

Antti Rantanen

TEKNISTEN TUOTEMÄÄRITTELY- TIETOJEN LIITTÄMINEN 3D-MALLIIN

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Asko Ellman
Toukokuu 2023

TIIVISTELMÄ

Antti Rantanen: Teknisten tuotemäärittelytietojen liittäminen 3D-malliin
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2023

Konepiirustukset ovat yksi koneensuunnittelun tärkeimmistä asioista. Piirustukset ovat olleet hyvin pitkään 2D-piirustuksina ja niitä käytetään edelleen. Niiden rinnalle ovat 1970-luvulla tulleet 3D-mallit. Nykypäivänä 3D-malleja käytetään 2D-piirustusten apuna, esimerkiksi visuaalisen havainnoinnin parantamiseksi. Maailman digitalisoituessa on kehittynyt ajatus, voisiko 3D-mallit korvata täysin 2D-piirustukset, jolloin kaikki tieto tuotteen valmistusta varten olisi yhdessä tiedostossa. Tähän ratkaisuna on esitetty MBD (Model Based definition). Tässä työssä keskitytään selvittämään, mikä MBD on, miten sitä käytetään ja mitä ongelmia mallin käyttöönotosta saattaa johtua.

Työ jakautuu kolmeen eri osaan. Ensimmäinen osa käsittelee MBD:tä käsitteenä, sekä tutkii millaisia käyttötarkoituksia sillä voisi olla. MBD:n käyttökohteita tutkitaan suunnittelun, koneistuksen, kokoonpanon, hitsauksen, lämpökäsittelyn ja pinnoituksen näkökulmasta. Jokaisessa vaiheessa MBD olisi hyödyllinen, mutta erilaiset ongelmat vaikeuttavat tämän käyttöönottoa. Yleinen ongelmakohta on tuotannon vaiheilla käytettävien koneiden ja laitteiden yhteensopivuusongelmat MBD-mallin kanssa.

Työn toisessa vaiheessa keskitytään kolmeen erilaiseen tiedostotyyppiin, jotka soveltuvat 3D-mallien tiedonsiirtoon. Tässä osiossa jokaisesta tiedostotyyppistä tutkitaan niiden ominaisuudet, sekä mahdolliset ongelmakohdat. Kaikki tässä työssä käsiteltävät tiedostotyypit tukevat ainakin osittain MBD tietojen siirtoa, eli vähintään tietojen siirtämistä PMI (Product data management) muodossa, joka pitää sisällään kaikki mitat ja toleranssit. Näiden tietojen avulla kappaleen valmistus on mahdollista toteuttaa.

Työn kolmannessa osassa tutkitaan yleisesti MBD:n tuomia ongelmakohtia tuotannon ongelmien lisäksi. Näitä tuottavat esimerkiksi taloudelliset ongelmat, johtuen suurista investoinneista sekä henkilöstön kouluttamattomuudesta 3D-mallien käyttöä varten. Kaikkiin ongelmiin tuodaan esille mahdolliset ratkaisujen lähtökohdat, joiden avulla MBD voisi olla tulevaisuudessa 2D-piirustusten korvaaja.

Työssä käsiteltävien asioiden sekä työssä käytettyjen tutkimusten avulla huomataan, että MBD voisi olla tulevaisuudessa erittäin hyödyllinen työkalu yritysten käytössä. MBD:n avulla voitaisiin automatisoida tuotantoa, jolloin säästyisi aikaa ja kustannukset olisivat pienemmät. Tämä ei kuitenkaan ole vielä mahdollista, koska nykyaikaiset laitteet ja ohjelmat eivät tue MBD:n käyttöä riittävästi. Tämän takia nykyään joudutaan edelleen luottamaan manuaaliseen piirustusten siirtoon useimmissa yrityksissä.

Avainsanat: MBD, PMI, Koneensuunnittelu.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. MALLIPERUSTAINEN TUOTEMÄÄRITTELY	3
2.1 MBD:n määritelmä	3
2.2 3D-malli sekä MBD suunnittelussa	4
2.3 3D-malli sekä MBD tuotannossa	6
2.3.1 Koneistuksessa	6
2.3.2 Kokoonpanossa	7
2.3.3 Mittauksessa	8
2.3.4 Hitsauksessa	9
2.3.5 Lämpökäsittelyssä ja pinnoituksessa	10
2.4 MBD:n käyttö yrityksissä	11
2.4.1 Kansainvälisissä yrityksissä	11
2.4.2 Suomalaisissa yrityksissä	14
3. TIEDOSTOTYYPIT	16
3.1 STEP AP242	16
3.2 JT	17
3.3 eDrawings	18
4. ONGELMAT JA MAHDOLLISET RATKAISUT	19
5. YHTEENVETO	21
LÄHTEET	23

LYHENTEET JA MERKINNÄT

BOM	Bill Of Materials
CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
GD&T	Geometrical Dimensions and Tolerances
MBD	Model Based Definition
NDT	Non-Destructive Testing
PMI	Product Data Management

1. JOHDANTO

Koneensuunnittelu perustuu pääsääntöisesti konepiirustusten lukemiseen ja niiden avulla työvaiheiden tekemiseen. Konepiirustuksien tärkeimpänä tehtävänä on välittää kappaleen tietoja mahdollisimman selvästi työvaiheelta toiselle. Piirustukset sisältävät esimerkiksi kappaleen mitat, toleranssit, pinnankarheet, lämpökäsittelytiedot, materiaalit, valmistusohjeet sekä mahdolliset kokoonpano-ohjeet. Näitä säätelevät standardit ASME Y14.1-2005 ja ISO 109209-1:1992. (Quintana et al., 2010)

Kappaleiden tiedot on tähän asti välitetty pääsääntöisesti 2D-piirustuksina. Aikaisemmin ne ovat olleet paperisia, mutta myöhemmin myös digitaalisia versioita. Näiden 2D-piirustusten rinnalle ovat tulleet 1970-luvulla 3D-mallit, joiden avulla kappaleita on pystytty kuvaamaan visuaalisesti helpommin. 3D-malleja on kuitenkin käytetty pääsääntöisesti vain 2D-mallin tukemiseen, eikä vaihdettu täysin 3D-mallin käyttämiseen. 3D-mallien käyttäminen 2D-mallien apuna onnistuukin erittäin helposti nykyisillä mallinnusohjelmilla, koska suurimmalla osalla ohjelmista 3D-mallista voidaan suoraan tehdä 2D-malli. (Bijnens & Cheshire, 2019)

2D-piirustusten käytössä on kuitenkin muutamia ongelmia. Esimerkiksi yhden mallin mukana voi tulla useita eri tiedostoja, joiden lukeminen ja mallin visuaalinen tulkitseminen voivat olla hankalaa. Esimerkiksi itse konepiirustus ja 3D-malli ovat erilliset tiedostot perinteisellä tavalla tehtäessä. Tähän ratkaisuna on kehittynyt ajatus malliperustaisesta tuotemäärittelystä eli Model-Based definition (MBD). MBD:n avulla olisi mahdollista tuottaa vain yksi tiedosto, joka sisältää 3D-mallin sekä suoraan malliin sijoitetut tarvittavat tiedot kappaleesta, kuten mitat ja toleranssit. (Quintana et al., 2010) Tämä vähentäisi tarvetta etsiä tietoa useasta paikasta sekä parantaisi visuaalista havainnointia.

Tässä tutkielmassa tutkimuskysymyksenä on, mitä MBD-malli sisältää ja kuinka sitä voisi hyödyntää teollisuudessa, sekä minkälaisia hyötyjä ja haittoja MBD:n käytöstä nykypäivänä saataisiin. Työssä selvitetään, voisiko MBD olla jokaisessa työvaiheessa mukana suunnittelusta tuotannon loppuvaiheille asti ja kuinka tämän pystyisi toteuttamaan. Tämä aiheuttaa joitakin ongelmia esimerkiksi koneistusvaiheissa sekä kokoonpanossa. Nämä ongelmat ovatkin yksi syy, miksi osa yrityksistä edelleen

vastustaa MBD:n käyttöönottoa varsinaisena tapana siirtää tiedostoja. Näitä ongelmia käsitellään tutkielmassa ja tutkitaan olemassa olevia ratkaisuja niiden välttämiseksi.

Tutkielmassa ensimmäisenä kerrotaan mikä MBD on ja mihin tarkoitukseen sitä käytetään. Käyttötarkoituksia, joita tässä tutkielmassa käydään läpi, ovat seuraavat: suunnittelu, koneistus, kokoonpano, mittaus, hitsaus sekä lämpökäsittely ja pinnoitus. Näitä käyttötarkoituksia avataan tarkemmin ja tutkitaan millaisia hyötyjä tai haittoja erilaisissa työvaiheissa MBD:n käyttämisestä voi koitua. Lisäksi tutustutaan yleisimpiin tiedostomuotoihin MBD tietojen siirtämisessä, kuten STEP AP242, JT ja eDrawings. Tiedostomuodoista käsitellään niiden ominaisuudet sekä mahdolliset ongelmat tiedonsiirrossa. Viimeisenä työssä käsitellään kaikkia MBD:n tuomia ongelmakohtia ja niihin mahdollisia ratkaisuja.

2. MALLIPERUSTAINEN TUOTEMÄÄRITTELY

CAD (Computer-aided design) on nykyään yksi tärkeimmistä tekijöistä valmistuksessa. CAD-ohjelmien tehtävänä on määrittää kappaleen geometriaa. Näiden lisäksi CAM (computer-aided manufacturing) on suuressa roolissa tuotteiden valmistuksessa. (Ahmed & Han, 2015) Tuotannossa CAD-ohjelmia käyttävät usein tuotteiden suunnittelijat ja CAM-ohjelmia koneistajat. Näiden ohjelmien välillä on tuotannossa tapahduttava tiedonsiirtoa, jotta suunniteltu tuote saataisiin toteutettua. Tämä tiedonsiirto toteutettuna manuaalisesti mahdollistaa erinäisten virheiden syntyminen, koska 2D-mallit ovat herkkiä virhetulkinnoille (Laaksonen et al., 2016, s. 7–8).

Näiden lisäksi tärkeä työkalu kappaleiden tuotannossa on CMM (coordinate measuring machines), jolla suoritetaan esimerkiksi kappaleen tarkastusmittauksia. Tässäkin vaiheessa tarvitaan alkuperäisen mallin mittoja työvaihetta varten, jolloin syntyy alkuperäisestä suunnitelmasta CAM-malliin tehtävää tiedonsiirtoa. Manuaalisesti toteutettu tiedon siirtäminen voi aiheuttaa tahattomia virheitä. (Bijnens & Cheshire, 2019)

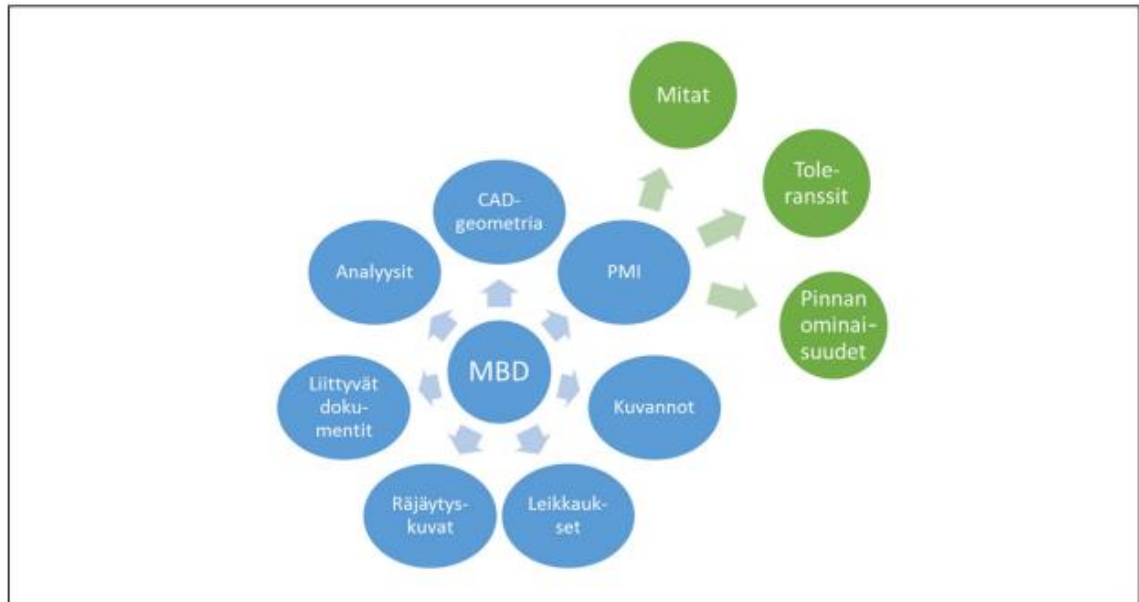
Tiedostojen siirtymisestä johtuvia virheitä voi siis syntyä useissa eri työvaiheissa. Näitä mahdollisia virheitä vähentämällä yrityksille ei tarvitsisi maksaa virheellisten tuotteiden tuotannosta eikä virheiden korjaukseen kuluisi aikaa, jotka yhdessä vähentävät mahdollisia kuluja. MBD:n avulla nämäkin ongelmat voitaisiin ratkaista.

2.1 MBD:n määritelmä

MBD eli malliperustainen tuotemäärittely sisältää kaiken tiedon 3D-mallin sisällä, kuten geometrian sekä tuotemäärittelytiedot (PMI) suunnitellusta kappaleesta (Laaksonen et al., 2016, s. 6). MBD:n sisältävät tiedot näkyvät kuvassa 1, jossa on avattuna myös, mitä PMI sisältää. Nämä PMI:n tiedot on mahdollista saada malliin nykyaikaisilla 3D-mallinnusohjelmilla, joiden avulla pystytään korvaamaan perinteisen 2D-piirustuksen käyttöä kappaleen mittojen ja toleranssien kuvaamisessa.

MBD:n liittäminen 3D-malliin voidaan suorittaa nykyisillä 3D-mallinnusohjelmilla, joiden avulla 3D-malliin voidaan sijoittaa suoraan GD&T:n (Geometrical Dimensions and Tolerances) tiedot. Tarkoituksena on nopeuttaa suunnittelua, valmistusta sekä tarkastusta, kuten mittausta. (Quintana et al., 2010) Näiden tavoitteiden saavuttamisella yritykset säästävät kappaleen kokonaisuudessa aikaa, jonka avulla syntyy taloudellista säästöä.

MBD:n avulla kappaleen tietoja pääsisi näkemään kuka tahansa, kenellä on siihen tarve, mutta tietojen muuttaminen onnistuisi vain heiltä, kenelle on annettu oikeudet siihen (Križaj & Vukašinović, 2019). Tämän avulla vältetään se, ettei kuka tahansa vahingossa voi muuttaa kappaleen tietoja ja aiheuttaa sen avulla vahinkoa kappaleen tuotannossa. Tämä aiheuttaa myös ongelmia esimerkiksi koneistusvaiheessa, johon palataan tarkemmin tutkielman myöhemmässä vaiheessa.



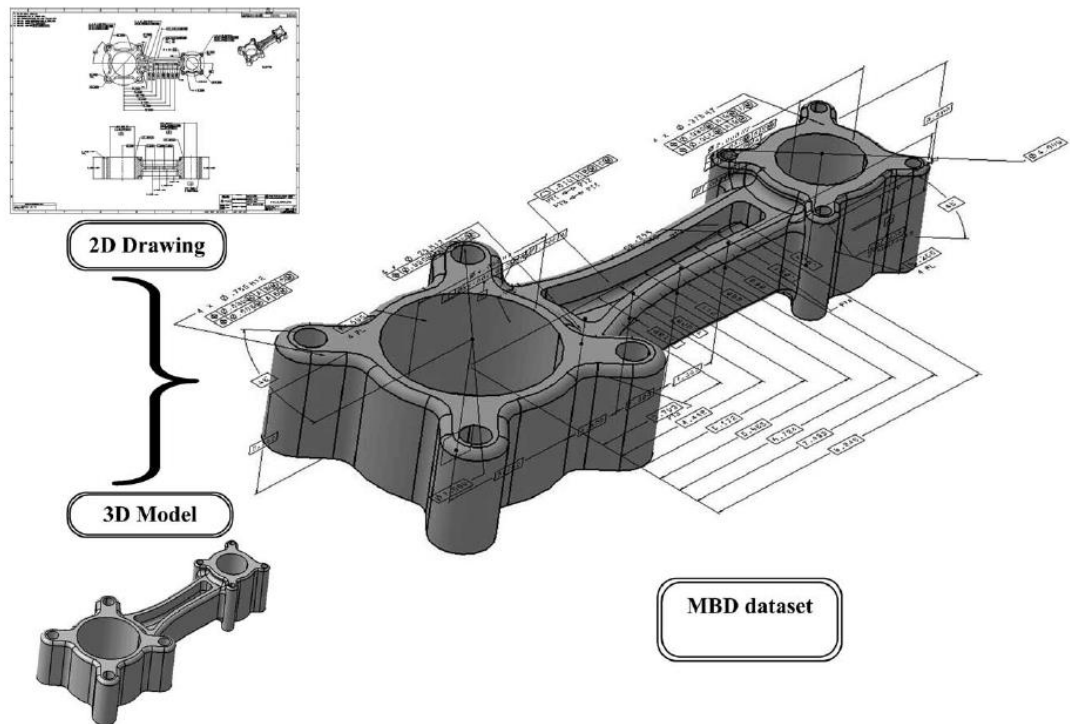
Kuva 1. MBD:n sisältävät tiedot (Laaksonen et al., 2016, s. 6).

2.2 3D-malli sekä MBD suunnittelussa

Suunnittelussa käytetään hyvin paljon erilaisia CAD-ohjelmia. Nykyaikaisilla CAD ohjelmilla pystytään tekemään suoraan 3D-mallista 2D-piirustukset tai MBD-malli. Molempiin tapoihin kuluva aika suunnittelijalta on nykyään lähes yhtä pitkä, joten suoraa ajansäästöä MBD:n käyttämisestä suunnittelun ensimmäisissä vaiheissa ei tule. Tämän lisäksi nykyaikaisilla CAD ohjelmilla tehdessä suoraan 3D-mallista 2D-malli, muuttuvat kappaleen geometria automaattisesti 3D-mallia muokatessa. (Bijnens & Cheshire, 2019) Näillä perusteluilla voisi ajatella, ettei MBD:n käyttämisestä olisi suoraa hyötyä suunnittelutyön alkuvaiheilla.

Kappaletta suunnitellessa MBD:n käyttämisen hyöty on kappaleen geometrisessa hahmottamisessa, joka on havainnollistettu kuvassa 2, ja siinä, ettei lopulta erilaisia tiedostoja ole useita. MBD:tä käyttäessä yksi ja ainoa tiedosto kulkeutuu eri työvaiheille, jolloin suunnittelijan on helpompi seurata sitä ja muokkauksia tehdessä, tiedetään tietojen muuttuvan myös muilla työvaiheilla. Tämä estää mahdollisuuden sille, että jollakin työvaiheella tulostettua 2D-piirustusta edelleen käytettäisiin, vaikka suunnittelija

olisikin muokannut mallia esimerkiksi suunnitteluvirheen takia. (Bijnens & Cheshire, 2019)



Kuva 2. 2D-piirustuksen ja MBD-mallin eroavaisuus (Quintana et al., 2010)

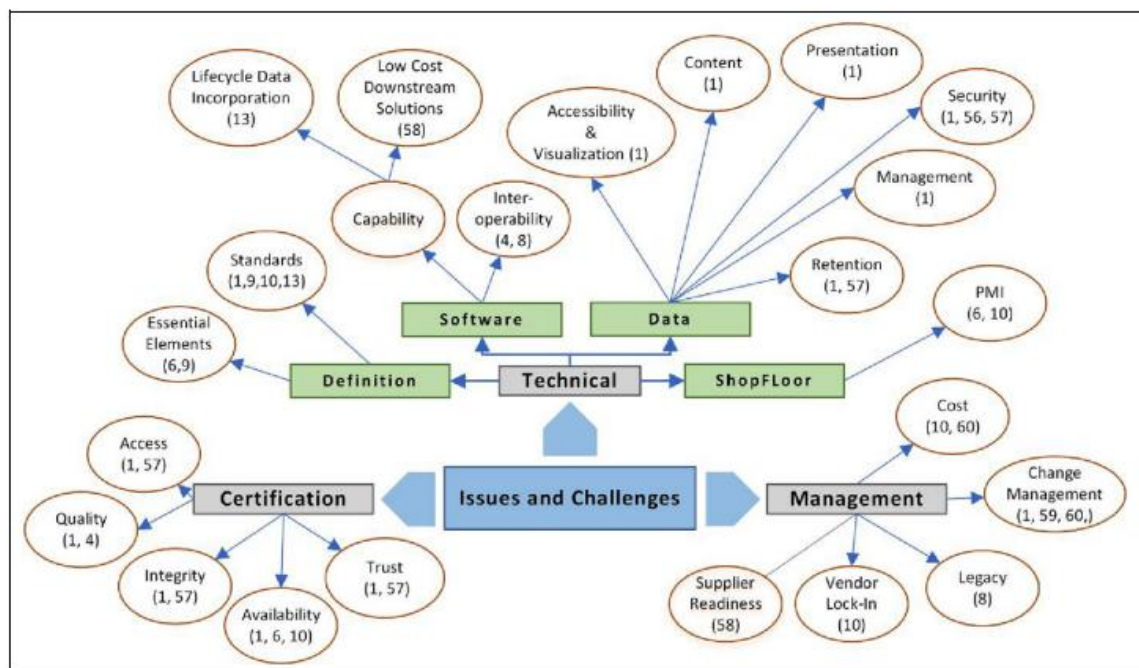
MBD:n käyttäminen suunnittelun pääsääntöisenä työkaluna tietojen siirtämiseen tuottaa erinäisiä ongelmia. Yksi ongelmista on se, että kaikki tiedostomuodot eivät ole välttämättä mahdollisia avata seuraavilla työvaiheilla olevilla ohjelmistoilla. Eli suunnittelijan on tiedettävä millaiseen tiedostomuotoon hän MBD-mallin tallentaa, jotta se olisi hyödyllinen seuraavilla vaiheillakin. Tämän lisäksi tiedostojen siirtämisessä voi tapahtua tietojen häviämistä, jotka suunnittelijan olisi hyvä osata ennustaa tiedostotyyppiä valitessaan. (Ruemler et al., 2017)

Tämän lisäksi ongelmia voi aiheuttaa suunnittelijan tietämättömyys siitä, mitä MBD-tiedostossa on oltava tulevia työvaiheita ajatellen. Eri työvaiheilla tarvitaan erilaisia tietoja, ja ylimääräinen tieto voi helposti sekoittaa seuraavan työvaiheen työskentelyä. (Ruemler et al., 2017) 2D-malleja käyttäessä suunnittelijalla ei ole niin suuri vastuu työvaiheiden suunnittelusta, mutta MBD:tä käyttäessä työvaiheet ovat yhdessä mallissa, jolloin suunnittelijan vastuu on suurempi. Tämä johtaa siihen, että hänellä tarvitsee olla nykyistä parempi tieto työvaiheiden vaatimuksista, jotta niiden merkinnät menevät oikein. (Goher et al., 2021) Esimerkiksi koneistuksessa ja kokoonpanossa tarvittavat mitat voivat olla täysin erilaiset, jolloin niiden sekaisin laittaminen vaikeuttaisi molempia työvaiheita (Ruemler et al., 2017)

Siirtyminen 2D-piirustusten käytöstä MBD:n käyttämiseen tuottaa muitakin haasteita. Näitä haasteita syntyy esimerkiksi siitä, että vanhat mallit, joita käytetään edelleen tuotannossa, ovat edelleen 2D-mallina. Vanhat mallit olisi muokattava MBD-malleiksi, ja tämä aiheuttaisi ylimääräisiä kuluja sekä vaatisi enemmän resursseja suunnittelijoilta. (Goher et al., 2021) Tämän takia suunnittelijoiden näkökulmasta siirtymä MBD aikakaudelle olisi haasteellinen, vaikka siirtymän jälkeen työmäärä olisikin lähes samanlainen kuin aikaisemminkin.

2.3 3D-malli sekä MBD tuotannossa

3D-malleja sekä MBD:tä voidaan käyttää usealla eri tuotannon vaiheella. Näitä vaiheita ovat esimerkiksi koneistus, kokoonpano, mittaus, hitsaus sekä lämpökäsittely ja pinnoitus. Jokaisessa tuotannon vaiheella on MBD:n käyttämisestä hyötyjä, mutta myös haittoja, joiden takia jotkut yritykset edelleen vastustavat sen käyttöä ainoana tiedostojen siirtomuotona (Ruemler et al., 2017). Suurimpia haittoja ja ongelmia MBD:n pääasialliseen käyttöönottoon tuotannossa ovat suuret investointikulut, teknologiset rajoitteet sekä muutoskysymykset (Goher et al., 2021). Nämä ja useita muita ongelmakohtia on esitettyä kuvassa 3.



Kuva 3. Haasteet ja ongelmat, jotka vaikeuttavat MBD:n käyttöönottoa (Goher et al., 2021)

2.3.1 Koneistuksessa

Koneistustyössä 3D-mallia sekä MBD:tä hyödyntämällä yritykset voivat säästää paljon aikaa ja rahaa. MBD avulla suunnittelijan luomasta CAD-mallista voidaan tehdä suoraan CAM-malleja, jolloin kappaleelle annetut mitat, toleranssit ja muut tärkeät tiedot siirtyvät automaattisesti. CAM-mallien avulla voidaan tiedostot siirtää suoraan computer numerical control (CNC) työstökoneille, niille vaadittavana tiedostomuotona. Koneistusta varten ei tarvitse tehdä manuaalisia malleja suoraan CNC-koneille, jolloin virheiden riski vähenee. (Križaj & Vukašinić, 2019)

Ongelmana MBD:n käytössä koneistuksessa on, että nykyään monien CNC-ohjelmien avulla ei vielä pystytä valmistamaan täysin 3D-mallin sekä MBD tietojen avulla kaikenlaisia kappaleita (Bijnens & Cheshire, 2019). Tämä johtuu siitä, etteivät kaikki nykyaikaisetkaan CNC-koneet tue MBD:n käyttämistä (Goher et al., 2021). Esimerkiksi kappaleet, joissa on symmetriatoleransseja, suoraan MBD-tiedoston avulla tekeminen saattaa aiheuttaa vaikeuksia. Tämä johtuu siitä, että symmetriatoleranssit eivät välttämättä toimi koneistuksessa samalla tavalla kuin suunnittelija on ne suunnitellut CAD-ohjelman avulla. Tämän voisi kiertää muokkaamalla manuaalisesti CAM-mallia, mutta MBD:n avulla se ei vielä onnistu, koska MBD:n sisältäviä tiedostoja pystyvät muokkaamaan vain alkuperäiset tekijät. (Bijnens & Cheshire, 2019). Lisäksi yhtenä ongelmana koneistuksen toteutukselle täysin MBD:n avulla, on etteivät koneistajat osaa käyttää MBD:tä, jolloin vaaditaan lisäkoulutusta.

2.3.2 Kokoonpanossa

Käsin tehtävässä kokoonpanotyössä 3D-mallilla on helpottavia ominaisuuksia 2D-mallin avulla suoritettuun kokoonpanoon verrattuna. Tällaisesta esimerkkinä on se, että 3D-mallin avulla voidaan luoda kokoonpano-ohjeet eri työvaiheille suoraan 3D-malliin. (Henell et al., 2021) MBD:n ja PMI:n käyttämisestä on hyötyä myös siten, ettei kokoonpantavalla kappaleella ole useita tiedostoja, joiden käytöstä voisi syntyä tulkintavirheitä. MBD:n avulla yhdestä mallista voidaan tarkastella visuaalisesti helpommin mittojen sijaintia geometrisesti. (Laaksonen et al., 2016, s. 15) Näiden avulla kokoonpanovaiheet onnistuvat huomattavasti helpommin, kun ei tarvitse etsiä 2D-malleista osien mittoja sekä toleransseja, eikä tarkastella 2D-mallin avulla millainen kappaleesta pitäisi syntyä.

Kappaleen nimikkeiden etsiminen myös helpottuu MBD-mallin avulla, koska mallin osien nimet ja nimikkeet saadaan näkyviin painamalla ohjelmassa ne aktiivisiksi, kun 2D-piirustusta käytettäessä nimikkeiden nimet olisi etsittävä manuaalisesti. Tämä nopeuttaa

kokoonpantavan kappaleen osien etsintää, sekä ehkäisee mahdollisten virheiden syntymistä. (Henell et al., 2021, s. 33)

Tuotannon roboteilla suoritettavaan kokoonpanoon on mahdollista käyttää 3D-mallia sekä MBD:tä apuna. Näiden avulla robotille voidaan suoraan antaa kokoonpano-ohjeet 3D-mallin avulla. Roboteille voidaan antaa suoraan tiedosto tiedostomuodossa, joka tukee MBD käyttöä, esimerkiksi STEP AP242 standardin mukaiset tiedostot (Mohammed et al., 2021). Tällaisia tiedostomuotoja voidaan tehdä useimmilla nykyaikaisilla CAD-ohjelmilla kuten Siemens NX:llä sekä SolidWorksilla. Mohammed et al., (2021) toteaa tutkimuksessaan, että yksi ongelma suoraan MBD:n käyttämisessä robottien kanssa on se, että alussa robotin suorittamalla tehtävällä on suuri nopeus, mutta loppua kohden se pienenee, joka voi tuottaa ongelmia fyysisen kappaleen kanssa. Kun tähän liittyvät ongelmat ratkaistaan, voi MBD:n käyttäminen robottiohjatussa kokoonpanossa lisätä tuotantokapasiteettia sekä säästää yrityksiltä rahaa.

Kokoonpanossa MBD:n hyöty näkyy myös siinä, että BOM (Bill Of Materials) voidaan ottaa suoraan MBD-mallista. BOM pitää sisällään kaikki osat ja ohjeet, joita kokoonpanon eri vaiheissa tarvitaan. Tätä BOM-mahdollisuutta voidaankin hyödyntää esimerkiksi avaruusalusten tuotannossa, jossa on hyvin tärkeää, että jokainen työvaihe tulee suoritettua oikein. Kokoonpanon merkitys avaruusalusten teossa on kriittinen, koska jokainen työvaihe ratkaisee, onnistuuko laukaisu vai ei. Tätä voidaan parantaa MBD:n ja automaattisen BOM:in käyttämisellä, jolloin inhimilliset virheet pienenevät. (Fa et al., 2020) Tässäkin on kuitenkin edelleen omat haasteensa luotettavuuden kanssa, sekä MBD-mallin oikeanlaisen tekemisen suhteen.

Ongelmakohtia kokoonpanon suorittamiseen pelkän MBD:n avulla löytyy useita. Yksi ongelmista on se, että tuotannon työntekijät ovat tottuneet ja oppineet käyttämään perinteisiä 2D-piirustuksia tuotannossa. Tämä johtaa siihen, ettei heillä ole välttämättä kokemusta edes 3D-mallien käyttämisestä, eikä MBD-mallien avulla työtehtävät onnistu ilman ylimääräisiä koulutuksia. (Goher et al., 2021) Näiden lisäksi työntekijöitä voi olla vaikea saada innostumaan uuden ja alkuun hieman hankalan järjestelmän käyttöönotosta.

2.3.3 Mittauksessa

Nykyaikaisilla koordinaattimittauskoneilla voidaan hyödyntää MBD:n käyttöä. MBD:tä ja varsinkin sen sisältäviä PMI-tietoja hyödyntämällä mittausprosessi pystytään automatisoimaan joko täysin tai osittain, mikä vähentää mittaukseen käytettävää aikaa jopa 90 %. (Laaksonen, et al., 2016, s. 16) Automatisoiminen voidaan toteuttaa siten,

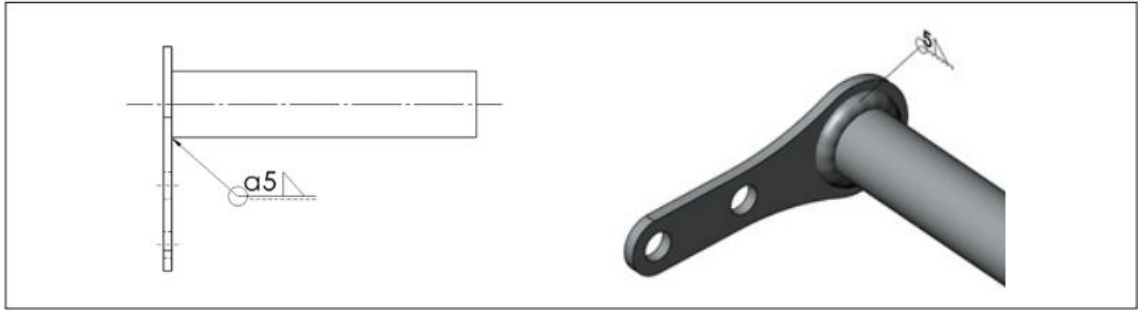
että suunniteltu CAD-malli MBD-tietoineen siirretään CMM-ohjelmiston käyttöön, jota koordinaattimittauskoneet voivat käyttää mittauksen suorittamiseen. (Bijnens & Cheshire, 2019) Tämä automatisointi poistaa manuaalisen tiedon siirron aikana syntyvien virheiden mahdollisuuden, joiden aiheuttajia ovat esimerkiksi epäselvät piirustukset, vanhentuneet tai väärät versiot sekä ihmisen tekemät näppäilyvirheet. (Laaksonen et al., 2016, s. 16)

CMM-koneille kappaleen automaattinen siirto MBD:n avulla nopeuttaa prosessia, koska MBD:n sisältävä tiedosto sisältää kaikki kappaleen mitat ja toleranssit (Quintana et al., 2010). Näitä erilaisia mitattavia tyyppisiä, joita MBD:n sekä PMI:n avulla voidaan mitata ovat esimerkiksi pisteet, viivat, ympyrät, lieriöt, tasot ja monet muut erilaiset muodot. Toleransseja, joita PMI:n avulla voidaan mitata ovat esimerkiksi seuraavat: toleranssit pituuksille, ympyrämäisyydelle, tasomaisuudelle, paikoille sekä symmetrisuudelle. (Laaksonen et al., 2016, s. 16)

Mittojen ja toleranssien lisäksi CMM-laitteen ohjelmat tunnistavat automaattisesti kappaleen geometrisen muodon, jonka avulla mittaus voidaan suorittaa. Geometrinen muotojen sekä mittojen ja toleranssien yhdistelmällä, esimerkiksi kappaleessa olevien reikien sijainnit sekä oikeanlaisuudet ovat helppo mitata. Näiden lisäksi suurena hyötynä tästä automaattisesta siirrosta on, että sarjatuotannossa useat mitattavat kappaleet mitataan aina samalla tavalla, samoin päin sekä käyttäen samoja mittoja ja toleransseja. (Quintana et al., 2010)

2.3.4 Hitsauksessa

Hitsausaumojen mallinnusta sekä merkintätapoja säätelee standardi ISO 2553 (Laaksonen et al., 2016). Hitsausaumojen mallintaminen suoraan 3D-malliin esimerkiksi automaattisten hitsausmerkintöjen liittämisen, hitsausauman massan laskemisen, tilantarvetarkastelun sekä hitsausrobottien ohjelmoinnin. (Henell et al., 2021) Näiden lisäksi visuaalinen havainnointi on helpompaa MBD-mallista kuin 2D-piirustuksesta. Kuvasta 4 nähdään 2D-piirustuksen ja MBD-mallin erot hitsausauman tarkastelussa. Kuvasta nähdään, kuinka 3D-malliin voidaan mallintaa sauma havainnollistamaan sauman sijainti ja miltä se tulee näyttämään.



Kuva 4. Hitsaussauma 2D-piirustuksessa ja MBD-mallissa (Henell et al., 2021)

MBD:n hyöty ihanteellisessa tilanteessa on se, että hitsauslaitteiden liikeradat olisi mahdollista ohjelmoida automaattisesti mallin sisältävien määrittelytietojen avulla, ja tuotantoa voisi automatisoida. Näiden lisäksi ohjeiden ja hitsausjärjestelmän suunnitelmat voidaan sisällyttää yhteen tiedostoon. Tähän voidaan sisällyttää animaatio visuaaliseen hitsaussaumojen tarkasteluun, jolloin työntekijä näkee kirjallisen ohjeen lisäksi videolta, miten työ on suoritettava. Näiden lisäksi malliin voidaan sisällyttää NDT (Non-Destructive Testing) tarkastettavat kohdat, eli tieto mitkä tarkastukset voidaan suorittaa rikkomatta aineen rakennetta. (Henell et al., 2021) Hitsauksessakin on samoja ongelmia kuin edellä mainituissa tuotannon vaiheissa, mutta tulevaisuudessa ohjelmistojen kehittyessä MBD:n käyttö hitsauksen apuna voisi tuoda huomattavia hyötyjä tuotannossa.

2.3.5 Lämpökäsittelyssä ja pinnoituksessa

Lämpökäsittelyä säätelee standardi ISO 15787. Tämä standardi ei ota kantaa, kuinka MBD:tä käyttäessä merkinnät tulisivat osoittaa, mutta standardia pystyy soveltamaan myös MBD:tä käyttäessä. MBD:n avulla lämpökäsiteltävät pinnat voidaan osoittaa CAD-mallissa (Henell et al., 2021) Tämän avulla visuaalinen hahmottaminen on helpompaa mallin lukijan kannalta.

Ongelmaksi lämpökäsittelytietojen asettamisessa 3D-malliin on se, että joillakin ohjelmilla tietojen asettaminen voi olla hankalaa. Jos pinnasta vain jokin kohta on käsiteltävä, on malliin erikseen lisättävä erilaisia aputasoja, jotka hankaloittavat käyttämistä. (Henell et al., 2021) Tämän takia voi tulla mahdollisia virhetulkintoja, jollaisia voisi perinteisten 2D-piirustustenkin kanssa tulla. Samat ominaisuudet koskevat pinnoittamistakin, joita ovat esimerkiksi kromaus tai maalaus (Henell et al., 2021).

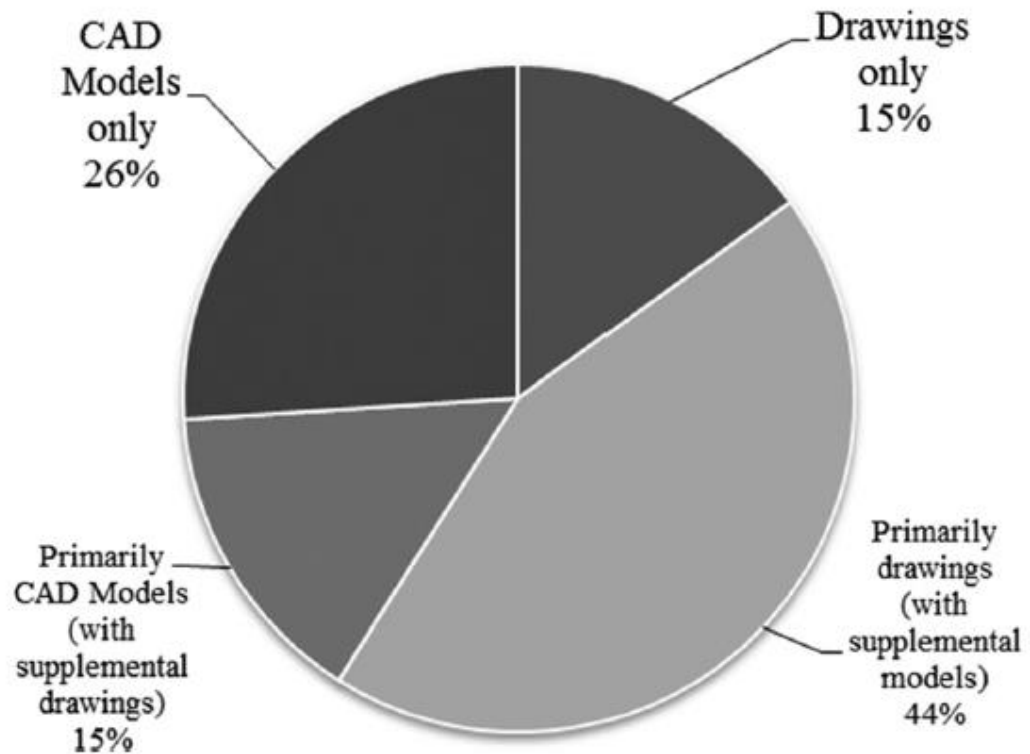
2.4 MBD:n käyttö yrityksissä

MBD:n käyttöä yrityksissä on tutkittu sekä kansainvälisellä että kansallisella tasolla. Kansainvälinen tutkimus perustuu kyselyyn, joka on järjestetty usealle eri yritykselle. Suomalainen tutkimus on tehty opinnäytetyönä vain yhteen suomalaiseen yritykseen. Tutkimusten perusteella nähdään, kuinka käyttökelpoinen MBD on nykypäiväisille yrityksille heidän käytössään olevalla teknologialla.

2.4.1 Kansainvälisissä yrityksissä

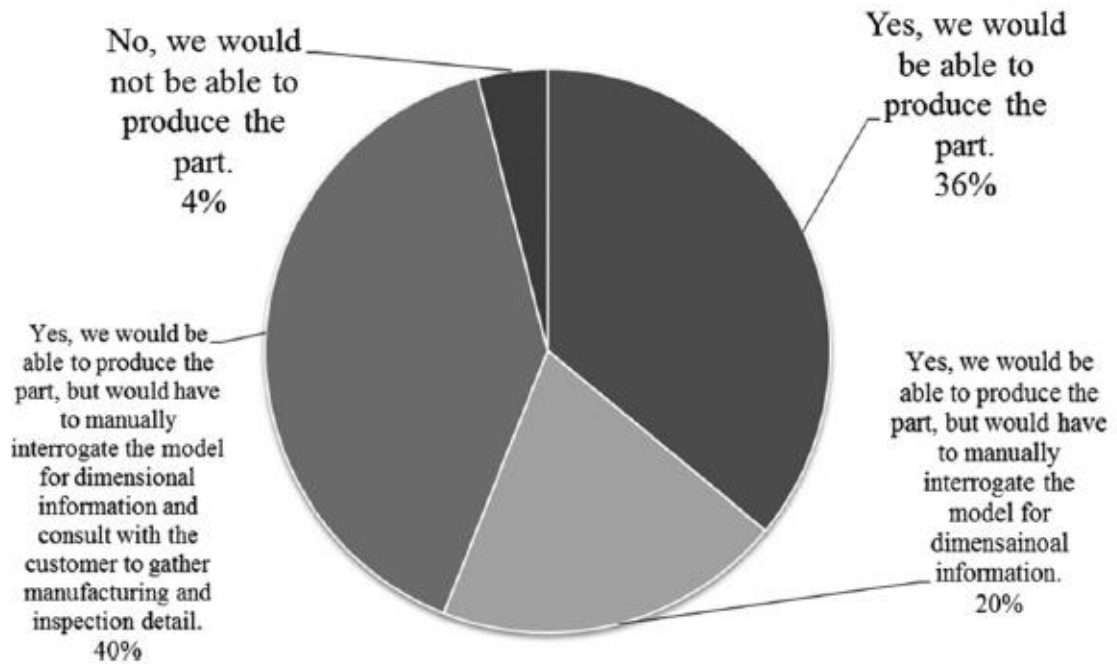
MBD:n käyttämistä kansainvälisissä yrityksissä on tutkittu kyselytutkimuksella. Kyselytutkimus lähetettiin usealle yritykselle ympäri maailmaa hahmottamaan, millaisia malleja eri yrityksissä käytetään ja miksi. Näiden lisäksi selvitettiin millaisia tiedostoja yritykset haluavat käyttää (Ruemler et al., 2017)

Ensimmäisenä kysymyksenä yrityksiltä kysyttiin, millaisella tiedostomuodolla he vastaanottavat piirustuksensa asiakkailta. Tähän kysymykseen saatiin 27 vastausta, joista suurin osa vastasi vastaanottavansa tiedostoja sekä 2D- että 3D-malleina. Vastauksista 74 % ilmoitti vastaanottavan tietoja siten, että 2D-malli on edelleen mukana. 85 % vastanneista kertoi vastaanottavansa tiedostoja siten, että 3D-malli on mukana jollakin tapaa. (Ruemler et al., 2017) Vastauksien perusteella osa yrityksistä käyttääkin jo pelkkää 3D-mallien mukaista tiedonsiirtoa, ja osa on edelleen vain 2D-mallien mukaisessa siirtotavassa. Nämä suhteet nähdään kuvasta 5.



Kuva 5. Tiedostomuodot, joilla yritykset vastaanottavat tietoa (Ruemler et al., 2017)

Seuraavaksi yrityksiltä kysyttiin, pystyvätkö yritykset itse tuottamaan kappaleita käyttäen vain 3D-mallia. Tähän kysymykseen vastauksia tuli yhteensä 25. Vastauksista 36 % kertoi pystyvänsä tuottamaan suoraan 3D-mallin avulla kappaleita ilman ulkopuolista avustusta. 60 % ilmoitti tarvitsevänsä joko manuaalista dimensioiden laittoa tai asiakkaan avustusta, mutta pystyisi kuitenkin 3D-mallin avulla tuottamaan halutun kappaleen. Vain 4 % vastaajista ilmoitti, ettei pystyisi millään tapaa tuottamaan kappaletta vain 3D-mallin avulla. (Ruemler et al., 2017) Tämän kyselyn tulokset näkyvät kuvassa 6.



Kuva 6. Yritysten mahdollisuus tuottaa kappaleet vain 3D-mallien avulla (Ruemler et al., 2017)

Yrityksiltä kysyttiin myös, mihin tarkoitukseen he käyttävät asiakkaalta saatua mallia. Tähän tuli 26 vastausta, joista yli 65 % ilmoitti käyttävänsä mallia CMM apuna, eli kappaleiden tarkastusmittauksessa. Noin 40 % vastaustason saavuttivat myös kokoonpanovaiheet, CAM-ohjelmien käyttö sekä työohjeet. (Ruemler et al., 2017)

Yrityksiltä kysyttiin myös millaisina tiedostotyyppinä he vastaanottavat tiedostoja ja mitkä ovat sopivimmat tiedostot heille. Kysymykseen tiedostojen vastaanottamisesta, 78% vastasi vastaanottavansa ne Native 3D CAD-model muodossa ja 61% STEP muodossa. Kysymykseen, mikä tiedostotyyppi on heille paras, tuli myös 18 vastausta, joista suosituimmat olivat samat kuin edellisessäkin kysymyksessä. Native 3D CAD-model sai 56 % ja STEP 22 % vastauksista. (Ruemler et al., 2017) Tuloksista nähdäänkin 3D CAD-model tyyppin olevan yritysten näkökulmasta paras mahdollinen tyyppi, ainakin tällä hetkellä.

Viimeiseksi yrityksille annettiin 19 erilaista kysymystä tai ongelmaa, joiden vakavuutta heidän oli arvioitava asteikolla yhdestä neljään siten, että 1 tarkoittaa ettei se ole yritykselle ongelma ja 4 sitä, että kyseessä on kriittinen ongelma. Tähän saatiin yhteensä 18 vastausta, joiden vastausjakauma näkyy kuvassa 7. (Ruemler et al., 2017)

Tutkimuksesta käsitellään vain tämän tutkielman aiheeseen liittyviin kysymyksiin, joita yrityksiltä kysyttiin. Näitä oleellisia ongelmakysymyksiä olivat seuraavat.

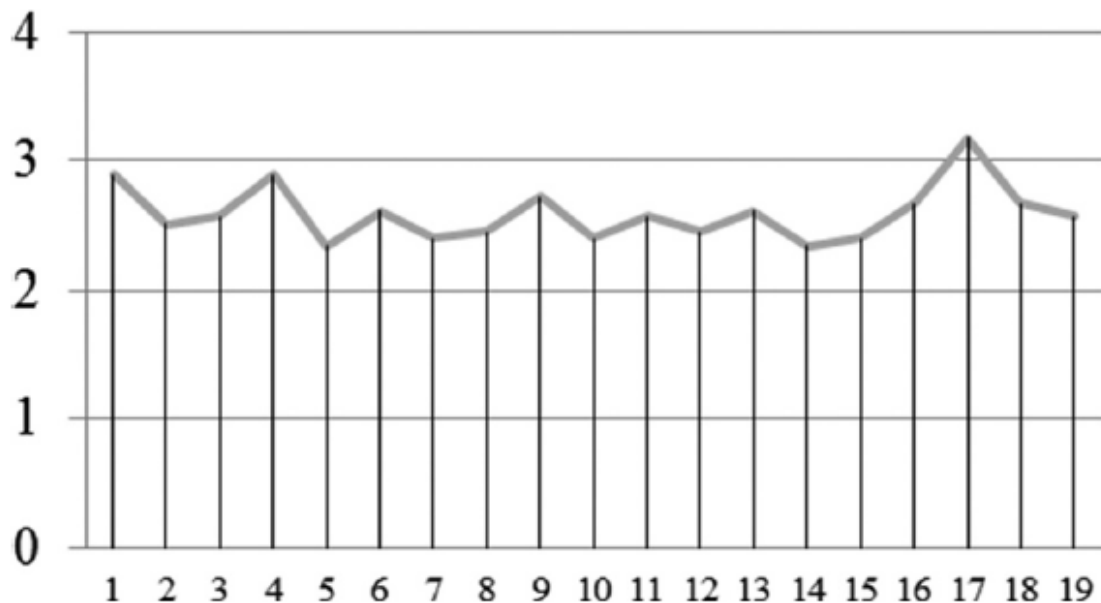
3. Useiden tiedostojen vastaanottaminen yhden tuotteen kohdalla,

4. 3D-mallit sekä piirustukset eivät ole yhteensopivat,

13. tiedot, kuten 3D-mallit, piirustukset ja tekniset tiedot eivät ole ajan tasalla,

18. mallipohjaisen valmistuksen toteuttaminen on kallista.

Muut kysymykset liittyivät esimerkiksi taloudellisiin ja hallinnollisiin ongelmiin, jotka eivät ole oleellisia tässä työssä.



Kuva 7. Ongelman kriittisyys -kyselyn jakauma (Ruemler et al., 2017)

Näiden vastausten perusteella nähdään, että edellä mainituista ongelmista 4. ongelma on yritysten mielestä hieman kriittisempi kuin muut. Tästä huomataankin, kuinka tärkeää yritysten mielestä mallien ja piirustusten yhteensopivuus on kappaleiden tuottamisessa. Muutkin ongelmat saivat korkeat pisteet, jonka mukaan tuotannossa malleilla on erittäinkin tärkeä ja kriittinen vaikutus.

2.4.2 Suomalaisissa yrityksissä

Suomalaiselle Mehi Oy yritykselle, joka valmistaa esimerkiksi korkealaatuisia erikoistyökaluja, vakiotyökaluja sekä kiinnitinratkaisuja, tehtiin 2022 syksyllä opinnäytetyö MBD:n hyödyntämisestä työkalujen valmistuksessa. Tämän opinnäytetyön teki Pasi Heikura, ja työssään hän kävi hyvin läpi eri vaiheille vaadittavia suoritustapoja, sekä MBD:n käytöstä johtuvia ongelmia. (Heikura, 2022)

Kyseisessä tutkimuksessa käytettiin Mastercam-ohjelman sisältävää koneistuslaitetta, sekä mallinnus suoritettiin SolidWorks CAD-ohjelmalla. Tiedosto muutettiin STEP AP242 -muotoon, jota Mastercam-ohjelma tukee. Tässä vaiheessa ilmenikin jo ensimmäinen

ongelma: tiedosto aukesi, mutta PMI tiedot olivat kadonneet. Lopulta tämä työvaihe jouduttiin ongelman takia tehdä manuaalisella tavalla, eli asettamalla manuaalisesti työstökoneelle kappaleen mitat ja muut tarvittavat tiedot. Toisella yrittämällä mallin mitat saatiin näkymään, mutta ei-symmetriset toleranssit jäivät ohjelmalta tunnistamatta. (Heikura, 2022) tästä voidaankin nähdä, ettei ainakaan kyseisiä ohjelmia käyttämällä MBD:n käyttäminen koneistusvaiheessa ole vielä mahdollista.

Lopputuloksena opinnäytetyölle saatiin, että suunnitteluvaiheessa MBD:n käyttö voisi olla jo nykyään hyödyllinen työkalu. Tämä vaatisi kuitenkin suunnittelijoille koulutusta, kuinka MBD-tietoja laitetaan malliin, ja mitkä standardit säätelevät niitä. Tuotannon näkökulmasta MBD:n käyttö automatisoivana mahdollisuutena ei ainakaan kyseisessä yrityksessä olisi vielä mahdollista, koska ohjelmat eivät tue kyseistä toimintaa. MBD:tä voisi kuitenkin käyttää koneistajien apuna, josta he näkisivät suoraan 3D-mallista mitat, jotka kuitenkin pitäisi laittaa manuaalisesti työstökoneelle (Heikura, 2022)

Tutkimuksen perusteella 2D-malleista ei vielä päästä suomalaisissa yrityksissä täysin eroon, eikä MBD:n avulla voida täysin automatisoida tuotantoa. Tämä on kuitenkin kehittyvä prosessi ja mahdollisesti tulevaisuudessa yritysten käytössä olevat ohjelmat voisivat tukea automaattista tiedostojen siirtoa eri muodoista toisiin. Tämän avulla saataisiin esimerkin kaltaisessakin yrityksessä automatisoitua tuotantoa ja nopeutettua kappaleiden tuotantoaikoja.

3. TIEDOSTOTYYPIT

Tiedostotyyppien valinnalla on suuri merkitys sen kanssa, voiko MBD:tä käyttää kappaleen tuotannossa pääsääntöisenä tiedostonsiirtotapana. Tämä johtuu siitä, että kaikki tiedostotyypit eivät tue PMI-tietojen siirtämistä, jolloin esimerkiksi mitat ja toleranssit katoavat. Toinen tärkeä syy on se, että kaikki ohjelmat eivät tue kaikkia tiedostotyyppisiä, jolloin on hyvä tietää tiedostotyyppien ominaisuudet sekä niiden sopivuudet. Esimerkkejä 3D-mallien siirtämiseen käytetyistä tiedostotyypeistä ovat STEP AP242, JT ja eDrawings.

3.1 STEP AP242

STEP AP242 on 2014 julkaistu tiedostotyyppi, joka määritellään standardissa ISO 10303 (Laaksonen, et al., 2016). Tärkeimmät vaatimukset STEP AP242 -tiedostotyyppille ovat sen mahdollisuus tiedonvaihtamiseen yhtenäisten tietomallien avulla sekä geometrinen ominaisuuksien esittäminen (Nzetchou et al., 2022). Näiden vaatimusten avulla voidaan siirtää malleja kappaleista, jotka pitävät sisällään kokoonpanorakenteen, osien geometriat sekä PMI sisältävät tiedot. STEP AP242 on yhdistelmä vanhoista STEP AP203 sekä STEP AP214 -standardeista. Näihin vanhoihin standardeihin verrattuna AP242 eroaa siten, että se tukee PMI-merkintöjä, kun vanhojen standardien mukaiset AP203 sekä 214 eivät tukeneet. (Laaksonen et al., 2016) Kuvasta 8 nähdään tarkemmin mitä eri STEP-tiedostomuodot voivat sisältää ja miten ne eroavat.

Information contained	Exhaustive information contained	STEP AP203	STEP AP214	STEP AP242
Geometric information	Tesselated representation			*
	Wired representation	*	*	*
	Surface representation	*	*	*
	Exact solid representation			*
	Parametric 3D representation with construction history (CAD model tree)			*
	Expert information	Drawings	*	*
Semantic presentation and representation of 3D annotations and tolerances			*	*
Form Features for design and manufacturing		*	*	*
Composites				*
Kinematics			*	*
Parts assemblies		*	*	*
Component definition (metadata, maturity, etc.)			*	*
Product line specifications (diversity library)		*	*	*
BOM description			*	*
Activities and projects			*	*
Classifications			*	*
Document management		*	*	*
Overview of the changes		*	*	*
Characteristic properties		*	*	*
Functional and organic cuttings			*	*
Systems and area cut-outs				*
Requirements			*	
Manufacturing process	*	*	*	

Kuva 8. STEP-tiedostotyyppien sisältämät tiedot (Muokattu lähteestä, Nzetchou et al., 2022).

STEP AP242 avulla voitaisiin siirtää tiedostoja mallinnusohjelmista toisiin. Kappaleiden siirtäminen PMI:n kanssa ei kuitenkaan ole vielä täysin toimivaa, eikä esimerkiksi eri mallinnusohjelmilla tehdyt kappaleet aukea välttämättä toisissa ohjelmissa PMI kanssa. (Križaj & Vukašinović, 2019) Jos tämä saataisiin toimimaan ongelmitta useiden eri ohjelmien välissä, yritykset, jotka käyttävät eri CAD-ohjelmia, voisivat silti lähettää PMI:tä sisältäviä tiedostotyyppejä toisilleen. Tämä helpottaisi esimerkiksi kappaleiden 3D-mallien tuotemäärittelytietojen toimimista tilaajankin ohjelmilla, jos alihankkijat käyttäisivät eri ohjelmia kuin tilaaja.

STEP AP242 -tiedostotyyppi on jo käytössä useissa eri tarkoituksissa, vaikkei PMI-tietojen säilyttäminen kaikissa tapauksissa olekaan mahdollista. Muunlaisessa käytössä, kuten puhtaiden 3D-mallien siirtämisessä, STEP AP242 on luokiteltu yhdeksi turvallisimmista tiedostotyypeistä. Tämä johtuu siitä, että STEP AP242 käyttöönoton jälkeen, malleja ei tarvitse enää päivittää samalla tavalla kuin aikaisemmin. Joillakin aloilla tiedostojen säilytysvaatimukset ovat hyvinkin pitkät, ja STEP tiedostomuotojen avulla nämä vaatimukset pystytään täyttämään. (Nzetchou et al., 2022)

3.2 JT

JT on tiedostotyyppi, joka on määritetty standardissa ISO 14306:2012. JT:n kehitys aloitettiin jo 1990-luvulla, joka tekee siitä huomattavasti vanhemman, kuin esimerkiksi STEP AP242:n. (Pfouga & Stjepandić, 2018) Tämän tiedostotyypin on kehittänyt Siemens. JT:n avulla voidaan siirtää 3D-mallista kokoonpanorakenteet, geometriat sekä PMI:n sisältävät tiedot. (Laaksonen et al., 2016)

JT-tiedostoja käytetään tiedonsiirrossa suunnittelijalta valmistajalle sekä työkaluna erilaisissa virtuaalisissa kokoonpanoissa. Helpon ja luotettavan käytettävyyden takia JT:stä on tullut yksi käytetyimmistä tiedostotyypeistä esimerkiksi autoteollisuudessa. Näiden hyvien puolien lisäksi, JT:ssä on puutteita verrattuna muihin tiedostotyypeihin, kuten se, ettei se sisällä kappaleen rakenneanalyysia, numeerista ohjausta eikä järjestelmäsuunnittelua. (Pfouga & Stjepandić, 2018)

JT-formaatin kuluttajaystävällisenä puolena on se, että sen voi avata ilmaisella JT2Go-ohjelmalla. (Laaksonen et al., 2016) JT2Go-ohjelman saa ladattua kuka tahansa tietokoneellensa eikä se tarvitse erillistä lisenssiä. Katseluohjelman avulla pystytään esimerkiksi näkemään kappale visuaalisesti sekä mittaustyökalun avulla mitata kappaleen mittoja.

3.3 eDrawings

eDrawings on Dassault Systemsin kehittämä tiedostomuoto, jonka avulla voidaan siirtää 3D-malleja. Tiedoston avulla voidaan siirtää myös useita MBD:n sisältäviä tietoja kuten itse 3D-malli, PMI-tiedot, kokoonpano, räjäytyskuvat sekä osaluettelot. eDrawings ei kuitenkaan sisällä STEP- sekä JT-tiedostojen tavoin natiivia ja tarkkaa 3D-mallia. (Laaksonen et al., 2016)

Edrawings tiedostojakin voi JT-formaatin tavoin katsella eDrawings-ohjelmalla, jonka voi ladata Windows-pohjaisille laitteille ilmaiseksi. Tämä ohjelma mahdollistaa mallista tehtävät mittaukset ja sen tarkastelun. eDrawings-katseluohjelman saa ladattua myös IOS- sekä Android -järjestelmille, mutta näille se ei ole ilmainen, vaan maksaa hieman. (Laaksonen et al., 2016) Android-järjestelmän omaavalle laitteelle tämä ohjelma maksaa 1,59 € ja IOS-järjestelmän omaavalle laitteelle 2,49 €.

4. ONGELMAT JA MAHDOLLISET RATKAISUT

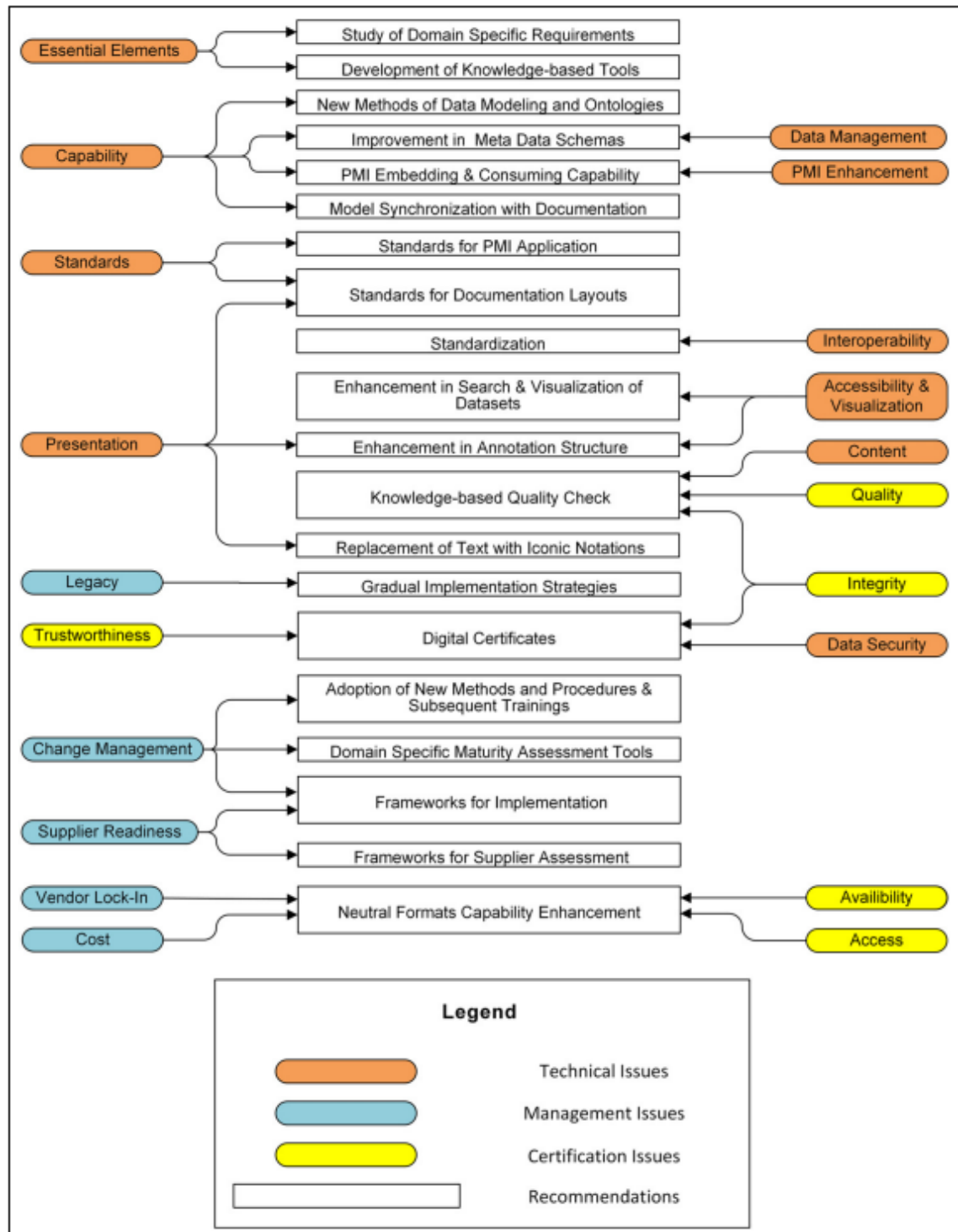
MBD:n käyttäminen kappaleen elinkaareissa tuottaa nykyaikaisilla ratkaisuilla lukuisia ongelmia. Vaikka sen käyttö onkin herättänyt suurta kiinnostusta akateemisella ja tuotannollisella puolella, ei sitä juuri lukuisien ongelmien takia ole monissa yrityksissä otettu käyttöön pääsääntöisenä tiedostonsiirtomuotona. (Goher et al., 2021)

Luvussa 2 käsiteltiin jo tuotannon tietyillä vaiheilla esiintyviä ongelmia, joten niihin ei keskitytä tässä luvussa. Muita ongelmia syntyy esimerkiksi hallinnollisella puolella. Siellä ongelmia tulee taloudellisista asioista, jotka johtuvat organisaatorakenteen muutoksesta. MBD-siirtymä aiheuttaisi suuria kuluja suurien investointien takia. Investointeja pitäisi tehdä yrityksen jokaiseen vaiheeseen, jotta jokainen tiedostoja tarvitseva työntekijä voisi käyttää niitä. (Goher et al., 2021)

Näiden suurten investointien lisäksi ongelmia tuottaisi se, että esimerkiksi alihankkijat ja asiakkaat tarvitsisivat tietyn ohjelman, jotta he saavat tuotteen mallin auki (Quintana, et al., 2010). Tämänkin takia yritysten tarvitsisi tarkoin valita mitä ohjelmia ja tiedostotyyppisiä he käyttävät, jotta itse tuotannossa ja tuotannon ulkopuolellakin erilaiset tahot voisivat käyttää tiedostoa heidän ohjelmillaan. (Goher et al., 2021)

Näiden lisäksi joillakin aloilla on vaatimuksia tiedostojen säilyttämiselle (Goher et al., 2021). Esimerkiksi autoteollisuudessa tiedostoja on säilytettävä 25 vuotta ja lentokoneteollisuudessa 40 vuotta. MBD:n käyttämisessä syntyy kysymyksiä näihin liittyen siitä, onko esimerkiksi 40 vuoden päästä kyseisiä ohjelmia enää olemassa ja saako kyseisiä tiedostoja millään auki. Tähän on ratkaisuna standardisoida tiedostomuotoja ja säilyttää niiden toimivuus tulevaisuudessakin. (Bijnens & Cheshire, 2019) Esimerkkinä tällaisesta tiedostosta on STEP AP242, jonka teknisiä tietoja käsiteltiin jo luvussa 3.1.

Tulevaisuutta varten MBD:tä olisi kehitettävä monellakin alueella. Näitä ongelmia ja mahdollisia ratkaisuja on esitetty kuvassa 9. Kuvassa on eroteltuna värikoodein, mitkä ongelmat ovat teknisiä, hallinnollisia tai sertifiointiin liittyviä ongelmia. Mahdolliset ratkaisut näkyvät kuvan keskellä ja ongelmakohdat kuvan molemmissa reunoissa. Näiden ongelmien ratketessa MBD olisi erittäin hyödyllinen väline teollisuuden apuna.



Kuva 9. Kehitysehdotuksia MBD:n ongelmien ratkaisemiseksi. (Goher et al., 2021)

5. YHTEENVETO

Työssä käsiteltiin MBD:n käyttökohteita tuotannon kannalta. Mahdollisia käyttökohteita ovat esimerkiksi suunnittelu, koneistus, kokoonpano, hitsaus, lämpökäsittely ja pinnoitus. Jokaisessa työvaiheessa MBD:n käytöstä olisi hyötyä jollakin tapaa, esimerkiksi ajansäästäminen olisi lähes jokaisen työvaiheen yksi hyödyistä, jos MBD saataisiin toimimaan käytännössä samanlailla kuin teoriassa.

Suunnittelijan näkökulmasta MBD:n käyttäminen vaikeuttaisi alkuun työntekoa, koska olisi opetettava uusi tapa suunnitelmien tekoon. MBD:n käytöstä suunnitteluvaiheella ei myöskään ole suoraa hyötyä ajansäästön kannalta, koska 3D-mallista 2D-piirustusten tai MBD-mallin tekemiseen tarvitsee käyttää lähes yhtä paljon aikaa. Tämän lisäksi suunnittelijalle syntyisi enemmän vastuuta tuotteen suunnittelussa, koska hänen olisi tiedostettava tarkemmin mitä tietoja milläkin työvaiheella tarvittaisiin.

Tuotannossa MBD:n käyttämisestä olisi enemmän hyötyä, varsinkin koneistuksessa, kokoonpanossa ja mittauksessa. Tämä johtuu siitä, että MBD:n avulla on mahdollista automatisoida tuotantoa, jolloin tuotantoajat saataisiin pienemmiksi, sekä manuaalisten virheiden mahdollisuus vähenisi huomattavasti. Tuotannon automatisointi vaatisi sen, että siellä käytettävät laitteet ja ohjelmat tukisivat MBD:n käyttöä, mutta useat nykyaikaisetkaan koneistus- ja kokoonpanolaitteet eivät sitä tee. Tämän takia täydellinen tuotannon automatisointi MBD:n avulla on vielä lähes mahdotonta. Mittauksessa MBD:n käyttäminen on nykypäivänäkin toimiva tapa. Nykyaikaiset mittauskoneet tukevat MBD:n käyttöä paremmin kuin koneistuslaitteet ja tästä syystä osa yrityksistä käyttääkin mittauksessa tätä menetelmää.

MBD:n käyttöönottoa varten on olemassa useita erilaisia tiedostomuotoja, joiden avulla MBD:n sisältäviä tiedostoja voidaan siirtää. Näistä yhtenä esimerkkinä on STEP AP242, joka on yksi turvallisimmista tavoista siirtää 3D-mallien tiedostoja. Tässä tiedostotyyppissäkin on puutteita ja ongelmia. Yksi ongelmista on se, etteivät kaikki ohjelmistot tue kyseisiä muotoja, jolloin saattaa aiheutua tiedon katoamista. Tämä ongelma on muillakin tiedostotyypeillä, joita tässä työssä tutkittiin. Tämä onkin yksi syistä, miksi tiedostotyyppien kannalta MBD:n käyttöönotto on hidasta ja nykyään monissa yrityksissä lähes mahdotonta.

MBD onkin teoriassa erittäin toimiva ja hyvä tapa tiedonsiirtämiselle. Tulevaisuudessa MBD voisi korvata lähes täysin 2D-piirustusten käytön. Tähän esteenä on kuitenkin nykypäivänä esille tulleet ongelmat, jotka hankaloittavat MBD:n käyttöönottoa. Vaikka

tämänhetkiset ongelmat saataisiinkin korjattua, voi useilla yrityksillä olla suurempi luottamus perinteisiin tapoihin siirtää tiedostoja, ja koska perinteinen tapa on toiminut jo useita kymmeniä vuosia, voi uuden tavan ottaminen vanhan toimivan tilalle olla vastenmielistä.

LÄHTEET

- [1] Ahmed, F. & Han, S. (2015). Interoperability of product and manufacturing information using ontology. *Concurrent Engineering, Research and Applications*, 23(3), 265–278. <https://doi.org/10.1177/1063293X15590462>
- [2] Bijmens, J. & Cheshire, D. (2019). The Current State of Model Based Definition. *Computer-Aided Design*. 308–317. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2019.308-317>.
- [3] Fa, J., Wen, Y., Yongan, Z., Rong, Z., & Xiuhui, G. (2020). Dynamic BOM Construction Technology and Application Based on MBD. *Journal of Physics: Conference Series*, 1486(7), 72050–. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1486/7/072050>
- [4] Goher, K., Shehab, E., & Al-Ashaab, A. (2021). Model-Based Definition and Enterprise: State-of-the-art and future trends. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part B, Journal of Engineering Manufacture*, 235(14), 2288–2299. <https://doi.org/10.1177/0954405420971087>
- [5] Henell, A., Hinkkanen, M., Kellokoski, M., Kähäri, M., Laaksonen, T., Nieminen, J., Pulkkinen, A., Rapinoja, J-P., Simons, J. & Uski, P. (2021). Opastusta mallipohjaisen tuotemäärittelyn (MBD) käyttöönottoon. METSTA ry.
- [6] Križaj, D., & Vukašinić, N. (2019). ANALYSIS OF IMPLEMENTATION OF MBD AND STEP AP242 STANDARD INTO MODERN CAD TOOLS. *Research and Science Today*, 70–80.
- [7] Laaksonen, A., Nieminen, J., Pulkkinen, A., Rapinoja, J-P., Simons, J., Uski, P., Salmi, H. & Vainionpää, M. (2016). Malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet. METSTA ry, Teknologiateollisuus ry & SMACC.
- [8] Mohammed, S. K., Arbo, M. H. & Tingelstad, L. (2021). Leveraging model based definition and STEP AP242 in task specification for robotic assembly. *Procedia CIRP*, 97, 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.209>
- [9] Nzetchou, S., Durupt, A., Remy, S., & Eynard, B. (2022). Semantic enrichment approach for low-level CAD models managed in PLM context: Literature review and research prospect. *Computers in Industry*, 135, 103575–. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.1035752>
- [10] Heikura, P. (2022) MBD-menetelmän hyödyntäminen Mehi Oy:n erikoistyökalujen valmistuksessa. KAMK.

- [11] Pfouga, A., & Stjepandić, J. (2018). Leveraging 3D geometric knowledge in the product lifecycle based on industrial standards. *Journal of Computational Design and Engineering*, 5(1), 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2017.11.002>
- [12] 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), 497–508. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2010.01.005>
- [13] 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). <https://doi.org/10.1115/1.4034625>