

Jussi Ahvenjärvi

TYÖOHJEEN MÄÄRITTÄMINEN 3D-MALLIIN MALLIPERUSTEISELLA TUOTEMÄÄRITTELYLLÄ

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Ilari Laine
Kesäkuu 2023

TIIVISTELMÄ

Jussi Ahvenjärvi: Työohjeen määrittäminen 3D-malliin malliperusteisella tuotemäärittelyllä
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Kesäkuu 2023

Yritykset tuottavat paljon dokumentaatiota tuotantoa, suunnittelua ja kokoonpanoa varten, joka sisältää paljon tiedon uudelleen tekemistä ja muokkaamista, mikä voi olla turhauttavaa ja aikaa vievää. Malliperusteinen tuotemäärittely tarjoaa mahdollisen ratkaisun ongelmiin käyttäen keskitettyä 3D-mallia, joka on itsessään dokumentaatio tuotteesta sisällyttäen esimerkiksi tuotteen geometrian, pintaan liittyvät tuotannon tiedot tai 3D-mallin kautta linkitetyt ohjeet ja muut dokumentit.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan, onko mahdollista luoda ohjeita suoraan tähän 3D-malliin, soveltaen malliperusteista tuotemäärittelyä, ja selvittää, voisiko tämä menetelmä olla laajasti käytettävissä tulevaisuudessa. Tutkimuksen aikana syvennytään malliperusteiseen tuotemäärittelyyn, tiedon liittämiseen MBD-malliin, tiedonhallintaan ja esittämiseen, sekä mahdollisuuksiin luoda ohjeita suoraan MBD-malliin.

Tulokset osoittavat, että ohjeiden luominen suoraan MBD-malliin on mahdollista hyödyntäen CAD-ohjelmistojen yleisiä annotaatiotasoja, muistiinpanotyökaluja ja näkymiä. Vaikka ohjeiden luominen onnistuu, tähän liittyvä lisädokumentaation esittäminen, kuten kaaviot ja piirustukset, voi tuoda haasteita, erityisesti kun huomioidaan konedirektiivin vaatimukset. Käytännön tapauksissa saattaa myös ilmetä eroja ohjelmistojen välillä, joka vaatii lisätutkimusta.

Vaikka tutkimuksen perusteella ohjeiden sisällyttäminen suoraan MBD-malliin vaikuttaa mahdolliselta, malliperusteisen tuotemäärittelyn laaja-alainen käyttöönotto vaatii aikaa, investointeja koulutuksiin, sovelluskehitystä ja muutoksia dokumentoinnin käytäntöihin. Tästä syystä myös uusi ehdotus, että ohjeet liitettäisiin myös MBD-malliin ei tule toimintaan ainakaan ennen MBD normaalien toimintojen yleistymistä, kuten PMI-tietojen liittäminen 3D-malliin.

Siitä huolimatta tulevaisuuden suunta, varsinkin kun teknologiat, kuten AR/VR, tulevat yhä edullisemmiksi ja kehittyvät ja voivat lisätä halukkuutta, kuten niiden tuoma helppokäyttöisyys likaisissa ja haastavissa ympäristöissä näyttöjen sijaan. Myös uudet tutkimukset aiheesta ja uusien tapojen käyttöönotto voisi nopeuttaa tämän tavan testaamista ja mahdollisesti tulevaisuudessa käyttöönottoa.

Avainsanat: Malliperusteinen tuotemäärittely, työohje, 3D-mallinnus, tiedonhallinta, malliperustainen yritystoiminta, dokumentaatio.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Jussi Ahvenjärvi: Defining work instructions to a 3D Model with model-based product definition
Bachelor's thesis
Tampere University
Mechanical Engineering
June 2023

Companies produce a lot of documentation for production, design, and assembly, which involves a lot of redoing and editing of information, which can be frustrating and time-consuming. Model-based product definition offers a potential solution to these problems by using a centralized 3D model that serves as the product documentation itself, including for example, product geometry, production information related to the surface, or instructions and other documents linked through the 3D model.

In this research, we examine whether it is possible to create instructions directly in this 3D model, applying model-based product definition, and determine if this method could be widely used in the future. During the study, we delve into model-based product definition, the attachment of information to the MBD model, data management and presentation, and the possibilities to create instructions directly in the MBD model.

The results show that it is possible to create instructions directly in the MBD model using the common annotation layers, note tools, and views of CAD software. Although the creation of instructions is successful, presenting additional documentation, such as diagrams and drawings, can pose challenges, especially when considering the requirements of the machinery directive. Practical cases may also show differences between software, which requires further research.

Although based on the research, incorporating instructions directly into the MBD model seems possible, the widespread adoption of model-based product definition requires time, investments in training, application development, and changes in documentation practices. For this reason, the new proposal that instructions should also be included in the MBD model will not be implemented at least before the generalization of MBD's normal functions, such as attaching PMI data to the 3D model.

Nevertheless, the direction of the future, especially as technologies like AR/VR become more affordable and advanced, may increase willingness, such as ease of use in dirty and challenging environments instead of screens. Also, new research on the topic and the adoption of new methods could accelerate the testing of this approach and possibly its implementation in the future.

Keywords: Model-based product definition, work instruction, 3D modeling, data management, model-based enterprise, documentation.

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. MALLIPERUSTEINEN TUOTEMÄÄRITTELY	2
2.1 Tietojen liittäminen 3D-malliin	3
2.1.1 Yleinen MBD-malliin liitettävä tieto	4
2.1.2 Ohjeistuksien ja muiden merkintöjen liittäminen	5
2.1.3 Yrityksen toimintamallit ja tuotedokumentaation tekniikan tasot	7
2.1.4 Standardit malliperusteisessa tuotemäärittelyssä	8
2.2 Tiedonhallinta ja esittäminen	9
2.2.1 Tiedonsiirtoformaattit	9
2.2.2 3D-mallin katselu päätelaitteella	11
2.2.3 Nykyinen käytäntö	12
2.2.4 Tiedonhallinta järjestelmät	14
3. OHJEET	15
3.1 Työohjeet yrityksen kehittämiskohteena	15
3.2 Ohjeet EU:n vaatimusten mukaisesti	16
3.3 Ohjeiden laatiminen MBD-malliin Solidworks ohjelmalla	17
3.3.1 3D-views ominaisuuden käyttäminen ohjeiden rakenteena	18
3.3.2 Ohjeiden liittäminen hyödyntäen "Note"-työkalua	20
3.3.3 Ohjeiden esittäminen ja tallentaminen	23
4. JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	25
LÄHTEET	27
LIITE A: KONEDIREKTIIVIN (2006/42/EY) VAATIMUKSET OHJE SISÄLLÖLLE ..	28

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AR	Augmented Reality
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CNC	Computerized Numerical Control
CMM	Coordinate-Measuring Machine
EU	Euroopan Unioni
GPU	Graphics Processing Unit
MBD	Model Based Definition
MBE	Model-Based Enterprise
PDF	Portable Document Format
PDM	Product Data Management
PLM	Product Lifecycle Management
PMI	Product and Manufacturing Information
STEP	Standard for The Exchange of Product
VR	Virtual Reality

1. JOHDANTO

Yritykset tuottavat paljon dokumentaatiota eri tarkoituksiin, kuten tuotannon, suunnittelun ja kokoamisen tueksi. Dokumentaation luominen saattaa sisältää tiedon uudelleen tekemistä ja muokkaamista, mikä voi olla turhauttavaa ja aikaa vievää. Erityisesti 3D-mallin muuttaminen 2D-piirustuksiin voi aiheuttaa haasteita, kuten ristiriitaisuuksia ja päällekkäisyyksiä, jotka voivat johtaa virheisiin ja tuotantoprosessien viivästyksiin.

Tähän vastauksena on malliperusteinen tuotemäärittely (Model Based Definition, MBD), mikä voi ratkaista näitä haasteita. Malliperusteinen tuotemäärittely tarkoittaa, että yritys käyttää yhtenäistä ja keskitettyä 3D-mallia, joka toimii perustana kaikelle dokumentaatiolle. Tämä voi vähentää tarvetta uudelleen tekemiselle ja muokkauksille, sillä muutokset tehdään suoraan 3D-malliin tai linkitetään 3D-mallin kautta, kuten esimerkiksi ohjeet ja analyysit. Mallia kutsutaan MBD-malliksi.

Tässä työssä halutaan tutkia soveltuisiko MBD kokonaisten ohjeiden laatimiseen, ettei olisi tarvetta esimerkiksi erillisille paperi työohjeille. Eli tutkimuksen tavoitteena on selvittää, onko mahdollista sisällyttää ohjeet suoraan 3D-malliin, joka on sama 3D-malli, jota yritys käyttää muissa prosesseissaan eli toteuttaen malliperusteisen tuotemäärittelyn (MBD) määritelmän. Lisäksi tutkitaan voitaisiinko tätä mallipohjaista ohjeistusta implementoida tulevaisuudessa ja millä mittakaavalla se voisi olla mahdollista. Tutkimuksessa käydään kirjallisuutta läpi pohtien samalla ohjeiden näkökulmasta asiaa. Tutkimuksessa ei luoda uutta tietoa, vaan pyritään ymmärtämään ja rakentamaan malliperustaista ohjetta jo ole-massa olevalla tiedolla.

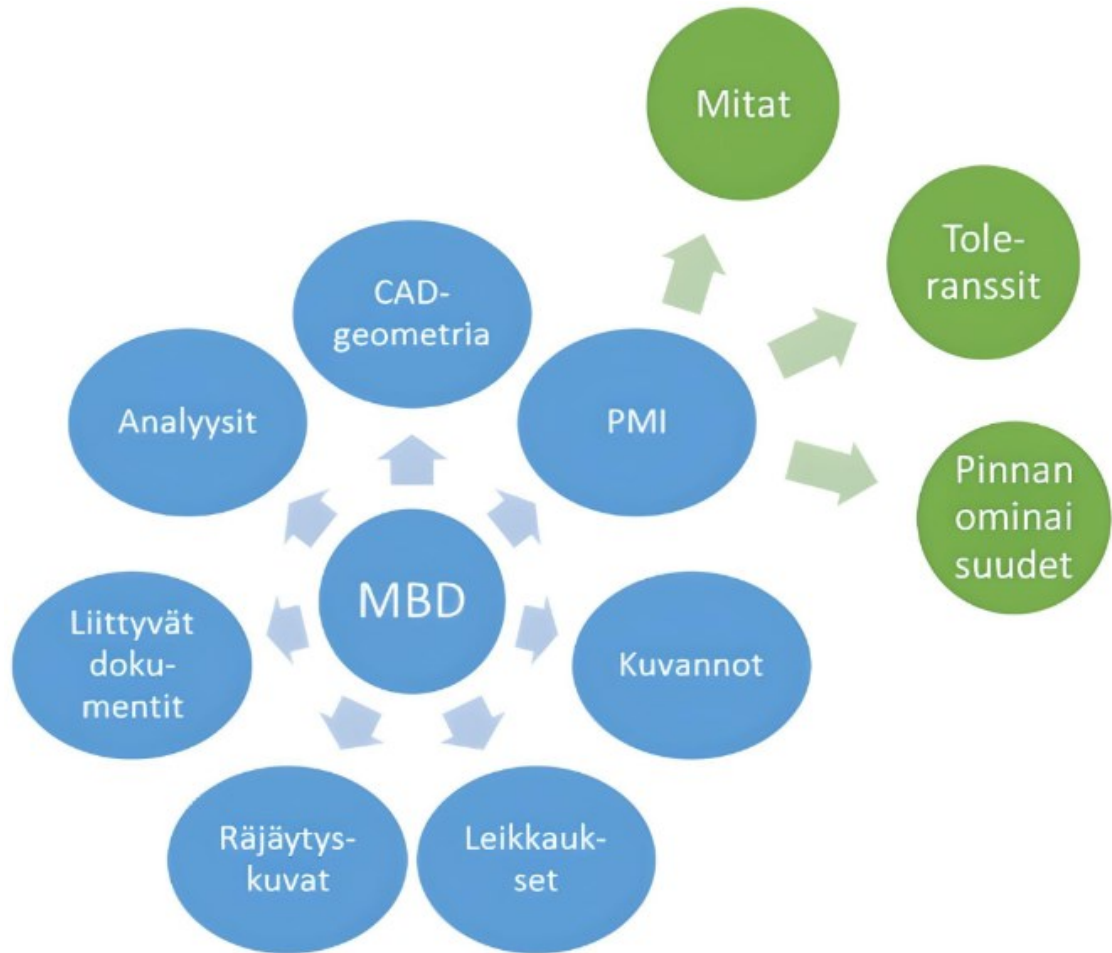
Tämän tutkimuksen suorittamiseksi tutustumme malliperusteiseen tuotemäärittelyyn ja sen käytön ja prosessien laajuuteen selvittääksemme kuinka laajasti käyttöä voisi olla, jos ohjeet saataisiin luotua MBD-malliin. Tarkastellaan myös tiedonhallintaa ja esittämistä, jotta ohje saadaan toimivalla tavalla luotua MBD-malliin siten, että olisi käytännöllistä, eikä vaikeuttasi yrityksen prosesseja. Samalla etsitään ratkaisuja ohjeiden laatimiseen ja lopulta näiden perusteella muodostetaan ehdotus MBD-mallista, joka sisältää ohjeen. Tutkimuksessa tarkastellaan lisäksi vaatimuksia standardeilta ja lainsäädännöiltä, jotta varmistetaan, että ehdotetut ratkaisut ovat niiden mukaisia.

2. MALLIPERUSTEINEN TUOTEMÄÄRITTELY

Perinteisiä piirustuksia on käytetty teollisuudessa suunnittelun kommunikoinnin välineenä niiden helppouden vuoksi. Teknisen piirustuksen tärkein tarkoitus on ylläpitää tuotemäärittelyä niin, että virheellisiä oletuksia tai tulkintoja ei voi syntyä. Kuitenkin CAD-ohjelmistojen (Computer Aided Manufacturing, CAD) kehitys viime vuosikymmeninä on auttanut tuotemäärittelyn tuottamisessa, missä tuotekehitys CAD-järjestelmissä on tullut standardiksi, eikä insinöörin piirustuksia aina käytetä ensisijaisena tuotemäärittelyn lähteenä. (Ruembler et. al. 2017, s. 3)

Malliperusteisessa tuotemäärittelyssä eli MBD:ssä esitetään tuotteen geometria ja vaatimusmäärittely 3D-mallina. Kyseiseen malliin voidaan linkittää myös muuta dataa, joka voi olla esimerkiksi asiakirjoja tai ohjeita. Pääideana on digitaalinen tuotemalli, joka olisi sama koko arvoketjulle yrityksestä loppuasiakkaaseen. Näillä osallisilla on omat näkökulmansa, joihin MBD:llä voidaan vastata. Tuotemallia voidaan jalostaa heidän tarpeitaan vastaavaksi, hyödyntäen suodattamista, rajaamista ja visualisointia eri tavoin. (Hennell et al. 2021, s. 6) MBD:tä ei vielä laajalti käytetä teollisuudessa, mutta se saa suosiota insinööri- ja valmistusympäristöissä sen monien hyötyjen vuoksi. MBD voi tuoda monia hyötyjä, kuten manuaalisen uudelleen tuotetun datan määrän vähenemisen, virheiden vähenemisen suunnittelussa, paremman kommunikoinnin, nopeamman vastausajan, vähemmän ylläpidettävät tiedostot ja kustannussäästöt. (Ruembler et. al. 2017, s. 3)

Monesti Product and Manufacturing Information eli PMI ja MBD sekoitetaan tai niitä ei ymmärretä, miten ne liittyvät toisiinsa. PMI sisältyy malliperustaiseen tuotemäärittelyyn, johon kuuluu tuotetta määrittäviä ominaisuuksia, kuten mitat, toleranssit ja pinnan ominaisuudet, mutta ei kuitenkaan sisällä geometriaa (Laaksonen et al. 2016, s. 2). Kuva 1 havainnollistaa paremmin, kuinka PMI sisältyy malliperusteiseen tuotemäärittelyyn.



Kuva 1. Malliperusteisen tuotemäärittelyn ja PMI:n mahdollinen sisältö. (Laaksonen et al. 2016, s. 2)

Toinen näkemys on, että malliperusteinen tuotemäärittely on vain työkalu. Alemanni et al. (2011, s.3) toteavat, että malliperusteinen tuotemäärittely on tapa hallita tuotteen tietoja, joista suurin osa on tallennettu 3D-mallissa sen sijaan, että ne olisivat hajallaan eri muodoissa PDM-järjestelmässä (Product Data Management, PDM). Yleisesti voidaan ajatella, että uusien tapojen opetteleminen on hankalaa, mikä voisi olla yksi syy sille, miksi malliperusteisen tuotemäärittelyn käyttö ei ole vielä niin yleistä.

2.1 Tietojen liittäminen 3D-malliin

Malliperusteisessa tuotemäärittelyssä keskeistä on tietojen liittäminen 3D-malliin säilyttäen alkuperäinen CAD-geometria. Leikkaukset ja kuvannot luodaan hyvin samaan tapaan kuin 2D-piirrustuksissa, mutta pääeroavaisuutena on kappaleen pinnalle lisättävät PMI-tiedot. Vaikka kirjallisuudessa mainitaan muiden kuin PMI-tietojen liittämistä, käytännön esimerkkejä tai tutkimusta ei ole paljon.


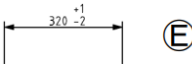

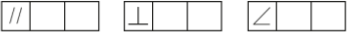


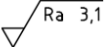

Erityisesti ohjeiden laatiminen 3D-malliin on alue, jolta esimerkkejä tai tutkimusta ei juuri löytynyt. Tutustutaan aluksi PMI-tietojen liittämiseen, koska se on merkittävin syy MBD-mallin käyttöön ja se saattaa esittää hyviä tapoja ohjeen luomiseen 3D-mallissa.

2.1.1 Yleinen MBD-malliin liitettävä tieto

Rapinoja tarjoaa systemaattisen lähestymistavan kappaleen pintaan liittyvien mitoitus tietojen liittämiseen, joka on yhteensopiva MBD:n ja standardien kanssa. Suorittaminen alkaa peruselementtien lisäämisellä, minkä jälkeen lisätään paikka- ja muototoleranssit. Tämän jälkeen siirrytään yksityiskohtaisempiin elementteihin. (Rapinoja 2020)

Nämä yksityiskohtaiset elementit ovat seuraavassa järjestyksessä: suuntatoleranssit, muototoleranssit, geometrinen ja mittatoleranssien yhdistelmät, pinnankarheus ja viimeisenä särmientoleranssit (Rapinoja 2020, s.12). Tämä koko systemaattinen lähestymistapa on esitetty kuvassa 2, jossa on myös esimerkkejä jokaisen vaiheen lisättävistä symboleista ja merkinnöistä.

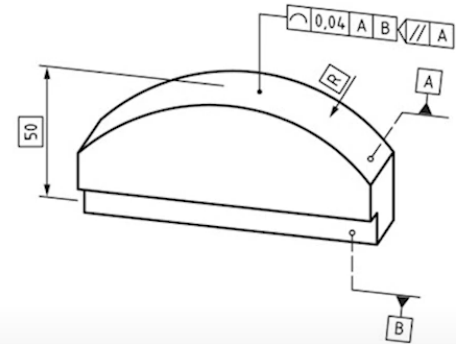
Systemaattinen tapa toimia

1. Muodosta peruselementtijärjestelmä 
2. Mitallisten elementtien määrittely 
3. Paikka- ja muototoleranssit 
4. Suuntatoleranssit 
5. Muototoleranssit 
6. Geometrinen ja mittatoleranssien yhdistelmät 
7. Pinnankarheus 
8. Särmien toleranssit 

Kuva 2. Systemaattinen tapa toimia liittäessä 3D-mallin pintaan mitoitus tietoja. (Rapinoja 2020, s.12)

Tämä tapa toimii 2D-piirrustuksien ja MBD-mallin kanssa, mutta isompana erona pinta-tietojen liittämässä MBD-malliin on, että tarvitaan vielä muutamia tarkempia määrittelyksiä. Rapinoja (Rapinoja 2022a) esittää, että aikaisemmin piirrustuksen projektio- ja tulkintatasoja käytettiin kuvan tulkintaa tehtäessä, mutta 3D-mallissa ei ole projektiosuuntaa, jolloin tarvitaan tarkentavia lisämerkintöjä. Näitä lisämerkintöjä ovat suuntaelementti, koontitaso, leikkaustaso ja asentotaso. Kuvassa 3 näkyy lisämerkintöjen kyseiset symbolit ja esimerkki niiden käytöstä.

Merkinnän kuvaus	Symboli
Suuntaelementti	
Koontitaso	
Leikkaustaso	
Asentotaso	



Kuva 3. Tarvittavat lisämerkinnät MBD-mallin mitoitusta varten ja mitoitettu esimerkki kappale. (Rapinoja 2022a)

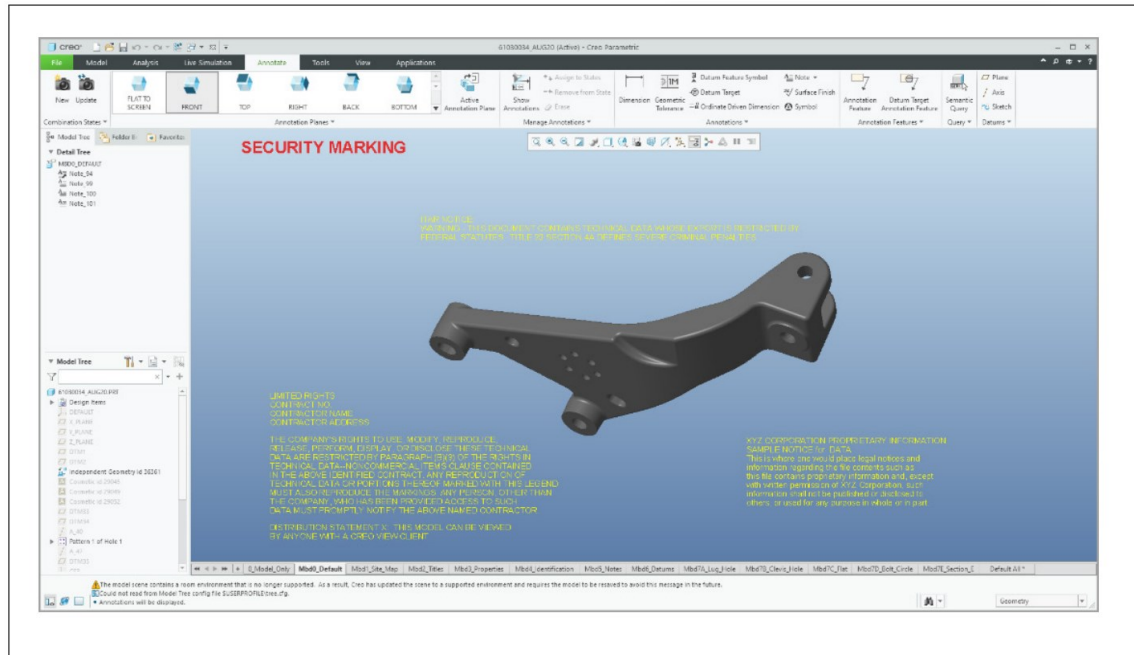
Nämä uudet merkinnät tulevat tavallisten merkintöjen perään ja kertovat missä suunnassa merkinnät ovat voimassa. Rapinoja kertoo, että ilman näitä merkintöjä olisi mahdoton tarkastella kuvaa oikein, mitoittaessa toisesta reunasta mitattuna tulos voisi olla eri kuin toisesta, koska kappaleissa on miltei aina pieniä valmistuksen virheitä, toisesta suunnasta mitattuna voisi mennä toleransseihin ja toisesta ei. (Rapinoja 2022a)

2.1.2 Ohjeistuksien ja muiden merkintöjen liittäminen

Kirjallisuudessa ei ole suoraan osoitettu vakiintuneita menetelmiä ohjeiden luomiseen, mutta muulle tiedolle on yleinen paikka. Yleinen lisätieto lisätään yleensä mallin ympärille näkymissä.

Tätä kutsutaan yleiseksi annotaatiotasoksi. Yleinen annotaatiotaso toimii samankaltaisesti kuin piirustuksen otsikkotaulu. Tämä annotaatiotaso mahdollistaa hallinnollisten tietojen lisäämisen MBD-malliin, hallinnollisia tietoja ovat esimerkiksi mallin nimi, omistaja, tekijä, päiväys ja revisiotiedot. Tiedot, jotka perinteisesti sijoitetaan piirustuksen otsikkotauluun tai sen läheisyyteen, voidaan lisätä yleiselle annotaatiotasolle. (Henell et al. 2021, s. 11, 44)

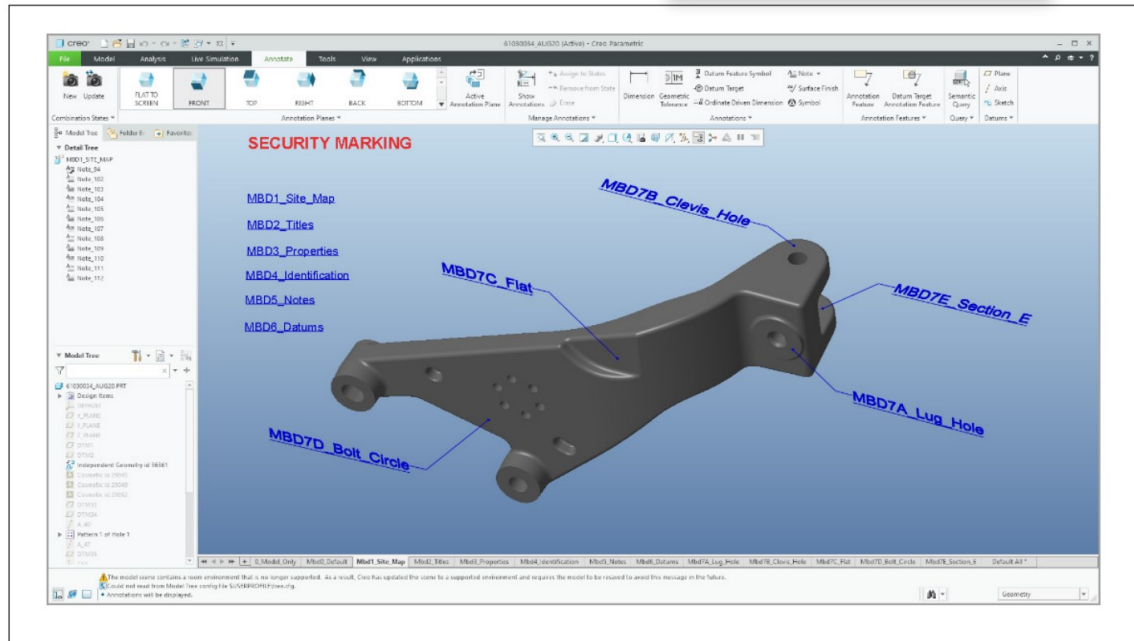
Yleinen annotaatiotaso on tyypillisesti lukittu tiettyyn katselusuuntaan, eikä sitä voida pyörittää. Tarpeen vaatiessa yleisen annotaatiotason tiedot voidaan piilottaa. Katseluformeeteissa yleisen annotaatiotason tiedot esitetään erillisenä otsikkotauluna. (Henell et al. 2021, s. 44) Kuvassa 4 on esimerkki yleisestä annotaatiotasosta.



Kuva 4. Esimerkki yleisestä annotaatiotasosta. (Henell et al. 2021, s. 44)

Yleisen annotaatiotasoa avulla voidaan myös tehdä viittauksia ja linkkejä yrityksen sisäisiin ohjeistuksiin, mukaan lukien prosessit, laatu ja tarkastukset. Tekijänoikeuksien suojan varmistamiseksi, MBD-mallin viittaussuhteiden tiedot, kuten liittyvät mallit, piirustukset ja käytettävät piirustuskäytäntöjen standardit, voidaan myös esittää yleisellä annotaatiotasolla. (Henell et al. 2021, s. 45)

Toisinaan voi olla tarkoituksenmukaista sisällyttää nämä merkinnät omaan näkymäänsä. Tämä mahdollistaa yleisen annotaatiotasoa pysymisen luettavana, eikä kerry liikaa informaatiota, joka saattaisi tehdä siitä sekavan tai vaikealukuisen. (Henell et al. 2021, s. 45) Eli ohjeiden tekemiselle olisi suositeltavaa luoda omat näkymänsä. Myös sisällysluettelon kaltaisen listauksen tekeminen voisi olla järkevä tehdä (Henell et al. 2021, s. 45–46) Seuraavassa kuvassa 5 on yksi esimerkki tehdystä sisällysluettelonäkymästä.

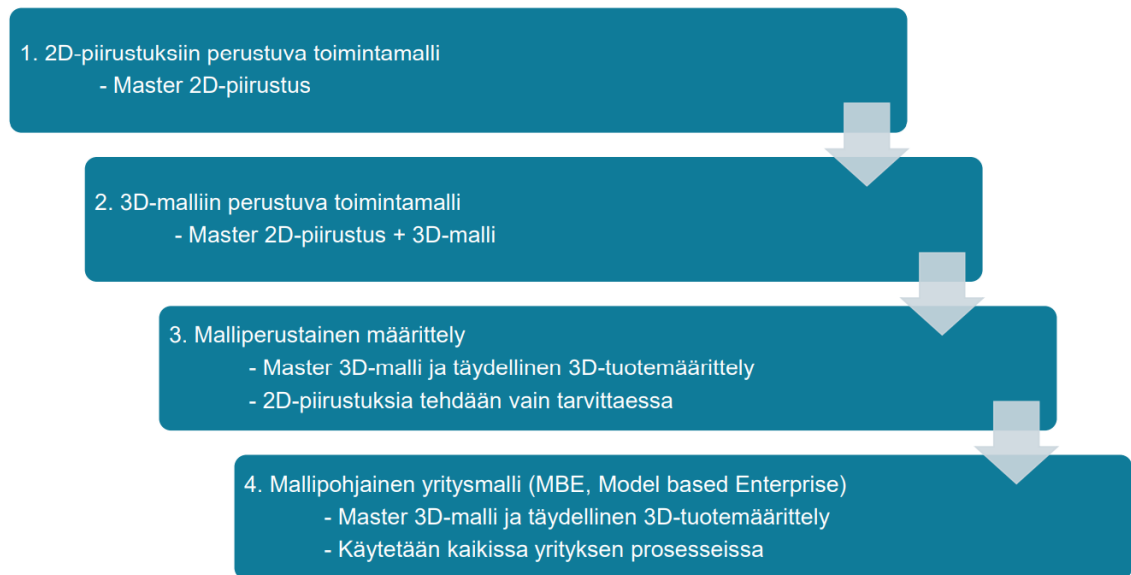


Kuva 5. Esimerkki MBD-mallin sisällysluettelonäkymästä. (Henell et al. 2021, s. 46)

Käyttämällä sisällysluettelonäkymää voisimme tehokkaasti esittää, mistä eri ohjeen kohdat löytyvät. Jos kaikki merkinnät eivät mahtuisi, tila ongelman voisi ratkaista luomalla alasisällysluetteloita tai jakamalla sisällysluettelo useampiin näkymiin.

2.1.3 Yrityksen toimintamallit ja tuotedokumentaation tekniikan tasot

Yrityksien tiedon esittämisen toimintoja voidaan jaotella eri toimintamalleihin, joissa siirytään 2D-piirrustuksista täydelliseen 3D-CAD malliin mikä sisältää kaiken tiedon, jota tarvitaan yrityksen prosesseissa. Tätä täydellistä 3D-mallia käyttävän yrityksen toimintamallia kutsutaan mallipohjaiseksi yritysmalliksi (Model-Based Enterprise, MBE). (Laaksonen et al. 2016, s. 2) Kuvassa 6 nähdään jaottelu toimintamalleille siirtymisestä 2D-piirrustuksista 3D-malliin.



Kuva 6. Yrityksen toimintamalleja. (Rapinoja 2016, s. 4)

Yrityksen lähestyessä mallipohjaista yritysmallia (Model-based enterprise, MBE) eli siirryessä 2D-piirustuksista täydelliseen 3D-CAD malliin, huomataan, että käyttöönotossa voi ilmetä haasteita. Kuten aiemmin Alemanni et al. (2011, s. 3) ovat todenneet, mallipohjainen tuotemäärittely ei ole pelkästään työkalu, vaan se edellyttää myös uudenlaista lähestymistapaa liiketoimintaprosesseihin.

Uuden teknologian käyttöönotto vaatii lisää investoimista, kuten ohjelmisto- ja laitehankintoja sekä lisäkoulutusta. Esimerkiksi MBD:n käyttöönotto edellyttää yritystasolla organisaatiomuutosta, jotta sen etuja voidaan täysin hyödyntää, sillä kaikki liiketoimintatoiminnot ja sopimukset toimittajien kanssa muuttuvat, eli samalla tarvitaan niin sanottua kulttuuri muutosta. Kaikki menettelytavat, prosessit ja ohjeet ovat päivitettävä, jolloin työvoimalla on vastustusta näiden muutoksien hyväksymistä kohtaan. (Al-Ashaab et. al. 2019, s. 26)

2.1.4 Standardit malliperusteisessa tuotemäärittelyssä

Standardi on yhdenmukainen dokumentti, joka sisältää suosituksia, ohjeita tai vaatimuksia tietyn aiheen osalta. Se toimii tärkeänä työkaluna ammattilaisille ja organisaatioille yhdenmukaisuuden ja laadunvarmistuksen takaamiseksi. Tarkka soveltaminen voi parantaa tuotteiden ja palveluiden laatua, tehokkuutta ja turvallisuutta, ja lisätä luottamusta asiakkaiden ja sidosryhmien keskuudessa. (SFS n.d.)

Nykyiset standardit malliperusteiselle tuotemäärittelylle liittyvät pääasiassa PMI-tietojen käsittelyyn ja tiedonhallintaan. Tärkein näistä on ISO 16972, joka keskittyy malliperusteisen tuotemäärittelyn ja siirtymävaiheen käsittelyyn, kun liikutaan 2D-piirustuksista

kohti pelkkää 3D-mallia. Muut standardit toimivat pääosin itsenäisesti 2D-piirrustuksien kanssa, mutta nyt myös tukevat malliperusteista tuotemäärittelyä.

SFS-ISO 16972 (Tekninen tuotedokumentointi. Digitaalista tuotemäärittelytietoa koskevat käytännöt) standardi korostaa digitaalisen tuotemäärittelytiedon eli data-aineiston, laadintaa, muuttamista ja esittämistä. Se tarjoaa ohjeistuksen mm. data-aineiston hallintaan, suunnittelumallin vaatimuksiin sekä tuotemäärittelytietoa koskeviin yleisiin vaatimuksiin. Lisäksi standardi huomioi tekstimerkinnot, erityismerkinnät, mallin arvot, mitat sekä hitsauksen ja pinnan ominaisuudet. Standardin soveltaminen CAD-järjestelmien yhteydessä mahdollistaa edistyneempien mallinnus- ja merkintäkäytäntöjen kehittämisen. (SFS-ISO 16972:2021, s. 1–7)

Standardissa ei käsitelty ohjeita, mutta sisälsi joitain hyviä periaatteita ja tapoja, joita mahdollisesti voisi soveltaa. Mutta tässä työssä ei niinkään tutkita kuinka hyvän työohjeen saa tehtyä vaan onko mahdollista edes luoda ohje samaan suunnittelun 3D-malliin käytettäväksi.

Standardi ei vaikuttanut esittävän paljoo rajoitteita ohjeiden laatimiseen muuta kuin oikeiden annotaatioiden käyttö ja näkymät pitää olla selkeitä. Eri tavalla lisätyt annotaatiot saattavat vaikuttaa koneluettavuuteen. Hyvänä tietona tuli, että lisägeometrian käyttö on standardia noudattaen myös sallittua. Tätä voitaisiin mahdollisesti käyttää havainnoimaan työkaluja, henkilöitä tai alueita ohjeessa.

2.2 Tiedonhallinta ja esittäminen

Yrityksen tiedonhallinnan ja tiedon esittämisen merkitys on korvaamaton. Puutteet näissä seikoissa voivat johtaa merkittäviin ongelmiin. MBD-mallin tiedonsiirrossa esimerkiksi tiedon koneluettavuuden ylläpitäminen on olennaisen tärkeää, jos käytetään automatisoituja prosesseja. Tässä työssä emme kuitenkaan keskity tuohon näkökulmaan.

Sen sijaan tarkastelemme seuraavaksi ohjeiden pysyvyyttä tallentaessa 3D-malli eri tallennusmuotoihin, nykyisiä käytäntöjä tiedonhallinnassa, tapoja miten 3D-malli voitaisiin esittää työtehtävissä sekä miten tiedonhallintajärjestelmät liittyvät asiaan.

2.2.1 Tiedonsiirtoformaattit

Tiedoston tallennusmuoto määrittelee rakenteen, miten tieto on tallennettu. Yleensä 3D-mallinnuksessa pysytään alkuperäisessä mallinnus ohjelman muodossa eli natiivi muodossa. Kuitenkin tarve tiedostoformaatin muuttamiseen voisi tulla esimerkiksi yrityksen halutessa vaihtaa CAD ohjelmistoa tai asiakas haluaa eri tiedostoformaattissa 3D-mallin.

Yksi suosittu tiedostoformaatti on STEP (Standard for the Exchange of Product Data), joka on standardisoitu tiedonsiirtoformaatti (ISO 10303). Tämä tiedostoformaatti kehitettiin 1980-luvulla parantamaan tiedostojen yhteensopivuutta eri ohjelmistojen välillä. STEP-tiedostot ylläpitävät korkeaa tarkkuutta, lukevat ja tallentavat 3D-mallin kokonaisuudessaan, ja mahdollistavat tiedoston muokkaamisen myöhemmin. Ne ovat hyvä valinta tarkkojen 3D-mallien tarpeisiin, esimerkiksi koneistuksessa ja 3D-tulostuksessa. STEP-formaatin vahvuuksia ovat tarkkuus ja yhteensopivuus. STEP-tiedostot eivät kuitenkaan ole tallennustehokkaita ja ne vievät enemmän tilaa kuin useimmat muut 3D-malliformaatit. Ne eivät myöskään tallenna mallin materiaalia, tekstuuria tai valaistusta. (O'Connell 2022)

Tiedostomuodolla on väliä koneluettavuuteen. Tämä korostuu, kun 3D-mallin geometriaa pystytään käyttämään työstörajotien tuottamiseen (Henell et al. 2021, s. 33). Tätä tarkoitusta varten käytetään ohjelmistoja, jotka tunnetaan CAM-ohjelmistoiksi, joilla voidaan ohjata esimerkiksi CNC-koneita. Näiden ohjelmistojen pitäisi kyetä automaattisesti lukemaan ja tulkimaan kappaletta koskevat annotaatiot (Henell et al. 2021, s. 9–10). CAM-ohjelmat hyödyntävät CAD-ohjelmistojen luomia natiiveja sekä neutraaleja tiedostoja (Henell et al. 2021, s. 42). Tässä neutraali tiedostomuodoilla tarkoitetaan yleisiä, ei kaupallisia tiedostomuotoja. Seuraavassa kuvassa 7 esitetään joitakin CAM-ohjelmistojen kanssa yhteensopivia tiedostomuotoja sekä niihin kuuluva aikaisemmin mainittu STEP-tiedonsiirtoformaatti.

Tiedostoformaatti	Päätte	Tiedostomuoto
CAD-formaatti (natiivi)	SLDPRT, PRT, CATpart, jne.	Masterdata
STEP AP242 (neutraali)	STP	Siirtoformaatti, toleranssimalli
3D PDF (neutraali)	PDF	Tesseloitu geometria

Kuva 7. Natiiveja ja neutraaleja tiedonsiirtoformaatteja. (Henell et al. 2021, s. 42)

Kuvassa mainitulla tesseloitulla geometrialla tarkoitetaan geometriaa, joka on niin sanottu tiivistetty ja tämän jälkeen renderöity takaisin tarkaksi. Tarkemmin sanottuna tesselointi on graafinen prosessi, joka muuntaa matalan yksityiskohdan 3D-mallit korkean yksityiskohdan primitiiveiksi grafiikkaprosessorissa (Graphics Processing Unit, GPU), ja kamalla korkean tason pinnat pienemmiksi, renderöintiin sopiviksi rakenteiksi (Batchelor et al. 2020). Tesselointi säästää muistia ja mahdollistaa nopea skaalauksen kappaleelle (Batchelor et al. 2020).

Yksi toinen erittäin monikäyttöinen tiedonsiirtoformaatti, joka näkyi myös yllä olevassa kuvassa, on 3D-PDF (Portable Document Format, PDF), joka juontaa juurensa laajalle tunnettuun Adobe:n kehittämään PDF-tiedostoformaattiin. PDF sisältää yleisesti tekstiä

ja kuvia, ja 3D-PDF laajentaa tätä mahdollisuutta sisältäen myös 3D-mallien ja PMI-tietojen esittämisen. Lisäksi 3D-PDF-tiedostoon on mahdollista liittää muita liitetiedostoja, kuten esimerkiksi 3D-malli alkuperäisessä muodossaan eli natiivissa muodossa, mitauspöytäkirja (xls- tai PDF-muodossa) sekä valmistusohjeistus (PDF- tai docx-muodossa). (Laaksonen et al. 2016, s. 7–8)

Myös on olemassa näiden lisäksi kaupallisia tiedonsiirtoformaatteja, yleisimmät kaupalliset tiedonsiirtoformaatit ovat kuvassa 8. (Henell et al. 2021, s. 42)

Tiedostoformaatti	Pääte	Tiedostomuoto
JT	JT	Tesseloitu siirtoformaatti, toleranssimalli, Siemens
Composer	smg	Tesseloitu, Dassault
Creo View	PVZ	Tesseloitu, PTC

Kuva 8. Kaupallisten toimijoiden tiedonsiirtoformaatteja. (Henell et al. 2021, s. 42)

Tiedonsiirtoformaatteja on monia muitakin, tässä on vain muutamia yleisempiä toimijoita, kuvasta näkee myös kyseisen kaupallisen toimijan sarakkeesta ”Tiedostomuoto”.

2.2.2 3D-mallin katselu päätelaitteella

Mallipohjaisen tiedon tarkasteluun voidaan käyttää erilaisia päätelaitteita. Matkapuhelin on yksi mahdollinen laite, mutta sen näyttökoko voi olla rajoittava tekijä. Tietyissä toiminnoissa, kuten esimerkiksi tietyn komponentin nimikekoodin tarkistamisessa, se saattaa kuitenkin olla riittävä. (Henell et al. 2021, s. 43)

Tabletti on toinen yleinen laite, jota voidaan hyödyntää tiedon tarkastelussa. Se on usein kokeiltu ensimmäisenä tuotannon päätelaitteena sen liikuteltavuuden vuoksi. Tabletin haasteena ovat kuitenkin sen kestävyys ja käytettävyys. Jos tuotannossa käsitellään öljyisiä tai muuten likaisia komponentteja, kosketusnäyttö saattaa olla nopeasti käyttökelvoton. (Henell et al. 2021, s. 43)

Kannettava tietokone on myös yksi vaihtoehto. Se on usein kustannustehokas, mutta sen pieni näyttö saattaa heikentää käytettävyttä. Kannettava tietokone soveltuu hyvin asennustyökohteisiin, kuten maastoon tai ulkomaille, etenkin jos ohjelmien käyttäminen hiirellä on tarpeellista. (Henell et al. 2021, s. 43)

Näyttö tai televisio voi olla erityisen hyödyllinen tehtaalla tapahtuvassa asennustyössä. Suuret näytöt tarjoavat laajan näkymän valmistettavaan kokonaisuuteen useammankin metrin etäisyydeltä. Langaton näppäimistö ja hiiri, jotka on liitetty tietokoneeseen, mahdollistavat koneen ohjauksen kauempaa työpisteellä. (Henell et al. 2021, s. 43)

Erlaisia laajennetun todellisuuden tekniikoita, kuten lisätty todellisuus tai virtuaalitodellisuus, voidaan käyttää suunnitelman tarkastamiseen, kokoonpanoprosessin opettamiseen tai tuotteen käyttöön opettamiseen ennen sen valmistumista. Suunnittelun tarkastamiseen riittää usein suoraan 3D-CAD-mallista käännetty suunnittelumalli. Sen sijaan kokoonpanoprosessin ja huoltotoiminnan opettamiseen tuotemalli täytyy valmistella ja toiminnot määritellä ja koodata virtuaalitodellisuusmalliin. Koulutus- ja käyttöopastusmallin tuottaminen on haastavaa ja edellyttää todennäköisesti ohjelmointia tarvittavien toimintojen tuottamiseksi. (Henell et al. 2021, s. 43)

Jos ohjeet saataisiin muodostettua MBD-malliin, niin mahdollisesti ohjetta voisi tarkastella lisätyssä todellisuudessa (Augmented Reality, AR) tai virtuaalisessa todellisuudessa (Virtual Reality, VR) vain kääntämällä 3D-CAD-malli sopivaan AR/VR muotoon. Tämä voisi ratkaista myös likaisten ja hankalien ympäristöjen ongelman, näyttöä ei tarvitsi käyttää vaan laseja, josta näkisi MBD-mallin.

2.2.3 Nykyinen käytäntö

Suomen valmistavassa teollisuudessa mallipohjaisen tuotemäärittelyn käyttöönotto on vielä varhaisessa vaiheessa. Valmistavan teollisuuden piiriin kuuluvista yrityksistä varovasti arvioiden vain 10–20 prosenttia on siirtynyt kokonaisvaltaisesti mallipohjaiseen tuotemäärittelyyn, arvioi asiantuntija Jukka-Pekka Rapinoja (Rapinoja 2022b).

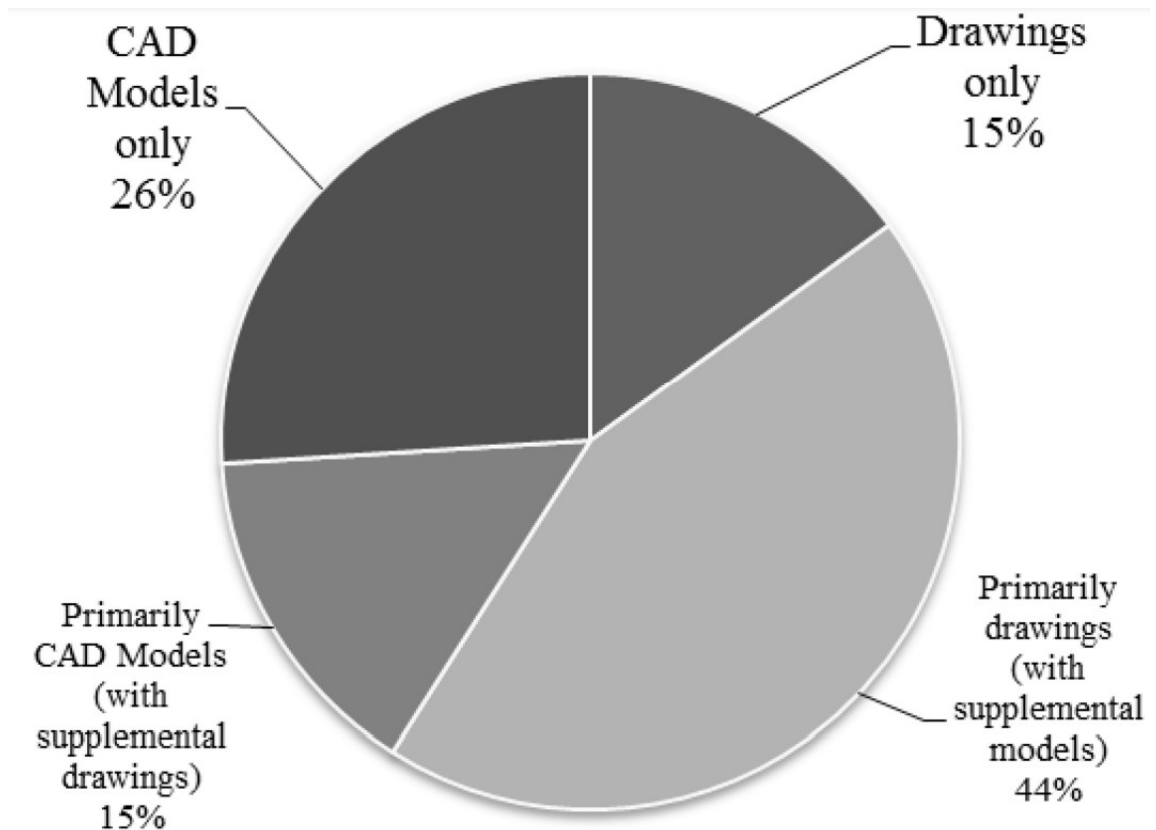
Edelläkävijöinä mallipohjaisessa tuotemäärittelyssä ovat ajoneuvo- ja lentokone-teollisuus, jotka ovat käyttäneet MBD-tekniikoita jo pitkään. MBD:n laajempi leviäminen teollisuudessa vaatii kuitenkin rohkeita edelläkävijöitä, jotka ovat valmiita hyödyntämään uutta tekniikkaa. (Rapinoja 2022b)

Teollisuuden näkemyksiä MBD:stä on selvitetty tutkimuksissa ja kyselyissä. Niiden tulokset antavat tarkemman kuvan siitä, kuinka suuri osa teollisuudesta on valmis ottamaan käyttöön MBD:n ja miten se suhtautuu mallipohjaiseen tuotemäärittelyyn. Kattavana tutkimuksena on Ruemlerin et. al. tutkimus ”Promoting Model-based Definition to Establish a Complete Product Definition”.

Kyselyssä selvitettiin, miten 3D-malleja käytetään eri teollisuudenaloilla ja missä vaiheessa 3D-malleja käytetään piirustusten sijaan. Kyselyn vastaajista 38 % työskenteli yrityksissä, joissa on yli 500 työntekijää. Eniten vastaajia (86 %) oli Yhdysvalloista, joista suurin osa (75 %) sijaitti maan keskiosissa. Vastaajia oli 37 tutkimuksessa. Vastaajat käyttivät myös kyselyn mukaan malleja monipuolisesti prosesseissaan ja vastaukset jakaantuivat melko tasaisesti useiden vaihtoehtojen kesken, koordinaatiomittauskone

(Coordinate-measuring machine, CMM) ja tarkistusohjelmat saivat eniten valintoja. (Ruempler et. al. 2017, s. 8–9)

Vastaajia pyydettiin kertomaan, miten he saivat tietoja asiakkailta. Suurin osa vastaajista (44 %) ilmoitti saavansa ensisijaisesti piirustuksia, joita täydennetään 3D-malleilla. 3D-mallit ilman piirustuksia saivat 26 % vastauksista. Vain piirustukset ja ensisijaisena 3D-mallit, joita täydennetään piirustuksilla, saivat kumpikin 15 prosenttia vastauksista. (Ruempler et. al. 2017, s. 8) Kuvassa 9 näkyy kyseiset tulokset viipalekaaviona.



Kuva 9. Tiedonsiirtomuodot asiakkaille englanniksi. (Ruempler et. al. 2017, s. 15)

Kuten nähdään, että piirustukset olivat edelleen merkittävässä roolissa tietojen siirrossa, sillä 74 % vastaajista käytti piirustuksia jollain tavalla. Vaikka 85 % vastaajista käytti 3D-malleja tietojen siirrossa, vain 41 % vastaajista käytti 3D-mallia ainoana tai ensisijaisena tietolähteenä. (Ruempler et. al. 2017, s. 8)

Kysyttäessä, pystyisivätkö vastaajat valmistamaan osan spesifikaation mukaisesti vain 3D-mallin perusteella ilman piirustusta, 36 % vastasi voivansa tehdä sen ilman muita ehtoja ja 4 % vastasi, ettei pystyisi. Muut 60 % vastasivat voivansa valmistaa osan spesifikaation mukaisesti, mutta heistä 20 % olisi tutkittava 3D-mallia manuaalisesti mittojen saamiseksi, ja loput 40 % vastaajista ilmoitti tarvitsevansa lisätietoja asiakkaalta. (Ruempler et. al. 2017, s. 8–9)

Tietojen saannin muodosta kysyttäessä, alkuperäinen 3D-malli ja STEP-tiedonsiirtoformaatti saivat eniten vastauksia. Kun vastaajilta kysyttiin, mikä tiedonmuoto sopii parhaiten heidän prosesseihinsa/tarpeisiinsa, alkuperäinen 3D-malli sai eniten valintoja (56 %). Seuraavaksi eniten vastauksia sai STEP-tiedonsiirtoformaatti (22 %). (Ruemberler et. al. 2017, s. 9)

Tutkimus vaikuttaa olevan hyvin lähellä Rapinojan arviota, vaikka koskikin muutakin kuin Suomea. Myös Rapinoja teki kyselyn. Kysyttäessä yritysten edustajilta webinaarissa, voisivatko he harkita MBD:n käyttöä, 50 prosenttia vastasi ehkä, ja 22 prosenttia sanoi käyttävänsä sitä (Rapinoja 2022b).

2.2.4 Tiedonhallinta järjestelmät

Tiedonhallintaan on olemassa monia järjestelmiä, mutta erityisesti 3D-mallien osalta keskeisiä järjestelmiä ovat PDM (Product Data Management) ja PLM (Product Lifecycle Management) -järjestelmät.

PDM-järjestelmät auttavat insinööriryhmiä järjestämään tuotesuunnittelutiedostonsa tarjoamalla yhtenäisen tiedon lähteen, joka sisältää luotettavan versionhallinnan, muutosten hallinnan ja yhteistyöalustan. Tämä parantaa tehokkuutta ja vähentää virheitä, kun kaikki tiimin jäsenet työskentelevät samojen, ajan tasalla olevien tiedostojen kanssa. PDM keskittyy erityisesti CAD-tietojen hallintaan. (Solid Solutions 2022)

PLM-järjestelmät puolestaan kattavat koko tuotteen elinkaaren ja jakaa laajemman tuotetietojoukon kuin PDM-järjestelmä. PLM-järjestelmät integroivat erilaiset tiedot ja prosessit yrityksen sisällä, kuten tuotevaatimukset, materiaaliluettelot, projektisuunnitelmat, ongelmaraportoinnin ja suunnittelun hyväksynyt, sekä edistää tiedon virtausta eri toimintojen välillä. (Solid Solutions 2022)

Kirjallisuutta tarkastellessa vaikuttaa siltä, ettei MBD korvaa PDM- tai PLM-järjestelmiä, vaan pikemminkin täydentää niitä ja paketoii osan tiedoista. Se ei tarjoa niin laajasti versiohallintaa tai muutostenhallintaa kuten PDM, eikä se integroi koko tuotteen elinkaaren tietoja kuten PLM. Sen sijaan, MBD yhdistää geometrian ja tekniset määrittelyt samassa digitaalisessa ympäristössä, mikä voi edistää suunnittelun, valmistuksen ja tuotteen ylläpidon tehokkuutta.

Eli voitaisiin sanoa, että MBD ottaa jotain vastuuta pois PDM-järjestelmiltä ja hieman PLM-järjestelmiltä. Seuraavaksi tarkastellaan ohjeiden vaatimuksia selvittääksemme, voisiko MBD-malli sisällyttää ohjeet ottaen vastuuta pois ohjeiden dokumentoinnista, hallinnasta ja esittämisestä.

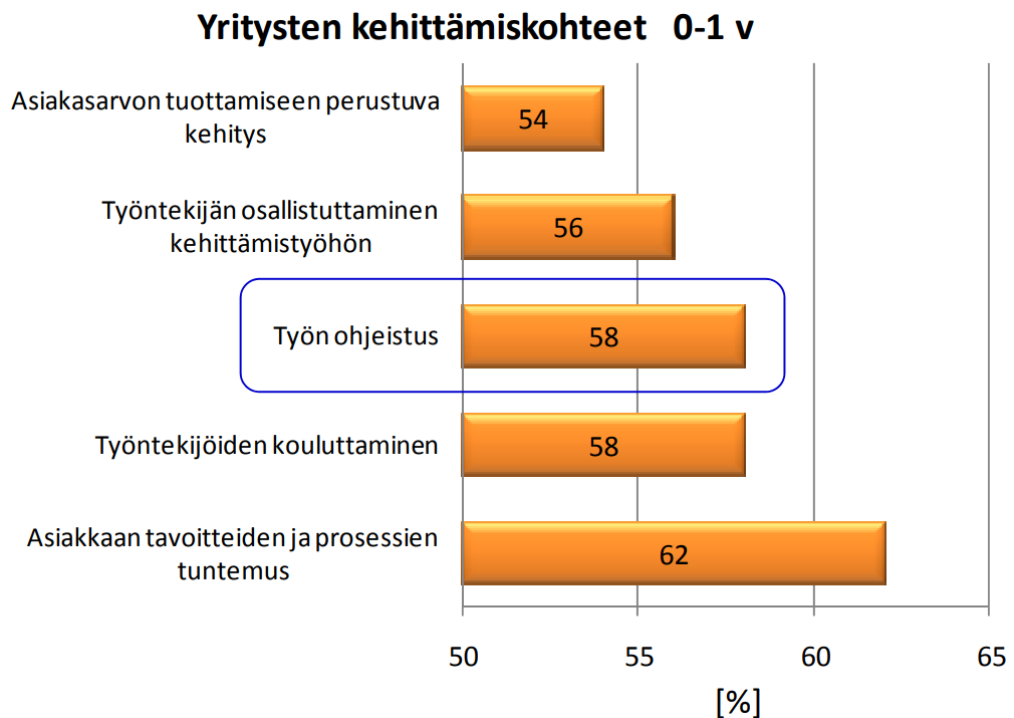
3. OHJEET

Ohjeet ovat tärkeä kommunikoinnin väline, ne ovat olennaisia kaikille yritysten työntekijöille, sekä asiakkaille ja alihankkijoille. Kuten insinöörien piirustukset 3D-malleista suurin osa ohjeista on edelleen paperilla tai vastaavalla tavalla esitettyinä. Kun tutkinnan ja testaamisen alla on MBD ja siinä varsinkin PMI-tietojen lisääminen, miksi ei samalla tutkitaisi muunkin tiedon liittämistä 3D-malliin kuten tässä lähdetään tutkimaan.

Tulevissa kappaleissa pyrimme selvittämään, onko olemassa kiinnostusta ohjeiden kehittämiseen, mitkä ovat yleisimmät pakolliset vaatimukset ohjeistuksille, sekä tutkimaan ja esittämään mahdollisen menetelmän, jolla ohjeistus voitaisiin muodostaa mallipohjaisesti eli integroituna 3D-malliin.

3.1 Työohjeet yritysten kehittämiskohteena

Suomalaisen valmistavan teollisuuden tärkeänä kehittämiskohteena ovat työohjeet. ”Uuden valmistavan teollisuuden tutkimusagenda” -projektissa (FOFFI) tehtiin kyselytutkimus 2010, mihin osallistui suomalaisista yrityksistä 250 alan asiantuntijaa. Kokoonpanoa ja valmistusta ydinliiketoimintana pitivät 85 % vastanneista yrityksistä. (Haag et. al 2011, s. 13–14) Kuvassa 10 näkyy kyselytutkimuksen tulokset.



Kuva 10. Työn ohjeistuksen tärkeys kehittämiskohteena. (Haag et. al 2011, s.13)

Tuloksena nähtiin, että vastaajista 58 prosenttia piti työn ohjeistusta kriittisenä kehittämiskohteena vuoden sisällä (Haag et. al 2011, s. 13–14). Työntekijöiden kouluttaminen sai kyselyssä yhtä paljon ääniä (58 %) ja ainoastaan asiakkaiden tavoitteiden ja prosessien tuntemus sai enemmän ääniä (62 %).

3.2 Ohjeet EU:n vaatimusten mukaisesti

Koneiden tulee olla EU:n (Euroopan Unionin) konedirektiivin (2006/42/EY) vaatimusten mukaisia, mikä on Suomessa pantu kansallisesti toimeen valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta (400/2008), joka on tunnettu myös nimellä koneasetus. Direktiivin vaatimukset ovat samat koko Euroopan unionin alueella. Konedirektiivi vaatii toimittamaan asianmukaiset käyttö- ja huolto-ohjeet. Suomessa ohjeet tulisi olla suomen ja ruotsin kielisenä. (Tukes n.d)

Tämä pysyy yhä relevanttina lähitulevaisuudessa, kun EU:ssa konedirektiivi muutetaan koneasetukseksi. Tällä pyritään parantamaan EU-kansalaisten suojaa asettamalla koneasetus sitovaksi säädökseksi kaikille EU-valtioille. Koneasetus, jonka pitäisi astua voimaan kesällä 2023, tuo ohjeistuksiin muutoksen: Neuvoston neuvotteluvaltuutuksen ansiosta sähköiset ja paperiset asiakirjat saavat tasapuolisen kohtelun. Lisäksi neuvoston ehdotuksen mukaan valmistajien tulee toimittaa ostajalle pyydettyä paperimuotoiset käyttöohjeet maksutta kuuden kuukauden kuluessa tuotteen ostosta. (Euroopan unionin neuvosto 2022)

Konedirektiivissä on vaatimukset ohjeiden sisältöön, näitä kohtia on 22 kaikkiaan ja koko lista direktiivin vaatimuksista löytyy liitteestä A. MBD-mallia ajatellen, useimmat konedirektiivin vaatimat ohjetiedot voitaisiin esittää yleisellä annotaatiotasolla. Mutta ongelmaksi saattaisi tulla liitettävät dokumentit, kuten piirustukset ja kaaviot, joita ei voida teksti muodossa pelkästään esittää yleisellä annotaatiotasolla.

Konedirektiivissä kohdassa e) kerrotaan, että ohjeissa pitää olla koneen käytön, huollon, korjauksen ja tarkistuksen kannalta tarpeelliset piirustukset, kaaviot, kuvaukset ja selitykset. Myös kohdassa i) esitetään, että ohjeissa pitää olla koneen kokoonpano-, asennus- ja kytkentäohjeet, jotka sisältävät piirustukset, kaaviot ja kiinnitysvälineiden tiedot. (Konedirektiivi 2006/42/EY, s. 49) Näiden dokumenttien esittämiseksi vaihtoehtoja voisivat olla linkitys tai kuvien käyttö. Linkittämistä ei tässä työssä ollut niinkään tarkoitus tutkia, koska haluttiin liittää kaikki tieto suoraan 3D-malliin. Kuitenkin on mainittava, että esimerkiksi 3D-PDF:n avulla se olisi mahdollista.

Kaavioiden ja piirustusten esittäminen kuvina CAD-sovelluksissa voi olla haasteellista, sillä niiden ensisijainen tarkoitus ei ole kuvien liittäminen. Useimmissa CAD-ohjelmissa

kuvia on mahdollista lisätä, mutta ne liitetään yleensä mallin omiin tasoihin. Tämä tarkoittaa, että näkymien asettaminen ohjeille vaatii joka kerta erillisen määrittelyn, sillä kuvat seuraavat tasojen liikkeitä eivätkä ole näyttöä vasten. Myös näiden lisäinformaatio kuvien lisääminen saattaa tehdä mallista monimutkaisemman ja sekavamman hallita. Välttääkseen tällaista sekavuutta, CAD-ohjelman tulisi tarjota selkeitä jaotteluita sekä suodatus ja rajaus mahdollisuuksia.

3.3 Ohjeiden laatiminen MBD-malliin Solidworks ohjelmalla

Tässä tarkoituksena on tutkia Solidworks ohjelman työkaluja, jotka voisivat olla sopivia ohjeiden laatimiseen. Solidworksin MBD-työkalu mahdollistaa mitoituksen, toleranssien määrittelyn, peruselementtien ja materiaalilistojen esittämisen sekä muiden annotaatioiden lisäämisen ja julkaisuraporttien tekemisen (Solidworks n.d).

Ohjeiden laatiminen tulisi alkaa hyvin valmiista tuotteen 3D-mallista, että ohjeesta saataisiin selkeä ja ymmärrettävä. Myös apugeometrioista saattaisi olla hyötyä esimerkiksi työkalujen ja henkilöiden esittämiseen. Nykyinen standardi ISO 16972, joka käsittelee MBD:tä hyväksyy lisägeometrian käytön, kunhan se ei häiritse 3D-mallin toimivuutta.

Ennen kuin aloitetaan, olisi hyvä vaihtaa Solidworksin asetus annotaatioiden esittämiseen ei skaalautuvaksi, jotta annotaatiot eivät muutu kesken katselun natiivissa tai eri muodoissa tallennettuna. Yleensä 3D-mallia tehdessä skaalaus on hyvä ominaisuus, mutta nyt ei haluta näkymien muuttuvan kesken tarkastelua. (Solidworks 2017a)

Tämä asetuksien muutos tehdään seuraavasti:

1. Klikataan hiiren oikealla "Annotations" kohtaa piirrepuusta ja valitaan "Details..." (tällöin avautuu uusi näkymä "Annotation Properties")
2. "Annotation Properties" näkymästä klikataan asetus "Always display text at the same size" pois käytöstä.
3. Valitaan saman kohdan alta tekstiin "Text scale:" perästä sopiva tekstin skaalaus koko käytettäväksi ohjeille. Vaihtoehtoja on monia (seuraavassa esimerkissä valitaan 3:2) ja painetaan "Apply". (Solidworks 2017a)

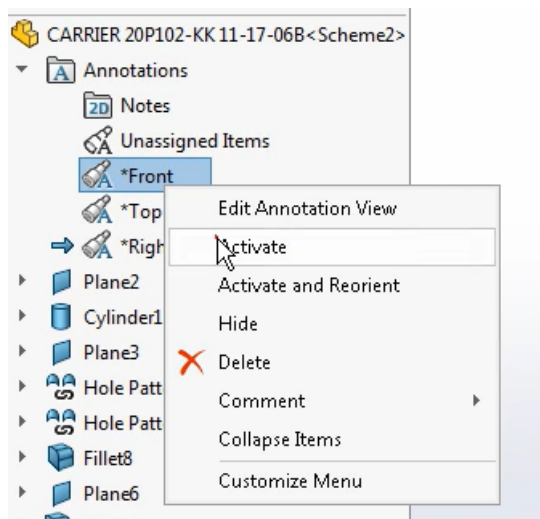
Nyt voidaan aloittaa ohjeiden teko järkevästi, ettei ohjeiden näkymät muutu kesken ohjeiden tekoa tai tämän jälkeen tarkastellessa ei halutulla tavalla.

3.3.1 3D-views ominaisuuden käyttäminen ohjeiden rakenteena

Aloitetaan pohdinnalla ohjeiden rakenteesta. Ohjeiden luomisessa voisimme käyttää hyödyksemme Solidworks-ohjelman ominaisuutta nimeltä 3D-views, joka on muutenkin hyödyllinen työkalu 3D-mallien eri näkymien luomiseen ja tarkasteluun. Näkymiä voidaan luoda niin monta kuin halutaan (Solidworks 2017a).

3D-viewsin tekeminen alkaa valitsemalla mitä annotaatio näkymää halutaan käyttää. Ohjeiden kannalta olisi hyvä, että käytettäisiin tyhjää "Annotations" näkymää missä ei olisi muuta kuin 3D-malli näkymässä alunperin, eikä esimerkiksi ylimääräisiä PMI-tietoja.

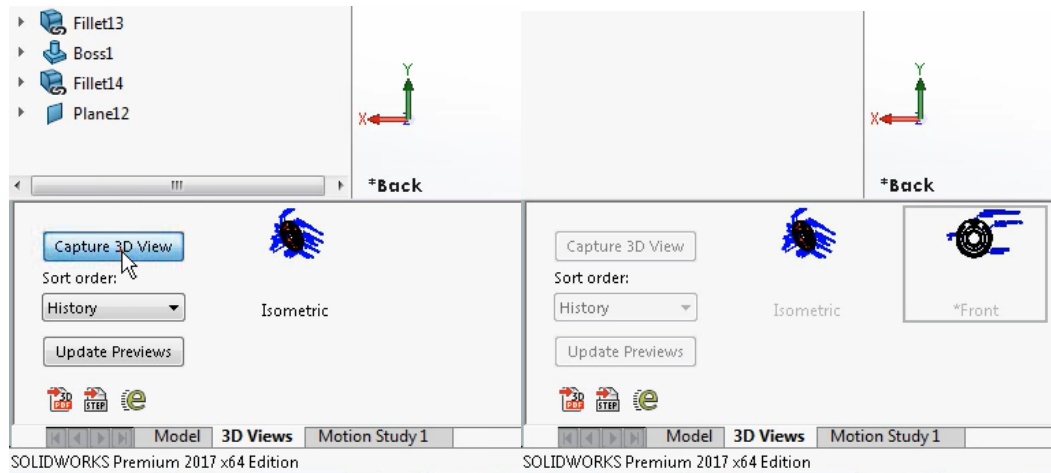
Annotaatio näkymän valinta tehdään painamalla hiiren oikeata painiketta piirrepuun "Annotations"-kansion päällä ja valitsemalla valikosta "Activate" (Solidworks 2017a). Kuvassa 11 on esimerkki, miten tämä tehdään.



Kuva 11. Annotaatio näkymän aktivointi. (Solidworks 2017a)

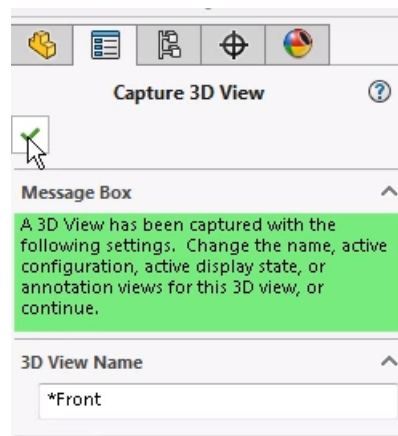
Kun toiminto on aktivoitu, voi asetella 3D-mallin haluttuun asentoon. Halutessa voi valita "Display Styles" -valikosta erilaisen esitystavan, kuten esimerkiksi ääriviivanäkymän. (Solidworks 2017a)

Nyt päästään tallennetaan näkymä painamalla "3D Views" kohdasta olevaa painiketta "Capture 3D View". Tämän jälkeen "Capture 3D View" -näkyä ilmestyy sivupalkkiin ja tallentama näkymä lisätään muiden näkymien joukkoon oikealle. (Solidworks 2017a) Kuvassa 12 on esitetty, mistä kohtaa voi tallentaa näkymän sekä miltä tallennettu näkymä näyttää sen jälkeen, kun tallennus on suoritettu.



Kuva 12. Näkymän tallentaminen ja näkymä tallentamisen jälkeen. (Solidworks 2017a)

Avautuneesta "Capture 3D View" näkymästä tulisi vielä nimetä kyseinen näkymä uudelleen kohdasta "3D View Name" ja tallentaa nimi painamalla vihreää oikeinmerkkiä (Solidworks 2017a). Nimeäminen ja tallennuspainike näkyy kuvasta 13.



Kuva 13. Näkymän nimen muutto ja tallennus. (Solidworks 2017a)

Huomioitavana vielä luettavuuden kannalta on suositeltavaa valita tähän lyhyt ja kuvaava otsikko, joka auttaa ohjeen seuraamista. Numerointi ja kuvaava termi voivat olla hyvä yhdistelmä tässä.

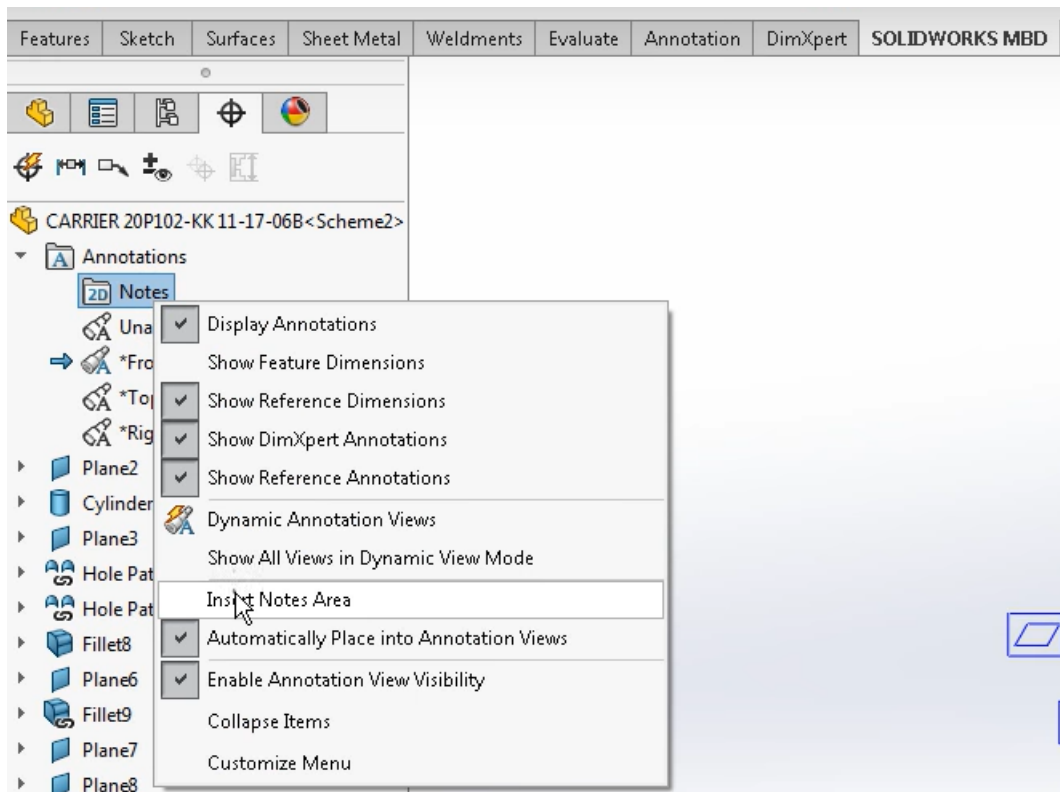
Liian pitkien tekstien käyttö saattaa tehdä ohjeiden otsikoiden seuraamisesta haasteellista, sillä ne eivät välttämättä mahdu yhdelle riville, ja näkymän asettelun muokkaamisen mahdollisuudet ovat rajalliset. Tämä saattaa tehdä digitaalisten ohjeiden käytön hieman haastavammaksi verrattuna perinteisiin paperiohjeisiin.

Näkymän teko on nyt valmis ja seuraavaksi aletaan lisäämään ohjeita 3D-malliin.

3.3.2 Ohjeiden liittäminen hyödyntäen ”Note”-työkalua

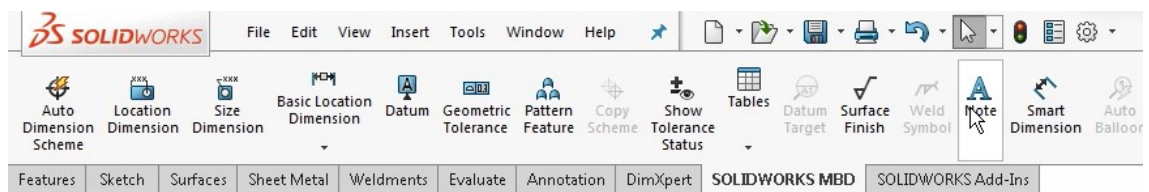
”Note”-työkalu on todennäköisesti paras vaihtoehto ohjeiden laatimiseen 3D-mallin kanssa, sillä sen avulla voidaan lisätä tekstiä malliin. Muiden työkalujen käyttö ei ole niin tarkoituksen mukaista ja mahdollisesti saattaisi vaikuttaa koneluettavuuteen haitallisesti esimerkiksi automaattisten mittauskoneiden toimintaan.

”Note”-merkinnän teko aloitetaan lisäämällä alue merkintää varten. Tämä tehdään painamalla hiiren oikeata painiketta piirrepuun ”Notes” kansion päällä ja valitsemalla valikosta kohta ”Insert Notes Area”. (Solidworks 2017a) Tämä näytetään kuvassa 14.



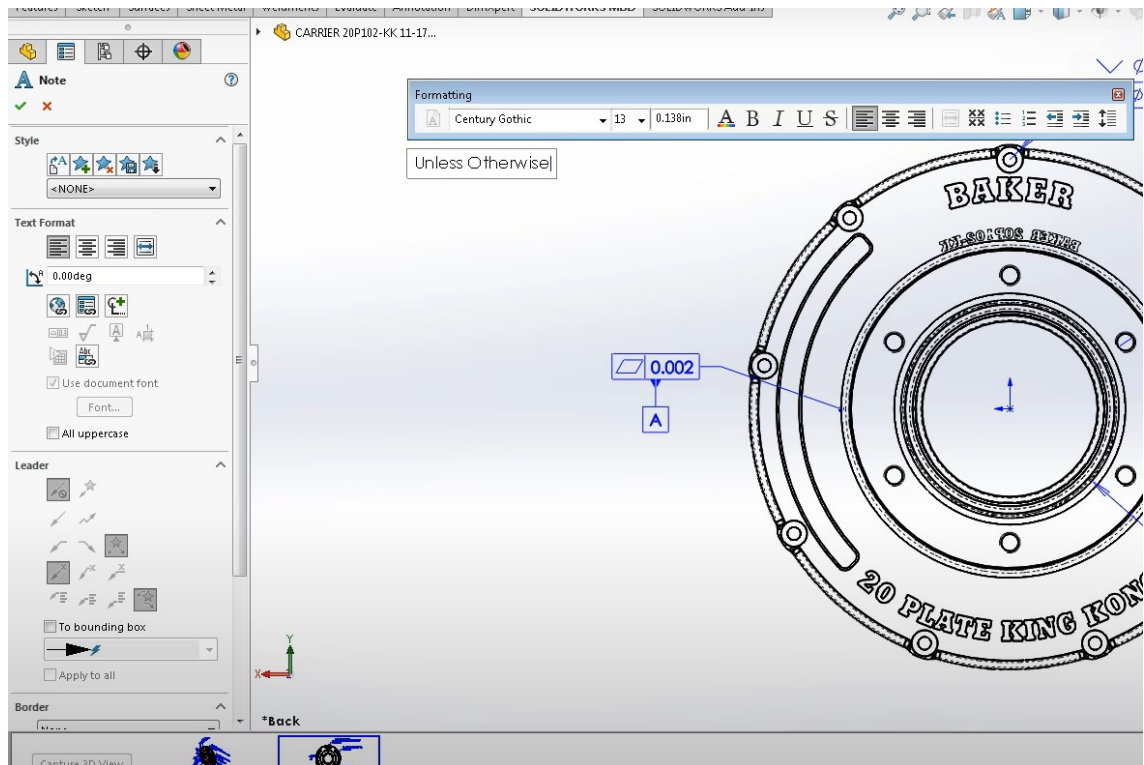
Kuva 14. ”Notes”-alueen lisääminen näkymään. (Solidworks 2017a)

Alueen lisäämisen jälkeen tarvitsee painaa ”Note”-painiketta annotaatioiden tekoon (Solidworks 2017a). Kuvassa 15 näkyy mistä ”Note” painike löytyy.



Kuva 15. ”Note”-annotaation teko painikkeen sijainti. (Solidworks 2017a)

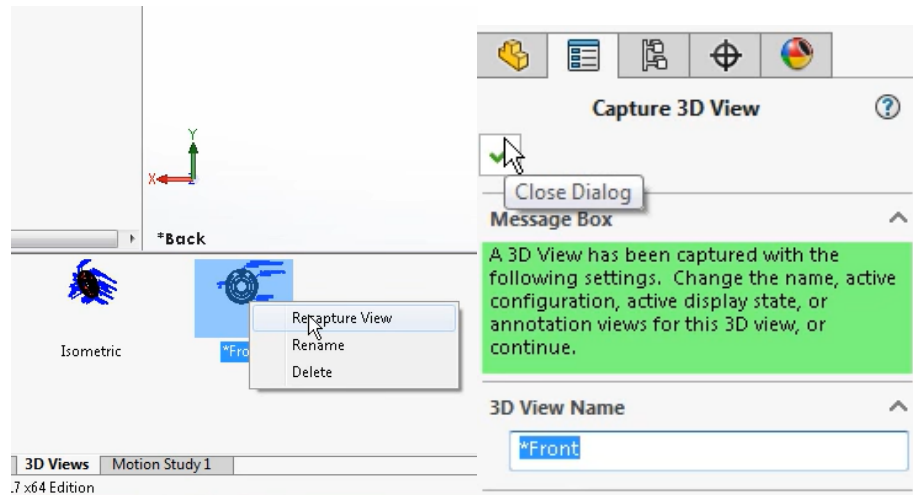
”Note”-painiketta painaessa avautuu näkymä missä voidaan määrittää teksti, tämä näkyy kuvassa 16.



Kuva 16. Näkymä "Note"-painikkeen valitsemisen jälkeen. (Solidworks 2017a)

Tekstin määrittämisen jälkeen pitää tallentaa teksti painamalla vihreää oikeinmerkkiä. Lisätyt "Note"-annotaatioita voidaan valita, siirtää ja editoida. Nämä lisätyt "Note"-annotaatiot pysyvät "litteenä" näytöllä vaikka 3D-mallia pyöritetään. (Solidworks 2017a)

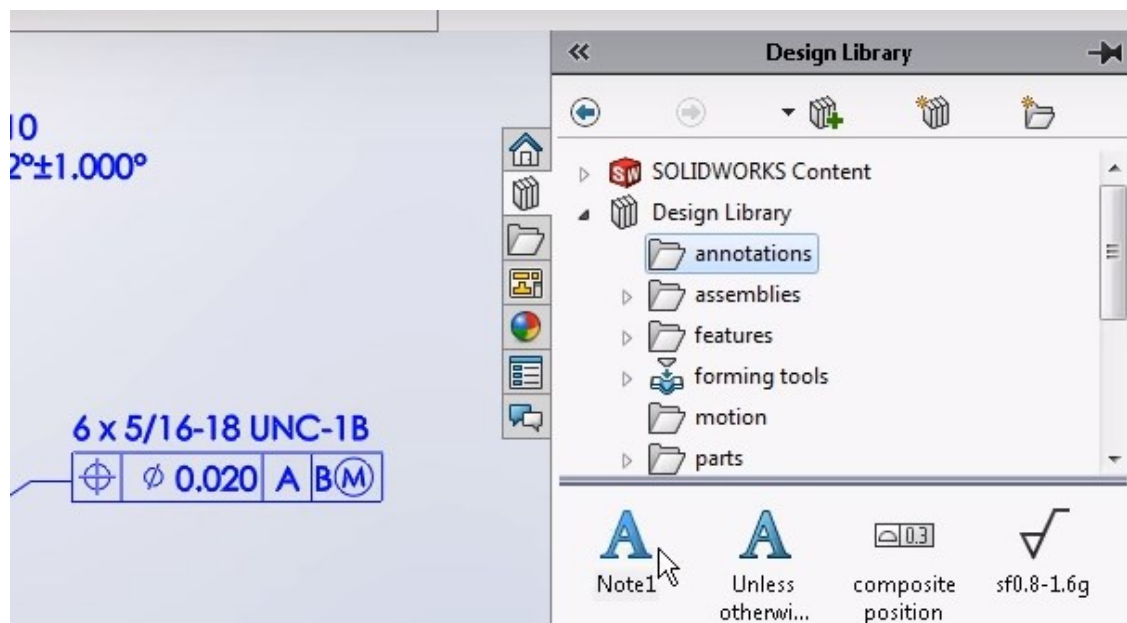
Jotta nämä lisätyt annotaatiot näkyvät oikeissa näkymissä pitää vielä valita kyseinen haluttu näkymä aktiiviseksi ja samaan tapaan kuin aiemmin aktivoitiin annotaatio näkymä aktivoidaan nyt juuri tehty "Notes Area". Tämän jälkeen hiiren oikeata painetaan näkymän päällä ja valitaan valikosta "Recapture View" ja tämän jälkeen tallentaa painamalla vihreää oikeinmerkkiä (Solidworks 2017a). Tämä "Recapture View" esimerkki näkyy kuvassa 17.



Kuva 17. Näkymän päivitys "Note"-annotaation lisäämisen jälkeen. (Solidworks 2017a)

Nyt "Note" on tallennettu tiettyyn näkymään eli ohjetiedon kohta olisi tallennettu ja voitaisiin siirtyä seuraavaan ohje kohtaan ja toistaa tämä niin monta kertaa kuin tarpeen.

Annotaatioita pystyy myös tallentamaan uudelleen käytettäväksi Solidworksin "Design Libraryyn". Aktiiviseen näkymään "raahaamalla" "Design Librarystä" saadaan annotaatiot kyseiseen näkymään näkyville. (Solidworks 2017a) Tällöin pitää muistaa, että näkymälle on asetettu "Notes Area" valmiiksi. Tämä tapa voi vähentää toistoa ja nopeuttaa ohjeiden laatimista. Alla näkyy vielä kuva 18 mistä "Design Library" löytyy.



Kuva 18. "Design Library" sijainti ja mahdollinen annotaatio kansio, josta voi "raahata" näkymiin annotaatioita. (Solidworks 2017a)

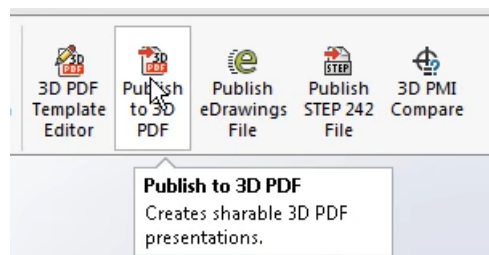
Tällä tavoin tarpeelliset ohjetiedot voitaisiin saada 3D-malliin eli saataisiin malliperusteinen ohje. Seuraavaksi tarkastellaan vielä, miten esittää ja jakaa kyseinen MBD-malli.

3.3.3 Ohjeiden esittäminen ja tallentaminen

Nyt ohjeiden tulisi olla valmiit ja päästään esittämään ja käyttämään ohjeita. Ohjeet voidaan esittää natiivi muodossa eli suoraan CAD-mallissa ”3D viewsin” avulla tai muuttaa eri muotoon. Nämä määritellyt ”3D views” näkymät säilyvät edelleen tarkasteltavissa, kun tiedostoformaatti muunnetaan 3D-PDF-muotoon (Solidworks 2017a). Tämä ominaisuus on hyödyllinen, jos halutaan antaa MBD-mallin asiakkaalle, joka ei käytä samaa CAD-ohjelmaa. Lisäksi, jos asiakkaalla ei ole varaa CAD-ohjelmistoon tai tarvetta muokata mallia, he voivat käyttää tätä katseluohjelmistoa mallin tarkasteluun.

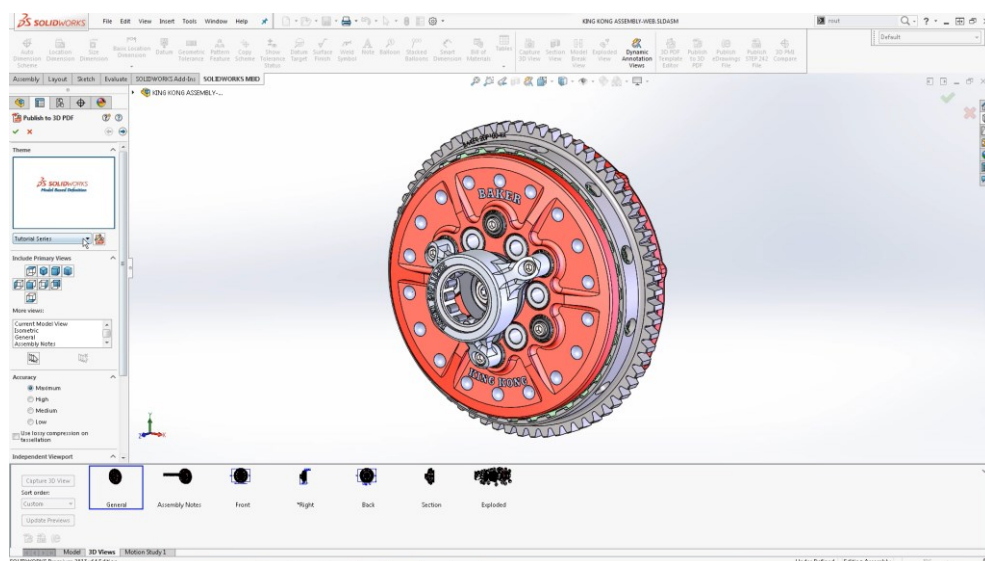
Esitellään vielä lyhyesti, miten tiedonsiirto tapahtuu ja tarkastellaan hieman 3D-PDF, koska sisältää ominaisuuksia, jotka tekevät vielä ohjeiden esittämisen ehkä selkeämpää.

SOLIDWORKS-MBD menu avattuna nähdään näkymä, josta voidaan tallentaa 3D-malli eri muotoihin, tämä näkyy kuvassa 19.



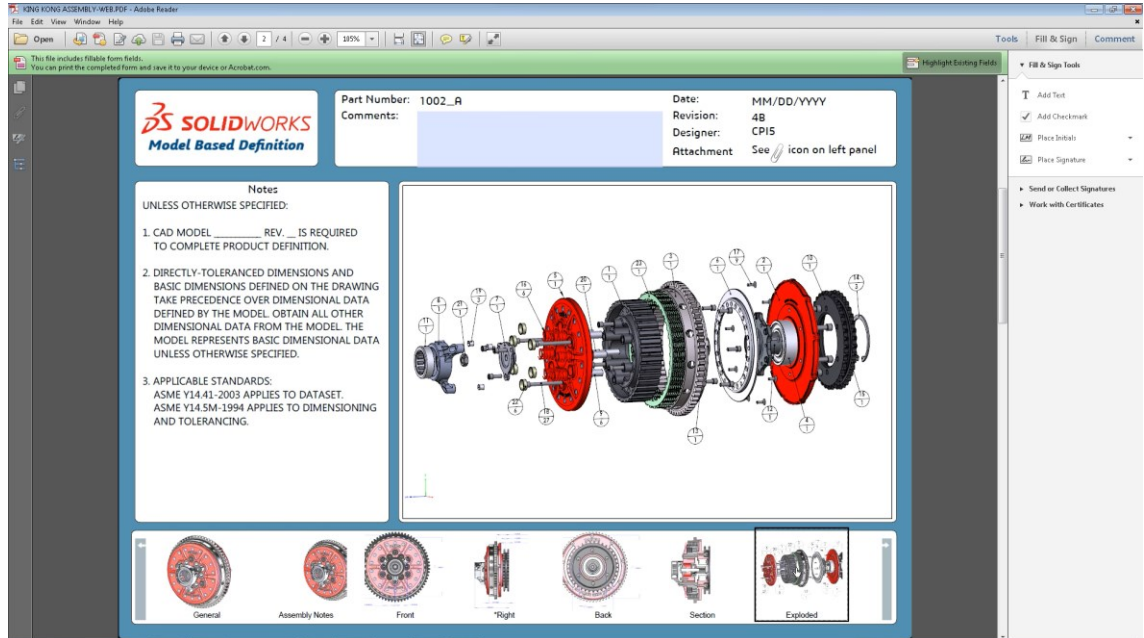
Kuva 19. MBD-mallin tallennusmuotoja. (Solidworks 2017b)

Tallennusmuotoa klikkaamalla avautuu valinnat, jossa voidaan esimerkiksi valita tallennuspaikka, näkymät ja tarkkuus. Tallennusnäkömä 3D-PDF painikkeen valitsemisen jälkeen on esillä kuvassa 20.



Kuva 20. 3D-PDF tallennusnäkömä. (Solidworks 2017b)

3D-PDF valinta asetuksista voidaan valita pohja, johon näkymät tulevat. Tämä voi olla itse luotu tai valmis Solidworksin pohja. (Solidworks 2017b) Lopulta valinnat tehtynä ja tallennettuna vihreästä oikeinmerkistä saadaan haluttu tiedosto. Esimerkki 3D-PDF:stä on alla kuvassa 21.



Kuva 21. 3D-PDF avattuna. (Solidworks 2017b)

Tässä pohjassa voidaan navigoida näkymiä, nähdä sivulta ohjeita ja päästä myös linkattuihin dokumentteihin sekä tehdä kommentteja 3D-PDF näkymään. Näkymä eroaa riippuen, miten 3D-PDF pohja on luotu. (Solidworks 2017b)

4. JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Lyhyt vastaus on, että MBD-malliin voidaan luoda työohje, hyödyntäen CAD-ohjelmistojen yleisiä annotaatiotasoja, muistiinpanotyökaluja sekä näkymiä. Yleisesti CAD-ohjelmistojen, jotka sisältävät MBD-mallin luomisen pitäisi kyetä tähän, kuitenkin käytännön tapauksissa ohjelmistoissa saattaa olla eroja ja vaadittaisiin laajempaa tutkimusta varmistaksemme asian. Solidworks ohjelma vaikutti olevan kykenevä kirjallisuuden esimerkin pohjalta rakentamaan malliperusteinen työohje.

Tarkemmin tarkastellessa itse ohjeistuksen luonti onnistuu kyllä, mutta täydentävien dokumenttien kuten kaavioiden ja piirustuksien esittäminen saattaa luoda haasteita. Kone-direktiivi (2006/42/EY) vaatii ohjeiden sisältävän nämä dokumentit, jos esimerkiksi tuotetta voi olla tarve huoltaa. Joillain CAD-ohjelmistoilla saatetaan pystyä lisäämään nämä dokumentit yleisille annotaatiotasolle kuvina, mutta tämä ei ole välttämättä mahdollista.

Suurin osa CAD-ohjelmistoista kykenee liittämään kuvia 3D-malliin omiin tasoihin, joka voisi olla tapa liittää nämä dokumentit. Mutta tällöin haittana saattaa ilmetä, että tarvitaan tarkempia määrittelyitä näkymiä tehdessä, koska 3D-mallin omat tasot eivät pysy näyttöä vasten vaan liikkuvat 3D-mallin mukana. Lisäksi tämä ei ole välttämättä niin tarkoituksen mukaista, koska voi häiritä muita 3D-malliin liittyviä prosesseja ylimääräisellä tiedolla.

Parempi vaihtoehto voisi olla linkittää vain nämä dokumentit 3D-mallin kanssa, jos yleiselle annotaatiotasolle ei pystyittäisi liittää kuvina. Tutkimuksessa oli tavoitteena pitää koko ohje 3D-mallissa, mutta tällä tavalla kuitenkin malliperustaisuus täytyisi. Linkittämistä voisi tehdä, ainakin 3D-PDF kanssa. Myös 3D-PDF voi asettaa pohjia, jotka voivat tehdä työohjeen rakenteesta parempia.

Kirjallisuudesta lisäksi huomattiin tapa, jolla luoda sisällysluettelo. MBD-malliin luodaan alkuun näkymä tai näkymiä, jossa on otsikot näkymiin ja näkymät vastaavat otsikkotekstiä. Nämä keinot auttavat merkittävästi ohjeen lukemista, mutta ohje MBD-mallissa on rajoitettu. Tutkimusta tarvittaisiin käytettävyydestä käytännön testaamisella, jotta selviäisi kuinka hyvä on todellisuudessa malliperustainen ohje.

Tämän tutkimuksen toinen keskeinen kysymys oli, voidaanko tulevaisuudessa ottamaan käyttöön MBD-mallia ohjeiden kanssa ja kuinka laajasti tätä tapaa mahdollisesti pystyisi hyödyntämään. Tähän vastaaminen on haastavampaa, koska kirjallisuutta tarkastellessa näin ei ole tehty, myöskään malliperusteista tuotemääritystä ei ole laajasti otettu käyttöön vielä. Kysely tutkimuksien perusteella noin 20 % yrityksistä käyttää jollain tavalla malliperusteista tuotemääritystä. Todellisuudessa luultavasti vaaditaan ensin ottaa käyttöön yleinen tapa malliperusteisessa tuotemäärityksessä, PMI-tietojen liittäminen 3D-malliin.

Kuten kirjallisuudessa todettiin, että MBD käyttöönotosta vaaditaan niin sanottua kulttuuri muutosta, joka vaatii kaikkien menettelytapojen, prosessien ja ohjeiden päivytystä, jolloin luonnollisesti työvoimalla on vastustusta näiden muutoksien hyväksymistä kohtaan. Sama pätee hyvin todennäköisesti vielä enemmän ohjeiden liittämiseen, koska ohjeita on pitkään käytetty paperimuotoisina tai esitetty vastaavalla tavalla 2D muodossa. Myös vastustusta voi olla tavan kokeilemisessa, koska ohjeen esittäminen näytöltä voi olla haasteellista likaisissa tai haastavissa ympäristöissä.

Kuitenkin kirjallisuuskatsauksen perusteella paljastui vahva tarve ohjeistuksen kehittämiseksi. Suomessa pidettyyn kyselyyn vastanneista yrityksistä 58 % pitivät työ ohjeistuksen kehittämistä kriittisenä. Jotta käytön laajuudesta saataisiin tarkempaa tietoa, pitäisi myös tutkia tarkemmin etuja mitä ohjeen luominen MBD-malliin toisi. Työssä ei ollut tätä tavoitteena tutkia, mutta huomioon tuli, että parempien ohjeiden tueksi voitaisiin luoda apugeometrioita, jotka havainnollistaisivat esimerkiksi työkaluja tai työskentelypaikkoja. Standardin ISO 16972 mukaan, joka keskittyy malliperusteiseen tuotemääritykseen, mainitaan lisägeometrioiden käytön olevan hyväksyttyä niin kauan kuin se ei häiritse mallin toimivuutta.

Kokonaisuudesta kuitenkin voidaan päätellä, ettei lähitulevaisuudessa tulla todennäköisesti käyttämään mallipohjaisia ohjeita, koska vaativat paljon muutosta, eikä muitakaan olennaiseksi tapoja kuten 3D-mallin käyttö 2D-piirrustuksien sijaan ole otettu käyttöön laajasti. Luultavasti vaaditaan ensin laajempaa MBD käyttöönottoa, sekä paljon jatkotutkimuksia erityyppisille ohjeille sekä ohjelmistoille.

Myöhemmin teknologian ja uusien tapojen kehittyessä, saattaa olla mahdollista siirtyä täysin mallipohjaiseen ympäristöön. Tällöin voitaisiin tarkastella esimerkiksi AR-lasien avulla MBD-mallia, joka voisi ratkaista ongelman, kun näyttö otetaan likaisiin ja haastaviin ympäristöihin. Tämä on kuitenkin vasta potentiaalinen näkymä tulevaisuuteen, joka odottaa vielä teknologian kehittymistä, uusien tapojen käyttöönottoa sekä laajaa tutkimusta esittämistekniikoista, MBD:stä ja ohjeista.

LÄHTEET

- Al-Ashaab, A., Goher, K., & Shehab, E. (2019). Challenges of Model-Based Definition for High-Value Manufacturing. IOS Press.
- Alemanni, M., Destefanis, F. & Vezzetti, E. (2011). Model-based definition design in the product lifecycle management scenario, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.
- Batchelor, D., Coulter, D., Sabino, T., Satran, M. & White, S. (2020). Tessellation Stages. Artikkele. Julkaisija Microsoft. Viitattu 16.6.2023.
- Euroopan unionin neuvosto (2022). Turvallisempia koneita koskeva asetukset: neuvostolta valtuutus Euroopan parlamentin kanssa käytäviä neuvotteluja varten. Lehdistöiedote. Viitattu 16.6.2023.
- Henell, A., Hinkkanen, M., Kellokoski, M., Kähäri, M., Laaksonen, T., Nieminen, J. et al. (2021). Opastusta mallipohjaisen tuotemäärittelyn (MBD) käyttöönottoon. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry.
- Laaksonen, T., Nieminen, J., Pulkkinen, A., Rapinoja, J., Simons, J., Uski, P. et al. (2016). Malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry.
- O'Connell, J. (2022). The STEP File Format – Simply Explained. Artikkele. Viitattu 16.6.2023.
- Rapinoja, J. (2022a). Mallipohjainen tuotemäärittely | Jukka-Pekka Rapinoja, METSTA. Asiantuntijaesitys. YouTube-video. Julkaisija Vertex Systems Oy 9.12.2022.
- Rapinoja, J. (2022b). Mallipohjainen tuotemäärittely on tulevaisuutta. Artikkele. Julkaisija Vertex Systems Oy, syyskuu 2022. Viitattu 16.6.2023.
- Rapinoja, J. (2020). Mallipohjainen tuotemäärittely MBD - Jukka Pekka Rapinoja. Asiantuntijaesitys. YouTube-video. Julkaisija Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry 2.10.2020.
- Ruemler, S. P., Zimmerman, K. E., Hartman, N. W., Hedberg, T., Jr & Feeny, A. B. (2017). Promoting Model-based Definition to Establish a Complete Product Definition. Journal of manufacturing science and engineering, 139(5).
- Solid Solutions (2022). PLM vs PDM: What's the Difference?. Artikkele. Viitattu 16.6.2023.
- Solidworks (2017a). SOLIDWORKS MBD How-To video tutorials part 2. YouTube-video. Julkaisija SolidWorks 1.6.2017.
- Solidworks (2017b). SOLIDWORKS MBD How-To video tutorials part 4. YouTube-video. Julkaisija SolidWorks 1.6.2017.
- Solidworks (n.d). Why Choose SOLIDWORKS MBD?. Verkkosivu. Viitattu 16.6.2023.
- Suomen standardisointiliitto SFS ry (SFS). Mitä standardi tarkoittaa?. Verkkosivu. Viitattu 18.3.2023.
- Tukes (n.d). Koneita koskevat vaatimukset. Verkkosivu. Viitattu 16.6.2023.

LIITE A: KONEDIREKTIIVIN (2006/42/EY) VAATIMUKSET OHJE SISÄLLÖLLE

1.7.4.2 Ohjeiden sisältö

Jokaisessa ohjekirjassa on tarvittaessa oltava vähintään seuraavat tiedot:

- a) valmistajan ja tämän valtuutetun edustajan toiminimi ja täydellinen osoite;
- b) koneen kuvaus siinä muodossa kuin se on itse koneeseen merkittynä lukuun ottamatta sarjanumeroa (katso 1.7.3 kohta);
- c) EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus tai asiakirja, jossa esitetään itse EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa olevat tiedot ja josta käyvät ilmi koneen ominaisuudet, mutta jossa ei välttämättä ole sarjanumeroa ja allekirjoitusta;
- d) koneen yleinen kuvaus;
- e) piirustukset, kaaviot, kuvaukset ja selitykset, jotka ovat koneen käytön, huollon ja korjauksen sekä sen oikean toiminnan tarkistamisen kannalta tarpeelliset;
- f) kuvaus yhdestä tai useammasta työskentelypaikasta, jota koneen käyttäjät mahdollisesti käyttävät;
- g) koneen tarkoitetun käytön kuvaus;
- h) varoitukset koneen kielletyistä käyttötavoista, joita kokemuksen perusteella saattaa esiintyä;
- i) koneen kokoonpano-, asennus- ja kytkentäohjeet, joihin sisältyvät piirustukset, kaaviot ja kiinnitysvälineitä koskevat tiedot sekä sellaisen rungon tai rakenteen kuvaus, jolle kone on tarkoitus asentaa;
- j) asennusta ja kokoonpanoa koskevat ohjeet, joiden tarkoituksena on melun tai värinän vaimentaminen;
- k) koneen käyttöönottoa ja käyttöä koskevat ohjeet ja tarvittaessa käyttäjien kouluttamista koskevat ohjeet;
- l) tietoja sellaisista jäännösriskeistä, joita on jäänyt jäljelle toteutetuista luontaisesti turvallisista suunnittelutoimenpiteistä, suojausteknisistä toimenpiteistä ja täydentävistä suojaustoimenpiteistä huolimatta;
- m) ohjeita suojaustoimenpiteistä, jotka käyttäjän on toteutettava, mukaan luettuina tarvittaessa ohjeet henkilönsuojaimista;
- n) koneeseen kiinnitettävissä olevien työkalujen olennaiset ominaisuudet;
- o) olosuhteet, joissa kone täyttää vakavuutta koskevan vaatimuksen sen käytön, kuljetuksen, kokoonpanon ja purkamisen aikana sekä ollessaan poissa käytöstä, sille tehtävien testien aikana tai ennakoitavissa olevan rikkoontumisen yhteydessä;
- p) koneen kuljetuksen sekä sen käsittely- ja varastointitoimenpiteiden turvallisuuden varmistamista koskevat ohjeet, joissa ilmoitetaan koneen ja sen eri osien massat, jos niitä on säännöllisesti kuljetettava erikseen;
- q) menettelytavat, joita on noudatettava onnettomuus- tai rikkoutumistilanteessa; jos koneen tukkeutuminen on todennäköistä, menettelytapa, jolla laitteet voidaan turvallisesti vapauttaa;
- r) niiden säätö- ja kunnossapitotoimenpiteiden erittely, jotka käyttäjän olisi suoritettava, sekä sellaiset ennaltaehkäisevän kunnossapidon toimenpiteet, jotka olisi otettava huomioon;
- s) ohjeet, joiden tarkoituksena on säätöjen ja kunnossapidon turvallinen toteuttaminen, myös tiedot suojaustoimenpiteistä, jotka olisi toteutettava tällaisten toimenpiteiden aikana;
- t) sellaisten varaosien erittelyt, joita on käytettävä, kun niillä on merkitystä käyttäjien terveyden ja turvallisuuden kannalta;
- u) seuraavat tiedot ilmassa etenevistä melupäästöistä:
 - A-painotettu päästöäänepainetaso työskentelypaikoilla, jos se ylittää 70 dB(A); jos tämä taso ei ylitä 70 dB(A), siitä on ilmoitettava,
 - C-painotettu äänenpaineen huippuarvo työskentelypaikoilla, jos se ylittää 63 Pa (130 dB re 20 µPa),
 - koneen synnyttämä A-painotettu äänitehotaso, jos A-painotettu päästöäänepainetaso työskentelypaikoilla ylittää tason 80 dB(A). Edellä mainitut arvot ovat joko kyseisen koneen todellisuudessa mitattuja arvoja, tai ne määritetään mittauksista, jotka on suoritettu teknisesti vastaavalle koneelle, joka on edustava valmistettavan koneen suhteen. Erittäin suuren koneen kyseessä ollessa A-painotetun äänitehotason asemasta voidaan ilmoittaa A-painotetut päästöäänepainetasot nimetyissä paikoissa koneen ympärillä. Jos yhdenmukaistettuja standardeja ei sovelleta, äänitasot on mitattava käyttäen koneelle sopivinta mittausmenetelmää. Melupäästöarvoja ilmoitettaessa on näihin arvoihin liittyvä epävarmuus aina yksilöitävä. On ilmoitettava, millaisissa toimintaolosuhteissa mittaukset on suoritettu ja mitä menetelmiä mittauksissa on käytetty. Jollei yhtä tai useampaa työskentelypaikkaa ole määritelty tai ei voida määritellä, A-painotetut äänenpainetasot on mitattava yhden metrin etäisyydeltä koneesta ja 1,60 metrin korkeudelta lattiasta tai kulkutasosta. Suurimman äänenpaineen paikka ja lukuarvo on ilmoitettava. Jos yhteisön erityisdirektiiveissä säädetään muita äänenpainetasojen tai äänitehotasojen mittausta koskevia vaatimuksia, on sovellettava kyseisiä direktiivejä eikä tämän kohdan vastaavia säännöksiä.
- v) jos kone todennäköisesti aiheuttaa ionisoimatonta säteilyä, joka voi vahingoittaa henkilöitä, ja erityisesti henkilöitä, joilla on aktiivinen tai ei-aktiivinen implantoitava lääkinnällinen laite, tiedot, jotka koskevat koneen käyttäjään ja altistuviin henkilöihin kohdistuvaa säteilyä.