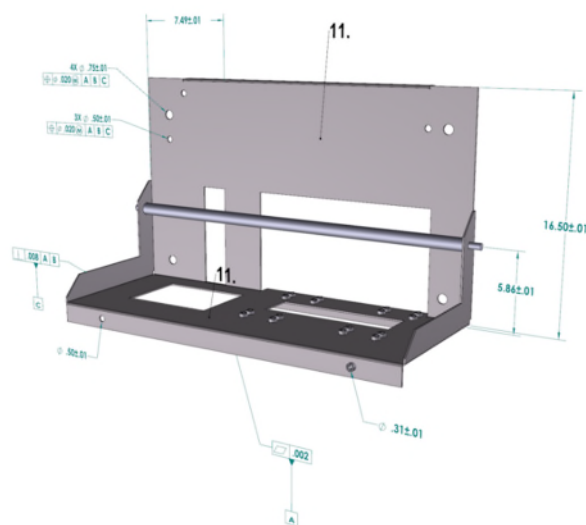


Malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet

Raportti



Toimittanut Jukka-Pekka Rapinoja, METSTA
4.11.2016

Malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet

Tämän raportin ovat laatineet:

Timo Laaksonen
CADWorks Oy

Joni Nieminen
TAMK

Antti Pulkkinen
TTY/SMACC

Jukka-Pekka Rapinoja
METSTA

Joakim Simons
Ideal PLM

Pekka Uski
Elmo Design Oy

Harri Salmi
Mitutoyo Oy

Mikko Vainionpää
TTY

Sisällys

1	Esipuhe	1
2	Johdanto	2
2.1	Mitä MBD on?.....	2
2.2	MBD-tekniikan käyttämisen motiiveja	3
2.2.1	Tuotesuunnittelu	4
2.2.2	Tuotanto	4
2.2.3	Laadunvarmistus.....	5
2.2.4	Huolto- ja varaosaliiketoiminnan tukeminen	5
2.2.5	Yhteenveto	5
3	MBD:n mukainen mallinnusprosessi	6
4	Yritysten kyvykkyys vastaanottaa tietoa	6
5	Tiedonsiirtoformaattit	7
5.1	Tiedonsiirtoformaattien luokittelu.....	7
5.2	STEP ("Standard for the Exchange of Product model data").....	7
5.3	JT-formaatti	8
5.4	Edrawing.....	8
5.5	3D PDF	8
5.6	Katseluohjelmat.....	9
5.6.1	JT2Go	9
5.6.2	Edrawings	9
5.6.3	3D PDF	9
6	MBD-tiedon siirtotavat.....	9
6.1	Yleistä	9
6.2	Tiedonsiirtotasot	10
6.3	Koneistettavat kappaleet	11
6.4	Kokoonpano.....	12
7	MBD CAM-suunnittelussa.....	12
8	PMI-tietojen hyödyntäminen mittauksessa	13
8.1	Millaisia toleroituja elementtejä PMI-tietojen avulla voidaan mitata automaattisesti koordinaattimittauskoneella?	13
9	MBD:tä tukevat ISO-standardit	14
9.1	Yleistä	14
9.2	Perusteet, ISO 16792	14
9.3	Mittatoleranssit, ISO 14405.....	14
9.4	Geometriset toleranssit, ISO 1011	14

9.5	Yleistoleranssit.....	14
9.6	Yleiset GPS-säännöt, ISO 8015.....	15
9.7	Hitsausmerkinnät, ISO 2553	15
9.8	STEP-tiedonsiirtoformaatti.....	15
9.9	ASME-standardit.....	15

1 Esipuhe

Tuotetietoa on dokumentoitu, säilytetty ja siirretty tähän asti hämmästyttävän muuttumattomalla tavalla: kaksiulotteisella teknisellä piirustuksella. Tuotemallinnus on kuitenkin tehty jo vuosikymmeniä kolmiulotteisena. Miksi 3D-tuotemallin rinnalle tarvitaan yhä kaksiulotteiseksi latistettu kuvaus? Syynä lienevät pitkät perinteet ja erilaiset tietojärjestelmälustat.

Nykyiset suunnitteluohjelmistot mahdollistavat malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD), jossa perusajatuksena on upottaa tuotemäärittelytieto 3D-malliin. Perinteistä piirustusta ei tällöin tarvita lainkaan. MBD:n hyötynä voidaan nähdä mm. yksiselitteisempi tuotemäärittely, ajan säästö tuotetietoa käyttävissä portaissa (esim. tuotannosuunnittelu, tuotanto, mittaus.), tiedonsiirron automatisointimahdollisuudet jne.

MBD yleistyy maailmalla pikku hiljaa. Tällä hetkellä menetelmää soveltavat lähinnä auto- ja lentokoneteollisuus. On odotettavissa, että MBD yleistyy myös muun teollisuuden piirissä. Tämän raportin tarkoituksena on herätellä suomalaista teollisuutta MBD:n tarjoamiin mahdollisuuksiin esim. alihankintakonepajoissa.

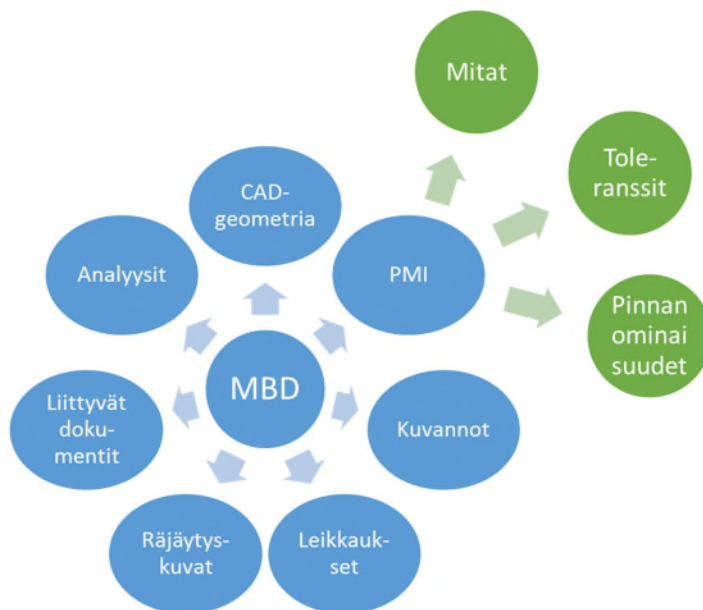
Tämän raportin tarkoituksena on avata MBD-menetelmän käsitteitä ja esitellä sen perusteita ja vastata soveltamiseen liittyviin yleisimpiin kysymyksiin. Raportti ei ole kattava kuvaus MBD:stä.

2 Johdanto

2.1 Mitä MBD on?

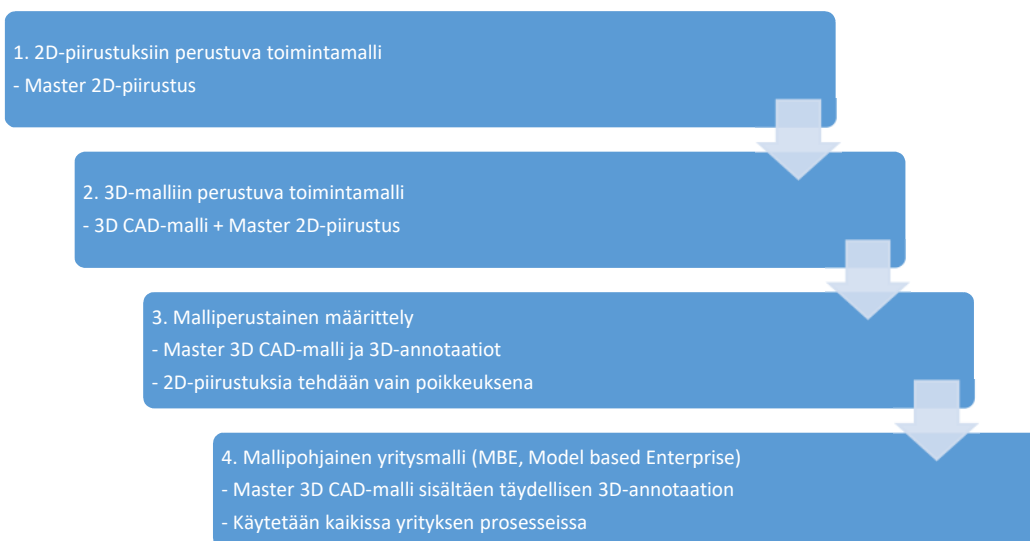
MBD (malliperustainen tuotemäärittely, Model Based Definition) tarkoittaa tuotetietojen täydellistä määrittelemistä 3D-mallin avulla, ilman piirustuksia. Tuotemalliin voidaan sisällyttää eri muodoissa kaikki tuotteen valmistamiseen liittyvä informaatio. Näitä tietoja ovat mm. mitat, toleranssit, pinnankarheus, materiaali, kuvannot, leikkaukset ja räjäytyskuvat. MBD-tuotemalliin voidaan liittää myös ulkoisia dokumentteja, esim. tekstitiedostoja.

Termillä PMI (*Product and Manufacturing Information*) tarkoitetaan tuotetta määritteleviä attribuutteja lukuun ottamatta geometriatietoa. Tällaisia attribuutteja ovat mitat, toleranssit ja pinnan ominaisuuksien merkinnät. MBD on siis laajempi käsite kuin PMI (ks. Kuva 1).



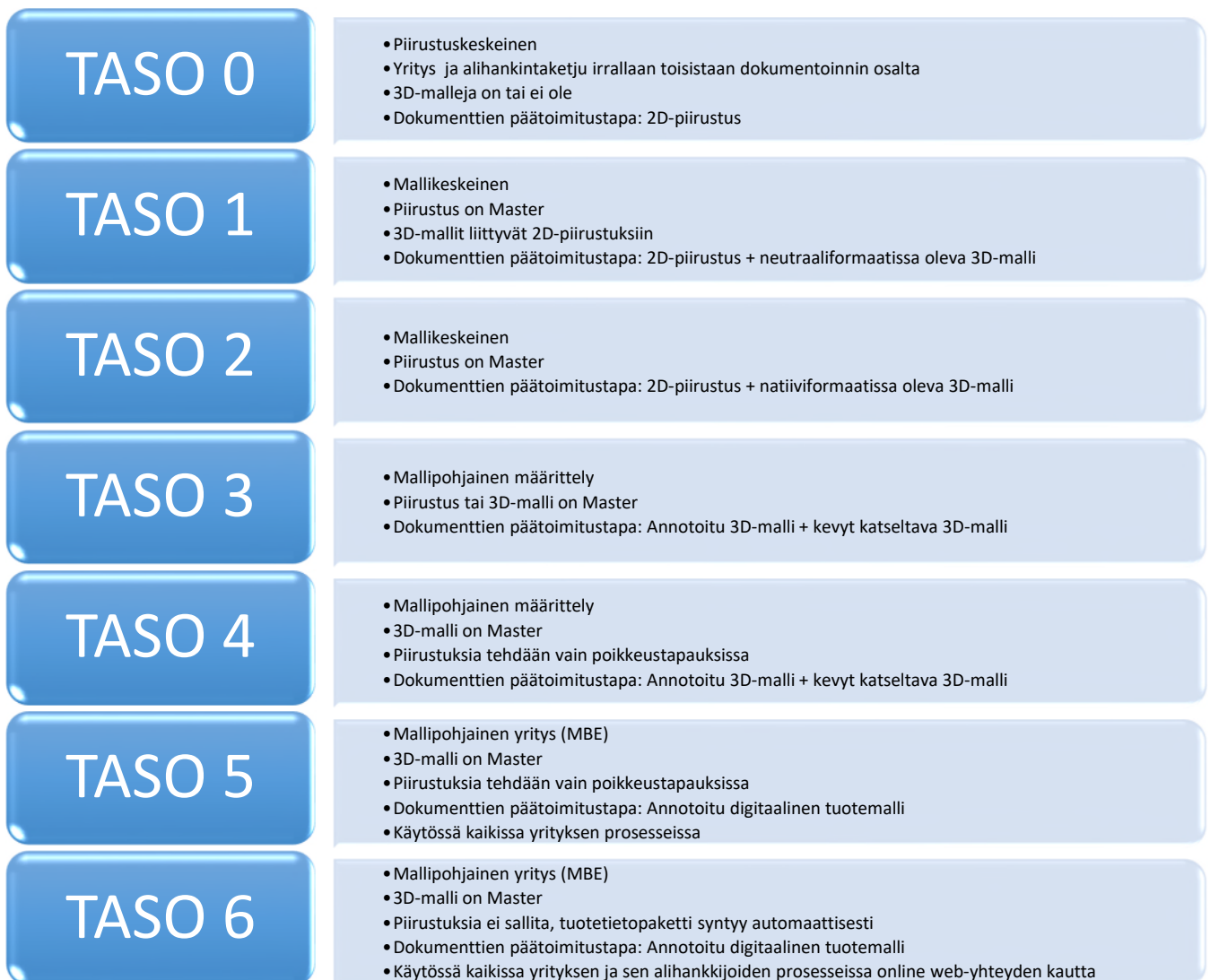
Kuva 1 Käsitteiden MBD ja PMI välinen suhde

Termi MBE (*Model Based Enterprise*) tarkoittaa laajaa yritystason toimintamallia, jossa 3D-mallia hyödynnetään mahdollisimman useissa yrityksen prosesseissa (ks. Kuva 2).



Kuva 2 Yritysten toimintamalleja (LÄHDE: <http://model-based-enterprise.org/Docs/MTO-MBE-DMC-1.pdf>)

Yrityksissä käytettävät tuotedokumentoinnin tekniikat voidaan jakaa eri tasoihin. Alan kirjallisuudessa tasoja esitetään usein 7, ks. Kuva 3.



Kuva 3 Tuotetiedon hallinnan eri tasot (LÄHDE: <http://www.model-based-enterprise.org>)

2.2 MBD-tekniikan käyttämisen motiiveja

Tuotemalli ja tuotedokumentaatio ovat tallenteita omaa ja muiden osapuolten tulevaa tarvetta varten. Tuotemallia voidaan pitää myös osapuolten välisen viestinnän välineenä. Osapuolia tässä yhteydessä ovat tuotteen elinkaaren ja liiketoiminnan eri toimijat, kuten tuotesuunnittelu, tuotanto, hankinta, markkinointi ja huoltopalvelut. Tuotemallin tai -dokumentin tuottaminen, hallinta ja käyttö tehdään usein pitkän ajan kuluessa. Tämän takia ajassa tehdyt muutokset (tuotemallin tai -dokumentaation revisiot) ovat yksi merkittävä tekijä, joka puoltaa malliperustaista lähestymistapaa.

MBD-tekniikan hyöty on nähtävä laajemmin kuin vain yhdestä näkövinkkelistä. Resursseja voidaan hyödyntää tehokkaammin jokaisessa elinkaaren vaiheessa, jossa MBD-suunnitteludataa käytetään. MBD:stä voivat hyötyä siis esimerkiksi alihankkijat.

Yleinen hyöty MBD:stä on 3D-merkintöjen uudelleenhyödyntämisen mahdollisuus. Tieto luodaan kerran ja sitä käytetään monessa eri yhteydessä mahdollisimman automatisoidusti ilman manuaalista tiedon siirtoa järjestelmästä toiseen. Mitä korkeammalla tasolla yritys on tuotetiedon hallinnassa (ks. kuva 2), sitä

varmemmin koko MBD-dataa hyödyntävällä ekosysteemillä on oikea ja ajantasainen versio tuotetiedosta käytettävissään. On muistettava, että MBD ei itsessään ratkaise tiedon ajanmukaisuuden ongelmia ilman integroitua tiedonsiirtojärjestelmää.

Parhaimmassa tapauksessa MBD-tekniikan avulla voidaan automatisoida esim. mitta- ja toleranssitudon siirtoa CADista CAM- ja CMM-ohjelmiin. Tällöin vältetään aikaa kuluttavalta ja virhealttiilta manuaaliselta tietojen syöttämiseltä. 2D-piirustukset ovat alttiita virhetulkinnoille, jotka johtuvat puutteellisista tai vääristä merkinnöistä, vajavaisesta esitystavasta (2D-kuvannot) tai lukijan tekemistä väärinkäsityksistä. Tyypillinen esimerkki on pohjareikä vs. läpireikä. Pohjareikä on muistettava ilmoittaa piirustuksessa joko sitä kuvaavalla symbolilla tai sanallisesti tai esim. leikkauskuvannon avulla. Vajavaisella merkinnällä väärinkäsityksen mahdollisuus on suuri.

2.2.1 Tuotesuunnittelu

Tuotemääritys voidaan tehdä pelkän 3D-mallin avulla, jolloin geometrian lisäksi mallissa on mitat, toleranssit (pituusmitat ja geometriset toleranssit), peruselementit, 3D-annotaatiot (esim. mittausohjeet, pintakäsittelyohjeet jne.), pinnanlaadut ja materiaalit. Perinteisessä suunnittelumenetelmässä näiden tietojen päivittäminen muutostapauksissa piirustuksiin ja työnkiertoon voi viedä suuren osan suunnittelijan työajasta.

Malliperustaisessa suunnittelussa muutosten tekeminen voi olla huomattavasti nopeampaa ja luotettavampaa ns. yksilähteistämisen (engl. single sourcing) takia, koska piirustusten päivittämisestä ei tarvitse huolehtia niiden jäätyä pois. Suunnittelijan ei tarvitse myöskään huolehtia vanhojen piirustusten poistamisesta yrityksen muista organisaatioista, mikä on käytäntönä hyvin monissa pienissä ja keskisuurissa yrityksissä. Tämä edistää osaltaan toiminnan ja tuotteen laadunvarmistusta.

Lisäetuna nykyaikaisilla CAD-järjestelmillä on mahdollista tehdä päivitettäviä kokoonpanoa havainnollistavia räjäytysmalleja ja/tai leikkauksia suoraan 3D-malliin, jotka havainnollistavat tuotteen rakennetta.

2.2.2 Tuotanto

3D-mallia voidaan hyödyntää usein suoraan eri valmistusprosesseissa. Näistä tällä hetkellä pisimmällä MBD-tekniikan soveltamisessa ovat valu- ja ohutlevytuotanto sekä erilaiset ainetta lisäävät valmistusmenetelmät (additive manufacturing, 3D printing). Myös perinteisten valmistusmenetelmien, kuten ainetta poistavien valmistusmenetelmien, kohdalla on mahdollista automatisoida eri prosesseja esim. työstöratujen tekoa ja CMM etäohjelmointia. Tällä voitetaan aikaa ja vähennetään virheitä.

2D-piirustusten vanhojen revisioiden poistaminen tuotantoprosessista on ollut ongelmallista ja hankalaa. Usein tuotesuunnittelijan on pitänyt huolehtia datan ajantasaisuudesta ainakin pienemmissä yrityksissä. Digitaalisessa muodossa oleva tuotetieto on osittainen vastaus tähän ongelmaan, mutta MBD ei sinänsä ratkaise tiedon ajanmukaisuutta ilman kaikille toimijoille yhteistä ja avointa tietokantaa.

Kokoonpanotyössä 3D-mallien hyödyntäminen on yleistynyt erityisesti suurissa organisaatioissa. Reititystä suunniteltaessa on asennettavien kappaleiden muotojen ja massojen lisäksi oleellista tietää tuoterakenne, joka on 3D-mallissa ja/tai tuotetiedon hallintajärjestelmässä (PDM, Product Data Management). Erityisesti räätälöityjen tai konfiguroitavien tuotteiden kokoonpanossa malliperustainen lähestymistapa on etu, jos tuotteen yksilöivissä moduuleissa tai osien kokoonpanossa on muotoon tai asennustapaan liittyviä variaatioita.

Perinteistä kokoonpano-ohjetta ja siihen liittyvää kokoonpanodokumenttia on työlästä ylläpitää tuotannossa (Kemppainen 2014). Tämän takia tuotannon käytössä oleva dokumentti voi olla helposti vanhentunut. Varioituvasta tuotteesta ei tuoteyksilöä tarkkaan kuvaavaa kokoonpano-ohjetta ole mielekästä toteuttaa paperiversioina, jolloin ohjeistus jää yleiseksi ja/tai puutteelliseksi. Erityisesti

monipaikkatuotannossa MBE yhdistettynä nykyaikaiseen tuotteen elinkaarenhallintaan (PLM; Product lifecycle management) voi taata sen, että ajantasainen, ristiriidaton ja yhdenmukainen tieto on saatavilla kaikissa yksiköissä.

2.2.3 Laadunvarmistus

Kappaleen tarkistaminen voidaan tehdä vertaamalla siitä saatuja mittaustuloksia 3D-malliin. Suursarjatuotannossa usein käytetty tilastollinen laadunvarmistus (cpk) voidaan hyvin toteuttaa myös MBD/PMI -tiedon perusteella. Mittaraportit voidaan tehdä vaikka 2D-piirustuksia ei olekaan.

2.2.4 Huolto- ja varaosaliiketoiminnan tukeminen

Mikäli esim. huolto- ja varaosadokumenttien määrittely voidaan tehdä tuotemalliin perustuen, on mahdollista päivittää ko. dokumentteja helpommin. Tämä edellyttää integraatiota tuotemalliin ja dokumenttien tuottamisen välillä ja se voidaan toteuttaa rakenteisia dokumentteja ja kehittyneitä sisällönhallintaa hyödyntäen. Tosin usein riittää skemaattinen kuva ja yksilöity varaosanumero. Edellä esitetyt hyödyt kokoonpanotyön suhteen voivat ainakin osittain toteutua huolto- ja varaosadokumenttien tuottamisessa.

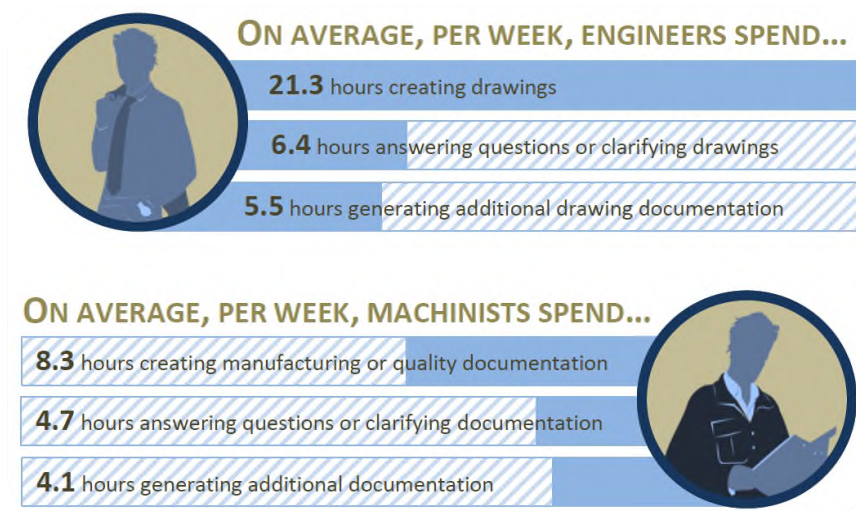
Yhdysvaltojen standardisoinnin ja teknologian tutkimusinstituutti NIST (National Institute of Standard and Technology) on julkaissut MBD:stä runsaasti materiaalia: [Testing the Digital Thread in Support of Model-Based Manufacturing and Inspection](#).

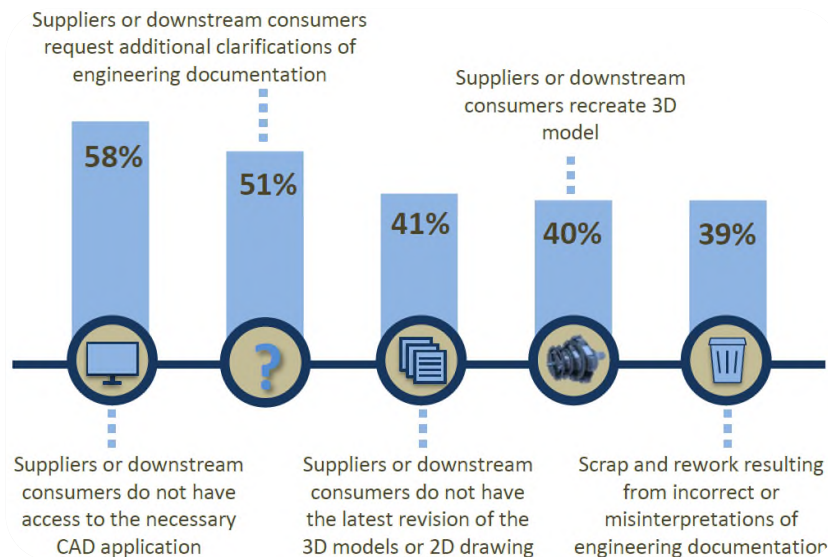
2.2.5 Yhteenveto

MDB tarkoittaa:

1. 3D-mallin tehokkaampaa ja laajempaa hyödyntämistä
2. Vähemmän turhaa informaation uudelleen tuottamista
3. Mahdollisuuksia säästää rahaa prosessin optimoinnilla.

Ajankäyttö nykyprosessilla ei ole innovatiivista – suunnittelijat tuottavat samaa informaatiota uudelleen ja uudelleen.





Kuva 4 Ajankäyttö nykyprosesseilla. Lähde: Chad Jackson, The 2014 State Of Model Based Enterprise Report, 2014.

3 MBD:n mukainen mallinnusprosessi

Kun 3D-malli on luotu CAD-ohjelmalla, malliin lisätään samalla ohjelmalla kaikki tarpeellinen tuotemäärittelytieto. Mitat, peruselementit, lineaariset ja geometriset toleranssit voidaan esittää 3D-mallissa. 3D-annotaatioilla voidaan määrittellä vaikkapa mittaohjeita ja pintakäsittelyyn liittyä tietoja. MBD/PMI-informaation perusteella voidaan kokoonpanoille tehdä toleranssianalyysit, joten sekin vaihe mahdollistuu 3D-annotaatioilla.

Koko 3D-mallia koskevan yleistoleranssin määrittelemisen voi olla haastavaa. Ainakin tärkeimmät toiminnalliset ominaisuudet olisi toleroitava erikseen.

Kaikki 3D-annotaatiot voidaan asettaa piirustusten tapaan kuvannoittain, jotta ne voidaan helpommin hahmottaa päätteellä.

Määriteltyjä 3D-kuvantoja voidaan hyödyntää tiedon esittämisessä esim. suodattamalla eri toimijoille lähetettävää tietoa.

Suunnittelija voi määrittellä myös 3D-leikkauskuvantoja ja -räjäytyskuvantoja.

4 Yritysten kyvykkyys vastaanottaa tietoa

Menestyksekkäs tiedonsiirto osapuolten välillä jakautuu kahteen osaan: kykyyn vastaanottaa tietty tiedostoformaatti sekä kykyyn hyödyntää siirretty tieto. Ensimmäisessä on puhtaasti kyseessä siitä tukeeko yrityksen ohjelmistot tietyn siirtoformaatin vastaanottoa. Toisessa taas on kyse yrityksen ohjelmistojen kyky suoraan hyödyntää siirrettyä tietoa, ilman manuaalisia välivaiheita.

Suomalaisten yritysten kyky vastaanottaa tietoa vaihtelee suuresti. Eräässä suurehkoissa alihankintakonepajassa kerrottiin, että jopa 3D-mallien saaminen on vaikeaa, koska asiakkaat usein pelkäävät tietovuotoja. 2D-piirustus nähdään sen vuoksi turvallisempaa tiedonvälitystapana. Tietoturvaongelman ratkaisuksi joissakin CAD-järjestelmissä on mahdollisuus rajata lähetettävän tuotetiedon määrää.

Pisimmällä 3D-mallien hyödyntämisessä ollaan muottiteollisuudessa, jossa muotti voidaan suunnitella ja valmistaa hyvin pitkälle pelkän 3D-mallin avulla. Muottiteollisuuskään ei kuitenkaan hyödynnä MBD/PMI-malleja täysipainoisesti, vaan esimerkiksi pinnanlaadun tiedot saatetaan antaa erillisenä

tekstidokumenttina. Laadunvarmistuksessa tarvittavat mittausraportit tehdään useimmiten 2D-piirustuksissa olevien numeroitujen mittojen avulla.

Useimmat yritykset voisivat nykyään vastaanottaa 3D-malleja useissa formaateissa, mutta vaikka järjestelmät olisivatkin samoja, viimeistään laadunvarmistus haluaisi 2D-piirustuksia.

5 Tiedonsiirtoformaattit

5.1 Tiedonsiirtoformaattien luokittelu

- CAD-sovellusten natiiviformaatit
- STEP AP 242 (ks. kohta 5.2)
- STEP AP 203/214 (ks. kohta 5.2)
- JT-formaatti (ks. kohta 5.3)
- Edrawing(ks. kohta 5.4)
- 3D PDF (ks. kohta 0)

Taulukossa 1 on kuvattu mitä tietoja eri formaateilla voidaan siirtää.

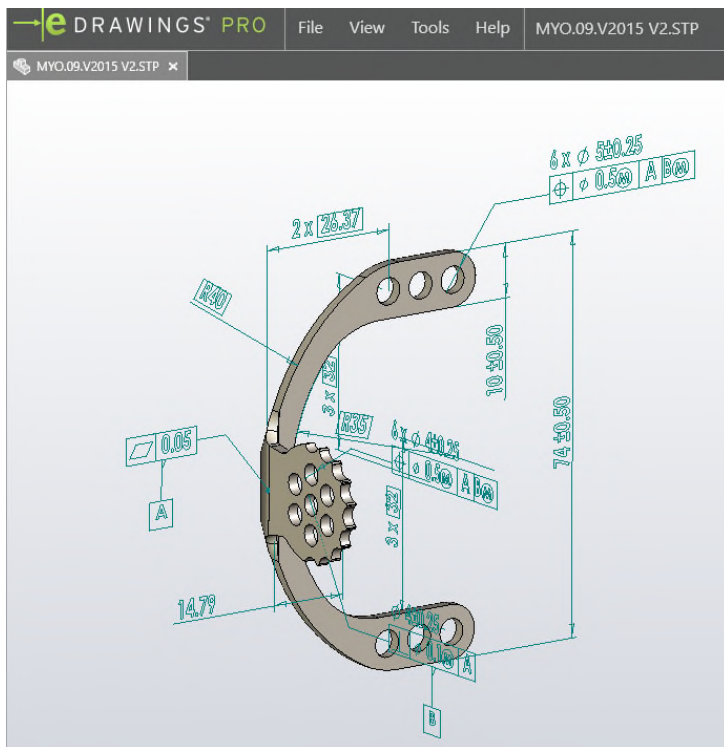
Taulukko 1 Eri tiedonsiirtoformaattit ja niiden mukana siirtyvät tiedot

Siirrettävä tieto	Tiedonsiirtoformaatti					
	Natiivi	STEP AP 242	STEP AP 203/214	JT	Edrawing	3D-PDF
3D-malli (natiivi tai tarkka geometria)	X	X	X	X		
3D-malli (katseltava)				X	X	X
Piirrehistoria	X					
Mitoitus	X	X		X	X	x
Toleranssit	X	X		X	X	x
Annotaatiot	X	X		X	X	x
Kokoonpanot	X	X		X	X	x
Tallennetut kuvannot	X			X	X	x
Leikkauskuvannot	X			X	X	x
Räjätyskuvannot	X			X	X	x
Attribuutit/metadatan	X	X		X	X	X
Osaluettelot	X				X	X
Liitetiedosto						X
Video (kokoonpano/toiminto)	X				X	

5.2 STEP ("Standard for the Exchange of Product model data")

- STEP määritellään standardissa ISO 10303
- Koostuu useammasta standardista joista eniten käytettyjä mekaniikkasuunnittelussa ovat STEP AP 203, AP 214 ja AP 242
- STEP AP 242 (ISO 10303-242)
 - Yhdistää vanhemmat standardit STEP AP 203 ja AP 214.
 - Standardissa on myös uusia määrittämiä 3D PMI merkintöjen tukemiseksi.
 - Julkaistu joulukuussa 2014.
 - Yleistymässä kaikissa merkittävimmässä 3D CAX-järjestelmissä
- STEP AP 203 ja AP 214 eivät tue PMI-tiedonsiirtoa.
- STEP-formaatti voi sisältää
 - 3D mallin kokoonpanorakennetta,

- 3D osien geometriaa,
- PMI 3D-toleransseja / merkintöjä (AP 242)
- attribuuttitietoa.



Kuva 5 Uuden STEP-formaatin STEP AP 242 mukana siirtyvät myös toleranssitiedot

5.3 JT-formaatti

JT on Siemens PLM:n kehittämä 3D-formaatti tuotteen visualisointiin sekä tiedonsiirtoon

- JT:stä on julkaistu ISO-standardi ISO 14306:2012
- JT on myös yleisformaatti PLM-tiedon välittämiseen
- MBD/MBM käytössä JT-formaatti voi sisältää
 - 3D mallin kokoonpanorakennetta,
 - 3D osien geometriaa,
 - PMI 3D-toleransseja/merkintöjä
 - attribuuttitietoa.
- JT-formaatissa voidaan myös määritellä siirtykö pelkkä fasettimalli, tarkka 3D-geometria vai molemmat.
- Voidaan avata ilmaisella katseluohjelmalla.

5.4 Edrawing

eDrawings on tiedostoformaatti, joka on Dassault Systèmes -yhtiön kehittämä katseluformaatti 3D-malleille. Tiedostoformaatti kantaa mukanaan mallin geometrian, mitoitukset (PMI), kuvannot (MBD), osaluettelon, rakenteen (mallirakenteen), räjäytyskuvan, videon (esim. kokoonpano-ohje).

5.5 3D PDF

PDF in Adoben tiedostoformaatti, joka on levinnyt laajalle yleisenä tiedostojen jakformaattina. 2D PDF, joka sisältää tekstiä ja kuvia on hyvin yleinen formaatti, jossa tuotetietoa jaetaan. Muutamia vuosia sitten 3D-tietoa pystyttiin lisäämään PDF-tiedoston sisään.

PDF-tiedoston 3D-kuvannossa ja sen rinnalle aseteltavassa osaluettelossa on mahdollista esittää PMI- ja 3D-mallin kuvantotietoa.

PDF-tiedostoon voidaan liittää myös liitetiedostoja kuten 3D-malli (natiivi tai STEP), mittauspöytäkirja (xls tai PDF), valmistusohjeistus (PDF tai docx).

5.6 Katseluohjelmat

5.6.1 JT2Go

JT2Go on ilmainen 3D-katseluohjelma, joka mahdollistaa yritysten 3D-tuotteiden sekä valmistustiedon jakamisen käyttäen kevyttä 3D JT-formaattia. Katseluohjelmalla on ladattavissa Windows, Android sekä Apple iOS -laitteisiin. Microsoft Officen JT2Go plug-in antaa mahdollisuuden sisällyttää 3D JT-mallin kaikkiin Microsoft Office -dokumentteihin. JT2Go-katseluohjelman avulla tuotekehitystiimit sekä alihankkijat voivat mm. katselmoida piirustuksia, 3D-tuote- ja valmistusinformaatiota sekä täydellistä tuoterakenninformaatiota (BOM).

5.6.2 Edrawings

eDrawings on Windows alustalla ilmainen ladattava ohjelma, jolla voi katsella 3D-malleja. Tyypillisesti eDrawings-tiedostoja tuotetaan CAD-sovelluksesta tai PDM-järjestelmästä, jolloin se saa lisää ominaisuuksia. Esimerkiksi mallista mittaaminen tai MDB-kuvannot ovat mahdollisia.

IOS ja Android -alustoille eDrawings on ladattavissa varsin huokeaan hintaan sovelluskaupoista.

eDrawings-ohjelma osaa avata useita tiedostoformaatteja (SOLIDWORKS, INVENTOR, CROE, DWG, DXF, STEP AP 424). MBD-kuvannot siirtyvät vain SOLIDWORKS-malleista.

Lisätietoa: <http://www.edrawingsviewer.com/>

5.6.3 3D PDF

Adobe PDF Reader on ilmainen ladattava ohjelma, jolla voidaan katsella 3D PDF-tiedostoja. Valitettavasti kaikki PDF-katseluohjelmat eivät osaa tätä näyttää ja kaikilla järjestelmälustoilla (IOS ja Android) sen tuki on hieman heikko.

Lisätietoa: <https://get.adobe.com/fi/reader/>

6 MBD-tiedon siirtotavat

6.1 Yleistä

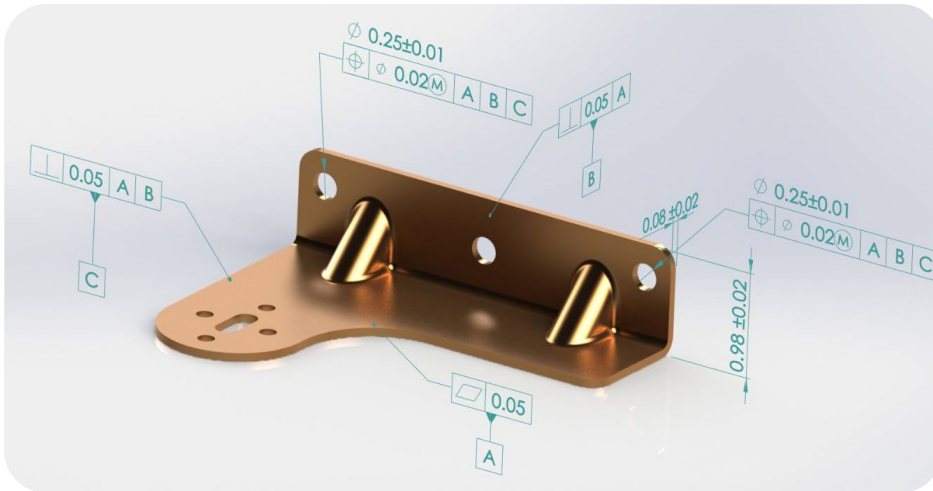
Osien MBD-malleissa siirretään 3D-mallin ohella muutakin tietoa, kuten mitta- ja muototoleransseja, pintamerkintöjä, keskiviivoja tai hitsausmerkintöjä. Kokoonpanorakenteita voidaan siirtää myös PMI-malleissa.

MBD-malli voi sisältää määrittelyitä kappaleen osa-alueista (region), joille halutaan joku erikoisvaatimus.

Tarvittaessa MBD-tietoon voidaan liittää myös 3D-leikkauskuvantoja, jos piilossa olevien yksityiskohtien esittely tätä edellyttää.

Model Based Manufacturing (MBM) käyttää MBD-mallia hyväkseen uudelleenkäyttämällä siinä olevaa 3D-mallia sekä metatietoa. Tällä menetelmällä voidaan välttää perinteinen tapa manuaalisesti uudelleen luoda määrittelydataa seuraavassa valmistusprosessin vaiheessa.

Yleisvaatimukset on suositeltavaa esittää erillisenä mallin PMI-tiedosta. Yleistoleranssitaulukot ja pintakäsittelyohjeet sijoitetaan omiin dokumentteihin, joihin viitataan osan PMI/metadata-tiedoissa.



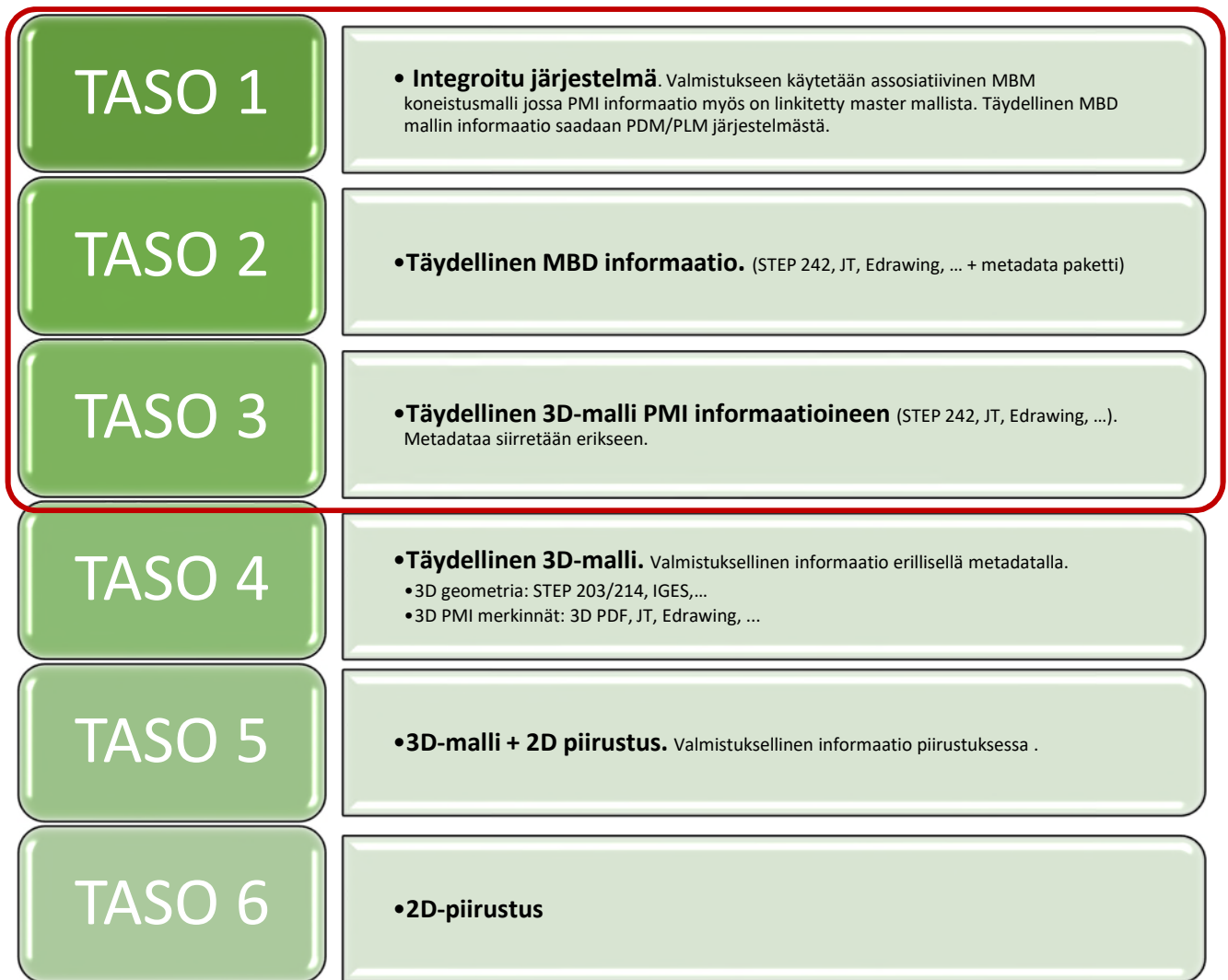
Kuva 6 Toleroitu MBD-tuotemalli

6.2 Tiedonsiirtotasot

Käytetyn tuotetiedon hallinnan eri tasot vaikuttavat suoraan siihen missä muodossa yritys toivoo siirtävänsä tieto yhteistyökumppaneille sekä alihankkijoille.

Vastaavalla tavalla kuin hallintatasoja määriteltäessä voidaan myös määritellä suositeltavia siirtotasoja. Kuvassa 7 siirtotasoja on määritetty siirtoformaattien mukaisesti.

Mitä alempi taso on käytössä, sitä suurempi riski väärän tai puutteellisen tiedon käyttöön. Suositus olisi, että yritykset voisivat toimia tasoilla 1 tai 2 tai 3.



Kuva 7 Tiedonsiirron tasot

6.3 Koneistettavat kappaleet

- PMI-mallissa tyypillisesti siirrettävä data:
 - mitta-, muoto- ja sovitoleransseja, pintamerkitöjä, keskiviivoja
 - rajattuja alueita koskevat erityisvaatimukset (region).

Koneistetun osan MBD-mallin hyödyt verrattuna perinteiseen piirustuskeskeiseen malliin ovat:

- tulkintavirheet vähenevät koska 3D-mallista voidaan suoraan nähdä mihin geometriaan PMI-data viittaa
- työstörajojen generointi voidaan automatisoida MBD-datan pohjalta
- mittakoneiden etäohjelmointi voidaan automatisoida.

Levytyössä MBD antaa mahdollisuuden levytyön tekijälle muodostaa itse levityskuva käytössä olevaa konekantaa vastaavaksi.

Valuosissa on tyypillisesti monia muotoja, joiden kuvaaminen perinteisellä 2D-piirustuksella on haastavaa. Valuosan kattava kuvaus 2D-piirustuksella edellyttää paljon leikkaus- ja kohtakuvantoja. Nykyään yleinen tapa on liittää piirustuksen yhteyteen kappaleen 3D-malli. Malli voidaan lukea CAM-ohjelmaan, mutta sen

lisäksi piirustuksesta joudutaan lukemaan ja tulkitsemaan jokainen merkintä manuaalisesti, jotta koneistusohjelmalla saavutetaan määritetyt tarkkuus ja laatuavoitteet.

MBD-menetelmässä 3D-mallin lisäksi tulee 3D-malliin liittyvä PMI-mitointi. Verrattaessa tilannetta, jossa 3D-malli toimitetaan 2D-piirustuksen rinnalla, MBD-tekniikan käytöllä kuvan havainnollisuus ja luettavuus paranevat, jolloin voidaan saavuttaa merkittävä ajansäästö työstön suunnittelussa ja toteutuksessa. Lisäksi tiedonsiirtoa voidaan automatisoida.

6.4 Kokoonpano

PMI-mallissa tyypillisesti siirrettävä data:

- Kokoonpanorakenne
- Yksittäisten osien mitta- ja muototoleransseja
- Kokoonpanon koneistuspiirteet toleransseineen ja määrityksineen (hitsauskokoontimet)
- Hitsausmerkinnät.

Kokoonpanojen MBD-mallin hyödyt verrattuna perinteiseen piirustuskeskeiseen malliin ovat:

- Tulkintavirheet vähenevät, koska 3D-mallista voidaan suoraan nähdä mihin geometriaan PMI-data viittaa
- Toleranssietäjäanalyysiohjelmat (variational analysis software) voivat suoraan hyödyntää 3D-malleihin liitettyjä mitta- ja sovitetoleransseja
- Hitsatut rakenteet:
 - o Työstörajojen generointi voidaan automatisoida MBD-datan pohjalta
 - o Mittauskoneiden etäohjelmointi voidaan automatisoida
 - o Hitsausmerkinnät voidaan helpommin käyttää hitsauksen suunnittelussa koska merkinnät ovat assosioituja mallin 3D geometriaan.

7 MBD CAM-ohjelmoinnissa

Perinteisesti CAM-ohjelmoinnissa työstöohjelma on alkeellisimmillaan laadittu geometriaan, joka on ensin luotu suoraan CAM-ohjelmaan osapiirustuksen avulla. Nykyään käytävissä on usein työkappaleen 3D-malli. Malli on kuitenkin yleensä mallinnettu nimellismittaan ilman toleranssidataa. Tämän vuoksi toleranssitiedot joudutaan työstörajoitelmoinnissa katsomaan piirustuksesta ja syöttämään manuaalisesti CAM-ohjelmistoon.

Esimerkiksi jos kappaleen toleroitu halkaisijamitta on piirustuksessa $\varnothing 50 +0,1/+0,2$, on malli yleensä piirretty nimellismittaan $\varnothing 50$. Ohjelmoinnissa puolestaan tähdätään toleranssin keskelle, tässä tapauksessa mittaan $\varnothing 50,15$ mm, mutta sen syöttäminen on tehty CAM-ohjelmassa manuaalisesti tai työstökoneella koneen käyttäjän toimesta työkalukorjaimilla. Molemmat edellyttävät laskutoimituksia ja ovat virheellisiä.

MBD:n myötä GPS-toleranssitiedot (mitta- ja geometriatoleranssit) siirtyvät CAD-tiedoston sisällä suoraan CAM-ohjelmaan. Osa ohjelmistoista tukee tätä ominaisuutta jo nyt. Näin ohjelmoinnissa toleranssit tulisivat suoraan ohjelmaan ja piirustuksista käsin tehtävä tiedonsiirto, ja näppäilyvirheen riski, jää pois. Ohjelma osaa siis laskea itse toleranssin keskikohdan ja laatia radan sen mukaan. Kaikki tieto siirtyy sähköisesti ja koneen korjaimilla kompensoidaan vain työstön vaikutuksia, ei toleranssin sijaintia.

Jo nyt useat kehittyneet CAM-ohjelmistot osaavat ehdottaa ennalta määritettyjä valmistusprosesseja 3D-malliin syötettyjen toleranssitietojen perusteella ja työstöohjelman laatiminen onnistuu automaattisesti 3D-mallin piirteiden mukaan. Näin toimittaessa käyttäjän tarvitsee vain tarkistaa ohjelman toimivuus, vastaava toiminnollisuutta on käytössä myös koordinaattimittauskoneilla.

8 PMI-tietojen hyödyntäminen mittauksessa

Koordinaattimittauskoneiden ohjelmoinnissa on käytetty perinteisesti samoja valmistuskuvia kuin työstökoneiden ratoja ohjelmoitaessa. Kuvista saadaan tiedot nimellimitoista sekä toleransseista. Yksi yleisimmistä virheiden aiheuttajista ovatkin myös mittauksen tapauksessa tulkinnanvaraiset kuvat ja väärät versiot, epäselvät merkinnät, näppäilyvirheet sekä muut inhimilliset tekijät. PMI:n käytön avulla suurin osa näistä voidaan poistaa tai ainakin pienentää niiden riskiä merkittävästi.

CAD-malleja hyödynnetään pääsääntöisesti aina, kun niitä on saatavilla ohjelmoinnin tueksi. Jos CAD-malli pitää sisällään PMI-dattaa, löytyy sieltä myös kaikki tarvittavat tiedot kappaleen tarkistettavista piirteistä toleranssitietoineen. Mittauskoneen ohjelmisto kykenee PMI-informaation avulla luomaan mittausstrategian automaattisesti.

Yleisesti voisi sanoa, että uusimmat mittauskoneiden ohjelmistot riippuen laitevalmistajasta kykenevät automaattiseen tai puoliautomaattiseen mittausohjelman generointiin. Tuettuja formaatteja ovat esimerkiksi SolidWorks, ACIS, UG/NX, PRO/e, Catia.

Automaattinen mittausohjelmien generointi säästää merkittävästi ohjelmointiin käytettävää aikaa. Tämä korostuu erityisesti monimutkaisten tai paljon mittauksia sisältävien kappaleiden ohjelmoinnissa. Automaattinen mittausohjelmiston tekemä ohjelmointi myös vähentää huomattavasti inhimillisten virheiden mahdollisuutta. Ajansäästö PMI-datan käytön hyödyntämisessä monimutkaisilla kappaleilla voi olla jopa 90 % verrattuna perinteisiin mittauskoneen ohjelmointimenetelmiin.

Mittausstrategiat PMI-dattaa hyödynnettäessä toteutetaan aina samalla tavalla ja käyttäjä voi tallentaa säännöt strategioiden toteuttamiseksi. Mittauksen suunnitteleminen ja sen vastuu siirtyvät hierarkiassa lähemmäs tuotesuunnittelijaa ja paras lopputulos monesti voitaisiin saavuttaa sillä, että mittauksen ja geometrinen toleranssien asiantuntijaa käytettäisiin apuna suunnittelussa. Etuna PMI:n käytössä on myös se, että yhtenäistetään ja vakioidaan käytäntöjä siitä, kuinka mittaukset suoritetaan riippumatta siitä kuka mittaa ja millä mitataan tai missä mitataan.

Auto- ja ilmailuteollisuus Euroopassa hyödyntävät PMI-dattaa omilla prosesseissaan ja vaativat myös alihankkijoitaan adaptoitumaan PMI-datan käyttämiseen. Tämä tarkoittaa alihankkijaverkostolta investoimista jo etukäteen sellaisiin järjestelmiin, joilla voisi olla mahdollista päästä mukaan hankintaverkoston toimittajiksi. Tämä tarkoittaa PMI:n jalkauttamista kotimaassa käytännön tasolle ja tietoisuuden lisäämistä kyseisessä asiassa.

8.1 Millaisia toleroituja elementtejä PMI-tietojen avulla voidaan mitata automaattisesti koordinaattimittauskoneella?

Mitattavat elementtityypit:

Piste, viiva, ympyrä, lieriö, taso, pallo, kartio, ympyräpoikkileikkaus (taso/kartio, taso/pallo, taso/lieriö), poikkileikkauselementit (viiva ja piste), projisoidut pisteet jne.

Mitattavat toleranssityypit:

+/- toleranssi (halkaisija, etäisyys, kulma, XYZ-koordinaatit jne.), ympyrämäisyys, lieriömäisyys, tasomaisuus, sama-akselisuus, paikka, kulma-asema, yhdensuuntaisuus, kohtisuoruus, symmetria, koordinaattitoleranssi, heitto (säteisheitto, kokonaisheitto), MMC (Maksimimateriaalin tila), jne.

Video: <http://mitutoyo.fi/fi/downloads/watch-our-videos/micat-planner-measuring-programs-made-easy-818/>

9 MBD:tä tukevat ISO-standardit

9.1 Yleistä

Tekninen tuotedokumentointi ("koneenpiirustus") on tehty ISO-standardien mukaisesti jo 1940-luvulta lähtien. ISO-standardeja kehitetään jatkuvasti ja niiden mukaiset menetelmät on tunnustettu käytännössä koko maailmassa. ISO-standardeilla ohjataan esittämistapojen (esim. viivatyytit ja leveydet, projektiot, leikkaussäännöt) lisäksi myös mitoitusta ja tolerointia.

Kansainvälisillä ISO-standardeilla on tärkeä rooli myös tulevaisuuden mallipohjaisessa tuotedokumentoinnissa. Jo nyt useissa olennaisissa teknisen tuotedokumentoinnin standardeissa esitetään menetelmiä mallipohjaisen dokumentoinnin organisoimisesta sekä 3D-malleihin tehtävistä merkinnöistä.

Suomalaisen teollisuuden kannattaisi omaksua ISO-standardien mukaiset MBD-menettelyyn liittyvät säännöt heti alkuvaiheessa. Näin vältetään hankalilta muutoksilta ja uudelleenopettelulta myöhemmässä vaiheessa. Tärkeää olisi myös omaksua uusien MBD-sääntöjen lisäksi perinteisemmätkin säännöt, jotka tuntuvat välillä olevan vähän hukassa. Erityisesti mitoitamiseen ja tolerointiin liittyvät perussäännöt on hallittava, koska niitä ei ainakaan vielä ole automatisoitu CAD-järjestelmillä.

9.2 Perusteet, ISO 16792

Siirryttäessä käyttämään MBD-tekniikoita ehdoton perusstandardi on SFS-ISO 16792, *Tekninen tuotedokumentointi. Digitaalista tuotemäärittelytietoa koskevat käytännöt*. Siinä esitetään mallia koskevat tiedonhallinnan vaatimukset ja eri mallinnusratkaisut. Lisäksi standardi käsittelee kattavasti erilaisia yleisiä merkintäsääntöjä ja -tekniikoita. SFS-ISO 16792 on suomennettu, joten siihen perehtyminen käy varsin helposti.

9.3 Mittatoleranssit, ISO 14405

Mittatoleroinnin tekniikat esitetään standardissa SFS-EN ISO 14405-1. Tärkeää on tiedostaa, että oletusmitta ISO:n järjestelmässä on kaksipistemitta. Pelkkä pituusmitta ei koskaan sisällä vaatimusta kappaleen muodosta (esim. akselin lieriömäisyys tai pinnan tasomaisuus). Pituusmitat on tarkoitettu pääasiassa ns. mitallisille elementeille, joita ovat mm. kahden yhdensuuntaisen tason välinen etäisyys sekä reiän tai akselin halkaisija. Suunnittelijan olisi käytettävä toiminnallisesti tärkeissä kohdissa geometrisia toleransseja. Standardin ISO 14405 osa 2 käsittelee hyviä mitoitustapoja.

9.4 Geometriset toleranssit, ISO 1011

Tuotteen toiminnalliset ominaisuudet on aina määriteltävä riittävällä tavalla. Pelkkä pituusmitta ei aina ole riittävä määrittely. Standardi SFS-EN ISO 1101 on ollut olemassa eri painoksina jo vuosikymmeniä. Siinä määritellään geometriset toleranssit ja niiden käyttöä koskevat säännöt. Standardin viimeisimmät painokset sisältävät sääntöjä ja esimerkkejä MBD-tekniikkaan. Säännöt on välttämätöntä tuntea, jotta geometrinen määrittely on asianmukainen.

Geometriseen tolerointiin liittyvät kiinteästi myös peruselementit. Niitä ja niihin liittyviä MBD-sääntöjä käsitellään standardissa SFS-EN ISO 5459.

9.5 Yleistoleranssit

Yleistoleranssit koskevat työkappaleen niitä piirteitä (tai elementtejä GPS-standardeissa), joille ei ole asetettu yksilöllistä toleranssia. Yleistoleranssi on voimassa vain silloin, kun se on esitetty piirustuksessa tai tuotemallissa.

Ylivoimaisesti eniten käytetty yleistoleranssistandardi suomalaisessa teollisuudessa on ISO 2768 (osat 1 ja 2). Teknisissä piirustuksissa joskus nähtävä pituusmittojen yleistoleranssitaulukko on lähes aina peräisin

tästä standardista. Otsikkotauluun merkittävä yleistoleranssiaste (esim. "ISO 2768-m) on myös standardin ISO 2768 mukainen merkintä.

ISO 2768 on vanha standardi, mutta pituusmittoja koskeva osa 1 on perinteisissä piirustuksissa yhä käyttökelpoinen. Geometrisia yleistoleransseja käsittelevä osa 2 onkin sitten hyvin ongelmallinen standardi. Sen soveltaminen monimutkaisemmissa tapauksissa johtaa epäselvyyksiin ja monitulkintaisuuteen. ISON tekninen komitea ISO/TC 213 onkin suosittanut 2016 helmikuussa standardin ISO 2768-2 kumoamista.

MBD:n osalta on tärkeää huomata, että ISO 2768 on täysin käyttökelvoton. Pituusmittojen yleistoleransseja ei voi soveltaa mallista tiedusteltuihin etäisyysmittoihin (esim. reiän sijaintia voidaan tiedustella 3D-mallista mielivaltaisista pisteistä käsin. Kaikkia eri mittauksia koskisi erilainen yleistoleranssi, joka johtaisi määrittelemättömään tilanteeseen). Suunnittelijan annotaatioina tekemiä TED-mittoja (teoreettisesti tarkat mitat, "laatikkomitat") yleistoleranssit eivät koske muutenkaan.

Mitä sitten standardin ISO 2768 tilalle? Tekninen komitea ISO/TC 213 on parhaillaan laatimassa uutta yleistoleranssistandardia. Tällä hetkellä näyttää siltä, että uusi yleistoleranssi perustuu geometriseen muototoleranssiin, joka annetaan mahdollisesti jonkin peruselementtijärjestelmän suhteen. Todennäköisesti minkäänlaista valmista nimellismittoihin perustuvaa yleistoleranssitaulukkoa ei standardisoida. Valmistusmenetelmien ja teollisuuden kirjo on niin laaja, että on mahdotonta laatia yhtä kaikkialle sopivaa yleistoleranssitaulukkoa. Sopivista yleistoleransseista päättäminen jää suunnittelijan vastuulle. Tässä vaiheessa on kuitenkin aikaista sanoa mikä lopullinen standardisoitu menetelmä on.

9.6 Yleiset GPS-säännöt, ISO 8015

MBD-menetelmää koskevat samat teknisen tuotedokumentoinnin ja toleroinnin säännöt kuin perinteistäkin suunnittelutapaa. Jokaisen suunnittelijan olisi syytä tutustua standardiin ISO 8015, jossa esitetään tärkeitä ISO GPS –järjestelmää koskevia perussääntöjä. Tärkeitä sääntöjä ovat mm.

- Piirustus määrää -sääntö: dokumentoinnin on oltava tarpeeksi kattavaa, että kaikki tarvittava voidaan valmistaa ohjeiden mukaisesti. Määrittelemättömiä asioita ei tarvitse valmistaa (ts. minkäänlaista hyvää konepajakäytäntöä ei oleteta olevan). Tähän liittyy myös eri työvaiheita koskevat erilaiset mitat: Jos esitetään vain yksi mitta, sen katsotaan olevan lopputuotteen mitta.
- Elementti-sääntö: toleranssimerkintä koskee oletusarvoisesti vain sitä elementtiä, johon merkintä on liitetty. Jos toleranssin halutaan vaikuttavan laajemmin, se on merkittävä asianmukaisesti
- Riippumattomuuden sääntö: kaikki tuotteelle asetetut toleranssivaatimusten on toteuduttava toisistaan riippumattomina, ellei toisin ole sanottu. Esim. akselin kaksipistehalkaisija ja ympyrämäisyys on todettava kahdella eri mittauksella.

9.7 Hitsausmerkinnät, ISO 2553

Hitsausmerkkejä koskeva vastikään uusittu standardi SFS-EN ISO 2553 Hitsaus ja niiden lähiprosessit. Merkinnät piirustuksiin sisältää myös ohjeita ja menetelmiä 3D-malleja varten.

9.8 STEP-tiedonsiirtoformaatti

MBD:n yksi kulmakivi ovat toimivat tiedonsiirtoformaattit. CAD-järjestelmien natiiviformaattien rinnalla käytössä on geneerinen formaatti STEP. STEP-formaatti perustuu ISON standardisointiin. Mitoitus-, tolerointi- ja annotaatiotietojen siirtoa käsittelee STEP-standardin ISO 10303 osa 242. STEP-standardia hyödyntävät suoraan lähinnä ohjelmistovalmistajat.

9.9 ASME-standardit

Pohjois-Amerikassa ASME-standardeilla on vankka jalansija. Siellä edellä mainittuja ISO-standardeja vastaavat standardit ovat ASME Y14.41 ja ASME Y14.5. Ne poikkeavat joiltain osin merkittävästi ISO-järjestelmästä, ja niiden käyttöä Suomessa ja EU-alueella kannattaa harkita tarkkaan.