
Kuvio 14. Mallin muutosten näkyvyys CAM-järjestelmässä.....	37
Kuvio 15. Päivittämättömien PMI-mittojen esitystapa.....	38
Kuvio 16. Esimerkki mallissa tapahtuneiden muutosten katselmoinnista.....	39
Kuvio 17. Operation Navigator -näkyvä mallin muuttumisen jälkeen.....	39

Käytetyt termit ja lyhenteet

BOM	Bill of Material, tuoterakenne
eBOM	Engineering Bill of Material, suunnittelun tuoterakenne
mBOM	Manufacturing Bill of Material, koneistuksen tuoterakenne
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CAM	Computer Aided Manufacturing, tietokoneavusteinen valmistus
CAE	Computer Aided Engineering, tietokoneavusteinen lujuuslaskenta
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly, valmistus- ja kokoonpanoystävällinen suunnittelu
DFA	Design for Assembly, kokoonpanoystävällinen suunnittelu
DFM	Design for Manufacturing, valmistusystävällinen suunnittelu
ERP	Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä
ERM	Enterprise Resource Management, toiminnanohjausjärjestelmä
JT-malli	CAD-riippumaton kappaleen 3D-kuorimalli
PDM	Product Data Management, tuotetiedon hallinta
PLM	Product Lifecycle Management, tuotteen elinkaaren hallinta

1 JOHDANTO

Monessa yrityksessä on siirrytty suunniteltujen CAD-mallien tallentamisessa niin sanotusta levynnurkalle tallentamisesta nykyaikaisiin PLM-järjestelmiin. Siitä huolimatta työstöratujen, kiinnittimien, ohjelmien ja työkalujen hallinta tapahtuu yleisimmin NC-ohjelmoijan työpöydällä ja konesalien laatikostoissa. Jo pelkkä näiden tietojen etsiminen kuluttaa runsaasti käytettävissä olevia resursseja. Lisäksi näin toimittaessa NC-ohjelmoijalla tai työstökoneella ei välttämättä ole viimeisintä versiota tuotteesta, mikä saattaa johtaa turhan työn tekemiseen ja näin ollen ylimääräisiin kustannuksiin. CAD- ja CAM-järjestelmien integroiminen PLM-järjestelmän avulla mahdollistaa sen, että kaikilla tahoilla on viimeisin versio tuotteesta ja mahdolliset muutokset tuotteeseen saadaan levitettyä nopeasti koko tuotantoketjulle. Tässä opinnäytetyössä on kuvattu osa tämän prosessin vaiheista, jotta työn lukija saisi yleiskäsityksen prosessin toiminnasta.

1.1 Tavoitteet ja rajaus

Tämän työn tavoitteena oli selvittää ja kuvata, kuinka valmistettavien osien CAD-mallit siirtyvät CAM-järjestelmään. Tämä operaatio täytyi tehdä hyödyntäen PLM-järjestelmää niin, että kaikki mahdolliset operaatiot tehtäisiin sen sisällä. Työssä selvitettiin, miten CAD-malliin tehtävät muutokset päivittyvät CAM-järjestelmään. Tavoitteena oli myös selvittää, kuinka Teamcenter PLM -järjestelmän ominaisuudet helpottavat tuotteiden valmistusta ja miten niitä on mahdollista hyödyntää valmistusprosessissa. Työ rajattiin koskemaan Teamcenter PLM -järjestelmää ja NX-järjestelmän CAD- ja CAM-osia. Työssä selvitettiin ainoastaan, kuinka muutokset tapahtuvat NX-järjestelmän sisällä tehtyjen CAD- ja CAM-mallien kanssa.

1.2 Yritysesittely

IDEAL PLM on täyden palvelun PLM-talo, joka tarjoaa yrityksille kaiken, mitä tarvitaan tuotteiden elinkaaren hallintaan. Tuotteisiin ja palveluihin kuuluvat ohjelmistot, järjestelmät, käyttöönotto-, integrointi- ja ohjelmiston lisenssintipalvelut sekä kattavat koulutus- ja tukipalvelut. Yrityksessä työskentelee Suomessa ja Venäjällä yli 80 alan ammattilaista. IDEAL PLM edustaa Siemens PLM Softwaren tuotteita. (IDEAL PLM Yritysinfo 2014.)

2 PLM

PLM:n tarkoitus on tehdä informaation liikkumisesta ja sen saatavuudesta helppoa koko tuotteen elinkaaren aikana. Tuotteen elinkaaren hallinta mahdollistaa yritysten onnistumisen kansainvälisillä ja globaaleilla markkinoilla. Tuotteen datan hallinnan (PDM) voidaan nähdä kuuluvan PLM:n alaisuuteen ja ajan kuluessa yhä yleistyvä CAD-mallinnus, josta johtuva kasvava CAD-mallien määrä, on luonut yrityksille tarpeen seurata tuotteitansa niiden elinkaaren aikana. PDM mahdollistaa näiden mallien tallentamisen ja kontrolloimisen standardoidussa ympäristössä. Järjestelmässä on välittömästi mahdollisuus nähdä osien ja kokoonpanojen väliset suhteet ja rakenteet. (Saaksvuori & Immonen 2002, 1.)

2.1 PDM

PDM:llä eli tuotetiedonhallinnalla tarkoitetaan kaikkia tuotteeseen liittyviä tietoja. Kuviossa 1 on esitettyä osa tiedoista, joita voidaan hallita PDM-järjestelmässä. Tuotetiedonhallintaa on siis suurin osa teollisuusyritysten käsittelemistä tiedoista. Puhuttaessa tuotetiedonhallinnasta tarkoitetaan kuitenkin pääasiassa kaikkea tuotteisiin liittyviä teknisiä tietoja. PDM-järjestelmillä käsitellään usein pelkästään tuotesuunnittelun tietoja, eikä niinkään tilaus- ja toimitusprosessien tietoja. Suurin osa näistä järjestelmistä on kehitetty silmälläpitäen tuotesuunnittelun lähtökohtia, mikä näkyy esimerkiksi siinä, kuinka järjestelmät tukevat erilaisia versiointi-, tarkastus- ja hyväksymiskäytäntöjä. Tuotetiedonhallinta voidaan jakaa neljään pääryhmään: nimikkeiden hallinta, dokumenttien hallinta, tuoterakenteiden hallinta ja muutosten hallinta. Tuotetiedonhallinnan tavoitteena on hallita lähes kaikkia yrityksen tietoja. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, 9–10.)

• Piirustukset	• Tilaukset
• 3D Mallit	• Toimitetut tuotteet
• Esitteet	• Tuoterakenteet
• Hinnastot	• Osaluettelot
• Valmistusohjeet	• NC-ohjelmat
• Materiaalilaskelmat	• Sulautetut ohjelmistot
• Testaustulokset	• Laskut

Kuvio 1. PDM-järjestelmässä hallittavia tietoja.

Monilla yrityksillä on käytössä laajoja toiminnanohjausjärjestelmiä, joita kutsutaan ERP- tai ERM-järjestelmiksi. Koska ERP-järjestelmien tavoitteena on hallita lähes kaikkia yritysten tietoja, tuotetiedonhallinnan toimintojen voidaan ajatella kuuluvan ERP-järjestelmiin. Yleisimmin yritykset valitsevat erikseen sekä ERP-järjestelmän että PDM-järjestelmän. Koska näissä järjestelmissä käsitellään osittain samoja tietoja, työnjako PDM- ja ERP-järjestelmien välillä on mietittävä tarkoin. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, 10–11.)

2.1.1 Nimike

Nimike on esimerkiksi tuotetiedonhallinnan piiriin otettu komponentti tai dokumentti. Tuotetiedonhallinta perustuu suurelta osin nimikkeiden hallintaan. Nimikkeiden hallinnan kaksi tärkeää osaa ovat muun muassa nimikkeiden luokittelu ja versiointi. Nimike voi siis olla mikä tahansa tuotetiedonhallinnan kannalta tärkeä itsenäinen ”osa”, jolla on oma yksilöllinen tunnistus. Nimikkeitä voi olla useita eri tyyppisiä riippuen siitä, mitä niillä halutaan kuvata: muun muassa ostetut osat, kokoonpanot, komponentit ja tuotannon lisätarvikkeet. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, 15–16.)

Ostettavilla standardikomponenteilla voi olla useita eri valmistajia ja jos eri valmistajien väliset komponentit ovat keskenään vaihtokelpoisia, komponenttia varten tarvitaan yksi nimike, joka esittää valmistajasta riippumatonta komponenttia

ja johon viitataan esimerkiksi tuotteiden osaluetteloissa. Tuotteeseen voi liittyä siinä olevien komponenttien lisäksi myös monia muita nimikkeitä. Esimerkiksi tuotteen testausohje on tuotteeseen liittyvä nimike, vaikka testausohjetta ei käsitelläkään tuotteen osana. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, 16.)

Jokaisella nimikkeellä pitää olla yksikäsitteinen tunniste, jotta nimike voidaan yksilöidä ja erottaa muista nimikkeistä. Tämä voi olla esimerkiksi itsestään generoituva yksilöllinen numerosarja tai nimikkeen yksilöivä noin 20 merkkiä pitkä määrämuotoinen tunniste. Nimikkeille voidaan antaa myös kuvaus, mistä käy helpommin selville, mitä kyseinen nimike sisältää. Kuvauksissa tulee käyttää johdonmukaisesti yrityksen sisällä sovittuja termejä. Yrityksessä on esimerkiksi määritettävä puhutaanko ”pulteista” vai ”kuusiokoloruuveista”. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, 16–17.)

Kuhunkin nimikkeeseen liittyy joukko määrämuotoisia tietoja, joita kutsutaan attribuuteiksi tai parametreiksi. Nämä voivat liittyä nimikkeen sijasta myös kahden tai useamman nimikkeen väliseen yhteyteen. PDM-järjestelmä itsessään määrittelee nimikkeelle aina joitain attribuutteja, joita ovat esimerkiksi nimikkeen tunniste ja kuvaus. Nämä ovat järjestelmässä niin sanotusti ”sisäänrakennettuja” attribuutteja, jotka ovat automaattisesti kaikilla nimikkeillä. Näiden pakollisten attribuuttien lisäksi nimikkeellä voi olla myös vaihteleva määrä muita attribuutteja. Yrityskohtaisesti nimikkeille voi olla attribuuttina esimerkiksi komponentin massa tai valmistusmateriaali. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, 17.)

2.1.2 Revisio

Kun nimikettä muutetaan siten, että uusi versio korvaa vanhan, syntyy nimikkeestä uusi revisio. Revisiot siis liittyvät nimikkeiden muutosten hallintaan. Kun luodaan uusi nimike, luodaan itseasiassa samalla uuden nimikkeen ensimmäinen revisio. Eri revisiot erotetaan toisistaan nimikkeen tunnisteeseen yhteyteen tulevasta juoksevasta revisio-tunnuksesta, tämä voi olla esimerkiksi numero- tai kirjaintunnus. Uusi revisio tehdään jollakin tavalla edeltävän revision pohjalta. Tämän takia oletetaan, että edellistä revisiota ei enää muuteta sen jälkeen, kun

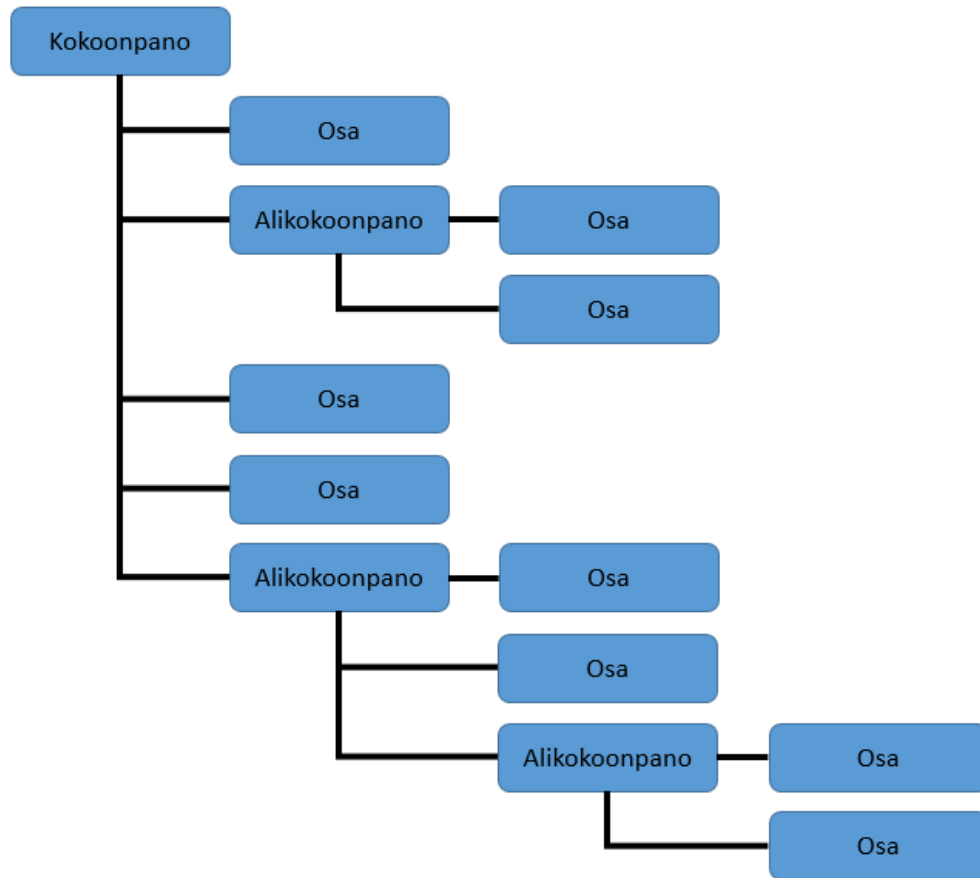
sille on tehty seuraaja. Tämä yleensä myös varmistetaan PDM-järjestelmässä lukitsemalla edellinen revisio niin, että siihen ei enää voida tehdä muutoksia. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, 33.)

Samana nimikkeen revisioiden keskinäisessä yhteensopivuudessa noudatetaan sääntöä, että nimikkeen uutta revisiota voidaan käyttää minkä tahansa vanhan revision paikalla, mutta vanhaa revisiota ei välttämättä voida käyttää uuden revision paikalla. Jos uutta revisiota ei voida käyttää vanhan tilalla, kyseessä ei ole enää saman nimikkeen uusi revisio vaan kokonaan uusi nimike. Uuden revision on siis muodoltaan, toiminnoiltaan ja yhteensopivuudeltaan oltava korvattavan revision kanssa osan käytön kannalta yhteneviä. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, 33–34.)

Jokainen nimikkeeseen tehty muutos ei välttämättä johda uuden revision luomiseen. Mekaanisissa komponenteissa käytetään usein toimintamallia, jossa komponentista tehdään uusi revisio vasta, kun komponentin osaluettelo tai piirustusta muutetaan. Piirustuksiin voi yleensä tehdä pieniä muutoksia, kuten puuttuvien mittojen lisäyksiä ilman uuden revision luontia. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, 34.)

2.1.3 Tuoterakenteet

Tuoterakenne kertoo, miten tuote koostuu osista, jotka koostuvat pienemmistä osista ja niin edelleen. Tuoterakenne voi fyysisten osien lisäksi sisältää myös tuotteeseen liittyviä työvaiheita, palveluita ja viittauksia nimikkeisiin, jotka eivät varsinaisesti ole tuotteen osia. Näitä nimikkeitä voivat olla esimerkiksi asennus- ja testausohjeet. Tuoterakenteisiin ei yleensä liitetä tuotannon lisäaineita, kuten pakkauksia, liimoja ja voiteluaineita, vaan näitä hallitaan esimerkiksi tuotantoprosessiin liittyvän ohjauksen perusteella. Kuviossa 2 on esitetty tyypillinen monitasoinen tuoterakenne, joka sisältää osien lisäksi alikokoonpanoja osineen. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, 60–61.)



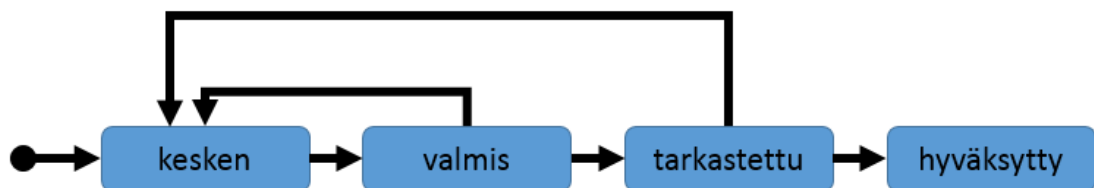
Kuvio 2. Monitasoinen tuoterakenne.

Samasta tuotteesta pitää useassa tapauksessa tallentaa monta rakennetta. Tämä on tarpeen esimerkiksi laivanrakennuksessa, missä laiva kuvataan kolmella rinnakkaisella tavalla: järjestelminä (esim. sähköjärjestelmä), alueina (esim. ravintola) ja lohkoina (määrämittaiset osat laivan rakennusvaiheessa). Myös koneistusta varten osasta tehdään usein toinen tuoterakenne. PDM-järjestelmässä näistä tuoterakenteista käytetään nimitystä BOM. Perinteisen suunnittelun osan BOM on niin sanottu eBOM ja kun osalle aletaan suunnittelemaan työstöjä, kootaan nämä omaan rakenteeseensa, josta käytetään nimitystä mBOM. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, 64–65.)

2.1.4 Muutoksenhallinta

Yleisesti tuotteisiin liittyy paljon toisista tuotteista riippuvia tietoja. Muutos johonkin tuotteen tietoon voi aiheuttaa sen, että monia muita tuotteiden tietoja täytyy muuttaa tai ainakin joudutaan tarkistamaan, mitä muita tietoja mahdollisesti tarvitsee muuttaa. Koska muutoksista aiheutuu paljon työtä ja sen kautta kustannuksia, usein vaaditaan, että yksi tai useampi ihminen tarkastaa ja hyväksyy muutokset, ennen kuin ne otetaan käyttöön tuotannossa. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, 71.)

Yksittäisillä nimikkeillä muutoksia hallitaan yleensä nimikkeen revisioiden avulla. Nimikkeen muuttuessa nimikkeestä tehdään uusi revisio. Nimike-revisioon voi liittyä esimerkiksi tilakaavio, jossa kerrotaan version mahdolliset tilat ja siirtymät eri tilojen välillä. Kuviossa 3 on esitetty esimerkki nimikkeen tilakaaviosta.



Kuvio 3. Esimerkki nimikkeen tilakaaviosta.

Kuviossa vasemmalla oleva pallopäinen nuoli kuvaa uuden nimikkeen luontia, jolloin siitä tulee keskeneräinen. Kun nimike on tekijän mielestä valmis, siirtää hän sen eteenpäin tarkastettavaksi. Lokerossa valmis ensimmäinen tarkastaja tarkistaa nimikkeen ja joko hylkää sen, jolloin nimike siirtyy takaisin sen tekijälle tai hyväksyy, jolloin nimike siirtyy seuraavalle tarkastajalle. Lokerossa tarkastettu toinen tarkastaja tarkistaa nimikkeen ja hän joko hylkää sen lähettäen sen samalla takaisin alkuperäiselle tekijälle. Jos toinenkin tarkastaja hyväksyy nimikkeen, siirtyy se tilaan hyväksytty. Hyväksytty-tilasta ei lähde nuolta, koska kun nimike on hyväksytty, ei sitä voi enää muuttaa, vaan muutosta tehtäessä on tehtävä uusi revisio. Tilasiirtymistä täytyy ilmoittaa asiaankuuluville henkilöille. Esimerkiksi, kun

nimike siirtyy sen tekijältä tarkastajalle, on tarkastajalle lähetettävä tarkastuspyyntö. Tarkastuspyyntö voidaan lähettää joko sähköpostitse tai tarkastaja voi nähdä hänelle tarkastettavaksi tulleet tuotteet omalta työlistaltaan PDM-järjestelmässä. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, 71–73.)

2.1.5 PDM:n integrointi CAD-järjestelmään

PDM-järjestelmässä tarvitaan usein integraatioita yrityksen muihin järjestelmiin, kuten ERP- ja CAD-järjestelmiin. Nämä integraatiot voivat olla joko yksi- tai kaksisuuntaisia. Yksisuuntaisessa järjestelmässä tieto siirtyy vain toiseen suuntaan, esimerkiksi CAD-järjestelmästä PDM-järjestelmään. Kaksisuuntaisessa järjestelmässä tieto siirtyy eri järjestelmien välillä molempiin suuntiin. Järjestelmien kaksisuuntaisessa integraatiossa on mahdollista päättää, kumpi järjestelmä toimii niin sanotusti master-järjestelmänä. Masteriksi määritetty järjestelmä pystyy ylikirjoittamaan toisessa järjestelmässä jo olevan tiedon, mutta master-järjestelmässä olevaa tietoa ei voida yli kirjoittaa. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, 107–108.)

CAD-integraation avulla mallit, piirustukset ja tuoterakenteet saadaan siirtymään CAD-järjestelmän ja PDM-järjestelmän välillä. Lisäksi järjestelmien välillä siirtyy erinäinen määrä attribuuttitietoa, jossa voi olla tietoa esimerkiksi piirustuksen tekijästä, sen tekoajasta ja tuotteen massasta. Kaksisuuntaisessa järjestelmässä tietoa siirtyy myös PDM-järjestelmästä CAD-järjestelmään. Tällöin PDM-järjestelmässä voidaan muokata esimerkiksi tuoterakenteita, josta muuttuneet tiedot siirtyvät CAD-järjestelmän tuoterakenteisiin. (Peltonen, Martio & Sulonen 2002, 108–109.)

2.1.6 CAD-järjestelmän integrointi CAM-järjestelmään

Koneistajat ovat hyvin konservatiivista porukkaa, jos joku on aina rikki, niin miksi sitä korjaamaan. He keksivät uusia kiertotapoja, jos se tarkoittaa vain vähäisiä muutoksia ja minimaalisia riskejä heidän tuotannossaan. Koneistajat eivät

kuitenkaan jaksa työskennellä järjestelmien kanssa, jotka ovat alttiita virheille, ja vaihtavat työpaikkaa. Tämä on yksi niistä syistä, miksi integraatioilla on merkitystä NC-ohjelmoijille. Oikean mallin koneistaminen on ainakin yhtä tärkeää kuin koneistajan taidot ja tarkkuus. Jos osan geometria on väärä tai yleisemmin, jos suunnittelijan tekemää muutosta ei ole huomattu tai siitä on huonosti informoitu, mikään määrä työstöissä tapahtuvista hienouksista ei voi estää osia joutumasta romukoppaan. Geometrian täytyy olla oikea. (Hart 2012.)

Frankel (2012) tiivistää artikkelissaan CAD- ja CAM-järjestelmien integroimisen edut viiteen pääkohtaan. Kohdassa neljä Frankel mainitsee seuraavaa: Säilytä datasi organisoidusti, voit työskennellä eri ryhmissä samanaikaisesti ja nopeuttaa suunnittelussa tapahtuvia muutoksia. Esimerkiksi, kun käytät yhtä mallia, josta muut päivittyvät assosiatiivisesti, muottien mallit, elektrodit ja asetusohjelmat päivittyvät automaattisesti CAD-mallin muuttuessa. Assosiatiivisuus tekee suunnittelussa tapahtuvista muutoksista nopeampia ja yksinkertaiset muutokset voivat päivittyä automaattisesti. Ne eivät vaadi uudelleenohjelmointia, sillä ohjelmat mukautuvat muutokseen automaattisesti. Yksi tai useampi suunnittelija voi työskennellä saman mallin kanssa yhtä aikaa ja NC-ohjelmointi voidaan aloittaa ennen kuin mallin suunnitelma on edes valmistunut.

CAD/CAM-integraatio mahdollistaa enemmän kuin pelkkien muutosten päivittymisen. Integraatio tarkoittaa myös, että toimintoja, joissa määritellään pintoja tai materiaaleja, ei tarvitse enää tehdä. Solidimallissa on tiedossa, missä materiaali sijaitsee ja mitä se on. Kokoonpanot näyttävät koko koneistusympäristön täydellisenä ja tarkkana. Työstöradat eivät pelkästään ole pintojen päällä, vaan ne ovat tavallaan osa kappaleen geometriaa. Operaatiot tunnistavat kappaleen seinämät ja pohjapinnat ja ne mahdollistavat myös tarvittavat turvaetäisyydet ja pintojen puhdistamiset. Jos kappaleessa tapahtuu muutoksia, CAM-ohjelma havaitsee ne ja ilmoittaa niistä käyttäjälle. Todellinen CAD/CAM-integraatio mahdollistaa mallin pohjalta tapahtuvan prosessin, missä useat koneistusmallit ja virtaviivainen prosessi voivat säilyttää assosiatiivisuuden alkuperäiseen malliin. Alkuperäisen mallin muutos johtaa nopeaan tiedon levitykseen kaikkiin koneistuksen vaiheisiin. (Hart 2012.)

On tärkeää huomata, että myös muista järjestelmistä sisään ladattu data on yhtä tärkeää kuin omalla järjestelmällä luotu. Tämä johtuu siitä, että kaikilla yrityksillä ei ole käytössä samoja ohjelmistoja ja järjestelmiä, ja näiden erilaisten järjestelmien tuottamat tiedostomuodot eroavat hyvinkin paljon toisistaan. Ei ole kuitenkaan syytä luopua integraatiosta vain sen takia, että täytyy työskennellä useiden geometrialähteiden kanssa. Kattavalla CAD-järjestelmällä on kyky ladata geometriaa muista lähteistä, niin että se on helppoa ja yksinkertaista muokata. Integraation ansiosta tehdyt muutokset päivittyvät CAM-järjestelmään yhtä tehokkaasti, kuin ne olisi tehty samassa järjestelmässä. (Hart 2012.)

2.2 Teamcenter

Teamcenter on Siemens PLM Softwaren kehittämä PLM-järjestelmä, joka yhdistää kaiken tuotteisiin liittyvän informaation ja prosessit yhteen keskitettyyn järjestelmään. Järjestelmä mahdollistaa tuotetietojen ja prosessien tehokkaan hallinnan sekä dokumenttien, rakenteiden, ohjelmien ja simulaatioiden tuottaman datan jakamisen kaikille kohderyhmille joustavasti ja yhdenaikaisesti. Teamcenterin standardoiduilla työkirjoilla ja muutosprosesseilla on mahdollista tehostaa ja selkeyttää yrityksen toimintaa. Tehokkaat tuotteen elinkaarenhallintaa helpottavat ominaisuudet vähentävät kustannuksia, parantavat tuotteiden laatua ja lisäävät yrityksen tuottavuutta. (Teamcenter Overview Brochure 2014.)

2.2.1 Classification

Teamcenter-ohjelmiston Classification-sovellus on tarkoitettu tehdyn datan määrittelyyn ja sen luokitteluun digitaaliseen kirjastoon. Digitaalisesta kirjastosta data on helposti löydettävissä ja sitä voidaan käyttää helposti ja nopeasti uusien tuotteiden suunnittelussa tai vanhojen tuotteiden jatkuvassa parantamisessa. Tuotteiden valmistuksesta vastaavat henkilöt voivat myös helposti hakea ja kokeilla erilaisia olemassa olevia valmistusvaihtoehtoja, ennen kuin he viimeistelevät suunnitelmansa ja vapauttavat tuotteen tuotantoon. Aiemmin

luotujen osien ja työkalujen helppo hallinta Teamcenterin luokittelulla ja datan uudelleen käyttömahdollisuudet nopeuttavat tuotteiden kehitystä ja näin ollen vähentävät kustannuksia. (Classification and Re-Use 2014.)

Digitaalisissa kirjastoissa on mahdollista hallita suuria määriä tietoa tuotteista (osat, alikokoonpanot, kokoonpanot), dokumenteista, koneistustyökaluista (työstökoneet, leikkuutyökalut, mittalaitteet, robotit, hitsauspistoolit), koneistukseen liittyvistä templateista, työhjeista, yrityksen toimintatavoista, prosessien määrytyksistä ja standardoiduista lomakkeista. Teamcenter mahdollistaa hierarkioiden, luokkien, attribuuttien ja hyväksyttävien attribuuttien määrytyksen. Tästä johtuen suunnittelijoiden on nopea etsiä kirjastosta tarvitsemansa osan ja lisätä se suunniteltavana olevaan tuotteeseen. Teamcenterin luokittelu on myös tiukasti integroitu NX-järjestelmään. Tämä mahdollistaa osien luokittelun ja hakemisen suoraan ohjelman käyttöliittymästä käsin. (Classification and Re-Use 2014.)

2.2.2 Manufacturing Process Management

Teamcenterin valmistusprosessin hallintaan suunniteltua kokonaisuutta kutsutaan nimellä Manufacturing Process Management. Tällä kokonaisuudella hallitaan tietoa, joka on tehty tuotteen valmistuksen suunnittelun yhteydessä. Se mahdollistaa tuotteiden kokoonpanon ja valmistuksen hallinnan Teamcenterissä. (Teamcenter manufacturing process management 2013.)

2.2.3 Resource Manager

Teamcenterin Resource Manager on sovellus, jolla NC-ohjelmoijat, prosessin suunnittelijat ja työkalusuunnittelijat voivat päivittäisessä työssään tallentaa, muokata ja hakea informaatiota hyödynnettäväksi kunkin prosesseissa. Nämä eri henkilöt käyttävät resurssidataa tehdessään esimerkiksi kiinnitinkokoonpanoja, koneistuskokonaisuuksia ja NC-ohjelmia työstökoneille, roboteille ja mittakoneille. He myös valmistavat työkalukokoonpanoja ja yhdistettyjä työstökoneita ja

robotteja, joihin on liitetty tarvittavat osat, jolloin saadaan aikaan valmis asetuspohja operaation valmistamiseen. (Resource Manager Guide 2013.)

Resurssidata on yhdistelmä luokitteluinformaatiota, Teamcenterin nimikkeitä ja muuta resurssiin liittyvää tietoa. Data on määritetty eri luokkien omien määrittelyjen mukaan, mitä organisoidaan hierarkkisesti. Jokainen luokka määrittää arvoja tai attribuutteja, jotka ovat kyseisen resurssiluokan ominaisuuksia. Nämä ominaisuudet on mahdollista määrittää jokaiselle kyseisessä luokassa tai sen alaluokassa olevalle objektille. Tämä attribuuttitieto on tyypillisesti tuotteen ominaisuuksien määrittelyä, kuten fyysisiä ominaisuuksia, esimerkiksi halkaisija, pituus ja paino. Kuviossa 4 on kuvattu esimerkki luokkien hierarkiasta. Hierarkia mahdollistaa arvojen ja attribuuttien siirtämisen tasolta toiselle. (Resource Manager Guide 2013.)

- Resource Management
 - Tools
 - Assemblies
 - ◇ Turning Tools
 - ◇ Milling Tools
 - ◇ Drilling Tools

Kuvio 4. Esimerkki Classification luokkien hierarkiasta.

2.2.4 Manufacturing Process Planner

Manufacturing Process Planner -sovellus mahdollistaa tuotteiden valmistamiseen tarvittavan datan, prosessien, resurssien ja tehdastietojen hallinnan yhdessä integroidussa tuotteessa koko tuoteketjun elinkaaren ajan. Tämä mahdollistaa saumattoman suunnittelijoiden eBOM:n ja valmistuksen mBOM:n yhdistämisen valmistusprosessissa. Näin ollen voidaan varmistua siitä, että suunnitellut osat ja kokoonpanot ovat oikein myös valmistusprosessissa. Käytävissä on myös kehittyneet ajanhallinnan työkalut, joilla on mahdollista löytää prosesseista toiminnot, jotka ovat tai eivät ole yritykselle arvoa tuottavia. Näin ollen prosessien

kehittäminen voidaan kohdentaa haluttuihin osa-alueisiin. Sovelluksella on myös mahdollista luoda 2D/3D-muotoiset työdokumentaatiot, jotka on helppo jakaa suoraan kokoonpanopisteisiin työpajoissa. (Manufacturing Process Planner 2014.)

Manufacturing Process Planner mahdollistaa tuotteiden valmistamiseen tarvittavan strategian suunnittelun. Sovellus sisältää huipputason suunnitelman prosessista sekä kaikki tuotteen valmistamisessa tarvittavat tiedot. Siihen kuuluvat tarkat ja yksityiskohtaiset suunnitelmat yksittäisistä prosesseista ja toiminnoista, jotka kuuluvat prosessiin. Luotaessa prosessien rakenteita niihin voidaan liittää myös muita prosesseja, operaatioita ja toimintoja. Sovelluksessa on myös mahdollista määrittää tehtaan sisällä olevia työpisteitä, missä operaatiot ja toiminnot tehdään. (Teamcenter manufacturing process management 2013.)

2.2.5 Part Planner

Part Planner on sovellus, joka mahdollistaa yksittäisen osan, kuten männän tai tuulettimen lavan valmistuksen suunnittelun. Suunnittelu on mahdollista tehdä raakamateriaalista valmiiseen tuotteeseen asti niin, että suunnitelma sisältää leikkaukset, poraukset, jyrsinnät, sorvaukset ja laadun varmistusoperaatiot. Tähän ympäristöön liitetään muutamia resursseja, kuten työstökoneita, kiinnittimiä, leikkuutyökaluja ja mittalaitteita. Kuten Manufacturing Process Planneriin, myös Part Planner -sovellukseen voidaan liittää muita prosesseja, operaatioita ja toimintoja. (Teamcenter manufacturing process management 2013.)

Part Planner -sovelluksella voidaan luoda useita erillisiä valmistusprosesseja tuotteen eri valmistamiseen tarvittaville operaatioille, kuten valamiselle, koneistamiselle, lämpökäsittelylle, viimeistelylle ja maalaukselle. Prosesseille on myös mahdollista määrittää suorituspaikat tehtaan sisällä (esimerkiksi käytettävä kone ja työstösolu). Tehdyt prosessit ja operaatiotematet voidaan luokitella mahdollista toistamista ja uudelleenkäyttöä varten. (Part Planner Guide 2013.)

3 NX

NX on Siemens PLM Softwaren kehittämä CAD/CAM/CAE-järjestelmä. Järjestelmällä on osien suunnittelun ja mallintamisen lisäksi laajat lujuuslaskenta ja virtaussimulointiominaisuudet sekä edistykselliset työstökoneiden ohjelmointi- ja simulointimahdollisuudet. Täysin integroitavana järjestelmänä NX ja Teamcenter yhdessä mahdollistavat prosesseissa tapahtuvien muutosten nopean levittämisen koko sidosorganisaatiolle. (NX Overview Brochure 2014.)

3.1 CAD

NX CAD on oivallinen ratkaisu, joka helpottaa uusien ja innovatiivisten tuotteiden suunnittelua. NX:ssä on helppokäyttöiset ja laajat suunnittelutyökalut, jotka kattavat koko alueen aina 2D-layouteista 3D-suunnitteluun, kokoonpanoihin, piirustuksiin ja dokumentointiin. Järjestelmässä on myös mahdollisuus käyttää muista CAD-järjestelmistä tuotua dataa. Synchronous-tekniikan avulla historiattomien ja muista CAD-järjestelmistä tuotujen tiedostojen muokkaaminen onnistuu helposti ja vaivattomasti. (NX Overview Brochure 2014.)

3.2 CAM

NX CAM on osa suurempaa NX-järjestelmän kokonaisuutta (NX for manufacturing). Tämä suuri kokonaisuus sisältää kaiken tuotteen koneelliseen valmistamiseen tarvittavat osat aina työkalujen, kiinnittimien, työstöohjelmien ja valmistamiseen tarvittavien ohjeiden hallinnasta kappaleen mittojen tarkastamiseen. NX CAM:ssä on laajat ominaisuudet NC-ohjelmointiin aina korkeanopeuksisista työstöistä moniakselisiin koneistuksiin. Piirteisiin perustuva työstöohjelmien valmistus voi vähentää työstöohjelmien tekemiseen kuluvaan aikaan jopa 90 %. Integroitu G-koodipohjainen simulointi poistaa erillisen simulointiohjelmiston tarpeen. (NX Overview Brochure 2014.)

NX CAM:ssä on loistavat integrointimahdollisuudet Teamcenter PDM -järjestelmään. Teamcenteristä voidaan esimerkiksi ladata koneistuksessa käytettävät työkalut, kiinnittimet ja simulointimallit. Tästä johtuen resurssit ovat helposti löydettävissä ja kaikkien niitä tarvitsevien käytettävissä. Integrointi PDM-järjestelmään mahdollistaa myös sen, että kaikilla on käytössä viimeisimmät versiot niin malleista kuin työkaluista ja kiinnittimistä. NX CAM:n käyttö yhdessä Teamcenterin kanssa auttaa eliminoimaan useiden eri tietokantojen käytön ja mahdollistaa kaiken koneistuksessa tarvittavan tiedon helpon saatavuuden valmistusta suunniteltaessa sekä työkoneseleissa. (NX Overview Brochure 2014.)

3.3 PMI

PMI eli Product Manufacturing Information on NX-järjestelmän sisältämä ohjelma, jolla voidaan liittää tietoa osatiedostoihin. Ohjelmassa on mahdollista lisätä informaatiota, jota voidaan hyödyntää muissa NX-järjestelmän sovelluksissa. Informaatiota voidaan käyttää esimerkiksi työkalujen valmistuksessa, koneistuksessa ja mittakoneen ohjelmoinnissa. PMI-informaatio näytetään 3D-tilassa, joka mahdollistaa informaation esittämisen paljon informatiivisemmin kuin 2D-piirustuksissa. PMI-mittojen ansiosta dokumentointiin kuluva aikaa ja kustannuksia voidaan vähentää. Lisäksi ne tekevät valmistamisesta entistä helpompaa, sillä silloin ei enää tarvitse etsiä ja lukea erillisiä piirustuksia. (Product and Manufacturing Information 2010.)

4 VALMISTUS JA KOKOONPANOYSTÄVÄLLINEN SUUNNITTELU

Suunnitteluprosessin aikana tehdyt valinnat ratkaisevat pitkälti valmistettavan tuotteen lopulliset kustannukset. Suunnittelun perinteinen tapa, missä suunnittelijat hoitavat tuotteen suunnittelun ja tuotanto valmistuksen, johtaa helposti tilanteeseen, jossa tuotannolliset ongelmat tulevat esiin vasta tuotetta valmistettaessa. Näiden suunnittelusta johtuvien virheiden huomaaminen vasta tuotantovaiheessa voi johtaa tuotteen uudelleen suunnitteluun ja suurempiin kokonaiskustannuksiin. Tästä johtuen tuotteen valmistusystävällisyys on syytä ottaa huomioon jo tuotetta suunniteltaessa. (Laakko ym. 1998, 184.)

DFMA:n (Design for Manufacturing and Assembly) eli valmistus- ja kokoonpanoystävällisen suunnittelun tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman edullinen rakenne, jossa tuotteen ominaisuuksia ei kuitenkaan ole unohdettu. Prosessia voidaan hyödyntää joko uuden tuotteen suunnittelussa tai vanhan jo kokoonpanossa olevan tuotteen kehittämiseen. Prosesseissa pyritään päästä mahdollisimman lähelle edullisinta kokonaisuusratkaisua. Menetelmässä prosessia käydään läpi kerta toisensa jälkeen, kunnes ollaan tyytyväisiä lopputulokseen. Prosessin alussa olisikin hyvä asettaa jokin tavoite, jotta voidaan helposti analysoida prosessin onnistumista. (Laakko ym. 1998, 184–185.)

DFMA-suunnitteluprosessi voidaan jakaa kahteen osittain päällekkäiseen osaluokkeeseen: valmistusystävälliseen (DFM) ja kokoonpanoystävälliseen suunnitteluun (DFA). Molemmat prosessit olisi kuitenkin hyvä suorittaa erikseen, sillä tuotteen valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen vaikuttavat päätökset suunnittelussa ovat usein samoja. DFMA:n tavoitteet on listattu kuviossa 5. (Laakko ym. 1998, 185–188.)

-
1. Osien määrän minimoiminen
 2. Kokoonpanoissa toisiinsa asemoitavien pintojen määrän minimoiminen
 3. Käytä top-down suunnittelua
 4. Helpota osien paikalleen tuomista
 5. Maksimoi osien yhteensopivuus
 6. Maksimoi osien symmetria
 7. Optimoi osien käsitettävyyttä
 8. Vältä erillisiä lukituselementtejä
 9. Käytä itse lukittuvia osia
 10. Käytä modulaarista suunnittelua
-

Kuvio 5. DFMA:n tavoitteet.

4.1 DFA

Kokoonpanoystävällinen suunnittelu DFA (Design for Assembly) on DFMA-suunnittelun osa, jonka tarkoituksena on pyrkiä vähentämään kokoonpanovaiheesta aiheutuvia kustannuksia. Kokoonpanokustannuksien vähentäminen perustuu tuotteiden osien lukumäärän vähentämiseen ja asennettavuuden helpottamiseen. Näin ollen kokoonpanoon kuluva aika lyhenee, mikä näkyy suoraan kustannuksien vähenemisenä. Kokoonpanon helpottaminen on mahdollista tehdä helpottamalla osien paikalleen tuomista ja käyttämällä osissa hyödyksi symmetrisyyttä, mikä helpottaa osien oikean asennon etsimistä. Lisäksi voidaan vähentää asemoitavien pintojen määrää. Osan tarpeellisuutta voidaan arvioida seuraavien kolmen säännön perusteella.

- Täytyykö osan liikkua muihin osiin nähden?
- Täytyykö osan olla eri materiaalia kuin muiden osien?
- Täytyykö osa olla irrotettavissa asennuksen tai huollon ajaksi?

Jos yksikään ehdoista ei täyty osalla, osa saattaa olla integroitavissa johonkin toiseen osaan. Valmistettavuuden kannalta on kuitenkin syytä muistaa arvioida muutosten aiheuttamat kokonaisvaikutukset. (Laakko ym. 1998, 187.)

4.2 DFM

Valmistusystävällinen suunnittelu DFM (Design for Manufacturing) on DFMA-suunnittelun osa, jonka tarkoituksena on ottaa huomioon tuotteen valmistettavuuteen vaikuttavat seikat. Tuotteen valmistuksen aikana aiheutuvia kustannuksia on listattu kuviossa 6. (Laakko ym. 1998, 186.)

• Raaka-aineet	• Informaatio
• Työ	• Varastointi
• Komponentit	• Palvelut
• Laitteet	• Energia
• Työkalut	• Jätteet

Kuvio 6. Tuotteen valmistuksesta aiheutuvat kustannukset.

Valmistusprosessista aiheutuvat kustannukset voidaan jakaa kolmeen ryhmään: valmistuksesta aiheutuvat kustannukset, kokoonpanosta aiheutuvat kustannukset ja yrityksen toimista aiheutuvat kustannukset. DFM pyrkii vähentämään osien määrää sekä kokoonpanosta ja yrityksen toimista aiheutuvia kustannuksia. DFM:ssä kustannusten vähentäminen perustuu pääasiassa valmistusprosessin ymmärtämiseen ja toimintojen standardoimiseen. Kun valmistusprosessia ei ymmärretä täysin, kustannuksia aiheutuu yleensä laitteiden tarpeettomista yksityiskohdista ja tarpeettoman tiukoista toleransseista. Esimerkiksi monesti piiloon jäävät osat saattavat olla turhan viimeistelyjä, joiden tekemisestä aiheutuu turhia kustannuksia. Valmistuskustannusten karsimisen tehokkaana keinona voidaan käyttää standardointia, jolloin voidaan kasvattaa sarjoja ja käyttää tehokkaampia valmistusvaiheita. Pääsääntö on, että tuote kannattaa valmistaa mahdollisimman vähillä työvaiheilla. Tässä korostuu oikean valmistusmenetelmän valinta, jolloin tulee huomioida, miten sarjakoko vaikuttaa valmistuskustannuksiin. Pienemmällä valmistuserillä kustannukset johtuvat pääosin työkaluista ja työvälineistä, mutta suuremmilla tuotantomäärillä tehokkaammat valmistusmenetelmät tulevat kannattavammiksi. Tämä kuitenkin saattaa vaatia yritykseltä suurempia investointeja. (Laakko ym. 1998, 186–187.)

4.3 Toleranssit

Oli valmistusmenetelmä mikä tahansa, niillä ei ole mahdollista valmistaa geometrisesti ja mitoiltaan tarkasti määrättyä kappaletta. Ei ole myöskään tarkoituksenmukaista valmistaa kappaleesta tarkasti mittojen mukaista, sillä liian suuri tarkkuus lisää huomattavasti kustannuksia. Standardin mukaisilla sovite- ja toleranssijärjestelmillä pyritään saavuttamaan tavoiteltu ideaalinen muoto mahdollisimman vähillä kustannuksilla. Toleranssien perustarkoitus on varmistaa tuotteiden osien toimiva kokoonpano sekä komponenttien vaihtokelpoisuus. Toleranssien määrittäminen on osan suunnittelun viimeisimpiä vaiheita, mutta niiden merkitys tuotteen lopulliselle toiminnalle ja kustannuksille on erittäin suuri. (Laakko ym. 1998, 130.)

4.4 Geometriset toleranssit

Koska tuotteista ja komponenteista on tullut hienostuneempia ja geometrisesti vaativampia, perinteiset mitat toleransseineen eivät enää riitä. Perinteiset mitat ja toleranssit ovat lineaarisia ja niillä on rajoitettu tarkkuus. Monissa tapauksissa on tarpeen määrittää kahdenvälisiä riippuvuuksia sekä piirrekohtaisia mittoja toleransseineen. Monissa tapauksissa näiden kaikkien mittojen määrittäminen ei edes ole mahdollista. Tämän vuoksi joudutaan pienentämään toleransseja, jotta kappaleet sopisivat varmasti toisiinsa. Kyseinen toleranssien pienentäminen saattaa kasvattaa valmistuskustannuksia merkittävästi. (Chang, Wysk & Wang 2006, 54–55.)

Geometriset toleranssit esittävät toleransseja, mitkä liittyvät kappaleiden geometriin ominaisuuksiin. Perinteiset geometriaominaisuudet on määritetty standardissa ASME Y14.5M 1994. Näitä ovat muun muassa suoruus, yhdensuuntaisuus, tasaisuus, pyöreys, samakeskisyyys, sylinterimäisyys ja kohtisuoruus. Osassa geometria toleransseista määritetään kahden pinnan tai muodon välisiä riippuvuuksia ja osa on tarkoitettu vain yhden muodon toleranssin määrittämiseen. (Chang, Wysk & Wang 2006, 55.)

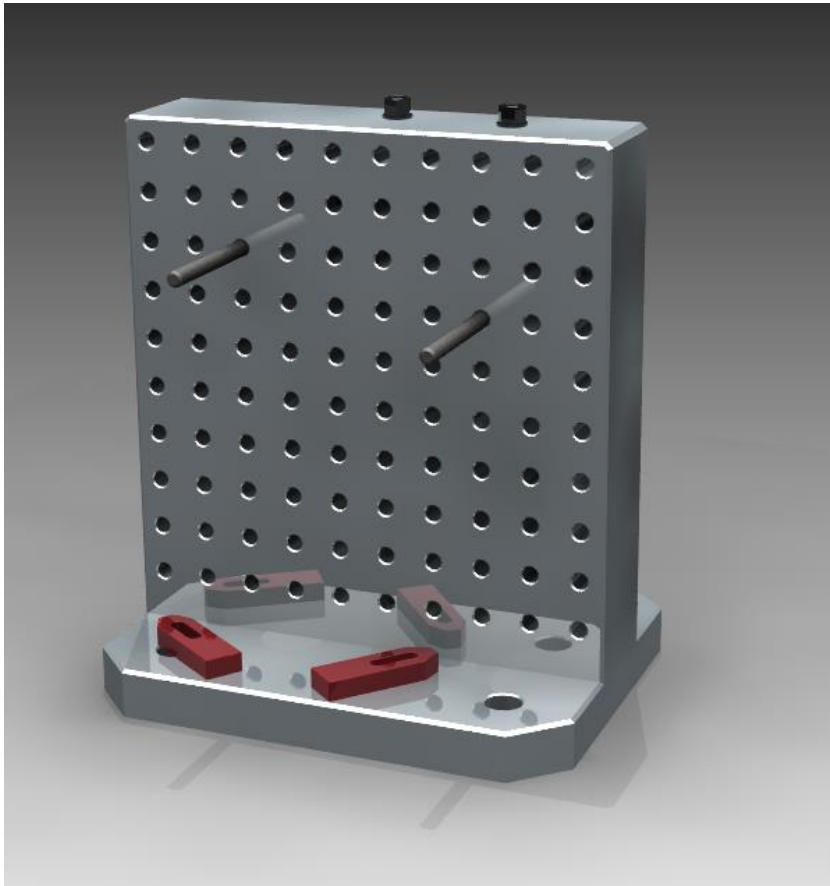
4.5 Työkalut

Metallin työstössä jokaiseen operaatioon tulee valita oikea työkalu, mutta myös koneistuksen aikana tapahtuvia työkalunvaihtoja tulisi olla mahdollisimman vähän. Turhat työkalunvaihdot lisäävät kustannuksia, sillä työkalun vaihto ei synnytä varsinaista lisäarvoa tuotteelle. Työkalun valintaan liittyy monia yksittäisiä seikkoja, jotka yhdessä vaikuttavat suuresti tuotteen valmistuskustannuksiin. Työkalun materiaali, geometria ja rakenne sekä valmistettavan kappaleen muoto ja työstöoperaation tyyppi vaikuttavat suuresti oikean työkalun valintaan. Myös oikeiden työstöarvojen valinta (syöttönopeus ja leikkuusyvyys) ovat osa onnistunutta valmistusprosessia. Näiden tietojen etsiminen kirjoista ja kansioista on aikaa vievää ja turhauttavaa sekä se lisää huomattavasti valmistuksesta aiheutuvia kustannuksia. Tietojen löytyminen keskitetysti yhdestä järjestelmästä helpottaa ja nopeuttaa koneistusprosessin suunnittelua ja tarvittavien työstöratojen valmistusta. (Chang, Wysk & Wang 2006, 227.)

4.6 Kiinnittimet

Kiinnitinkustannukset voivat olla todella merkittäviä. Tästä syystä monesti joudutaan valmistamaan suuria tuotantoeriä tai kiinnittimien tulee olla sopivia useanmallisille kappalegeometrioille. Usein käytettyjä ovat hitsatut kiinnitinratkaisut, mutta näiden paljon kustomointia vaativien kiinnittimien valmistaminen voi olla todella kallista. Ne eivät myöskään useasti sovellu muuta kuin yhden mallisen kappaleen valmistamiseen. Useiden yksilöllisten kiinnittimien tarvetta on voitu minimoida standardoimalla kiinnitin komponentteja. Koneistuspaletit, kulmalevyt, V-palat, nostopalat ja aluslevyt ovat jokaisen koneistajan peruskomponentteja. Koneistuspaletit ja pohjalevyt voidaan pultata kiinteästi työstökoneen pöytään. Näissä komponenteissa on valmiiksi porattuna suuri määrä kierrereikiä. Nämä reiät on porattu sopiviin kuvioihin, jotta niihin voidaan joustavasti kiinnittää erilaisia kappaleiden kiinnittämiseen käytettäviä komponentteja (kuvio 7). Tällainen joustavasti rakennettu kiinnitin voidaan helposti ja tarkasti irrottaa ja kiinnittää yhteen tai useampaan työstökoneeseen.

Kiinnittimissä on myös mahdollista käyttää niin sanottuja kohdistusreikiä, jotka paikoittavat kiinnittimet tiedossa olevan etäisyyden päähän referenssipisteestä. Referenssipiste on piste, josta kaikki kappaleen mitat on määritetty. (Chang, Wusk & Wang 2006, 257.)



Kuvio 7. Esimerkki kiinnitintornista.

Sisällyttämällä järjestelmiin vaihdettavissa olevia ja uudelleen käytettäviä komponentteja järjestelmästä voidaan saada helposti soveltuva useille eri työkappaleille. Modulaarisia järjestelmiä käytetään yleensä prototyyppien koneistamiseen, pieniin valmistuseriin tai lyhytaikaisten tuotteiden valmistamiseen. Niitä voidaan myös käyttää korvaamaan mahdollisesti korjaukseen lähtevää tai hajonnutta kiinnitintä. Standardiosien käytöllä voidaan vähentää hankalasti saatavien ja kalliiden erikoiskiinnittimien käyttöä. Näin voidaan vähentää

kiinnittimen suunnitteluun kuluvaan aikaan ja näin ollen myös kustannuksiin. (Chang, Wysk & Wang 2006, 258.)

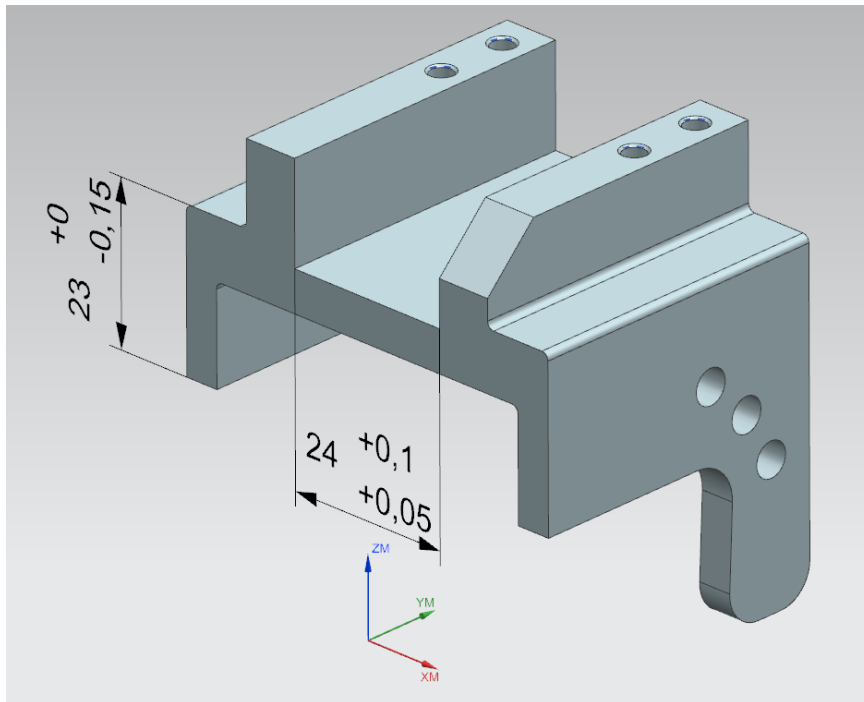
Modulaariset kiinnittimet mahdollistavat kiinnittimien yhtäaikaisen suunnittelun kappaleen kanssa. Tämän mahdollistaa se, että modulaaristen kiinnittimien osat voidaan hakea CAD- ja CAM-järjestelmiin suoraan PDM-tietokannasta. Kiinnittimien osia voidaan tarpeen mukaan mallintaa ja lisätä tietokantaan, josta ne ovat helposti saatavilla. Kiinnittimikomponenttien löytymisen helpottamiseksi ne voidaan luokitella PDM-järjestelmään käyttäen esimerkiksi luokkia: peruslevy, T-ura ja keskitystapit. (Chang, Wysk & Wang 2006, 259–260.)

5 SIEMENS CAD/CAM-PROSESSI

Tätä työtä varten kerättiin suuri määrä aiheeseen liittyvää tietoa Siemens PLM Software -verkkosivuilta ja ohjelmistojen mukana tulevista dokumenteista. Tätä tietoa hyödyntäen rakennettiin testiympäristö, jossa valmistusprosessia päästiin testaamaan. Testiympäristöön tehtyjen asennusten ja konfigurointien perusteella laadittiin tarvittavista määrittämisistä kertova dokumentti. Myös valmistusprosessin toiminnasta laadittiin dokumentti, joka selittää prosessin kulun yksityiskohtaisesti.

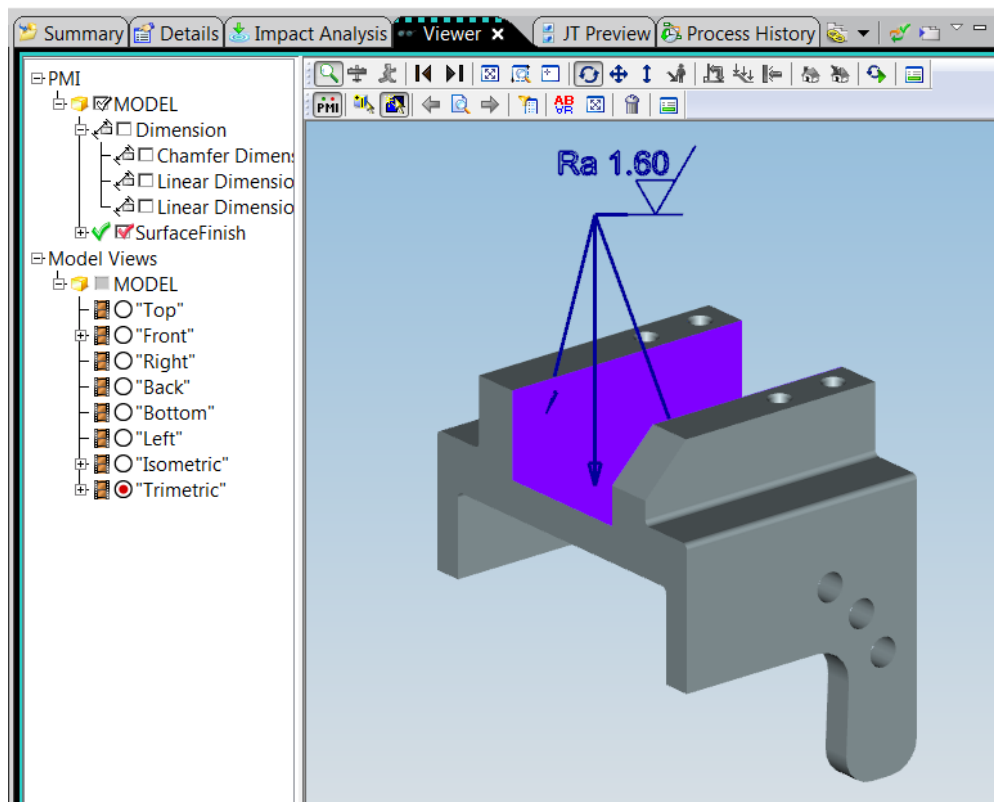
5.1 CAD-mallin suunnittelu ja PMI-mitointi

Kun kappaleesta suunnitellaan 3D-malli, siitä on mahdollista tehdä valmistuksessa käytettävä piirustus. Osan mitointi voidaan tehdä käyttäen normaaleja mittoja tai tärkeät mitat voidaan tehdä käyttämällä PMI-mittoja. Perinteisistä kappaleen mitoituksessa käytettävistä mitoista poiketen PMI-mitat sisältävät paljon enemmän informaatiota, jolloin ne ovat myös helpommin luettavissa. Mitat sisältävät esimerkiksi tiedon siitä, mihin pintoihin tai objekteihin ne on määritetty, jolloin on mahdollista vähentää mittojen määrää. PMI-mitat voidaan asetella kolmiulotteisesti tai erillisiin kuvantoihin, jolloin ne näkyvät lähes samoin, kuin perinteiset mitat piirustuksissa. PMI-mitat voivat olla samoja, joita käytetään piirustusten tekemisessä tai ne voidaan määrittää ylimääräisiksi mitoiksi 3D-malliin. Kuviossa 8 on esitetty kaksi PMI-mitoin mitoitettua etäisyyttä toleransseineen.



Kuvio 8. PMI-mitoin varustettu CAD-malli.

Kun malli tallennetaan Teamcenteriin, voidaan sitä syntynyttä JT-mallia tarkastella Teamcenterin Viewer -ikkunassa. Viewer-ikkunassa on mahdollista näyttää kappaleeseen määritetyt PMI-mitat sekä muutenkin tarkastella kappaletta. Mitoista voidaan myös nähdä, mihin pintoihin ne on määritetty. Kuviossa 9 on esitetty pinnanlaatu toleranssi ja pinnat, joihin toleranssi on asetettu.



Kuvio 9. PMI-mittojen näkyvyys Teamcenter Viewer -ikkunassa.

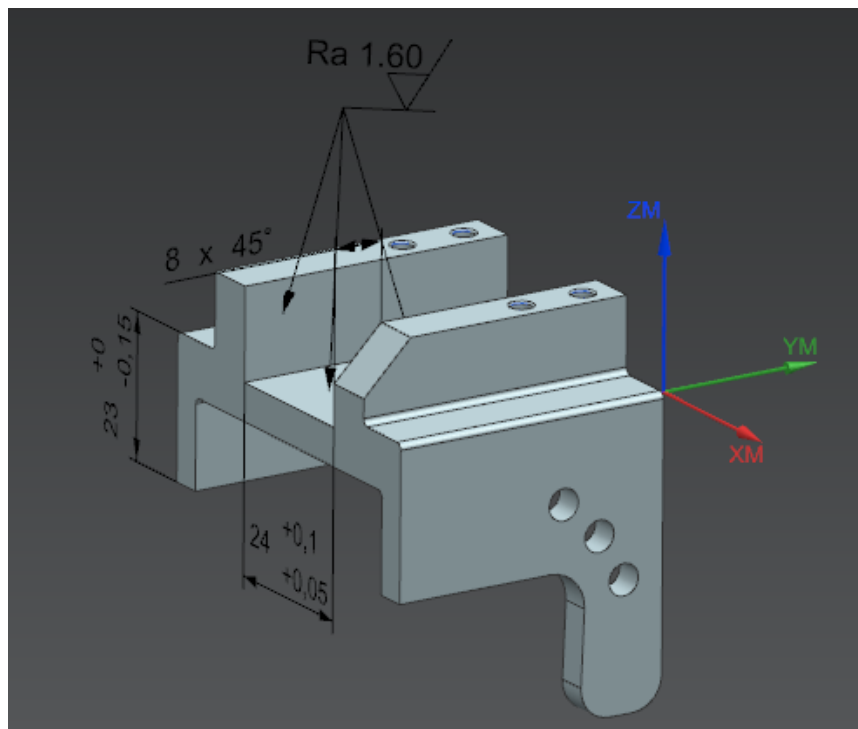
5.2 CAM-mallin tekeminen

CAD-järjestelmällä tehdystä mallista tehdään CAM-järjestelmässä uusi nimike, jolloin voidaan valita, mitä templatea käytetään. Näin toimittaessa CAM-mallista saadaan tehtyä itsenäinen kokoonpanonimikkeeseen verrattava nimike. Tähän nimikkeeseen voidaan tuoda työstössä käytettävien työstökoneiden, kiinnittimien, työkalujen ja aihoiden 3D-malleja, mitkä voidaan asemoida halutulla tavalla. CAM-mallia voi verrata CAD-malleissakin käytettyyn kokoonpanorakenteeseen. Varsinainen CAM-malli ja kaikki ohjelmat tehdään kokoonpanon ylimmälle tasolle ja koneistettavat osat, kiinnittimet, simulaatiomallit ja työkalut ovat kokoonpanon osia ja alikokoonpanoja. Tämän rakenteen vuoksi alkuperäiseen malliin tehdyt muutokset päivittyvät myös CAM-malliin.

CAM-järjestelmässä työstörajojen tekemisen apuna käytetään 3D-mallista saatavia mittoja, pintoja, reunoja sekä tartuntapisteitä. Nämä pisteet on helppointa

valita, kun malli on work part, joka tarkoittaa osaa, jota muokataan ohjelmassa. Kokoonpanoissa work part tarkoittaa kokoonpanon ylimmä tasoa. NX CAM -järjestelmässä mallien geometrian saa nostettua kokoonpanon ylimmälle tasolle käyttämällä WAVE Geometry Linker -työkalua. Tällä työkalulla luodaan kokoonpanoon Linked Body -objekti, joka esittää kappaleen mittatarkkoja muotoja. Tämä objekti saadaan myös määritettyä assosiatiiviseksi, jolloin alkuperäiseen kappaleeseen tehdyt muutokset päivittyvät myös linkitettyyn objektiin.

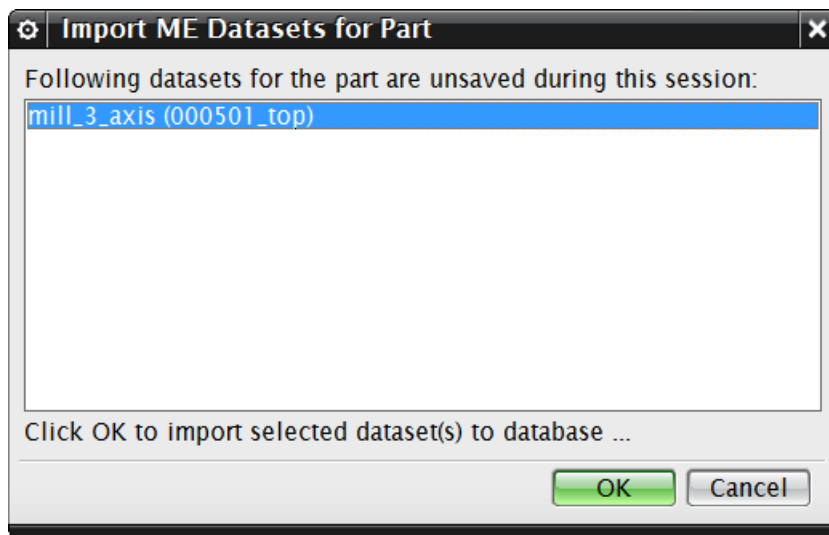
Alkuperäiseen kappaleeseen määritettyjä PMI-mittoja voidaan tarkastella joko Teamcenterissä tai avaamalla malli. Jos joidenkin näistä mitoista halutaan näkyvän myös CAM-mallissa, nämä voidaan nostaa kokoonpanon ylimmälle tasolle käyttämällä WAVE PMI Linker -työkalua. Kuviossa 10 on esitetty CAM-mallissa kokoonpanon ylimmälle tasolle nostettu CAD-malli sekä kappaleessa olevat PMI-mitat.



Kuvio 10. CAM-malli PMI-mittoineen.

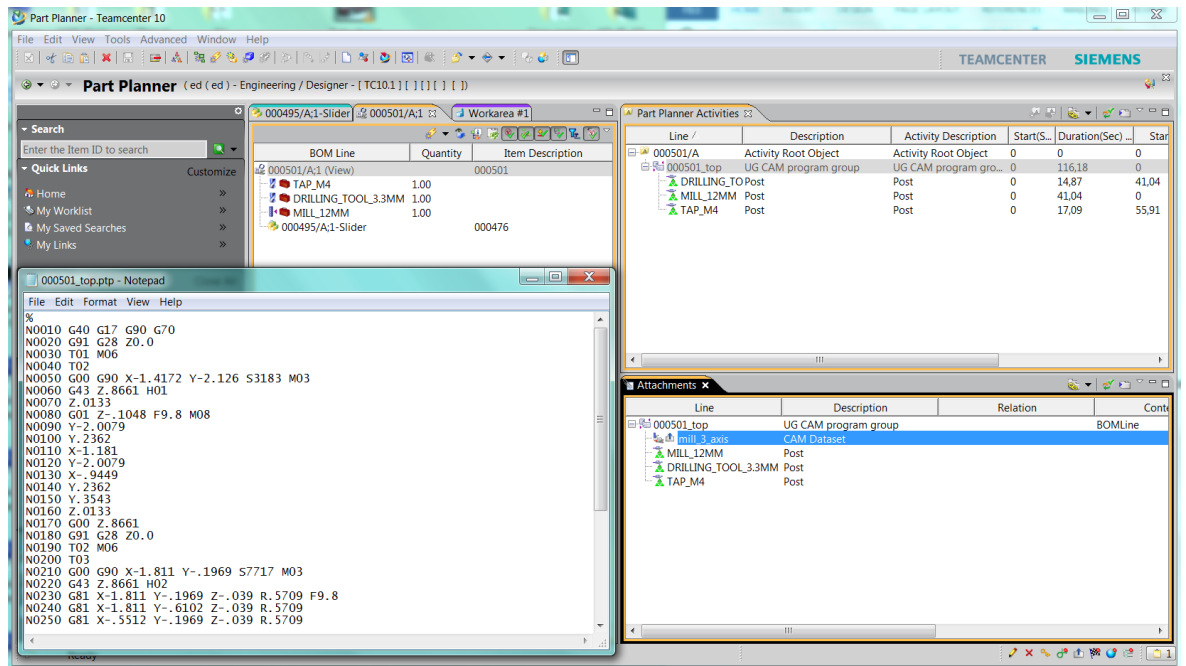
5.3 Työstöohjelman postprosessointi ja tallennus

Kun kappaleeseen on tehty tarvittavat työstöoperaatiot, käännetään CAM-järjestelmän oma työstörata koodi työstökoneisiin soveltuvaksi koodiksi käyttämällä haluttuun koneeseen tehtyä postprosessoria. Postprosessoinnin jälkeen ohjelma on valmis tallennettavaksi Teamcenteriin. Tallennettaessa ohjelmaa integraatio tunnistaa postprosessoidun työstöohjelman ja kysyy käyttäjältä, ladataanko nämä tiedostot Teamcenteriin. Kuviossa 11 on esitetty ilmoitusikkuna, josta käyttäjä voi nähdä muokatut tiedostot ja valita, ladataanko ne Teamcenteriin.



Kuvio 11. Teamcenter latausikkuna.

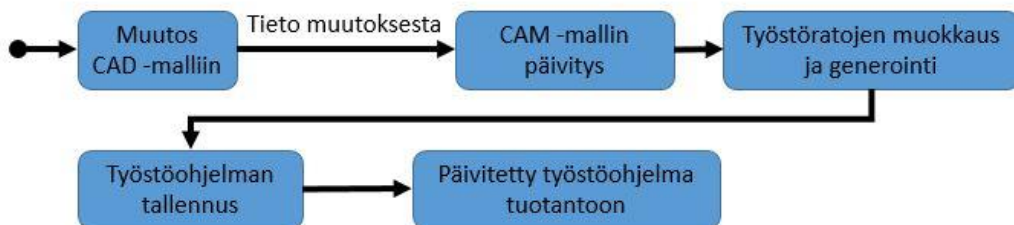
Kun CAM-malli ja työstöohjelma ovat valmiit ja ne on ladattu Teamcenteriin, voidaan CAM-mallin nimikkeeseen liittyviä objekteja tarkastella esimerkiksi Teamcenterin Part Planner -sovelluksessa. Part Planner -sovelluksessa voidaan tarkastella esimerkiksi työstöohjelmassa käytettyjä työkaluja ja kiinnittimiä sekä työkalukohtaisia työstöohjelman kestoja ja niiden järjestyksiä. Kuviossa 12 on esitetty Part Planner -sovelluksen käyttöliittymää sekä käännetty työstökoneeseen soveltuva ohjauskoodi.



Kuvio 12. Part Planner käyttöliittymä.

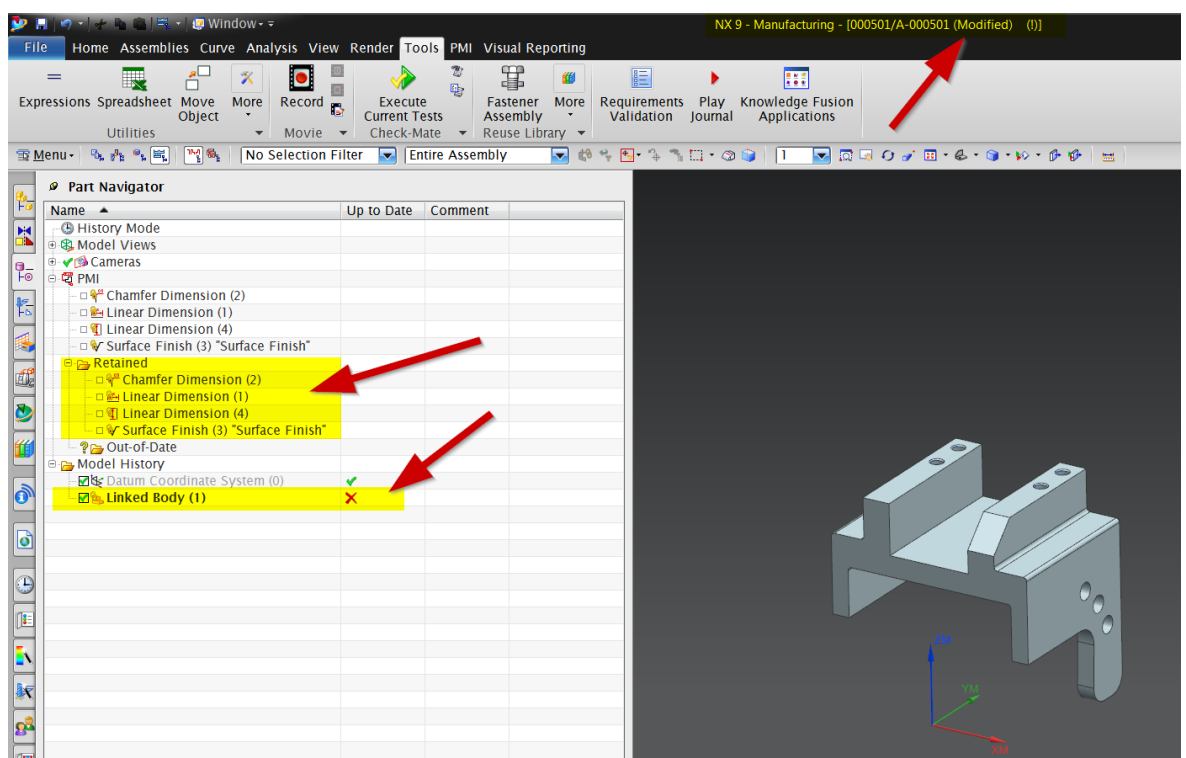
5.4 CAD-mallin muutoksenhallinta CAM-järjestelmässä

Oli tuote kuinka hyvä tahansa, vastaan voi tulla tilanteita, joissa jostain syystä siihen joudutaan tekemään muutoksia. Tuotteeseen tehdyt muutokset vaikuttavat aina sen valmistukseen, jolloin myös CAM-järjestelmällä tehdyt työstöradat tulee muuttaa muuttuneen CAD-mallin mukaiseksi. Kuviossa 13 on kuvattu yksinkertainen työstöohjelman muutosprosessi.



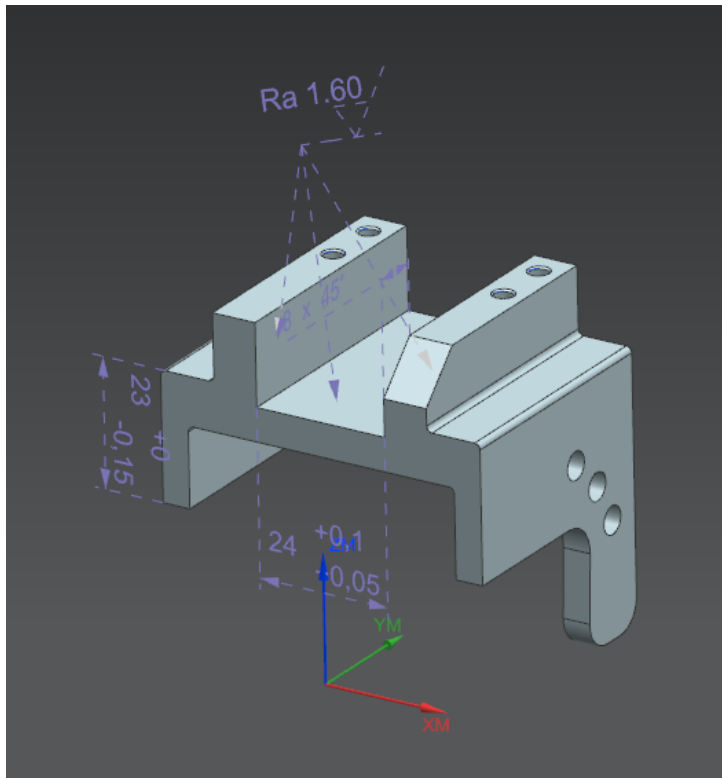
Kuvio 13. Esimerkki työstöohjelman muutosprosessista.

Kun CAM-malli avataan NX CAM -järjestelmään, voidaan malliin tapahtuneet muutokset nähdä useasta eri paikasta. Järjestelmän Part Navigator -välilehdellä Linked Body -objektin kohdalla sarakkeessa Up to Date -objektin perään tulee punainen rasti, joka ilmoittaa siitä, että objekti ei ole ajan tasalla. Mahdollisesti muuttuneet PMI-mitat näkyvät kootusti kansiossa Retained, jolloin niiden muutos on helppo havaita, vaikka ne eivät olisi näkyvissä. Lisäksi käyttäjä voi huomata mallin muuttuneen ikkunan ylälaudassa olevasta Modified-tekstistä. Kuviossa 14 on esitetty kohdat, josta käyttäjä voi havaita CAD-mallin muutoksen.



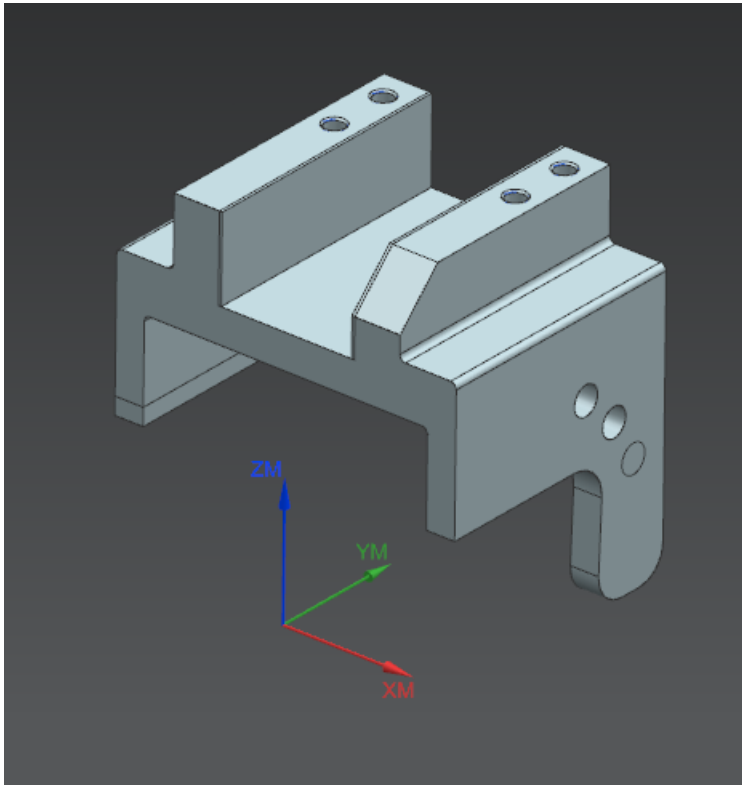
Kuvio 14. Mallin muutosten näkyvyys CAM-järjestelmässä.

Jos PMI-mittoihin on tehty muutoksia, tai malli on muuttunut kohdista, joihin mitat on määritetty, muuttuu PMI-mittojen ulkoasu. PMI-mitat, joihin CAD-malliin tehdyt muutokset vaikuttavat muuttuvat erivärisiksi sekä niiden viivoista tulee katkonaisia (kuvio 15).



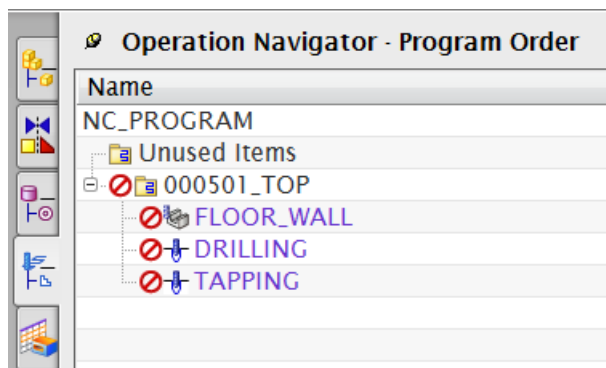
Kuvio 15. Päivittämättömien PMI-mittojen esitystapa.

Kun CAM-malli päivitetään vastaamaan muuttunutta CAD-mallia, voidaan samanaikaisesti havainnoida, mitä muutoksia mallissa on tapahtunut. Näin voidaan nähdä, miten muutokset mahdollisesti vaikuttavat olemassa oleviin työstöraitoihin. Kuviossa 16 on havainnollistettu yksi tapa katselmoida mallissa tapahtuneita muutoksia. Tässä tavassa sekä alkuperäinen että muuttunut malli ovat päällekkäin, jolloin voidaan nähdä, mitkä kohdat mallissa ovat muuttuneet.



Kuvio 16. Esimerkki mallissa tapahtuneiden muutosten katselmoinnista.

Jos mallissa tapahtuneet muutokset vaikuttavat työstöratoihin, ilmoitetaan tästä järjestelmän Operation Navigator -ikkunassa. Tämä on nähtävissä työstön edessä olevasta kuvakkeesta, joka näyttää työstön tilan (kuvio 17). Jos työstöön vaikuttavat muutokset mallissa ovat pieniä, riittää pelkkä työstöratojen uudelleen generointi saamaan radat vastaamaan muuttunutta mallia.



Kuvio 17. Operation Navigator -näkyvä mallin muuttumisen jälkeen.

Kun CAD-mallin tehdyt muutokset on päivitetty CAM-järjestelmään ja työstöradat on generoitu vastaamaan muuttunutta mallia, ajanmukaiset työstöradat voidaan tallentaa Teamcenter-järjestelmään. Teamcenterin avulla uudet ja ajanmukaiset työstöohjelmat voidaan levittää nopeasti kaikille konepajoille, sijaitsevat ne sitten samassa tuotantolaitoksessa tai ympäri maailmaa.

6 SIEMENS PLM -TUOTTEIDEN KÄYTTÖ YRITYKSISSÄ

Siemens PLM Softwaren eri järjestelmät helpottavat osien ja prototyyppien suunnittelua ja valmistusta ja näin ollen mahdollistavat useiden menestystarinoiden syntymisen. Useiden eri järjestelmien uusimmat suunnittelua helpottavat ominaisuudet yhdistettynä kattaviin PDM- ja PLM-järjestelmien ominaisuuksiin nostavat tuotteiden suunnittelun ja kehityksen aivan uudelle tasolle. Seuraavaksi on järjestelmien ominaisuuksia näiden menestystarinoiden sanoin.

6.1 Dyson: Mallin suunnittelu ja prototyyppien valmistus

NX CAD -sovelluksella uusien mallien suunnittelu ja prototyyppien valmistaminen on entistä helpompaa verrattuna 2D CAD -ohjelmistoihin, joissa monimutkaisten osien suunnittelu kesti useita viikkoja. Niin NX CAD -sovelluksella näiden suunnitteluun kuluu vain murto-osa tuosta ajasta. NX-järjestelmän integroidut CAD- ja CAM-sovellukset mahdollistavat prototyyppien nopean valmistuksen. Tämän mahdollistaa muun muassa CAD-mallien päivittyminen CAM-malleihin sekä automaattisesti päivittyvät CNC-ohjelmat. CNC-ohjelmien automaattinen päivittyminen poistaa mahdolliset kalliit viivästykset, kun luodaan useita peräkkäisiä prototyyppiejä. NX-järjestelmän mekaniikka-analyysiin tarkoitettu sovellus mahdollistaa komponenttien keskinäisten suhteiden simuloinnin. Näin voidaan varmistaa, että osat eivät liikkeessaan häiritse toisiaan ja mahdolliset ongelmakohdat voidaan poistaa jo ennen prototyyppien valmistusta. (Customer Case Studies and Videos 2014.)

6.2 Nexion Group: Kustannusten vähennys ja osien uudelleenkäyttö

Tuotteen ja sen komponenttien suunnittelu, prototyyppien valmistus ja testaus vievät yrityksiltä paljon aikaa ja resursseja. Suunnittelu ja testaus myös muodostavat suuren osan tuotteen valmistuskustannuksista. Näitä kustannuksia

voidaan vähentää pidentämällä tuotteen tai sen komponentin käyttöaikaa. Tämä on mahdollista, kun tuotteen osia tai osakokonaisuuksia voidaan hyödyntää muissa kokoonpanoissa. Teamcenterin ja sen luokitteluun kehitetyn Classification-sovelluksen avulla komponenttien luokittelu ja uudelleen käyttö on helppoa ja nopeaa. Valmiiden osien tai osakokonaisuuksien nopea löytyminen kirjastosta helpottaa suunnittelua, vähentää kustannuksia ja nopeuttaa tuotteen saamista markkinoille. (Customer Case Studies and Videos 2014.)

6.3 Telsmith: Nopea ohjelma takaa nopeat muutokset

NX CAM -ohjelma ja sen kappaleen tilavuusmalliin perustuva työstöratojen teko nopeuttaa ja selkeyttää ohjelmointia. Tilavuuksiin perustuvan ohjelmoinnin ansiosta seuraavassa työstössä on tiedossa, kuinka paljon poistettavaa materiaalia on jäljellä. Näin ollen radat tehdään vain alueille, joissa on jäljellä poistettavaa materiaalia. Tämä helpottaa ja nopeuttaa NC-ohjelmoijan työtä. Lisäksi NC-ohjelmoija pystyy nopeasti siirtymään seuraavaan prosessiin ilman, että tarvitsisi odottaa edellisten ratojen valmistumista. Suuresti aikaa säästävä ominaisuus on myös synchronous-teknologia, joka mahdollistaa historiattoman piirteisiin perustuvan geometrinen mallien muokkauksen ja parantamisen. Tämä ominaisuus on erittäin hyödyllinen, kun joudutaan tekemään muutoksia vanhoihin CAD- tai CAM-malleihin. Ohjelmoijan ei tarvitse luoda suuria määriä aputasoja tai piirtää ylimääräisiä muotoja, koska mallia voi muokata suoraan piirteiden avulla. Synchronous-teknologia ja mallien assosiatiivisuus mahdollistaa nopeat muutokset malleissa ja työstöohjelmissa. Työstöratojen simulointi on myös ominaisuus, joka säästää paljon aikaa, koska sillä voidaan eliminoida virheet, joita ei ehkä muuten löytyisi. (Customer Case Studies and Videos 2014.)

6.4 ANDRITZ Ritz: Suora yhteys insinööreiltä työpajaan minimoi koneiden käyttökatkot

CAD-, CAM- ja PLM-järjestelmien integrointi luo kattavan kokonaisuuden. Tämä kokonaisuus mahdollistaa CAD- ja CAM-mallien revisioiden hallinnan ja seurannan koko prosessin ajan aina ensimmäisestä suunnitelmasta viimeisimpään valmistusvaiheeseen. Standardiosat voidaan luokitella kirjastoon ja ottaa käyttöön nopeasti ja joustavasti. Myös näiden käytön seuranta onnistuu Teamcenterin avulla helposti ja vaivattomasti. CAM-järjestelmän integroiminen Teamcenter-järjestelmään mahdollistaa tarvittavien työkalujen, kiinnittimien ja käytettävän työstökoneen helpon etsimisen ja valinnan. Integraation ansiosta myös NC-datan kerääminen ja lähetys suoraan tuotantoon onnistuu nopeasti ja vaivattomasti. CAM-järjestelmässä suoritettava työstöratojen virtuaalinen simulointi mahdollistaa virheiden ja mahdollisten törmäysten löytymisen jo ohjelmointivaiheessa. Tämän ansiosta voidaan säästää paljon pääomaa, sillä tuotantoon päässyt virhe voi tulla todella kalliiksi korjata. Kun työkalulistat ja asetushjeet on saatu tehtyä, ne voidaan tallentaa Teamcenteriin NC-ohjelman, piirustusten ja mahdollisten simulointi videoiden kanssa. Näin kaikki valmistuksessa tarvittava on helposti käden ulottuvilla. (Customer Case Studies and Videos 2014.)

Teamcenteriin tallennetut NC-ohjelmat ja niihin liittyvät dokumentit saadaan helposti työstökoneen käyttäjän ulottuville Shop Floor Connect -ohjelmalla. Tässä ohjelmassa kaikki koneistajan tarvitsema tieto on vain klikkauksen päässä. Koneistaja voi helposti tarkastella simulointidataa, CAD- ja CAM-malleja, kuvia, videoita ja osaan liittyviä työohjeita. Shop Floor Connect mahdollistaa NC-ohjelmien helpon siirron työstökoneille. Joskus ohjelmat vaativat hienosäätöä ja optimointia työstökoneella. Kun näin tapahtuu, koneistaja voi helposti tehdä tarvittavat muutokset ja lähettää niistä tiedon suoraan NC-ohjelmoijalle. Shop Floor Connet toimii näin ollen viimeisenä lenkinä suunnittelun ja tuotannon välissä sekä tiivistää näiden yhteistoimintaa. (Customer Case Studies and Videos 2014.)

7 YHTEENVETO

Työn pääasiallinen tarkoitus oli selvittää, kuinka CAD-malleja voidaan käyttää CAM-järjestelmässä, kun prosessi suoritetaan kokonaan PLM-järjestelmässä. PLM-järjestelmien käyttö CAD-mallien varastoinnissa ja hallinnassa on yleistä monissa yrityksissä, mutta tämä ei ole vielä yleistä CAM-mallien ja muiden koneistuksessa käytettävien dokumenttien hallinnassa. Se aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia ja kuluttaa tarpeettomasti yritysten resursseja.

Työn tuloksena saatiin tietoa PLM-järjestelmän avulla saavutettavista mahdollisuuksista CAM-mallien ja dokumenttien hallinnassa. PLM-järjestelmä mahdollistaa mallien muutoksenhallinnan, standardiosien ja -työkalujen käytön sekä oheisdokumenttien hallinnan ja työkiertojen suorittamisen. Lisäksi CAD- ja CAM-järjestelmien integrointi PLM-järjestelmän avustuksella mahdollistaa muutosten päivittämisen sekä valmistustietojen ja toleranssien siirron järjestelmien välillä.

PMI-mittojen ansiosta suunnittelijan on mahdollista määrittää kappaleen valmistamisessa tarvittavat mitta- ja geometria toleranssit suunnittelun aikana suoraan 3D-malliin. Näin ollen mitoista tulee huomattavasti informatiivisempiä ja selkeämpiä. 3D-malliin määritetyt PMI-mitat on myös mahdollista kiinnittää pintoihin, joka selkeyttää mittojen tulkitsemista. Esimerkiksi pinnankarheus toleransseista voidaan nähdä suoraan mille pinnoille ne on määritetty.

Malleissa tapahtuvat muutokset päivittyvät automaattisesti järjestelmien välillä. Tämä mahdollistaa nopeiden muutosten tekemisen ja voidaan varmistua siitä, että työstetään mallin viimeisintä versiota. Nopeiden muutosten ansiosta myös suunnitteluprosessi helpottuu ja nopeutuu, mikä vähentää kustannuksia. Versioiden välillä tapahtuneita muutoksia voidaan tarkastella CAM-järjestelmässä, joten suunnittelijan ei tarvitse kertoa tapahtuneista muutoksista tarpeettoman tarkasti. Tämä vähentää myös suunnittelijoiden työmäärää ja mahdollisia väärinymmärryksiä. Jos NC-ohjelmoija ei saisi tietoa mallin muutoksesta, voisi tämä johtaa vanhan version valmistamiseen ja tätä myötä ylimääräisiin kustannuksiin. Automaattisesti tapahtuvien muutosten ansiosta NC-ohjelmoija

näkee mallin muutokset suoraan CAM-ohjelman käyttöliittymästä ja hänen tarvitsee vain huomioida niiden vaikutukset työstöradoissa. Tämä lisää huomattavasti työn joustavuutta ja tuottavuutta.

Teamcenterissä käytettävissä olevien kirjastojen ja valmistuksen suunnitteluovellusten avulla voidaan vähentää NC-ohjelmoijien työtä. Tämä on mahdollista tehdä suunnittelemalla valmistusprosessit, jolloin voidaan jakaa yksittäisen osan koneistus useaan eri prosessiin. Näiden prosessien eri työvaiheisiin on mahdollista määrittää parhaiten sopivat työkalut, kiinnittimet ja työstökoneet. Näin voidaan jakaa NC-ohjelmoijien työkuormaa ja saada prosesseista suoraviivaisempia. Teamcenter mahdollistaa myös toimintojen ja tarkastusten automatisoinnin. Automatisoinnin avulla voidaan helpottaa suunnittelijoiden työtaakkaa ja poistaa virheitä, jotka johtuvat inhimillisistä virheistä. Toiminto voi olla esimerkiksi piirustuksien tai valmistusdokumenttien automaattinen generoiminen. Nämä kyseiset dokumentit ovat tärkeitä tuotteen valmistusketjussa, mutta niiden tekemiseen voi kulua tarpeettomasti aikaa ja resursseja. Automaattista toimintaa voi olla myös attribuuttitietojen tai nimikkeeseen liitettyjen dokumenttien tarkistus. Näillä tarkistuksilla voidaan estää virheellisesti määritetyn nimikkeen pääsy hyväksyntä tai valmistus työkiertoihin. Tämän tyyppistä automaatiota on mahdollista hyödyntää lähes kaikkien nimikkeidenhallintaan liittyvien tietojen kanssa.

CAD- ja CAM-järjestelmät yhdessä PLM-järjestelmän kanssa mahdollistavat valmistus prosessin tehostamisen ja virheiden minimoinnin. Työssä tutkitut ominaisuudet olivat järjestelmien vakiotoimintoja. Nämä ominaisuudet ovat myös kustomoitavissa yrityskohtaisesti. Kustomointi mahdollistaa sen, että yritykset saavat järjestelmistä maksimaalisen hyödyn. Kustomoinnin avulla voidaan ohjelmiin määrittää yritys tai suunnittelija kohtaisesti heidän useimmin tarvitsemansa työkalut ja toiminnot helposti saataville. Lisäksi on mahdollista tehdä kustomoituja templateja, joilla saadaan esimerkiksi uusia NC-ohjelmia tehtäessä automaattisesti generoitumaan halutut vakiokiinnittimet, työkalut, työstöt ja koordinaatistot, jolla pystytään helpottamaan ohjelmien teon aloitusta.

8 OMIA POHDINTOJA

Työ oli mielenkiintoinen ja sopivasti haastava ja onnistuin siinä hyvin. Eniten haasteita aiheutti sopivan rajauksen tekeminen, sillä käytetyt järjestelmät ovat todella laajoja ja niiden yhteiskäyttö lisää ominaisuuksia entisestään. Rajaus saatiin kuitenkin toteutettua niin, että työn määrä ei kasvanut liian suureksi, mutta silti saatiin aikaan kattava yleiskuvaus prosessista.

Työn tekemisen aikana opin paljon järjestelmien toiminnasta ja niiden välisistä riippuvuuksista. Sain myös hyvän käsityksen siitä, miten laajat käyttömahdollisuudet kyseisillä ohjelmistoilla on, kun niitä vain osataan hyödyntää valmistusprosessin eri vaiheissa.

LÄHTEET

- Chang, T., Wysk, A. A. & Wang, H. 2006. Computer-Aided Manufacturing: Third Edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Classification and Re-Use. 2013. [WWW-dokumentti]. Siemens PLM Software. [Viitattu 30.3.2014]. Saatavana: http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/teamcenter/engineering-process-management/index.shtml
- Customer Case Studies and Videos. 2014. [Verkkosivu] Siemens PLM Software. [Viitattu 22.4.2014]. Saatavana: http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/about_us/success/index.shtml
- Frankel, A. 2012. Five Benefits of Integrated CAD/CAM. [Verkkolehtiartikkeli]. MoldMaking Technology. [Viitattu 3.4.2014]. Saatavana: <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/five-benefits-of-integrated-cadcam>
- Hart, D. 2014. Why CAD/CAM Integration Matters. [Verkkosivu]. Siemens PLM Software Community. [Viitattu 3.4.2014] Saatavana: <http://community.plm.automation.siemens.com/t5/News-NX-Manufacturing/Why-CAD-CAM-Integration-Matters/ba-p/24047>
- IDEAL PLM Yritysinfo. 2014. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.4.2014]. Saatavana: <http://www.ideal.fi/fi/info/yritysinfo>
- Laakko, T., Sukuvaara, A., Borgman, J., Simolin, T., Björkstrand, R., Konkola, M., Tuomi J. & Kaikkonen, H. 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. Helsinki: WSOY.
- Manufacturing Process Planner. 2014. [Verkkosivu]. Siemens PLM Software. [Viitattu 1.4.2014]. Saatavana: http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/assembly_planning/mpp.shtml
- NX Overview Brochure. 2014. [WWW-dokumentti]. Siemens PLM Software. [Viitattu 30.3.2014]. Saatavana: http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/nx/library.shtml
- Part Planner Guide. 2013. [WWW-dokumentti]. Siemens PLM Software. [Viitattu 1.4.2014]. Saatavana: Siemens PLM Software -tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.

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

Product and Manufacturing Information. 2010. [WWW-dokumentti]. Siemens PLM Software. [Viitattu 19.4.2014]. Saatavana: Siemens PLM Software -tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.

Resource Manager Guide. 2013. [WWW-dokumentti]. Siemens PLM Software. [Viitattu 30.3.2014]. Saatavana: Siemens PLM Software -tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.

Saaksvuori, A. & Immonen, A. 2002. Product Lifecycle Management: Second Edition. Helsinki: Talentum.

Teamcenter manufacturing process management. 2013. [WWW-dokumentti]. Siemens PLM Software. [Viitattu 1.4.2014]. Saatavana: Siemens PLM Software -tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.

Teamcenter Overview Brochure. 2014. [WWW-dokumentti]. Siemens PLM Software. [Viitattu 15.4.2014]. Saatavana: http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/teamcenter/library.shtml