



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tino Peltola

---

# Malliperusteisen tuotemäärittelyn soveltuvuus yrityksen käyttöön

Opinnäytetyö  
Syksy 2022

Insinööri (ylempi AMK), Teknologiaosaamisen johtaminen



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (ylempi AMK), Teknologiaosaamisen johtaminen

Tekijä: Tino Peltola

Työn nimi: Malliperusteisen tuotemäärittelyn soveltuvuus yrityksen käyttöön

Ohjaaja: Jorma Mettälä

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 64

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Nykymaailmassa tuotetaan valtavat määrät uutta tietoa joka päivä. Tiedon esitykseen on olemassa lukuisia eri esitystapoja eri yritysten ja teollisuusalojen välillä. Yritysten keskenään sekä sisäisesti vaihtama tieto täytyy välillisesti säilyttää jossakin, jotta se olisi tulkittavissa. Mikäli tietoa on paljon, on tiedon vaatimaa säilytystilaa oltava tiedon määrää vastaava määrä, oli tieto sitten sen fyysisessä tai digitaalisessa muodossa. Tämä voi johtaa hetkellisesti kasvaneeseen säilytystilan määrään, jolle ei välttämättä ole pysyvää tarvetta. Tämä voi aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia.

Tämän työn aiheena on tutkia 3D-mallinnusmenetelmää MBD:tä eli malliperustaista tuotemäärittelyä, joka pyrkii vähentämään eri tiedostomuotojen määrän minimiin, jopa yhteen tiedostoon. MBD:n eduiksi luetaan piirustuksettomuus, eli 3D-mallinnetusta kappaleesta ei valmisteta 2D-piirustusta. Mikäli saman työn suorittamiseen kuluu vähemmän aikaa kuin ennen, tarkoittaa se kustannussäästöä. Työn tilaaja on kiinnostunut MBD-menetelmän vaikutuksista yrityksen eri prosesseihin. Tässä opinnäytetyössä pyritään tunnistamaan MBD-menetelmän vaikutuksia suunnitteluun ja tuotantoon. Näitä vaikutuksia vertaillaan yrityksen käytössä olevaan menetelmään tapauskohtaisen tutkimuksen kautta.

MBD-menetelmä on urauurtava mallinnuskeino. Tällä hetkellä menetelmän käyttöä yrityksessä rajoittaa menetelmän tuntemattomuus sekä menetelmän soveltamiseen tarvittavat hankinnat. Nämä eivät kuitenkaan ole ehdoton este menetelmän käyttöönotolle. Menetelmästä voi hyvinkin tulla pääsääntöinen mallinnustapa tulevaisuudessa, ottaen huomioon viime vuosikymmenien digitaalisen kehityksen.

<sup>1</sup> Asiasanat: MBD, 3D-malli, 3D-mallinnus, 2D-piirustus, suunnittelu, valmistus, tarkastus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Master's Degree programme: Technology Competence Management

Author: Tino Peltola

Title of thesis: The Use of Model Based Definition in a Company

Supervisor: Jorma Mettälä

Year: 2022

Number of pages: 64

Number of appendices: 0

---

Vast amounts of new data are created every single day in today's society. To display the data, there are numerous different ways between different corporates and industries. For a corporate to utilize this data themselves, it must be stored somewhere so it can be used. If the amount of data is vast, then there must be a corresponding amount of storage space for the data, regardless of the data's form. This can lead to a temporary need of increased storage space which in turn can cause excess costs.

The subject of the thesis was to study a 3D-modeling method called MBD, also known as model-based definition, which aims to reduce the amount of data to a bare minimum, even to a one single file. The lack of drawings is seen as a benefit of the MBD-method which means that no 2D-drawings are created from the 3D-model. If a worker completes the same task using less time than before, it means cost savings. Interest has risen towards the effects that the method could have on a company's processes. The aim of the thesis was to identify the effects of the MBD-method in design and in manufacturing which were in turn compared to the method the company currently uses through a case study.

The MBD-method is a groundbreaking method of modeling. At the moment the usage of the method in a company is restricted by investments needed to fully utilize the method and the fact that the method is largely unknown. These, however, are not an absolute obstacle for adopting the method. Considering the digital development in the past decades, the method may well be used as a main way of modeling in the future.

<sup>1</sup> Keywords: MBD, 3D-model, 3D-modeling, 2D-drawing, design, manufacturing, inspection

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	6
1 JOHDANTO .....	10
1.1 Työn tausta .....	10
1.2 Työn tavoite ja rajaus .....	10
1.3 Työn rakenne .....	11
1.4 Työn tilaaja .....	11
1.4.1 Yritys .....	11
1.4.2 Tuotteet .....	12
2 MALLINNUS, VALMISTUS JA TARKASTUS .....	16
2.1 Mallinnuksen nykytila .....	16
2.2 3D-mallinnus .....	19
2.3 MBD .....	20
2.4 Valmistus .....	25
2.5 Tarkastus .....	28
2.5.1 Kalibrointi .....	33
2.5.2 Ajan ja pituuden realisointi .....	34
3 MBD-MENETELMÄN SOVELTUVUUS .....	38
3.1 Menetelmien vertailu suunnittelussa .....	38
3.1.1 Perinteinen menetelmä .....	38
3.1.2 MBD-menetelmä .....	42
3.2 Menetelmien vertailu tuotantoketjussa .....	49
3.2.1 Perinteinen menetelmä .....	49
3.2.2 MBD-menetelmä .....	50
3.3 Vertailun yhteenveto .....	55
4 TULOKSET .....	58

4.1	Suunnittelu .....	58
4.2	Tarkastus .....	58
4.3	Hankinta, valmistus ja kokoonpano .....	58
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	60
	LÄHTEET .....	62

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. T-30 Prototyyppi. ....	12
Kuva 2. Tasattu kaulus. ....	13
Kuva 3. Muotoiltuja putkien päitä. ....	14
Kuva 4. Laipoitettu putki.....	15
Kuva 5. Porausta sorvilla. ....	26
Kuva 6. Mittavälineitä, 1. Työntömitta, 2. Rakotulkki, 3. Mikrometri. ....	30
Kuva 7. Mitutoyo Crystal Apex -koordinaattimittauskone. ....	33
Kuva 8. Kalibrointipala ja kalibroitava mikrometri.....	34
Kuva 9. Suomen aika.....	35
Kuva 10. Ovi, jonka takana atomikelloja pidetään. ....	36
Kuva 11. Infotaulu VTT MIKES tiloissa. ....	37
Kuvio 1. Vastanneiden asema yrityksessä.....	17
Kuvio 2. Uuden tilauksen vastaanottotapa.....	18
Kuvio 3. Osan valmistus pelkällä 3D-mallilla.....	19
Kuvio 4. Yksinkertaisen kappaleen luonti.....	20
Kuvio 5. Tiedon ilmaisutavat. ....	21
Kuvio 6. Perinteinen 2D-piirustus.....	22
Kuvio 7. MBD havainnekartta. ....	23
Kuvio 8. Step malliin aseteltuja PMI-tietoja.....	24

Kuvio 9. Työajan käyttö.....	25
Kuvio 10. Akselin mittatarkkuus laakeriasennusta varten .....	27
Kuvio 11. Erityyppisiä koordinaattimittauskoneita. ....	31
Kuvio 12. Kappale mallinnettuna perinteisellä menetelmällä. ....	39
Kuvio 13. Kappaleen kuvanto edestä. ....	40
Kuvio 14. Kappaleen leikkauskuvanto A-A. ....	41
Kuvio 15. Kappaleen detalji B ja leikkauskuvanto C-C.....	41
Kuvio 16. PMI-tiedot.....	42
Kuvio 17. MBD-menetelmällä 3D-mallinnettu kappale. ....	43
Kuvio 18. MBD 3D-malli vasemmalta.....	44
Kuvio 19. MBD 3D-mallin muut kaksiulotteiset näkymät. ....	45
Kuvio 20. MBD 3D -malli vapaasti valitusta suunnasta katsottuna. ....	45
Kuvio 21. MBD 3D-malliin asetettu tietokenttä. ....	46
Kuvio 22. Korostettu mitta ja tasot. ....	47
Kuvio 23. 3D PDF 2D-piirustusnäkyillä. ....	48
Kuvio 24. 2D-piirustus testikappaleesta. ....	52
Kuvio 25. MBD-näkymä mutteripesästä.....	52
Kuvio 26. Työradan luontia Mitutoyo Micat Plannerissa.....	53
Kuvio 27. Työradan simulointia Mitutoyo Micat Plannerissa. ....	54
Kuvio 28. Työradan simulointia Mitutoyo Micat Plannerissa. ....	55
Kuvio 29. Tiedon kulku järjestelmällä eri menetelmillä.....	57

Taulukko 1. Menetelmien eroavaisuuksia eri prosesseissa. ....	56
---	----

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Annotaatio</b>	Dokumentissa oleva lisätieto
<b>CAD</b>	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen mallinnus
<b>CAM</b>	Computer Aided Manufacturing, tietokoneavusteinen valmistus
<b>CNC</b>	Computer Numerical Controlled, tietokoneohjattu
<b>CMM</b>	Coordinate Measuring Machine, koordinaattimittauskone
<b>ERP</b>	Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä
<b>HE-NE laser</b>	Helium-Neon laser
<b>Interferometri</b>	Optinen laite, joka yhdistää kaksi eri valonlähdettä yhdeksi säteeksi
<b>Kuvanto</b>	Projektio eli kappaleen kääntämistapa
<b>Laser</b>	Valonlähde
<b>MBD</b>	Model Based Definition, malliperustainen tuotemäärittely
<b>PDM</b>	Product Data Management, tuotetiedon hallinta
<b>PMI</b>	Product Manufacturing Information, kappaleen tuotetiedot
<b>Toleranssi</b>	Mittaa täydentävä tieto
<b>2D</b>	Kaksiulotteinen
<b>3D</b>	Kolmiulotteinen

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Tietokoneavusteisen suunnittelun juuret juontavat 1950-luvulle, kun MIT:n työntekijät Dwight Bauman, Steven Anson Coon ja Douglas Ross esittelivät ilmailualalle uuden järjestelmän nimeltään Automaattinen Ohjelmointityökalu eli APT (Adamski, 2010, s. 1). Tämä järjestelmä on otettu käyttöön mekaniikassa tietokoneiden avulla, ja sitä kutsutaan nykyään nimellä tietokoneavusteinen suunnittelu eli CAD (Computer Aided Design).

Adamskin (2010, s. 2) mukaan yrityksillä on nykyisin paljon yhteistyötä eri alojen välillä. Tällöin ongelmaksi voi muodostua tiedonsiirto ja kommunikointi eri järjestelmien ja ohjelmistojen välillä, sillä jotkut ohjelmistot ja järjestelmät ymmärtävät vain tiettyjä tiedostomuotoja. Lisäksi, kun tehdään yhteistyötä monien eri alojen kanssa, yhdestä tiedostosta voi olla useita eri tiedostomuotoja.

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan menetelmään, jota kutsutaan nimellä malliperustainen tuotemääritys eli MBD. Menetelmän tarkoituksena on vähentää eri tiedostomuotojen luontia, jolloin valmistuksen ja tuotteen elinkaaren kannalta vaadittava tieto olisi yhdessä tiedostossa tai tietopakettissa. Työn tilannut yritys tekee yhteistyötä eri alojen välillä, joten keskittyminen yhteen tiedon ilmaisumuotoon koetaan tervetulleena.

## 1.2 Työn tavoite ja rajaus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on toimia eräänlaisena selvityksenä, soveltuuko MBD-mallinnustapa työn tilanteen yrityksen käyttöön. Tarkoitus on tutkia, mitä vaikutuksia MBD-menetelmällä on yrityksen eri prosesseihin. Näiden tulosten pohjalta arvioidaan, voiko menetelmää hyödyntää laajemmassa mittakaavassa vai sopiiko MBD-menetelmä vain tiettyihin osiin tai osaryhmiin vai onko kyseinen tapa työn tilanteelle yritykselle soveltuva.

Työ rajataan niin, että työssä keskitytään tutkimaan menetelmän soveltuvuutta työn tilanneen yrityksen käyttöön. Työssä ei valmisteta koekappaletta tutkimuksen kohteena olevalla menetelmällä, eikä työssä käsitellä alihankkijoiden valmiutta menetelmää kohtaan.

### **1.3 Työn rakenne**

Luvussa 1.4 tutustutaan työn tilanneeseen yritykseen, sen tuotteisiin ja tuotantoprosessiin. Luvussa 2 käsitellään työn teoriataustaa, josta ilmenee mallinnuksen nykytila, mitä on 3D-mallinnus, valmistus sekä tarkastus. Kalibrointia, joka suoritetaan mittalaitteille määräajoin, käsitellään osana tarkastusta. Luvussa 3 vertaillaan perinteisen menetelmän eli 3D CAD -keskeisen tietomallin ja MBD-menetelmää eli mallipohjaista yritysmallia keskenään. Tarkoituksena on selvittää MBD-menetelmän vahvuuksia, heikkouksia, etuja ja haittoja perinteiseen mallinnusmenetelmään nähden. Luvussa 4 esitellään tämän opinnäytetyön tuloksia ja luvussa 5 arvioidaan tutkimustuloksia ja tutkimuksen onnistumista sekä pohditaan jatkokehityskohteita.

### **1.4 Työn tilaaja**

Tässä luvussa kerrotaan työn tilaajasta, joka on pohjanmaalainen yritys T-Drill. Lisäksi tässä luvussa kerrotaan yrityksen historiasta, tuotteista ja niiden käyttämästä teknologiasta.

#### **1.4.1 Yritys**

T-Drillin tarina sai alkunsa 1970-luvulla suomalaisen insinöörin keksinnöstä, joka oli suunniteltu helpottamaan putkimiehen työmäärää vähentämällä putkistoon tehtävien putkiliitosten määrää (T-Drill, i.a.). Ensimmäinen prototyyppi oli käsikäyttöinen T-30, joka on esitetty kuvassa 1. 1980-luvun kynnyksellä G. A. Serlachius Oy (entinen Metsä-Serla, nykyisin Metsä Group) osti yrityksen, jonka keksinnön keksinyt henkilö perusti. Tästä yrityskaupasta tuloksena oli G. A. Serlachius Oy:n T-DRILL-divisioona.



Kuva 1. T-30 Prototyyppi.

1980-luku oli tapahtumien aikaa, ja tuolloin toiminta siirrettiin Vaasasta Laihialle sekä tuotevalikoimaa laajennettiin uusiin putkentyöstöratkaisuihin, kuten lastuttomaan putkenkattamiseen sekä putken pään muovaukseen (T-Drill, i.a.). 1980-luvun lopussa koko T-Drill-divisioona myytiin buyout-tapahtumana, jolloin T-Drillin osakkeenomistajat ostivat koko T-Drillin osakekannan itselleen tehden T-Drillistä itsenäisen yhtiön. Tästä tapahtumasta nykyinen T-Drill sai alkunsa. 2010-luvun alkupuolella enemmistö T-Drillin osakkeista myytiin Leinolot Groupille.

Työn tilannut yritys työllistää nykyään 78 henkilöä Suomessa, ja yrityksellä on pitkä historia erilaisten putkentyöstöön soveltuvien koneiden ja laitteiden suunnittelussa, valmistuksessa, markkinoinnissa ja myynnissä (T-Drill, i.a.). Näistä koneista ja laitteista pienimmät ovat käsikäyttöisiä, kun taas suurimmat ovat kymmeniä tuhansia kiloja painavia teollisuus-koneita.

#### 1.4.2 Tuotteet

Yritys valmistaa erilaisia putkentyöstökoneita ja laitteita lukuisiin eri teollisuudenhaaroihin, joita ovat muun muassa LVI, auto- ja telakkateollisuus (T-Drill, i.a.). Tuotteita ja

käyttökohteita on lukuisia, mutta tuotteet luetaan kolmeen kategoriaan: kaulustus, lastuton katkaisu ja putken pään muotoilu sekä laipoitus.

Ennen kaulustusta kaulustusryhmän tuotteet poraavat putkeen reiän, johon kaulustustyökalu asetetaan (T-Drill, i.a.). Prosessin seuraavassa vaiheessa kaulustustyökalussa olevat muovaintapit työntyvät esiin. Viimeisessä vaiheessa työkalua pyöritetään ja nostetaan samanaikaisesti ylös, jolloin muovaintapit muovaavat putkeen satulamaisen ulokkeen, johon voidaan liittää putki.

Riippuen liitostavasta prosessin aikana syntynyt satulamainen uloke voidaan tasata, kuten kuva 2. esittää, tai jättää tasaamatta (T-Drill, i.a.). Mikäli kyseessä on hitsausliitos, jota suositetaan erityisesti raskaan teollisuuden sovelluksissa, se pääsääntöisesti tasataan. Mikäli kyseessä on juotosliitos, prosessin tuloksena syntynyt satula jätetään tasaamatta.



Kuva 2. Tasattu kaulus.

Lastutonta katkaisuteknologiaa hyödyntävät koneet katkaisevat putken lastuttomasti muiden toimintojen ohella (T-Drill, i.a.). Lastuttomasta katkaisusta on myös eri tyyplejä, joita ovat muun muassa vetokatkaisu, läpikatkaistus sekä katkaistus ja taitto. Vetokatkaistuksessa terä leikkaa putken 95-prosenttisesti, jonka jälkeen putki katkaistaan vetämällä, jolloin vältytään

putken sisähalkaisijan pienenemiseltä. Lämpökatkaisussa terä läpäisee putken seinämän täysin. Katkaisu ja taitto -menetelmässä katkaisuterä leikkaa putken osittain, ja lopullisen katkaisun suorittaa erillinen sylinteri, joka taittaa putken poikki sivusuunnasta työntäen.

Laitteeseen on katkaisun ohella myös yhdistettävissä putken uritus ja pään muotoilu, joka kattaa muun muassa laajennuksen, supistuksen, jyrkännän ja viisteytyksen (T-Drill, i.a.). Näitä toimintoja voidaan suorittaa samanaikaisesti putkea katkaistaessa.



Kuva 3. Muotoiltuja putkien päitä.

Laipitus on osa putken pään muotoilua, mutta laipallisten putkien käyttökohteet ovat usein raskaassa teollisuudessa, kuten prosessi-, telakka- ja energiateollisuudessa (T-Drill, i.a.). Laipallinen putki toimii osana putkistojärjestelmää, jossa minimissään kaksi tai useampia putkia liitetään kiinni toisiinsa standardisoitujen laippojen avulla.

Jos laippojen pinta on tasainen tai uritettu, niiden väliin asennetaan tiiviste ennen putkien liittämistä toisiinsa (T-Drill, i.a.). T-Drillin kehittämä menetelmä käyttää laipan tekemiseen putken omaa materiaalia, jolloin välttyään erillisen irtolaipan hitsaamiselta. Tämä puolestaan tarkoittaa kustannussäästöjä, sillä irtolaippaa hitsaamista ei enää tarvita. Kuvassa 4 on esitetty laipoitettu putki.



Kuva 4. Laipoitettu putki.

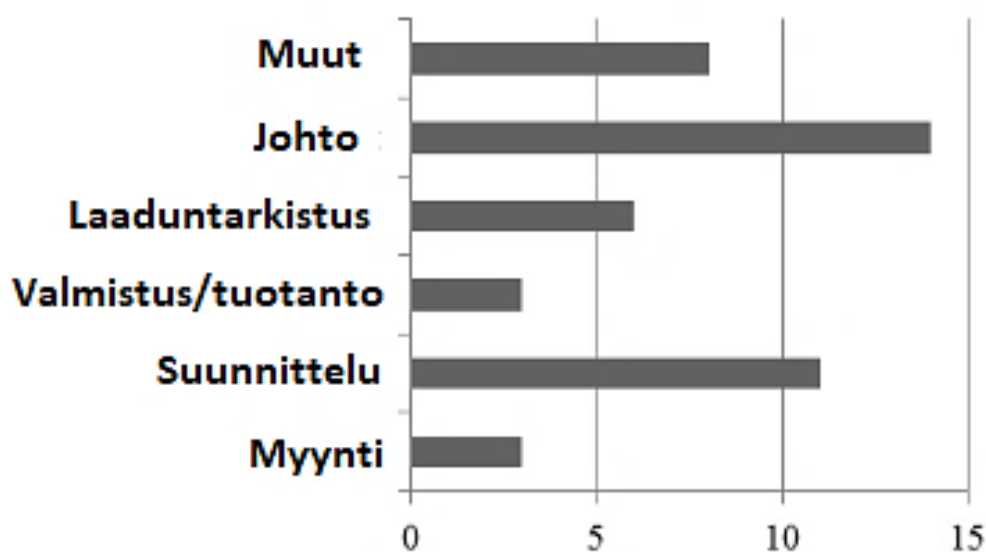
## 2 MALLINNUKSEEN, VALMISTUS JA TARKASTUS

Tässä luvussa tarkastellaan 3D-mallinnuksen nykytilaa olemassa olevien tutkimusten avulla. Kerrotaan 3D-mallinnuksesta Solidworks-ohjelmalla sekä Solidworksin lisäosasta MBD:stä, jonka soveltuvuutta myöhemmin arvioidaan työn tilaajan käyttöön. Lisäksi kerrotaan osien valmistuksesta työn tilaajan käytössä olevilla menetelmillä sekä valmistettujen osien tarkastuksesta työn tilaajan omassa tarkastamossa.

### 2.1 Mallinnuksen nykytila

Ensimmäiset kaupalliset 3D-mallinnusjärjestelmät alkoivat saapua markkinoille 1970-luvun alussa, ja tullessa 1980-luvulle 3D-mallinnusjärjestelmät olivat yleisesti saatavilla, vaikkakin ne olivat kalliita (Cohn, 2010). Järjestelmien hinta rajoitti niiden käyttöä lähinnä auto- ja ilmailualan sovellutuksiin. Myöhemmin 3D-mallinnukseen liittyvät järjestelmät ovat saaneet jalansijan useista eri teollisuudenhaaroista, joita ovat auto- ja ilmailualan lisäksi muun muassa tekniikan, valmistuksen, energian meritekniikan alat (Solidworks, i.a.).

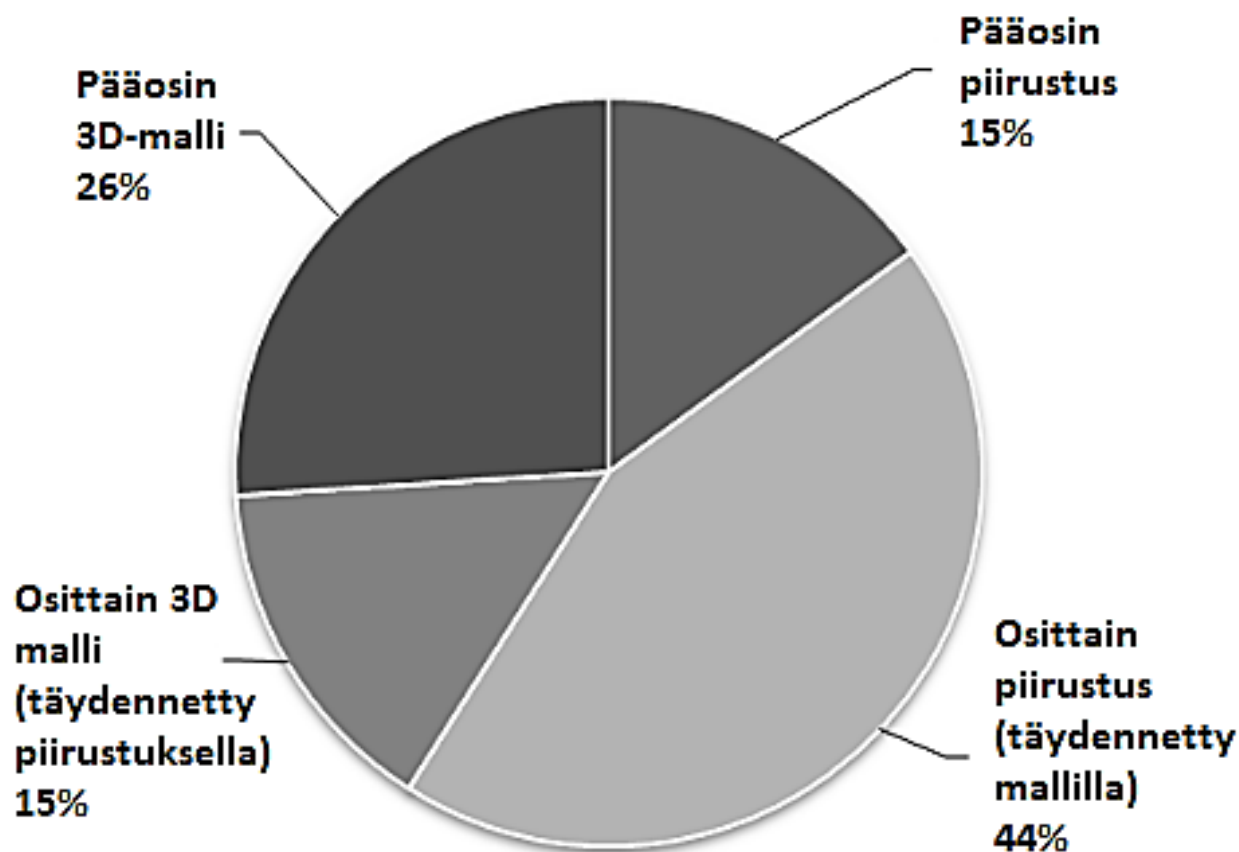
Vuonna 2016 Hartman ym. toteuttivat tutkimuksen, jolla haluttiin selvittää tietomallinnuksen nykytilaa ja sitä, kuinka tietomalleja käytetään yrityksissä. Tutkimukseen vastasi kaikkiaan 37 yritystä, joista 38 % työllisti enemmän kuin 500 henkilöä (Hartman ym., 2016, s. 5). Tutkimukseen osallistuneille esitettiin kysymys, jonka avulla haluttiin selvittää, miten yritys vastaanottaa asiakkaan tilauksen tiedot. Vastausvaihtoehtoina olivat seuraavat: pääosin piirustus, osittain piirustus (täydennetty mallilla), osittain 3D-malli (täydennetty piirustuksella) ja pääosin 3D-malli. Vastauksissa huomioitiin myös vastaajan asema yrityksessä. Kuviossa 1 esitetään tutkimukseen vastanneiden määrä, vastaajien asema yrityksessä, sekä vastauksien määrä suhteessa kokonaismäärään vastanneista.



Kuvio 1. Vastanneiden asema yrityksessä.

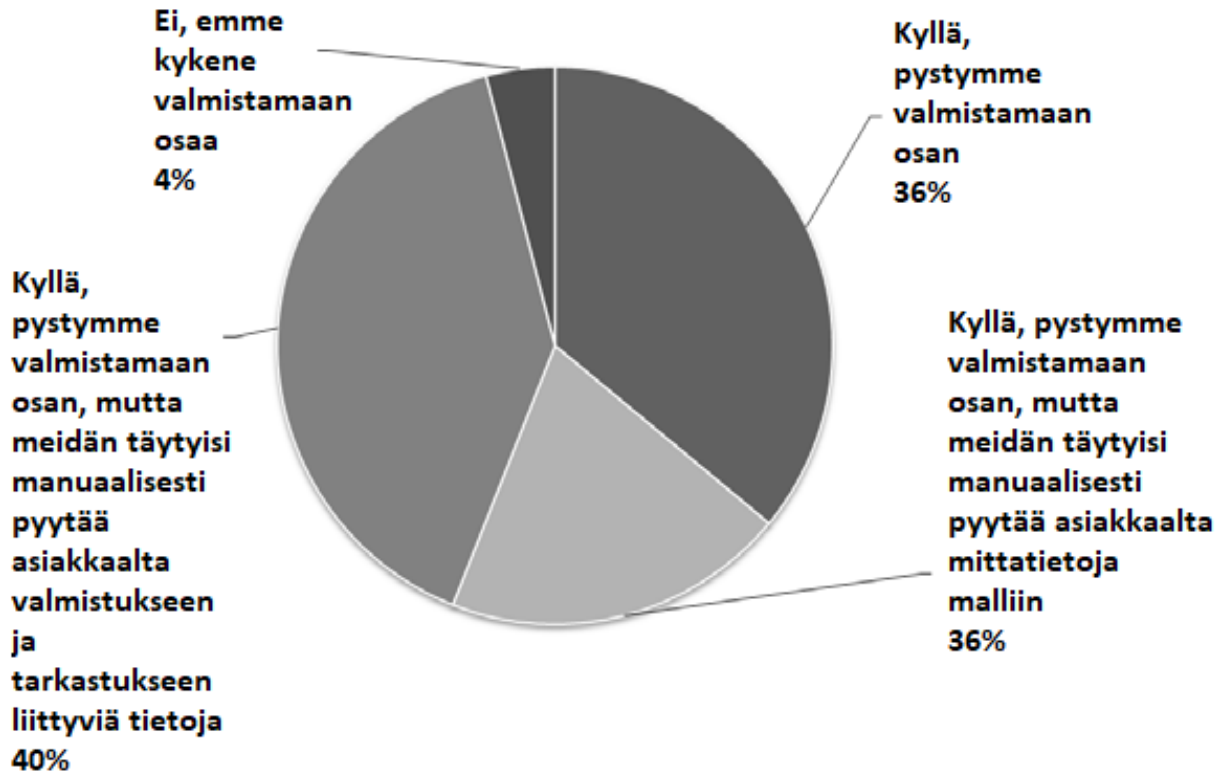
Kuviossa 2 käy ilmi, että ylivoimaisesti enemmistö (44 %) tutkimukseen vastanneista vastaanottaa asiakastilauksensa osittain 2D-piirustuksena, jota on täydennetty 3D-mallilla (Hartman ym., 2016, s. 5). Tutkimukseen vastanneista 26 % vastaanottaa tilauksen pääosin 3D-mallin avulla. Tilausvaihtoehdot pääosin 2D-piirustuksella sekä osittain 3D-mallilla, jota on täydennetty 2D-piirustuksella saivat tutkimuksessa kukin 15 %:n tuloksen.

Kyseisen tutkimuskysymyksen tulos osoittaa, että 2D-piirustuksella on edelleen tärkeä rooli tiedonvälityksessä, sillä peräti 74 % vastanneista hyödyntää 2D-piirustusta jossakin muodossa. Vastanneista 85 % ilmoitti käyttävänsä 3D-mallia jossakin määrin ja vain 41 % tutkimukseen vastanneista ilmoitti käyttävänsä 3D-mallia pääasialliseen tiedon käsittelyyn.



Kuvio 2. Uuden tilauksen vastaanottotapa.

Kolmas tutkimuskysymyksistä pyrki selvittämään, olisivatko yritykset kykeneviä valmistamaan kyseisen osan pelkällä 3D-mallilla, jota ei olisi täydennetty 2D-piirustuksella (Hartman ym., 2016, s. 5). Kuviossa 3 on ilmaistuna vastausten jakauma. Tutkimuskysymys sai kaikkiaan 25 vastausta (mts. 5). Kaikkiaan 36 % vastaajista ilmoitti olevansa kykenevä valmistamaan osan ilman muita tietoja, kun taas 60 % kaikista vastaajista ilmoitti olevansa kykeneviä valmistamaan osan, mutta 40 % kaikista vastaajista ilmoitti, että heidän täytyisi olla yhteydessä asiakkaaseen valmistus- ja tarkastustietojen puitteissa. Tutkimukseen vastanneista loput 4 % ilmoitti olevansa kyvyttömiä valmistaa osa pelkällä 3D-mallilla.



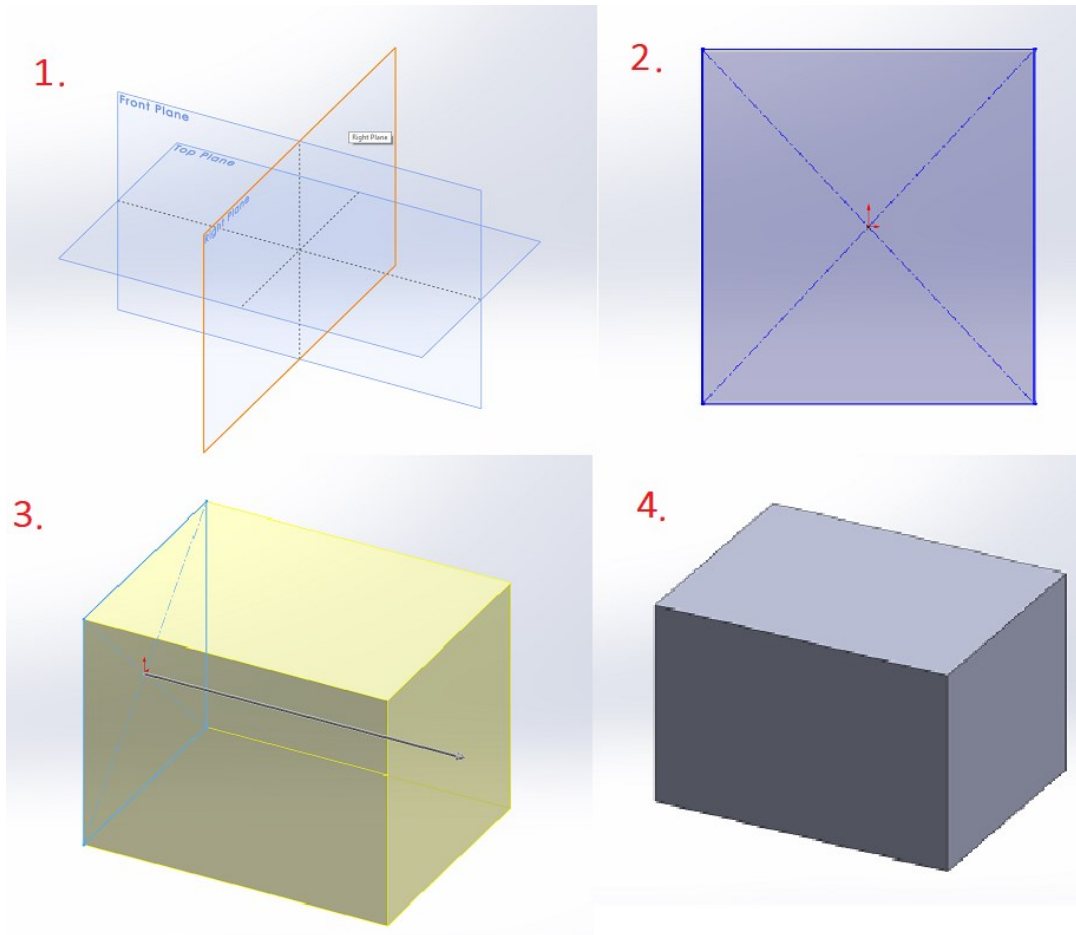
Kuvio 3. Osan valmistus pelkällä 3D-mallilla.

Tutkimuksen perusteella yritykset jo osaltaan hyödyntävät 3D-tietomalleja osana toimintaansa, mutta silti tarvittaessa tukeutuvat 2D-piirustukseen (Hartman ym., 2016). Osa tutkimukseen vastanneista yrityksistä olisi valmis käyttämään pelkästään 3D-tietomalleja, kunhan tarvittaessa saatavilla olisi perinteinen 2D-piirustus. Osalle tutkimukseen vastanneista pelkän 3D-tietomallin käyttäminen tuottaisi vaikeuksia, sillä osalla vastaajista ei ollut tarvittavaa välineistöä tukemaan 3D-tietomallin käyttöä (mts. 9)

## 2.2 3D-mallinnus

Solidworks on Dassault Systèmesin valmistama 3D-mallinnusohjelma, jossa kappale luodaan pursottamalla ennalta määritettyyn 2D-koordinaatistoon tehdystä luonnoksesta, johon kappaleen muoto on määritelty. Muiden toimintojen avulla luonnoksesta pursotettuun malliin voidaan myöhemmin luoda lisäpiirteitä, kuten esimerkiksi reikiä, upotuksia tai materiaalin lisäyksiä. Kuviossa 4 luodaan yksinkertainen kolmiulotteinen kappale. Kuvion 4 kohdassa 1 valitaan haluttu koordinaatisto. Kohdassa 2 luodaan valittuun koordinaatistoon

kappaleen 2D-muoto. Kohdassa 3 kappaleen 2D-muodolle määritellään paksuus, eli malli pursotetaan valitussa koordinaatistossa. Kohdassa 4 on valmis yksinkertainen kolmiulotteinen kappale.



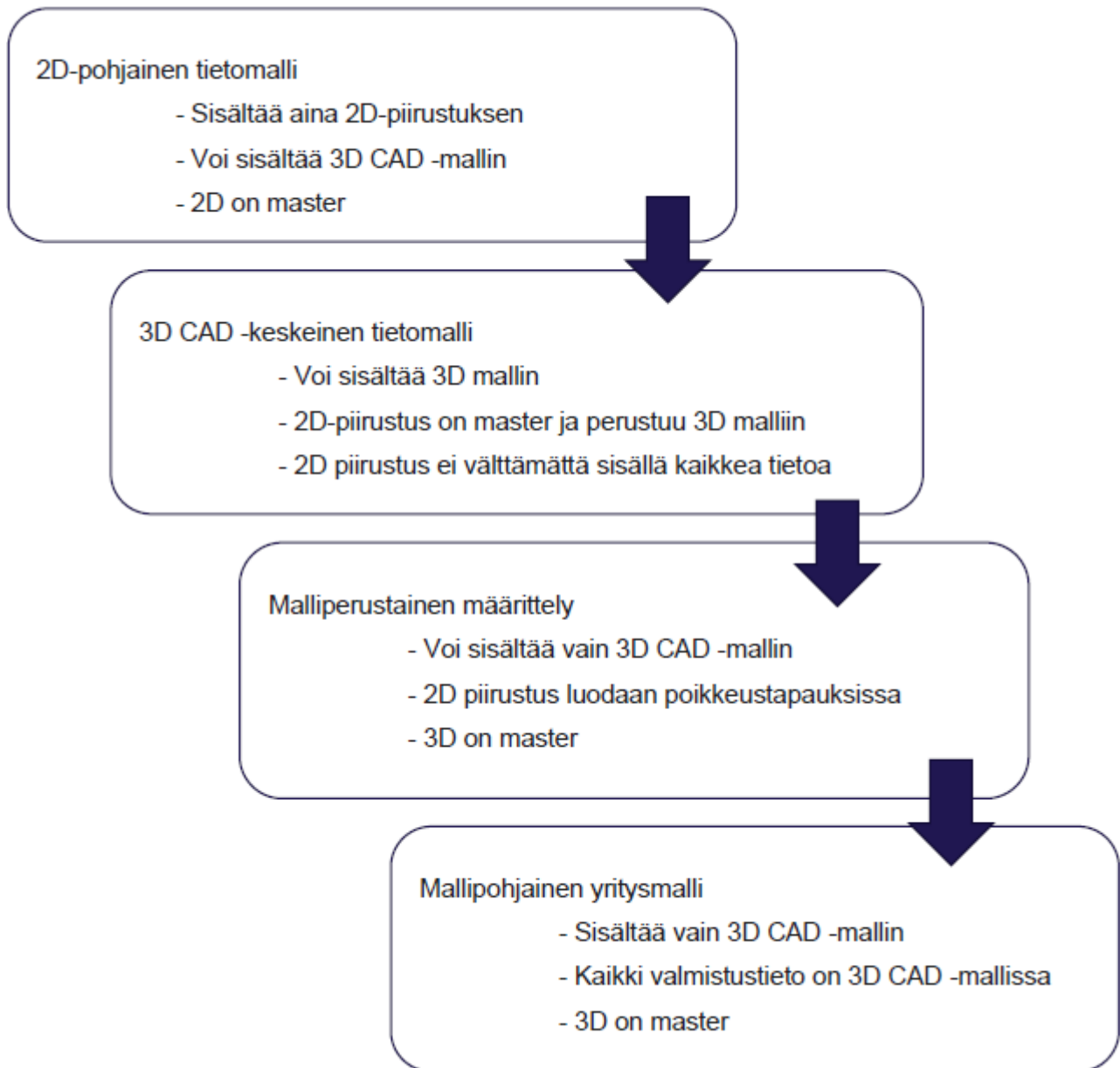
Kuvio 4. Yksinkertaisen kappaleen luonti.

Solidworksiin on saatavissa erilaisia lisäosia (Solidworks, i.a.). Tässä opinnäytetyössä tutustutaan tarkemmin lisäosaan, jota Dassault Systèmes kutsuu nimellä MBD, ja sen avulla 3D-malliin voidaan teoriassa liittää valmistuksen kannalta kaikki oleelliset tiedot, vähentäen tarvetta luoda 2D-piirustus kappaleen valmistusta, hankintaa, tarkastusta ja kokoonpanoa varten.

### 2.3 MBD

Kappaleen hankintaan, valmistukseen, tarkastukseen tai kokoonpanoon tarvittava tieto voi esiintyä neljässä eri muodossa (Rapinoja, 2016, s. 6). Kuviossa 5 esitetään yritysten

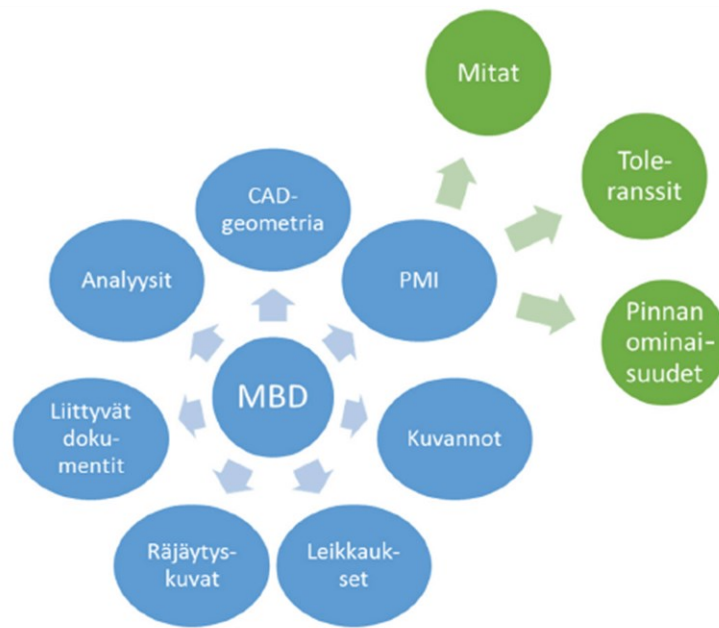
käyttämiä toimintamalleja tiedon ilmaisemiseen. Kuvion nuolet havainnollistavat, että perinteinen menetelmä eli 2D-pohjainen tietomalli on hierarkiassa alimpana eli 3D CAD -mallista ei siirrytä kohti 2D-pohjaista tietomallia.



Kuvio 5. Tiedon ilmaisutavat.

Näitä neljää tiedonjakotapaa kutsutaan digitaaliseksi tuotteen määrittelyksi (Adamski, 2010, s. 40). 2D-pohjainen tietomalli on yleinen tapa esittää tietoa, sillä 2D-piirustus on helposti esiteltävissä muille tahoille ilman erityisiä ohjelmistoja, joilla 2D-piirustusta voidaan tulkita. 3D-keskeistä tietomallia pidetään vähennetyn sisällön tietomallina, sillä 3D CAD -mallilla voidaan korvata joitakin 2D-piirustuksessa olevia piirteitä. Listan kahta

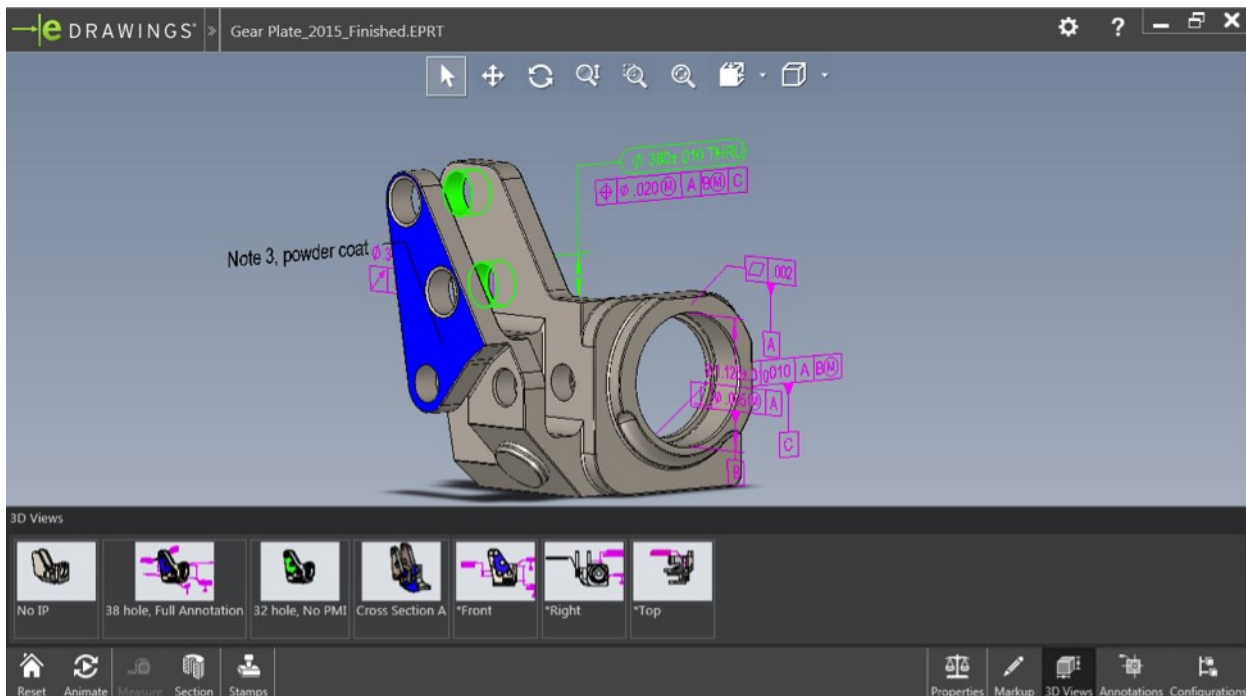




Kuvio 7. MBD havainnekartta (Rapinoja, 2016, s. 6).

Lukuisien 3D CAD -ohjelmistojen ja tiedon esitystapojen vuoksi vuonna 1994 eri järjestelmien välille esiteltiin standardiin perustuva tiedon esitysmuoto ISO 10303-21 (STEP-file, 2017). Tätä tiedon esitysmuotoa kutsutaan tavallisimmin step-tiedostoksi. Step-tiedoston päätte step on lyhenne sanoista Standard for the Exchange of Product data (Pronom, 2015). Step-malliin sisällytetään vain kappaleen fyysinen muoto, jolloin menetetään kaikki natiivimallissa olevat tiedot, kuten esimerkiksi materiaali, väri tai tekstuuritiedot (Rapinoja, 2016, s. 11).

Vuosien varrella step-tiedostoista on julkaistu erilaisia versioita kuten step203 ja step214, mutta vuonna 2014 julkaistiin versio nimeltään step242, joka tukee MBD-mallinustapaa. Tämä tarkoittaa, että step242-tiedosto kykenee säilyttämään mallin kaikki PMI-tiedot (Oboe, 2016). Step-tiedostomuodon tulkitsemiseen on saatavilla lukuisia ohjelmistoja, kuten esimerkiksi Dassault Systemesin eDrawings (eDrawings, i.a.). Nämä ohjelmistot kykenevät tulkitsemaan myös 3D CAD -malliin aseteltuja PMI-tietoja, kuten kuviossa 8 on esitetty (Oboe, 2015).



Kuvio 8. Step malliin aseteltuja PMI-tietoja (Oboe, 2015).

MBD-menetelmän etuja on tutkittu tapauskohtaisen tutkimuksen avulla (Konstantinos ym., 2021). Tutkimuksessa havaittiin, että menetelmän käytöllä on vaikutuksia suunnitteluun kuluvaan ajassa (mts 360). Tutkimuksessa tutkittiin menetelmän implementaatiota teknologiateollisuuden yritykseen, joka valmistaa fluiditeknikan tuotteita. Tutkimuksessa perehdyttiin siihen, miten dataa siirretään, miten ja ketkä sitä tulkitsevat missäkin vaiheessa tuotteen elinkaarta, jotta malli uudesta tuotteenhallinnan menetelmästä voitiin esitellä (mts. 357).

Kuviossa 9 on esitetty Konstantinos ym. (2021) tekemän tutkimuksen tulos yrityksellä käytössä olleen menetelmän sekä MBD menetelmän välillä. Perinteisten 2D-piirustusten, sekä osaluetteloiden tekemiseen kuluvaan ajassa havaittiin olevan 100 % ero vertailtujen menetelmien välillä, kun taas muiden toimenpiteiden, kuten piirustusten tai mallin revisiointiin sekä kokoonpano-ohjeiden laatimiseen kuluvaan ajan välillä eroa havaittiin olevan noin 33–60 %. Tutkimus huomioi kokonaistuloksen eli kokonaisajan työn aloituksesta työn lopetukseen näiden kahden eri menetelmän välillä. Kokonaistulos oli, että suunnitteludokumenttien laatimiseen kuluu jopa 66 % vähemmän aikaa perinteiseen menetelmään verrattuna. Tutkijat kuitenkin huomauttivat, että erotukset ovat riippuvaisia useista tekijöistä ja todelliset ajansäästöt ovat tapauskohtaisia.

Processes influenced from MBD and PDM	Current Method (Minutes per employer)	Proposed Method (Minutes per employer)
Creation of 2D Drawings	150 - 220	0
Creation of MBD and publication of 3D PDF	0	35 - 55
Revision of 2D Drawings and 3D models	75 - 130	30 - 45
Creation, modification and publication of B.O.M	15 - 20	0
Assembly Instruction	45 - 105	30 - 75
Overall Time	285 - 475	95 - 175

Kuvio 9. Työajan käyttö (Konstantinos ym., 2021, s. 359).

MBD-menetelmällä mallinnettuun malliin sekä malliin asetettuihin geometrisiin toleransseihin pätevät tietyt säännöt, jotka on määritelty standardissa SFS-ISO 16792:2021. Nämä säännöt joiltakin osin poikkeavat perinteisistä geometrisien toleranssien säännöistä, jotka on määritelty standardissa SFS-EN ISO 1101:2017. On välttämätöntä tuntea MBD-menetelmää koskevat säännöt ja asetukset, jotta mallin geometrinen määrittely on pätevä. Tällöin vältetään tahattomilta virheilmaisuilta, jotka voivat vaikuttaa muun muassa valmistuksen prosesseihin.

## 2.4 Valmistus

Valmistuksella viitataan prosessiin, jossa materiaaleista tai osista tuotetaan valmiita tuotteita, jonka saavuttamiseksi käytetään joko työkaluja, työvoimaa, koneita tai kemiallisia prosesseja (Kenton, 2022). Valmistusprosessit antavat yrityksille mahdollisuuden myydä tuotteita korkeampaan hintaan, kuin mitä pelkän raaka-aineen myynti mahdollistaisi. Valmistuksen eri tapoja ja muotoja on useita, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään materiaalia poistaviin valmistusmenetelmiin, joita ovat muun muassa sorvaaminen, jyräily ja poraus (Uğur, 2022). Materiaalia poistavat menetelmät eivät kuitenkaan rajoitu näihin menetelmiin. Työn tilaajalle materiaalia poistava valmistus on erittäin tärkeässä roolissa osana

tuotteiden valmistusta, joten eri valmistustapojen tarkastelu päätettiin rajata näihin kategorioihin.

Sorvauksessa materiaalin poistamisessa käytettävää leikkuuterää syötetään pyörivän kappaleen suuntaisesti, jolloin terä poistaa materiaalia kappaleesta (Uygun, 2022). Jyrsinnässä kappale sen sijaan pysyy paikoillaan ja materiaalin poistoon käytettävää terää pyöritetään ja liikutetaan lineaarisesti haluttuun suuntaan. Porauksessa kappale voi joko pyöriä, tai pysyä paikallaan. Kuitenkin kappaleen taikka työkalun on pyörittävä, jotta leikkaavalla työkalulla saadaan muodostettua kappaleeseen halutun kokoinen reikä. Kuvassa 5 havainnollistetaan reiän porausta sorvaamalla.



Kuva 5. Porausta sorvilla.

Valmistuksen tuloksena syntyneiden kappaleiden mittatarkkuudet ovat ehdottoman tärkeitä, sillä muutoin valmistettu kappale ei välttämättä täytä sille asetettuja vaatimuksia. Mikäli kappaleelle asetetut vaatimukset eivät täyty, voi sillä olla negatiivisia vaikutuksia osien kokoonpanovaiheessa. Esimerkiksi laakeria asennettaessa akselille tulee akselin mittatarkkuuden olla laakerinvalmistajan ilmoittamassa tarkkuudessa. Mikäli akselin

mittatarkkuus poikkeaa laakerinvalmistajan ilmoittamasta tarkkuudesta, ei laakerin asennus välttämättä ole mahdollista. Tyypillisesti laakerien asennuskohteet vaativat suurta mittatarkkuutta.

Kuviossa 10 esitetään erikokoisten laakerien vaatimia mittatarkkuuksia akseliasennukseen. Kuvion 10 osoittaman tiedon perusteella halkaisijaltaan 100 mm:n akseli täytyy valmistaa m5-toleranssille, joka on 100 mm akselikoolla tarkkuudeltaan +0,028 mm ja +0,013 mm. Kuvion mukaan tämä toleranssi pätee normaalisti sekä raskaasti kuormitulle laakerille. Ensin ilmoitettu luku kertoo akselin enimmäiskoon ja jälkimmäinen luku akselin vähimmäiskoon. Esimerkkitapauksessa 100 mm:n akselin on siis oltava kooltaan enintään 100,028 mm ja vähintään 100,013 mm, jotta laakeri toimisi sille tarkoitulla tavalla.

Conditions	Shaft diameter	Dimensional tolerance <sup>2)</sup>	Total radial run-out tolerance <sup>3)</sup>
	mm	-	-
<b>Rotating inner ring load or direction of load indeterminate</b>			
Light loads (P = 0,05 C)	= 17	js5	IT4/2
	> 17 to 100	j6	IT5/2
	> 100 to 140	k6	IT5/2
Normal to heavy loads (0,05 C < P = 0,1 C)	= 10	js5	IT4/2
	> 10 to 17	j5	IT4/2
	> 17 to 100	k5	IT4/2
	> 100 to 140	m5	IT4/2
	> 140 to 200	m6	IT5/2
	> 200 to 500	n6	IT5/2
	> 500	p7	IT6/2

Kuvio 10. Akselin mittatarkkuus laakeriasennusta varten (SKF, i.a.)

Mittatarkkuuteen vaikuttaa muun muassa käytetty valmistusmenetelmä ja menetelmää hyödyntävät työkalut, kuten esimerkiksi erilaiset leikkuuterät. Leikkuuterät ovat kulutusosia, jotka kuluvat, kun kappaleesta poistetaan materiaalia. Lisäksi valmistettavan kappaleen materiaali voi vaikuttaa mittatarkkuuteen, sillä esimerkiksi elastinen materiaali,

kuten kumi, voi joustaa leikkuuterän aiheuttaman pintapaineen vaikutuksesta. Tällöin materiaalia ei välttämättä poisteta haluttua määrää, jolloin kappale ei ole mittatarkka. Valmistettavan kappaleen kiinnitykseen voi käyttää erehdyksessä liiallista kiinnitysvoimaa, jolloin kappaleessa voi esiintyä muodonmuutoksia. Muodonmuutokset eivät välttämättä ole pysyviä, sillä kappale voi palautua alkuperäiseen muotoonsa, kun se irrotetaan valmistukseen käytetystä kiinnittimestä. Kappaleen valmistuksessa kappale voidaan kiinnittää erilaisiin kiinnittimiin useita kertoja, riippuen valmistuksen eri vaiheista. Kappaleen irrotuksessa ja uudelleenkiinnityksessä voi tapahtua asemointivirheitä, jotka voivat vaikuttaa mittatarkkuuteen. Kuvassa 5 on esitelty eräs valmistukseen käytetty kiinnitin, joka on kyseisessä sorvissa käytetty 3-leukainen pakka. Pakka puristaa työstettävää kappaletta kappaleen ulkokehältä, jolloin kappale pysyy paikallaan.

## 2.5 Tarkastus

Organisaation laadulla yritys kykenee saavuttamaan jatkuvaa menestystä. Menestys on johdannaista siitä, että yritys kykenee täyttämään asiakkaiden ja muiden sidosryhmien tarpeet ja odotukset (Suomen Standardisoimisliitto (SFS), 2018, luku 4.1). On organisaation itsensä määriteltävissä, mitkä toimenpiteet ovat olennaisia tukemaan menestyksen tavoittelua.

Työn tilaaja on määritellyt valmistettavien osien tarkastuksen yhdeksi tärkeäksi toimenpiteeksi yrityksen toiminnassa. Seuraamalla valmistettujen osien laatua työn tilaaja voi varmistaa, että yrityksen itsensä asettamat laatuvaatimukset täyttyvät asiakkaiden vaatimuksia ja odotuksia unohtamatta. Osien laadun seurantaan varten yrityksellä on oma tarkastamo, jonka välineet kalibroidaan ja tarkastetaan säännöllisesti noudattaen ISO 17025 -standardia mittalaitteiden kalibroinnista. Lisäksi osien laadun seurantaan sovelletaan Suomen Standardisoimisliiton (SFS, 2015, s. 6) kuvattuja laadunhallinnan periaatteita, joita ovat muun muassa prosessimainen toimintamalli, parantaminen ja näyttöön perustuva päätöksenteko.

Valmistettavien osien tarkastus voidaan suorittaa muun muassa visuaalisesti tai käyttämällä mittaukseen soveltuvia välineitä. Tarkastukseen soveltuvia välineitä on lukuisia, riippuen tarkastettava asiasta. Tarkastuksessa käytettäviä mittausvälineitä saattaa löytää

myös joistakin kotitalouksista. Näitä ovat kuvassa 6 esiteltyt työntömitta, rakotulkki ja mikrometri. Työntömittoja on saatavilla eripituisia ja -muotoisia sekä analogisesti että digitaalisesti tulkittavia. Mitattava kappale asetellaan tukevasti työntömitan mittausleukojen väliin, jolloin työntömitan mittausasteikosta voi tulkita kappaleen mitan (Vernier Caliper, i.a.). Kuvan 6 mittausväline numerolla 1 on vernier-tyylinen digitaalinen työntömitta.

Rakotulkkia voidaan käyttää jonkin välin, välyksen, tai raon koon selvittämiseen (Feeler Gauge, i.a.). Rakotulkki koostuu useasta eripaksuisesta liuskasta, joita voidaan käyttää yksin tai yhdessä muiden liuskojen kanssa. Rakotulkin, kuvassa 6 numero 2, toiminta on erittäin yksinkertainen: mikäli rakotulkin tietynpaksuinen liuska sopii vaivatta johonkin rakoon, on raon mitta suurempi kuin mittaukseen käytetyn liuskan paksuus. Mikäli rakoon ei mahdu seuraava, edellistä paksumpi testiliuska, on raon koko jotakin näiden kahden testiliuskan välillä. Tavallisesti rakotulkin testiliuskojen paksuuserot ovat 0.05 mm.

Mikrometrin, kuvassa 6 numero 3, käyttötapa on hyvin yhtenevä työntömitan kanssa. Ero mikrometrin (kuva 6 numero 3) ja työntömitan (kuva 6 numero 1) välillä on, että tietyt mikrometrit kykenevät ilmaisemaan mitattavan kappaleen mitan mikrometritasolla eli 0.001 mm tarkkuudella (Mitutoyo, i.a.). Tämä tekee mikrometristä oivallisen välineen tarkkoihin mittauksiin.



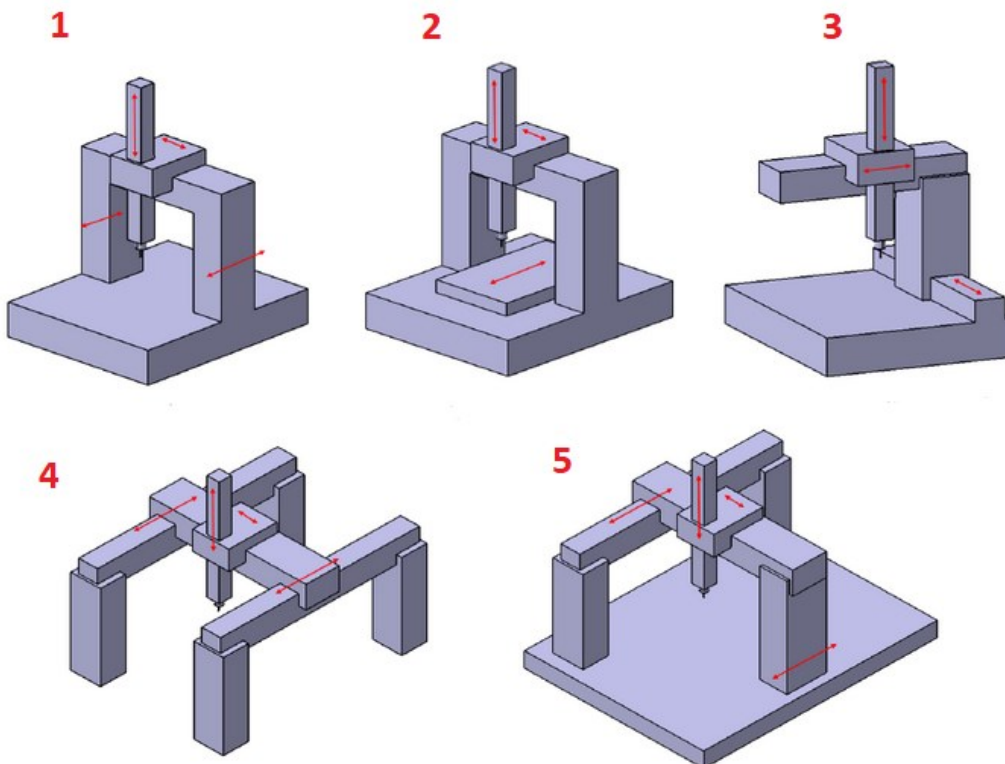
Kuva 6. Mittavälineitä, 1. Työntömitta, 2. Rakotulkki, 3. Mikrometri.

Automatisoidun tarkastuksen tekniikkaa edustaa tietokoneohjattu mittauslaite eli koordinaattimittauskone, jota käytetään fyysisen kappaleen geometrian mittauksessa (Creaform, 2021). Koordinaattimittauskoneita on erityyppisiä ja -kokoisia, mutta tyypillisesti laitteessa on kolme koordinaattiakselia X, Y ja Z, jotka ovat moottoroituja ja joita ohjaa tietokone. Jokainen koordinaattiakseli on kytketty paikkatietosensoriin, jotka seuraavat suhteellista sijaintiaan tunnistinanturiin nähden ja ilmaisevat tietokoneelle tunnistinanturin eli mittauspään tarkan sijainnin valitussa koordinaatistossa.

Laitteen sisältämä teknologia on erittäin herkkää ympäristön vaikutuksille, kuten lämpötilalle ja värähtelylle, joten tavanomaisesti koordinaattimittauskoneet asennetaan lämpötilakontrolloituun ja mikäli mahdollista värinäkontrolloituun ympäristöön, jolloin näiden tekijöiden vaikutus mittaukseen on mahdollisimman pieni (Creaform, 2021). Tämä on tarpeen, sillä jotkin koordinaattimittauskoneet kykenevät mittaamaan kappaleen

0.00001 mm:n tarkkuudella (Mitutoyo, 2021). Puhuttaessa näin tarkoista mittaustulok-  
sista mittaustuloksiin voi vaikuttaa pelkästään mitattavan kappaleen lämpölaajenemi-  
nen.

Kuviossa 11 on esitetty erityyppisiä koordinaattimittauskoneita (Syam, 2022). Kuviossa  
numerolla 1 oleva koordinaattimittauskone on siltamallinen, eli koko rakenne liikkuu pu-  
naisten nuolien osoittamiin suuntiin. Kuviossa numerolla 2 esitetty koordinaattimittaus-  
kone on kiinteäsiltainen, eli yksi rakenteen akseleista on kiinteä. Kolmannen akselin liike  
on toteutettu liikuttamalla mitattavaa kappaletta liikkuvalla pöytätasolla. Mittakone nu-  
merolla 3 on ulokkeellinen koordinaattimittauskone, jonka liiketapa on sama kuin silta-  
mallisella mittakoneella. Kuviossa numerolla 4 esitelty koordinaattimittauskone on porta-  
alityyppinen. Portaalityyppinen mittakone on kuin siltamallin mittakone, mutta kahdella  
tukirakenteella. Numerolla 5 esitetty mittakone on L-rungolla varustettu koordinaattimit-  
tauskone.



Kuvio 11. Erityyppisiä koordinaattimittauskoneita (Syam, 2022).

Ensimmäisen kerran koordinaattimittauskone nähtiin 1960-luvun alun Skotlannissa, kun yhtiö nimeltä Ferranti Company kehitti yksinkertaisen koneen, jossa oli kaksi akselia, joka seurasi fyysisen kappaleen muotoja ilmaisten ne XYZ-koordinaatistossa (Creaform, 2016). Myöhemmin 1960-luvulla italialainen yritys nimeltä Italian Company DEA, joka on nykyään osa Hexagon Metrology Groupia, kehitti koordinaattimittauskoneen, jossa oli kolme akselia. Nykyiset koordinaattimittauskoneet polveutuvat näistä laitteista. Laitteet olivat aluksi käsikäyttöisiä, mutta pian markkinoille ilmestyi automatisoituja versioita, joita käytettiin muun muassa Concorde moottorin osien tarkastukseen. Concorde oli maailman ensimmäinen ääntä nopeammin lentävä matkustajalentokone (Britannica, 2022). Tästä kehityksestä muodostui vuonna 1973 Renishaw Company, joka on edelleen maailman suurin koordinaattimittauskoneen mittauspäiden valmistaja (Creaform, 2016).

Kuvassa 7 on yrityksen tarkastamossa sijaitseva, kuviossa 11 numerolla 5 esitetty, L-rungolla oleva koordinaattimittauskone.



Kuva 7. Mitutoyo Crystal Apex -koordinaattimittauskone.

### 2.5.1 Kalibrointi

Tarkastusta ei voida suorittaa ilman tarkkoja mittavälineitä. Mittavälineitä on säännöllisin väliajoin kalibroitava, jotta mittavälineellä saatu mittaustulos olisi luotettava. Kalibrointeja on suoritettava siksi, että käytettävän mittalaitteen ilmoittama lukema voi ajan myötä muuttua (Kalibroinnin tärkeys, 2017).

Kalibroinnilla tarkoitetaan operaatiota, joka tietyissä olosuhteissa määrittää suhteen mittaustandardin arvojen ja mittausepävarmuuksien välille (Vocabulary, 2007, s. 64). Lopuksi tätä tietoa hyödynnetään mittaustuloksen aikaansaamiseksi. Kalibroinnissa käytetään usein apuna referenssiarvoa, joka on useimmiten tietyn mittaiseksi valmistettu kappale (Mitutoyo, 2018). Kalibroittavalla välineellä mitataan referenssikappale, jolloin

kalibroivasta välineestä on tulkittavissa mittaustulos. Kuvassa 8 on esitetty 6 mm:n paksuinen kalibrointiapuväline ja kalibroitava mikrometri. Erilliseen mittauspöytäkirjaan kirjataan eroavaisuudet mittaustuloksen ja referenssikappaleen välillä, mikäli sellaisia on. Tämän jälkeen mittavälinettä voidaan luotettavasti käyttää, kun tiedetään laitteen mittausepävarmuus.



Kuva 8. Kalibrointipala ja kalibroitava mikrometri.

### 2.5.2 Ajan ja pituuden realisointi

Tätä opinnäytetyötä varten kävin vierailemassa Teknologian tutkimuskeskus VTT MIKESin tiloissa Espoon Otaniemessä. Lyhenne MIKES johdetaan sanoista Mittatekniikan keskus. VTT MIKES on Suomen puolesta allekirjoittanut CIPM MRA -sopimuksen, jonka mukaan sopimuksen allekirjoittaneet osapuolet pyrkivät osoittamaan mittanormaaliensa ja antamiensa kalibrointitodistusten kansainvälisen vastaavuden (VTT MIKES, i.a.).

VTT MIKES ylläpitää kansallisessa aika- ja taajuuslaboratoriossaan Suomen virallista aikaa niin kutsuttujen atomikellojen avulla (VTT, 2020a). Kansainvälisesti käytössä olevan SI-järjestelmän ajan yksikkö sekunti määritellään Cesium 133 -atomin värähtelytaajuu-  
della. Cesiumatomin värähdellessä häiritsemättömästi 9 192 631 770 kertaa, aikaa on kulunut yksi sekunti. Kuvan 9 aikaosoittimessa on esitetty Suomen virallinen aika VTT

MIKESin laboratoriorakennuksen edessä. Osoittimeen aika johdetaan kahdesta atomikel-  
lostä, jotka sijaitsevat kuvassa 10 olevan oven takana.



Kuva 9. Suomen aika.



Kuva 10. Ovi, jonka takana atomikelloja pidetään.

Ajan lisäksi VTT MIKES ylläpitää tiloissaan SI-järjestelmän pituuden yksikköä metriä (VTT, 2020b). Sen määritelmä on matka, jonka valo kulkee tyhjiössä  $1 / 299\,792\,458$  sekunnissa. Metrin realisointiin on käytössä kolme eri menetelmää; Ensimmäisessä menetelmässä mitataan valon kulkema matka tyhjiössä tietyssä ajassa. Toisessa menetelmässä mitataan valon suoran taajuuden tyhjiöaallonpituus ja kolmannessa menetelmässä mitataan matka suositeltujen säteilylähteiden avulla, joiden tyhjiöaallonpituus ja taajuus tunnetaan annetuissa olosuhteissa tietyllä epävarmuudella.

VTT MIKES käyttää metrin realisointiin kolmatta menetelmää, eli määrittää metrin suositeltujen säteilylähteiden avulla (VTT, 2020b). Kyseessä on kolmen jodiin stabiloitujen punaisen HE-NE-laserien kokonaisuus, joiden taajuus on 473 612 353 604 kHz epävarmuuden ollessa  $2,1 \times 10^{-11}$  (kuva 11). Hz eli taajuus on sekunnin johdannaisuus, joka kuvaa värähtelyjen määrää sekunnissa. Kun punainen lasersäde on siis värähdellyt 473 612 353 604 kHz, on säde kulkenut yhden metrin matkan. Pituuden realisointi johdetaan käytännön mittauksiin ja mittanormaaleihin tällä menetelmällä, eli kalibroitujen lasereiden ja interferometrian avulla. Kuvassa 11 on esiteltyä infotaulu VTT MIKESin tiloissa, jossa on lueteltuna SI-järjestelmän yksiköt ja miten niitä realisoidaan.



Kuva 11. Infotaulu VTT MIKESin tiloissa.

Ajan ja pituuden realisointi ovat tärkeitä kalibroinnin kannalta, sillä näiden suureiden realisointi pyrkii osoittamaan jonkin asian tietämistä mahdollisimman tarkasti. Tämä on tärkeää, sillä mittavälineen tai laitteen kalibrointi on suoritettava sellaisella välineellä, jonka mittausepävarmuus on pienempi kuin kalibroitavan laitteen mittausepävarmuus.

### **3 MBD-MENETELMÄN SOVELTUVUUS**

Tässä luvussa tutkitaan työn tilaajalla käytössä olevan mallinnusmenetelmän eli 3D CAD -keskeisen tietomallin (kuvio 5) ja MBD-menetelmän välisiä eroavaisuuksia. Tutkimuksesta saadun tiedon pohjalta näitä menetelmiä verrataan keskenään, ja tarkoituksena on tunnistaa MBD-menetelmän etuja, haasteita, heikkouksia ja vahvuuksia. Tässä työssä 3D CAD -keskeistä tietomallia kutsutaan nimellä perinteinen mallinnustapa.

#### **3.1 Menetelmien vertailu suunnittelussa**

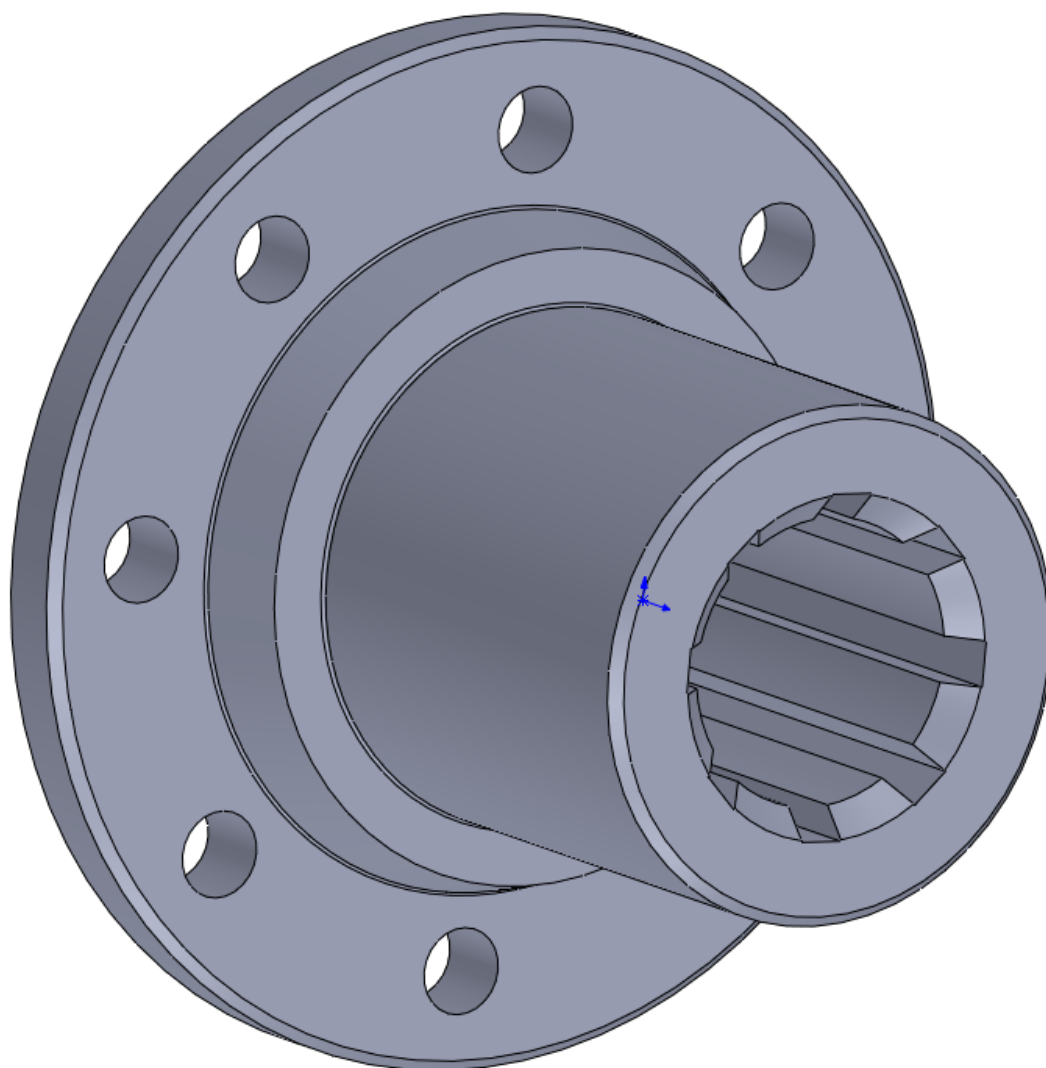
Tutkimuksessa kummallakin menetelmällä 3D-mallinnetaan koekappaleet kukin omilla PMI-tiedoillaan, jotka viedään yrityksen käyttämään PDM-järjestelmään. Vertailua varten selvitetään perinteisen mallinnustavan prosessi, jota verrataan MBD-menetelmän prosessiin. Menetelmien keskinäisen vertailun avulla pyritään arvioimaan, onko MBD-menetelmästä etua työn tilaajalle siinä määrin, että menetelmän käyttöönottoa on syytä harkita.

Arviointikohteita ovat 3D-mallinnus, 2D-piirustusten teko, tiedostojen vienti yrityksen käyttämään PDM-järjestelmään, luettavan 3D PDF -tiedoston laatiminen, kappaleen revisiointi sekä materiaalitietojen ilmeneminen.

##### **3.1.1 Perinteinen menetelmä**

Perinteisen mallinnustavan prosessi mukailee kuviossa 4 esitettyä yksinkertaisen 3D-kappaleen luontia. Prosessin selvitys lähtee liikkeelle kuvion 4 kohdasta 4 eli 2D-piirustuksen laatimisesta valmiiksi mallinnetusta kappaleesta, ja sen jälkeen 3D-malli ja 2D-piirustus viedään yrityksen käyttämään PDM-järjestelmään. Järjestelmään viennin jälkeen 3D-mallille määritellään loput PMI-tiedot, minkä jälkeen 3D-malli ja 2D-piirustus asetetaan hyväksyty-tilaan. Asettamalla 3D-mallin ja 2D-piirustuksen hyväksyty-tilaan suunnittelija ilmaisee yrityksen käyttämälle tuotannonohjausjärjestelmälle, että kyseiset dokumentit ovat suunnittelijan tarkastamia ja valmiita käytettäväksi.

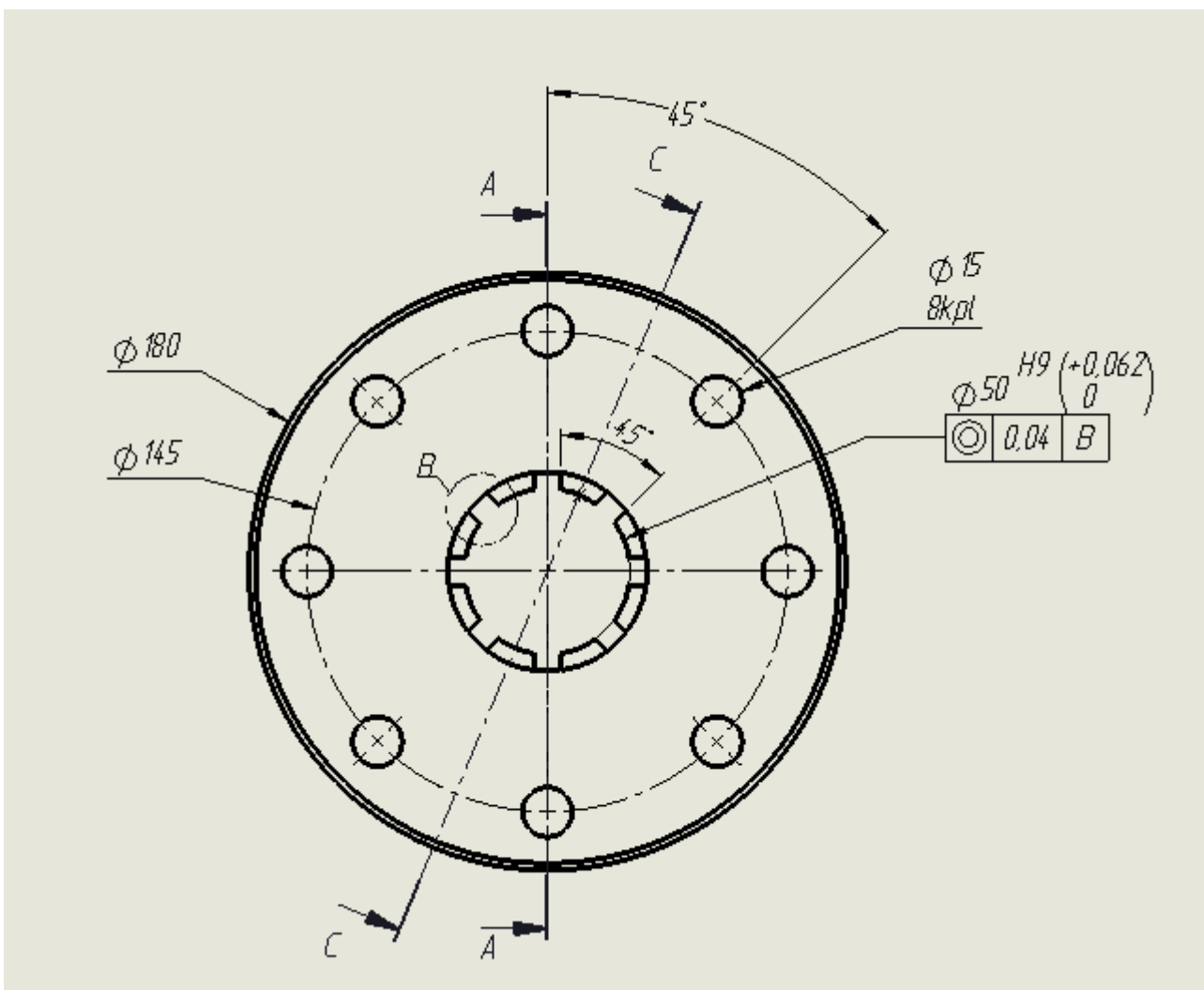
Perinteisellä menetelmällä 3D-mallinnetaan kuvitteellinen kappale, joka on 120 millimetriä pitkä sylinterimäinen pyörähdyskappale. Kappaleessa, joka on esitetty kuviossa 12, on erilaisia reikiä, viistettyjä kulmia, pyöristystyksiä ja uria.



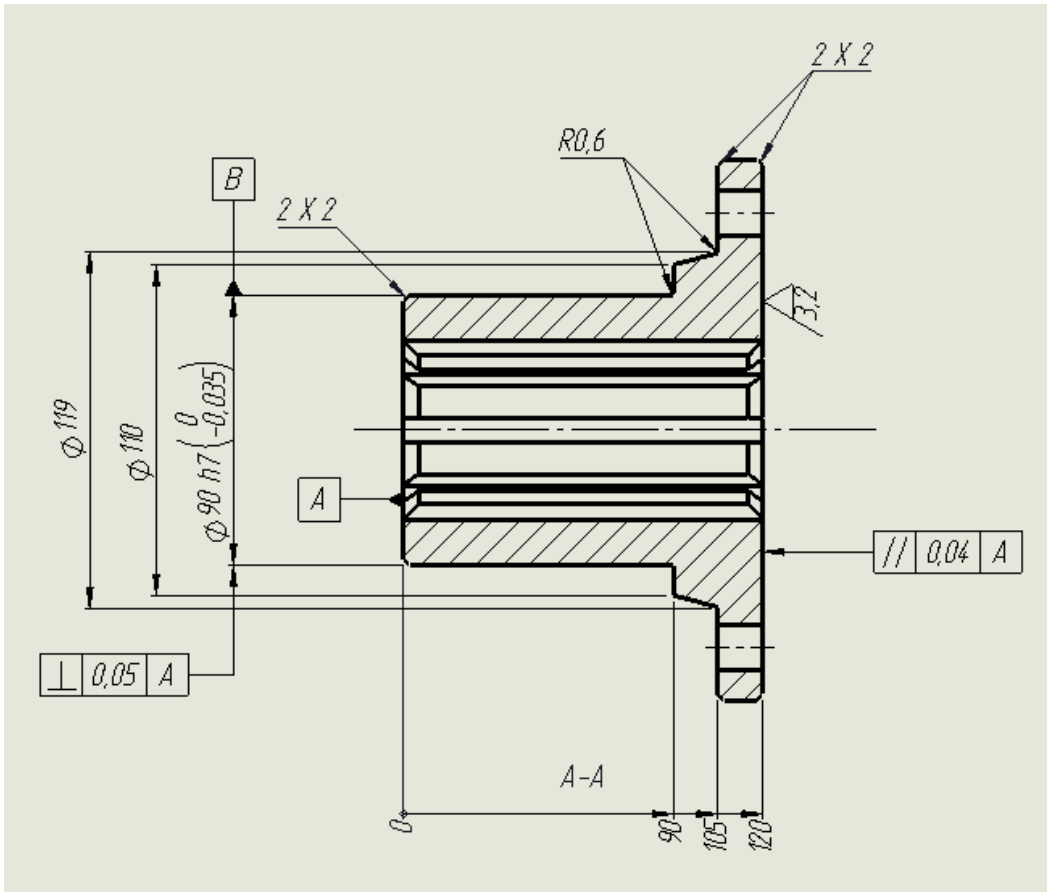
Kuvio 12. Kappale mallinnettuna perinteisellä menetelmällä.

Mallinnuksen jälkeen kappaleesta voidaan luoda 2D-valmistuspiirustus, joka yleisesti sisältää erilaisia kuvantoja, leikkauksia tai detaljeja sekä valmistettavan kappaleen mitat ja

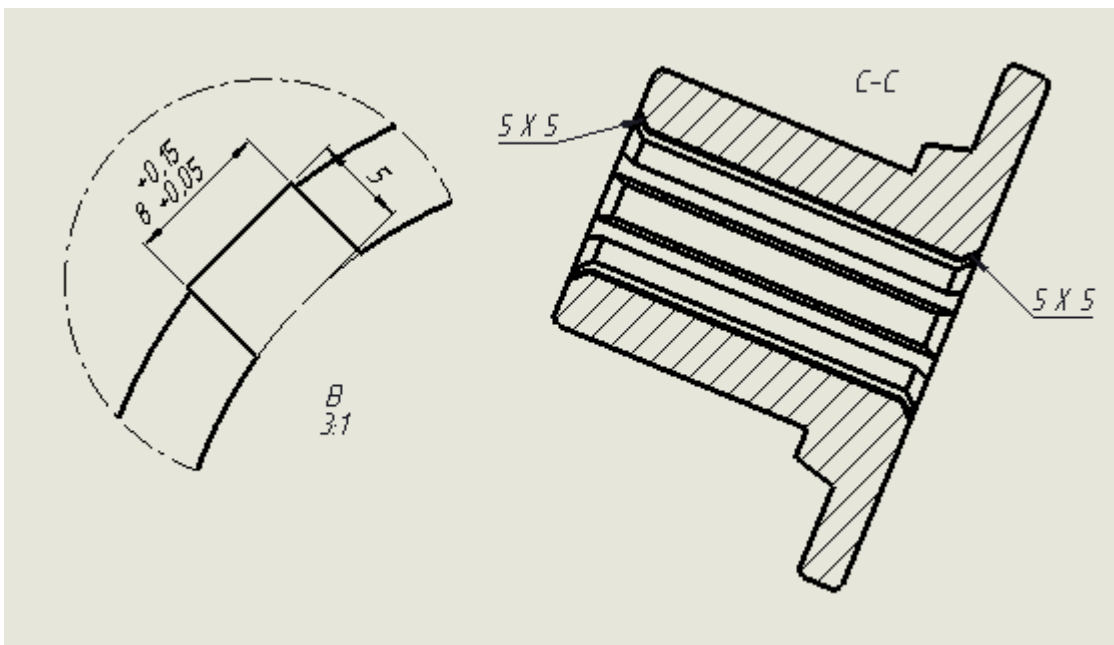
mahdolliset toleranssit. Kuviossa 13 havainnollistetaan kappaleen 2D-valmistuspiirustuksen näkymää katsottuna kappaletta suoraan edestäpäin. Kuviossa 14 ja 15 esitetään erilaisia kuvantoja kappaleesta. Niihin viitataan kuviossa 13 A-A-, B- ja C-C-merkinnöillä. 2D-piirustuksissa kaikki näkyvillä oleva tieto, kuten esimerkiksi mitat, toleranssit, leikkaukset ja detaljit, on suunnittelijan asetettava piirustukseen manuaalisesti. On täysin suunnittelijan vastuulla ilmaista piirustukseen kaikki kappaleen valmistuksen kannalta oleelliset tiedot. Vielä tässä vaiheessa piirustuksesta puuttuu osa PMI-tiedoista, kuten materiaalitiedot. Ne lisätään myöhemmin, kun 3D-malli ja 2D-piirustus on viety PDM-järjestelmään, kuten tämän luvun alussa esitettiin.



Kuvio 13. Kappaleen kuvanto edestä.



Kuvio 14. Kappaleen leikkauskuvanto A-A.


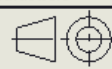


Kuvio 15. Kappaleen detalji B ja leikkauskuvanto C-C.

Järjestelmään viennin jälkeen osa PMI-tiedoista määräytyy automaattisesti, kuten esimerkiksi tekijä, päivämäärä sekä yksilöllinen numerotunniste. Numerotunniste on automaattisesti luoduista PMI-tiedoista tärkein, sillä sitä käytetään 3D-mallinnetun kappaleen tunnistamiseen yrityksen PDM-järjestelmässä, hankinnassa, valmistuksessa sekä kokoonpanossa. Mikäli mallinnetun kappaleen numerotunnistetta ei tiedetä, muodostuu sen löytäminen yrityksen PDM-järjestelmästä erittäin haasteelliseksi, ja se vaikeuttaa muun muassa kappaleen hankintaa.

Kuviossa 16 esitellään PDM-järjestelmään viedyn, perinteisellä menetelmällä mallinnetun kappaleen PMI-tietoja. Kuviossa suunnittelijan manuaalisesti täyttyä tietoja ovat materiaali- ja pintakäsittelytiedot, pinnankarheus sekä kappaleen nimitiedot. Mikäli kaikki tarpeelliset tiedot on täytetty, voi suunnittelija asettaa 3D-mallin ja 2D-piirustuksen ”hyväksyty” -tilaan. Tällöin ne vapautuvat muiden organisaatiossa työskentelevien henkilöiden käyttöön, kuten tämän luvun alussa esiteltiin.

Revisiointitiedot ilmenevät kuviossa 16. Revisiointitiedot täydentyvät automaattisesti revisiokenttään, kun mallista tehdään uusi revisio.

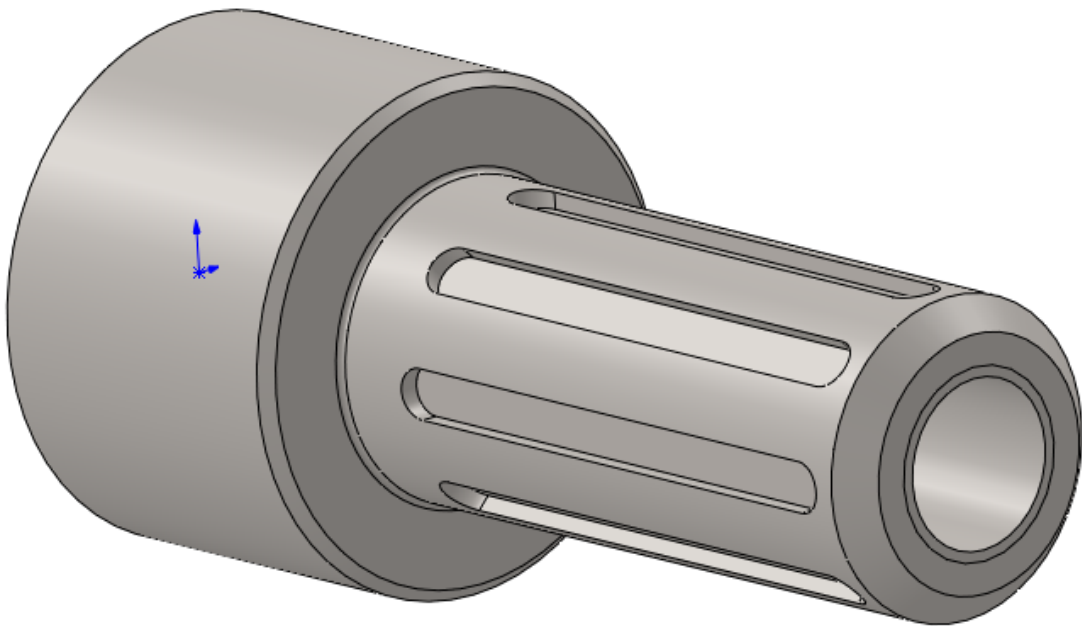
1	7006084	Pyörötanko,	Ø200 Fe 52C (MATRA 520)-125		1	
Osa	Numero	Osan nimitys	Aine, Materiaali	Mitat ja muoto	Standardi tai luettelo	Kpl
Pinnankarheus Ra		Pintakäsittely 1 <i>Terävät särmät poistetaan</i>				
6,3		Pintakäsittely 2				
3,2		Entinen	Uusi	Osaluettelo		
Massa kg	6,33	Suhde	Arkkikoko			
Toleranssit: Toleranssittomat mitat ohjeen: "T-Drill Työtapaohjeiset Toleranssit" mukaisesti		Nimi				
Piirt.	TPe	27.10.2022	<i>Laippa, Uralla</i>			
Tark.			<i>Flange</i>			
			Piirustus N:o	Sivu	Revisio	
			6590331	1/1	-	

Kuvio 16. PMI-tiedot.

### 3.1.2 MBD-menetelmä

MBD-menetelmällä 3D-mallinnetaan kuvitteellinen kappale, joka on 175 millimetriä pitkä sylinterimäinen pyörähdyskappale. Kappaleessa, joka on esitetty kuviossa 17, on

erilaisia viistettyjä kulmia, pyöristyksiä ja uria. MBD-menetelmällä mallinnettu kappale on yhteensopiva perinteisellä menetelmällä mallinnetun kappaleen kanssa. Kappale on mallinnettu mahdollisimman todenmukaisesti valmistuksen näkökulmasta ajatellen. Kappaleessa on pitkänomaiset urat. Näihin uriin asennetaan kokoonpanovaiheessa erityiset kiilat, jotka sitovat osat yhteen niin, ettei kappaleiden ole mahdollista pyöriä oman pyörähdysakselinsa ympäri erikseen.

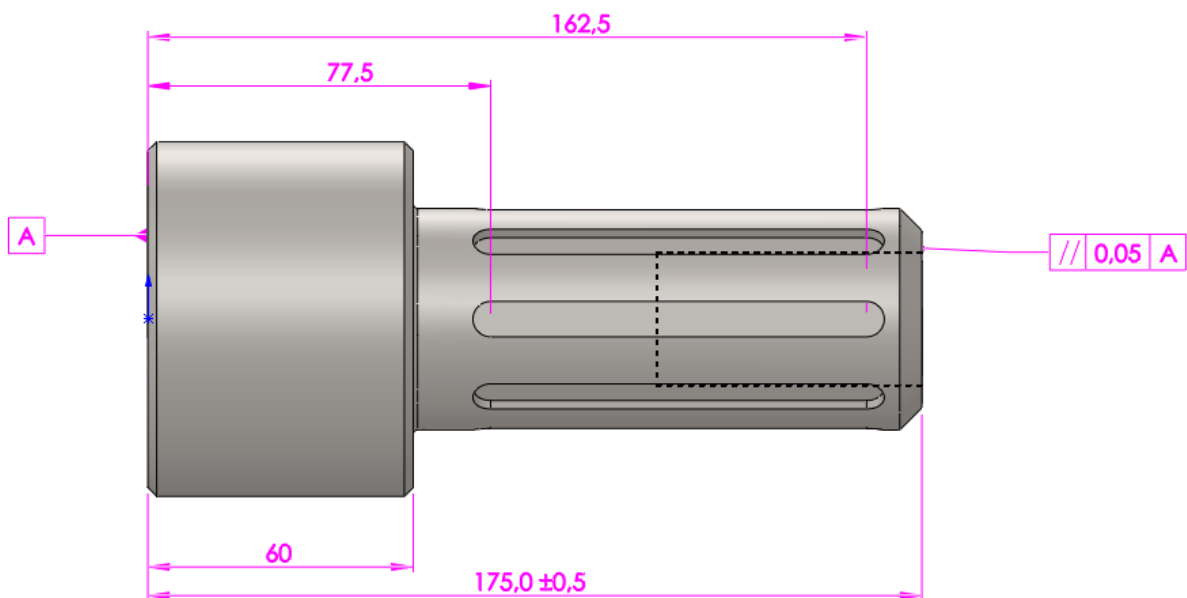


Kuvio 17. MBD-menetelmällä 3D-mallinnettu kappale.

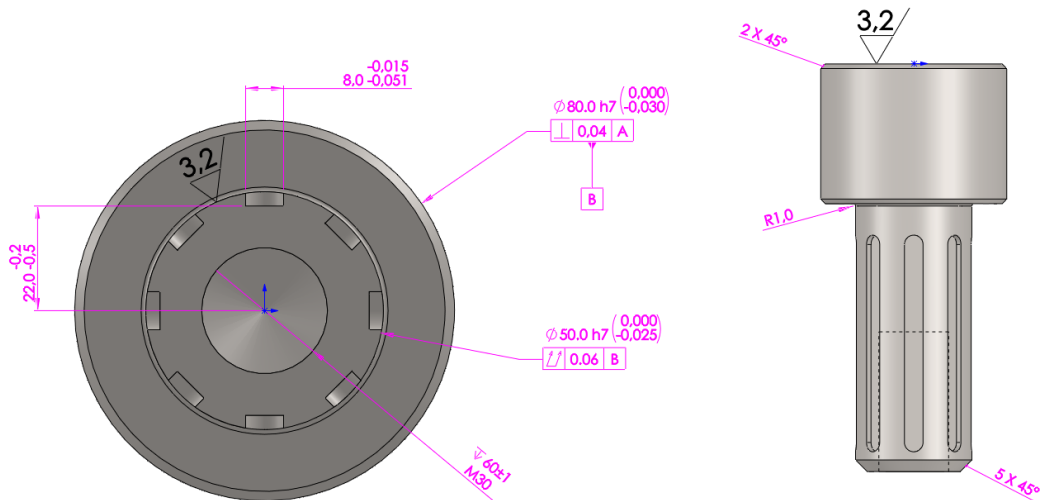
MBD 3D -mallin luominen käyttää samaa prosessia kuin perinteinen menetelmä, joka on esitetty kuviossa 4. Toisin kuin perinteisellä menetelmällä, MBD:llä ei laadita kappaleesta 2D-piirustusta vaan kaikki mitat lisätään suoraan 3D -malliin. On suunnittelijan itsensä valittavissa, asettaako hän kappaleen mitat kuvion 4 kohdan 1 mukaisiin koordinaatistoihin, jolloin luodaan kuvitelma mallin kaksikulotteisuudesta. Suunnittelija voi myös itse luoda koordinaatistoja, jotka vastaavat kappaleen muotoja, ja asetella mittoja näihin koordinaatistoihin.

MBD:llä mallinnettuun koekappaleeseen mitat aseteltiin kuvion 4 kohdan 1 esitettyihin koordinaatistoihin. Tämä luo kuvitelman mallin kaksiulotteisuudesta. Tämä on esitetty kuviossa 18, jossa kappale on kuvattuna vasemmalta. Aseteltaessa mitat eri koordinaatistoihin MBD-malli pysyy luettavana, sillä näkyvillä ovat vain ne mitat, jotka on aseteltu siihen koordinaatistoon, josta mallia tarkastellaan.

Koordinaatistojen sekä niihin aseteltujen mittojen selaamisesta voi tehdä nopeakäyttöisiä käyttämällä ohjelman sisäistä komentoa ”*Capture 3D view*”, joka tallentaa senhetkisen näkymän ohjelmiston sisäiseen pikakäyttöpaneeliin. Näkyymiin voi lisätä esimerkiksi leikkauksia, jotka voivat selkeyttää piirteitä, jotka muutoin jäisivät epäselviksi, kun mallia tarkastellaan kaksiulotteisena. Loput MBD-menetelmällä luodut näkymät ovat esitetty yhdistettynä kuviona kuviossa 19, jossa on ilmaistuna kappaleen valmistukseen vaadittavia mittoja ja toleransseja. Mitat on esitetty kappaleen edestä ja päältä katsottuna.

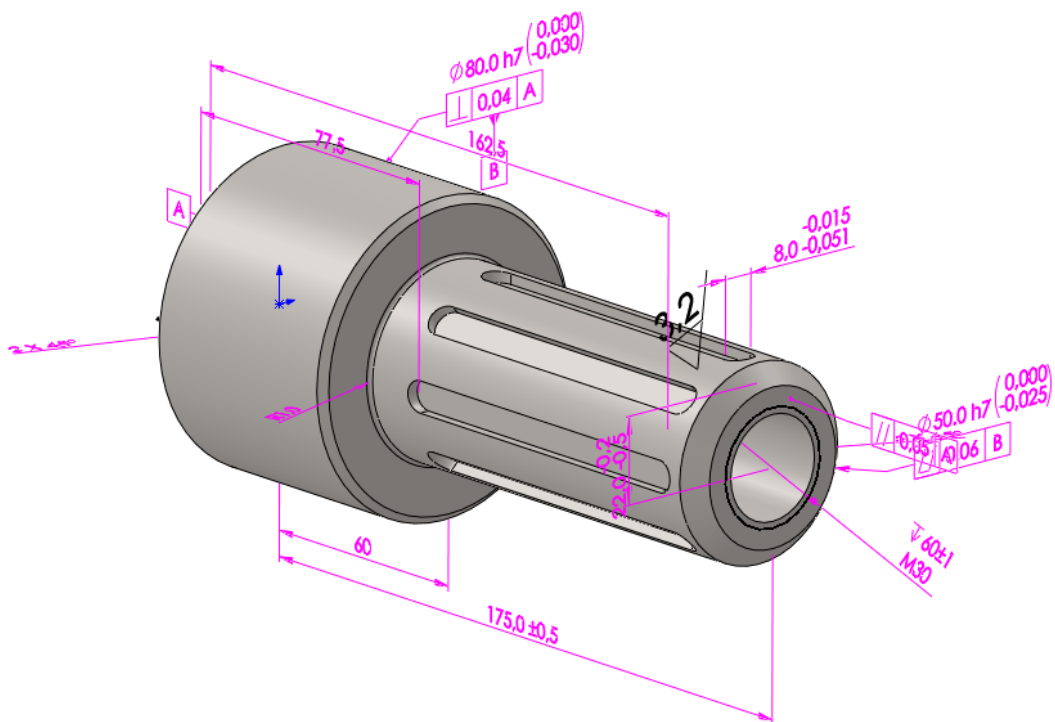


Kuvio 18. MBD 3D-malli vasemmalta.



Kuvio 19. MBD 3D-mallin muut kaksikulotteiset näkymät.

Tarkasteltaessa MBD 3D-mallia vapaasti valitusta kolmiulotteisesta suunnasta, saadaan näkyviin kaikki mallissa olevat mitat ja tiedot samanaikaisesti. Tämä kuitenkin hankaloittaa malliin asetettujen mittojen tulkintaa. Kuviossa 20 on esitetty MBD 3D -malli katsottuna vapaasti valitusta suunnasta, jolloin kaikki malliin asetetut mitat ja tiedot näkyvät.

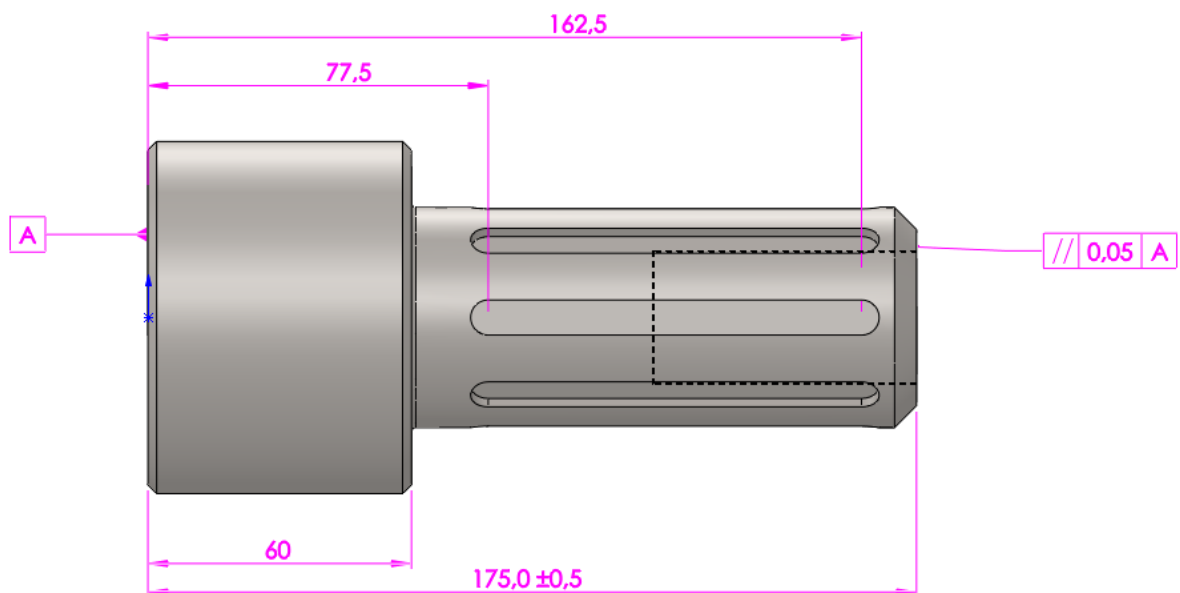


Kuvio 20. MBD 3D -malli vapaasti valitusta suunnasta katsottuna.

Seuraavaksi MBD 3D -malli vietiin yrityksen käyttämään PDM-järjestelmään, jonka prosessissa ei havaittu olevan eroa perinteiseen menetelmään nähden. Suunnittelija edelleen määrittelee mallille tarpeellisiksi katsomansa attribuutit ja materiaalitiedot manuaalisesti.

Tietojen määrittelyn jälkeen MBD 3D -malliin voi esimerkiksi lisätä tunnistekentän, jossa näkyy muun muassa PDM-järjestelmän automaattisesti luoma numerotunniste sekä mallille suunnittelijan määrittelemä materiaali. Tunnistekentät ovat vapaasti muokattavissa, ja suunnittelija voi tarvittaessa lisätä tai poistaa tietokenttiä. MBD 3D -malliin asetettu tietokenttä on esitetty kuviossa 21.

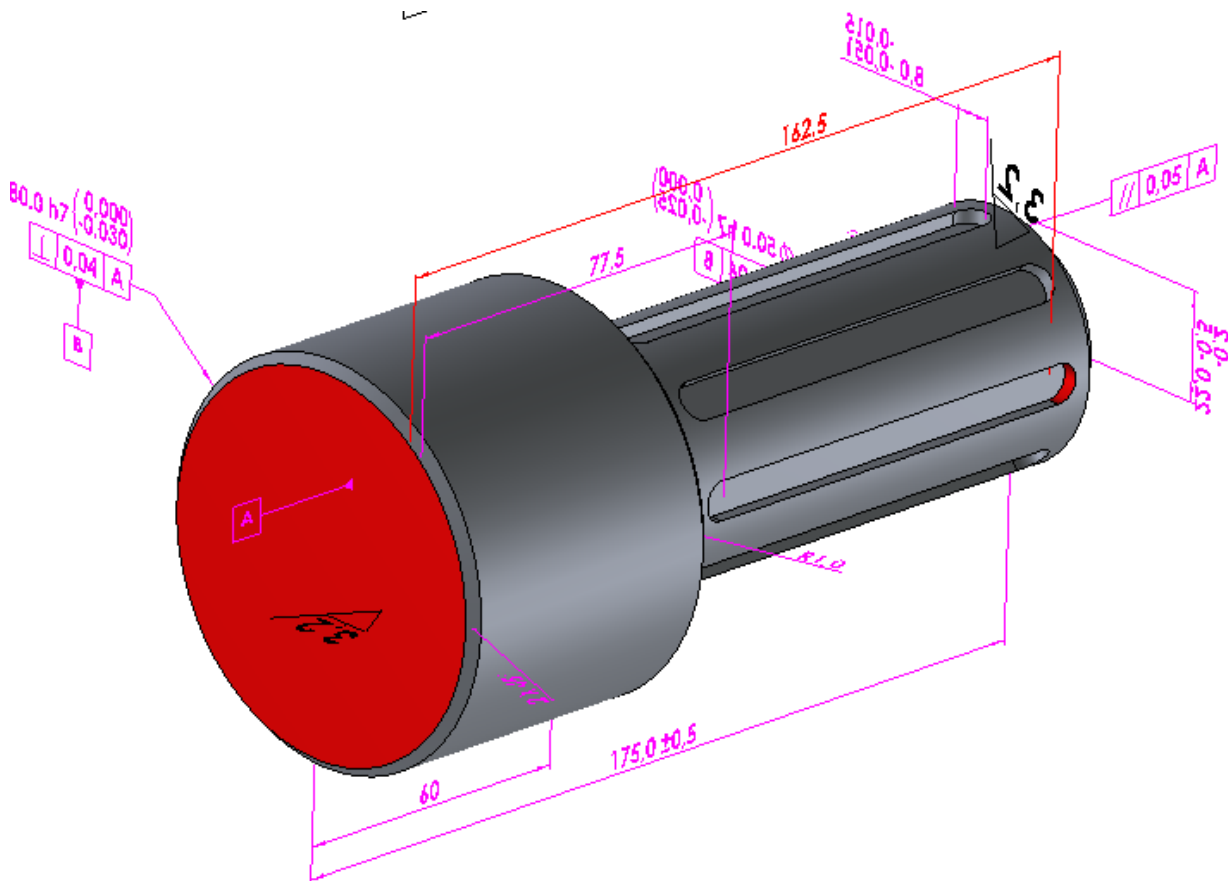
ITEM NO.	Revisio	Piirustus N:o	MATERIAL	QTY.
1	-	Uro-akseli(6590332-)	7006058 // Ø90 Fe 52C (MÄTRÄ 520) - 190	1



Kuvio 21. MBD 3D-malliin asetettu tietokenttä.

Tämän jälkeen MBD 3D-mallista luodaan step242-tiedosto ja 3D PDF -tiedosto mallinusohtelman sisäistä komentoa apuna käyttäen. Tiedostoissa näkyvät pikavalintoina kuvioiden 18, 19 ja 20 kuvannot. Näissä kuvannoissa näkyvät kappaleen mitta- ja toleranssitiedot sekä suunnittelijan asettamat taulukot tietoineen. Kumpikin tiedosto,

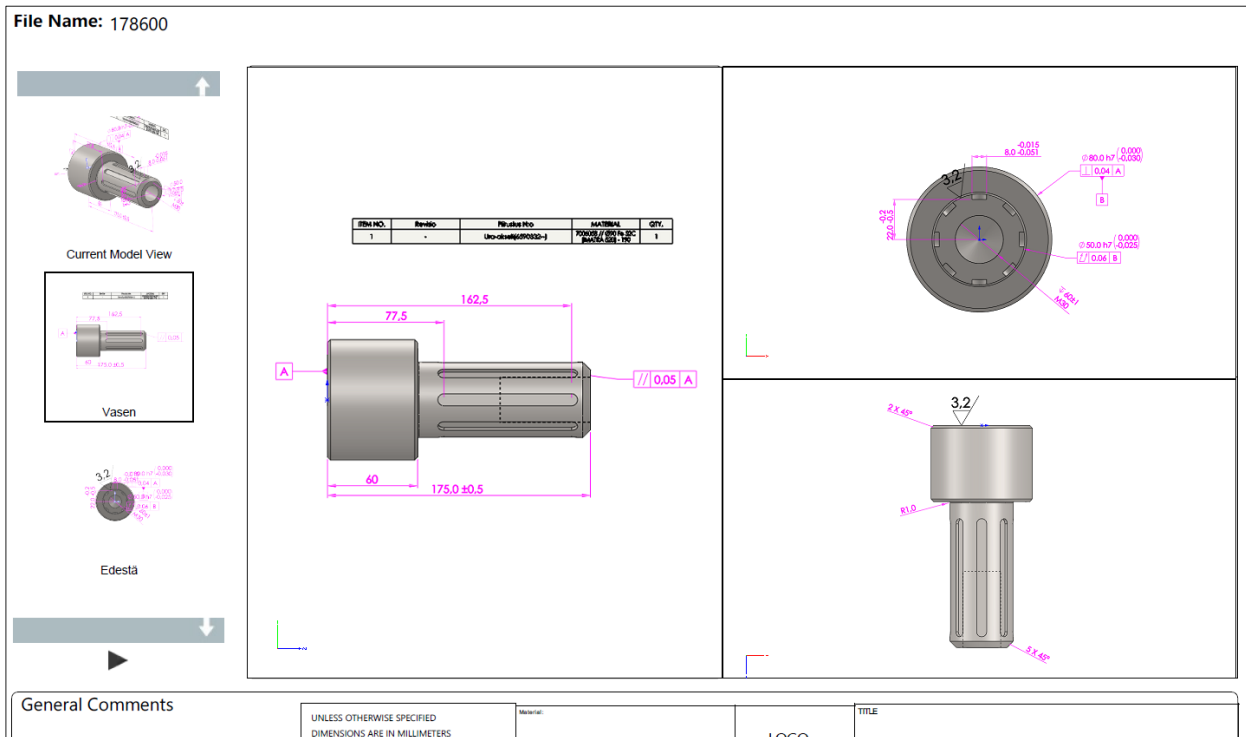
step242 sekä 3D PDF, esittää mallin samalla tavalla ikään kuin se olisi avattuna suunnittelijan suunnitteluohjelmistossa. Tiedostojen mallit ovat interaktiivisia, eli kappaleen tarkastelunäkymässä kappaletta voi käänellä, piilottaa mittoja, katsoa kappaletta lähempää tai kauempaa sekä suorittaa muita toimintoja. Eräs näistä toiminnoista on mittojen tarkastelu. Kappaleen tarkastelunäkymässä voi tietokoneen kursorilla tarttua kappaleen mittaan, jolloin mitta korostuu muista mitoista. Mitan korostumisen lisäksi myös pinnat, joiden välille mitta on asetettu, korostuvat. Tämä auttaa selventämään kappaleen tarkastelunäkymää. Tätä toimintoa on esitelty kuviossa 22, ja se on otettu ohjelmiston luomasta 3D PDF-tiedostosta, jossa mitta ja tasot on korostettu punaisella värillä. Korostusväri on vapaasti käyttäjän valittavissa.



Kuvio 22. Korostettu mitta ja tasot.

3D PDF -dokumenttipohjia on saatavilla useita erilaisia ja ne ovat muokattavissa näyttämään mitä tahansa mallissa olevaa tietoa, mikä koetaan tarpeelliseksi. Yksi 3D PDF -dokumenttipohja on pohja, joka sisältää kaikki mallin kuvannot samalla sivulla. Tällä pohjalla luotu 3D PDF osoittaa erittäin suuria yhteneväisyyksiä perinteisen 2D-

piirustuksen kanssa. Tällaista dokumenttia voidaan hyödyntää esimerkiksi paperisessa muodossa. Dokumentti, sekä siinä näkyvät kuvannot mitta- ja toleranssitietoineen, on esitetty kuviossa 23.



Kuvio 23. 3D PDF 2D-piirustuskuvalla.

Step242-tiedoston ja 3D PDF -tiedoston luonnin jälkeen ne viedään yrityksen käyttämään PDM-järjestelmään manuaalisesti. Tämä prosessi eroaa perinteisestä menetelmästä, sillä 2D-piirustuksen vieni järjestelmään tapahtuu automaattisesti. Tämä ero johtuu siitä, että prosessi on automatisoitu erillisellä konfiguraatitiedostolla, joka sisältää koodia siitä, mitä toimintoja tapahtuu, kun suunnittelija tekee tietyn valinnan. Tätä opinnäytetyötä varten konfiguraatitiedostoa ei muutettu. Mikäli konfiguraatitiedostoa olisi tätä opinnäytetyötä varten päivitetty vastaamaan MBD-menetelmän tarpeita, olisi step242-tiedosto ja 3D PDF -tiedostojen vieni PDM-järjestelmään tapahtunut automaattisesti.

MBD 3D -mallia revisoidessa kappaleen revisiointitiedot tulevat näkyviin MBD 3D -malliin. Tiedot näkyvät suunnittelijan luomassa tunnistekentässä (kuvio 21). Tiedot myös siirtyvät 3D PDF -tiedostoon, mikäli MBD 3D -mallista luodaan uusi 3D PDF -tiedosto.

## 3.2 Menetelmien vertailu tuotantoketjussa

Tässä luvussa tutkitaan työn tilaajalla käytössä olevan perinteisen menetelmän ja MBD-menetelmän välisiä eroavaisuuksia hankinnassa, valmistuksessa, tarkastuksessa sekä kokoonpanossa hyvin yleisellä tasolla. Tutkimuksessa ei käsitellä alihankkijoiden valmiutta MBD-menetelmää kohtaan, vaan kaikki tulokset on kerätty yrityksen sisäisesti. Tutkimuksessa simuloidaan luvussa 3.1 mallinnettujen koekappaleiden hankintaa, valmistusta sekä kokoonpanoa.

### 3.2.1 Perinteinen menetelmä

Luvussa 3.1 perinteisellä menetelmällä mallinnetun kappaleen hankinta alkaa siitä, kun kappaleesta luodaan myyntitiedote, eli kun kappale on myyty asiakkaalle. Myyntitiedotteeseen kirjataan muun muassa kappaleen yksilöllinen numerotunniste, joka on esitetty luvussa 3.1. Tämä tieto kulkee tuotannonohjaajalle, joka luo kappaleesta tuotantotilauksen eli pyynnön kappaleen valmistukselle. Myyntitiedotteen tavoin tuotantotilaukseen kirjataan kappaleen yksilöllinen numerotunniste. Tuotannonohjaaja luo tuotantotilauksen niistä kappaleista, joita ei ole määritelty myyntitiedoteohjatuiksi. Kappaleet, jotka ovat määritelty myyntitiedoteohjatuiksi, ohjautuvat suoraan valmistukseen ilman tuotannonohjaajan käsittelyä.

Tuotantotilaus ohjautuu valmistuksesta vastaavalle, joka muun muassa hankkii kappaleen valmistukseen tarvittavan materiaalin, ajan ja henkilöstöresurssin. Järjestelmä ilmoittaa automaattisesti valmistuksesta vastaavalle henkilölle tarvittavan materiaalin sekä sen määrän suunnittelijan järjestelmään määrittelemien PMI-tietojen mukaisesti.

Kappaleen valmistuksen alkaessa henkilö, joka kappaleen valmistaa, hakee yrityksen PDM-järjestelmästä kappaleen 2D-piirustuksen käyttäen tuotantotilauksen mukana annettua yksilöllistä numerotunnistetta. 2D-piirustuksen löydyttyä kappale valmistetaan piirustuksessa olevien PMI-tietojen mukaisesti. Mikäli kappale valmistetaan nykyaikaisella, tietokoneellisesti ohjatulla työstölaitteella (CNC), määrittelee kappaleen valmistava henkilö kappaleen PMI-tiedot työstölaitteelle manuaalisesti. Työstölaitteeseen syötetyt tiedot noudattavat 2D-piirustuksessa olevia PMI-tietoja. Toimenpiteeseen kuluvan ajan käyttö vaihtelee kappaleen monimutkaisuuden mukaan.

Kappaleen PMI-tiedot saadaan siirtymään tietokoneohjatulle työstölaitteelle automaattisesti käyttäen apuna kappaleen 3D-mallista luotua tietomallia, joka on tehty CAM-ohjelmistolla. CAM on lyhenne sanoista Computer Aided Manufacturing eli tietokoneavusteinen valmistus. Mikäli CAM-tietomallia halutaan käyttää, sen luo valmistuksesta vastaava henkilö. Kappaleen valmistava ja valmistuksesta vastaava henkilö ovat eri henkilöitä. CAM-tietomallin luonti lisää valmistuksesta vastaavan henkilön työkuormaa, sillä CAM-tietomallin käyttö yrityksessä ei ole yleistä. CAM-tietomallin käyttö lyhentää kappaleen valmistavan henkilön työkuormaa, jolloin henkilö on vapaa suorittamaan seuraavaa työtehtävää.

Kappaleen valmistuttua se tarkastetaan yrityksen omassa tarkastamossa. Valmistuksen laatua seuraamalla voidaan puuttua virheellisiin kappaleisiin estämällä niiden pääsy kokoonpanoon ja mahdollisesti asiakkaalle. Virheellinen kappale voi laskea lopputuotteen laatua. Jotta kappaleelle tarkastusta suorittava henkilö voi hakea kappaleen 2D-piirustuksen yrityksen PDM-järjestelmästä, hän käyttää yksilöllistä numerotunnistetta, joka kulkee kappaleen mukana. Piirustuksen löydyttyä tarkastusta suorittava henkilö vertaa kappaletta ja piirustuksessa olevia PMI-tietoja keskenään. Mikäli tarkastus suoritetaan tietokoneellisesti ohjatulla tarkastuslaitteella, eli koordinaattimittauskoneella (kts. luku 2.5), syöttää tarkastusta suorittava henkilö kappaleen PMI-tiedot koordinaattimittauskoneeseen manuaalisesti. Toimenpiteeseen kuluvan ajan käyttö vaihtelee kappaleen monimutkaisuuden mukaan.

Tarkastuksen valmistuttua kappale ohjautuu tarkastuksesta kokoonpanoon. Kokoonpanija etsii tarvitsemansa kappaleen sekä yksilöllisen numerotunnisteen että kappaleen ulkomuodon perusteella. Kappaleen ulkomuodon tunnistamiseen kokoonpanija käyttää joko 3D-mallia tai 2D-piirustusta. Kokoonpanovaiheessa kokoonpanija käyttää apunaan 3D-mallia tai 2D-piirustusta lopputuotteen hahmottamiseksi.

### **3.2.2 MBD-menetelmä**

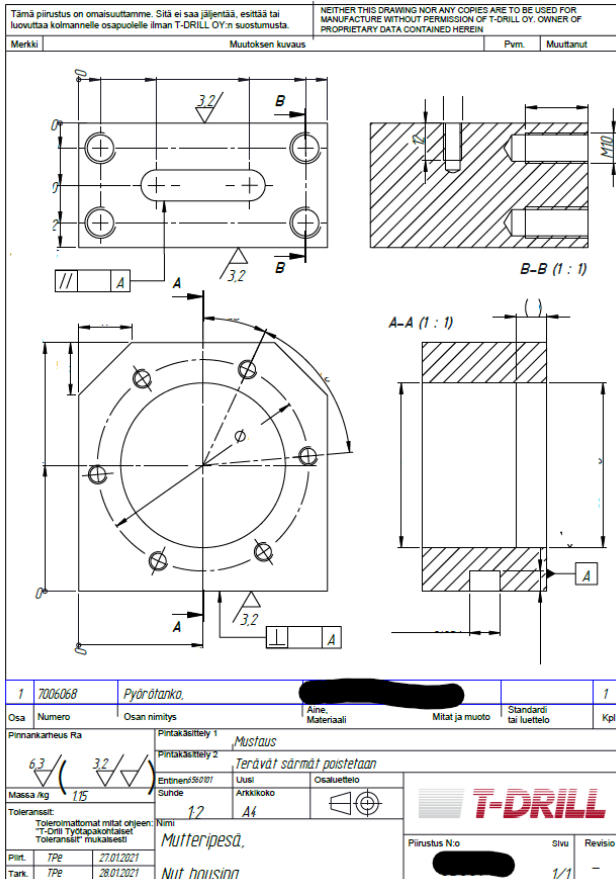
Luvussa 3.1 MBD-menetelmällä mallinnetun kappaleen hankintaa sekä valmistusta ohjaavissa prosesseissa ei havaittu olevan eroja perinteiseen menetelmään verrattuna. Valmistuksessa erot sen sijaan näkyvät selvimmin. Kun kappaleesta ei ole saatavilla 2D-piirustusta, joutuu kappaleen valmistava henkilö turvautumaan tietokoneeseen ja step242-

tiedoston tai 3D PDF -tiedostoihin koko valmistusprosessin ajan. Tämä on ongelmallista, sillä jokaisella työpisteellä ei ole käytössä omaa työpistekohtaista tietokonetta. Valmistuksessa työpisteitä on useita kymmeniä. Lisäksi MBD-menetelmä ei tuo helpotusta tilanteeseen, jossa kappaleen valmistuksessa käytetään apuna tietokoneohjattua työstölaitetta, sillä kappaleen valmistava henkilö syöttää kappaleen PMI-tiedot tietokoneohjatulle työstölaitteelle edelleen manuaalisesti, mikäli CAM-tietomallia ei käytetä.

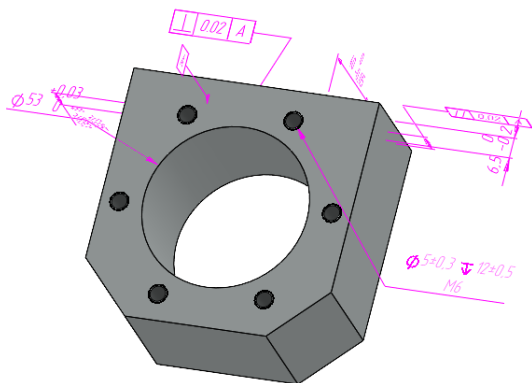
Tämä valmistuksen, tietokoneiden puutetta koskeva, ongelma voidaan ratkaista luvussa 3.1.2 esitellyllä tavalla. MBD-mallista luodaan 3D PDF -dokumentti, jossa dokumentin samalle sivulle on ilmaistu kaikki mallissa olevat kuvannot, mitta- sekä toleranssitiedot 2D-piirustuksen tapaan.

Tarkastuksessa havaittiin olevan eroja perinteiseen menetelmään nähden. Yrityksen tarkastamossa jokaisella työpisteellä on tietokoneet, joista voi tarkastella step242-tiedoston tai 3D PDF -tiedostoja. Tarkastuksessa MBD-menetelmän koettiin olevan tervetullut tapa etenkin luvussa 3.1.2 esitellyn MBD-mallin interaktiivisuuden osalta, sillä se vähentää tulkintavirheiden mahdollisuutta merkittävästi. Tulkintavirheet mahdollistavat muun muassa virheellisten osien pääsyn kokoonpanoon ja mahdollisesti asiakkaalle. Merkittävin vaikutus tarkastuksessa on koordinaattimittauskoneen käytössä, sillä koordinaattimittauskoneen käyttämä sisäinen ohjelmisto, Micat Planner, osaa hyödyntää PMI-tiedot sisältävää step242-tiedostoa.

Tätä toimintoa testattiin luomalla olemassa olevasta fyysisestä kappaleesta MBD-malli, joka vietiin uudelleen yrityksen PDM-järjestelmään. Kuviossa 24 on esitetty olemassa olevan kappaleen 2D-piirustus PMI-tietoineen, joista MBD-malli luotiin. 2D-piirustuksessa olevat PMI-tiedot on tässä työssä piilotettu kopioinnin estämiseksi. Osittaisilla PMI-tiedoilla täydennetty MBD-malli on esitetty kuviossa 25. PMI-tiedot täydennettiin vain osittain kopioinnin estämiseksi.



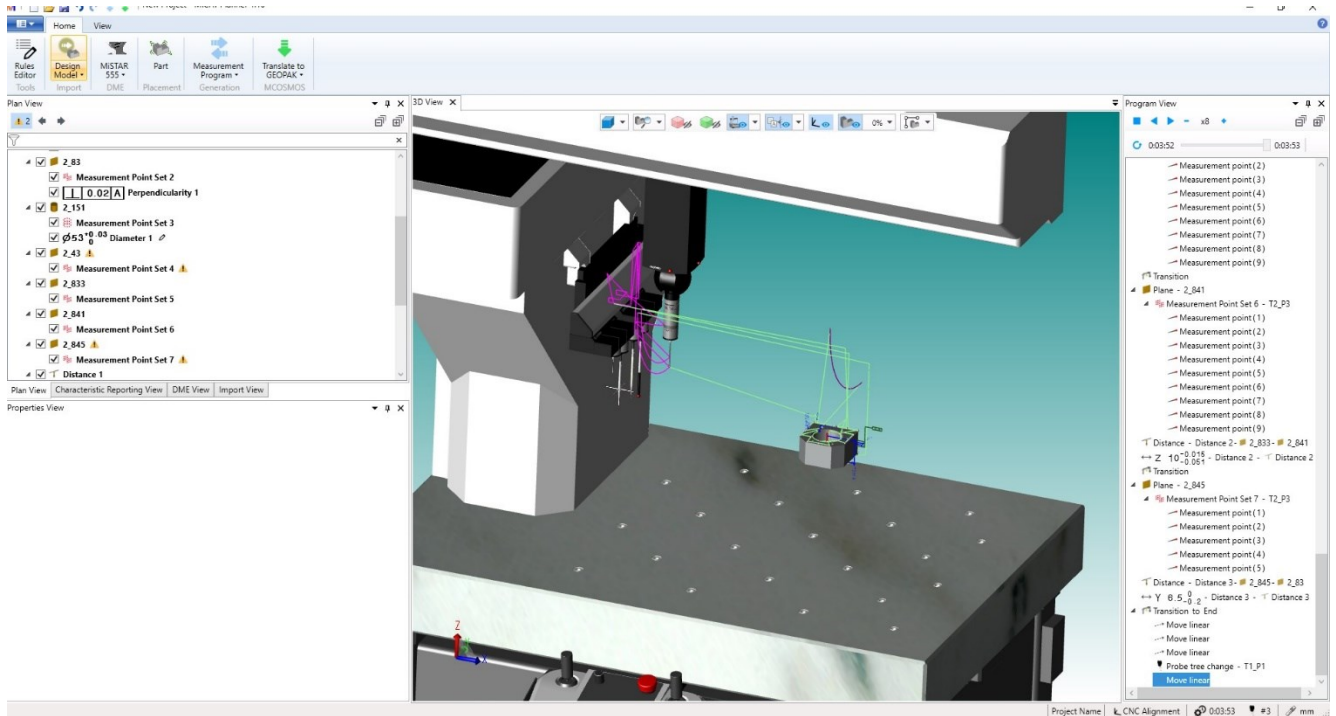
Kuvio 24. 2D-piirustus testikappaleesta.



Kuvio 25. MBD-näkymä mutteripesästä.

Koordinaattimittauskoneen käyttämässä ohjelmistossa, Micat Plannerissa, ohjelmistolle kerrottiin käyttämämme 3D-koordinaattimittauskone, jotta ohjelmisto tietää käytettävän mittauslaitteiston minimi- ja maksimi liikealueet sekä myös varoalueet, joille mittauspään ei tule mennä. Ohjelmistossa mallin voi asettaa minne tahansa, kunhan se on mittausalueen

sisäpuolella. Ohjelmistossa malli asetettiin mielivaltaisiin X- ja Y koordinaatteihin, mutta Z koordinaatistoon nähden noin sadan millimetrin korkeuteen. Tämä kuvastaa joidenkin mittauksien apuna käytettävien apulaitteiden korkeutta. Tämä on esitetty kuviossa 26.



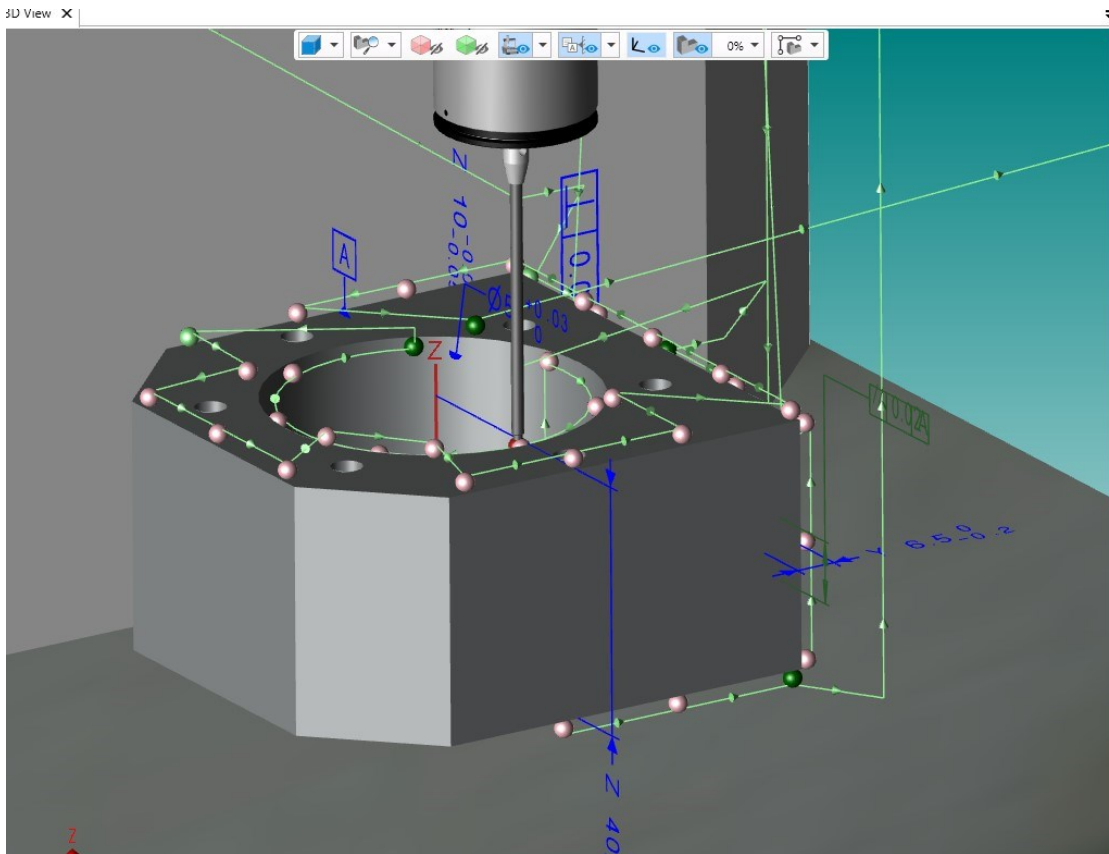
Kuvio 26. Työradan luontia Mitutoyo Micat Plannerissa.

Micat Planner tunnisti automaattisesti kaikki suunnittelijan asettamat PMI-tiedot, kuten mitat ja torelanssit. Näiden pohjalta ohjelmisto ehdotti mittausjärjestyksen ja mittaukseen käytettävät mittauspää, optimoi liikeradat ja nopeudet, sekä laski kappaleen mittaukseen kuluva kokonaisajan, joka oli esimerkkikappaleen kohdalla 3 minuuttia ja 53 sekuntia.

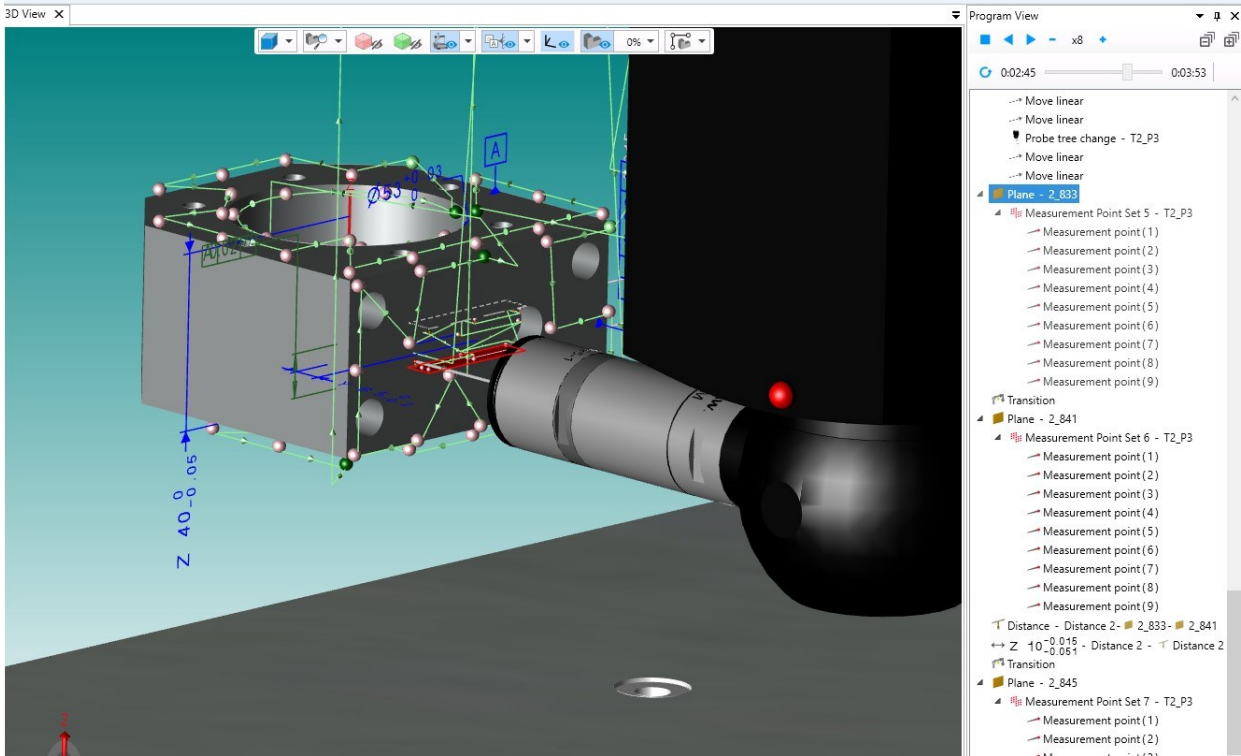
Kyseisen toimenpiteen suorittamiseen ohjelmistolta kului aikaa muutamia kymmeniä sekunteja, kun taas yrityksen osatarkastajia haastateltaessa heidän arvionsa mittausohjelman tekoon kuluva ajasta nyt käytössä olevalla menetelmällä oli 20–30 minuuttia. Tarkastajien esittämä aika-arvio ei sisällä ohjelman suorittamiseen eli kappaleen mittaukseen kuluva aikaa, joka todennäköisesti sekin poikkeaa Micat Plannerin arvioimasta suoritusajasta, sillä ohjelmisto konfiguroitiin suorittamaan tarkastus mahdollisimman nopeasti. Mittausaikaan voidaan vaikuttaa muun muassa koordinaatistossa liikkuvan mittauspään liikkeenopeuksia kasvattamalla.

Ohjelmistolla voi myös simuloida kappaleen mittauksen, joka auttaa havainnoimaan, piilekö mittauksessa ongelmia esimerkiksi tilankäytön kanssa mitattavan kappaleen ja

mittaukseen käytettävien apulaitteiden välillä. Kuvioissa 27 ja 28 simuloidaan mittausradan liikeratoja. Joissakin tapauksissa kappaleen simulointi voi olla tarpeen, sillä mittauspäät ovat erittäin herkkiä vaurioille. Vaurioita voi syntyä muun muassa kolareista eli tilanteista, joissa mittauspäällä on törmätty mitattavaan kappaleeseen.



Kuvio 27. Työradan simulointia Mitutoyo Micat Plannerissa.



Kuvio 28. Työradan simulointia Mitutoyo Micat Plannerissa.

Kokoonpanossa perinteisellä menetelmällä ja MBD-menetelmällä ei havaittu olevan merkittäviä eroja. 2D-piirustuksen puuttuessa kokoonpanija hyödyntää kappaleen tunnistamisessa 3D-mallia sekä yksilöllistä numerotunnistetta, joka kulkee kappaleen mukana. Kokoonpantaessa osaa, kokoonpanija katsoo tarvitsevansa tiedot 3D-mallista, johon turvaudutaan myös perinteisellä menetelmällä.

### 3.3 Vertailun yhteenveto

Perinteisen menetelmän ja MBD-menetelmän välillä havaittiin olevan useita eroja. Suunnittelussa eroja havaittiin olevan PMI-tietojen luomisprosessissa, sillä 2D-piirustuksen jäädessä kokonaan pois mallinnusprosessi nopeutuu. Tätä havaintoa tukee luvussa 2.3 esitelty Konstantinosin ym. (2021) tekemä tutkimus MBD-menetelmän vaikutuksesta suunnitteludokumenttien laatimiseen.

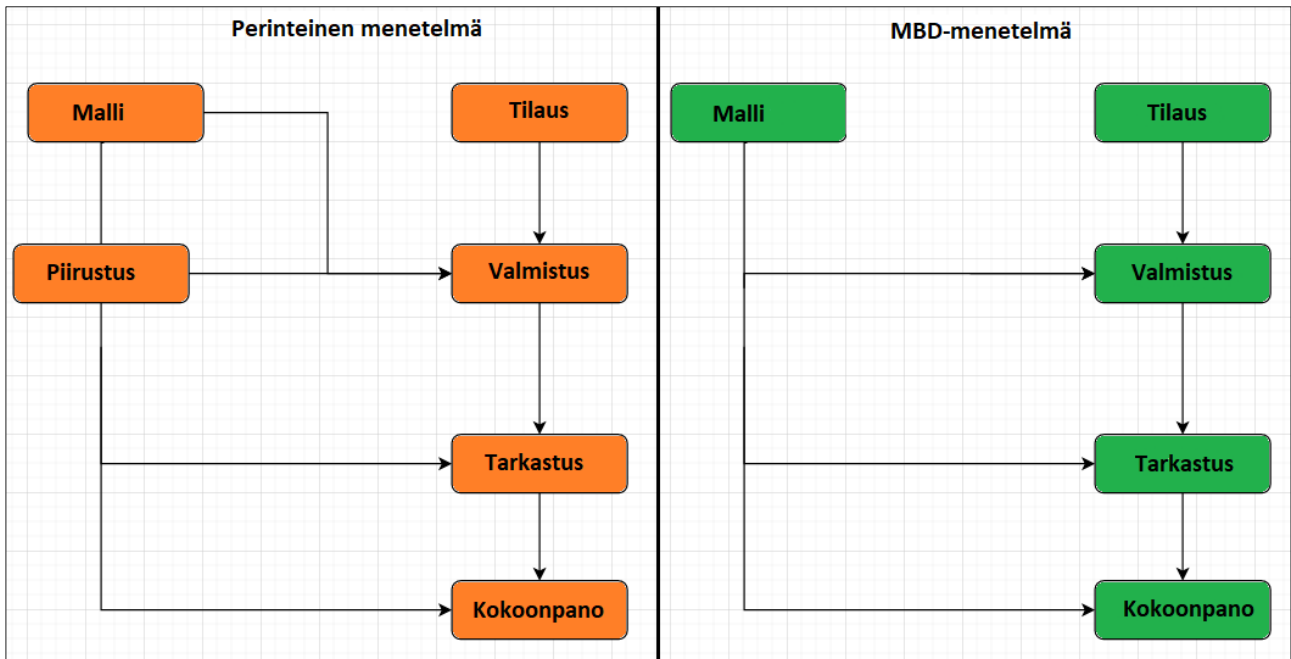
Tämän opinnäytetyön kohteena olleen yrityksen kappalevalmistuksessa MBD-menetelmän ei koettu nopeuttavan vaan hidastavan valmistusta, sillä valmistuksen tuotantotiloissa ei ole työpistekohtaisia tietokoneita, joista MBD-menetelmällä luotuja malleja voisi tarkastella. Valmistuksen tiloissa on tietokoneita sijoitettuna keskitetysti, jolloin tietokoneita ei riitä

kaikille, jotka haluavat tulkita MBD 3D -mallia. Mahdollinen ratkaisukeino ongelmaan on työpistekohtaisten tietokoneiden hankinta. Mikäli tämä ei ole mahdollista, suunnittelija voi luoda MBD-mallista dokumentin, joka ominaisuuksiltaan vastaa 2D-piirustusta. Tämä dokumentti on helposti muunnettavissa paperiseen muotoon.

Tarkastuksessa MBD-menetelmän koettiin nopeuttavan tarkastusta niiden kappaleiden osalta, jotka tarkastetaan koordinaattimittauskonetta käyttäen. Muiden kappaleiden tarkastukseen menetelmällä ei havaittu olevan vaikutusta, sillä tarkastamossa on käytössä työpistekohtaiset tietokoneet, joista MBD 3D -mallia voidaan tulkita. Muissa yrityksen prosesseissa, kuten hankinnassa ja kokoonpanossa, ei havaittu olevan eroja, tai ne eivät olleet merkittäviä menetelmien välillä. Taulukossa 1 on esitetty yhteenveto eroista vertailtujen menetelmien prosesseissa. Lisäksi menetelmällä tehtyjen kappaleiden tiedonkulkua verrattiin yrityksen sisällä. Vertailu tiedonkulusta on esitetty kuviossa 29.

Taulukko 1. Menetelmien eroavaisuuksia eri prosesseissa.

	Perinteinen menetelmä	MBD-menetelmä
Suunnittelu	- 2D-piirustukset - PMI-tiedot 2D-piirustukseen	- Ei 2D-piirustuksia - PMI-tiedot 3D-malliin
Hankinta	- Ei havaittu olevan eroja	- Ei havaittu olevan eroja
Valmistus	- Kappaleen PMI-tiedot luetaan 2D-piirustuksesta - Ei vaadi työpistekohtaista tietokoneita 2D-piirustusten tulkittamiseen	- Kappaleen PMI-tiedot luetaan MBD 3D -mallista tai 3D PDF:stä - Työpistekohtainen tietokone suositeltava, jotta MBD 3D-mallia voidaan tulkita - Ellei tietokoneita käytetä, saatavilla on dokumenttimuoto, jossa kuvannot samalla sivulla 2D-piirustuksen tapaan
Tarkastus	- Kappaleen PMI-tiedot luetaan 2D-piirustuksesta	- Kappaleen PMI-tiedot luetaan MBD 3D -mallista tai 3D PDF:stä - PMI-tietojen luku MBD-mallista vähentää tulkintavirheitä mallin interaktiivisuuden vuoksi
Kokoonpano	- Kokoonpanotiedot katsotaan 2D-piirustuksesta tai 3D-mallista	- Kokoonpanotiedot katsotaan 3D-mallista



Kuvio 29. Tiedon kulku järjestelmällä eri menetelmillä.

## 4 TULOKSET

### 4.1 Suunnittelu

Kun MBD-mallia hyödynnettiin suunnittelussa, sen havaittiin laskevan suunnitteluun kuluva-aikaa noin 66 %. Suunnitteluun syntyvä vaikutus käy ilmi Konstantinosin ym. (2021) tekemän tutkimuksen pohjalta, jonka lopputulos on esitetty kuviossa 9.

### 4.2 Tarkastus

MBD-mallin hyödyntäminen osatarkastuksessa havaittiin laskevan tarkastukseen kuluva-aikaa merkittävästi. Ajallinen säästö voi olla jopa 80 %, mikäli tarkastettava kappale tarkastetaan käyttäen koordinaattimittauskoneita. Tarkastuksen osalta suurin ajansäästö syntyy, kun PMI-tietoja koordinaattimittauskoneen mittausohjelmaan ei tarvitse syöttää käsin, vaan ne löytyvät jo itse 3D-mallista, sillä Micat Planner osaa tulkita kappaleeseen aseteltuja PMI-tietoja.

### 4.3 Hankinta, valmistus ja kokoonpano

Valmistuksessa MBD-menetelmän havaittiin vaikuttavan valmistukseen peräti negatiivisesti. Tämän arveltiin johtuvan siitä, että yrityksen osavalmistuksessa ei ole yleisesti käytössä sellaista valmistustapaa, joka tukisi MBD-menetelmän käyttöä. Vaikka kappale valmistettaisiin tietokoneohjatulla työstölaitteella, syötetään kappaleen PMI-tiedot työstölaitteeseen käsin 2D-piirustusta tulkiten. Kun kyseessä on MBD-menetelmällä mallinnettu kappale, 2D-piirustusta ei ole, vaan PMI-tiedot löytyvät kappaleen 3D-mallista tai 3D PDF:stä. Kummankin tarkastelu vaatii tietokonetta, jota ei ole käytössä kaikissa valmistuksen työpisteissä vaan keskitetysti ympäri tuotantotilaa. MBD-menetelmän käyttöönotto ei siis kokonaan poista paperipiirustuksen laatimista. Ratkaisuna tähän voidaan pitää työpistekohtaisten tietokoneiden hankintaa.

Kappaleen hankinnassa sekä kokoonpanossa MBD-menetelmän ei havaittu juuri vaikuttavan. Hankinnassa PMI-tiedot eivät tule ilmi, sillä yrityksen hankinnasta vastaavat henkilöt käsittelevät hankittavia kappaleita yksilöllisten numerotunnisteiden avulla.

Kokoonpanon näkökulmasta katsottuna kappaleen PMI-tiedot eivät ole oleellisia, eivätkä kappalekohtaiset PMI-tiedot tule ilmi 3D-mallien kokoonpanotasolla.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tässä tutkimuksessa tehtyjen havaintojen pohjalta MBD:n hyödyt ovat merkittäviä, kun tarkastellaan ajallista säästöä eräissä yrityksen käyttämissä prosesseissa. MBD-menetelmää ei täysin voida hyödyntää yrityksen kappalevalmistuksessa. Valmistuksessa menetelmällä havaittiin olevan jopa negatiivia vaikutuksia, sillä tietokoneita ei ole jokaisella työskentelypisteellä, joilta MBD 3D -mallia voisi tulkita. Mikäli jokaisella työpisteellä olisi tietokoneet, MBD-menetelmän vaikutus valmistukseen ei välttämättä olisi negatiivinen, vaan korkeintaan neutraali. Työpistekohtaiset tietokoneet eivät kuitenkaan ole ehdoton vaatimus järjestelmän käyttöönotolle, sillä suunnittelijan on mahdollista luoda 3D MBD -mallista 3D PDF -dokumentti, jossa mallin kaikki kuvannot mita- ja toleranssitietoineen ovat ilmaistuna samalla sivulla 2D-piirustuksen tapaan. Tämä dokumentti on helposti muunnettavissa paperiseen muotoon, jolloin erot valmistuksessa perinteisen menetelmän ja MBD-menetelmän välillä ovat hämmästyvän pienet.

Suunnittelussa ajallinen säästö tarkoittaa rahallista säästöä sekä tuottavuuden kasvua, sillä kun saman toimenpiteen suorittamiseen kuluu vähemmän aikaa kuin ennen, on työntekijän mahdollista siirtyä seuraavaan työtehtävään. Työn tilaajan kannalta mahdolliset säästöt voivat olla erittäin merkittäviä, vaikkakin Konstantinosin ym. (2021) tekemän tutkimuksen pohjalta saadut tulokset peräänkuuluttavat tulosten tapauskohtaisuutta.

Tässä tutkimuksessa selvittämättä jäi, miten alihankkijat reagoivat MBD-menetelmään, sillä alihankkijoiden digitaaliset valmiudet sekä osaaminen jäivät tuntemattomiksi. Lisäksi selvittämättä jäi, mitä 2D-piirustuksia voidaan jättää piirtämättä ja mitä ei. On epäselvää, voidaanko piirtämättä jättää esimerkiksi levyosien levityskuvannot, joiden perusteella kappale leikataan irti levyaihiosta.

Menetelmä ei myöskään tuo selvää etua osatarkastuksessa, sillä yksinkertaiset kappaleet ovat mitattavissa käsikäyttöisten mittavälineiden avulla. Yksinkertaisten kappaleiden mitaaminen käsin voi joissakin tapauksissa olla nopeampi menettelytapa verrattuna koordinaattimittauskoneen käyttöön. Selvän edun MBD-menetelmä tuo tarkastukseen, kunhan tietyt reunaehdot täyttyvät. Tarkastettava kappale voi esimerkiksi olla liian monimutkainen käsin mitattavaksi, jolloin se tarkastetaan koordinaattimittauskoneen avulla. Tarkastettava kappale voi myös olla uusi, jolloin sitä ei ole aikaisemmin koordinaattimittauskoneella mitattu, ja näin ollen kappaleesta ei ole olemassa mittausohjelmaa. Jos kappaleilla on jo

olemassa mittausohjelma, MBD-menetelmä ei juurikaan tuo etua tarkastukseen vaan vaikutus on korkeintaan neutraali.

Jatkotutkimuskohteina voidaan pitää levyosien levityskuvantojen tekemistä MBD-menetelmällä ja alihankkijoiden valmiuden selvittämistä menetelmää kohtaan. Solidworks-ohjelma sisältää toiminnon, joka tallentaa mallinnetusta 3D-kappaleesta levityskuvan käyttäjän valitsemaan tallennusformaattiin. Tätä toimintoa ei tutkittu tässä opinnäytetyössä. Alihankkijoiden kykyä ja kiinnostusta hyödyntää MBD-menetelmää osien valmistuksessa tulisi selvittää. Mikäli menetelmää kohtaan osoitetaan kiinnostusta, voitaisiin yhteistyössä valitun alihankkijan kanssa valmistaa jokin tämän opinnäytetyön tilaajan tuotteissa käytetty osa tai osakokonaisuus.

Tämän sekä joidenkin aikaisempien tutkimusten perusteella on suositeltavaa, että yritykset, jotka tällä hetkellä hyödyntävät 3D CAD -keskeistä eli perinteistä mallinnusmenetelmää, selvittäisivät valmiuksiaan MBD-menetelmää kohtaan. MBD-menetelmä on uraauurtava keino kohti piirustuksetonta suunnittelua sekä tuotantoa, kun otetaan huomioon viime vuosikymmeninä tapahtunut digitaalinen kehitys.

## LÄHTEET

- Adamski, W. (2010). Adjustment and implementation of CAD/CAM systems being used in polish aviation industry. *Journal of Machine Engineering*, Vol. 10 (No. 3), 39–40.
- Anaa, L. (31.10.2021). *How to Read and Use Micrometer? Practical Guide*. <https://www.linquip.com/blog/how-to-read-and-use-a-micrometer/>
- Britannica. (25.07.2022). *Concorde*. <https://www.britannica.com/technology/Concorde>
- Cohn, D. (01.07.2010). *Evolution of Computer-Aided Design*. <https://www.digitalleng.news/de/evolution-of-computer-aided-design/>
- Creaform. (25.10.2016). The History of Metrology from Galileo to Optical Systems. <https://www.creaform3d.com/blog/the-history-of-metrology-from-galileo-to-optical-systems/>
- Creaform. (03.03.2021). *What Is A CMM? Everything You Need to Know about Coordinate Measuring Machines and Their Types*. <https://www.creaform3d.com/blog/what-is-cmm-and-their-types/>
- Dassault Systemes. (i.a.). *eDrawings*. <https://www.edrawingsviewer.com/product/edrawings-viewer>
- Feeler Gauge. (i.a.). *All About Feeler Gauges – Definition, Sizes, and Uses*. <https://www.thomasnet.com/articles/instruments-controls/all-about-feeler-gauges-definition-sizes-and-uses/>
- Hartman, W. N., Herberg, T., Feeney, B. A., Ruemler, P. S., & Zimmerman, E. K. (2016). Promoting Model-Based Definition to Establish a Complete Product Definition. *Manufacturing Science and Engineering Conference*, 4–6.
- International Vocabulary of Metrology. (2007). *Basic and General Concepts and Associated Terms*, 64 [https://www.oiml.org/en/files/pdf\\_v/v002-200-e07.pdf](https://www.oiml.org/en/files/pdf_v/v002-200-e07.pdf)
- Kalibroinnin tärkeys. (2017). *Why calibration of instruments is important*. <https://www.theengineer.co.uk/content/product/why-calibration-of-instruments-is-important/>
- Kenton, W. (16.09.2022) *Manufacturing; Definition, Types, Examples, and Use as Indicator*. <https://www.investopedia.com/terms/m/manufacturing.asp>

- Konstantinos, R., Nikolaos, K., Emmanouil, V., & Vasileios V. (2021). Implementation of model-based definition and product data management for the optimization of industrial collaboration and productivity. *31<sup>st</sup> CIRP Design Conference*, 355–360.
- Mitutoyo. (i.a.). *Absolute Digimatic Micrometers*. <https://www.mitutoyo.com/products/small-tool-instruments-and-data-management/micrometers/digimatic-micrometers/absolute-digimatic-micrometers/>
- Mitutoyo. (2018). *What is a Calibration?* <https://www.mitutoyo.com/webfoo/wp-content/uploads/15006A.pdf>
- Mitutoyo. (2021). *Legex Series*. [https://pim.mitutoyo.com/webfoo/wp-content/uploads/0415-01\\_LEGEX.pdf](https://pim.mitutoyo.com/webfoo/wp-content/uploads/0415-01_LEGEX.pdf)
- Oboe, W. (10.02.2015). eDrawings [valokuva] <https://blogs.solidworks.com/solidworks-blog/2015/02/solidworks-model-based-definition-mbd-2015-arrived.html>
- Oboe, W. (13.09.2016). *A Solid “STEP” Towards MBE: STEP 242*. <https://www.engineers-rule.com/solid-step-towards-mbe-step-242/>
- Pronom. (11.2.2015). *Details for: Standard for the Exchange of Product model data*. <https://www.nationalarchives.gov.uk/PRONOM/fmt/698>
- Rapinoja, J., (02.12.2016) *Malliperustaisen tuotemäärittelyn mahdollisuudet*. METSTA
- SKF. (i.a) [valokuva] <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process/bearing-interfaces/seat-tolerances-for-standard-conditions>
- Solidworks. (i.a). *Solutions*. <https://www.solidworks.com/solutions>
- STEP-file. (03.01.2017). *ISO 10303-21*, <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000448.shtml>
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2015). *Laadunhallinnan periaatteet*. (ISO 9001:2015)
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2018). *Organisaation laatu*. (ISO 9004)
- Syam, W. (13.06.2022) [valokuva] <https://www.wasyresearch.com/coordinate-measuring-machine-cmm-an-introduction-types-considerations-and-applications/>
- T-Drill. (i.a.). *Historia*. <https://t-drill.com/fi/yritysinfo/>

T-Drill. (i.a.). *Kaulustus*. <https://t-drill.com/fi/teknologiat/kaulustus/>

T-Drill. (i.a.). *Lastuton katkaisu- ja muotoilu*. <https://t-drill.com/fi/teknologiat/lastuton-katkaisu-muotoilu/>

T-Drill. (i.a.). *Putken pään muotoilu*. <https://t-drill.com/fi/teknologiat/putken-paan-muotoilu/>

T-Drill. (i.a.). *Yritysinfo*. <https://t-drill.com/fi/yritysinfo/>

Uğur, U. (29.01.2022). *List of Material Removal Processes In Manufacturing*. <https://mechanicalland.com/list-of-material-removal-processes-in-manufacturing/>

Vernier Caliper. (i.a.). *What is Vernier Caliper & What is it Used for?* <https://vernierscaliper.com/what-is-vernier-caliper-what-is-it-used-for-749.html>

VTT MIKES. (i.a.). *Kalibrointi- ja mittauspalvelut*. <https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/kalibrointi-ja-mittauspalvelut>

VTT. (03.04.2020a). *SI-mittayksiköt Suomessa, aika ja taajuus*. <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/si-mittayksikot-suomessa-aika-ja-taajuus>

VTT. (03.04.2020b). *SI-mittayksiköt Suomessa, pituus*. <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/si-mittayksikot-suomessa-pituus>