

Markus Töyrylä

MALLIPERUSTAINEN TUOTEMÄÄRITTELY

Teknisten tieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Huhtikuu 2019

TIIVISTELMÄ

Markus Töyrylä: Malliperustainen tuotemäärittely, Model-based definition
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Huhtikuu 2019

Malliperustainen tuotemäärittely on koko ajan kehittyvä teknologinen innovaatio tuotteiden 3D-mallinnuksessa, kehityksessä ja tuotannossa. Sen tarkoitus on helpottaa ja yksinkertaistaa tuotteiden tietojen esitystapoja ja -muotoja. Helpottaviin tekijöihin kuuluvat muun muassa tietojen esittäminen yhdellä tiedostolla, tiedostokoon pienentäminen ja tietojen kulkeminen sähköisesti ilman työntekijän väliintulon tarvetta.

Tässä työssä luodaan katsaus malliperustaisen tuotemäärittelyn kehitykseen, haasteisiin ja hyötyihin sekä sen vaatimiin osa-alueisiin. Lopuksi näiden tietojen avulla pohditaan malliperustaisen tuotemäärittelyn tärkeyttä ja onnistuneisuutta.

Avainsanat: malliperustainen tuotemäärittely, 3D-mallinnus, mallin tekniset tuotetiedot

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. MALLIPERUSTAINEN TUOTEMÄÄRITTELY JA SEN KEHITYS.....	2
2.1 Tekniset piirustukset	2
2.2 Kehityksen tasot.....	3
2.2.1 Tuotetaso.....	3
2.2.2 Yritystaso.....	4
2.3 Tekniset tuotetiedot 3D-mallissa	5
3. MALLIPERUSTAINEN SUUNNITTELU ELINKAAREN HALLINNASSA.....	7
3.1 Tuotesuunnittelu	8
3.2 Tuotanto.....	8
3.3 Laadunvarmistus.....	8
4. TIEDONSIIRTO	10
4.1 Formaattit ja tiedonsiirto.....	11
4.2 Vaatimuksia	12
5. MALLIPERUSTAISEN TUOTEMÄÄRITTELYN HAASTEET JA HYÖDYT	14
5.1 Ongelmat	14
5.1.1 Tekniset ja elinkaarelliset ongelmat	14
5.1.2 Muut ongelmat.....	15
5.2 Hyödyt.....	15
6. POHDINTA	17
6.1 Pelkkä tekninen piirustus	17
6.2 Teknisen piirustuksen lisäksi 3D-malli.....	17
6.3 Piirustus ja 3D-malli rinnakkain	18
6.4 Pelkkä 3D-malli.....	18
7. YHTEENVETO.....	20
LÄHTEET.....	21

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Annotaatio	Tiettyyn kohtaan dokumentointia lisätty merkintä tai kuvaus
CAD	Computer Aided Design, Tietokoneavusteinen suunnittelu
ECM	Engineering Change Management, Dokumentointiin kohdistuvista muutoksista vastaava yrityksen elin
GD&T	Geometric Dimensioning and Tolerancing, Geometrinen mitoitus ja tolerointi
MBD	Model-Based Definition, Malliperustainen tuotemäärittely
MBE	Model-Based Enterprise, Yritys, joka hyödyntää mahdollisimman paljon malliperustaista tuotemäärittelyä
PDM	Product Data Management, Tuotetiedon hallinta
PLM	Product Life-cycle Management, Tuotteen elinkaaren hallinta

1. JOHDANTO

Uusien tuotteiden suunnittelu on vaatinut aina teknisiä kuvia tai piirustuksia tuotteen tarkkaa määrittämistä varten. Vielä vuosikymmen sitten oli täysin yleistä jakaa paperisia piirustuksia tuotteiden elinkaaren eri vaiheissa. Kuitenkin teknologian kehittyessä ja tietokoneiden lisääntyessä myös 3D-mallintaminen on siirtynyt yhä enemmän digitaaliseksi. Tuotteiden määrittelytapa ei ole enää ollenkaan yksiselitteistä, vaan määrittelytietojen tallennusformaatteja on useita. Yritykset käyttävät tapoja, jotka sopivat parhaiten heille, mikä voi kuitenkin aiheuttaa hankaluuksia yritysten välisessä yhteistyössä.

Tässä työssä perehdytään malliperustaiseen tuotemäärittelyyn. Sen ideana on luoda yksi tietopaketti, joka täysin määrittelee tuotteen sen elinkaaren eri vaiheissa. Työn tavoitteena on saada mahdollisimman tarkka kuva nykypäivän vaatimuksista tuotteen määrittelemisessä sekä luoda ymmärrys malliperustaisen tuotemäärittelyn suurimmista hyödyistä ja haasteista. Alatavoitteena on läpikäydä tuotteen eri määrittelyformaatteja ja valita niistä järkevä vaihtoehto ottaen huomioon yritysten asettamat vaihtelevat vaatimukset.

Työn alussa määritellään malliperustaista tuotemäärittelyä sekä tutkitaan, kuinka se on kehittynyt parin viime vuosikymmenen aikana. Sen jälkeen perehdytään malliperustaisen tuotemäärittelyn soveltamiseen muutamassa tuotteen elinkaaren eri vaiheessa, ja luodaan katsaus yleisiin käytössä oleviin tiedonsiirtoformaatteihin ja niiden luomiin mahdollisuuksiin. Lopussa voidaan malliperustaisen tuotemäärittelyn keskeisiä etuja vanhoihin käytäntöihin verrattuna, mutta myös huomioidaan uuden tavan tuomia ongelmia.

2. MALLIPERUSTAINEN TUOTEMÄÄRITTELY JA SEN KEHITYS

Malliperustainen tuotemäärittely tai suunnittelu eli MBD (Model-Based Definition) tuo tietokonepohjaista mallinnusta kehityksessään pidemmälle. Ideana on syrjäyttää kaikki paperiset piirustukset ja muut ulkopuoliset keinot, jotka määrittävät tuotetta (Adamski 2010, s. 39; Ruemler et al. 2017, s. 1). Alemanni et al. (2011, s. 1) kertovat tietokoneiden ja etenkin 3D-maailman pystyvän hallitsemaan uuden tuotteen suunnittelun, simuloinnin ja varmistamisen. Malliperustaiseen määrittelyyn kuuluu lisäksi se, että 3D-työkaluilla voidaan mennä tehdassaliin asti vaikuttamaan tuotesuunnitteluun sekä jakamaan työohjeita työntekijöille. Tämä uusi teknologia ei ainoastaan muuta perinteistä tiedonhallintaa tuotteille ja niiden prosesseille, vaan myös niiden välisille yhteyksille. (Alemanni et al. 2010, s. 1–2)

Malliperustaisessa määrittelyssä syntyvät 3D-mallit eivät juurikaan eroa perinteisistä 3D-malleista. Niiden ulkomuoto ja geometria tietokoneen ruudulta tarkasteltuna voivat olla täysin samanlaiset. Eroa täytyy hakea syvemältä: malliperustaisessa tuotemäärittelyssä malliin voi olla upotettuna tietoa esimerkiksi materiaalista, toleransseista, simuloinnista, kokoamisesta tai työohjeista. MBD:n tapauksissa tuotannossa olevat numeerisesti ohjatut työkonet voivat lukea työstöä varten tarvittavaa dataa suoraa 3D-mallista (Quintana et al. 2010, s. 1).

2.1 Tekniset piirustukset





Teknisillä piirustuksilla tai 2D-työkuvilla tarkoitetaan mallin esittämistä 2D-projektioina, joihin on liitetty tarvittavat tiedot mallin geometriasta sekä valmistusmenetelmistä. Ennen tietokoneita 3D-malleja ei ollut ja työkuvat piirrettiin käsin. Nykyään työkuvien luominen onnistuu helposti hyödyntämällä mahdollisesti olemassa olevaa 3D-mallia, joka projisoidaan eri suunnista 2D-tasoon. Työkuvat ovat helppoja tulostaa paperille ja toimittaa eteenpäin tuotteen elinkaaren vaiheissa. Näistä työkuvista ollaan kuitenkin pyrkimässä eroon malliperustaisessa tuotemäärittelyssä. Teknisten työkuvien yksi ongelma on niiden monimutkaisuus ja tulkinnanvaraisuus. Työkuvan lukemisen ymmärtäminen vaatii taitoa, ja väärän tulkinnan tekeminen aiheuttaa aina vaaran virheen tekemiselle.

2.2 Kehityksen tasot

Malliperustaisen tuotemäärittelyn kehitys kulkee teknologian kehityksen ja uusien innovaatioiden mukana. Kehityksen tasot on jaettu tässä työssä kahteen osaan: tuotteiden suunnitteluun liittyvään tasoon sekä yrityksen toimintatapaan liittyvään tasoon. Erityisen huomioitavaa on myös se, että tasojen luokittelulle ei ole olemassa mitään standardia, vaan luokittelu on tekijän oman tulkinnan varassa.

2.2.1 Tuotetaso

Fischer (2011, s. 47) esittää tasoja olevan neljä, jotka on esitetty kuvassa 1.

Created by Design Activity	Deliverable
1) 2D Drawing (No 3D Model) full definition in drawing	Drawing Only 
2) 3D Model + 2D Drawing full definition in drawing	Drawing Only 
3) 3D Model + 2D Drawing partial definition in both; most common	Both 
4) 3D Model (No 2D Drawing) full definition in model	Model Only 

Kuva 1. Malliperustaisen suunnittelun kehityksen tasot (Fischer 2011, s. 47).

Ensimmäinen taso määrittelee tuotteen täysin vain piirustuksen avulla. 3D-mallia ei ole olemassa tai sitä ei ole pystytty tekemään. Ennen tietokoneavusteista mallinnusta oltiin lähtökohtaisesti tällä tasolla.

Toisella tasolla tuote määritellään edelleen täysin työkuvan avulla (Fischer 2011, s. 47). 3D-mallia kuitenkin voidaan käyttää apuna suunnittelussa ja tuotteen esittelyssä, sillä liikuteltava malli on kuitenkin käyttäjäystävällisempi vaihtoehto henkilölle, joka ei ole harjaantunut hahmottamaan tuotteen geometriaa suoraa piirustuksesta.

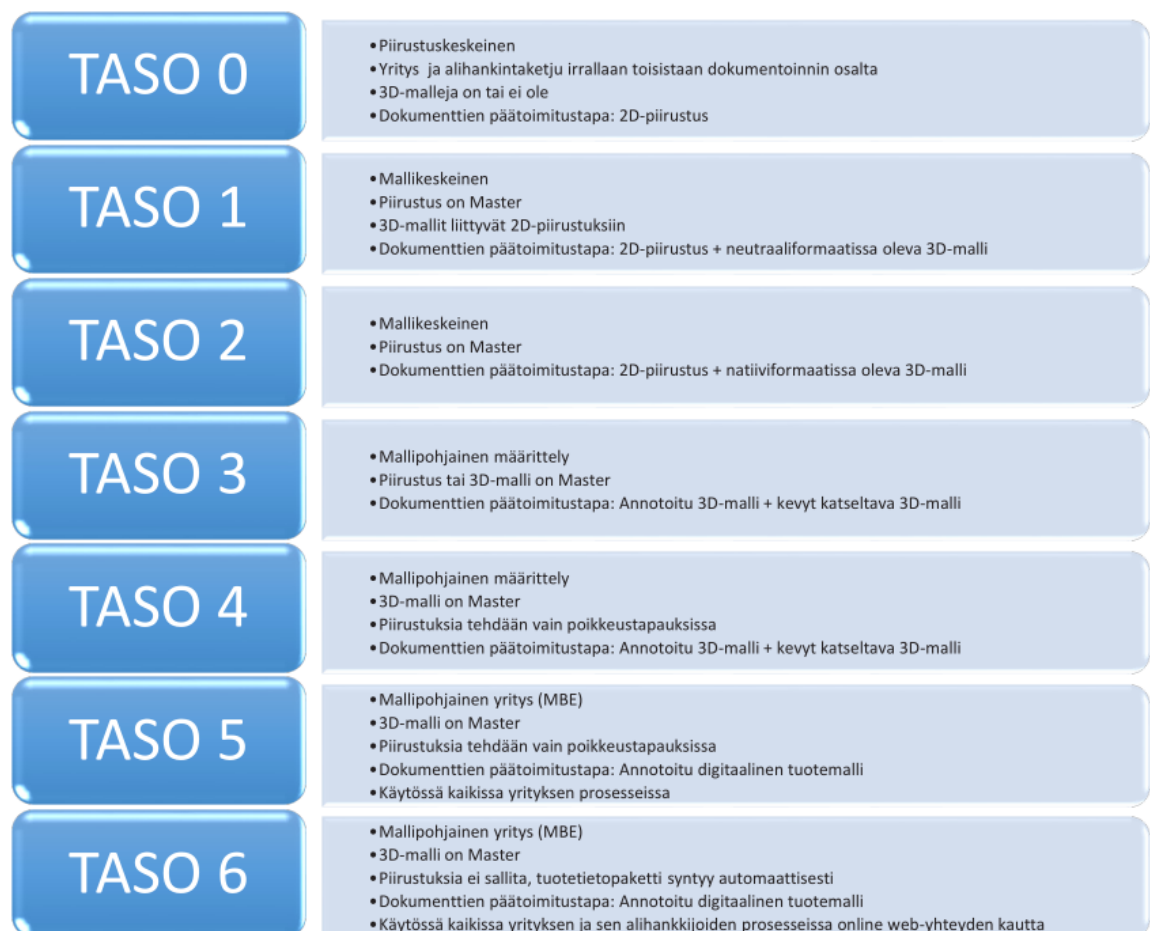
Fischerin (2011, s. 47) mukaan kolmas taso on yleisin. Siinä 3D-malli ja 2D-työkuva ovat tasapainossa ja molempia käytetään yhtä paljon. Tuotemäärittelytietoja voidaan lukea molemmista käyttösovellusten tarkoitusten mukaan. Kolmannen tason tapauksessa piirustukset luodaan 3D-mallin pohjalta, jolloin muutokset 3D-mallissa muuttavat työkuva.

(Fischer 2011, s. 47) Tällainen ominaisuus voi säästää aikaa ja vaivaa, mutta vaatii kuitenkin piirustusten uudelleen tekemistä ja lähettämistä eteenpäin prosesseihin, joissa on vielä vanha piirustus.

Viimeisin taso on kaikista kehittynein. Siinä teknistä piirustusta ei ole tai ei sallita lainkaan. Kaikki tuotteen määrittelevät tiedot ovat 3D-mallissa, jota kuljetetaan eteenpäin tuotteen elinkaaren vaiheissa. Nykyiset CAD-ohjelmat myös mahdollistavat annotaatioiden tekemisen suoraa 3D-malliin. (Fischer 2011, s. 47)

2.2.2 Yritystaso

Yritysten dokumentoinnin tekniikat voidaan jakaa myös tasoihin sen mukaan, mikä on yrityksen toimintatapa. Kuvassa 2 on esillä yritysten mahdollisia kehitysasteita.



Kuva 2. Yrityksen dokumentoinnin tekniikat eri tasoilla (Rapinoja 2016, s. 7).

Yritystason kehitys seuraa hyvin pitkälle Fischerin esittämiä tasoja yksittäisille tuotteille. Alin taso alkaa piirustuskeskeisestä toimintatavasta ja kuljettaessa tasoja ylöspäin piirustusten merkitys vähenee. Ylimmillä tasoilla piirustuksia pyritään käsittelemään hyvin vähän tai ei ollenkaan.

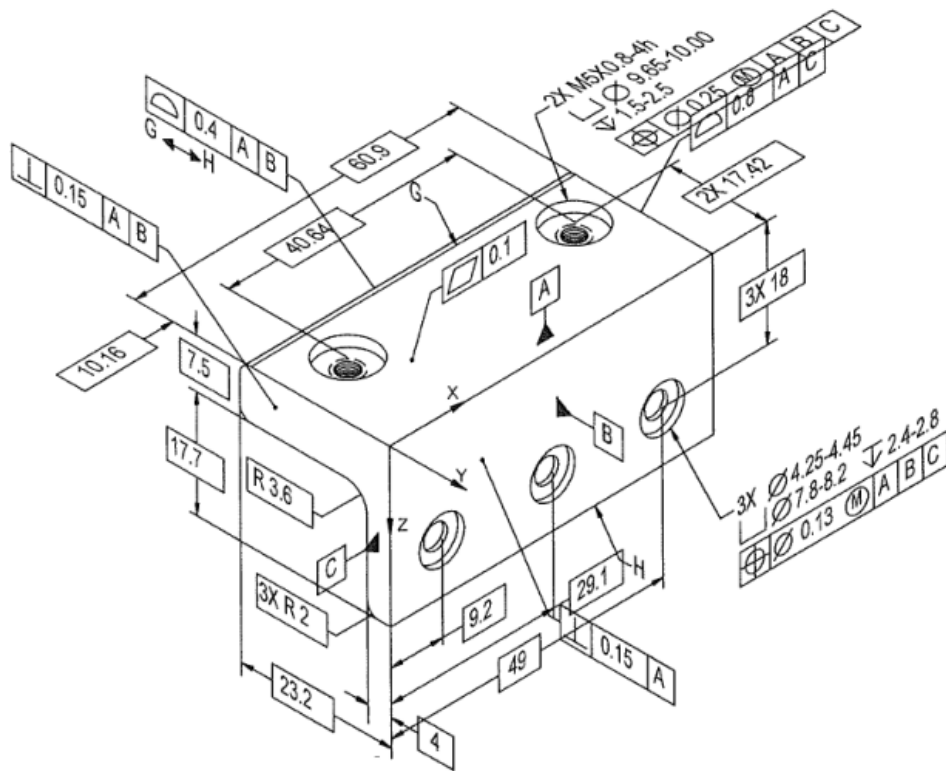
Kaikista huomionarvoisin taso on taso 6, jolloin puhutaan mallipohjaisesta yrityksestä (Model-Based Enterprise). Rapinoja (2016, s. 6–7) kirjoittaa raportissaan MBE:n olevan laaja yritystason toimintamalli, jossa työkuvia ei käytetä vaan 3D-mallia hyödynnetään mahdollisimman monissa yrityksen prosesseissa. Ihannetilanteessa yrityksen alihankkijatkin käyttäisivät samoja prosesseja ja heidän tuotteen elinkaaren hallintajärjestelmät olisivat samanlaiset, mikä mahdollistaa vaivattoman kommunikoinnin ja tiedon vaihdon yritysten välillä.

2.3 Tekniset tuotetiedot 3D-mallissa

3D-kappaleissa esiintyvät mitat ja toleranssit ovat GD&T-dataa (Geometric dimensioning and tolerancing). Yleinen harhaluulo on käyttää GD&T:tä ja MBD:tä synonyymeina. Oikeasti geometria ja toleranssi annotaatiot ovat kuitenkin vain yksi pieni osa-alue muodostettaessa malliperustaisen tuotemäärittelyn kokonaisuutta (Husted 2018, s. 26).

Perinteisissä työkuviissa annotaatiot olivat esillä vain visuaalisessa merkityksessä. Tällaisia visuaalisia annotaatioita voidaan käyttää edelleen myös 3D-malleilla. Niiden ongelma on kuitenkin se, että koneet eivät voi lukea niitä suoraan, vaan väliin tarvitaan työntekijä lukemaan ja syöttämään arvot koneeseen. Malliperustaisessa tuotemäärittelyssä onkin ideana luoda assosiativiset geometria ja toleranssi annotaatiot, jotka kone osaa yhdistää kappaleen oikeisiin osiin. (Husted 2018, s. 25–26) Tällainen annotointi osaltaan virtaviivaistaisi yrityksen toimintaa ja vähentäisi mahdollisia lukujen virhesyöttöjä.

Mallin annotoinnissa pätee edelleen samat säännöt ja tavat kuin 2D-työkuviissa, jotka ovat määritelty standardeissa ASME Y14.5 ja Y14.41 sekä useissa eri ISO-standardeissa, kuten ISO 1101:ssä. Kuvassa 3 on täysin annotoitu 3D-kappale. Vaikka kuvan kappale on melko yksinkertainen, suuri määrä annotaatioita helposti sekoittavat kappaleen geometrista tulkinnallisuutta. Kappaleen virheetön tulkinta vaatiikin hieman ammattitaitoa, mutta myös tekijältä tiettyä johdonmukaisuutta.

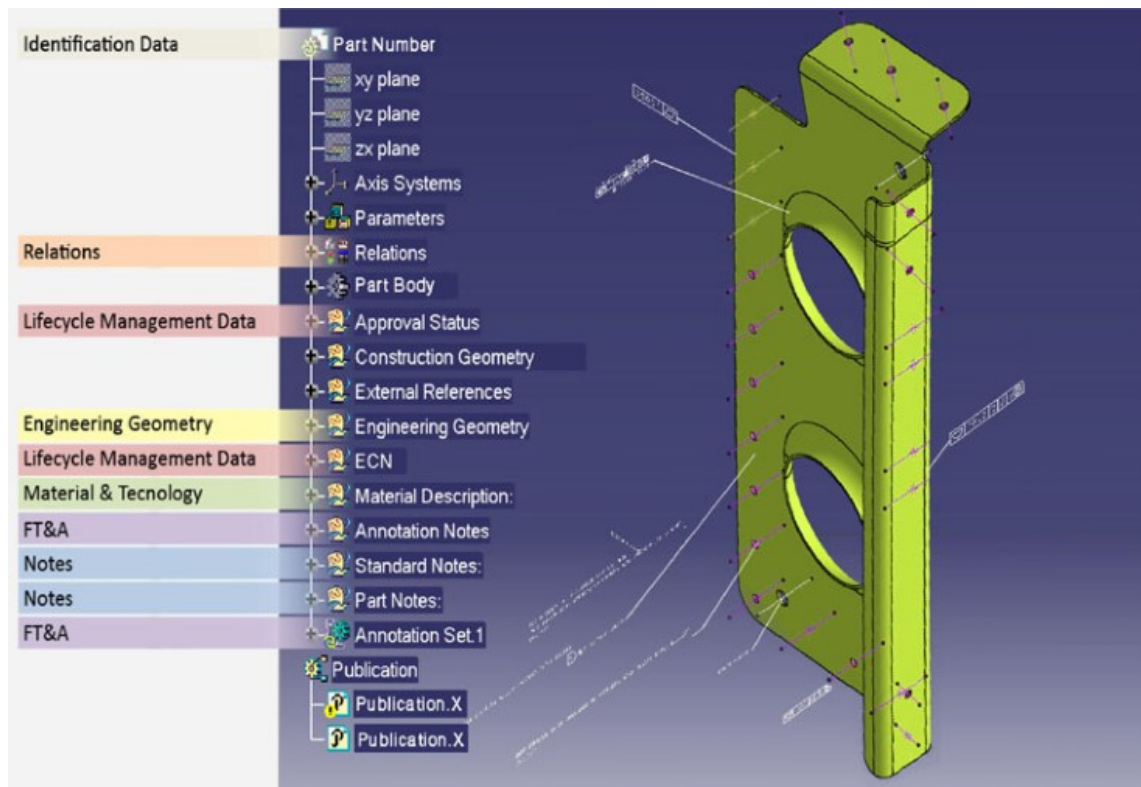


Kuva 3. 3D-malli, jossa on esillä kaikki geometria- ja toleranssiedot (ASME Y14.41-2012, s. 16).

Malliperustaisessa määrittelyssä mallista voidaan tarpeen mukaan piilottaa ne annotaatiot, joita ei tarvita tai annotaatiot, jotka ovat turhia sen hetkisessä työvaiheessa. 2D-työkuvissa tällaista mahdollisuutta ei ole, vaan kaikki merkinnät saattavat olla esillä yhtäaikaisesti, vaikeuttaen työtä.

3. MALLIPERUSTAINEN SUUNNITTELU ELINKAAREN HALLINNASSA

Tuotteen elinkaaren hallinnalla, eli PLM:llä (Product Life-cycle Management) tarkoitetaan tuotteen tietojen hallintaa eri prosesseissa elinkaaren aikana. Tietojen hallinta voi olla tiedon luomista, siirtämistä tai varastoimista. PLM ei ole ainoastaan jatke PDM:lle eli tuotetiedon hallinnalle (Product Data Management), mutta myös yhdistävä tekijä CAD-ohjelmien, digitaalisen tuotannon ja simuloinnin välillä (Alemanni et al. 2011, s. 2). Alemanni et al. (2011, s. 2–3) jatkavat artikkeliaan kertomalla, kuinka 2D-työkuvat tuotteesta eivät välttämättä enää riitä suunnittelijoille ja insinööreille, vaan he tarvitsevat digitaalisia prototyyppejä ymmärtääkseen tuotteen kompleksisuuden ja varmistamaan sen oikeanlaisen toiminnan.



Kuva 4. Malliperustainen suunnittelu mukana tuotteen elinkaaren hallinnassa (Alemanni et al. 2011, s. 2).

Kuvassa 4 on tyypillinen 3D-malli, mutta lisäksi on tuotteen elinkaaren hallinnalle tyypillisiä tietoja, kuten materiaalit, geometria, toleranssit ja annotaatiot (Functional Tolerancing & Annotation) sekä muut huomautukset.

Malliperustainen suunnittelu tuotteen elinkaaren hallinnassa tuottaa paljon erilaista dataa. Monen eri henkilön on päästävä käsiksi tähän dataan elinkaaren eri vaiheissa ja

pystyttävä lukemaan sekä muokkaamaan sitä. Tätä varten tarvitaan yhteentoimivia CAD- ja PLM-ohjelmistoja. (Alemanni et al. 2011, s. 3)

3.1 Tuotesuunnittelu

Tuotteen tuotesuunnitteluvaiheessa MBD:n suurimmat hyödyt ovat suunnittelijan ajan säästyminen ja aikaisempien työtehtävien poisto. Mittojen, toleranssien ja muiden annotaatioiden varsinainen luominen 3D-malliin on lähes yhtä aikaavievää kuin ennenkin, mutta tietojen ollessa suoraan 3D-mallissa, niiden muuttaminen ja päivittäminen on nopeampaa kuin aikaisemmin. MBD:n tapauksessa ei myöskään tarvitse huolehtia aikaisempien piirustusten muuttamisesta tai poistamisesta, koska niitä ei ole. Suunnittelijan aikaa kului ennen paljon piirustusten oikeellisuudesta huolehtimiseen. (Rapinoja 2016, s. 8) Tämä kokonainen työtehtävä voidaan poistaa MBD:n myötä.

3.2 Tuotanto

MBD yhdistettynä tuotteen elinkaaren hallintaan mahdollistaa tehdassalin työntekijöiden saaman tiedon olevan ajantasaista ja samaa, kuin mitä suunnittelija on viimeisimpänä versionaan suunnitellut. Tuotannon koneiden ollessa tarpeeksi kehittyneitä, ne voivat lukea dataa suoraa tiedostosta ja toimia sen mukaisesti. Kun kone toimii autonomisemmin ilman työntekijän väliintuloa, säästyy aikaa ja välttyään työntekijän tekemiltä virheiltä, kuten väärän arvон syöttämiseltä työstökoneeseen. (Rapinoja 2016, s. 8)

Rapinojan (2016) mukaan valu- ja ohutlevy tuotanto sekä jotkin ainetta lisäävät valmistusmenetelmät ovat pisimmällä MBD-tekniikan soveltamisessa. Toinen alue, jolla MBD on vahvoilla tuotannossa on kokoonpano. Kokoonpano-ohjeet ja -dokumentit ovat työläitä ylläpitää, mistä voi johtua vanhentuneet dokumentit tuotannon käytössä. Etenkin tuotteet, joilla on paljon variaatioita, hyötyvät malliperustaisesta lähestymistavasta kokoonpanossa. (Rapinoja 2016, s. 8)

3.3 Laadunvarmistus

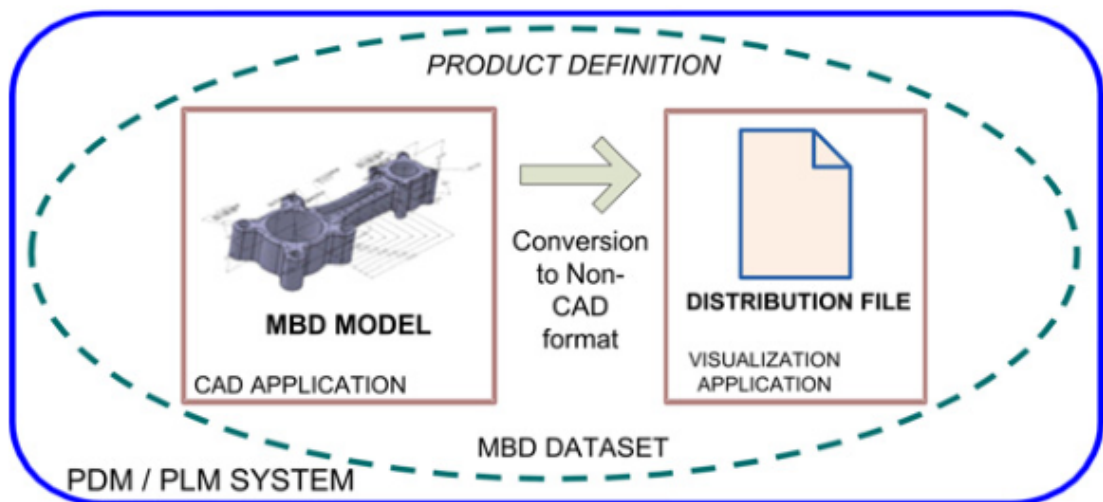
Valmiin tuotteen laadunvarmistus voidaan toteuttaa tekemällä sille mittaukset ja vertaamalla saatuja tuloksia 3D-malliin. Mittaraporttien tekeminen onnistuu yhtä hyvin ilman piirustuksia. (Rapinoja 2016, s. 8). Ennen MBD:tä laadunvarmistus tapahtui laboratorioissa, eristyksissä muusta tuotannosta. Malliperustainen tuotemäärittely kuitenkin mahdollistaa tuotteiden laadun varmistamisen tuotantosalin puolella täysin normaalin tuotannon ohella. (Lennard 2016, s. 22)

Lennard (2016) lähestyy artikkelissaan tuotteiden laadunvarmistusta koordinaattimittauskoneiden (Coordinate-measuring machine) käytön avulla. Tuotteen varmistus tällaisen laitteen avulla tapahtuu siten, että ensiksi tuotteesta mitataan pistepilvi tietokoneelle. Sen jälkeen pistepilven pisteet yhdistetään yhtenäiseksi verkoksi. Lopuksi verkosta voidaan vielä tehdä kiinteä 3D-malli ja jopa toimiva CAD-malli lisäämällä siihen GD&T-data. Pistepilven avulla luotua mallia voidaan verrata alkuperäiseen 3D-malliin asettamalla virtuaaliset mallit toistensa päälle. Tarkkojen pisteiden avulla päällekkäin linjattujen kappaleten eroavaisuudet voidaan korostaa väreillä virheiden löytämiseksi. (Lennard 2016, s. 22) Kuten monessa muussakin MBD:n osa-alueessa, myös mittauksessa tulisi noudattaa mahdollisimman standardoituja menetelmiä ja ohjelmistoja. Yhtenäinen toimintatapa helpottaa yritystä toimimaan alihankkijoiden kanssa, joita voi olla useita.

4. TIEDONSIIRTO

ECM (Engineering Change Management) on prosessi, joka huolehtii piirustusten ja dokumenttien analysoinnista, annotaatioinnista, muutoksista ja hyväksymisestä. Malliperustaisessa tuotemäärittelyssä kaikkien tuotetta koskevien tietojen löytyminen yhdeltä tiedostolta asettaa tiedostomuodolle sekä tiedonsiirrolle tiettyjä vaatimuksia. Yksi näistä on se, että mikä tahansa muutos alkuperäiseen tuotteeseen voidaan jäljittää eikä se saa rikkoa alkuperäisen tuotteen koskemattomuutta. (Quitana et al. 2012, s. 80–81) Malliperustainen tuotemäärittely ja sen tuomat muutokset koskettavatkin juuri tätä elintä yrityksissä.

Jotta yritysten välinen yhteistyö onnistuu, malliperustaisen tuotemäärittely -tavan mukainen jaettava tiedosto ei voi olla muodoltaan sellainen, joka vaatisi CAD-ohjelman sen avaamiseksi, koska moni pienempi yritys ei välttämättä omista CAD-lisenssiä niiden korkean hinnan vuoksi. Tällaista ongelmaa ei ollut vielä silloin, kun 3D-mallin lisäksi tehtiin aina 2D-piirustus, joka voitiin jakaa kenelle tahansa ilman ongelmia. (Quintana et al. 2012, s. 82) Kuvassa 5 on havainnollistus tiedoston vaatimuksesta.



Kuva 5. CAD-tiedoston muuttaminen joksikin universaalimmaksi tiedostotyyppiä (Quintana et al. 2012, s. 82).

Jakelutiedoston ideana on sisältää kaikki tarvittavat tiedot tuotteesta, kuitenkin siten, että tietojen lukeminen onnistuu ilman CAD-ohjelmaa.

4.1 Formaattit ja tiedonsiirto

Lopullista formaattia valittaessa täytyy huomioida, mitä tietoja halutaan siirtää, kuka tiedostoa avaa ja minkälaisella ohjelmistolla, sekä kuinka suuri tiedostokoko saa olla. Taulukkoon 1 on kerätty Rapinojan (2016) raportista formaatteja ja niiden tiedonsiirtomahdollisuuksia. Taulukossa ei kuitenkaan ole kaikkia mahdollisia formaatteja, vain osa niistä.

Taulukko 1. *Eri formaattien mukana siirtyvä data (Rapinoja 2016, s. 11).*

Siirrettävä tieto	Tiedonsiirtoformaatti					
	Natiivi	STEP AP 242	STEP AP 203/214	JT	Edrawing	3D-PDF
3D-malli (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
Kokoonpano	x	x	x	x	x	x
Tallennetut kuvannot	x			x	x	x
Leikkauskuvannot	x			x	x	x
Räjätyskuvat	x			x	x	x
Attribuutit/metadata	x	x		x	x	x
Osaluettelot	x				x	x
Liitetiedosto						x
Video (kokoonpano/toiminta)	x				x	

STEP AP 242, joka määritellään standardissa ISO 10303, yhdistää vanhemmat STEP AP 203 ja AP 214. STEP AP 242 on julkaistu 2014 ja sen mukana siirtyvät tuotemäärittelytiedot, toleranssit ja 3D-geometria. JT ja Edrawing pystyvät siirtämään myös paljon eri tietoa. JT on Siemens PLM:n kehittämä 3D-formaatti, joka voidaan avata ilmaisella

katseluohjelmalla. Edrawings taas on Dassault Systemes -yhtiön kehittämä formaatti 3D-malleille. Viimeisenä on hyvin tunnettu PDF-formaatti. 3D PDF:än yksi eduista on se, että siihen voidaan liittää liitetiedostoja, kuten 3D-malli (natiivi tai STEP), taulukoita (xls) tai ohjeita (PDF tai docx). (Rapinoja 2016, s. 11–12)

STEP ja IGES ovat neutraaleja formaatteja, jotka vaativat konversion alkuperäisestä CAD-formaatista. Molemmat formaatit mahdollistavat täsmällisen alkuperäisen geometrian kuvaamisen sekä ovat yleisesti hyvin yhteensopivia 3D-mallien kanssa. STEP ja IGES formaattien huonoina puolina voidaan pitää niiden hidasta mukana pysymistä CAD-ohjelmistojulkaisuiden kanssa, niiden huonoa tietoturvallisuutta ja formaattien suurta tiedostokokoa. (Quintana et al. 2012, s. 83)

Vielä kevyempiä ja vähemmän tilaa vieviä formaatteja ovat muun muassa 3DXML, U3D, PRC, JT ja X3D. Näillä formaateilla voidaan tulkita kiinteitä geometrioita, lukea 3D-annotaatioita ja lisätä omia merkintöjä. Tiedostomuodot vaativat kuitenkin konversion kuten neutraalit formaatit eivätkä ole välttämättä hyviä mallien visuaalisessa esityksessä. (Quintana et al. 2012, s. 83)

Quintana et al. (2012) valitsee artikkelissaan ehdotetuksi formaatiksi kevyen PRC:n. PRC on avoin ja käymässä läpi standardointiprosessia ISO:n ja Boeingin kanssa. Siinä voidaan esittää tarkka geometria ja 3D-annotaatiot. PRC:stä löytyy myös haluttu salaus- ja kompressoitimahdollisuus sekä se voidaan liittää 3D PDF:ään. (Quintana et al. 2012, s. 83)

4.2 Vaatimuksia

Siirtyminen malliperustaiseen tuotemäärittelyyn asettaa tiettyjä vaatimuksia tai ainakin oletuksia mallien sisällölle, datan visuaaliselle esitykselle ja sen saatavuudelle sekä tiedon säilyttämiselle (Quintana et al. 2010, s. 502). Keskitytään seuraavaksi mallien esitykseen, datan saatavuuteen ja tiedon säilyttämiseen.

Ylempien yritysten kanssa yhteistyötä tekevien tahojen on pystyttävä katselemaan alkuperäisistä formaateista muutettuja kevyempiä malleja. Quintana et al. (2010) ovat keränneet artikkeliinsa yritysten asettamia vaatimuksia katseluohjelmille. Niiden vaatimuksiin kuuluvat muun muassa tarkka geometria, mallin pyörittäminen ja zoomaaminen. Kappaleihin pitäisi myös pystyä luomaan kustomoituja leikkauksia, ja kokoonpanojen tapauksessa ne pitäisi olla räjäytettävissä. Lisäksi mittausten, kuten pintojen välisten kulmien ja pisteiden välisten etäisyyksien sekä kappaleiden pinta-alojen ja tilavuuksien laskeminen pitäisi olla mahdollista. Vaikka katseluohjelmistoilta vaaditaan paljoo, niiden ei kuitenkaan pidä pystyä muokkaamaan alkuperäistä kappaletta. Oikeudet alkuperäisen

MBD-tiedoston muokkaamiseen ovat sen suunnittelijoilla. (Quintana et al. 2010, s. 504–505)

Datan pitkäaikaista säilytystä mietittäessä on otettava huomioon alkuperäisen mallin ja sen tietojen säilyminen, tiedostojen avoimuus, säilytettävän tiedon ja ohjelmistojen yhteentoimivuus, tiedostojen salaus ja tiedostokoko (Quintana et al. 2010, s. 505–506). Kaikki nämä vaatimukset viittaavat yhteisen standardin tarpeellisuuteen.

5. MALLIPERUSTAISEN TUOTEMÄÄRITTELYN HAASTEET JA HYÖDYT

Kuten moni uusi innovaatio, myös malliperustainen tuotemäärittely asettaa omia haasteitaan, jotka on ratkaistava ennen kuin MBD:tä voidaan pitää uutena normina. MBD:n kaltaisen innovaation kanssa pitää kuitenkin pitää mielessä se, että jo muutama vuosi voi viedä kehitystä huomattavasti eteenpäin. Odottamattomia hyötyjä saattaa ilmetä sitä mukaa, kuin ongelmiakin. Tämä tarkoittaa sitä, että tutkittaessa artikkeleita, jotka ovat 5–10 vuotta vanhoja, on suhtauduttava kriittisesti niiden mahdollisesti vanhentuneeseen tietoon.

5.1 Ongelmat

Ongelmia voidaan jakaa useaan alakategoriaan ja tutkia monesta suunnasta, mutta tässä työssä keskitytään ongelmiin, joita ilmenee yrityksissä ja heidän välillään. Otetaan tutkintaan kuitenkin mukaan myös muutama harvinaisempi kohde alaluvussa muut ongelmat.

5.1.1 Tekniset ja elinkaarelliset ongelmat

Yksi teknisistä ongelmista on MBD-tiedostopakettien luominen. Quintana et al. (2010) tutkimassa kahdessa ilmailualan yrityksessä luodaan edelleen tekniset piirustukset, vaikka MBD:tä yritetään hyödyntää mahdollisimman paljon. Yritysten useimmiten luoduista tuotteista tehtiin 3D-annotointi teknisten piirustusten pohjalta, mikä johti 96% käytökelpoisuusasteeseen. Pieni virheen määrä johtui lähinnä annotointityökalun rajoitteista. MBD:n mittojen ja geometrioiden merkinnässä ei myöskään säästynyt aikaa perinteiseen piirustukseen verrattuna. Tämä johtui siitä, että työkalut, joilla molemmat luodaan, ovat hyvin samanlaiset. (Quintana et al. 2010, s. 500–501)

Elinkaaren vaiheissa on perinteisesti kulkenut piirustukset niiden standardoinnin, ymmärrettävyyden ja helppouden vuoksi. Jotta MBD-datapaketti pystyy samaan, sen on vastattava moneen haasteeseen. Paketin mukana kulkevan datan on oltava saatavissa ja luettavissa niille, jotka sitä elinkaaren sen hetkisessä vaiheessa tarvitsevat. Tiedostojen on pystyttävä säilyttämään kaikki vaadittava tieto ja ne on oltava salattavissa ja säilytettävissä pitkiäkin aikoja. (Quintana et al. 2010, s. 501–502) Nämä seikat ovat teknisille piirustuksille samat, kuin mille tahansa paperiselle dokumentille.

5.1.2 Muut ongelmat

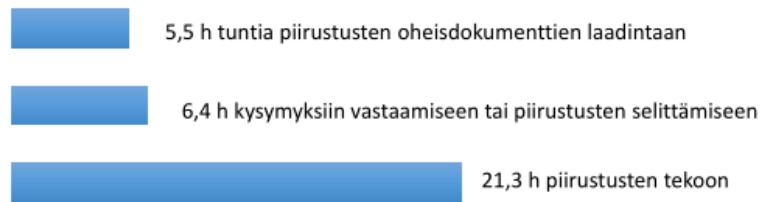
Erään muista haasteista esittelevät Wang et al. (2012) artikkelissaan, jossa keskitytään hieman tarkemmin MBD:n opettamiseen ja sen tuomiin haasteisiin. 2D-työkuvien standardit ovat juurtuneet ja piirustusten opetus on pitkälle kehittyntä. Malliperustainen tuotemäärittely on puolestaan päinvastaista ja vaatiikin lisää tutkimusta oikeiden opetustapojen löytymiseksi. (Wang et al. 2012, s. 264–267) Opetus ei kuitenkaan kohdistu ainoastaan tuleviin insinööreihin, vaan myös yritysten asiakkaille, työntekijöille ja alihankkijoille, jotka eivät automaattisesti voi osata tulkita perinteisistä piirustuksista huomattavasti eroavaa MBD-datapakettia.

Toinen ongelma on lainsäädännöllinen. Esimerkiksi Yhdysvaltain ilmailuhallinnon (FAA) vastuulla on antaa hyväksyntä ilmailualan yritysten sertifioituille tuotteille. Organisaatioille, kuten FAA:lle on voitava lähettää tekniset tuotetiedot. Tavallisesti tämä tapahtuu perinteisten piirustusten avulla. MBD-tiedostopakettien tapauksessa olisi äärimmäisen tärkeää, että pienintäkään virhettä ei pääsisi dataan, eikä datassa tapahtuisi mitään muutoksia, vaan se olisi luettavissa ja säilytettävissä niin kauan, kun kyseinen tuote olisi käytössä. (Quintana et al. 2010, s. 502)

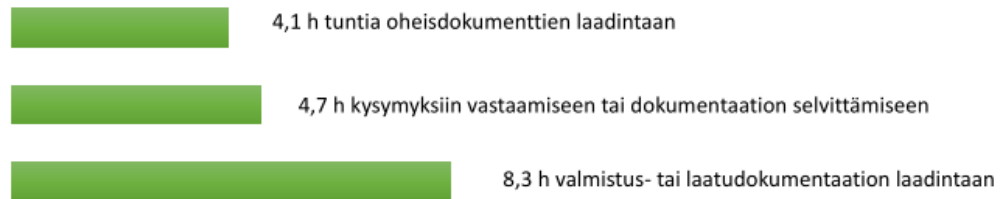
5.2 Hyödyt

Malliperustaisen tuotemäärittelyn yksi keskeisimmistä hyödyistä perustuu innovaation yhteen tärkeimmistä perusideoista: turhien tai ylimääräiseksi katsottujen tiedostojen poistamiseen. Ylimääräisten tiedostojen eliminointi ei ainoastaan vähennä työtä, mutta myös estää konfliktitapaukset, joissa eri tiedostot antavat ristiriitaista tietoa. Jos tiedostot pidetään sähköisessä muodossa, käyttäjiltä vaadittava tulkinta sekä tietojen uudelleen luonnin tarve elinkaaren vaiheissa vähenee. Boeingin kehittäessä T-45:n korkeusvakainta, he käyttivät täysin virtuaalista ympäristöä suunnittelun ja tuotannon varmistamiseen. Boeing ei myöskään tuottanut projektin aikana 2D-piirustuksia ja sai näillä toimenpiteillä vähennettyä suunnitteluun kulunutta aikaa 62% ja kustannuksia 42%. (Quintana et al. 2010, s. 501) Kuvassa 6 on kyselytutkimuksen perusteella laadittu suunnittelijan ja CAM-ohjelmoijan ajankäytön kohteet viikossa.

Suunnittelijan keskimääräinen ajankäyttö viikossa



CAM-ohjelmoijan keskimääräinen ajankäyttö viikossa



Kuva 6. Ajankäyttö perinteisten työkuvioiden kanssa (Rapinoja 2016, s. 9, Jackson 2014 mukaan).

Suunnittelijan ajasta suurempi osa kuluu piirustusten selittämiseen, kuin niiden luomiseen. CAM-ohjelmoijalla on sama tilanne. Molempien työntekijöiden tehokkuutta voitaisiin parantaa, jos dokumentteja saataisiin luotua selkeämmiksi tai ne voitaisiin jättää kokonaan luomatta. Tällainen hypoteettinen tilanne voi kuitenkin monessa yrityksessä olla lähes mahdoton.

Moni muu pienempi hyöty kiteytyy yhteen suurempaan kokonaisuuteen: 3D-mallien helpokäyttöisyyteen ja helppoon ymmärrettävyyteen. 3D-mallin geometrian ymmärtäminen ei vaadi lähes mitään ammattitaitoa, vaan kappaleen liikuttaminen ja pyörittäminen riittävät käyttäjälle geometrian hahmottamiseksi. Tällainen ymmärrettävyys auttaa suunnittelijoita keskustelemaan käyttäjien ja elinkaaren vaiheiden seuraavien toimijoiden kanssa. Keskustelua helpottaa myös MBD-datapaketin interaktiivisuus. Annotaatioiden lisäksi 3D-mallista voidaan mitata tietoja, kuten pisteiden etäisyyksiä, pinta-aloja ja tilavuuksia. Malleihin voidaan tehdä myös kustomoituja leikkauksia asiakkaan toiveiden mukaisesti. (Quintana et al. 2010, s. 501) Tekniset piirustukset antavat vain osan tällaisista tiedoista. Puuttuvat tiedot tulee hakea erikseen, mikä vie aikaa ja saattaa vaatia toisen asiakastapaamisen sopimisen.

6. POHDINTA

Tässä luvussa ja seuraavissa alaluvuissa pohditaan aikaisempien lukujen tiedon pohjalta malliperustaisen tuotemäärittelyn toimivuutta, tarpeellisuutta ja käytännöllisyyttä. Alaluvut ovat jaettu kuvan 1 esittämiin tuotetasoihin. Alaluvuissa pohditaan jokaisen tason nykytilannetta, hyötyjä ja haittoja sekä tason tilannetta tulevaisuudessa. Pohdintoissa väittämät perustuvat aikaisemmin esitettyihin faktoihin, joiden perusteella tehdään johtopäätöksiä.

Malliperustainen tuotemäärittely on innovaationa vielä varhaisessa kehitysvaiheessa, jolle ei ole olemassa standardoituja toimintatapoja, ja joka voi vielä muuttua. Kehityksen suuntaa määrittävät hyvin pitkälle suuret yritykset ja heidän vaatimuksensa, mutta myös CAD-palvelujen ohjelmistokehittäjät. Ohjelmistokehittäjiä on kuitenkin useita ja heistä jokainen kilpailee olemalla jollain osa-alueella parempi tai erilainen. Tällainen suljettu ja kilpailullinen ympäristö voi osaltaan hidastaa yhteisen toimintatavan löytymistä. Yhteisen hyvän ja pidemmän tähtäimen kannalta MBD:lle, yritysten kannattaisi tehdä yhteistyötä ja ajaa innovaatiota samaan suuntaan.

6.1 Pelkkä tekninen piirustus

Pelkän teknisen piirustuksen käyttäminen elinkaaren hallinnan eri vaiheissa alkaa olla vanhanaikaista. Yksinkertaisilla projekteilla tai tuotteilla perinteiset piirustukset ovat varmasti helpoin ja varmin ratkaisu. Silloin uusia tekniikoita ei tarvitse omaksua sekä dokumentoinnin luominen, lukeminen ja liikuttaminen on tuttua. Pienemmiltä yrityksiltä ja työpajoilta on myös täysin hyväksyttävää turvautua vanhoihin käytäntöihin uusien ollessa vielä kehitysvaiheessa ja kalliita.

Turvautuminen ainoastaan piirustuksiin voi kuitenkin olla hidaste. Alihankkijana tai asiakkaana toimiminen toiselle yritykselle voi olla välttämätöntä, jolloin yhteisiä etuja ajavat parhaiten yhteiset toimintatavat. Suurempi yritys valitsee kuitenkin mieluummin kumppanikseen osapuolen, jonka kanssa yhteistyö on sujuvampaa. Tulevaisuudessa pelkkiin piirustuksiin turvautuminen tulee varmasti olemaan mahdotonta jokaiselta taholta, joka haluaa olla relevantti kilpailija alan markkinoilla.

6.2 Teknisen piirustuksen lisäksi 3D-malli

Kun piirustuksen lisäksi dokumentoinnissa kulkee edes jonkin näköinen 3D-malli, aletaan puhua realistisemmasta tilanteesta monien yritysten, myös pienempien, kohdalla.

Tällaisissa skenaarioissa 3D-malli luodaan, jotta sen pohjalta voidaan tehdä tekninen piirustus. Piirustusta on helppoa muokata jälkikäteen ja tehdä siitä eri versioita käyttötarkoitusten perusteella. 3D-mallin luontaisen helppolukuisuuden ja ymmärrettävyyden vuoksi, sitä voidaan käyttää myös esitystarkoituksiin.

Toimintatapa on hyvin käytännöllinen ja kustannustehokas. Nykyiset tehokkaat tietokoneet pyörittävät vaivatta pitkälle kehittyneitä CAD-ohjelmistoja, joilla voidaan helposti luoda kevyitä piirustuksia esimerkiksi pdf-formaateiksi. Yritykselle riittää tällöin muutama tehokkaampi tietokone mallinnukseen ja pienempi määrä kalliita CAD-ohjelmistolisenssejä. Vaikka suunnittelu tapahtuisi 3D-maailmassa ja modernimmilla välineillä, elinkaaren vaiheissa pidemmälle voidaan kuljettaa piirustuksia.

Jos yritys kuitenkin haluaa olla mahdollisimman kilpailukykyinen vielä muutamankin vuoden kuluttua, kannattaa sen alkaa tutustua malliperustaisen tuotemäärittelyn tuomiin ominaisuuksiin. Pitkään toimineet pienemmät työpajat eivät välttämättä edes tiedä MBD:n tarjonnasta. Alkuun riittää pelkkä tutustuminen ja analysointi siitä, mitä ominaisuuksia voitaisiin hyödyntää omassa yrityksessä.

6.3 Piirustus ja 3D-malli rinnakkain

Tilanteessa, jossa yritys käyttää 3D-mallia yhtä paljon tai enemmän kuin piirustusta, voidaan puhua vallitsevasta tilanteesta monessa keskisuudessa tai suuremmissa suunnittelu-/insinööfirmissä. Piirustus ja malli kulkevat rinnakkain ja niistä käytetään sitä, joka paremmin sopii sen hetkiseen elinkaaren työvaiheeseen.

Yritys ei ole enää kaukana täysin mallipohjaisesta yrityksestä eli tilanteesta, jossa käytetään ainoastaan 3D-mallia jokaisessa työvaiheessa. Koska malliperustainen tuotemäärittely ei ole vielä innovaationa tarpeeksi kehittynyt ratkaisemaan kaikkia dokumentoinnin ongelmia, yrityksen on yksinkertaisesti helpompi turvautua piirustuksiin vaiheissa, joissa 3D-mallia ei ole saatu integroitua vallitsevaan toimintatapaan. 3D-mallin tuomia mahdollisuuksia osataan hyödyntää pitkälle, mutta piirustuksia käytetään paremman puutteessa. Vika ei varsinaisesti ole yrityksessä, vaan teknologian puutteellisuudessa. Yrityksen voi ollakin viisainta edetä hieman edelläkävijöiden perässä ja tarkastella, mikä heille tuntuu toimivan. Siten minimoiden omat riskit.

6.4 Pelkkä 3D-malli

Ilmailu- ja autoalan yritykset ovat malliperustaisen tuotemäärittelyn edelläkävijöitä. Suomesta ei kuitenkaan todennäköisesti löydy yhtäkään yritystä, joka ei joutuisi jossakin tilanteessa käyttämään perinteisiä piirustuksia toiminnassaan.

Tämän innovaation käyttäjäkunnan on oltava pieni, siis todennäköisesti varhaiset omak-sijat. Toimintatavat täysin malliperustaisessa tuotemäärittelyssä eivät ole asettuneet paikoilleen, mikä tarkoittaa riskin ottoa yritykseltä, joka päättäisi investoida yhteen mo-nista toimintatavoista. Vaikka moni yritys olisi kykenevä omaksumaan uuden toimintata-van, heidän on ensin nähtävä jokin taloudellinen motiivi lähteä kehitykseen mukaan. Tek-nologian on pystyttävä näyttämään, mitä sillä on tarjottavanaan parantaakseen yrityksen asemaa.

Teknologialle on annettava aikaa, ennen kuin voidaan nähdä, kuinka pitkälle se päättyy. Tällä hetkellä näyttää siltä, että dokumentoinnin formaatit, tiedonsiirto ja elinkaaren hal-linnan vaiheet hakevat vielä omaa paikkaansa malliperustaisessa tuotemäärittelyssä. Kymmenen vuoden kuluttua moni tällä hetkellä pinnalla olevista määrittelykeinoista on unohdettu ja jäljelle on todennäköisesti jääneet vain pari vakiintunutta ja eteenpäin kehi-tettyä toimintatapaa.

7. YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli luoda katsaus malliperustaiseen tuotemäärittelyyn ja sen toimivuuteen. Työssä tutkittiin aluksi malliperustaisen tuotemäärittelyn kehitystä, elinkaaren hallinnan asettamia vaatimuksia tuotemäärittelylle ja malliperustaisen tuotemäärittelyn tarjoamia tiedonsiirrollisia mahdollisuuksia. Lopuksi käsiteltiin teknologian ongelmia ja hyötyjä, ja aivan viimeiseksi analysoitiin läpikäydyn tiedon pohjalta malliperustaisen tuotemäärittelyn toimivuutta ja nykytilannetta eri kehityksen tasoilla.

Aikaisemman tiedon ja pohdinnan perusteella voidaan todeta, että malliperustainen tuotemäärittely on nopeasta kehityksestään ja muuttumisherkyydestään huolimatta erittäin varteenotettava innovaatio. Vaikka sen kaikki käytänteet eivät ole standardisoituneita, sillä on potentiaalia korvata vanhoja tuotemäärittelykeinoja. Etenkin pitkällä aikavälillä malliperustainen tuotemäärittely voi tuoda yritykselle kustannustehokkaampia toimintatapoja useaan eri elinkaaren hallinnan vaiheeseen. Koko tuotteen kaiken dokumentoinnin kulkeminen yhdessä paketissa voi alkukankeutensa jälkeen virtaviivaistaa yrityksen toimintaa, helpottaa prosesseja ja säästää aikaa ja rahaa.

Yrityksen on kuitenkin tehtävä investointipäätöksensä itse ottaen huomioon omat vaatimuksensa. Ryhtyminen täysin malliperustaiseksi yritykseksi on taloudellinen riski, sillä malliperustainen tuotemäärittely on teknologiana vielä muuttuvassa asemassa. Tässä työssä on käytetty mahdollisimman uusia lähdemateriaaleja vanhan tiedon välttämiseksi. Jo muutamankin vuoden takainen tieto voi olla vanhentunutta ja siksi lähdemateriaalien tietoon on suhtauduttava varautuen.

Malliperustaista tuotemäärittelyä vievät suurimmassa määrin eteenpäin ilmailu- ja autoalan yritykset, joissa toiminta on ollut käytössä pisimpään. Pienempien yritysten voi olla viisainta seurata kehitystä vielä sivusta nähdäkseen, mitkä toimintatavat standardisoituvat jäädäkseen. Malliperustaisessa tuotemäärittelyssä ei ole kyse siitä, tuleeko se vakiintumaan, vaan siitä, mitkä sen tuomat tavat ja standardit tulevat vakiintumaan.

LÄHTEET

Adamski, W. (2010). Adjustment and implementation of CAD/CAM systems being used in polish aviation industry. *Journal of Machine Engineering*, 10, No. 3, pp. 37–47.

Alemanni, M., Destefanis, F. & Vezzetti, E. (2011). Model-based definition design in the product lifecycle management scenario. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52(1), pp. 1–14.

ASME INTERNATIONAL, 2012. *Digital Product Definition Data Practices*.

Fischer, B.R. (2011). *The changing face of CAD annotation*. Cleveland: Informa. pp. 46–49.

Husted, E. (2018). *Model-Based Definition Puts GD&T Data to Work*. Troy: BNP Media. pp. 25–29.

Lennard, S. (2016). A Practical Case for Model-Based Definition. *Mold Making Technology*, 19(8), pp. 20–23.

Quintana, V., Rivest, L., Pellerin, R. & Kheddouci, F. (2012). Re-engineering the Engineering Change Management process for a drawing-less environment. *Computers in Industry*, 63(1), pp. 79–90.

Quintana, V., Rivest, L., Pellerin, R., Venne, F. & Kheddouci, F. (2010). Will Model-based Definition replace engineering drawings throughout the product lifecycle? A global perspective from aerospace industry. *Computers in Industry*, 61(5), pp. 497–508.

Rapinoja, J-P., Laaksonen, T., Nieminen, J., Pulkkinen, A., Salmi, H., Simons, J., Uski, P., Vainionpää, M. (2016). Malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet. METSTA ry. pp. 1–20.

Ruemler, S.P., Zimmerman, K.E., Hartman, N.W., Hedberg, T. & Barnard Feeny, A. (2017). Promoting Model-Based Definition to Establish a Complete Product Definition. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 139(5), pp. 1–7.

Wang, Y.Q., Mei, Z.Y. & Fan, Y.Q. (2012). Challenge of Model Based Definition Technology to Engineering Graphics Education. *Applied Mechanics and Materials*, 163, pp. 264–268.