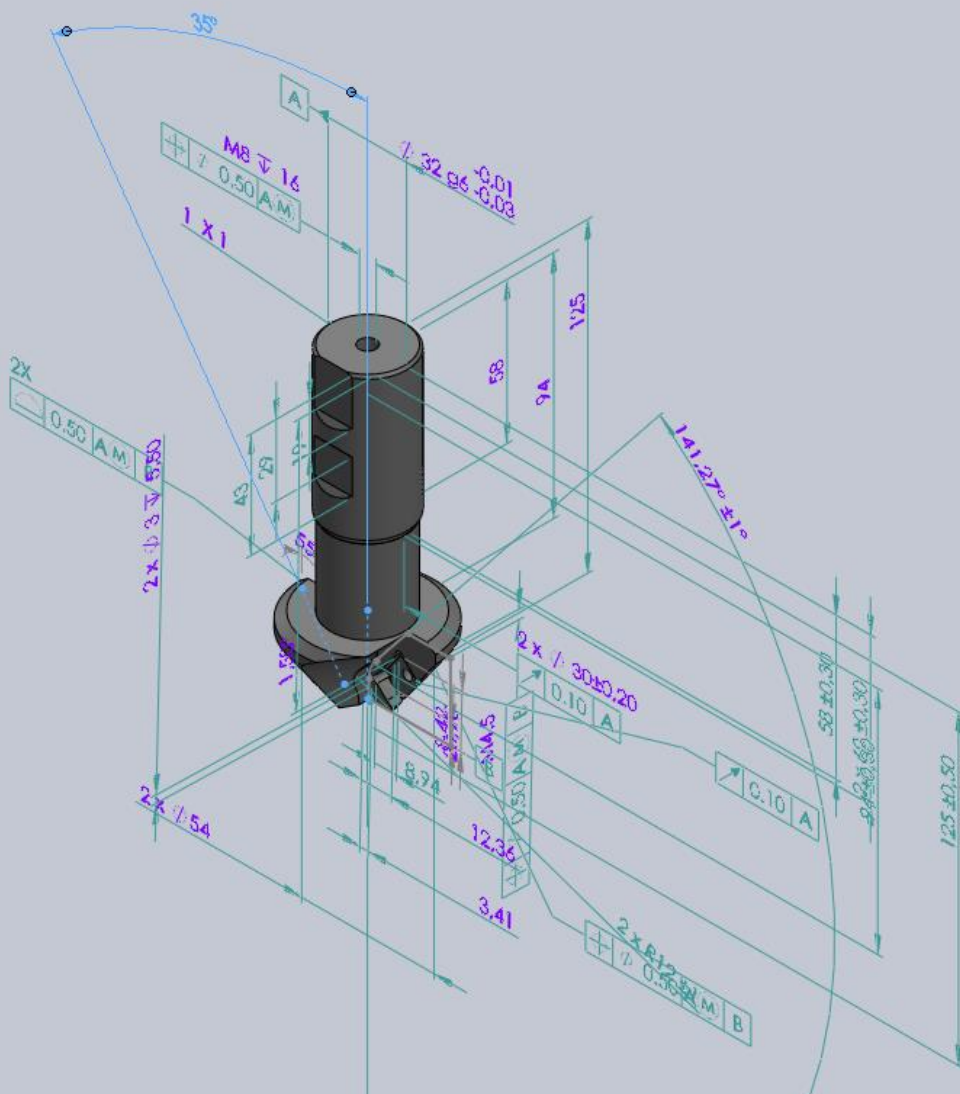


Pasi Heikura

MBD-menetelmän hyödyntäminen Mehi Oy:n erikoistyökalujen valmistuksessa



Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Syksy 2022



KAMK • University
of Applied Sciences

Tiivistelmä

Tekijä: Heikura Pasi

Työn nimi: MBD menetelmän hyödyntäminen Mehi Oy:n erikoistyökalujen valmistuksessa

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), konetekniikka

Asiasanat: MBD, PMI, suunnittelu, 3D-mallinnus, erikoistyökalut

Tämä opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Mehi Oy:lle. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää esimerkitapauksen avulla, miten Mehi Oy:n suunnittelu- ja valmistusohjelmistot soveltuvat malliperustaisen tuotemäärittelyn eli MBD:n hyödyntämiseen yrityksen päätuotteessa eli lastuavien erikoistyökalujen tuotannossa. Mehi Oy on mukana kehittämishankkeessa, jossa kehitetään suunnitteluprosessien digitalisointia, tuotekehitystä ja kansainvälistymistä. Hanke kuuluu Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020 –Suomen rakennerahastot-ohjelmaan, jonka toteutus aika on 2014–2023. Malliperustainen tuotemäärittely on kotimaassamme vielä verrattain uusi menetelmä, eikä se ole vielä käytössä kovin yleisesti tai kaikista MBD-kokeiluista ei ole yleisessä tiedossa tuloksia niiden ollessa yritysten liikesalaisuuksia.

Kirjallisuuden ja tutkimusten avulla perehdyttiin MBD:n periaatteisiin. Teoriaosuudessa esiteltiin toimeksiantaja sekä käsiteltiin MBD-menetelmää yleisesti ja standardeja, jotka ohjaavat sen käyttöä sekä MBD:n käytön tuomia hyötyjä ja haasteita. Lisäksi käsiteltiin toimeksiantajan nykytilannetta suunnittelu- ja valmistustoiminnan osalta sekä pohdittiin SWOT-analyysin avulla, mitä vahvuuksia, heikkouksia, mahdollisuuksia ja uhkia MBD-menetelmän käyttöönotto aiheuttaisi toimeksiantajalle. Opinnäytetyön toiminnallisessa osuudessa suunniteltiin ja valmistettiin asiakkaalle lastuava erikoistyökalu MBD-menetelmää käyttäen. Esimerkitapaukseen valittiin tyypillinen asiakkaalle suunniteltava erikoistyökalu, joka vietiin tuotantoprosessin läpi ilman perinteistä 2D-piirustusta. Valmistettava tuote kulki koko tuotantoketjun läpi ja siten nähtiin konkreettisen esimerkin avulla, miten toimeksiantajan tämän hetken ohjelmistot ja tuotantoprosessi soveltuisivat MBD:n käyttöön. Lisäksi pohdittiin, mitä hyötyjä ja haasteita MBD:n käyttö aiheuttaisi tuotantoprosessissa sekä mitä mahdollisia muutoksia ja investointeja se vaatisi toimiakseen toimeksiantajan tuotannossa.

Teoriaosuuden tiedonhaussa ilmeni, että ihannetapauksessa MBD-menetelmä tehostaisi tuotantoa huomattavasti suunnittelun ja työstökoneiden ohjelmoinnin nopeutuessa sekä piirustus- ja ohjelmointivirheiden vähentyessä tai poistuessa jopa kokonaan. Käyttökokeessa huomattiin, että toimeksiantajan suunnittelu- ja tuotanto-ohjelmistot eivät kuitenkaan tällä hetkellä sovellu MBD:n käyttöönottoon. MBD:n käyttöönotolle olisi muutoin ollut perusteita toimeksiantajan harjoittamassa erikoistyökalujen valmistuksessa. Mikäli MBD-menetelmän käyttämiseen joskus kuitenkin siirrytään, tarvitaan lisäkoulutusta aiheesta niin suunnittelijoille kuin muulle henkilökunnalle.

Abstract

Author: Heikura Pasi

Title of the Publication: Utilisation of the MBD Method in the Special Tools Production of Mehi Oy

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Keywords: MBD, PMI, design, 3D-modelling, specialized tools

This thesis was commissioned by Mehi Oy. The aim of the thesis was to explore by means of a case study how the design and manufacturing software of Mehi Oy is suitable for the use of model-based product definition in the main product of the company, i.e., the special tools production for machining. Mehi Oy is involved in a development project to improve the digitalisation of design processes, product development and internationalisation. The project is part of the 2014-2020 Finnish Structural Funds programme for sustainable growth and employment and will run from 2014 to 2023. The model-based product definition is still a relatively new method in Finland, and it is not yet widely used or the results of all MBD experiments are not generally distributed, as they are confidential.

Literature and studies were used to familiarise the students with the principles of MBD. The theoretical part introduces the client and discusses the general principles of MBD, the standards that guide its use, the benefits and challenges of using MBD. In addition, the current situation of the client in terms of design and manufacturing activities was discussed and a SWOT analysis was used to consider the strengths, weaknesses, opportunities, and threats that the introduction of MBD would pose to the client.

In the functional part of the thesis, a special tool for the customer was designed and manufactured using the MBD method. A typical special tool designed for the customer was selected for the case study, which went through the production process without a traditional 2D-drawing. The product to be manufactured went through the entire production chain and a concrete example was used to show how the client's current software and production process could be adapted by MBD method. The benefits and challenges of MBD in the production process, the possible changes and investments required to function successfully in the client's production were also discussed.

The theoretical research revealed that, ideally, the MBD method would significantly improve production efficiency by accelerating design and machine tool programming and reducing or even eliminating drawing and programming errors. The field trial showed that the client's design and production software is currently not suitable for the implementation of MBD. Otherwise, there would have been justification for the use of MBD in the client's special tool manufacturing process. However, if the MBD method will be adopted, further training on the subject is required for designers and other staff.

Alkusanat

Suoritin opintoihini sisältyvän työharjoittelun erikoistyökalujen suunnittelijana suomussalmelaisessa Mehi Oy:ssä, josta sain myös aiheen opinnäytetyöhöni. Aihe oli mielenkiintoinen ja liittyi läheisesti työhöni suunnittelijana. MBD-menetelmään perehtymällä pääsin tutustumaan tulevaisuudessa yleistyvään tuotemäärittelytietojen ilmoittamistapaan tuotesuunnittelussa.

Haluan kiittää kaikkia opinnäytetyön tekemiseen osallistuneita avusta ja luottamuksesta. Kiitokset kuuluvat opinnäytetyön aiheen saamisesta toimitusjohtaja Urpo Kovalaiselle ja tehtaanjohtaja Aki Keräselle, joka toimi myös opinnäytetyöni ohjaajana. Kiitokset myös koneistaja Mika Heikkiselle ja suunnittelija Tatu Torikalle, jotka väsymättä ovat vastailleet kysymyksiini ja auttaneet minua käyttökokeilun aikana. Lisäksi kiitoksen ansaitsevat myös Mehi Oy:n koko muu henkilökunta, olette avustaneet minua opinnäytetyöni aikana ja teidän kanssanne on ollut mukavaa työskennellä, jatkamme samaan malliin myös tulevaisuudessa.

Kiitos Kajaanin ammattikorkeakoulun Sami Räsäselle, joka toimi ohjaavana opettajana työssäni. Kiitokset myös väsymättä kyselyihini vastanneille CadWorksin Timo Laakoselle ja Zenexin Martin Balashille.

On huojentavaa saada neljän vuoden opinnot päätökseen tämän opinnäytetyön myötä. Opintojen sovittaminen perhe-elämän kanssa ei aina ole ollut helppoa. Suurimmat kiitokset kuuluvat perheelleni, joka on jaksanut kulkea rinnallani opintojen aikana, ilman teidän tukeanne en olisi saanut vietyä opintojani päätökseen.

Suomussalmella 27.11.2022

Pasi Heikura

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Toimeksiantaja.....	3
2.1	Yritysesittely	3
2.2	Tuotteet.....	4
3	Malliperustaisen tuotemäärittelyn eli MBD:n periaate	6
3.1	Malliperusteisen tuotemäärittelyn historia	12
3.2	Hyödyt malliperusteisen tuotemäärittelyn käytöstä	13
3.3	Haasteet malliperusteisen tuotemäärittelyn käytöstä	16
4	Standardit määrittelevät MBD käyttöä	17
4.1	ASME Y14.41	18
4.2	Perusteet SFS-ISO 16792	19
4.3	Mittatolerointi SFS-EN ISO 14405-1	19
4.4	Geometriset toleranssit SFS-EN ISO 1011 ja peruselementit SFS-EN ISO 5459	19
4.5	Yleiset GPS-säännöt SFS-EN ISO 8015	20
4.6	Yleistoleranssi SFS-EN ISO 22081	20
4.7	Pinnankarheus SFS-EN ISO 21920-1:2021	21
4.8	Hitsausmerkinnät SFS-ISO 2553	22
5	MBD-tiedonsiirtoformaattit.....	23
5.1	STEP	24
5.2	JT.....	24
5.3	eDrawings.....	24
5.4	3D-PDF.....	25
6	Toimeksiantajan nykytilanne	26
6.1	Nykytilanne Mehi Oy:ssä.....	26
6.2	SWOT-analyysi.....	27
6.2.1	Vahvuudet ja niiden edelleen kehittäminen sekä mahdollisuuksien hyödyntäminen	30
6.2.2	Heikkoudet uhat ja niiden eliminointi.....	30
7	Case esimerkkituote	32
7.1	Toteutus suunnitelma	32
7.2	Tarjouspyyntö.....	33

7.3	Suunnittelu	33
7.4	Tuotemäärittely SolidWorks MBD Dimensions avulla	34
7.5	Asiakaskuva/tarjous	42
7.6	Tuotannonohjaus	43
7.7	Tuotanto	43
	7.7.1 Koneistus	43
	7.7.2 Lämpökäsittelyt	45
	7.7.3 Hionta	45
	7.7.4 Laaduntarkastus ja kokoonpano	45
8	Pohdinta	47
	8.1 Suunnittelu	47
	8.2 Tuotanto	48
9	Johtopäätökset	49
	Lähteet	51
	Litteet	

Sanasto

2D	Kaksiulotteinen esitystapa
3D	Kolmiulotteinen esitystapa
3D-PDF	Adoben neutraali tiedostoformaatti 3D-mallin tiedonsiirtoon
Annotaatio	Tekniseen dokumenttiin lisätty merkintä, esimerkiksi mitta, toleranssi
Attribuutti	Tuotteen ominaisuuden lisäinformaatio, muu kuin annotaatio
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu
CAM	Tietokoneavusteinen valmistus
CMM	Koordinaattimittauskone
eDrawings	Dassault Systemes -yhtiön neutraali tiedostoformaatti 3D-mallin tiedonsiirtoon
ISO	Kansainvälinen standardisointijärjestö
MBD	Mallipohjainen tuotemäärittely eli valmistus- ja tuotetietojen täydellinen esittäminen 3D-mallissa
MBE	Malliperusteista tuotemäärittelyä kaikissa prosesseissaan käyttävä yritys
PDM	Tuotetiedon hallintajärjestelmä
PMI	Tuotetietojen eli mittojen, toleranssietojen ja pinnan ominaisuuksien esittäminen 3D-mallissa
SFS	Suomen standardisointijärjestö
STEP	Neutraali tiedostomuoto 3D-CAD-mallien siirtoon

1 Johdanto

Opinnäytetyössä tutkitaan toimeksiantajan yrityksen mahdollisuuksia, olemassa olevia resursseja hyödyntäen, valmistustiedon lisäämisestä 3D-malliin ja miten menetelmä tehostaisi yrityksen tuotantoa ja laadunvalvontaa sekä kehittäisi yrityksen kilpailukykyä alati tiukentuvilla markkinoilla.

Konepajojen suunnittelutoiminnassa on hyödynnetty jo vuosikymmeniä 3D-mallinnusta ja -ohjelmia, mutta tuotannon valmistuskuvat on silti tehty poikkeuksetta 2D-piirustuksina. 2D-piirustusten luominen jo kertaalleen mitoitettusta kolmiulotteisesta mallista on aikaa vievää ja virheiden mahdollisuus kasvaa mahdollisten piirustusten vajavaisten kuvantojen ja mitoitusvirheiden vuoksi. Monimutkaisten kappaleiden 2D-piirustuksien mitoituksia laatiessa mitoitus voidaan ottaa väärästä kohdasta tai jokin oleellinen mitta voi jäädä kokonaan puuttumaan. Tällaisen kappaleen mitoituksesta voi myös tulla sekava ja piirustusten tulkintavirheet ovat mahdollisia. Aika- ja kustannus säästön lisäksi eräs oleellinen asia onkin tuotannon laadun paraneminen, kun piirustukset jäävät pois tuotantoprosessista. [1, s. 1.][4, s. 498.]

Tuotteeseen tulee sen elinkaaren aikana usein myös muutoksia, koska sitä voidaan kehittää edelleen käytössä tai valmistuksessa havaittujen parannusten myötä. Mikäli osa säilyy muutoin samana, se sopii edelleen kokonaisuuteen tai kokoonpanoon, pienet muutokset eivät muuta tuotteen identiteettiä, vaan niistä tulee tuotteelle uusi kehitysversio eli revisio. 3D-malliin tehtyjen muutoksien jälkeen täytyy myös piirustus muistaa päivittää kyseiselle revisiolle. Suuri osa suunnittelijoiden työajasta kuluukin piirustusten laatimiseen ja ajan tasalla pitämiseen. Piirustusten tietoa ei voida suoraan hyödyntää CAM-ohjelmissa, vaan työstöratojen ohjelmointi täytyy tehdä niihin käsin. 3D-mallin geometrian tuominen CAM-ohjelmaan yleensä onnistuu, mutta mikäli esimerkiksi reiän toleranssi ei ole symmetrisesti perusmitan keskellä, se täytyy asettaa ohjelmaan käsivaraisesti piirustusta apuna käyttäen. Mallipohjaisessa tuotemäärittelyssä tuote- ja valmistustiedot määritellään 3D-mallin avulla ilman erillisiä piirustuksia. Mitoituksen, toleranssien ja pinnan ominaisuuksien lisäksi 3D-malliin voidaan sisällyttää kaikki valmistukseen ja tuotteen elinkaareen liittyvä informaatio. [1, s. 3–4.]

Konepajat ovat Suomen menestyksen kulmakiviä, jotka ovat tuottaneet aina laadukkaita osia ja tuotteita teollisuuden sekä yhteiskunnan tarpeisiin. Konepajateollisuus ylläpitää omalta osaltaan myös maakuntien hyvinvointia. Suurten konepajojen vanavedessä pienemmät alihankkijat tuovat

hyvinvointia maakuntiin. Siksi on tärkeää kehittää myös pienten ja keskisuurien konepajojen toimintaa ja kilpailukykyä. Malliperustaisen tuotemäärittelyn, kuten myös muun digitalisaation avulla, tuotannon kustannustehokkuutta ja laadun valvontaa voidaan parantaa ja näin lisätä omalta osaltaan yritysten kilpailukykyä. [3.]

Malliperustainen tuotemäärittely on kotimaassamme vielä verrattain uusi menetelmä, eikä se ole vielä käytössä kovin yleisesti tai kaikista MBD-kokeiluista ei ole yleisessä tiedossa tuloksia niiden ollessa yritysten liikesalaisuuksia. [5]. MBD:stä ei ole myöskään tehty kovin montaa opinnäytetyötä eikä tutkimusta. Monissa konepajoissa on kuitenkin käytössä suunnilleen samat suunnittelu- ja työstöohjelmat, joten nyt tehtävä opinnäytetyö antaa tutkimustietoa myös monille muille konepajayritykselle, mikäli he harkitsevat siirtymistä tuotannossaan malliperustaiseen tuotemäärittelyyn.

2 Toimeksiantaja

2.1 Yritysesittely

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on Mehi Oy, joka on Mehi Tools Oy -konserniin kuuluva konepaja Suomussalmella. Mehi Tools -konserni on perustettu vuonna 2021 ja toimeksiantajana olevan Mehi Oy:n lisäksi siihen kuuluu myös vuonna 2021 perustettu Mehi Steel Oy, joka on erikoistunut metalliteollisuuden alihankintatöihin. Kesällä 2022 tapahtuneen yrityskaupan myötä konserniin liitettiin Otanmäkeläinen Hill Steel Oy, jonka osakekannasta Mehi Steel osti suurehkon osuuden. Mehi Oy:llä on ollut jo aiemmin yhteistoimintaa vuonna 2014 perustetun alihankintaan ja suurempiin sarjoihin erikoistuneen Hill Steel Oy:n kanssa, joka omien olemassa olevien asiakassuhteidensa ja verkostojensa avulla vahvistaa Mehi Tools Oy -konsernin kykyä palvella asiakkaitaan ja edelleen kehittää kilpailukykyään alati kiristyvillä konepajatuotannon markkinoilla. [6.]

Opinnäytetyön toimeksiantaja, Mehi Oy on perustettu 1973 Hyvinkäälle, ja se on toiminut vuodesta 1981 Suomussalmella. Mehi Oy on erikoistunut konepajateollisuuden lastuavientyökalujen suunnitteluun ja valmistukseen sekä vaativien alihankinta- ja koneistuspalvelujen tuotantoon. Mehi-työkalujen suunnittelussa on otettu huomioon käyttäjäystävällisyys ja käyttövarmuus kaikissa olosuhteissa. Mehin työkaluvalikoimaan kuuluvat niin sanottujen vakiotuotteiden ohella asiakkaan tarpeeseen räätälöidyt sorvaus-, avarrus-, jyrä- ja poraustyökalut. Nämä projektikohtaisesti suunniteltujen työkalujen avulla tilaajalta säästyy aikaa ja rahaa, koska useampi työvaihe voidaan tehdä yhtä aikaa samalla erikoistyökalulla. Mehi käyttää suunnittelussa ja tuotannossa CAD/CAM-järjestelmiä. [7.]

Mehin perustyöstökonekanta käsittää CNC-ohjattujen sorvien ja työstökeskusten lisäksi muutamia manuaalisia koneita lastuavaan työstöön ja hiontaan. Karkaisu hoidetaan kahdella uunilla. Mehi Oy:n tuotteiden pintakäsittelytekniikkana käytetään mm. kuumamustausta. Teräpalallisten lastuavientyökalujen lopputarkastukseen ja tarvittavien mittauspöytäkirjojen tuottamiseen käytetään tarkoitukseen soveltuvaa esiasetusmittalaitetta.

Mehin henkilökuntaan kuuluu 13 työntekijää, joista toimihenkilöitä on 4. Konsernin emoyhtiössä Mehi Tools Oy:ssä työskentelee lisäksi 2 toimihenkilöä. Kesällä 2022 tapahtuneen Hill Steel Oy:n osakekaupan jälkeen koko Mehi Tools -konsernin yhteishenkilömäärä kasvoi 22 henkilöön.

Mehi suunnittelee erikoistyökalut asiakkaan haluamalla teräpaloilla ja työkalun kiinnityksellä. Rää-
tälöidyn työkalun toimitusaika on noin 4 viikkoa tilauksesta ja kaikki tuotantoprosessit joitakin
erikoiskarkaisuja lukuun ottamatta suoritetaan omassa tehtaassa Suomussalmella. Mehi käyttää
raaka-aineina kaikkia yleisimpiä koneenrakennusteräksiä, erikoisempia työkaluteräksiä sekä alu-
miinia ja muoveja. Teräksiset tuotteet toimitetaan yleensä karkaistuna ja hiottuna, oma karkaisu
ja hiontaosasto eivät venytä tarpeettomasti toimitusaikoja. Yrityksellä on tällä hetkellä 5 jälleen-
myyjää Suomessa sekä Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa ja Hollannissa omat jälleenmyyjät. Myös
Kiinaan toimitetaan huomattava määrä tuotteita. KV-viennin osuus liikevaihdosta on vuoden
2022 osalta noin 30 %. Yrityksellä on sertifioitu ISO 9001 -laatu järjestelmä käytössä. [7.]

Toimeksiantajana toimiva Mehi Oy on mukana kehittämishankkeessa, jossa kehitetään suunnit-
teluprosessien digitalisointia, tuotekehitystä ja kansainvälistymistä. Hanke kuuluu Kestävää kas-
vua ja työtä 2014–2020 –Suomen rakennerahastot-ohjelmaan. Hankkeen toteutusaika on 1.4.
2020–31.5.2023.

Rakennerahaston tavoitteena on PK-yritysten kilpailukyvyyn parantaminen sekä kasvun ja kansain-
välistymisen edistäminen. Hankkeen konkreettisina toimina on otettu käyttöön uusi toiminnan-
ohjausjärjestelmä (ERP) ja tuotetiedon hallintajärjestelmä (PDM). Hankkeen tavoitteena on edel-
leen kehittää suunnitteluprosessien digitalisointia yrityksessä. Nyt tehtävä opinnäytetyö tukee
omalta osaltaan tätä digitalisoitumisprojektia. [8.]

2.2 Tuotteet

Mehin avaintuotteita ovat konepajateollisuuden lastuavat teräpalalliset erikoistyökalut. Nämä
projektikohtaiset porat, jyrsimen- ja sorvinterät suunnitellaan asiakaskohtaisesti ja asiakkaan tar-
peita kuunnellen. Suunnittelu alkaa tyypillisesti Mehillä juuri asiakkaan yhteydenotosta. Asiak-
kaalla on kohde, johon hän haluaa esimerkiksi jonkun tietyn profiilin tai useamman työvaiheen
yhtäaikaisen työstön tekevän terän tai muun erikoistyökalun. Tarjouspyynnön tehnyt asiakas lä-
hettää piirustuksen tai mitoituksen halutusta työstöprofiilista, kiinnityksestä ja työstettävästä
materiaalista, joiden perusteella työkalu suunnitellaan kohteeseen. Näiden projektikohtaisten
erikoistyökalujen ideana on asiakkaan ajan säästö sekä työstökoneen makasiinin tilatarpeen vä-
heneminen yhden työkalun tehdessä useamman työvaiheen yhdellä kertaa. Haluttu profiili tai
työkalun koko voi olla myös sellainen, että sitä ei ole vakiotyökaluilla mahdollista toteuttaa.

Näiden erikoistyökalujen lisäksi valikoimassa on niin sanottuja vakiotyökaluja eli yleisiä lastuavan työstön työkaluja vakio mitoilla. Vakiotyökalu osioon kuuluvat: altatasaimet, erilaiset avartimet rouhintaan ja viimeistelyyn, jysinterät ja niiden kiinnitystuurnat.

Erikoistyökalujen ja vakiotyökalujen lisäksi yrityksessä valmistetaan asiakkaille myös vaativia kiinnitusratkaisuja heidän tuotannossaan työstettävien tuotteiden kiinnitykseen. Mehi tekee myös tuotesuunnittelua, pienten vaativien sarjojen alihankintakoneistuksia sekä terästen lämpökäsittelyä yhteistyökumppaneilleen ja muille asiakkaille. [9.]

3 Malliperustaisen tuotemäärittelyn eli MBD:n periaate

Konepajat tekevät nykyään tuotesuunnittelunsa lähes poikkeuksetta 3D-ohjelmilla, mutta silti edelleen tuotantoa varten laaditaan 2D-muotoiset piirustukset, jotka usein tulostetaan vielä paperille työmääräimen yhteyteen. Piirustuksen luonti on aikaa vievä työvaihe, 3D-CAD-ohjelmat osaavat kyllä tuoda mallin geometrian piirustus pohjalle, mutta silti mitoittaminen, toleranssien merkintä ja muut valmistukseen tarvittavat tiedot jäävät suunnittelijan käsivaraiseksi tehtäväksi. Mitoittaminen ja tuotemäärittely tietojen merkitseminen on tärkeä ja vaativa työvaihe, koska ne määrittelevät tuotteen valmistamiseksi tarvittavat tiedot ja niiden perusteella määräytyvät valmistettavuus, laatu sekä tuotteen lopulliset kustannukset. Virheellinen mitoittaminen, puuttumaan jääneet mitat tai muu virheellinen tai puutteellinen tuotemäärittelytieto aiheuttavat ongelmia, viivästyksiä ja kustannuksia tuotannossa. [10, s. 8–9.]

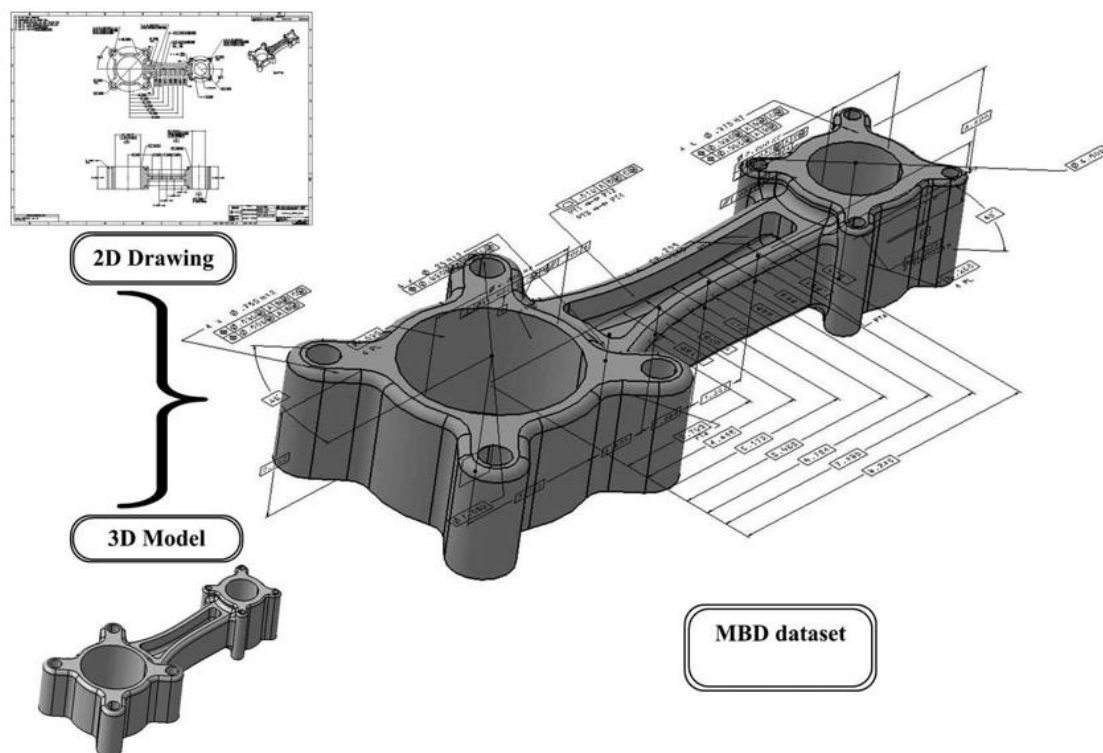
Ristiriitatilanteissa koneistajat voivat joutua pohtimaan jotakin valmistamiseen tarvittavaa tietoa tai virheelliseksi epäilemäänsä mitoitusta ja heidän täytyy hakea mahdollisesti suunnittelija käsiinsä ongelman ratkaisemiseksi. Esimerkiksi vuorotyössä olevassa konepajassa suunnittelijat eivät ole aina paikalla ja muu tuotannonjohto ei välttämättä voi ratkaista ongelmaa, joten ongelman ratkaisu siirtyy tällöin myöhemmäksi ja mahdollisesti eri koneistajan selvitettäväksi. Virheellisesti mitoitettun tuotteen valmistus on voitu jo aloittaa, pahimmassa tapauksessa se kulkee läpi tuotantoprosessin ja virhe huomataan vasta viimeisissä työvaiheissa tai laadunvarmistuksessa.

Piirustusten inhimilliset luku- ja tulkintavirheet ovat myös mahdollisia. Monimutkaisissa kappaleissa piirustukseen tulee paljon mitoituksia, jotka tekevät sen vaikealukuisiksi. Lisäksi koneistajat joutuvat muodostamaan 2D-muotoisesta kuvasta kolmiulotteisen mallin mielessään kokonaiskuvan muodostamiseksi tuotteesta. Tämä on turhaa ja virhetulkinnoille altistavaa työtä, sillä suunnittelijahan on kertaalleen jo tehnyt 3D-mallin, vaikka se ei mahdollisesti ole kaikkien saatavilla. [1, s. 4.]

Valmistettavaa tuotetta ja sen 3D-mallia on voitu muokata vielä viime hetkellä tai jo aiemmin tuotannossa ollutta tuotetta on muutettu jossain vaiheessa niin, että 3D-mallin ja siitä luodun 2D-piirustuksen revisioinnista huolimatta tämä revisioitu 2D-piirustus on jäänyt päivittämättä tiedostoon, josta tuotannonohjaus hakee valmistuskuvat työmääräimen yhteyteen. Tällöin tuotanto saa virheellisen työpiirustuksen, joiden perusteella se valmistaa tuotteen, joka ei vastaa asiakkaan hyväksymää piirustusta.

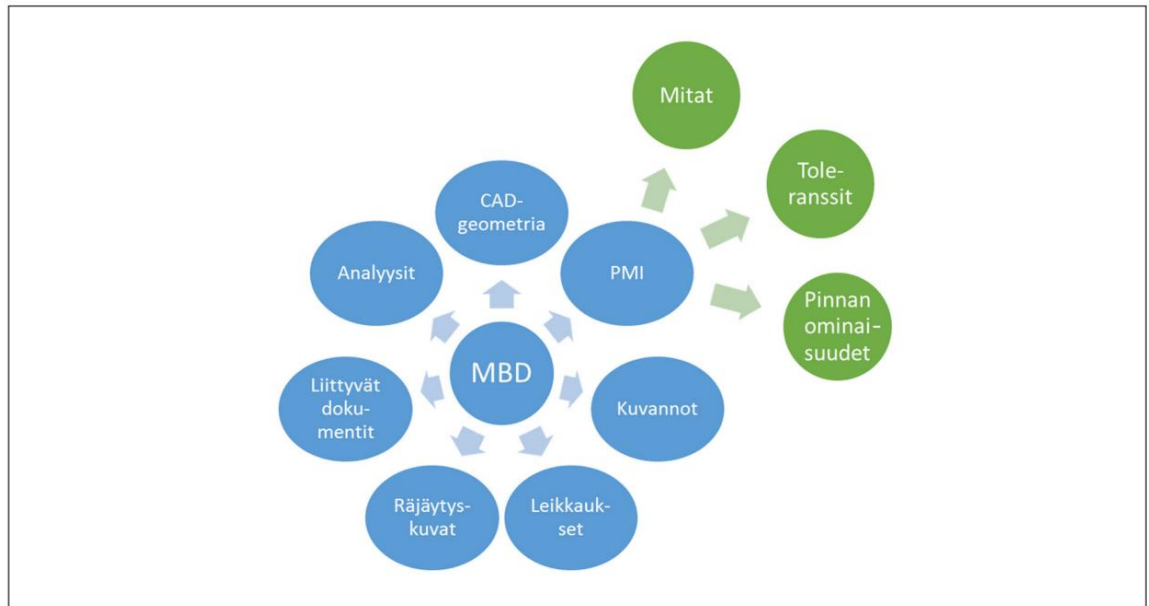
Malliperustaisen tuotemäärittelyn ideana on valmistuksen ja kaikkien tuotteen elinkaaren aikana tarvittavien tuotetietojen ilmoittaminen ja säilyttäminen 3D-mallissa. Kun perinteisesti piirustus on ollut määräävä dokumentti valmistuksessa, ristiriitatilanteet ja epäselvyydet ovat olleet mahdollisia valmistuksen yhteydessä verrattaessa 2D-kuvaa CAM-ohjelmaan tuotavaan 3D-mallin geometriaan. Malliperustaisessa tuotemäärittelyssä 2D-piirustukset jäävät pois, 3D-mallista tulee määräävä eli niin sanottu master, joka sisältää ainoana dokumenttina valmistus- ja tuotemäärittelytiedot. Tämän kolmiulotteisen tuotetiedot sisältävän mallin käyttö ei rajoitu pelkästään tuotantoon, vaan sitä voidaan käyttää hyödyksi valmistuksen lisäksi myös monissa muissa yrityksen toiminnoissa ja rajapinnoissa kuten alihankinnassa, laadunvalvonnassa, markkinoinnissa ja kaikissa tuotteen elinkaaren aikana tapahtuvassa toiminnoissa. [4, s. 499.]

Malliperustaisen tuotemäärittelyn yhteydessä mainitaan usein termi PMI (Product and Manufacturing Information) eli tekniset tuotemäärittelytiedot, jotka tarkoittavat useiden aiemmin 2D-piirustukseen merkittyjen tuotteen fyysisten ja toiminnallisten tuotetietojen, kuten mittojen ja toleranssien, sisällyttämistä 3D-malliin kuten kuvassa 1 on esitetty. Tämä mahdollistaa tuotetta määrittelevien mittojen, toleranssien ja pintavaatimusten lukemisen yhdestä tietolähteestä, kolmiulotteisessa muodossa olevasta mallista. PMI voi olla ihmisluettavaa (graphical PMI) tai kone-luettavaa (semantic PMI). Ihmisluettavassa PMI:ssä valmistustiedot ovat näkyvillä 3D-mallissa, mutta tietokoneavusteiset valmistus- ja laadunvalvontaohjelmat eivät osaa tulkita niitä. Kone-luettava PMI taas on ihmisen lisäksi tietokoneohjelmien luettavissa. Mikäli valmistus ja laadunvalvontaohjelmistot kykenevät lukemaan semanttista eli kone-luettavaa PMI:tä, se mahdollistaa tuotteen mitta- ja toleranssitietojen hyödyntämisen työstöratojen ohjelmointien ja laadunvalvonnan mittauksien yhteydessä. [1, s. 4.][5.]



Kuva 1. Kiertokanki kuvattuna 2D-piirustuksena ja PMI-tiedot sisältävänä 3D-mallina [4, s. 499].

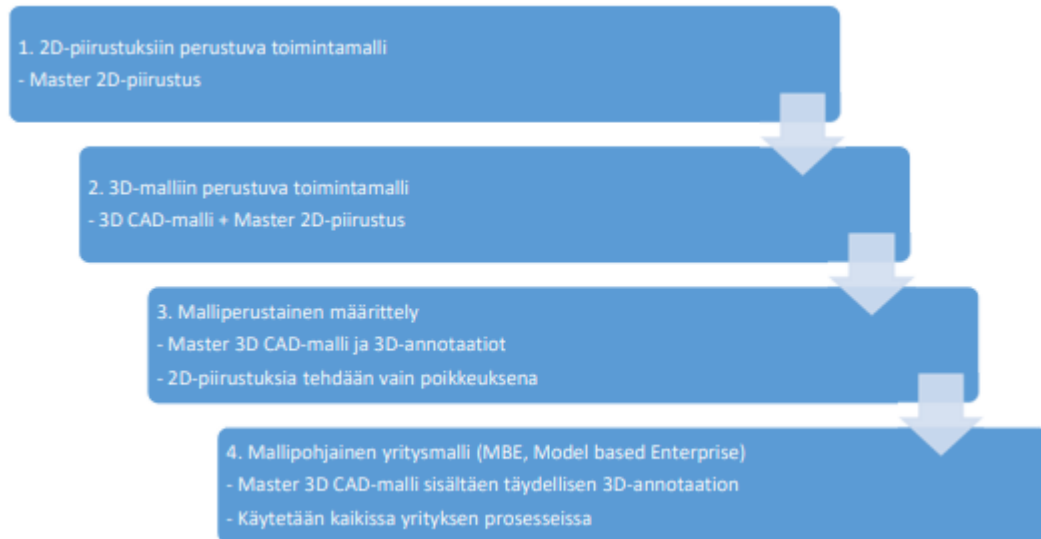
PMI:tä eli teknisiä tuotemäärittelytietoja laajempi käsite MBD (Model Based Definition), eli malliperustainen tuotemäärittely, tarkoittaa koneluettavien tuote- ja valmistustietojen täydellistä sisällyttämistä 3D-ohjelmalla luotuun kolmiulotteiseen malliin. MBD:ssä oleva PMI tulee olla ihmisen sekä koneen luettavissa ja sen katsotaankin sisältyvän MBD:hen yhtenä osa-alueena muiden dokumenttien kanssa, kuten kuvasta 2 nähdään. MBD käsittää tuotteen geometrian lisäksi kaiken valmistamiseen tarvittavan ja elinkaaren aikaisen tiedon sisällyttämisen malliin. 3D-CAD-tiedostoon voidaan tallentaa PMI-tietojen lisäksi leikkauskuvantoja, materiaaliluetteloita, erilaisia analyysejä, muutoshistoriatietoja, kokoamisohjeita, räjäytyskuvia ja kaikkia muita digitaalisia tietoja tuotteesta tai kokoonpanosta. [1, s. 2.][5.]



Kuva 2. MBD- ja PMI-periaate [1, s. 2].

MBE (Model Based Enterprise), suomeksi malliperusteisen yritystason toiminta malli, on vielä MBD:tä laajempi toimintamalli, jossa digitaalinen 3D-malli on laajasti käytössä yrityksen useissa toiminnoissa. Tuotetiedot sisältävää 3D-mallia hyödynnetään silloin tuotteen koko elinkaaren ajan: suunnittelusta jälkimarkkinointiin ja käytöstä poistoon saakka. Ideana tässäkin on kaiken valmistustiedon ja tuotedokumentoinnin sijainti yhdessä ainoassa kokonaisuudessa, 3D-mallissa. Tuotteen kaikkien tietojen ja dokumenttien sijainti yhdessä kohteessa helpottaa sen ajan tasalla pitämistä ja vähentää riskejä inhimillisiin virheisiin. [1, s. 3.] Täydellisesti toimivassa mallipohjaisessa yritysmallissa tuotemäärittelytieto luodaan vain yhden kerran, ja tätä kerran luotua tietoa säilytetään digitaalisesti ja käytetään yrityksen toiminnoissa ilman, että tietoja luotaisiin uudelleen manuaalisesti. [2, s. 17.]

Yrityksen MBE-taso voidaan jaotella eri tavoilla. METSTA esittää MBD-oppaassaan kahta erilaista luokittelumallia, joissa ensimmäisessä, kuvan 3 mukaisessa, yrityksen toimintamalli jaetaan tuotemäärittelyn viestimisen eli piirustusten käyttöasteen perusteella neljään eri tasoon, alkaen ensimmäiseltä tasolta, jossa toiminta on varsin piirustuskeskeistä. Neljännellä tasolla taas käytössä on mallipohjainen piirustuseton yritysmalli, jossa 3D-malli on määräävä eli niin sanottu master, jota käytetään yrityksen kaikissa prosesseissa. [1, s. 2.]



Kuva 3. Piirustusten käyttöasteeseen perustuva 4-portainen jaottelu [1, s. 2].

Toinen samassa oppaassa oleva esimerkki esittää yrityksen MBE-tasoa luokiteltuna 7 eri portaiseen. Kuvan 4 alimmalla eli 0-tasolla, 3D-mallien hyödyntäminen yrityksen prosesseissa on vähäistä tai niitä ei käytetä lainkaan. Dokumentointi on piirustuskeskeistä eli kaikki tuotteeseen liittyvät dokumentit ovat 2D-muotoisia piirustuksia. Tasojen kohotessa piirustuskeskeisyys vähenee ja ylimmällä tasolla piirustuksia ei käytetä eikä sallita lainkaan, vaan kaikki tuotetieto on sisällytetty 3D-malliin ja sitä siirretään digitaalisesti eri prosessien ja rajapintojen kesken. [1, s. 3.]

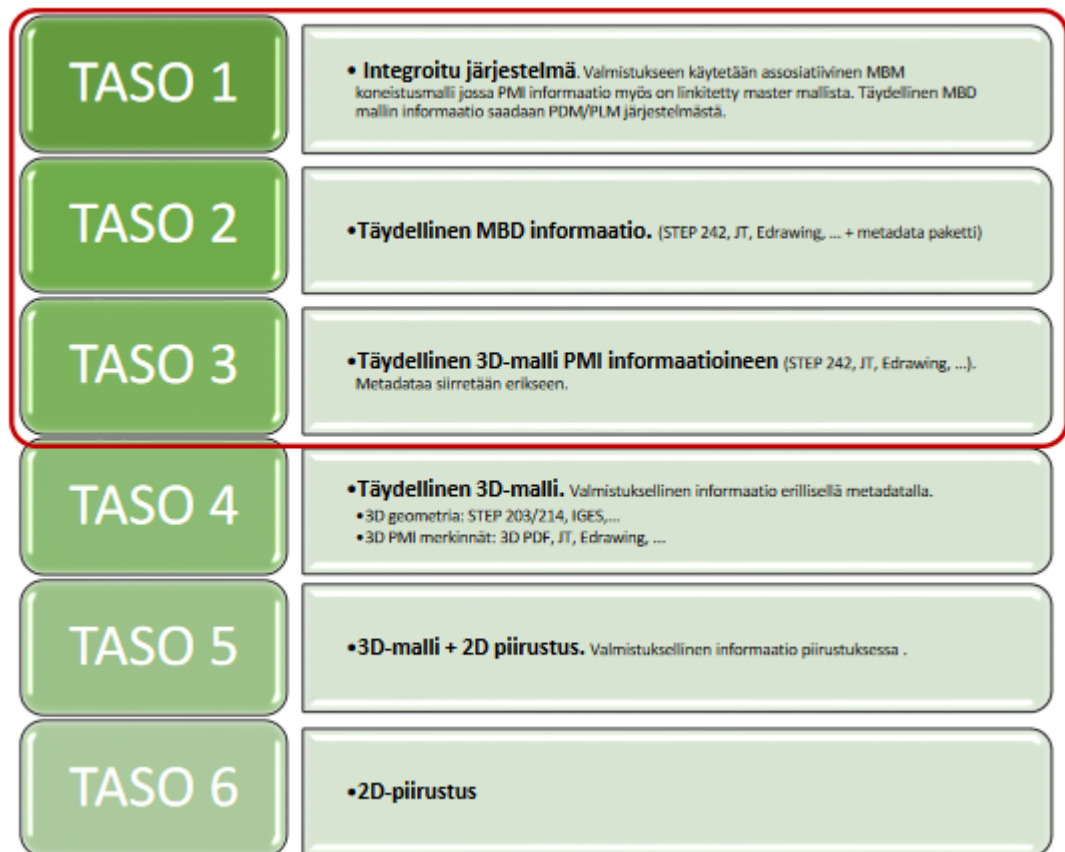


Kuva 4. Yrityksen tuotetiedon hallinnan tasot [1, s. 3].

Edellä olevat tuotetiedon hallinnan tasot vaikuttavat myös suoraan siihen, mihin tiedonsiirtotasoon yritys sijoittuu yhteistyökumppaneiden ja muiden rajapintojen välisessä tuotetietojen siirrossa. Tiedonsiirtotasot on jaettu METSTA:n oppaassa kuvassa 5 olevaan 6-portaiseen asteikkoon, jossa piirustusten ja 3D-mallien käyttöaste sekä tuote- ja valmistustiedon siirtomuoto ja formaatti määrittelevät, mille tasolle yrityksen tiedonsiirto asettuu. [1, s. 11.]

Tässä määrittelytavassa lukuarvoltaan korkeimmalla tasolla 6, tuote- ja valmistustiedot siirretään pelkästään piirustuksen avulla. Tasoilla 4 ja 5 käytetään tiedonsiirtoon 3D-mallia, mutta tuotemäärittelytiedot eivät kulje ainakaan täysin sen mukana, vaan piirustuksessa tai osin erillisenä metadatana. Sanomattakin on selvää, että näissä tapauksissa riski väärin tai ristiriitaisten tuotetietojen vaihtamiseen kasvaa.

Yrityksen tulisikin pyrkiä tiedonsiirtotasolle 1,2 ja 3. Näillä tasoilla täydelliset tuotemäärittelytiedot ovat sisällytettyinä 3D-malliin ja parhaimmassa tapauksessa ne haetaan suoraan yrityksen tuotetiedon hallintajärjestelmästä. [1, s. 11.]



Kuva 5. Tuotetiedonsiirron tasot yrityksessä [1, s. 11].

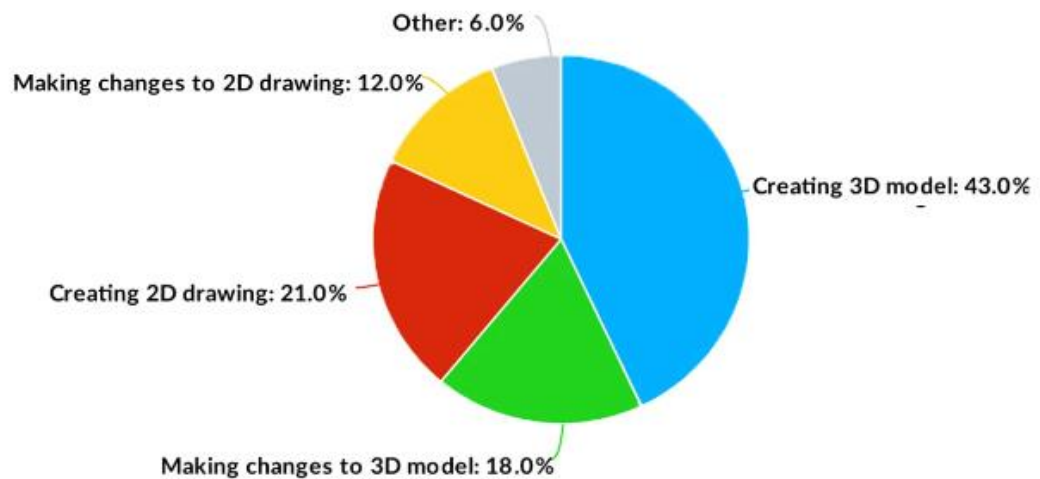
3.1 Malliperusteisen tuotemäärittelyn historia

Malliperustaisen tuotemäärittelyn historia juontaa juurensa 3D-CAD-ohjelmistojen laajempaan käyttöönottoon 1990-luvulla. Ensimmäinen MBD-määrittelevä standardi ASME Y14.41 on julkaistu vuonna 2003 Yhdysvalloissa, joka on ollut eturintamassa MBD-käyttöönnotossa. Edelläkävijänä on toiminut auto- ja lentokoneteollisuuden lisäksi Yhdysvaltojen sotilasteollisuus, joka on myös julkaissut oman standardinsa MIL-STD 31000 vuonna 2009. Myös globaali ilmailu- ja auto-teollisuus on käyttänyt malliperustaista tuotemäärittelyä jo 2000-luvun alkupuolelta lähtien. Japanilainen Toyota on ilmoittanut piirustuksettomaan moottorintuotantoon tähtäävästä projektista vuonna 2004. [4, s. 498.] Kansainvälinen standardi malliperustaisesta tuotemäärittelystä eli ISO 16792 julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 2006 ja on päivitetty viimeksi 2021. [27.]

3.2 Hyödyt malliperusteisen tuotemäärittelyn käytöstä

Kun tuotemäärittely- ja valmistustieto on sisällytetty ja tallennettu 3D-malliin se mahdollistaa perinteisestä teknisestä piirustuksesta luopumisen kokonaan. Perinteisesti 2D-piirustus on ollut määräävä mahdollisen 3D-mallin ollessa tukemassa sitä. Tästä on voinut aiheutua ristiriitaitilanteita mallin ja piirustuksen eroavaisuuden sekä piirustuksen virheellisyyden ja tulkintaristiriitaisuuksien myötä. MBD-menetelmää käytettäessä tuotemäärittelystä tulee siten yksinkertaisempi ja selkeämpi kaiken mahdollisen tuote- ja valmistustiedon sijaitessa yhdessä ja ainoassa, määräävässä toimivassa 3D-mallissa. Malliin liitetyt annotaatiot ovat assosiatiivisia eli ne päivittyvät automaattisesti mallin muuttuessa. Erillinen piirustus taas voi jäädä päivittämättä tai vanha piirustus voi jäädä tuotannonohjauksen tietojärjestelmään, vaikka 3D-malli olisi tuotekehityksen tai muun vastaavan takia muokattu ja se olisi revisioitu asianmukaisesti. Myös tietokantojen tallennustilaa säästyy, koska tuote on tallennettuna vain yhteen tiedostoon. [4, s. 499.]

Yksi MBD-menetelmän käyttöä puoltava seikka on ajan säästö, koska valmistustieto lisätään suunnitteluvaiheessa suoraan 3D-malliin, eikä mallista lähdetä luomaan enää erillistä 2D-piirustusta. 3D-suunnitteluohjelmat tuovat kyllä mallista kuvannot piirustus pohjalle, mutta mitoitus ja muiden annotaatioiden sekä valmistustietojen lisääminen jäävät suunnittelijan tai piirustuksen laatijan tehtäväksi. Kuvan 6 ympyrädiagrammi kertoo, että suunnittelijoiden työajasta 33 % kuluu piirustusten tekemiseen ja ajan tasalla pitämiseen. Tämä suunnittelijoiden piirustusten parissa kulutettu työaika voidaan käyttää MBD-menetelmää käytettäessä muuhun hyödylliseen toimintaan, kuten esimerkiksi asiakkaiden tarjouspyyntöihin vastaamiseen. [11.] 3D-CAD-ohjelmien MBD-sovellukset osaavat suorittaa myös mallin automaattisen mitoituksen. Lisäksi ne tukevat geometrisen tuotemäärittelyn standardeja, mikä helpottaa suunnittelijaa tuotteen toiminnallisten ominaisuuksien määrittelyssä. Suunnittelijoiden on kuitenkin hallittava yleiset mitoitussäännöt ja standardien käyttö, CAD-ohjelmien tukiessa niitä vaihtelevasti. [10, s. 8.]



Kuva 6. Suunnittelijoiden ajankäyttö [11].

Työstökoneiden CAM-ohjelmat ja koordinaattimittakoneitten CMM-ohjelmat eivät osaa lukea piirustusta, mutta 3D-mallia voidaan usein suoraan hyödyntää niiden ohjelmoinnissa. Suunnitteluvaihetta suurempaan ajansäästöön päästään, mikäli suunnittelun ja tuotannon CAD-CAM-ohjelmistot saadaan toimimaan niin saumattomasti, että CAM-ohjelma kykenee lukemaan CAD-mallista tuotteen valmistustiedot ja tunnistaa ihannetapauksessa sen piirteet, joiden perusteella se pystyy itse ohjelmoimaan työstöradat. Mitoitusta ei tarvitse esittää 3D-mallissa silloin välttämättä lainkaan. NykYTEknologia mahdollistaa piirteiden ja valmistustietojen tunnistamisen lisäksi, jopa ei-symmetristen toleranssitietojen siirron CAD-mallista työstökoneiden CAM- ja koordinaattimittauskoneitten CMM-ohjelmiin, mikäli ohjelmat tukevat koneluettavuutta ja pystyvät käyttämään näitä tietoja työstö- ja mittausohjelmien ohjelmoinnissa. Vaikka työstökoneohjelma ei tunnistaikaan piirteitä eikä kykenisi konelukuun, ohjelmoijan käsivarainen työ helpottuisi valmistustietojen sijaitessa kyseisessä kohteessa 3D-mallissa. Tämän johdosta lukuvirheiden ja sekaannusten riski pienenee, koska kohteen tietoja ei tarvitsisi hakea toisella näytöllä tai paperilla olevasta piirustuksesta. [2, s. 9.]

Toinen tärkeä seikka onkin laadun paraneminen. Vaikka suunnitteluohjelmistot tuovat 3D-mallin projektiot piirustus pohjalle, piirustuksista voi silti tulla virheellisiä. Mallin mitoituksen ja muiden valmistustietojen lisäämisen tekee yleensä suunnittelija ja nämä inhimillisistä syistä johtuvat piirustusten merkintöjen- sekä mitoituksien virheet poistuvat piirustusten poistuessa. Mikäli tuote

revisioidaan, eli se tuotekehityksen tai valmistettavuuden takia muuttuu kuitenkin vain niin, että tuotenumero säilyy edelleen samana, piirustus tulee muistaa päivittää myös kyseisillä muutoksilla. Lisäksi revisioitu piirustus tulee muistaa päivittää tarvittaessa myös tuotannonohjausjärjestelmään, ettei vanhentuneilla tiedoilla olevaa piirustusta noudeta sieltä tuotteen mahdollisesti noustessa uudestaan tuotantoon. [1, s. 7–8.][5.]

Monimutkaisten mallien piirustuksiin tulee usein lukuisia mitoituksia, ja ne ovat vaikealukuisia sekä sekavia aiheuttaen tulkintavirheiden mahdollisuuksia tuotannossa. 3D-mallia pidetään yleisesti helpommin luettavana ja ymmärrettävänä kuin 2-ulotteiseksi latistettua piirustusta, josta katselija joutuu muodostamaan mielessään 3-ulotteisen mallin. Tosin lukuisilla PMI-tiedoilla merkitty 3D-malli on varsinkin hieman etäämmältä katsottuna sekavan näköinen, mutta suunniteluohjelmien MBD-sovellukset mahdollistavat mallin mitoituksen useille eri annotaatiotasolle, joita voidaan tehdä helposti työvaihekohtaisesti. Työvaihekohtaiselta annotaatiotasolta kyseiselle työvaiheelle tarpeettomat merkinnät ja mitat voidaan jättää pois, jolloin 3D-malli selkeytyy ja inhimilliset tulkita- sekä lukuvirheet vähenevät. Muut annotaatiotasot ovat kuitenkin helposti saatavissa näkyviin ja mikäli jonkin tietty mitta on jäänyt kokonaan puuttumaan, mallin käyttäjän on helppo ottaa mittatyökalulla, oli kyseessä sitten natiivimalli tai katseluohjelmaan tallennettu neutraaliformaatissa oleva tiedosto. [12.]

Malliperustaista tuotemäärittelyä käytettäessä 3D-tuotemalli toimii valmistustietojen ja tuotetiedokumentaation tallenteena yrityksen omassa tuotantoprosessissa ja muiden osapuolten tarvetta varten. Siten myös eri tuotantoprosessien ja muiden tuotteen yhteydessä työskentelevien rajapintojen välinen tiedonsiirto on helpompi automatisoida tuotteen koko elinkaaren aikana, koska tuotemalli toimii digitaalisena viestintävälineenä eri osapuolten välisessä tiedonsiirrossa. [1, s. 3.]

3.3 Haasteet malliperusteisen tuotemäärittelyn käytöstä

Malliperustaisen tuotemäärittelyn käyttöönotto asettaa haasteita yrityksen suunnittelun, tuotannon ja laadunvalvonnan käytössä olevien CAx- ja CMM-ohjelmien yhteensopivuudelle ja soveltuvuudelle MBD-mallin luomiseen, jakamiseen ja hyödyntämiseen tuotannon prosesseissa. Valmiiden käytössä olevien ohjelmien soveltuvuus tuo usein rajoituksia ja haasteita menetelmän käyttöönottoon. Ohjelmistojen MBD:tä tukevien lisenssien hankkimiskustannusten lisäksi ohjelmia pitää usein hienosäätää yrityskohtaisesti ja myös koko henkilökunta täytyy kouluttaa piirustuksetomaan tuotantoon. [2, s. 6.]

Mallipohjaisen tuotemäärittelyn käyttöönotto asettaa haasteita teknologian soveltuvuuden lisäksi myös henkilökunnalle, jonka voi olla vaikea hyväksyä uusi menetelmä vanhan ja toimivan tilalle. Kyseessä voi olla yleinen vastustus muutoksille tai asiasta voi olla virheellinen käsitys. Henkilökunnalle tulisi tuoda tiedotustilaisuuksissa selvästi esille menetelmän aiheuttamat muutokset sekä mitä hyötyjä ja haasteita menetelmän käyttöönotto tuo tullessaan.

Myös asiakkaat voivat haluta tai tarvita perinteisen teknisen 2D-piirustuksen MBD-3D-mallin sijaan. Piirustus on perinteisesti ollut sopimusta ohjaavana dokumenttina muun muassa tarjousten yhteydessä, myös joissain sertifiointeissa ja hyväksymismenettelyissä piirustus voi olla pakollinen. [1, s. 10.]

4 Standardit määrittelevät MBD käyttöä

Erikoisalojen sanastojen ja sanakirjojen kokoelma TEPA-termipankki määrittelee standardin olevan toistuvien ongelmien ratkaisuja esittävä asiakirja, joka perustuu asianosaisten yhteisymmärrykseen ja on tähän tehtävään tunnustetun elimen hyväksymä [13]. Standardit ovat siis kirjallisia julkaisuja tai digitaalisia tiedostoja järjestelmille, palveluille ja tuotteille tai niiden valmistukselle, testaukselle ja ominaisuuksille yhteisesti sovittuja kirjallisia vaatimuksia ja suosituksia. Standardit parantavat yhteensopivuutta ja turvallisuutta. [14.]

Standardi voi olla kansainvälinen, eurooppalainen tai kansallinen. Maailman laajin kansainvälinen standardisointi järjestö on 1947 perustettu International Organization for Standardization eli ISO. Euroopassa EU- ja EFTA-maiden standardisointijärjestöjen yhteistyö elin on European Committee for Standardization eli CEN, jonka kaikissa jäsenmaissa on voimassa samat eurooppalaiset standardit. CEN:in julkaisemissa standardeissa on tunnus EN. CEN:in eräs tehtävä on valvoa, että sen jäsenmaiden kansalliset standardit eivät ole ristiriidassa EN-standardien kanssa. EN-standardeista noin 30 % perustuu kansainvälisiin standardeihin. [15.]

Suomessa kansallisista käytössä olevista standardeista 97 % on kansainvälistä alkuperää ja standardisoinnin keskusjärjestönä toimii SFS, joka on delegoinut merkittävän osan standardisoinnoista toimialayhteisöille. Nämä toimialayhteisöt ovat keskusjärjestöön sopimussuhteessa olevia asiantuntijaorganisaatioita, jotka koordinoivat standardisointia omilla vastuualueillaan.

Teknolomiteollisuuden kuuluvien kone- ja metalliteollisuuden alojen kansallisesta, mutta myös eurooppalaisesta ja kansainvälisestä, standardoinnista vastaa Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry eli METSTA. METSTA on vuonna 2007 perustettu yleishyödyllinen standardisointiin keskittynyt yhdistys, jonka vastuualueella on kone- ja metalliteollisuuden ohella myös metallien jalostuksen, talotekniikan ja energianhallinnan standardisointi. [16.][22.]

Kaikilla standardeilla on oma standardikohtainen tunnus, minkä kirjainyhdisteistä selviää, miten standardi on vahvistettu sekä standardin numero ja vahvistusvuosi. Esimerkiksi kuvassa 7 esitetty standardi on:

- Vahvistettu kansalliseksi standardiksi Suomessa, josta tulee etuliite SFS.
- Lisäksi se on vahvistettu eurooppalaiseksi standardiksi, jonka ilmaisee tunnus EN.
- ISO tarkoittaa, että standardi on kansainvälinen ja maailmanlaajuisesti vahvistettu.
- Numerosarja 128–1 tarkoittaa standardin numeroa ja sen osaa.
- Viimeisenä on standardin vahvistamisvuosi.



Kuva 7. SFS-tunnuksen selitteet [14].

Koneensuunnittelussa 3D-mallinnusta ja malliperustaista tuotemäärittelyä edeltävä aiempi tuotedokumentointi eli tekniset konepiirustukset on luotu ISO-standardeja noudattaen jo 1940-luvulta lähtien. Piirustuksissa on useiden eri ISO-standardien avulla määritelty kuvattavan kohteen esittämistapoja, mitoituksia ja tolerointia. Standardit ovat myös tärkeässä asemassa malliperustaisen tuotemäärittelyn mukaisessa esitystavassa sekä dokumentoinnissa. Ne olisivat tärkeää omaksua jo malliperustaiseen tuotemäärittelyyn siirtymisen alkuvaiheessa, koska väärin opittuja toimintamalleja on myöhemmässä vaiheessa hankala muuttaa. [1, s. 14.][10, s. 11.]

4.1 ASME Y14.41

Koska malliperustaisen tuotemäärittelyn käyttö on lähtöisin Yhdysvaltojen auto- ja lentokone-teollisuudesta, on luonnollista, että ensimmäiset standardisoinnit ovat myös Pohjois-Amerikkalaisen ASME:n eli American Society of Mechanical Engineering julkaisemia. Ensimmäinen versio standardista Y14.41 julkaistiin 2003 ja sitä on tarkistettu useasti viimeisimmän version ollessa vuodelta 2019. [4, s.498.] Suomen metalliteollisuuden standardisointiyhdistys METSTA ei suosittele ensisijaisesti ASME:n käyttöä kotimaassamme ja EU:n alueella. [1, s. 15.]

4.2 Perusteet SFS-ISO 16792

Suomessa ja EU:n alueella METSTA suosittaa käyttämään ASME Y14.41 pohjautuvaa kansainvälistä standardia ISO 16792:2021, joka on vahvistettu myös Suomessa kansalliseksi standardiksi SFS-ISO 16792:2021-*Tekninen tuotedokumentointi. Digitaalista tuotemäärittelytietoa koskevat käytännöt*. Se on julkaistu ensimmäisen kerran vuonna 2006 ja sen viimeisin versio on vuodelta 2021. Standardia SFS-ISO 16792 voidaan pitää malliperustaisen tuotemäärittelyn perusstandardina, joka käsittelee eri mallinusratkaisuja ja mallia koskevia tiedonhallinnan vaatimuksia sekä varsin kattavasti yleisiä merkintätekniikoita ja -sääntöjä. Osa CAD-ohjelmistoista tukee standardin ISO 16792 mukaisia menettelyjä hieman vajavaisesti ja mitoittaminen sekä tolerointi ei ole ainakaan vielä täysin virheettömästi automatisoitu. Samat perinteisen suunnittelun säännöt koskevat myös malliperustaista tuotemäärittelyä mitoituksen ja toleroinnin osalta. Niinpä suunnittelijan on tärkeää tuntea myös mitoittamiseen ja tolerointiin liittyvät standardit. [1, s. 14.]

4.3 Mittatolerointi SFS-EN ISO 14405-1

Mittatoleroinnin tekniikoita ja ohjeita pituusmitoille, etäisyydelle ja halkaisijoille esitetään standardissa SFS-EN ISO 14405-1. Tämä ns. kaksipistemitta ei aseta vaatimuksia kappaleen muodolle eikä näiden mitallisten elementtien tolerointi määrittele tuotteen toiminnallisia mittoja, vaan ne täytyy määritellä geometrysten toleranssien avulla. [1, s. 14.]

4.4 Geometriset toleranssit SFS-EN ISO 1011 ja peruselementit SFS-EN ISO 5459

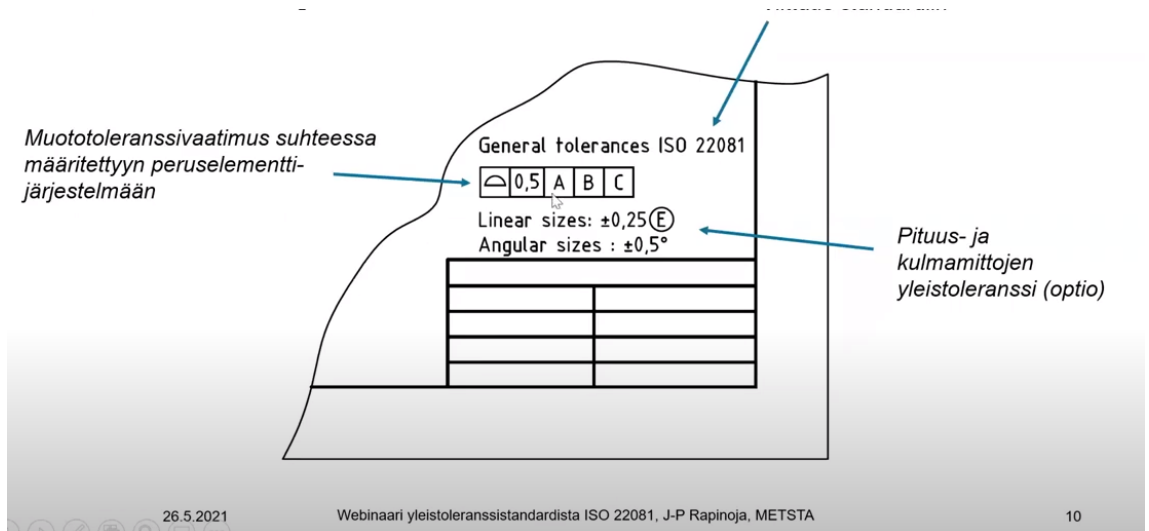
Geometriset toleranssit, jotka määrittelevät tuotteen toiminnalliset ominaisuudet esitetään standardissa ISO 1011. Geometrisiin toleransseihin kiinteästi liittyvät peruselementit MBD-sääntöineen käsitellään standardissa SFS-EN ISO 5459. [1, s. 14.]

4.5 Yleiset GPS-säännöt SFS-EN ISO 8015

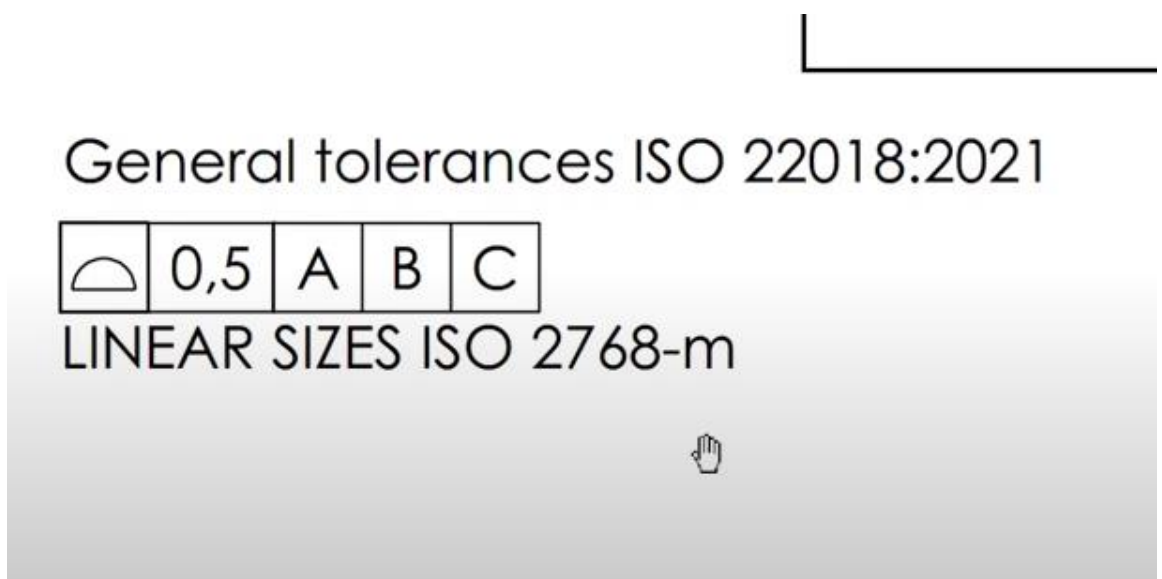
GPS eli geometrinen tuotemäärittely on teknisessä tuotedokumentoinnissa käytetty graafinen standardisoitu merkintäkieli, jota käytetään niin perinteisessä suunnittelussa sekä MBD-menetelmää käytettäessä. Standardi ISO 8015 määrittelee tärkeitä geometrisen tuotemäärittelyn perussääntöjä peruskäsitteiden, -periaatteitten, dokumentoinnin kattavuuden ja toleranssimerkintöjen asettamisesta erityyppisiin piirustuksiin ja niitä vastaaviin työkalupaitta määritteleviin mallihin. [1, s. 15.]

4.6 Yleistoleranssi SFS-EN ISO 22081

Yleistoleranssi määrittää toleranssin kappaleen niille piirteille ja mitoille, joita ei ole toleroitu yksilöllisesti. Aiemmin piirustuksissa ylivoimaisesti eniten käytetty yleistoleranssi oli vuonna 1989 julkaistu ISO 2768. ISO-2768-1 on pituusmittojen toleroinnissa edelleen käyttökelpoinen, mutta geometrisiä yleistoleransseja käsittelevä ISO 2768-2 on nykyään kumottu. Myös malliperustaisen tuotemäärittelyn osalta ISO 2768 ei suoraan sovellu yleistoleranssiksi, vaan yleistoleranssina tulee käyttää vuonna 2021 julkaistua ISO 22081, joka on geometrinen yleistoleranssi, joka yhdessä asetettujen peruselementtien kanssa määrittelee muoto vaatimusten lisäksi myös kappaleen geometrian suunnan ja -sijainnin. Yleistoleranssin tulee olla näkyvillä piirustuksessa tai tuotemäärittelytiedoilla varustetun 3D-mallin yhteydessä. Mitoituksen osalta yleistoleranssi voidaan ilmoittaa erillisenä mittana, kuten kuvassa 8 tai viitata kuvan 9 mukaisesti vanhaan, mutta edelleen voimassa olevaan yleistoleranssiin ISO 2768, joka on käyttökelpoinen lineaarisen mitoituksen yhteydessä. [2, s.28.][23.]



Kuva 8. Yleistoleranssi, geometrinen muotovaatimus ja pituus ja kulmamittojen yleistoleranssi [23, s. 10].



Kuva 9. Yleistoleranssi ISO 22081 ja pituusmittojen toleranssi ISO 2768-m [29].

4.7 Pinnankarheus SFS-EN ISO 21920-1:2021

Tuotteen pinnankarheuden merkintää ohjaa vastikään uusittu standardi SFS-EN ISO 21920-1:2021, joka kumoo edellisen pinnankarheus standardin SFS-EN ISO 1302:2001. [25.]

4.8 Hitsausmerkinnät SFS-ISO 2553

Hitsausmerkintöjen avulla suunnittelija ilmoittaa, miten hitsaus tulee suorittaa. Hitsausmerkintä voi sisältää tietoja esimerkiksi railonmuodosta, hitsin poikkileikkauksesta, tunkeumasta ja hitsaustavasta. Merkinnässä voidaan viitata myös hitsausprosessin, -luokan ja -asennon määrittelyihin standardeihin. Varsinaisten hitsausmerkintöjen lisäämisestä malliin sekä piirustuksiin määrittelee standardi SFS-ISO 2553:2019 *-Hitsaus ja niiden lähiprosessit*. [2, s. 34.]

5 MBD-tiedonsiirtoformaatit

Suunnittelun ja mallinnuksen aikana sekä sen jälkeen valmis tuote on tallennettava yrityksen tietokantaan. Tuote nimetään yksilöllisellä nimikkeellä, joka erottaa sen muista suunnitelluista ja tallennetuista tuotteista. Nimike on nykyään yleensä juokseva numerosarja, josta on ei voi etuliitteen tai muun vastaavan avulla tunnistaa, mistä tuotteesta on kyse. [2, s. 13.]

Mikäli tuotetta myöhemmin kehitetään tai muokataan tavalla, että se on esimerkiksi osana kokonpanoa edelleen vaihtokelpoinen alkuperäisen tuotteen kanssa, kehitetty tuote voidaan tallentaa revisiona, joka merkitään nimikkeen alkuperäisellä numeroinnin jälkeen tulevalle järjestysnumerolla tai kirjaimella. Mikäli tuote muuttuu niin, että se ei ole vaihtokelpoinen alkuperäisen tuotteen kanssa, revisiointia ei voida tehdä, vaan tuote on tallennettava kokonaan uudella nimikkeellä. [24.]

Tallennetun tiedon tiedostomuoto eli tiedostoformaatti määrittelee rakenteen, jolla tieto on tallennettu. Formaattien tunnistamiseen on useita eri tapoja, eräs eniten tunnettu tapa on tunnistaa tiedostotyyppi nimikkeen jäljessä olevasta kirjainyhdisteestä tai kirjaimien ja numeroiden yhdistelmästä. [28.]

Suunnittelun ja kehitystyön tuloksena syntyneet tuotteet tallennetaan tavanomaisesti työhön käytettyjen CAD-sovellusten omissa natiivimuodoissa, joita eri valmistajien CAD-sovellukset lukevat jonkin verran ristiin geometriamuotojen ja metadatan osalta. Sitä vastoin mallinnuspiirteiden ja annotaatioiden lukukyky eri ohjelmistojen välillä on puutteellista. [2, s. 41.]

Natiivitiedostojen siirto yrityksen omissa toiminnoissa olisi aina paras ja toimivin ratkaisu. 3D-mallin mukana siirtyvä tieto on alkuperäistä vastaavaa ja se on täydellistä. Kaikilla tuotemallia käytävillä yrityksen tuotannon parissa työskentelevillä ja ulkopuolisilla kumppaneilla ei ole kuitenkaan ohjelmistoja ja mahdollisuuksia, joiden avulla he voisivat lukea suunnittelijoiden tallettamia natiivitiedostoja. Niinpä standardisoinnin avulla on määritelty universaaleja tiedostomuotoja, jotka ovat luettavissa hyvin toisilla CAD-ohjelmistoilla tai katseluohjelmilla. Tiedonsiirtoformaatteja on vertailtu siirrettävän tiedon osalta kuvassa 10. [1, s. 6.]

5.1 STEP

Eräs yleisesti käytössä oleva universaali 3D-tiedonsiirtoformaatti on vuonna 1994 standardissa ISO 10303 määritelty STEP. Se koostuu useammasta standardista ja mekaniikkasuunnittelussa yleisimpiä ovat STEP AP203, AP214 sekä nämä edellä mainitut yhdistävä AP242, joka on määritelty standardissa ISO 10303-242. STEP-formaattien avulla voidaan välittää 3D-mallien kokoonpanorakenteita ja osien geometriaa. STEP AP242 tukee 3D-mallien PMI-merkintöjä sekä toleransseja ja attribuuttitietoja, joita aiemmat STEP-formaatit, AP203 ja AP214 eivät tue. [1, s. 8.]

5.2 JT

JT eli Jupiter Tessellation on Siemens PLM:n kehittämä avoin yleisformaatti PLM-tiedon siirtoon. Siitä on julkaistu standardi ISO 14306:2012 3D-mallien tiedonsiirtoon ja visualisointiin. JT-formaatin avulla suoritettujen tiedostojen tiedonsiirron informaatiotaso voidaan määrittellä tuotetietoja sisältämättömästä immateriaalioikeuksia suojevasta fasettimallista tarkkoihin geometriatietoja sisältäviin malleihin asti. JT on standardisoitu (ISO 14306:2012) vuonna 2012 ja tiedostot voidaan avata ilmaisella katseluohjelmalla. [1, s. 8.]

5.3 eDrawings

eDrawings on Dassault Systemes-yhtymän kehittämä katseluohjelma, jolla on mahdollista katella 2D-piirustuksia ja 3D-malleja, joiden geometriatietojen mukana tulevat PMI-tiedot, mallin rakenne, räjäytyskuva sekä muut kuvannot. Ohjelmalla on mahdollista tehdä mittauksia mallista ja osaluettelon ohella tiedostoon on mahdollisuus liittää esimerkiksi video kokoonpanosta. Myös eDrawings-muotoisia tiedostoja voidaan katella ilmaisella Windows-alustalle ladattavalla katseluohjelmalla. [1, s. 8.]

5.4 3D-PDF

3D-PDF on Adobe:n 1990-luvun alussa kehittämän PDF (Portable Document Format) tiedostofor-
maattiin vuonna 2005 lisätty 3D-mallin katseluformaatti, jonka avulla voidaan siirtää geomet-
riatietoja, kuvantoja, osaluetteloita ja ihmisluettavia PMI-merkintöjä. 3D-PDF-tiedostoon voidaan
liittää myös liitetiedostoina myös esimerkiksi valmistus- ja kokoonpano-ohjeita, mittauspöytäkirja
ja 3D-natiivimalli tai STEP-tiedosto. [1, s. 8.]

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

Kuva 10. Eri tiedonsiirtoformaattien vertailu siirrettävän tiedon osalta [1, s. 7.]

6 Toimeksiantajan nykytilanne

6.1 Nykytilanne Mehi Oy:ssä

Erikoistyökalut suunnitellaan tällä hetkellä Mehi oy:ssä 2D-CadMatic- ja 3D-SolidWorks-ohjelmistojen avulla. 2D-muotoiset CadMatic-piirustukset tallennetaan yrityksen omaan tietojärjestelmän, joka on kaikkien henkilökuntaan kuuluvien saatavilla. Solidworksilla suunniteltujen tuotteiden osalta tallennuspaikka on tuotetiedonhallinta järjestelmä SWPDM, josta se on koneistajien tarkasteltavissa ja haettavissa työstöohjelman toimivaan Mastercamiin. Mallien tarkastelua rajoittaa katselulisenssien määrä, joita on tällä hetkellä 5 kpl. Seuraavassa esitellään vain prosessin kulku 3D-suunnitteluohjelman avulla mallinnetuille tuotteille.

3D-suunnitteluohjelmalla työkalusta suunnitellaan työkalurunko, josta tehdään kääntöpalojen, kiinnitysruuvien ja mahdollisten muiden työkaluun kuuluvien tarvikkeiden kanssa 3D-kokoonpano. Tämän jälkeen ohjelman avulla luodaan kokoonpanosta 2D-piirustus, joka toimii samalla tarjoukseen liitettävänä asiakaskuvana. Kun mallin projektiot on tuotu ohjelman avulla piirustusarkille, suunnittelijan täytyy mitoittaa sen geometria päämittojen osalta ja lisätä muut asiakkaalle välitettävät tiedot, kuten osaluettelo, joka koostuu kokoonpanoon kuuluvista osista. Asiakkaalle voidaan lähettää myös hänen niin halutessaan STEP AP203- tai AP214-tiedosto kokoonpanosta. Kokoonpanopiirustuksen lisäksi luodaan työkalurungosta tuotantoon valmistuspiirustus, johon on merkitty kaikki tuotteen valmistuksessa tarvittavat mitat, toleranssit, pintavaatimukset ja muut tarvittavat tiedot. Tämän jälkeen piirustus tallennetaan PDM:n ja lisäksi PDF-muotoisena yrityksen tietokannassa olevaan piirustusarkistoon. Tuotteesta tehdään toiminnanohjausjärjestelmään rakenne, josta selviää sen työvaiheet ja kulku tuotantoprosessissa. Rakenteen ja raaka-ainekustannusten avulla lasketaan tarjous asiakkaalle tuotteen valmistamisesta. Mikäli asiakas hyväksyy tarjouksen, tuotannonohjaus ajoittaa tuotteen valmistuksen ja mahdollisesti siihen tarvittavat osto-osat sekä raaka-aineet nousevat tilauslistalle. Valmistuksen alkaessa piirustus haetaan piirustusarkistotiedostosta ja tulostetaan paperisen työmääräimen yhteyteen.

Tuotannossa CNC-koneistajat hakevat PDM järjestelmästä 3D-mallin minkä pohjalta he tekevät paperista piirustusta apuna käyttäen Mastercam-ohjelman CNC-työstökoneelle. Mahdollinen manuaalikoneilla tehtävä työstö tehdään pelkästään piirustus pohjalta. Perusmuodon sorvausten ja jyrsintöjen jälkeen poistetaan terävät särmät ja suoritetaan mahdollinen lämpökäsittely. Läm-

pökäsittelyn jälkeen suoritetaan mahdolliset hionnat manuaalihiomakoneilla piirustuksien mitoituksien ja merkintöjen mukaisesti. Viimeisessä työvaiheessa pakkaamossa suoritetaan piirustuksia apuna käyttäen kokoonpano, tuotteen merkitseminen sekä mahdollinen tarkistusmittaus ja mittausraportin laatiminen. Tuotannossa 2D-piirustus kulkee tuotteen kanssa yhtä matkaa toimien samalla aihion tunnisteena eri työvaiheissa. Tuotetunnuksen merkitseminen lasermerkintälaitteella tehdään vasta viimeisissä työvaiheissa pakkaamossa. Pääsääntöisesti tuotantoprosessi kulkee edellä mainitulla tavalla, jotkin tuotteet ja eri raaka-aineet voivat muuttaa, lisätä tai vähentää työvaiheita ja niiden järjestystä.

Nykytilanteen osalta digitaalisen tuotetiedonhallinnan taso asettuu kuvan 4 luokitusta käytettäessä portaalle 1 tai 2, osa malleista suunnitellaan edelleen 2D-ohjelmalla, mutta niistä joudutaan joskus tekemään 3D-malli, josta jotkut työvaiheet on helpompi siirtää valmistuksessa käytettävälle CAM-ohjelmalle. Etenevässä määrin on kuitenkin käytössä 3D-suunnittelu, jonka yhteydessä kolmiulotteisesta mallista laaditaan suunnitteluohjelman avulla 2D-piirustus. Tämä piirustus on valmistuksen aikana käytössä tasavertaisesti kolmiulotteisen mallin kanssa sekä toimii tuotteen tunnisteena kulkien sen matkassa koko tuotantoprosessin ajan.

6.2 SWOT-analyysi

SWOT-analyysi, joka tunnetaan myös nelikenttäanalyysinä, on yksinkertainen ja usein käytetty analysointimenetelmä yritysten strategian laatimisessa, kehittämistyössä, uuden oppimisessa ja ongelmien tunnistamisessa.

SWOT on lyhenne sanoista:

- Strength = vahvuus
- Weakness = heikkous
- Opportunity = mahdollisuus
- Threat = uhka

SWOT - analyysi tehdään yleensä ruudukon muotoon. Ruudukko täytetään siten, että esimerkiksi vahvuudet ja heikkoudet ruutuihin kirjataan ne ominaisuudet, jotka ovat vahvuuksia tai heikkouk-

sia verrattuna kilpailijoihin. Vahvuudet ja heikkoudet kuvaavat nykytilaa ja yrityksen sisäisiä asioita. Ruutuihin mahdollisuudet ja uhat taas kirjataan asioita, jotka ovat ulkoisia ja voivat tulevaisuudessa vaikuttaa yrityksen mahdollisuuksiin menestyä. [19.]

Johtopäätökset SWOT-analyysistä tehdään selvittämällä:

- Miten vahvuuksia voidaan edelleen kehittää?
- Miten heikkouksia voidaan vähentää tai poistaa kokonaan?
- Miten mahdollisuuksia voidaan hyödyntää?
- Miten uhkia voidaan vähentää tai poistaa kokonaan?

Näistä vahvuudet kertovat, mihin yritys kykenee ja kertovat siten mihin ja minkälaisiin projekteihin yrityksen kannattaa osallistua. Mahdollisuudet ilmaisevat yrityksen mahdollisen potentiaalin näihin projekteihin. Vahvuudet ja mahdollisuudet ovat siis positiivisia asioita SWOT-analyysissä. Heikkoudet ilmaisevat, mitkä projektit kannattaa ohittaa tai mihin yrityksen resurssit eivät riitä ja mitä osa-alueita tulisi kehittää kilpailukyvyyn tehostamiseksi. Uhat ovat yleensä täysin yrityksestä itsestään riippumattomia asioita, jotka tulisi ottaa huomioon ja joita tulisi tarkastella useasta näkökulmasta sopivan selviytymisstrategian laatimiseksi uhan konkretisoituessa. Heikkoudet ja uhat mielletään negatiivisiksi aihealueiksi SWOT-analyysiä laatiessa. Taulukossa 1 opinnäytetyöntekijä on arvioinut organisaation toimintakykyä siirryttäessä malliperustaiseen tuotemäärittelyn käyttöön yrityksen tuotannossa. [20.]

-

Taulukko 1. SWOT-analyysi MBD:n käyttöönotosta

<p>Vahvuudet</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suunnittelijoiden ja tuotannon toimiminen saman katon alla. • Hyvä vuorovaikutus koko henkilökunnan kesken. • Pieni konepaja, uudistuskykyinen, ketterä ja muokkautuva. • Koko henkilöstö sisäistää ja ymmärtää kannattavan liiketoiminnan tärkeyden. • Mastercam-ohjelmiston päivitys menossa tällä hetkellä. 	<p>Heikkoudet</p> <ul style="list-style-type: none"> • MBD-lisäosa puuttuu SolidWorks:istä. • PDM-katselulisenssien rajallinen määrä voi estää natiivimallien tarkastelun. • Tuotteiden tunnistettavuus tuotannon aikana, tunniste tuotteeseen tehdään vasta pakkaamossa. • Täydelliseen MBD-käyttöönottoon ei helposti päästä, suuri 2D-suunnittelun määrä.
<p>Mahdollisuudet</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suunnittelutoiminnan ja tuotannon tehostuminen ajansäästön myötä. • Tuotteiden laadun paraneminen piirustusten virheiden ja tulkintavirheiden poistumisen myötä. • Ristiriitatilanteiden poistuminen. 	<p>Uhat</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tarvitaan STEP AP242 ja 3D-PDF • Mastercam ei kykene konelukemaan PMI-tietoa eikä tunnista piirteitä. • Työntekijöiden uudistuskyvyttömyys. • Koulutus häiritsee tuotantoa. • Asiakkaat haluavat edelleen 2D-muotoisen piirustuksen.

6.2.1 Vahvuudet ja niiden edelleen kehittäminen sekä mahdollisuuksien hyödyntäminen

Toimeksiantajan ehdottomia vahvuuksia on suunnittelun ja tuotannon sijainti samassa toimipai-
kassa, jolloin ongelmatilanteissa kummankin tahon on helppo kysyä lisätietoja ja tarkennuksia
ongelman ratkaisemiseksi. Pienikokoisen konepajan koko henkilökunnan vuorovaikutus on hyvä,
ja kaikki ymmärtävät sekä sisäistävät tuotteiden virheettömän laadun sekä kannattavan liiketoi-
minnan tärkeyden yrityksen olemassaolon ja jatkuvuuden edellytyksiksi. Toimeksiantaja on tällä
hetkellä päivittämässä myös tuotannon pääohjelmaksi jäävää Mastercam-ohjelmistoa, minkä yh-
teydessä järjestetään koulutusta koneistajille. Koulutuksen ohessa voitaisiin alustavasti sivuta jo
malliperustaisen tuotemäärittelyn mahdollisesta käyttöönotosta lähitulevaisuudessa ja mahdol-
lisista muutoksista koskien Mastercam-ohjelmointia.

Mikäli piirustusten laatimisesta ja niiden ajan tasalla pidosta päästään eroon, suunnittelutoiminta
tehostuu ajan säästön myötä jonkin verran, tosin tuotemäärittelytietojen lisääminen malliin vaatii
ainakin aluksi myös oman aikansa. Ajan säästön myötä suunnittelijoille jää enemmän aikaa vas-
tata lyhyemmällä viiveellä asiakkaiden tarjouspyyntöihin ja suunnittelusykli saadaan muutenkin
lyhyemmäksi. Mahdollisten virheellisten mitoitusten ja piirustusten tulkintavirheiden poistumi-
nen parantaa tuotteitten laatua. On myös mahdollista nopeuttaa CAM-ohjelmointia, mikäli käy-
tössä oleva Mastercam kykenee piirteiden tunnistukseen ja konelukemaan PMI-tiedon.

6.2.2 Heikkoudet uhat ja niiden eliminointi

Heikkouksiksi voidaan tällä hetkellä laskea ohjelmisto puolella SolidWorksin MBD-lisäosan puut-
tuminen, minkä vuoksi mallin tallentaminen tuotetiedot sisältäviin 3D-PDF- ja STEP AP242-tiedos-
tomuotoihin ei onnistu. Tuote- ja valmistustietojen lisääminen natiivimalliin ja eDrawings-tiedos-
ton luominen onnistuvat kyllä tämän hetken SolidWorks-perusversiolla, mutta esimerkiksi STEP
AP203- ja AP214-tiedostoihin näitä tietoja ei ole mahdollista saada näkymään. Mastercam voi olla
myös kykenemätön lukemaan SolidWorksilla luoduista natiivitiedostoista PMI:tä ja mallin piir-
teitä. Mutta vaikka koneluku ei toteutuisikaan, ohjelmointi helpottuisi ja nopeutuisi jonkin verran
mitoituksen näkyessä suoraan kyseisessä kohtaa 3D-mallissa, eikä sitä ei tarvitse hakea toiselta
näytöltä tai erillisestä paperisesta piirustuksesta. On myös mahdollista, että SolidWorksilla luodut

PMI:n sisältävät natiivitiedostot eivät välttämättä ole tuettuja Mastercam:ssa eli ohjelma ei kykene avaamaan niitä ollenkaan.

Mikäli SolidWorksiin hankittaisiin MBD-lisäosa, se mahdollistaisi joidenkin tuotteen mitoitus- ja esitysominaisuuksien lisäksi STEP AP242-tiedoston luomisen sekä tuotetiedoilla olevat 3D-PDF-tiedostot. Täytyisi myös selvittää, riittävätkö PDM-katselulisenssit kaikille tuotannon työntekijöille, jotka tarvitsevat natiivimallin käyttöönsä.

Henkilökunnan voi myös olla vaikea omaksua uusi toimintatapa, koska ihminen haluaa tyypillisesti jatkaa samalla hyväksi havaitulla ja hyvin toimivalla perinteisellä tavalla. Myös väärä käsitys asiasta voi olla esteenä uuden toimintatavan hyväksymiselle. Henkilökunnan kanssa olisi siis pidettävä palaverreja asiasta, missä MBD-käyttö ja siitä aiheutuvat muutokset tuotaisiin selkeästi esille. Lisäksi täytyy järjestää kaikille tuotantoprosessiin osallistuville, suunnittelusta pakkaamoon, koulutusta menetelmän käyttöön. Koulutukset olisi järjestettävä kuitenkin työaikana ja suorien kustannusten lisäksi tuotannon virtaus häiriintyy koulutusten vuoksi.

Uuden toimintatavan omaksuminen ei ole pelkästään siihen siirtyvän yrityksen henkilökunnan ongelma, myös asiakkaina toimivat teollisuus ja tuotanto luottaa perinteisiin toimintatapoihin ja prosesseihin. Asiakkaat eivät halua ottaa ylimääräisiä riskejä ja muutoksia toimiviin ratkaisuihin. Eräs vaihtoehto MBD-käyttöönottoon voisi olla asteittainen siirtyminen, jolloin vajaammin mitoitettut asiakkaalle lähetettävät kokoonpanokuvat säilyisivät prosessissa.

Tällä hetkellä aihion mukana kulkeva paperinen 2D-piirustus on ollut tuotannaikaisena tunnisteena tuotteelle. Laser-merkinnällä tehtävä tuotetunnus on lisätty tuotteeseen tuotantoprosessin viimeisessä vaiheessa pakkaamossa. Mikäli vajaammin mitoitettu kokoonpanopiirustus säilyisi yrityksen prosessissa, se voisi kulkea edelleen tuotannaikaisena tunnisteena tuotteen mukana, mutta tällöin piirustukseton tuotanto ei kuitenkaan toteudu. Suuri 2D-suunnitteluohjelman tietokanta ja käytön määrä hidastaa kuitenkin täydelliseen MBD-menetelmään siirtymistä.

7 Case esimerkkituote

Opinnäytetyön toiminnallisessa osuudessa suunniteltiin ja valmistettiin asiakkaalle lastuava erikoistyökalu malliperustaista tuotemäärittelyä käyttäen. Valmistettavan tuotteen tuli olla sellainen, että se kulki koko tuotantoketjun läpi. Näin toimien nähtiin konkreettisen esimerkin avulla, miten toimeksiantajan tämän hetken ohjelmistot ja tuotantoprosessi soveltuisivat malliperustaisen tuotemäärittelyn käyttöön. Lisäksi pohdittiin, mitä hyötyjä ja haasteita malliperustaisen tuotemäärittelyn käyttö aiheuttaisi tuotantoprosessissa sekä mitä mahdollisia muutoksia ja investointeja se vaatisi toimiakseen toimeksiantajan tuotannossa.

7.1 Toteutus suunnitelma

- A. Sopivan erikoistyökalutarjouspyynnön saapuessa opinnäytetyön tekijä pohtii, täyttääkö tarjouspyynnön mukainen työkalu toiminallisen osuuden esimerkkituotteen vaatimukset. Mikäli vaatimukset täyttyvät, kysytään toimeksiantajan hyväksyntä ja lupa asiakkaalta tuotteen käyttämiseen.
- B. Opinnäytetyön tekijä suunnittelee asiakkaalta saatujen esitietojen perusteella 3D-tuotemallin erikoistyökalusta SolidWorks-ohjelmistolla.
- C. Tuotemallin toimivuus arvioidaan toimeksiantajan kanssa ja mahdollisten muutosten jälkeen esitellään asiakkaalle.
- D. 3D-tuotemallin runko-osalle ja kokoonpanolle laaditaan malliperustainen tuotemäärittely, pyrkien noudattamaan standardin SFS-ISO 16792 vaatimuksia. Kokoonpanosta laaditaan myös normaali 2D-piirustus. Lisäksi kummastakin luodaan myös eDrawings-tiedosto, joka tallennetaan yhdessä 3D-mallin kanssa yrityksen tuotetiedonhallintajärjestelmään eli PDM:n ja lisäksi omaan kansioonsa yhteiseen tietokantaan, koska PDM-käyttölisenssit ovat tällä hetkellä rajalliset.
- E. Asiakkaalle lähetetään tuotteesta tarjous, jonka yhteyteen liitetään perinteinen kokoonpano 2D-piirustus sekä valmistustietojen ja osaluettelon sisältävä dokumentti kokoonpanon 3D-mallista.

- F. Mikäli asiakas hyväksyy tarjouksen, tuotannonohjaus tekee siitä työmääräyksen, jonka huomautukset sarakkeessa ilmoitetaan MBD-kokeilusta ja tuotteen 3D-mallin sekä eDrawings-tiedostonsijainti yrityksen tietokannassa.

7.2 Tarjouspyyntö

Toimeksiantaja saa tarjouspyynnön yhteydessä joitakin suunnitteluun tarvittavia esitietoja, joiden pohjalta aletaan suunnittelemaan työkalua asiakkaalle. Case-esimerkitapauksessa on kyseessä 20 mm korkean 55 asteen hitsausviisteen jyrsiminen teräslevyn laitaan. Työkalun mallista tulee siis tyypillinen toimeksiantajan tuotevalikoimaan kuuluva lastuava erikoistyökalu, joka valmistetaan hiiletysteräksestä ja se kulkee normaalin tuotantoketjun läpi. Työkalu täyttää toimeksiantajan vaatimuksen eli sen kulku tuotannossa käsittää kaikki työvaiheet. Lisäksi kysytään asiakkaalta lupa käyttää hänelle suunniteltavaa tuotetta opinnäytetyön case-esimerkki-tuoteosiossa.

7.3 Suunnittelu

Tässä opinnäytetyössä ei perehdytä varsinaiseen tuotteen mallintamiseen, vaan tuotetietojen lisäämiseen 3D-malliin. Työkalun suunnitteluun käytetään toimeksiantajan käytössä olevaa SolidWorks Standard 3D-suunnitteluohjelmaa, joka ei sisällä varsinaista MBD-lisäosaa, mutta siihen kuuluu MBD Dimensions-ominaisuus, jolla voidaan lisätä tuotemäärittely tiedot 3D-malliin. MBD-lisäosan puute rajoittaa joidenkin tiedonsiirtoformaattien käyttöä, standardiversio ei sisällä tuotetiedot sisältävän 3D-mallin STEP AP242 tiedonsiirto mahdollisuutta, eikä 3D-PDF:n yhteydessä voida lähettää mallin tuotemäärittelytietoja. Ohjelmaan kuuluvan MBD Dimensions-ominaisuuden avulla voidaan kuitenkin julkaista eDrawings-tiedosto, jolla 3D-malli tuotemäärittelytietoineen saadaan tallennettua, ja näkymää voi katsella ilmaisohjelmalla, joka sisältyy kaikkiin yrityksen työntekijöiden käytössä oleviin tietokoneisiin. Lisäksi eDrawings sisältää monia muita ominaisuuksia, esimerkiksi mitoitustyökalun ja mallin leikkauskuvanto mahdollisuuden, jotka tarvittaessa helpottavat mallin tarkastelua.

Suunnitteluohjelman perusversiosta puuttuu myös joitakin näkymiä ja mallia muokkaavia MBD-työkaluja. Pitkää mallia ei voida lyhentää katkaisutyökalun puutteen takia, saman kappaleen revisioiden eroavaisuuksien vertailutyökalu 3D PMI Compare ei myöskään kuulu peruspaketin varusteisiin. Myös mallin tarkastelua SolidWorksissa helpottava Dynamic Annotation Views, joka häivyttää eri tasojen annotaatioita mallia käännellessä sekä erilaiset näkymän kaappaustyökalut ovat käytettävissä vain MBD-lisäosan ollessa asennettuna.

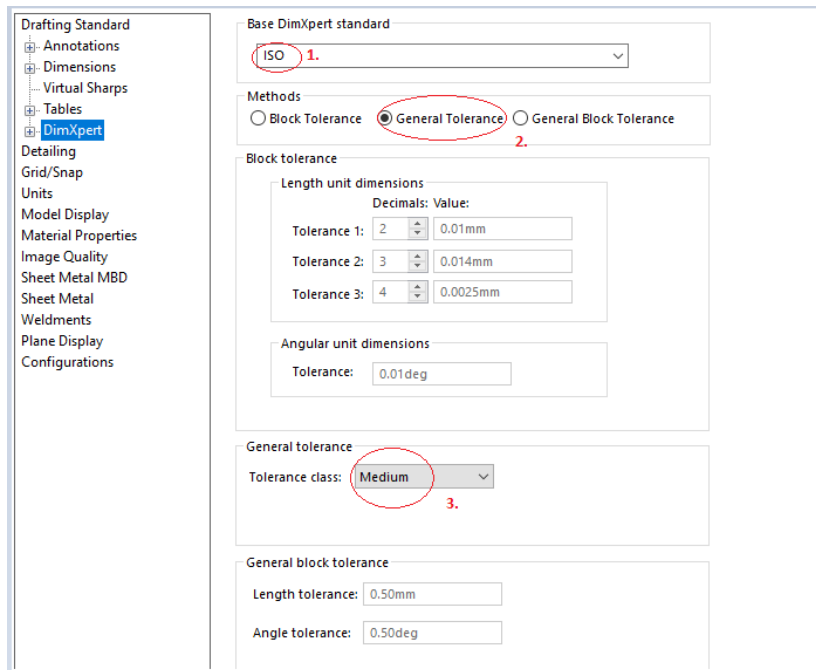
Suunnittelu tehdään asiakkaalta saatujen esitietojen perusteella. Asiakkaalta on saatu mitat halutusta profiilista, tieto työstettävästä materiaalista sekä toive käytettävästä kääntöpalasta ja kiinnityksestä työstökoneeseen. Tässä tapauksessa kiinnitys tulee Weldon 32 välityksellä. Jyrsittävän pinnan lopullinen profiili on edellä mainittu 20 mm korkea ja kylkikulmaltaan 55 astetta oleva viiste. Tuote suunnitellaan asiakkaan haluamalla ominaisuuksilla, sen jälkeen tuote esitellään asiakkaalle.

MBD-menetelmää käytettäessä mallinnus ei poikkea normaalista käytännöstä, kuitenkin on hyvä ajatella, miten päin kappaletta käytetään, onko siinä selvät SolidWorks:in Top Plane-tasolle sijoittuvat ylä- ja alapinnat tai Front Plane-tasolle sijoittuva etupinta. Näin mallilla on jo valmiina annotaatio-tasoja, joita ei tarvitse nimetä mitoitusta laatiessa uudestaan.

Mallin valmistuttua siitä tehtiin kokoonpano, johon sisällytettiin kaikki lopulliseen tuotteeseen kuuluvat osat. Myös teräpalat näkyvät tässä kokoonpanossa, vaikka niitä ei yleensä toimiteta tuotteen mukana. Perinteisesti tässä vaiheessa tehdään SolidWorks:n avulla kokoonpanopiirustus, jossa selviävät päämitat ja osaluettelo. Kokoonpanopiirustuksen lisäksi valmiista tuotteesta tehtiin myös päämitat sisältävä 3D-tuotemalli, jonka näkymään lisättiin tuotteen tunniste ja attribuuttitiedoilla oleva Note-kenttä sekä osaluettelo kokoonpanoon kuuluvista osista.

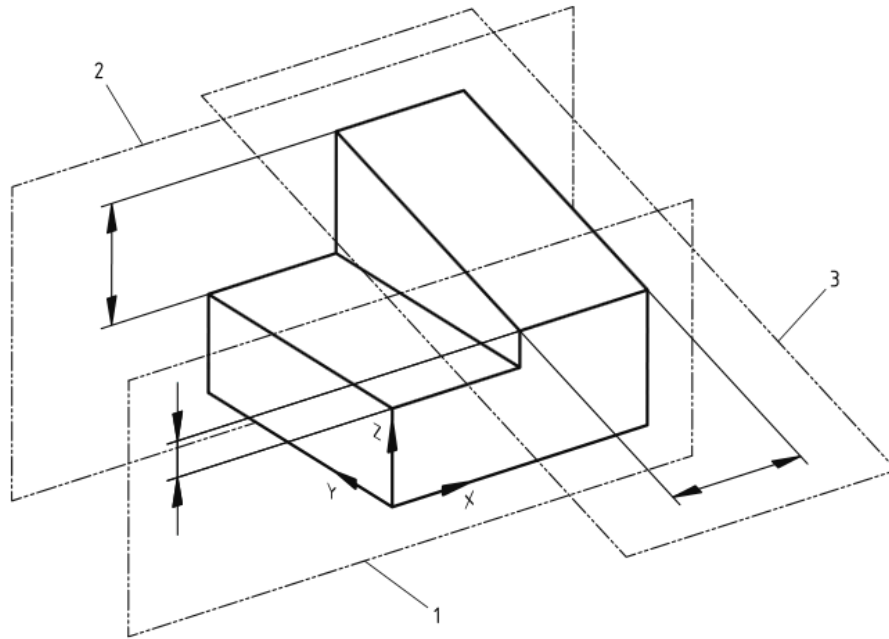
7.4 Tuotemäärittely SolidWorks MBD Dimensions -toiminnon avulla

Tuotemäärittelytietojen lisääminen malliin pyritään tekemän METSTA:n suositteleman standardin SFS-ISO 16792:2021 mukaisesti. Standardi määrittelee käytännöt tuotemäärittelytietojen lisäämisestä. [1, s. 17.] Ennen tuotetietojen lisäämistä suunnitteluohjelman asetuksista (kuva 11) on myös tarkistettava, että käytössä on ISO-standardi sekä lineaarisiin- ja kulmien mitoituksiin käytettävä yleistoleranssi oikealla luokituksella.



Kuva 11. Käytettävän standardin (1.), yleistoleranssin(2.) ja -luokan valinta(3.)

Mallin yhteydessä tulee näkyä absoluuttinen koordinaatisto, jonka mukaan annotaatiotasot (kuva 12) määräytyvät. Annotaatiotasot ovat tasoja, joihin kappaletta määrittävät valmistusmerkinnät, kuten esimerkiksi mitoitus ja pinnanlaatu asetetaan. Näitä tasoja voi olla myös tarvittaessa muisakin asennoissa tai ne voivat olla määriteltyinä myös muuhun suunnittelijan asettamaan koordinaatistoon. Koordinaatiston on oltava oikeakätinen, ellei toisin määrätä ja sen origo tulee olla akseleiden leikkauspisteessä, josta nimetyt akselit lähtevät positiiviseen suuntaan. Malli voi sisältää absoluuttisen koordinaatiston lisäksi yhden tai useampia mallikoordinaatistoja, joiden sijainti on linkitettävä CAD-mallissa absoluuttiseen koordinaatistoon sekä teknisessä tuotedokumentaatiossa on oltava linkki mallikoordinaatiston ja geometrisiä määrittelyjä varten olevan peruselementtijärjestelmän välille. [21, s. 13–15.]



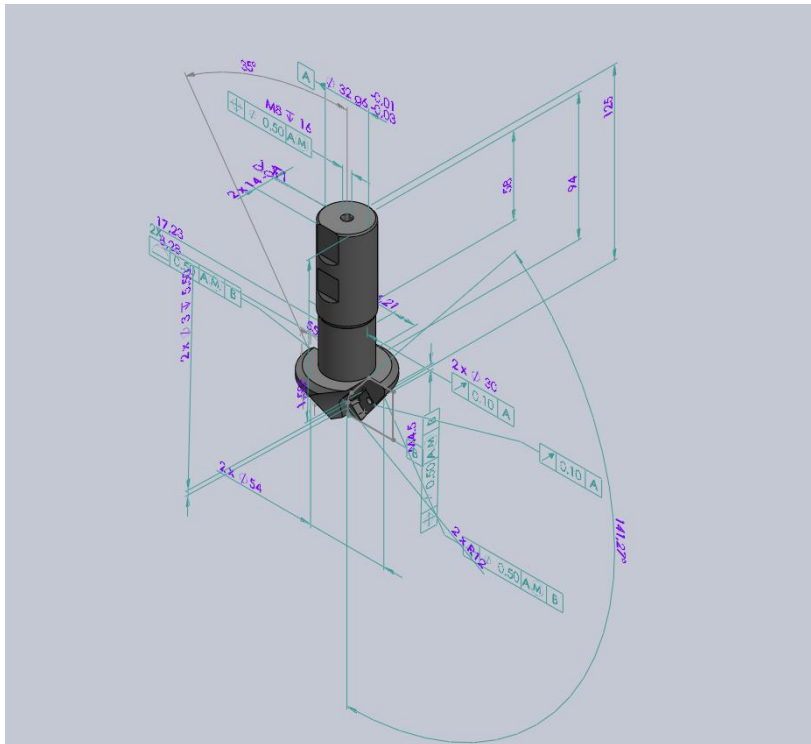
Selite

- 1 etuannotaatiotaso absoluuttisen koordinaatiston suunnassa
- 2 taka-annotaatiotaso absoluuttisen koordinaatiston suunnassa
- 3 annotaatiotaso suunnassa, joka ei ole yhdensuuntainen absoluuttisen koordinaatiston kanssa

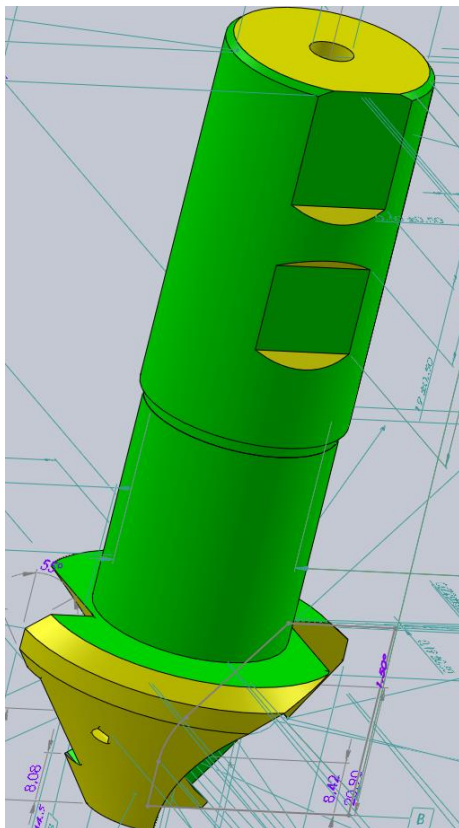
Kuva 12. Suunnittelumallissa käytettävien annotaatiotasojen määräytyminen koordinaatiston suhteen [21, s. 14].

Geometriatietojen lisäämiseen käytettiin Dimxpert Auto Dimension Scheme -työkalua, joka lisää mitat ja geometriset toleranssit malliin automaattisesti. Työkalun asetuksista määritellään, onko kappale suorapintainen vai onko se pyörähdyskappale. Samoin valitaan asetukset toleranssityypistä ja kuvion mitoituksista sekä valitaan tasot peruselementeille, joiden perusteella geometriset toleranssit voidaan määrittellä yksiselitteisesti. Tässä ensimmäiseksi tasoksi valittiin työkalun kiinnityslieriö eli ensisijaisena peruselementtinä on lieriön akseli, toiseksi tasoksi valittiin front plane eli etutaso ja kolmanneksi työkalun ylätasanne.

Auto Dimension Schene -työkalu mitoittaa lähes koko kappaleen (kuva13), työkalun käytön jälkeen Show Tolerance Status -tarkistustyökalu aktivoituu ja näyttää kuvan 14 mukaisen värikoodauksen avulla, ovatko pinnat miten mitoitettu. Vihreät värillä olevat pinnat ovat täysin mitoitettuja, keltaiset mitoitettuja, jotka voivat tarvita vielä jonkin annotaation. Jos pinta taas on punainen se on ylimitoitettu.

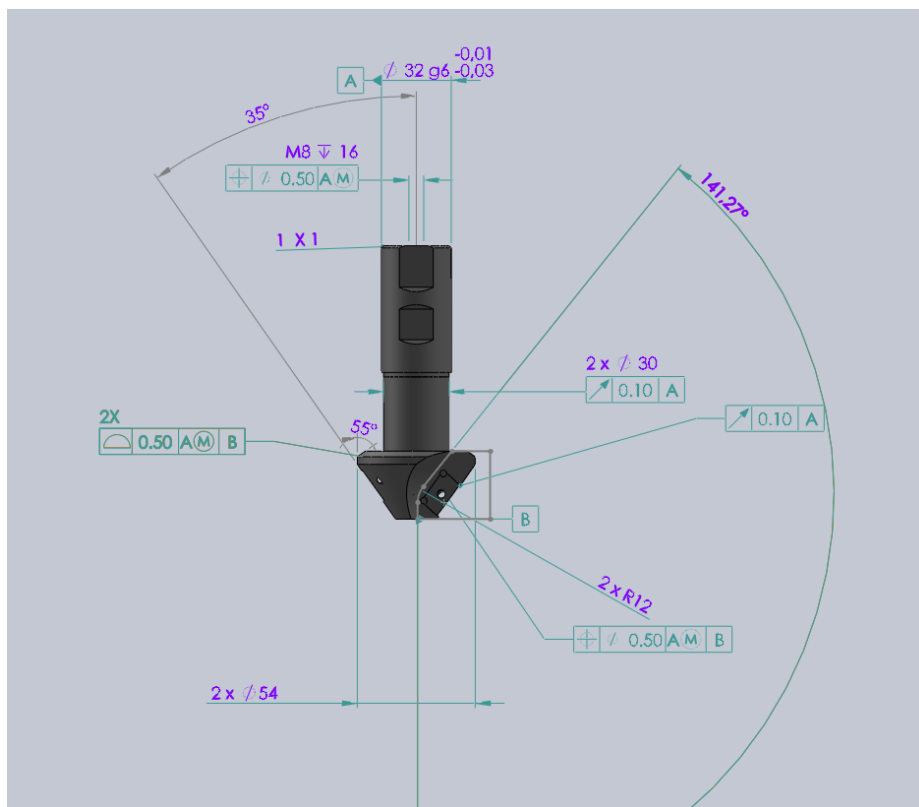


Kuva 13. Isometrinen näkymä Auto Dimension Scheme -mitoituksen jälkeen



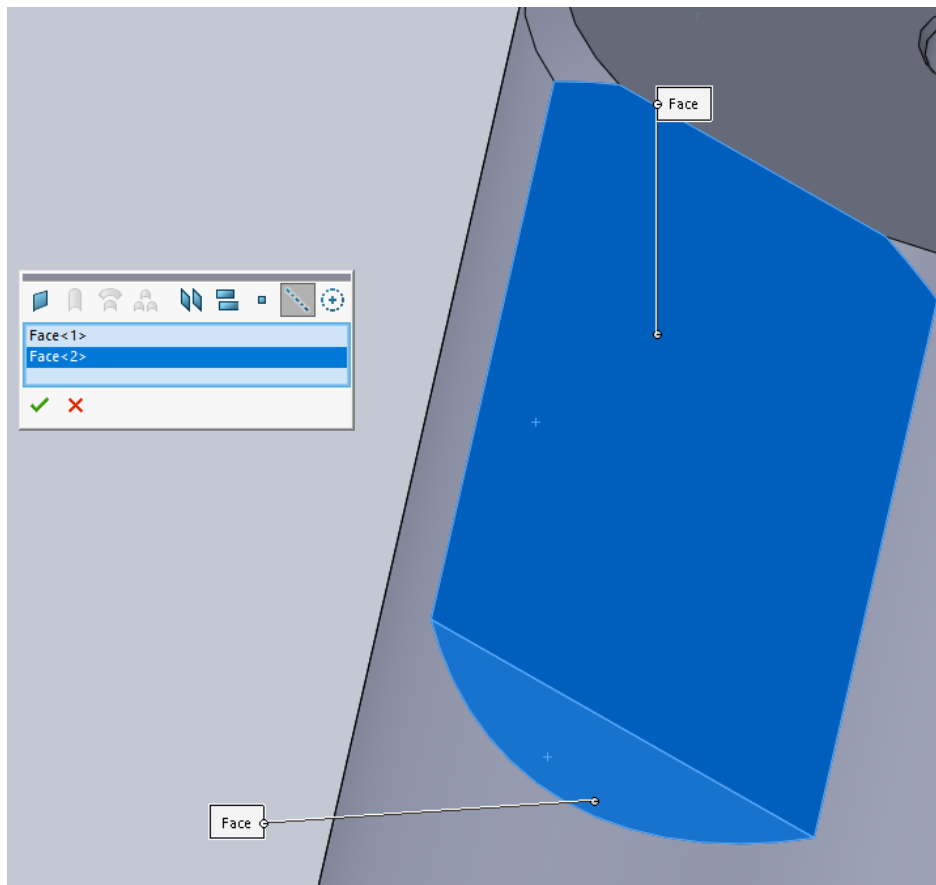
Kuva 14. Tolerance Status -tarkistustyökalun värikoodaus.

Kappaleeseen lisätyt annotaatiot ovat oltava helposti luettavassa muodossa ja katsottaessa annotaatiotasoja kohtisuoraan kyseisen tason annotaatiot eivät saa olla mallin eikä toistensa päällä. [21, s. 13.] Auto Dimension Schene -työkalua käytettäessä mukaan tulee myös joitakin sellaisia annotaatioita, mitkä eivät ole välttämättä ole oleellisia valmistuksen kannalta toimeksiantajan tuotantoprosessissa. Annotaatioita tuleekin olla mahdollista rajata käyttäjän tarpeisiin. [21, s. 25–26.] Tässä tapauksessa joitakin tarpeettomaksi arvioituja annotaatioita karsittiinkin pois ja jäljelle jääneitä järjesteltiin mallin selkeyttämiseksi niin että esimerkiksi kuvassa 15. kappaletta Front-näkymästä tarkasteltaessa annotaatiot näkyvät samaan tapaan kuin ne olisi vastaavassa piirustuksessa esitetty. SolidWorks:n tarjoamien perusnäkyvien lisäksi tehtiin myös annotaatiotasot lastutilojen pinnan suuntaisesti koska niitä oli mallin luonti vaiheessa kallistettu hieman Front-tasosta taaksepäin. Näillä lisätyillä annotaatiotasoilla esitettiin lastutilojen- sekä palatilojen mittoja ja piirteitä.

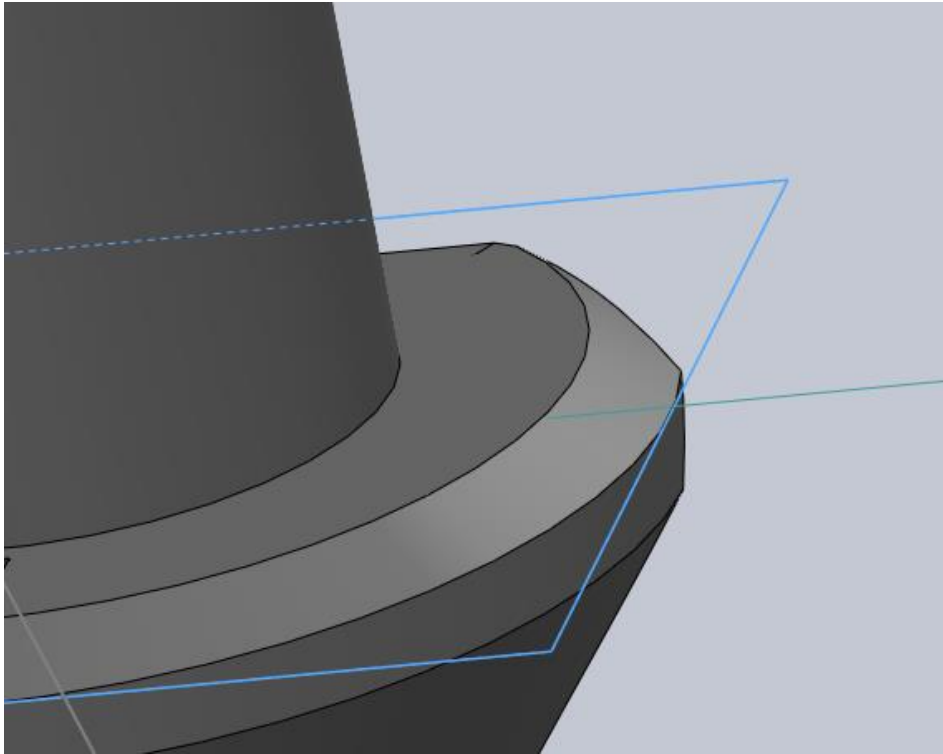


Kuva 15. Front-näkymä.

Myös joitakin tarpeellisiksi arvioituja mittoja jäi puuttumaan ja ne lisättiin malliin käsimitoitusta käyttäen. Koska kaikkia annotaatioita ei pystytä kuitenkaan esittämään yhdessä näkymässä, jaettiin niitä siten että esimerkiksi tuotteen sivunäkymässä esitettiin helposti sivulta havaittavat annotaatiot. Merkinnyt ja mitoittaminen tapahtuu SolidWorksissa Location- ja Size-Location Dimension -työkaluilla. Size Dimension -työkalun avulla voidaan mitoittaa halkaisijoita, muotoja, pyöristyksiä ja viisteitä. Etäisyyksien ja sijaintien mitoitus tapahtuu taas Location Dimension -työkalulla. Location Dimension -työkalun käyttö eroaa jonkin verran saman suunnitteluohjelman piirustuksen mitoituksesta. Suurin ero lienee se, että pituusmitta täytyy ottaa aina kohtisuoraan toisistaan olevista pinnoista eli särmistä eli mallin ääriviivoista ei voi ottaa pituusmittaa. Mitoituksen takia joudutaan joihinkin kohtiin lisäämään kuvien 16 ja 17 esittämiä apuviivoja ja -tasoja sekä käyttämään muita avustavia mitoitusvälineitä, joita ohjelma kyllä itse ehdottaakin kuvassa 16. vasemmalla näkyvän valikon avulla.

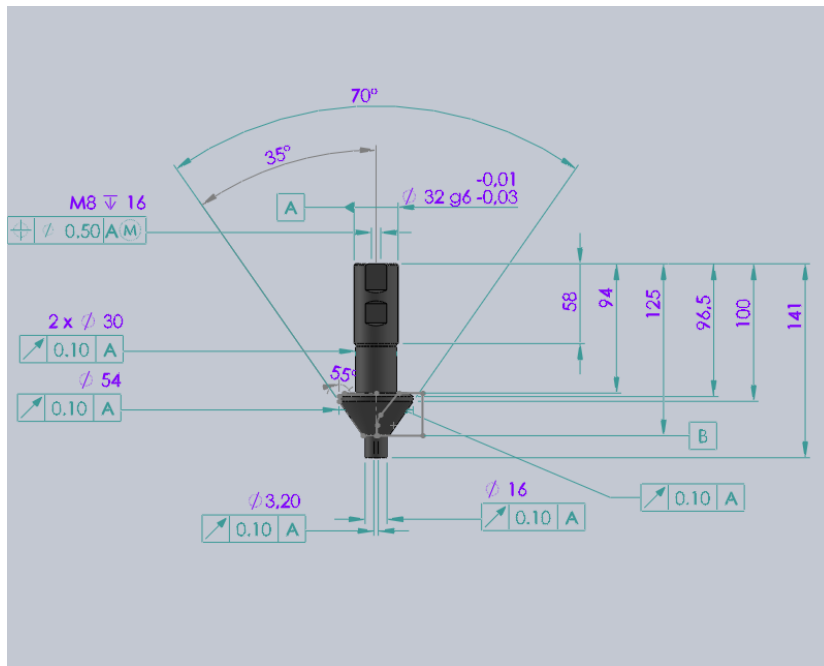


Kuva 16. Tason ja viisteen rajaan lisätty akseli pituusmittausta varten.



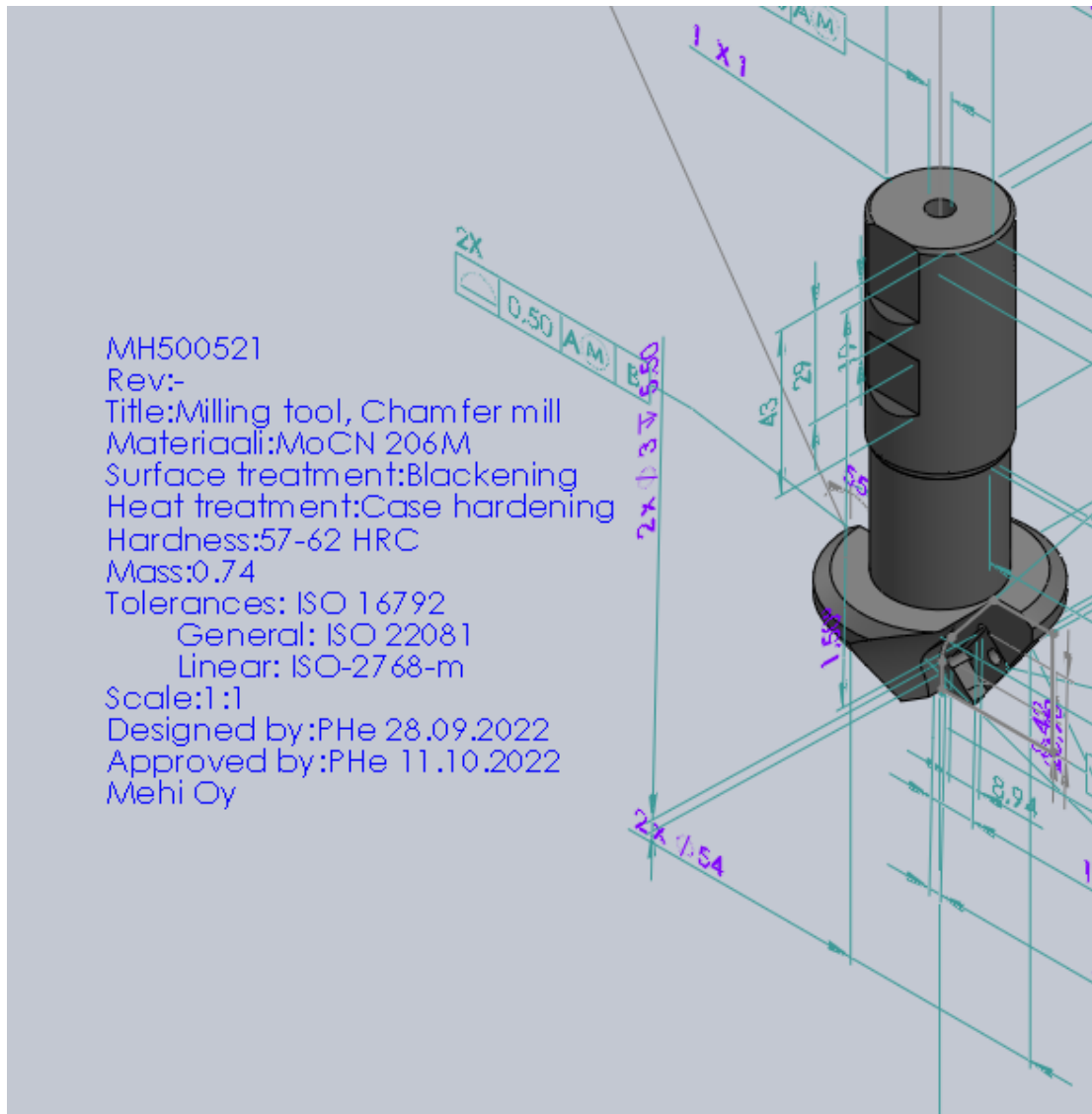
Kuva 17. Viisteen ja lieriöpinnan väliin lisätty aputaso pituusmittaa varten.

Kappaleesta tehtiin konfiguraationa myös niin sanottu sorvauskuva, jossa käy ilmi kaikki ensimmäisessä työstövaiheessa eli muodon sorvauksessa tarvittavat mitoitukset, kulmat ja halkaisijat. Sorvauskuvassa kaikki annotaatiot luotiin Front-tasolle, johon ne mahtuivat kohtuullisen hyvin. Sorvauskuvassa 18 näkyy myös kappaleen alapinnassa oleva lyhyt lieriö, joka yleensä ei näy muissa valmistuspiirustuksissa. Tuo lieriön tarkoituksena on mahdollistaa valmistus aikana kappaleen kiinnittäminen eri työstökoneisiin ja se katkaistaan viimeisen työstövaiheen, usein hionnan, jälkeen pois.



Kuva 18. Sorvauskuva.

Standardi SFS-ISO 16792 määrittelee, että mallin yhteydessä tulee esittää tai viitata pakollisiin hallinta- ja tuotemäärittely data-aineistoihin, joista selviää muun muassa mallin tunnistetiedot ja omistaja sekä muu tuotemäärittelytieto. Myös käytettävä standardi ja yleistoleranssi on ilmoitettava mallin yhteydessä. [21, s. 10–13.] Tässä käyttökokeessa mallin yhteyteen lisättiin samat tiedot kuin vastaavan tuotteen 2D-piirustuksen otsikkotaulussa on esitetty. Nämä sijoitettiin kuvan 19 mukaisesti mallin yhteyteen sellaiselle annotaatiotasolle, että ne eivät kääntyneet mallin mukana, vaan ne olivat mallia kääntäessä aina kohtisuoraan luettavissa.



Kuva 19. Hallinta- ja tuotetiedot mallin yhteydessä.

7.5 Asiakaskuva/tarjous

Kun tuote on saatu mallinnettua sen valmistuksesta laaditaan ja lähetetään asiakkaalle tarjous, jonka yhteyteen liitetään perinteisesti 2D-muotoinen asiakaskuva, joskus myös STEP AP214. Asiakaskuva toimii myös sopimuksena eli se sitoo tarjouksen hyväksymisen myötä myyjän valmistamaan tuotteen piirustuksen mukaisesti, eikä ostaja voi toisaalta vaatia kaupan jälkeen tuotteeseen muita ominaisuuksia toteutettavaksi kuin piirustukseen on merkitty. Piirustuksella on siis oikeudellinen ulottuvuus. [4, s.502.] Vaikka tässä opinnäytetyössä tutkitaan MBD-menetelmän

soveltuvuutta toimeksiantajan tuotantoprosessiin, asiakaskuva päätettiin kuitenkin lähettää normaalina 2D-kokoonpanopiirustuksena, joka sisältää tuotteen päämitat ja osaluettelon. Lisäksi asiakkaalle lähetettiin mallista 3D-PDF, johon ei voitu kuitenkaan toimeksiantajan suunnitteluohjelmistolla lisätä mitoitusta ja tuotetietoja.

7.6 Tuotannonohjaus

Tuotannonohjaukselle ilmoitetaan suullisesti MBD-menetelmän koekäytöstä kyseisen työkalun valmistuksen yhteydessä. Työmääräimen yhteyteen ei liitetä piirustuksia, vaan ilmoitus opinnäytetyöhön liittyvän MBD-menetelmän koekäytöstä ja tieto tuotteen tunnistenumeraalla löytyvien tuotedokumenttien, 3D-mallin ja eDrawings-tiedoston sijainnista tietojärjestelmässä.

7.7 Tuotanto

7.7.1 Koneistus

Koneistus on yleisnimitys ainetta poistaville työstömenetelmille, joita tämän tuotteen yhteydessä olivat sorvaus, jyrsintä ja hionta. Työn yhteydessä käytetyt sorvi ja jyrsinkone olivat CNC-ohjattuja, ja niiden ohjaamiseen käytettiin Mastercam-ohjelmistoa. Mastercam-ohjelmistolla määritetään tuotteen 3D CAD-mallia hyväksikäyttäen koneen työstöradat ja ne käännetään postprosessorin avulla varsinaista työstökoneetta ohjaavaksi koodiksi.

Tavallisen 3D-CAD-mallin avulla valmistettavan tuotteen geometria saadaan ohjelmaan, mutta ohjelma ei tunnista nimellismittan yhteydessä olevia ei-symmetrisiä toleranssitietoja, kuten esimerkiksi ISO-toleranssin reikä- ja akselikantasovitteissa usein on. Lisäksi ohjelma ei tunnista piirteitä esimerkiksi kierteellisestä reiästä, mikä kierre on kyseessä. Nämä tiedot täytyy ohjelmoijan asettaa käsivaraisesti piirustusta tai muuta tiedot sisältävää dokumenttia apuna käyttäen.

MBD-menetelmää käytettäessä tuote- ja valmistustiedot sisällytetään tuotteeseen, ja ne tulevat siten mukana CAM-ohjelmaan noudettavaan 3D-malliin. Mikäli CAM-ohjelma tukee koneluettavuutta, se tunnistaa epäsymmetriset toleranssitiedot mallin PMI-tiedoista ja ohjelmoi työstöradan toleranssialueen keskelle. Kehittyneissä versioissa on mahdollista, että CAM-ohjelma pystyy piirteiden tunnistamaan työstöön eli tunnistaa automaattisesti työstöprosessit kullekin piirteelle.

CAM-ohjelma voi käyttää piirteentunnistukseen tuotemäärittely ja PMI-tiedon lisäksi esimerkiksi tuotteen värikoodausta. Piirteentunnistuksen avulla voidaan esimerkiksi hiottavien pinnan kohdalla tehdä työstöohjelma niin, että hionnalle jää sorvauksen tai jyrsinän jälkeen työvara. [26.]

Mikäli CAM-ohjelma ei tue koneluettavuutta, eikä kykene tunnistamaan PMI-tietoja ja piirteitä, helpottaa PMI-tiedon näkyminen kyseisen työstettävän kohdan yhteydessä 3D-mallissa kuitenkin ohjelman tekijää. Tällöin kohteen PMI-tiedot näkyvät kuitenkin mallin yhteydessä työstettävässä kohteessa, eikä sitä tarvitse lähteä hakemaan erillisestä sähköisestä tai paperisesta piirustuksesta.

Tuotteen valmistuksen alkaessa tuotannonohjaus tulostaa työmääräimen, jonka liitteenä on valmistuspiirustus. Tässä MBD-menetelmän käyttökokeessa työmääräimessä oli vain ilmoitus piirustuksettoman tuotemallin valmistuskokeilusta ja kehoitus hakea valmistustiedoilla varustettu 3D-tuotemalli sekä tarvittaessa eDrawings-piirustus tuotetiedonhallintajärjestelmästä.

Mastercamilla oli ensin tarkoitus ohjelmoida sorvauksen työstöradat, mutta PDM:n tallennettu PMI-tiedoilla varustettu 3D-natiivimalli ei avautunut ohjelmassa. Mastercamin verkkosivuilla olevan tekstin mukaan ohjelma ei tue MBD:tä käytettäessä SolidWorksin natiivimallia vaan 3D-mallin geometria tuotemäärittelytietoineen olisi tuotava ohjelmaan STEP AP242-tiedostona. [30.] Koska toimeksiantajan suunnitteluohjelmat eivät tue tätä STEP AP242-tiedonsiirtoa, opinnäytetyöntekijä teki tuotteesta STEP AP242 omalla tietokoneellaan, johon oli asennettu SolidWorksin opiskelijalisenssi. SolidWorksin opiskelijalisenssi sisältää MBD-lisäosan mikä mahdollisti STEP AP242 luomisen. STEP AP242-tiedosto avautuikin Mastercam-ohjelmassa, mutta PMI-tiedot eivät seuranneet mukana. Mallin yhteydessä näkyivät ainoastaan mittaviivat ja halkaisijan merkit, mutta mitoitusten numeromerkinnät puuttuivat. Tämä saattoi johtua siitä, että STEP AP242-tiedoston luonnissa käytettiin opiskelijalisenssillä olevaa suunnitteluohjelmaa. Sama toistui myös jyrsinkoneen Mastercamissa, natiivimallilla ei avautunut ja mallin STEP AP242 avautui mittaviivoilla varustettuna, mutta ilman mitoitusten numeromerkintöjä. Koska työkalu täytyi saada tuotannossa eteenpäin, MBD-menetelmän käyttökoe keskeytettiin sorvauksen ja jyrsinän ohjelmistojen osalta tähän. Tuote tehtiin kyseisten työvaiheitten osalta loppuun 3D-mallin kopiolla, josta tuotemäärittelytiedot puutuivat täysin. Ohjelmoinnissa käytettiin apuna alkuperäisestä tuotteesta luotua tuotemäärittelytiedoilla varustettua eDrawings-tiedostoa.

Myöhemmissä kokeiluissa vastaavanlaisilla kappaleilla STEP AP242 ilman Note-tietoja avautui CNC-sorvin Mastercam:ssa ja PMI-tiedot seurasivat myös STEP:n mukana, mutta ohjelma ei tunnistanut ei-symmetrisiä toleransseja eikä koekappaleeseen tehtyjä kierrereikiä.

Mastercamin osalta asiaa kysyttiin vielä sähköpostilla ohjelman edustajalta, joka oli aiemmin toimittanut ohjelmistot toimeksiantajalle. Sieltä teknisenä asiantuntijana toiminut henkilö vastasi asian olevan juuri niin kuin aiemmin Mastercamin verkkosivuilta saadun tiedon mukaan epäilimekin: Mastercam vaatii STEP AP242-tiedoston, jotta PMI-tiedoilla varustettu malli saadaan tuotua ohjelmaan. Lisäksi ohjelma ei tue koneluettavuutta eikä piirteiden tunnistusta, vaan PMI-tiedot ovat lähinnä vain avustamassa ohjelmoijaa työstöratojen suunnittelussa. (2022 sähköpostiviesti Martin Balashin ja opinnäytetyöntekijän välillä, viittaamaton).

7.7.2 Lämpökäsittelyt

Toimeksiantajan tuotteille tehtävät lämpökäsittelyt käyvät ilmi 2D-piirustuksen otsikkotaulusta sekä työmääräimen rakennekaaviosta. Tällä kertaa samat otsikkotaulun attribuuttitiedot oli liitetty myös tuotemallin yhteydessä olevaan Note -tauluun ja olivat siten myös mukana tuotteesta luodussa eDrawings-tiedostossa.

Tuotteelle tehtiin hiiletyskarkaisu. Tämä työvaihe samoin kuin raaka-aine oli ilmoitettuna työmääräimessä, jonka perusteella karkaisija suoritti lämpökäsittelyt. Samat attribuuttitiedot löytyisivät eDrawings:n lisäksi myös yrityksen tuotetiedonhallintajärjestelmästä.

7.7.3 Hionta

Toimeksiantajan tuotannossa hionnat suoritetaan manuaalihiomakoneilla. Koneet asetetaan ja hionta suoritetaan piirustuksista saatavien mitoitus ja toleranssitietojen perusteella. Nyt mitat katsottiin eDrawings-tiedostosta missä PMI tiedoilla olevasta mallista ilmeni hiottavan osan mitoitus ja toleranssi.

7.7.4 Laaduntarkastus ja kokoonpano

Työkalulle ei tehty laaduntarkastusta eikä mittauspöytäkirjaa. Mikäli mittaus olisi tehty, työn suorittaja olisi verrannut mittauksessa käytettävän esiasetuslaitteen mittaustuloksia piirustuksen tai tässä käyttökokeen tapauksessa eDrawings- tiedoston mitoitukseen.

Kokoonpano suoritetaan kokoonpanopiirustuksen osaluettelon mukaisesti. Esimerkitapauksessa kokoonpano ei eronnut perinteisestä menetelmästä. Kokoonpanosta oli tehty jo alussa piirustus, jota apuna käyttäen kokoonpano suoritettiin. Kokoonpano olisi ollut mahdollista tehdä myös eDrawings-tiedostoa apuna käyttäen, sinne tallennettiin kokoonpanosta tuotemäärittelytiedoilla oleva malli ja osaluettelo.

8 Pohdinta

8.1 Suunnittelu

Toimeksiantajan erikoistyökalut ovat pääasiassa yksittäiskappaleita tai pieniä sarjoja. Tuotteiden suunnittelukustannuksista kohtalainen osuus syntyy piirustusten tekoon kuluneesta ajasta. MBD-menetelmän käyttö soveltuu teoriassa näiden tuotteiden suunnitteluun hyvin, vähentäen suunnitteluun ja piirustusten ylläpitoon kuluva aikaa. Auto Dimension Scheme -työkalun avulla mitoitus on nopeaa, se on hyvä työkalu suhteellisen yksinkertaisen geometrian ja vähän piirteitä sisältävän mallin tuotemäärittelyssä. Mallin monimutkaistuesssa parhaaseen tulokseen päästään, kun tarvittavat annotaatiot lisätään tuotteeseen yksitellen käsivaraisesti ja eri annotaatiotasoille. Tällöin on mahdollista esittää esimerkiksi jonkin tietyn työvaiheen tarvitsema valmistustieto ja mitoitus omalla tasollaan muiden annotaatiotasojen ollessa piilotettuna.

Käsivarainen mallin mitoittaminen vie ainakin alussa yhtä paljon ja enemmänkin aikaa kuin vastaavan perinteisen piirustuksen annotaatioiden lisääminen. Lisäksi toimeksiantajan päätuotteina olevat lastuavat jyrksinterät mallinnetaan pääsääntöisesti pyörähdyskappaleiksi, jolloin annotaatioiden lisääminen malliin on haastavampaa kuin esimerkiksi selkeästi suorilla tasopinnoilla olevan kantikkaan kappaleen tuotetietojen lisääminen. Usein tällaisia kappaleita mitoittaessa tarvitaan apugeometriaa ja -tasojen lisäämistä malliin parhaan lopputuloksen saamiseksi. Mitoitusta olisi tietysti myös mahdollista karsia, mallissa esitettäisiin vain yleistoleranssista poikkeavat toleranssit ja ne mitat, joita manuaalinen valmistusprosessi tarvitsee. Loput mitat olisi tarvittaessa mahdollista hakea katseluohjelmien, toimeksiantajan tapauksessa eDrawingsin mitoitustyökalun avulla.

Tämän opinnäytetyön tekijä osallistui opinnäytetyön alkuvaiheessa CadWorksin järjestämään yhden päivän kestäväan MBD-koulutukseen, mutta annotaatioita lisätessä kävi hyvin nopeasti selväksi, että tuotemäärittelytietojen lisäämiseen tarvitaan enemmän koulutusta. Lisäksi koulutusta olisi järjestettävä myös MBD-yhteydessä käyttöön otettavasta yleistoleranssista SFS-EN ISO 22081 ja muidenkin menetelmän yhteydessä sovellettavien standardien käytöstä. Tällöin mahdollistettaisiin ISO-standardien mukaiset menettelyt ja sääntöjen noudatus jo MBD-menetelmän käyttöönottovaiheessa eikä myöhemmin tarvitsisi muuttaa virheellisiä toimintamalleja. Koulutuksen ja MBD-menetelmän käytön myötä tuotemäärittelytietojen lisäysprosessi malliin nopeutuu varmasti jonkin verran. Lisäksi piirustusten ylläpito ja päivitys jää suunnittelijoilta pois, eli kun

tuotetta on kerran muokattu ja se on tallennettu tuotetiedon hallintajärjestelmään erillisestä piirustuksen tarkistuksesta ja sen piirustusarkistoon päivityksestä ei tarvitse erikseen huolehtia.

8.2 Tuotanto

Käyttökokeessa CNC-koneita ohjaava Mastercam-ohjelmisto ei kyennyt avaamaan tuotemäärittelytiedoilla olevaa SolidWorks 3D-natiivimallia. Tällöin MBD-menetelmää ei pystytä käyttämään myöskään suunnittelussa, koska mallit tuodaan lähes aina Mastercamiin työstöratojen ohjelmointia varten. Mikäli PMI-tiedoilla varustetusta mallista olisi kyetty luomaan STEP AP242-tiedosto, se olisi avautunut tämän kokeilun ja ohjelman edustajalta saadun tiedon perusteella avautunut Mastercamissa, ohjelma ei olisi kuitenkaan tukenut koneluettavuutta ja piirteidentunnistusta. MBD-menetelmän hyödyt jäisivät siten Mastercam-ohjelmoinnissa siihen, että tuotemäärittelytiedot näkyisivät ohjelmoijalle 3D-mallissa, mutta tarvittavat piirteet ja toleranssit tulisi kuitenkin asettaa ohjelmaan käsivaraisesti. Tämä ei sanottavasti nopeuta ohjelmointia, lukuvirheet voivat vähentyä jonkin verran, koska esimerkiksi toleranssitieto on kyseisessä kohta mallissa eikä sitä tarvitse lähteä hakemaan erillisestä piirustuksesta. Ohjelmointi voisi myös selkeytyä jonkin verran, mikäli työvaiheelle tarpeettomat mitat saadaan häivytettyä. Esimerkiksi sorvattaessa tarvittavat valmistustiedot voidaan luoda mitoitettaessa omalle annotaatiotasolle niin, että vaan ne saadaan pelkästään näkymään sorvausratojen ohjelmoinnissa.

Työntekijöiden haastattelussa koneistajat toivat jo heti aluksi esille huolensa tuotteitten tunnistamisen vaikeutumisesta valmistuspiirustusten jäädessä pois työmääräimen yhteydestä. Toimeksiantajan kanssa käydyissä keskusteluissa pohdittiin, että vajaan mitoitettua asiakkaalle lähetettävästä kokoonpanokuvasta ei vielä tässä vaiheessa ole tarkoitus luopua, vaan se seuraisi tuotteen mukana tunnistena tuotannossa. Koneistajat eivät pitäneet 2D-piirustuksien poistumista ja eDrawings-ohjelman käyttöönottoa muutoin ongelmana. Ohjelman ominaisuuksien avulla voitiin kappaleesta tehdä leikkauskuvantoja ja hakea mitoitustyökalulla sellaisia mittoja, jotka eivät olleet näkyvissä annotaatiotasolla. Opinnäytetyöntekijän mielestä ohjelma oli kuitenkin hieman hankalakäyttöinen, esimerkiksi sen mitoitustyökalulla oli vaikea saada joitakin mittoja pyörähdyskappaleesta. Lisäksi kokeilujen aikana huomattiin, että SolidWorksilla asetetut annotaatiot eivät välttämättä aina sijoittuneet oikein eDrawings-näkymässä. Note-taulukon kootut hallinta- ja tuotetiedot eivät näkyneet kohtisuorassa katsojalle ja jotkin mitoitukset näkyivät peilikuvina.

9 Johtopäätökset

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin mallipohjaisen tuotemäärittelyn periaatetta ja sen käytön mukaan tuomia haasteita sekä hyötyjä tuotannon toiminnan tehostamiseksi. Lisäksi tutkittiin esimerkkitapauksen avulla toimeksiantajan suunnittelu- ja tuotanto-ohjelmistojen soveltuvuutta MBD-menetelmän käyttöön.

Teoriaosuuden tiedonhaussa ilmeni, että ihannetapauksessa MBD-menetelmä tehostaisi tuotantoa huomattavasti suunnittelun ja työstökoneiden ohjelmoinnin nopeutuessa sekä piirustus- ja ohjelmointivirheiden vähentyessä tai poistuessa jopa kokonaan. Lisäksi MBD-menetelmää käytettäessä tuotemäärittelystä tulisi yksinkertaisempi ja selkeämpi, kaiken mahdollisen tuote- ja valmistustiedon sijaitessa yhdessä ja ainoassa, määräävänä toimivassa 3D-mallissa.

Suunnitteluohjelmistojen osalta SolidWorksin standardiversion huomattiin riittävän tuotemäärittelytietojen lisäämiseen 3D-malliin hyvin. Ohjelman avulla voitiin luoda standardien vaatimukset täyttävä tuotemäärittelytiedot sisältävä 3D-malli, josta voitiin edelleen tallentaa eDrawings-tiedosto, joka on katsottavissa toimeksiantajan jokaiseen tietokoneeseen asennetulla ilmaisohjelmalla.

Tuotannonohjelmistojen osalta huomattiin, että käytössä oleva Mastercam-ohjelmisto ei kyennyt avaamaan tuotemäärittelytiedoilla varustettuja 3D-malleja ollenkaan. Mallista tehtiin myös opinnäytetyöntekijän omassa tietokoneessa olevalla SolidWorksin opiskelijalisenssillä STEP AP242-tiedosto, joka kyllä avautui Mastercamissa, mutta annotaatioiden lukuarvot eivät seuranneet jostain syystä mallin mukana. Tämän epäiltiin johtuvan käytössä olleesta opiskelijalisenssistä. Myöhemmin tehtiin kuitenkin vielä useammasta erilaisesta MBD-mallista STEP AP242-tiedostoja, jotka avautuivat mitoituksineen Mastercamissa. Ohjelmiston edustajan kanssa sähköpostien välityksellä käydyissä keskustelussa varmistui, että Mastercam vaati toimiakseen MBD-mallista STEP AP242 -tiedoston ja ohjelma ei tue tällä hetkellä koneluettavuutta. Mikäli Mastercam olisi kyennyt avaamaan tuotemäärittelytiedoilla olevan natiivimallin, hyödyt MBD:n osalta jäisivät ohjelmoijan tuotetietojen lukumahdollisuuteen Mastercamin näytöllä olevasta mallista, eikä hänen olisi tarvinnut hakea niitä erillisestä piirustuksesta.

2D-piirustusta käyttävät koneistajat pitivät mallin eDrawings-tiedostoa kohtuullisen selkeänä ja helpokäyttöisenä. He uskoivat saavansa harjoittelun myötä haettua sieltä tarvitsemansa valmistustiedot tuotteelle. Mikäli ohjelmistot olisivat soveltuneet MBD-menetelmän käyttöön, ei tässä

vaiheessa olisi kuitenkin syytä pyrkiä kokonaan mallipohjaiseen yritysmalliin, vaan mallipohjaista tuotemäärittelyä tulisi kehittää aluksi asteittain yrityksen sisällä, sen omissa tuotannoissa. Mikäli MBD otetaan käyttöön sisäisesti, niin kokoonpanosta tehtävä vajaanmittainen asiakaskuva voisi toimia tunnisteenä tuotteelle määräimen yhteydessä.

Tässä opinnäytetyössä tehdyn käyttökokeen perusteella toimeksiantajan ohjelmistot eivät tällä hetkellä sovellu MBD-menetelmän käyttöönottoon yrityksessä. Suunnitteluohjelman avulla onnistuttiin lisäämään tuotemäärittelytiedot 3D-malliin, mutta mallista olisi pitänyt luoda STEP AP242-tiedosto, että se olisi saatu avautumaan Mastercamissa. Tällä hetkellä Mastercam ei avan- nut SolidWorksilla tehtyä MBD-natiivimallia ollenkaan. STEP AP242 luominen edellyttää SolidWorks MBD-lisäosan hankintaa.

Suunnittelu- ja työstökoneohjelmistot kehittyvät kuitenkin jatkuvasti ja tulevaisuudessa niiden yhteensopivuuteen ja ongelmakohtiin löytyy varmasti ratkaisuja. Ohjelmistot alkavat lisämoduulien ja päivitysten avulla tulkitsemaan eri ohjelmistolla laadittuja tuotemäärittelytietoja ja käyttämään niitä hyväkseen työstöratojen ohjelmoinnissa. [2, s.9.] Yrityksenä Mehi on tulevaisuudessa- kin kiinnostunut digitalisaation mahdollisuuksista oman toimintansa kehittämiseksi. Kokeilu- ja MBD-suhteen kannattaa suorittaa edelleenkin ja ohjelmistojen kehitystä tulee seurata jatkuvasti.

Lähteet

1. Rapinoja, Jukka-Pekka. Malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet. [Internet]. Helsinki: METSTA ry. 2016 [Viitattu 4.10.2022]. Saatavilla: <https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/08/MBD-raportti-2016.pdf>
2. Rapinoja, J-P., Henell, A., Hinkkanen, M., Kähäri, M., Laaksonen, T., Nieminen, J., Pulkkinen, A., Simons, J. & Uski, P. Opastusta mallipohjaisen tuotemäärittelyn (MBD) käyttöönottoon. [Internet]. Helsinki: METSTA ry. 2021 [Viitattu 4.10.2022]. Saatavilla: <https://metsta.fi/wp-content/uploads/2021/12/MBD-opas.pdf>
3. Kerminen, T. & Leino, M. Yliö: Tehokas konepaja on rohkea ja kehittää tulevaisuuteen katsoen [Internet]. SAMK - Satakunnan ammattikorkeakoulu. 2020 [Viitattu 5.11.2022]. Saatavilla: <https://www.samk.fi/uutiset/ylio-tehokas-konepaja-on-rohkea-ja-kehittaa-tulevaisuuteen-katsoen/>
4. Quintana, V., Rivest, L., Pellerin, R., Venne, F. & Kheddouci, F. 2010. Computers in Industry 61 (2010) 497-508. Will Model Based Definition replace engineering drawings throughout the product lifecycle? A global perspective from aerospace industry. doi: 10.1016/j.compind.2010.01.005
5. Nguyen, J. What is PMI (Product Manufacturing Information)? [Internet]. Capvidia Blog 1.3.2021. [Viitattu 6.11.2022]. Saatavilla: <https://www.capvidia.com/blog/what-is-pmi-product-manufacturing-information>
6. Manninen, M. Laajemmilla harteilla markkinoille – suomussalmelainen Mehi Tools Oy teki yrityskaupan Hill Steel Oy:n kanssa. [Internet]. Ylä-Kainuu 3.8.2022. [Viitattu 5.11.2022]. Saatavilla: <https://www.ylakainuu.fi/>
7. Mehi Tools Oy Etusivu. [internet]. [Viitattu 23.8.2022]. Saatavilla: <https://www.mehi.fi/mehi/>
8. RR-tietopalvelu-hankekuvaus A76085, Digitalisointi, tuotekehitys ja kansainvälistäminen [Internet]. [Viitattu 27.8.2022]. Saatavilla: <https://www.eura2014.fi/rrtiepa/projekti.php?projektkoodi=A76085>
9. Mehi konserni esittelymateriaali. Mehi:n sisäinen tietokanta. 2022. [Viitattu 2.11.2022].

10. Rapinoja, J-P. Tuotemäärittely 3D-malleissa. [Internet]. Valokyna 4/2018. [Viitattu 6.11.2022]. Saatavilla: <https://asiakas.kotisivukone.com/files/cadcamyhdistys.palvelee.fi/Valokyna-artikkelit/CCY-Valokyna-2018-4-nettilehti.pdf>
11. Nguyen, J. What is MBD (model-based definition)? [Internet]. Capvidia Blog 8.2.2021. [Viitattu 6.11.2022]. Saatavilla: <https://www.capvidia.com/blog/mbd-model-based-definition-in-the-21st-century>
12. Bijmens, J. & Cheshire, D. The Current State of Model Based Definition. Computer-Aided Design & Applications 16(2),2019,308-317. DOI: <https://doi.org/10.14733/cadaps.2019.308-317>
13. Tapa-termipankki. Erikoisalojen sanastojen ja sanakirjojen kokoelma [Internet]. Sanastokeskus. [Viitattu 6.11.2022] Saatavilla: <https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/standardi>
14. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Mitä standardi tarkoittaa? [Internet]. [Viitattu 6.11.2022]. Saatavilla: <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/>
15. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Standardisointi suomessa ja maailmalla. [Internet]. [Viitattu 6.11.2022]. Saatavilla: <https://sfs.fi/osallistu-ja-vaikuta/standardisointi-suomessa-ja-maailmalla/>
16. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Suomessa standardisointityö on jaettu eri toimialoja edustaville organisaatiolle. [Internet]. [Viitattu 6.11.2022] Saatavilla: <https://sfs.fi/sfs-ry/meista/toimialayhteisot/>
17. Yleistoleranssi standardi ISO 22081. [Internet]. METSTA ry [Viitattu 6.11.2022]. Saatavilla: <https://metsta.fi/wp-content/uploads/2021/05/Yleistoleranssin-ISO-22081-esitely.pdf>
18. Revisiointi. Vertex tuotedokumentaatio. [Internet]. [Viitattu 6.11.2022]. Saatavilla: <https://kb.vertex.fi/flow2017fi/flow-kaeyttoehjeet/revisiointi>
19. Nelikenttäanalyysi SWOT. [Internet]. Suomen riskienhallinta yhdistys. [Viitattu 6.11.2022]. Saatavilla: <https://pk-rh.fi/tools/swot.html>
20. Mikä on SWOT analyysi? [Internet]. Holvi. [Viitattu 6.11.2022]. Saatavilla: <https://www.holvi.com/fi/holvipedia/yrityksen-voimavarat/swot-matriisi/>

21. Suomen standardisointiliitto SFS ry. STANDARDI SFS-ISO 16792:2021, Tekninen tuotetiedokumentointi. Digitaalista tuotemäärittelytietoa koskevat käytännöt.
22. METSTA ry [Internet]. [Viitattu 10.11.2022]. Saatavilla: <https://metsta.fi/>
23. Yleistoleranssistandardi ISO 22081 [Internet]. METSTA ry. [Viitattu 10.11.2022]. Saatavilla: <https://metsta.fi/wp-content/uploads/2021/05/Yleistoleranssin-ISO-22081-esitely.pdf>
24. Revisiointi. [Internet]. Vertex tuotetiedokumentaatio. [Viitattu 10.11.2022]. Saatavilla: <https://kb.vertex.fi/flow2017fi/flow-kaeyttoehjeet/revisiointi>
25. Pinnankarheuden merkintä on uudistunut. [Internet]. METSTA ry. [Viitattu 12.11.2022]. Saatavilla: <https://metsta.fi/pinnankarheuden-merkinta-on-uudistunut/>
26. Rapinoja, J-P. Mallipohjainen tuotemäärittely MBD [Video]. METSTA ry. 18.1.2022. [Viitattu 12.11.2022]. Saatavilla: <https://metsta.fi/webinaari-mallipohjainen-tuotemaarittely-mbd/>
27. ISO 16792:2006 Technical product documentation — Digital product definition data practices [Internet]. [Viitattu 13.11.2022]. Saatavilla: <https://www.iso.org/standard/31065.html>
28. What are the most common file types and file extensions? [Internet]. Computer Hope. [Viitattu 13.11.2022]. Saatavilla: <https://www.computerhope.com/issues/ch001789.htm>
29. Rapinoja, J-P. Webinaari yleistoleranssistandardista ISO 22081 [Video]. METSTA ry. 26.5.2021. [Viitattu 21.11.2022]. Saatavilla: <https://metsta.fi/webinaari-uusi-yleistoleranssistandardi-iso-22081/>
30. File Translators [Internet]. Mastercam. [Viitattu 22.11.2022]. Saatavilla: <https://www.mastercam.com/solutions/file-translators/>

LIITTEET

Opinnäytetyön liitteet on jätetty pois opinnäytetyön julkaistavasta versiosta.