



3D-ympäristön hyödyntäminen teollisuudessa

MBD-mallien mahdollisuudet

Insinööri (AMK), opinnäytetyö

Konetekniikka

Kevät 2024

Roope Reipas

Insinööri (AMK)

Tekijä Roope Reipas

Työn nimi 3D-ympäristön hyödyntäminen teollisuudessa

Ohjaaja Niko Laukkanen

Tiivistelmä

Vuosi 2024

Tässä tutkimuspohjaisessa opinnäytetyössä selvitettiin mahdollisuuksia 3D-ympäristön parempaan hyödyntämiseen. Tälle työlle tilaajana toimii Karkkilassa sijaitseva teollisuusvaihdetehdas SEW Industrial Gears Oy. SEW:llä on jo pidemmän aikaa puhuttu, kuinka suunnittelu on hidastunut 3D-ympäristöön siirtymisen myötä. Tavoitteeksi asetettiin ajansäästön mahdollisuus suunnittelu ja/tai valmistusprosesseissa. Tähän opinnäytetyöhön johtaneeksi ongelmaksi on nimetty 3D-mallien vähäinen hyödyntäminen ja niiden viemä kallis valmistusaika suunnittelussa.

Opinnäytetyö on rajattu neljään eri osa-alueeseen: tausta ja tavoitteet; tietoperusta; tutkimus ja yhteenveto. Tausta ja tavoitteet osiossa käydään läpi työhön johtaneet asiat, työn tavoitteet ja työlle asetetut tutkimuskysymykset. Tietoperustassa käydään läpi mahdollisuuksia 3D-ympäristön parempaan hyödyntämisen, eri osastojen näkökulmista. Alkuselvityksen jälkeen päätettiin yhdessä yrityksen edustajan kanssa keskittää työ MBD-mallien hyödyntämisen mahdollisuuksien selvittämiseen.

Tutkimusosiossa käydään läpi työn tutkimuksen toteutus. Työn aikana SEW:llä järjestettiin laadullinen teemahaastattelu tyyppinen tutkimus. Teemoiksi valittiin 3D-ympäristön hyödyntämisen nykytila ja MBD-mallien hyödyntämisen mahdollisuudet.

Yhteenvedossa käydään läpi haastatteluista saatua tietoa ja verrataan sitä tietoperustaan. Haastattelujen pohjalta voidaan todeta, että 3D-malleja hyödynnetään jokaisella osastolla paljon enemmän kuin on kuviteltu. 3D-mallit ovat tärkeä apuväline nykypäivän teknisessä myynnissä, tuotekehityksessä, valmistuksessa sekä kokoonpanossa. Alihankinnassa ja loppupään asiakkaalla on myös selkeä tarve 3D-malleille. Työn alussa todettu suunnittelun hidastuminen vaikuttaisi johtuvan tuotteiden monimutkaistumisesta ja yrityksen globaaliuden lisääntymisestä. Työn pohjalta todettiin, että MBD-mallien tuottamista suunnittelussa olisi erittäin suositeltavaa kokeilla. Samalla mallilla voitaisi tehdä kokeilua myös tuotannon läpi.

Avainsanat MBD, PMI, 3D-mallit, tutkimus

Sivut 32 sivua ja liitteitä 4 sivua

Bachelor of Mechanical Engineering
Author Roope Reipas
Subject 3D Environment Utilization in Industry
Supervisors Niko Laukkanen

Abstract
Year 2024

This research-based thesis explored opportunities for better use of the 3D environment. This work is commissioned by Sew Industrial Gears Oy, an industrial gear factory in Karkkila. For a long time, SEW employees have been talking about how the design process has slowed down with the transition to the 3D environment. The goal was to explore time saving possibilities in design and/or manufacturing processes. The problem that led to this thesis has been the low utilization of 3D models and the expensive manufacturing time in the planning of 3D models.

This thesis is divided to four different areas: background and goal; knowledge base; research and summary. Background and goals section covers the issues that led to the work, the goals of the work and the research questions which are set for the work. Thesis knowledge base covers opportunities for better utilization of the 3D environment, from the perspective of different departments. After the initial study, it was decided, together with a company stakeholder, to concentrate the work to explore the possibilities of utilization of MBD models.

The research section goes through the implementation of research results. During the work, a qualitative theme interview type study was organized at SEW. The themes were the current state of using the 3D environment and the possibilities of utilizing MBD models.

The summary covers the information obtained from the interviews and compares it to knowledge base. Based on the interviews, 3D models are used much more than imagined in each department. 3D models are an important tool in today's technical sales, product development, manufacturing and assembly, and subcontracting and end-to-end customers have a clear need for 3D models. The deceleration of planning at the beginning of the work seems to be due to the complexity of the products and the increased globality of the company. Based on the work, it was found that it would be highly recommended to try MBD models in design. The same model could also be used for experiment through production.

Keywords MBD, PMI, 3D models, research
Pages 32 pages and appendices 4 pages

Sisällys

Tutkimuksen lähtötilanne	6
1.1 Tausta ja tavoitteet.....	6
1.2 SEW Industrial Gears Oy	7
2 Tutkimuksen tietoperusta	7
2.1 MBD eli mallipohjainen tuotemäärittely	7
2.1.1 MBD suunnittelussa.....	9
2.1.2 MBD koneistuksessa	10
2.1.3 MBD alihankinnassa	13
2.1.4 MBD mittauksessa.....	13
2.1.5 MBD kokoonpanossa	15
3 3D-ympäristön hyödyntämisen tutkimuksen aineisto ja menetelmät.....	16
3.1 Tausta ja menetelmät	16
3.2 Haastattelun toteutus	17
3.3 Teema 1: 3D-ympäristön hyödyntämisen nykytila	18
3.3.1 Myynti.....	18
3.3.2 Suunnittelu	19
3.3.3 Hankinta	19
3.3.4 Koteloverstas.....	20
3.3.5 Välitysosaverstas.....	21
3.3.6 Mittaus.....	22
3.3.7 Kokoonpano	23
3.4 Teema 2: malliperustaisen tuotemäärittelyn mahdollisuudet	24
3.4.1 Myynti.....	24
3.4.2 Suunnittelu	25
3.4.3 Osto.....	26
3.4.4 Koteloverstas.....	26
3.4.5 Välitysosaverstas.....	27
3.4.6 Mittaus.....	27
3.4.7 Kokoonpano	28
4 Yhteenveto.....	29
4.1 Myynti	29
4.2 Suunnittelu.....	30

4.3	Hankinta	30
4.4	Koteloverstas	31
4.5	Välitysosaverstas	31
4.6	Mittaus	31
4.7	Kokoonpano.....	32
4.8	Kehitysehdotukset.....	32
	Lähteet	34

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Mallipohjainen Tuotemäärittely.....	8
Kuva 2. Osa 1 (a) ja osa 2 (b).	12
Kuva 3. Osa 1 (a) ja osa 2 (b).	13
Kuva 4. #measuringhero Episode 110: CAD & PMI in ZEISS CALYPSO-video (kuvakaappaus).	15
Kuva 5. Enabling your Application with 3D PDF-webinaari (kuvakaappaus)	16

Liitteet

Liite 1.	Kysymyslista
----------	--------------

Käsitteet ja lyhenteet

3D-ympäristö – Tarkoitetaan tässä työssä eri ohjelmien ympäristöjä, joissa 3D-malleja voidaan hyödyntää.

Annotaatio – Tarkoittaa näkyviä merkintöjä, joita 3D-mallissa on (mitat, toleranssit, materiaalit, pinnankarheudet jne.).

CAD – Tulee englannin kielen sanoista Computer Aided Design ja tarkoitetaan tietokoneohjelmaa, jolla suunnittelutyötä toteutetaan visuaalisesti.

CAI – Tulee englannin kielen sanoista Computer Aided Inspection, joka on tietokoneavusteista laadunvalvontaa. CAI ohjelmia käytetään usein koordinaattimittalaitteiden ohjelmoinnissa.

CAM – Tulee englannin kielen sanoista Computer Aided Manufacturing ja tarkoittaa tietokoneavusteista valmistusta. CAM-ohjelmia käytetään usein esimerkiksi CNC-työstökoneiden (tietokoneohjattu) ohjelmien teossa.

CMM – Tulee englannin kielen sanoista Coordinate Measuring Machine, joka tarkoittaa koordinaattimittakonetta, joka on yleensä tietokoneohjattu laadunvalvonnan mittauskone.

Pikaviesti – Yrityksen sisäisessä ohjelmistossa oleva viestintä kokoonpanon ja suunnittelun välille kiireellisissä tapauksissa.

PMI - Tuotteen valmistukseen tarvittava tieto eng. Product Manufacturing Information.

STEP – Tulee englannin kielen sanoista Standard for the Exchange of Product model data ja on standardisoitu tiedostomuoto 3D-mallien siirtelyyn eri ohjelmien välillä.

Tutkimuksen lähtötilanne

Työn aikana tutkitaan, minkälaisia mahdollisuuksia 3D-ympäristön parempaan hyödyntämiseen on olemassa. Lisäksi pohditaan minkälaisia hyötyjä, olisi mahdollista saavuttaa paremmalla 3D-ympäristön hyödyntämisellä, tilaajana toimivassa yrityksessä. Työssä luodaan laadullinen haastattelututkimus ja tutkimus tullaan toteuttamaan, haastatteleamalla yrityksen jokaiselta osastolta vähintään yhtä henkilöä. Haastattelulla on tarkoitus selvittää yrityksen tämänhetkinen tilanne 3D-ympäristön hyödyntämisen suhteen. Lisäksi haastattelussa on tavoitteena selvittää prosessit, joita on mahdollista kehittää esimerkiksi ajankäytön tai laadun näkökulmasta. Suoritettavan haastattelun pohjalta saatua dataa analysoidaan ja verrataan tutkimuksen aikana selvitettyyn esitietoon, jonka perusteella voidaan tuottaa kehitysehdotuksia yrityksen toimintatapoihin ja mahdollisesti vaikuttaa tuotteiden laatuun tai tuotteiden läpimenoaikoihin.

1.1 Tausta ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää 3D-ympäristön hyödyntämisen mahdollisuuksia SEW Industrial Gears Oy:lle. 3D-ympäristön yleistymisen myötä, myös SEW:llä on siirrytty, suunnittelemaan tuotteet 3D-ympäristössä, SOLIDWORKS 3D CAD-ohjelmistolla. Eri osista ja kokoonpanoista tehdään tällä hetkellä 2D-piirustukset, joilla tuotteet tilataan, valmistetaan ja kokoonpannaan. SEW:llä on jo pidemmän aikaa puhuttu, kuinka suunnittelu on hidastunut verraten aikaan, jolloin kaikki suunnittelu toteutettiin Vertex merkisellä 2D-suunnitteluohjelmalla.

Tähän tutkimukseen johtaneeksi ongelmaksi on nimetty 3D-mallien vähäinen hyödyntäminen ja niiden viemä kallis valmistusaika suunnittelussa. 3D-mallinnus on tällä hetkellä valmistuksen näkökulmasta lähes ylimääräinen työvaihe, joka vie kallista työaikaa suunnittelulta, antamatta kuitenkaan konkreettista lisähyötyä yritykselle. Aloituspäätöksessä oli kuitenkin jo todettu, että ajankäyttö mallintamiseen ei sinänsä välttämättä ole ongelma, jos sillä saadaan jotain muuta hyötyä yrityksessä. Tutkimuksen alussa päätettiin, ettei ole järkevää keskittyä 3D-mallien vähentämiseen, koska nykyaikaisella tuotekehityksellä ja valmistuksella on tarve 3D-malleille. Alussa päätettiin myös, ettei työssä tulla keskittymään mallinnustekniikoihin tai ohjelmistojen toimintaan. Ohjelmistojen yhteensopivuutta uusien tekniikoiden kanssa oli kuitenkin tarpeen selvittää, jotta keskitytään toteutettavissa oleviin mahdollisuuksiin.

Työn tavoitteena on vastata tutkimuskysymyksiin:

- Miten 3D-ympäristöä hyödynnetään yrityksessä tällä hetkellä?
- Pystyisikö 3D-ympäristöä hyödyntämään paremmin yrityksessä?
- Mitä 3D-maailman paremmalla hyödyntämisellä olisi mahdollista saavuttaa?

1.2 SEW Industrial Gears Oy

SEW Industrial Gears Oy on Karkkilassa toimiva teollisuusvaihteratkaisujen suunnitteluun ja valmistukseen erikostunut yritys. Kyseinen yritys on osa maailmanlaajuisia SEW-EURODRIVE konsernia, jonka tuotevalikoimaan kuuluu lieriö- ja kartiolieriövaihteet sekä käyttöpaketit 2500 kNm toisiomomenttiin asti. Vuodesta 1999 Karkkilassa toiminut teollisuusvaihdetehtas työllistää 160 alan ammattilaista ja SEW-EURODRIVE -yhtiöt suomessa yhteensä yli 250 käyttötekniikan ammattilaista. (SEW-EURODRIVE, n.d.)

2 Tutkimuksen tietoperusta

Työssä etsittiin 3D-ympäristön hyödyntämiseen parempia mahdollisuuksia, tavoitteena ajansäästö suunnittelu ja/tai valmistusprosesseissa. 3D-ympäristön hyödyntämisestä oli vaikea löytää tietoa tai se oli vaikeasti löydettävissä. Opintojen aikana on huomattu, että useimmissa nykyaikaisissa CAD-ohjelmissa on työkaluja 3D-mallin mitoittamiseen, tämä on herättänyt jo aikaisemmin mielenkiintoa. Yhdeksi keskeiseksi kysymykseksi nousi, onko 2D valmistuskuvan tuottaminen nykypäivänä tarpeellista ja sitä päätettiin selvittää. 3D-mallien hyödyntämisen mahdollisuuksia tutkiessa huomattiin, ettei tietoa oikein löydy. SEW:n edustajan kanssa päätettiin keskittyä MBD:n mahdollisuuksiin, sen vaikuttaessa erittäin lupaavalta.

2.1 MBD eli mallipohjainen tuotemäärittely

MBD-lyhenne tulee englannin kielen sanoista Model-based Definition, suomeksi mallipohjainen tuotemäärittely. Mallipohjaisen tuotemäärittelyn pääasiallisena tarkoituksena on tuoda kaikki tuotteen valmistamiseen tarvittavat tiedot eli PMI-data digitaaliseen malliin, katso kuva 1. Ajatuksena on siis, poistaa 2D-valmistuspiirustuksien tarve ja käyttää 3D-mallia master tiedostona. (METSTA,2021)

digitaaliseen tuotemäärittelyyn ja tavoitteena on, että kaikilla olisi, yhteiset säännöt MBD-mallien luomiseen. (SFS ISO16792:2021)

ISO 1101 standardi on osa ISO 14638 ISO GPS yleissuunnitelmaa ja käsittelee GSP (geometrinen tuotemäärittely) toleroinnin peruseriaatteita ja vaatimuksia. Standardissa esitetään sekä 2D- että 3D-mitoittaminen näille, lisäksi esimerkiksi TED mitoitus (teoreettisesti tarkat mitat). (SFS ISO1101:2017)

ISO 10303-242 standardi tarjoaa määrittelyn neutraalin STEP datansiirtomallin versiolle 242, jotta kaikilla olisi yhteinen tiedonsiirtomalli eri ohjelmien välille. Yksinkertaisuudessaan STEP versio 242 on MBD-dataa sisältävälle mallille suunniteltu neutraali tiedostomuoto, joka pitäisi saada kaikilla ohjelmilla auki ilman, että tietoa katoaa. (ISO10303-242:2022)

2.1.1 MBD suunnittelussa

Tuotteiden suunnittelussa ollaan pääosassa MBD-datan tuottamisessa, niinpä suunnittelun hyvä kouluttaminen asiaan on ensiarvoisen tärkeää. Suunnittelun näkökulmasta MBD:llä on vaikutusta useimpiin asioihin, 3D-mallista ja 2D-piirustuksesta siirtyminen 3D-master malliin vaatii uusien tapojen ja järjestelmien opettelua. (METSTA,2021)

Aikaisemmin jo todettiin, että yleisesti 2D-kuvissa käytetty yleistoleranssien ISO 2768 standardi on käyttökelvoton MBD-mallien kanssa. Tämä siis vaatisi suunnittelijoilta esimerkiksi ISO 22081 standardin hyvää ymmärrystä, jotta kappaleiden yleistolerointi voitaisiin toteuttaa esimerkiksi pinnanmuodon toleroinnilla. Myös muita uusia standardeja pitäisi osata esimerkiksi ISO 16792 ja ISO 1101, jotta voidaan tuottaa MBD-malleja.

MBD-mallien tuottaminen vaatii SOLIDWORKS 3D CAD-suunnitteluohjelmassa MBD:tä tukevan lisäosan, jotta erillisten kuvantojen määrittäminen, on mahdollista. MBD-lisäosa mahdollistaa myös 3D PDF-, eDrawings ja STEP 242 tiedostojen luomisen. SOLIDWORKS DimExpert/MBD Dimensions osiossa on myös hyödyllisiä työkaluja esimerkiksi automaattinen mitoitustyökalu, jolla saadaan luotua geometrinen tolerointi, mutta ne eivät vaadi maksullista MBD-lisäosaa. (Hawk Ridge Systems, 2023)

3D PDF on PDF-tiedostomuoto, johon MBD-malli on mahdollista tallentaa niin, että malliin luotujen kuvantojen välillä on mahdollista liikkua. Mallissa olevia kuvantoja on mahdollista liikuttaa niin kuin 3D-CAD ohjelmassa ja mittojen kysely on mahdollista mittaustyökalulla. PDF-tiedostoon saa lisättyä osaluettelon, räjäytyskuvia ja vaikka mitä muuta. Tiedostoon on

myös mahdollista, lisätä liitteeksi STEP 242-malli. PDF-tiedostoon on mahdollista lisätä myös kommentteja ja sen saa auki Adobe Acrobat Reader-ohjelmistolla. Adobe Acrobat Reader-ohjelmisto on myös ilmainen tietokoneelle. PDF-tiedosto on mahdollista luoda salasanasuojattuna, jolloin vääriin käsiin päätyessä sitä ei pysty käyttämään (Adobe, n.d.).

EDrawings on Dassault systemes-yhtiön kehittämä tiedostoformaatti ja ilmainen ohjelma, jossa saadaan avattua 3D-malli. Dassault systemes on myös SOLIDWORKS 3D CAD-ohjelmiston kehittäjä. Myös eDrawings-ohjelmassa on mahdollista kysellä kappaleen mittoja mittaustyökalulla, sillä saadaan auki useampia tiedostomuotoja, mutta vain SOLIDWORKS-malleista siirtyä MBD-kuvannot. (METSTA,2016)

Itse MBD-mallista ei välttämättä saada kauheasti hyötyä suunnittelussa, mutta sen suuremmat hyödyt tulevat paremmin esille muilla osastoilla. Videon väitteen mukaan PMI-tietojen luomiseen menisi 30–50 % vähemmän aikaa 3D-ympäristössä, kuin työskennellessä 2D-kuvien kanssa, kyseiseen väitteeseen täytyy kuitenkin suhtautua jonkinlaisella varauksella (GoEngineer, 2017). Ajan säästö mallien luomisessa voi tulla kyseeseen esimerkiksi monimutkaisten valujen kanssa, joissa on vain vähän tarkkoja mittoja, jolloin mallin mitat voidaan kysellä tarvittaessa. Arvelisin, että aikaa olisi mahdollista säästää suunnittelussa, mutta sitä on todella hankala arvioida etukäteen. Muita hyötyjä mainitaan olevan, pienempi määrä dokumentteja hallittavana (GoEngineer, 2017). Muita mahdollisia hyötyjä voidaan saada esimerkiksi mallin muutostilanteessa, jolloin ei tarvitse erikseen päivittää valmistuskuvaa.

MBD-mallien kanssa mahdollisiksi huonoiksi puoliksi voidaan lukea esimerkiksi suunnittelijoiden todennäköinen huono osaaminen TED- ja GSP-mitoituksen kanssa. Muita huonoja puolia on esimerkiksi lisämoduulien tarve suunnitteluohjelmistoon. (METSTA,2021)

2.1.2 MBD koneistuksessa

MBD-mallit vaativat tuotannossa sopeutumista. Tuotannon muuttuessa paperittomaksi paperiset valmistuskuvat on korvattava jollain muulla. MBD-malleja on mahdollista avata esimerkiksi edellä mainituissa Adoben tai eDrawings ohjelmissa. Jotta digitaaliset tiedostot saadaan avattua, pitäisi jokaisella työpisteellä olla esimerkiksi tietokone tai tablettitietokone, ellei valmistuskuvia tulosteta edelleen paperisena. Paperisissa valmistuskuvissa voi kuitenkin olla ongelmia MBD-mallin kanssa, koska esimerkiksi mittojen kyseleminen ei luonnollisesti ole mahdollista. Tuotannossa pitäisi myös sopeutua uusiin työtapoihin ja esimerkiksi edellä mainittuihin valmistuskuviin ja standardeihin.

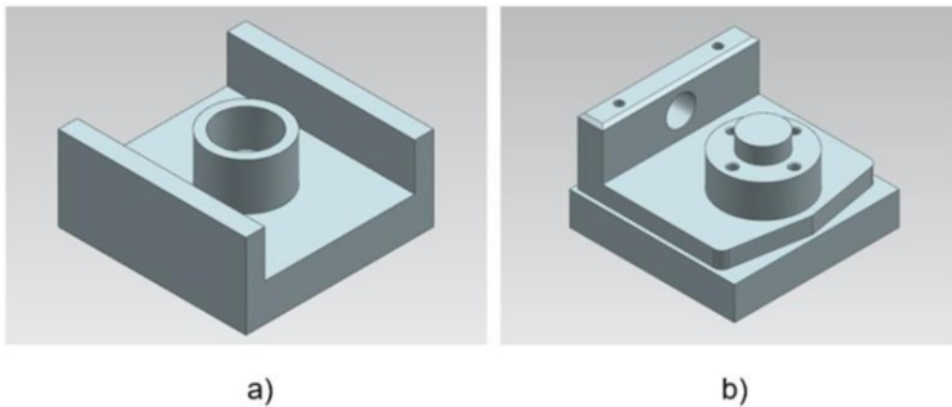
Jotta kappaleiden valmistuksessa saataisiin hyötyä MBD-malleista, pitäisi esimerkiksi CAM-ohjelmien pystyä lukemaan niitä. Työstökoneiden työstöratojen ohjelmointiin tarkoitettujen CAM-ohjelmien osalta MBD-mallit saattavat kuitenkin olla vielä haasteellisia. CAD-ohjelmien sisäänrakennetut CAM-ohjelmat osaavat usein konelukea annotaatioita, mutta itsenäiset CAM-ohjelmat eivät välttämättä vielä. (METSTA,2021) Jos käytettävä CAM-ohjelma osaa lukea annotaatiot ja toleranssitiedot suoraan 3D-mallista jää ihmisen tekemä toleranssitiotojen määrittäminen pois ja virheiden tekemisen mahdollisuus pienenee CAM-ohjelmoinnissa.

SEW:llä on käytössä Hexagon AB:n CAM-ohjelmisto Edgecam ja ohjelmasta löytyy huonosti tietoa MBD- ja PMI-dataan liittyen. Työn aikana lähetettiin kysely Rensi Finland Oy:lle, joka on virallinen Edgecam-ohjelmiston jälleenmyyjä Suomessa (Rensi, n.d.). Rensiltä kysyttiin: tukeeko ohjelmisto MBD-mallien käyttöä step 242 tai solidworks natiivi tiedostolla; saadaanko mallien annotaatiotieto ja toleranssitiedot näkyviin ohjelmassa; jos annotaatiot ja toleranssitiedot saadaan tuotua ohjelmaan, saadaanko ne koneluettua käyttöön ilman, että ihmisen tarvitsee niitä erikseen kirjata ohjelmaa luodessa; tarvitaanko MBD-mallien kanssa joku erillinen maksullinen moduuli ohjelman lisäksi.

Kyselystä saadun tiedon mukaan EDGECAM ohjelma osaa lukea hyvin toleranssitiotoa MBD-malleista ja tukee SOLIDWORKS natiivi tiedostoja sekä STEP 242 tiedostoja. Kehitteillä on myös *"Lisää mahdollisuus ladata ei-kiinteitä tietoja, kuten geometrioita"*, joka pyytää EDGECAMia lukemaan esimerkiksi geometrioita ja huomautuksia. Ohjelma osaa lukea myös reikien tietoja esimerkiksi rajat/sovitus ja kierteytys INVENTOR-, SOLIDWORKS- ja CREO solidi-malleista. EDGECAM-ohjelmaan kuuluu myös nykyään DESIGNER CAD suoramallintaja, jonka kaikki data/muutokset tulevat suoraan EDGECAMiin. Melkein kaikki tieto DESIGNER-ohjelmasta voidaan käyttää automaattisesti EDGECAM-ohjelmassa. EDGECAM-ohjelmasta löytyy myös Strategy Manager, johon voidaan luoda suunnitelmia työstöratojen automaattiseen luontiin, joka nopeuttaa työskentelyä. EDGECAM ei tarvitse erillisiä maksullisia moduuleja MBD-mallien lukemiseen. (henkilökohtainen tiedonanto, 3.11.2023)

Eräessä kokeessa oli selvitetty, miten kappaleen valmistukseen käytettävä tiedostomuoto vaikuttaa ajallisesti. Testiin oli valittu kaksi erilaista kappaletta, kuvassa 2 nähdään kappaleet a ja b. Kappaleessa a oli 4 koneistettavaa muotoa ja kappaleessa b oli 19 koneistettavaa muotoa, muuten ne olivat pitkälle samantyyppisiä.

Kuva 2. Osa 1 (a) ja osa 2 (b) (Cambridge University Press, 2022, s. 4).



Testissä verrattiin CAM-ohjelmointia, perinteistä 2D-valmistuspiirustusta käyttäen, 2D-valmistuspiirustusta ja 3D-mallia käyttäen ja pelkkää MBD mallia hyödyntäen. Kappaleen a kohdalla vain CAM-ohjelmoinnin viemässä ajassa oli eroa, piirustus pohjaisen ohjelmoinnin kestäessä 130 min, piirustuksen ja 3D-mallin avulla 30 min ja MBD-mallilla 30 min. Kappaleen b kanssa CAM-ohjelmointiajat olivat 152 min, 60 min ja 57 min. Testin perusteella voitiin huomata, että monimutkaisemman osan kanssa aikaa on mahdollista säästää MBD-mallin avulla. MBD mahdollistaa automaattisen CAM- koodin luomisen, mutta se vaatisi kirjaston kattamaan erilaiset koneistettavat piirteet, joten se ei ollut mahdollista testin yksittäiskappaleessa. (Cambridge University Press:2022) Mikäli CAM-ohjelmaan saataisi luotua tarvittavat kirjastopiirteet ja kyseessä olisi monimutkaisempia kappaleita, saataisi sillä luultavasti huomattavasti isompia eroja ohjelmointiaikoihin. MBD-mallilla saadaan myös laadullista hyötyä pienentyneellä mahdollisuudella toleranssivirheisiin, mikäli käytettävä ohjelma osaa lukea toleranssitiedot suoraan mallista.

Jotta MBD-mallien käyttöönotto olisi mahdollista, täytyisi koneistajille järjestää koulutusta aiheesta. NC-koneistajien osalta uusien standardien ymmärtäminen olisi olennaista ainakin yleistoleranssien, TED-, GSP-mitoituksen ja kyseltävien mittojen osalta. Myös 3D-pdf tai eDrawings tarvitsisi jonkinikäisen koulutuksen tai ohjeistuksen, jossa käytäisi yleiset toimintatavat läpi. CAM-ohjelmoinnin osalta MBD-mallien kanssa olisi tarpeellista tehdä hyvä selvitys, miten mallit toimivat yhteen käytössä olevan ohjelman kanssa.

2.1.3 MBD alihankinnassa

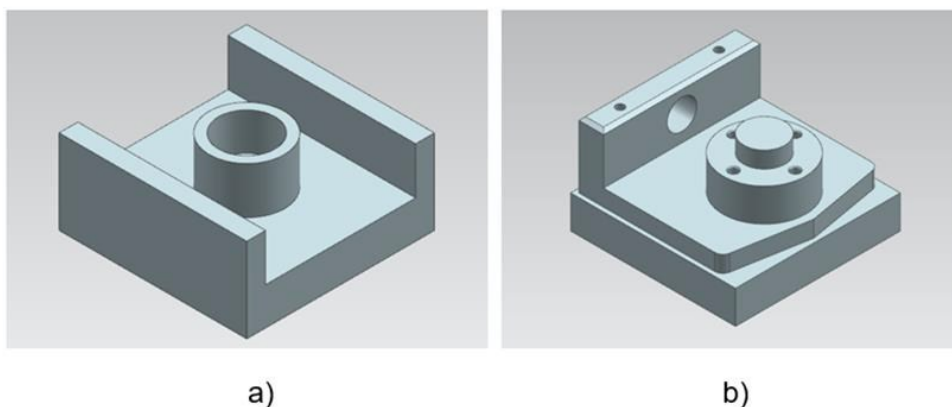
Alihankinnan osalta olisi aiheellista selvittää, pystytäänkö MBD-malleja hyödyntämään. Periaatteessa lähetettäessä 3D-pdf tiedosto alihankintaan STEP 242 tiedoston sisältävänä ei pitäisi olla syytä, miksi tuotteita ei voida esimerkiksi koneistaa vanhaan tapaan. Mikäli alihankinnassa kuitenkin pystytään hyödyntämään MBD-mallia, voisi laadukkaampien tuotteiden saaminen olla mahdollista edullisemmin ja/tai nopeammin. Koneluettavuudella on mahdollista vähentää kirjausvirheitä ja nopeuttaa esimerkiksi CAM- ja CAI-ohjelmien tekoa.

2.1.4 MBD mittauksessa

MBD-mallien hyödyntämisessä tällä hetkellä luultavasti eniten saadaan irti koordinaattimittalaitteiden ohjelmoinnissa. Modernit koordinaattimittausohjelmat osaavat lukea PMI-dataa lähes täydellisesti ja luoda mittausohjelmia suoraan MBD-mallin pohjalta (Cambridge University Press:2022). Mikäli mitataan paljon yksittäiskappaleita, joille tehdään tällä hetkellä käsin ohjelmat, olisi mahdollista säästää työaikaa suuri määrä.

Eräässä selvityksessä, oli tehty nopeuden testausta CAI-järjestelmässä. Testiin oli valmistettu kaksi erilaista yksinkertaista kappaletta, jotka aiottiin mitata Mitutoyon koordinaattimittakoneella. Testi suoritettiin kolmella eri tavalla, pelkän 2D-piirustuksen pohjalta, toisena 2D-piirustuksen ja 3D-mallin avulla ja kolmantena pelkän PMI datan sisältävällä 3D-mallilla eli MBD-mallilla. Kuvassa 3 nähdään mitattavat kappaleet, joita käytettiin myös CAM-ohjelmoinnin testissä. (Cambridge University Press:2022)

Kuva 3. Osa 1 (a) ja osa 2 (b) (Cambridge University Press, 2022, s. 4).



Ensimmäisen kappaleen (a) kohdalla ohjelmointi kesti 2D-valmistuskuvan pohjalta 30 min, kuvan ja 3D-mallin pohjalta 15 min ja MBD-mallilla 1 min. Kuitenkin ohjelman ajoaika vaihteli

hiukan. Lopulliset ajat koko mittaus prosessissa oli 2D-kuvalla 48 min 6 s, 2D-kuvalla ja 3D-mallilla 32 min 48 s ja MBD mallilla 18 min 28 s. (Cambridge University Press:2022)

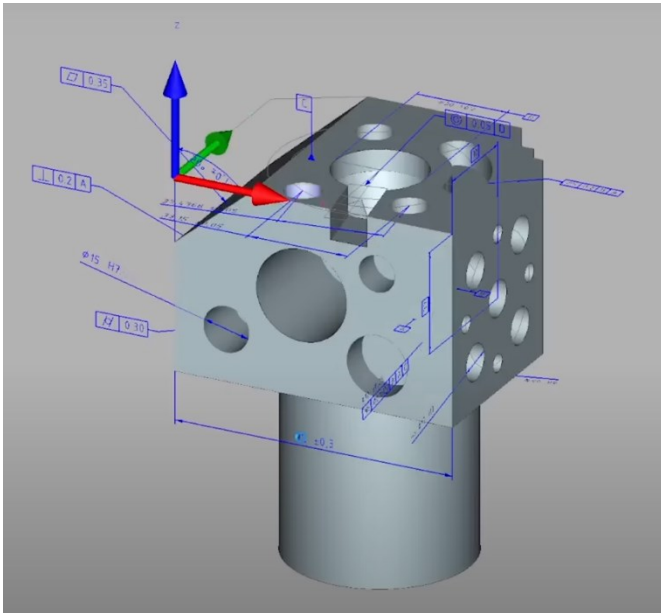
Toisen kappaleen (b) kohdalla ohjelmointi kesti 2D-piirustuksen pohjalta 60 min, piirustuksen ja 3D-mallin pohjalta 28 min ja MBD-mallin pohjalta 2 min. Ohjelman ajoaika vaihteli hiukan enemmän kuin edellisessä, mutta lopulliset kokonaisajat kääntyivät kuitenkin huomattavasti MBD-mallin eduksi, niiden ollessa 79 min 24 s 2D-piirustuksen pohjalta, 47 min 16 s 2D-piirustuksen ja 3D-mallin pohjalta ja 20 min 49 s MBD-mallin pohjalta. (Cambridge University Press:2022)

Ensimmäisen kappaleen kohdalla 2D-piirustuksen ja 3D-mallin avulla tarkastus oli n. 32 % nopeampaa kuin pelkän 2D-piirustuksen kanssa ja MBD-mallilla n. 44 % nopeampaa kuin 2D-piirustuksen ja 3D-mallin avulla. Toisen kappaleen kanssa ero oli suurempi n. 40 % ja 56 %, tästä voidaan päätellä, että kappaleen monimutkaistuessa säästettävä aika suurenee. (Cambridge University Press:2022)

Tutkimuksessa todetaan, että parempi tuotemäärittelyn taso mahdollistaa ajansäästön tuotteen elinkaaren aikana, muita hyötyjä todetaan olevan virhemahdollisuuksien väheneminen. Automaatiolla MBD-mallilla luodun mittausohjelman todetaan kuitenkin olevan hitaampi mittauksessa, joten hyödyt tulevat esille paremmin piensarjoissa tai yksittäiskappaleissa. (Cambridge University Press:2022)

SEW:llä on käytössä ZEISS CALYPSO mittausohjelmisto. CALYPSO:ssa on täysi tuki MBD-mallien hyödyntämiseen. ZEISS:in videolla näytetään, kuinka MBD-malli toimii mittauksessa ja kuinka tehdään mittausohjelma vain parissa minuutissa kuvan 4 kappaleelle automaatiota hyödyntäen (Zeiss, 2023).

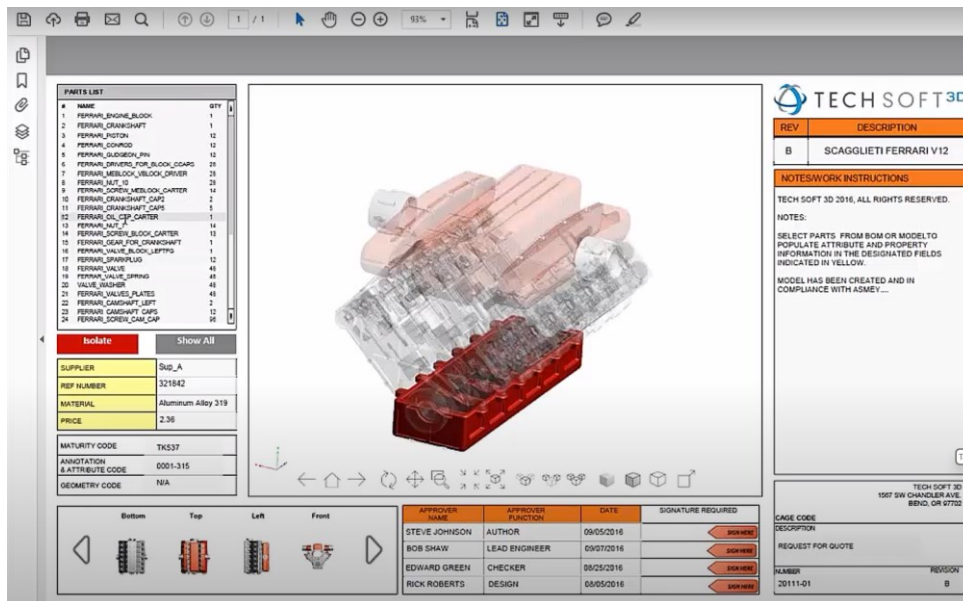
Kuva 4. #measuringhero | Episode 110: CAD & PMI in ZEISS CALYPSO-video (kuvakaappaus) (ZEISS Industrial Metrology, 2023, 0:42/2:51).



2.1.5 MBD kokoonpanossa

Kokoonpano-osastolla saadaan jo tänä päivänä avattua 3D-mallit, joka helpottaa kokoonpanoa. 3D-mallien katselun tiedetään vaikuttaneen laatuun positiivisesti, vähentämällä pikaviestejä tuotannosta suunnitteluun. Mikäli kokoonpanot saataisi MBD-malleiksi niiden käyttämisessä ei pitäisi olla kokoonpanossa mitään ongelmaa. Jos jonain päivänä siirrytään kokonaan MBD-malleihin, voisi kokoonpanokuvaan saada uusia ominaisuuksia. 3D-pdf tiedostoon on mahdollista liittää esimerkiksi osaluettelo mallin rinnalle ja valittaessa osaluettelolta osa se maalautuu kuvassa, tämä toimii myös toisinpäin. Katso kuva 5. Osien etsiminen kokoonpanokuvasta voisi olla helpompaa MBD-mallin kanssa.

Kuva 5. Enabling your Application with 3D PDF-webinaari (kuvakaappaus) (Tech Soft 3D, 2016, 3:01/57:59)



3 3D-ympäristön hyödyntämisen tutkimuksen aineisto ja menetelmät

3.1 Tausta ja menetelmät

Opinnäytetyössä SEW Industrial Gears Oy:ssa järjestettiin laadullinen tutkimus, jossa selvitettiin 3D-ympäristön hyödyntämisen nykytila ja MBD-mallien hyödyntämisen mahdollisuus. Tutkimus päätettiin toteuttaa teemahaastattelu menetelmällä, joka on tarkoitettu aineiston keräämiseen. Ensimmäisessä teemassa oli tavoitteena, selvittää yrityksen nykytila ja tarpeita 3D-ympäristön hyödyntämisen suhteen. Toisessa teemassa selvitettiin malliperustaisen tuotemäärittelyn käyttämisen mahdollisuuksia yrityksessä. Tavoitteena oli myös, selvittää voidaanko MBD-malleista saatavia hyötyjä todellisuudessa saavuttaa yrityksessä.

Laadullinen tutkimus eli laadullinen tutkimus pohjautuu useimmiten tekstimuotoisiin aineistoihin, tutkijan omaan ajatteluun ja päättelyyn. Yleensä laadullisessa tutkimuksessa ei keskitytä numeeriseen analyysiin toisinkuin määrällisessä tutkimuksessa. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka, 2006-a)

Teemahaastattelu on laadullisen haastattelun muoto, jossa aihe on rajattu tiettyyn yhteen tai useampaan teemaan. Ideana on, mahdollisuus puhua aiheesta vapaasti, mutta haastattelussa voi olla myös valmiita kysymyksiä. Haastatteluun ei ole kuitenkaan tarkoitus, muodostaa valmiita pikkutarkkoja kysymyksiä, jotta haastateltavat saavat kertoa vapaamuotoisesti omista kokemuksista ja mielipiteistään. Teemahaastattelussa olennaista on, että haastattelija on perehtynyt aiheeseen huolellisesti ja tuntee haastattelijan tilanteen. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka, 2006-b)

Henkilöiden valinnasta haastatteluun keskusteltiin yrityksen puolen ohjaajan kanssa jo opinnäytetyön alussa ja tehtiin alustava lista haastateltavista. Viikkopalaverissa tuli ehdotuksia haastateltavista henkilöistä ja alkuperäinen listaus muuttui hiukan työn edetessä, sopivampien kandidaattien löytyessä. Tutkimuksessa haastateltavien henkilöiden valinta oli erityisen tärkeää tutkimuksen reliabiliteetin kannalta. Tutkimuksen alueen kasvaessa laajaksi, jokaiselta osastolta jouduttiin valitsemaan vain yksi haastateltava, joka saattaa vaikuttaa tutkimuksen toistettavuuteen.

3.2 Haastattelun toteutus

Opinnäytetyön haastattelut päätettiin toteuttaa paikan päällä kahdenkeskeisenä teemapohjaisina keskusteluhaastatteluina. Haastatteluille päätettiin varata aikaa 30 min neuvotteluhuoneessa, jotta haastateltavien kanssa saadaan olla rauhassa ilman häiriötekijöitä. Ennen haastattelua oli luotu kysymyslista, jonka tarkoituksena oli lähinnä ohjata haastattelua. Kysymyslista liitteenä, mutta suoria vastauksia ei ole saatavilla tietosuoja syistä. Haastattelujen läpikäynnissä on avattu yksi kerrallaan kysymyksille myös, niiden tavoite.

Haastattelussa oli tavoitteena saada selville ennalta kysymyksillä rajatut asiat. Lisäksi pyrittiin luomaan keskustelua asiasta, jotta saataisiin haastateltavan omia ajatuksia ilmi. Kysymykset olivat muodostettu eri osastoille juuri sen osaston asioihin liittyväksi. Yhdessä kysymykset muodostavat eri osastoilta yhteisen tiedon, 3D-ympäristön tämänhetkisestä hyödyntämisestä yrityksessä ja MBD-mallien hyödyntämisen mahdollisuuksista. Haastattelun teemat päätettiin järjestää niin, että ensin selvitetään yrityksen nykytila 3D-ympäristön hyödyntämisessä, jotta malliperustaisen tuotemäärittelyn kysymykset eivät sekoita haastateltavien ajatuksia.

Haastattelutilanteet aloitetaan kertomalla opinnäytetyön aiheesta haastateltavalle, lisäksi kerrotaan haastattelun liitännäisyys opinnäytetyöhön. Haastateltavalle kerrotaan myös, ettei

nimiä tai mitään muutakaan henkilötietoja tulla julkaisemaan opinnäytetyöhön tai muihin materiaaleihin. Noin puolessa välissä haastattelua teeman vaihtuessa esitellään haastateltavalle malliperustaisen tuotemäärittelyn perusidea ja apuna käytetään kahta 3D-pdf tiedostoa. Toinen 3D-pdf sisältää koneistettavan kappaleen MBD-mallin ja toinen MBD-kokoonpanon.

3.3 Teema 1: 3D-ympäristön hyödyntämisen nykytila

3.3.1 Myynti

Ensimmäisen kysymyksen tavoitteena oli, saada tietoa, millä tavoin tuotteiden 3D-malleja hyödynnetään myyjän työssä. Tuotteiden myyntityössä 3D-malleja käytetään hyvin paljon keskustelun apuvälineenä asiakkaan kanssa. Jos asiakkaalla on tarve johonkin tiettyyn applikaatio kohtaiseen ratkaisuun, voidaan käyttää jonkin vanhan työn mallia myynnin tukena, koska suunnittelun kautta ratkaisun tekeminen on hidasta. Jos on joitakin todella erikoisia ratkaisuja, on helpompi näyttää, jos samantyyppisiä ratkaisuja on käytetty aikaisemmin.

Toisessa kysymyksessä selvitettiin, kuinka usein asiakas saa 3D-mallin tilaamastaan tuotteesta. Pakettiratkaisuissa oli selkeää, että asiakas saa aina 3D-mallin valmiista tuotteesta. Pelkistä vaihteista puhuttaessa, arviolta noin 80 % tilauksista toimitetaan 3D-mallin kanssa asiakkaalle.

Kolmannessa kysymyksessä selvitettiin, kuinka usein asiakkaat pyytävät 3D-malleja. Asiakkaat pyytävät joskus jo tarjousvaiheessa 3D-mallia, mutta useammin malleja pyydetään, kun vaihe on jo myyty. Jossain projekteissa on pyydetty asiakkaan puolelta, että mallit luodaan kaikesta ja siirretään asiakkaan järjestelmiin suoraan SEW:in toimesta.

Neljännellä kysymyksellä pyrittiin selvittämään, onko pelkällä 2D-mittakuvalla toimitetuissa tapauksissa, ollut jotain hankaluuksia. Isommissa kokonaisuuksissa on ollut hankaluuksia kiinnityksien ymmärtämisessä ja jonkinäköistä lisäsymbolia kiinnityspisteiden merkitsemiseksi voisi olla hyvä käyttää. Asiakkaiden puolelta on myös kysely, joitakin mittoja silloin tällöin, koska mittakuvissa ei ole mitoitettu läheskään kaikkia vaihteen mittoja.

3.3.2 Suunnittelu

Ensimmäisellä kysymyksellä pyrittiin selvittämään, miten 2D-valmistuskuvan riittävyys nähdään suunnittelussa. Jos esimerkiksi koneistettavat kappaleet pysyvät kohtuullisen yksinkertaisina 2D-valmistuskuvalla on helppo kertoa, miten osa valmistetaan. Jos kyseessä on monimutkaisempia kappaleita missä enemmän ulottuvuuksia menee valmistuskuvalla tuottaminen vaikeaksi. Joissain kappaleissa on jo nykypäivänä käytössä valmistuskuvassa merkintä 3D-mallin määräävyydestä.

Toisessa kysymyksessä kysyttiin, koetaanko 2D-valmistuskuvan tuottaminen joskus ylimääräisenä työnä, 3D-mallin rinnalle. 2D-valmistuskuva nähdään määräävänä virallisena dokumenttina tai jopa sopimuksena. Toleranssit, pinnanlaatu ja kaikki muu mitä 2D-mittakuvassa näytetään, on hankalaa näyttää 3D-mallissa. Heti kun kyseessä on jokin muu kuin nimellismitta on sen näyttäminen 3D-mallissa epämääräistä.

Kolmannella ja neljännellä kysymyksellä pyrittiin hakemaan arvioita, kuinka paljon aikaa käytetään valmistuskuvien ja mittakuvien tekemiseen. Arviolta noin 2/3 käytettävästä ajasta menee 3D-mallin tuottamiseen ja 1/3 2D-kuvien tuottamiseen. Kuvien määrää tarkistettiin järjestelmistä ja keskimäärin päivässä suunnittelija tuottaa noin 2 tai 3 2D-piirustusta. Arviota siitä kuinka paljon aikaa kuvan tuottamiseen ei osattu antaa.

Viimeisenä haluttiin selvittää mitä yleistoleranssin standardia käytetään, vastauksena saatiin ISO 2768-mk.

3.3.3 Hankinta

Hankinta-osaston haastattelu pidettiin kahteen kertaan, koska ensimmäinen haastateltava ei työskennellyt alihankinnassa tuotettavien osien kanssa, vaan tilattavien komponenttien ja osakokonaisuuksien parissa. Kysymykset, joihin ensimmäinen haastateltava osasi vastata, ovat yhdistetty toisen haastattelun kanssa yhteen.

Ensimmäisellä kysymyksellä oli tavoitteena selvittää, miten 3D-malleja hyödynnetään kappaleiden ostotyössä. 3D-malleja hyödynnetään lähinnä vaihteiden valuosien tilaamisessa, muut tuotteet tilataan 2D-valmistuskuvilla. 3D-mallia käytetään myös 2D-mittakuvan ymmärtämisessä apuvälineenä.

Toisessa kysymyksessä pyrittiin selvittämään, miten usein 3D-malleja kysytään alihankinnasta vai saadaanko ne automaattisesti. Vastauksena saatiin, että niitä ei lähetetä osista automaattisesti. Jos alihankkija kokee tarvitsevansa 3D-mallia sitä, tarvitsee siis erikseen pyytää. Osa alihankkijoista tekee esimerkiksi koneistus ohjelmat 3D-mallin perusteella, jolloin he pyytävät 3D-mallia. Vanhoista standardisoiduista osista harvemmin kysellään 3D-malleja, mutta uusista yksittäisistä osista kysytään lähes aina.

Kolmannessa kysymyksessä pohdittiin olisiko aiheellista lähettää 3D-malli alihankintaan aina 2D-valmistuskuvan mukana. Oletettavasti vanhojen osien kanssa ohjelmat ovat jo olemassa, jolloin ei tarpeellista. Uusien osien kanssa tai alihankkijalle uuden osan kanssa olisi aiheellista lähettää 3D-malli. Uusien osien kanssa ollut myös ongelmia joskus, että joitain piirteitä on puuttunut valmistuskuvista, mutta 3D-mallilla voisi ehkäistä ongelmaa.

Seuraavaksi pohdittiin, onko alihankinnassa ollut ongelmia pelkkien 2D-valmistuskuvien ymmärtämisessä. Kuulemma aika ajoin tulee vastaan, että kysellään jotain puuttuvia mittoja tai vahvistusta mitä jokin mitta mitoittaa. Haastavampien kappaleiden kanssa ollut joissain tapauksissa ongelmia, joita pitänyt tarkastaa 3D-mallin avulla, näissä monesti virhe jo tapahtunut.

Vapaassa keskustelussa kävi ilmi, että esimerkiksi koteloiden koneistuskuvat ovat menneet ajansaatossa todella vaikealukuisiksi, aikaisemmin kuulemma olleet helpompia luettavia. Lisäksi uskottiin, että 3D-mallin lähetys poistaisi varmasti väärin ymmärrettyjen kuvien aiheuttamia laatupoikkeamia.

3.3.4 Koteloverstas

Ensimmäisenä haastattelussa varmistettiin, että käytetään aikaisemmin mainittua EDGECAM ohjelmaa työstörahojelmoinnissa. Seuraavaksi haluttiin tietää, käytetäänkö EDGECAM:ssa strategy manager lisäohjelmistoa. Saatiin varmuus, että nämä ovat käytössä.

Kolmannella kysymyksellä selvitettiin, miten työstöratoja ohjelmoidaan. Tehdäänkö kaikki CAM-ohjelmassa vai tehdäänkö myös käsin ohjelmia. Selvisi, että koteloiden koneistus ohjelmat tehdään pääosin CAM-ohjelmoinnilla, mutta niitä muokataan käsin työstökoneella. CAM-ohjelmoinnissa joudutaan myös piirtämään käsin työstön ratoja, johtuen 3D-mallien puutteesta joistain osista.

Neljäntenä haluttiin tietää miten paljon aikaa vie yhden ohjelman/kappaleen ohjelmien tekemiseen. Vastaukseksi saatiin, että yhdessä päivässä saa tuotettua noin keskimäärin yhden ohjelman.

Viidentenä kysyttiin, hyödynnetäänkö 3D-mallia CAM-ohjelmoinnissa. 3D-mallia hyödynnetään, mikäli sellainen löytyy. Kaikista koteloista ei ole olemassa 3D-malleja, koska näitä on tehty myös 2D-ympäristössä.

Seuraavaksi selvitettiin CAM-ohjelmoinnissa toleranssitietojen kirjausta ohjelmaan. Selvisi, että koteloiden koneistukset tehdään sellaisilla työkaluilla, ettei näiden kirjaus ole tarpeellista. Tasopintojen koneistuksien paikkaa säädetään ohjelman nollapisteellä työstökoneella, jolloin toleranssitiedot ohjelmoinnissa eivät vaikuta mitenkään, lisäksi koteloita koneistetaan useammassa vaiheessa. Tarkat reiät tehdään yleensä avartimilla, jotka ovat säädettäviä ja koneistaja säätää ne työpisteellä itse.

Seitsemännessä kysymyksessä, oli tarkoitus selvittää 2D-valmistuspiirustusten helppolukuisuutta ja tarpeita katsella rinnalla 3D-mallia. Vastaukseksi saatiin, että 3D-mallin katselu mahdollisuus helpottaa piirustuksen ymmärtämistä paljon. 3D-mallista saadaan esimerkiksi mitattua joitain varmistus mittoja helposti. Koteloverstaalla on myös tietokone, jossa eDrawings ohjelma, joten myös koneistajat pääsevät katselemaan jo tänä päivänä 3D-malleja.

Seuraavaksi kysyttiin, kuinka usein toleranssien kirjaaminen ohjelmaan virheellisesti, aiheuttaa esimerkiksi viallisen kappaleen tai muita ongelmia. Aikaisemmin oli puhetta siitä, että toleransseja ei kirjata ohjelmaan, joten tämä ei aiheuta myöskään ongelmia.

Viimeisenä haluttiin vielä tietää, onko CAM-ohjelmoinnista olemassa valmista mittausdataa ajankäytön suhteen. Valmista dataa ei saatavilla.

3.3.5 Välitysosaverstas

Ensimmäisellä kysymyksellä haluttiin selvittää, mitä ohjelmia työstörataohjelmointiin käytetään välitysosaverstaalla. Selvisi, että tällä hetkellä ohjelmointiin käytetään makroja, jotka ohjaavat WinCam ohjelmaa. Tällä hetkellä kokeilussa on myös Mastercam ohjelmisto, jolla tarkoitus tehdä ohjelmia, joihin makrojen toiminta ei taivu.

Toisella kysymyksellä oli tarkoitus selvittää, tehdäänkö kaikki ohjelmat CAM-ohjelmoinnilla, vai tehdäänkö niitä myös käsin työstökoneella. Tässä vaiheessa puhuttiin, että sorvattavat osat ovat suhteellisen yksinkertaisia ja standardisoituja, joten ne pystytään pitkälti tekemään makroilla. Jos eteen tulee kappale, jonka jotain kohtaa ei saada makrolla tehtyä, muokataan makrolla tehtyä ohjelmaa käsin. Näitä tilanteita varten on otettu koekäyttöön Mastercam CAM-ohjelma.

Kolmannella kysymyksellä pyrittiin selvittämään, miten 3D-malleja hyödynnetään välitysosaverstaalla. Makro ohjelmoinnissa 2D-valmistuskuvasta kirjataan käsin mittatiedot makroon ja sillä tuotetaan Wincamin tekemä sorvausohjelma, makro-ohjelmoinnissa ei siis pystytä hyödyntämään 3D-malleja. Mastercamin kanssa hyödynnetään 3D-malleja, mutta se on tosiaan kokeilukäytössä vasta.

Neljännän kysymyksen tavoitteena oli, selvittää kirjataanko toleranssitietoa 2D-valmistuskuvasta käsin ohjelmaan. Selvisi, että karkaisun jälkeisissä viimeistely työstöissä ohjelmoidaan toleranssialueen keskelle mittoja. Ennen karkaisua oleviin työvaiheisiin täytyy jättää työvarat ja ottaa huomioon karkaisun aiheuttama turpoaminen.

Viidennessä kysymyksessä selvitettiin, onko 2D-valmistuskuvan ymmärtämiseksi, sen rinnalla tarpeellista katsella 3D-mallia apuvälineenä. Välitysosat ovat kuulemma sen verran yksinkertaisia kappaleita, että ei ole tarvetta katsella 3D-mallia.

Viimeisenä kysyttiin vielä, aiheuttaako toleranssitietojen virheellinen kirjaus ohjelmaan usein viallisia kappaleita. Näitä kuulemma tulee jonkin verran, kuitenkin sen verran harvakseltaan, ettei oikein osattu vastata kuinka usein.

3.3.6 Mittaus

Ensimmäisellä kysymyksellä haluttiin varmistaa, mitä ohjelmia kappaleiden mittaamiseen käytetään. Saatiin varmistus, että käytössä on ZEISS CALYPSO-mittausohjelmisto, lisäksi käytössä on hammaspyörien mittaukseen tarkoitettu ZEISS GEAR PRO-ohjelmisto.

Seuraavalla kysymyksellä haluttiin selvittää, mitkä osat mitataan koordinaattimittakoneella. Koordinaattimittakoneella mitattavia osia ovat kotelot, hammaspyörät, akselit ja moottorilaipat. Kansia ei yleensä mitata mittakoneella, koska ne ovat suht yksinkertaisia osia.

Neljännellä kysymyksellä selvitettiin, hyödynnetäänkö 3D-malleja tänä päivänä mittausohjelmien tekemisessä. Selvisi, että mittauksessa hyödynnetään 3D-malleja. Lisäksi selvisi, että mittauksessa on käytössä sama PDM-järjestelmä kuin suunnittelulla, jolloin saadaan SOLIDWORKS natiivimallit käyttöön.

Viidennessä kysymyksessä tavoitteena oli, selvittää miten toleranssitieto tuodaan mittausohjelmalle. Selvisi, että toleranssitiedot kirjataan mittausohjelmaan täysin manuaalisesti 2D-valmistuskuvasta.

Viimeisillä neljällä kysymyksellä oli tavoitteena, selvittää ajan käyttöä mittausohjelmien tekemiseen. Tiedolla olisi mahdollista arvioida, kuinka paljon aikaa voisi säästää MBD-malleilla. Yksittäisten kappaleiden mittaamiseen tehdään keskimäärin ohjelmia vähemmän kuin 1 viikossa mutta kuitenkin kuukausittain, eli määrä on jotain yhden ja neljän väliltä keskimäärin kuukaudessa. Mittausohjelmia tehdään kuitenkin keskimäärin yhteensä noin yksi kappale viikossa, tämä koskee sekä yksittäisten kappaleiden, että vakiokappaleiden mittaamiseen tehtäviä ohjelmia. Mittausohjelman tekeminen kestää ehkä noin 1.5 h kotelon osalta.

Sain vielä haastattelun jälkeen sähköpostilla lisäinfoa aiheesta, miten 3D-mallit ovat muuttaneet laaduntarkkailua. Noin 6 vuotta sitten CAD-mallit olivat vain jossain määrin käytössä, sen takia ohjelmia on tehty niin sanotuilla rautalankamalleilla, jotka luotiin mittausohjelmassa mittakoneen avulla. Mittausohjelman teko rautalankamallilla on kuulemma tuplasti työläämpää, kuin 3D-mallin kanssa. Rautalankamallien käyttö on, myös vähentynyt tasaisesti viimeisen 6 vuoden aikana. Tänä päivänä rautalankamalleja käytetään lähinnä joidenkin vanhojen osien kanssa, joista ei ole 3D-malleja olemassa.

3.3.7 Kokoonpano

Ensimmäisellä kysymyksellä oli tavoitteena selvittää, millä tavoin 3D-malleja hyödynnetään kokoonpanossa tällä hetkellä. Kokoonpanossa katsellaan 3D-malleja ja vaihteita kokoonpannaan osittain niiden perusteella. 3D-malleja tykätään katsoa mieluummin kuin 2D-kokoonpanokuvia.

Toisessa kysymyksessä oli tavoitteena selvittää, nähdäänkö 3D-ympäristöön siirtymisestä jotain selkeitä hyötyjä. Vanhoissa vaihdesarjoissa tultiin hyvin toimeen 2D-kokoonpanokuvien kanssa ja ne olivat loogisia ja toimivia. Kuitenkin myös vanhoihin on tullut parannuksia, koska esimerkiksi öljyputkituksien teko on helpompi tehdä lähemmäs kuvan mukaista. Aikaisemmin

öljyputkitukset on vaihdellut tekoajan ja tekijän mukaan, vaikka ne olisivat täysin identtiset muuten tilaukseltaan. Uusissa vaihdesarjoissa on paljon hankalammat 2D-kokoonpanokuvat, eivätkä ne ole aina loogisia, joten 3D-mallien katselu mahdollisuus helpottaa kokoonpanoa. 3D-mallinnuksen mukana on tullut valmistuskuvat uusiin vaihdesarjoihin öljyputkituksille ja sen myötä ne ovat helpompia valmistaa. Vaihteet ovat myös lähempänä identtisiä, öljyputkituksien valmistuskuvien tulon myötä.

Kolmannella kysymyksellä pyrittiin selvittämään, miten selkeinä 2D-kokoonpanokuvat nähdään. Pidempään SEW:llä töissä olleille, 2D-kokoonpanokuvat ovat varmasti suhteellisen selkeitä, mutta uusille työntekijöille hankalia. SEW:llä vaihteen kokoonpanon kuvat muodostuvat pääkuvasta ja jokaiselle varustepaketille kuuluvasta erillisestä lisäkuvasta, jotka täytyy osata yhdistellä oikein.

3.4 Teema 2: malliperustaisen tuotemäärittelyn mahdollisuudet

3.4.1 Myynti

Ensimmäisellä kysymyksellä oli tarkoitus selvittää, tiedetäänkö myynnissä, mitä on mallipohjainen tuotemäärittely. Haastateltavalla henkilöllä oli käsitys siitä, mitä MBD on, mutta termi ei ollut tuttu. Kysymyksen jälkeen MBD:stä esiteltiin perusajatus lyhyesti, kahta 3D-pdf tiedostoa apuna käyttäen, ensimmäisessä oli yksittäinen koneistettava kappale ja toisessa kokoonpano.

Toisessa kysymyksessä pyrittiin selvittämään, MBD-mallilla vaikuttaa jotenkin vaihteiden myyntiin. Pelkän teollisuusvaihteen kanssa MBD-mallilla ei uskottu olevan minkäänkokoista vaikutusta myynnissä, kuitenkin pakettitoimituksissa uskottiin, että asiakkaan olisi ehkä helpompi viitata muutospyyntöihin.

Kolmannessa kysymyksessä pyrittiin selvittämään olisiko asiakkaalle lähetettävän mittakuvan kanssa aiheellista, lähettää 3D-malli automaattisesti. Kysymys ei sinällään liity suoraan MBD asiaan, mutta ajatuksena siinä oli, että MBD-mallissa olisi 3D-malli automaattisesti mukana. Myynnin mielestä 3D-mallin toimittaminen vaihteesta automaattisesti olisi ehdottomasti tarpeellista.

Haastattelun lopuksi kysyttiin vielä, onko jommastakummasta aiheesta jotain kysyttävää. Aihe herätti suuresti kiinnostusta, erityisesti onko MBD tulossa käyttöön vai mikä tämän työn

tarkoitus on. Oli herännyt myös toinen kysymys, miksi esimerkiksi vaihteen sisuskaluja mallinnetaan, kun niitä ei kuitenkaan hyödynnetä mihinkään.

3.4.2 Suunnittelu

Ensimmäisellä kysymyksellä oli tarkoitus selvittää, tietääkö suunnittelija, mitä on mallipohjainen tuotemäärittely. Kysymyksen jälkeen MBD:stä esiteltiin perusajatus lyhyesti, kahta 3D-pdf tiedostoa apuna käyttäen, ensimmäisessä oli yksittäinen koneistettava kappale ja toisessa kokoonpano. Asiasta käytiin avointa keskustelua hetki ennen seuraaviin kysymyksiin siirtymistä.

Toisella kysymyksellä oli tarkoitus selvittää, miten suunnittelija näkee MBD-mallien tuottamisen mahdollisuuden. MBD-mallien tuottamista ei nähty ongelmaksi ollenkaan, mikäli työkalut, joita siihen tarvitaan, on kunnossa. Tässä vaiheessa sivuttiin myös hiukan muiden osastojen ohjelmistoja ja kysymystä herätti myös niiden kyvykkyys hyödyntää MBD-malleja.

Kolmannessa kysymyksessä pyrittiin selvittämään, olisiko suunnittelija valmis siirtymään osittain tai kokonaan mallipohjaiseen tuotemäärittelyyn suunnittelussa. Suunnittelua ohjaa pitkälti globaalit ohjeistukset, joten tämä koettiin merkityksettömäksi kysymykseksi. Työnantaja siis määrittää miten tehdään ja millä työkaluilla. Suunnittelija näki kuitenkin mahdolliseksi vaihtoehdon siirtyä MBD-pohjaiseen suunnitteluun.

Neljännellä kysymyksellä haettiin tietoa, nähtäisiinkö yksi dokumentti (MBD-malli) helpommin hallittavaksi muutostilanteessa, kuin kaksi dokumenttia (3D-malli ja 2D-piirustus). Tällä ei uskottu olevan isoa merkitystä, kunhan revisioita pystyy vertailemaan. Tarvetta lisä infolle uskottiin olevan, jotta aihetta voisi kommentoida paremmin.

Seuraavaksi pyrittiin selvittämään, onko ohjelmien lisäosille, koulutuksen tarvetta suunnittelussa. Suunnittelussa olisi halua lisäkoulutuksille ohjelmien käyttöön. Yrityksen siirryttyä globaaliin lisenssiin SOLIDWORKS 3D CAD-ohjelmassa, lisäosien lisenssejä on tullut ohjelmistoihin.

Viimeisenä kysyttiin vielä, onko jotain kysymyksiä MBD asiaan liittyen. Mielenkiintoa oli herännyt, käytetäänkö tai opetetaan MBD-mallien käyttöä koulumaailmassa tai käytetäänkö niitä suomessa muualla. Tässä vaiheessa sain vielä kommentin, että ajatus yhdestä hallittavasta dokumentista viehättää.

3.4.3 Osto

Ensimmäisellä kysymyksellä oli tarkoitus selvittää, tietääkö haastateltava, mitä on mallipohjainen tuotemäärittely. Kysymyksen jälkeen MBD:stä esiteltiin perusajatus lyhyesti, kahta 3D-pdf tiedostoa apuna käyttäen, ensimmäisessä oli yksittäinen koneistettava kappale ja toisessa kokoonpano. Asiasta käytiin avointa keskustelua hetki ennen seuraaviin kysymyksiin siirtymistä.

Toisessa kysymyksessä tavoitteena oli saada tietoa, onko alihankinnasta kysytty MBD-malleja tai ihan vain mitoitettuja malleja. Ei ole kysytty.

Seuraavaksi kysyttiin, onko alihankinnasta kysytty SOLIDWOKS natiivimalleja eli alkuperäisiä malleja ilman tiedostomuunnoksia. Kysymyksen tavoitteena oli selvittää olisiko MBD-malleille tarvetta, koska STEP 242 tiedonsiirtomuodolla saadaan siirrettyä natiivimallille tyypillisiä ominaisuuksia eri ohjelmien välillä. Myöskään näitä ei ole kysytty osista.

Viimeisenä oli vielä mahdollisuus kysyä, jos jokin aiheessa mietityttää. Tässä vaiheessa oli herännyt kysymys siitä, että viekö tällainen MBD-malli enemmän tilaa kuin STEP malli. Kun tilaukset tehdään sähköpostilla, niissä siirrettävä tiedostokoko on aika rajallinen.

3.4.4 Koteloverstas

Ensimmäisenä haluttiin tietää, onko haastateltavalla mitään tietoa siitä, mitä MBD on. Kysymyksen jälkeen MBD:stä esiteltiin perusajatus lyhyesti, kahta 3D-pdf tiedostoa apuna käyttäen, ensimmäisessä oli yksittäinen koneistettava kappale ja toisessa kokoonpano. Asiasta käytiin avointa keskustelua hetki ennen seuraaviin kysymyksiin siirtymistä.

Seuraavaksi kysyttiin, uskotaanko olevan jotain vaikutusta, jos CAM-ohjelma osaisi lukea toleranssitiedot automaattisesti. Jo aikaisemmin todettiin, että koteloiden kanssa ei oikein hyötyä, koska toleranssitietoja ei nytkään kirjata ohjelmaan.

Kolmantena selvitettiin, olisiko kiinnostusta kokeilla MBD-mallin käyttöä ohjelmoinnissa. Tähän vastattiin aika avoimin mielin, miksi ei, kunhan kaikki tarvittava tieto saadaan näkyviin.

Seuraavaksi kysyttiin, uskooko haastateltava, että olisi mahdollista siirtyä pois 2D-mittakuvista ja käyttää 3D-kuvaa dokumenttina. Tässä nähtiin hiukan ongelmana,

koneistajien mahdollisuus avata kuvia työpisteellä, eli kunhan ne saataisiin auki. Tarvittaisiin joko tietokone tai tablet-tietokone työpisteille.

Viimeisenä oli mahdollisuus, käydä vapaata keskustelua, jos on jotain ideoita tai kysymyksiä. Tässä kohtaa kommentoitiin, että MBD:llä jäisi pois ongelmia 2D- ja 3D-mallien eroavaisuuksista. Vuosien saatossa on siis ollut ongelmia, että 2D-mittakuva ja 3D-malli eivät vastaa toisiaan.

3.4.5 Välytosaverstas

Ensimmäisenä haluttiin tietää, onko haastateltavalla mitään tietoa siitä, mitä MBD on. Kysymyksen jälkeen MBD:stä esiteltiin perusajatus lyhyesti, kahta 3D-pdf tiedostoa apuna käyttäen, ensimmäisessä oli yksittäinen koneistettava kappale ja toisessa kokoonpano. Asiasta käytiin avointa keskustelua hetki ennen seuraaviin kysymyksiin siirtymistä.

Toisella kysymyksellä tarkoituksena oli selvittää, voisiko CAM-ohjelman automaattisella toleranssiedon lukemisella, vaikuttaa johonkin. Vastauksena satiin, että tottakai ainakin kirjaus virheet pitäisi poistua. Ohjelman pitäisi kuitenkin osata ottaa huomioon karkaisun aiheuttamat mittavaihtelut.

Seuraavaksi kysyttiin, olisiko kiinnostusta kokeilla MBD-mallia ohjelmoinnissa. Tähän vastattiin, että se on aika vaikeaa, kun käytössä kuitenkin pääasiassa makro-ohjelmointi. Mastercamin kanssa voisi kokeilla, mutta se on vasta kokeilukäytössä, joten ehkä joskus tulevaisuudessa.

Viimeisenä vielä kysyttiin, uskotaanko 2D-valmistuskuvasta pelkkään MBD-malliin siirtyminen mahdolliseksi. Tässä herätti hiukan ihmetystä, miksi paperisia 2D-valmistuskuvia käytetään vielä nykypäivänä. Uskottiin olevan mahdollista siirtyä MBD-malleihin.

3.4.6 Mittaus

Ensimmäisellä kysymyksellä oli tarkoitus selvittää, tietääkö mittaaja, mitä on mallipohjainen tuotemääritys. Kysymyksen jälkeen MBD:stä esiteltiin perusajatus lyhyesti, kahta 3D-pdf tiedostoa apuna käyttäen, ensimmäisessä oli yksittäinen koneistettava kappale ja toisessa kokoonpano. Asiasta käytiin avointa keskustelua hetki ennen seuraaviin kysymyksiin siirtymistä.

Toisella kysymyksellä oli tarkoituksena, selvittää voidaanko 3D-mallissa näkyvällä mitoituksella helpottaa kappaleiden hahmottamista. Tämän uskottiin vaikuttavan ainakin kappaleen koon hahmottamiseen.

Kolmannella kysymyksellä haluttiin selvittää, minkälaisia vaikutuksia olisi toleranssietojen automaattisella lukemisella käyttöön. Tämän uskottiin jättävän käsin toleranssietojen kirjaamisen pois.

Viimeisellä kysymyksellä selvitettiin, nähdäänkö 2D-valmistuskuvasta siirtyminen MBD-malliin mahdollisena. Tähän ei nähty mitään syitä miksi ei olisi mahdollista.

Haastattelussa jäi ylimääräistä aikaa loppuun, joten katsottiin kuvan 4 kappaleesta video, jossa tehdään mittausohjelma MBD-mallilla. Ohessa keskusteltiin videolla tapahtuvista asioista ja ihmetystä herätti, lähes automatisoitu mittausohjelman tuottaminen. Kappaleen todettiin olevan työmäärältään hyvin lähellä vaihteen koteloa.

3.4.7 Kokoonpano

Ensimmäisellä kysymyksellä oli tarkoitus selvittää, tietääkö haastateltava, mitä on mallipohjainen tuotemäärittely. Kysymyksen jälkeen MBD:stä esiteltiin perusajatus lyhyesti, kahta 3D-pdf tiedostoa apuna käyttäen, ensimmäisessä oli yksittäinen koneistettava kappale ja toisessa kokoonpano. Asiasta käytiin avointa keskustelua hetki ennen seuraaviin kysymyksiin siirtymistä.

Toisessa kysymyksessä selvitettiin, voisiko MBD-mallin visuaalisuus helpottaa kokoonpanon työtä jotenkin. Epäily oli, että MBD-malli voisi tehostaa 3D-mallin katselupuolta jossain määrin.

Kolmannella kysymyksellä haluttiin selvittää, nähdäänkö 2D-kokoonpanokuvien ja 3D-mallin korvaaminen MBD-malleilla mahdollisena. Sen uskottiin olevan täysin mahdollista, kunhan säilytetään ominaisuudet, joita tällä hetkellä on olemassa.

Neljännellä kysymyksellä haluttiin selvittää, millaisia vaikutuksia MBD-kokoonpanokuvalla olisi kokoonpanotyöhön. Kokoonpanossa on tällä hetkellä aina pieni epävarmuus, siitä vastaako 3D-malli 2D-kuvia. MBD-mallilla ei olisi kuin yksi dokumentti, jolloin sen olisi pakko pitää paikkaansa.

Viimeisenä selvitettiin, onko herännyt jotain kysyttävää. Haastateltavalla ei ollut mitään kysyttävää.

4 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli vastata tutkimuskysymyksiin, miten 3D-ympäristöä hyödynnetään yrityksessä tällä hetkellä, pystyisikö 3D-ympäristöä hyödyntämään paremmin yrityksessä ja mitä 3D-maailman paremmalla hyödyntämisellä olisi mahdollista saavuttaa? Osaan kysymyksistä vastataan tulevissa luvuissa osastokohtaisesti.

Haastattelujen pohjalta voidaan todeta, että 3D-malleja hyödynnetään jokaisella osastolla paljon enemmän kuin, on kuviteltu. 3D-mallit ovat tärkeä apuväline nykypäivän teknisessä myynnissä, tuotekehityksessä, valmistuksessa sekä kokoonpanossa, lisäksi alihankinnassa ja loppupään asiakkaalla on selkeä tarve 3D-malleille.

Haastattelujen pohjalta voidaan todeta, ettei oletus: *”3D-mallinnus on tällä hetkellä valmistuksen näkökulmasta lähes ylimääräinen työvaihe, joka vie kallista työaikaa suunnittelulta, antamatta kuitenkaan konkreettista lisähyötyä yritykselle.”* pidä ollenkaan paikkaansa. 3D-malleja hyödynnetään jokaisen osaston työssä paljon enemmän kuin, oli kuviteltu.

Työn alussa oli myös ajatus siitä, kuinka suunnittelu on hidastunut 3D-ympäristöön siirtymisen myötä. Työn aikana tähän otettiin kantaa moneen kertaan. Esiin nousi tieto siitä, ettei hidastuminen vaikuttaisi johtuvan 3D CAD-ohjelmista. Suunnittelun hidastuminen vaikuttaisi johtuvan tuotteiden monimutkaistumisesta ja globaalien ohjeistuksien lisääntymisestä.

4.1 Myynti

Teknisessä myynnissä 3D-mallien hyödyntäminen on hyvällä tasolla tänä päivänä. 3D-mallit ovat käytössä asiakkaan kanssa keskustelussa apuvälineenä ja ne ovat erittäin hyödyllisiä tuotteen ratkaisujen havainnollistamisessa asiakkaalle ja niiden avulla on helppo välttää väärinymmärtämisen mahdollisuuksia. 3D-mallit 2D-mittakuvan rinnalla mahdollistavat tuotteen esittämisen asiakkaalle helpommin ja houkuttelevammin, kuin pelkällä 2D mittakuvalla esiteltynä. Tilanteessa, jossa ollaan myymässä erikoisempaa asiakaskohtaisesti räätälöityä tuotetta, voidaan esitellä aikaisemmin tehtyjä toteutuksia asiakkaalle. Erilaisten

toteutuksien esittelyn kautta on helpompi valita asiakkaan kanssa juuri heidän tarpeeseensa sopivin vaihtoehto. Aikaisempia töitä voidaan käyttää referenssinä, jolloin on helppo näyttää suunnitteluun mitä asiakkaalle on luvattu. Asiakkailla on myös selkeästi tarve 3D-malleille, koska niitä kysellään jopa tarjousvaiheessa.

4.2 Suunnittelu

Suunnittelun osalta 3D-ympäristön hyödyntämisen selvittäminen jäi suurimmalta osaa tekemättä, koska haastattelija oli työskennellyt itse suunnittelijana yrityksessä. 3D-ympäristön hyödyntäminen on hyvällä tasolla suuressa osassa tuotteita, mutta myös poikkeuksia löytyy. Joissakin tuotteissa näkyy selvästi, että niitä on tehty 2D-ympäristössä pitkään. 2D-ympäristön heikko integraatio uusiin järjestelmiin hidastaa suunnittelua pidemmällä aikavälillä. Kuitenkin suurin osa uusista suunniteltavista tuotteista ja osista tehdään 3D-ympäristöön.

Suunnittelussa käytössä MBD-mallien esiasteisuutta, valamalla valmistettavien kappaleiden kanssa. Näissä kappaleissa on merkintä: valmistus 3D-mallin perusteella. MBD-mallin esiasteisuudella viitataan nimellismittojen kertomiseen 3D-mallilla, asiaa on käsitelty luvussa 2.1. MBD-mallien tuottamista ei nähty ongelmalliseksi, jos tarpeelliset työkalut hankitaan. Yrityksen globaalissa lisenssissä nämä työkalut ovat jo olemassa. Yrityksellä on olemassa muitakin työkaluja, joiden lisäkoulutuksella voisi tehostaa suunnittelun toimintaa. MBD-mallien yksi hallittava dokumentti viehätti selvästi ja se luultavasti tehostaisi hiukan suunnittelua, mutta mallin hyödyt tulevat esille paremmin muilla osastoilla.

4.3 Hankinta

Hankintaosaston arjessa 3D-malleja hyödynnetään automaattisesti lähinnä valuosien tilaamisessa ja 2D-valmistuskuvien ymmärtämisen apuvälineenä. Kaikki muut tuotteet tilataan 2D-valmistuskuvalla ja yleensä uusien yksittäisosien kanssa alihankinnasta kysellään lähes poikkeuksetta 3D-mallin perään. Tässä näkyy selkeästi nykyaikaisen teollisuuden tarve 3D-malleille. Vastaan on tullut myös tilanteita, joissa jotain tietoa on tarvinnut tarkastaa 3D-mallista, näissä yleensä vahinko on jo tapahtunut. Hankinnan osalta 3D-ympäristön parempi hyödyntäminen voisi tarkoittaa 3D-mallien automaattista lähetystä. 3D-mallien automaattisella toimituksella 2D-valmistuskuvan rinnalla olisi luultavasti mahdollista vaikuttaa toimitusaikoihin ja tuotteiden laatuun.

4.4 Koteloverstas

Koteloverstaalla 3D-ympäristöä hyödynnetään suhteellisen hyvin tänä päivänä. 3D-mallia käytetään työstörataohjelmoinnissa, jos sellainen on saatavilla. Koteloiden koneistuskuvat ovat menneet ajansaatossa huomattavasti vaikealukuisemmiksi ja siksi 3D-malleja käytetään myös 2D-valmistuskuvan rinnalla apuvälineenä.

Työstörataohjelmointia voisi olla mahdollista tehostaa, mikäli koteloista tehtäisiin MBD-mallit. Käytössä olevan CAM-ohjelman pitäisi osata lukea toleranssitietoa sekä kierteitys ja poraustietoa suoraan MBD-malleista. Koneistuksesta ei kuitenkaan välttämättä saada suuria hyötyjä aikaiseksi. Koteloiden koneistuksissa tarkat pinnat tehdään usein esimerkiksi avartimilla, jotka säädetään työpisteellä, joten toleranssien kirjaus ohjelmaan ei ole tarpeellista.

4.5 Välitysosaverstas

Välitysosaverstas erottui selkeästi muista osastoista 3D-ympäristön hyödyntämisessä. Siellä 3D-malleja hyödynnetään vain vähän, eikä niitä koeta tarpeelliseksi kappaleiden ollessa suhteellisen yksinkertaisia. Käytössä oleva makro-ohjelmointi on vastannut todella hyvin tarpeeseen luoda koneistusohjelmat. Käytössä olevalla makro-ohjelmoinnilla ei kuitenkaan pystytä tekemään monimutkaisempia ohjelmia, joten ohjelmia joudutaan muokkaamaan käsin. Välitysosaverstaalla on kokeilukäytössä Mastercam CAM-ohjelmisto, jolla olisi tarkoitus tulevaisuudessa tehdä monimutkaisempia ohjelmia, CAM-ohjelmoinnissa hyödynnetään 3D-malleja.

3D-mallien hyödyntämättömyyden takia, välitysosaverstaalla ei ole mahdollista suoraan hyödyntää MBD-malleja. MBD-mallien kanssa olisi varmasti mahdollista työskennellä, mutta siitä ei luultavasti saada varsinaista hyötyä irti.

4.6 Mittaus

Laadunvalvonnassa mitattavien kappaleiden 3D-malleja hyödynnetään ohjelman teossa, jos niitä on saatavilla. Yleisimmin mitattaviin osiin kuuluu kotelot, hammaspyörät, akselit ja moottorilaipat. Mittauksen työstörataohjelmoinnissa 3D-mallien hyödyntäminen on hyvällä tasolla. Työstörataohjelmoinnissa 3D-mallista määritetään käsin mitattavat pinnat ja niille kirjataan toleranssitieto manuaalisesti 2D-valmistuskuvasta. MBD-mallien kanssa

toleranssitietojen koneellinen lukeminen mahdollistaisi automaatiolla ohjelmien luomisen. Käytössä olevassa ohjelmistossa on myös täysi tuki MBD-malleille. Kotelon mittausohjelman luomisen arvioitiin vievän noin 1.5 h työaikaa 3D-mallin avulla ja tuplasti enemmän ilman 3D-mallia. Arviot osuvat hyvin aikaisemmin mainitun tutkimuksen kanssa linjaan. Tällaisen mittausohjelman tekeminen automaatiolla MBD-mallin avulla kestäisi arviolta alle 10 minuuttia.

4.7 Kokoonpano

3D-malleja hyödynnetään kokoonpanotyössä paljon mieluummin kuin 2D-kuvia niiden visuaalisuuden takia. 3D-ympäristön yleistymisen myötä vaihteiden uskotaan olevan lähempänä identtisiä samanlaisten kanssa, esimerkiksi öljyputkien osalta.

MBD-kokoonpanokuvien uskottaisiin tehostavan 3D-mallien katselua ja poistavan ongelman 3D-mallien ja kokoonpanokuvien välillä. MBD-kuvat herättivät kiinnostusta erityisesti niihin lisättävien ominaisuuksien takia. Kokoonpanon osalta on todella vaikea arvioida, mitä 3D-ympäristön paremmalla hyödyntämisellä, voitaisiin saavuttaa.

4.8 Kehitysehdotukset

Myynnin ja alihankinnan osalta olisi aiheellista miettiä voitaisiinko 3d-mallit lähettää automaattisesti latauslinkillä 2D-kuvien mukana. Suunnittelun työkalujen tietoutta olisi hyvä lisätä, esimerkiksi Solidworksin automaattisia mitoitustyökaluja. MBD-mallien tuottamista suunnittelussa olisi erittäin suositeltavaa kokeilla, jokin uusi vaihdekotelo olisi hyvä kokeilukohde. Samaa MBD-mallia kannattaisi kokeilla tuotannossa koteloverstaan ja mittauksen ohjelmoinnissa.

MBD-mallin kokeilulla voitaisiin mahdollistaa siis aikaisemmin mainitusti CAM- ja CMM-ohjelmien automatisointia esimerkiksi mitta- ja toleranssitiedonsiirron osalta ja vähentää näin virhemahdollisuuksia. Toleranssitiedon automaattinen lukeminen poistaisi tarpeen, kirjata tieto käsin mittakuvasta ohjelmaan. Yksi käytössä oleva dokumentti poistaisi virhemahdollisuuksia, dokumenttien vastaavuuksista toisiinsa nähden. MBD-mallien mahdollistama automatisointi nopeuttaisi mittaus ja koneistusohjelmien tekoa, katso luvut 2.1.2 ja 2.1.4.

4.9 Loppusanat

Tämä opinnäytetyö on tarjonnut ainutlaatuisen tilaisuuden syventyä 3D-ympäristöön ja sen tulevaisuuden mahdollisuuksiin SEW Industrial Gears Oy:lla. Matkan varrella olen saanut oppia uusia taitoja tutkimuksen tekemisessä ja analysoinnissa. Olen oppinut myös paljon mallipohjaisesta tuotemäärittelystä, josta on varmasti hyötyä ammatillisesti tulevaisuudessa. Näiden kokemusten kautta ammatillinen osaaminen on laajentunut huomattavasti.

Haluan esittää lämpimän kiitoksen SEW Industrial Gears Oy:n henkilökunnalle heidän tuestaan ja panoksestaan tämän opinnäytetyön parissa. Lämmin kiitos myös Hämeen ammattikorkeakoulun henkilökunnalle, joka on ollut tukemassa tätä matkaa.

Lopuksi haluan vielä kiittää kaikkia muita, jotka ovat tukeneet minua ja olleet mukana tässä matkassa. Olen kiitollinen kaikista oppimiskokemuksista ja mahdollisuuksista, joita tämä opinnäytetyö on tarjonnut minulle. Katson tulevaisuuteen innostuneena ja valmiina soveltamaan näitä oppeja tuleviin haasteisiin ja projekteihin. Kiitos vielä kerran kaikille!

Lähteet

Adobe. (n.d.) *PDF-dokumenttien suojaaminen salasanalla.*

<https://helpx.adobe.com/fi/acrobat/using/securing-pdfs-passwords.html>

Cambridge University Press. (2022). *Model-Based Definition Accelerates Product Life Cycle in Manufacturing and Inspection Phase – Experiment of Machined One-Off Production.* <https://doi.org/10.1017/pds.2022.66>

Cambridge University Press. (2022). Part 1 (a) and Part 2 (b) [kuva]. *Model-Based Definition Accelerates Product Life Cycle in Manufacturing and Inspection Phase – Experiment of Machined One-Off Production.* <https://doi.org/10.1017/pds.2022.66>

GoEngineer. (19.4.2017) *SOLIDWORKS MBD - Guide To Success* [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=P2bKgR9r0Xs>

Hawk Ridge Systems. (17.1.2023) *SOLIDWORKS MBD, DimXpert, and MBD Dimensions What's the Difference?* [video]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=PpyhPV3mHyl>

METSTA. (2016). *Malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet.*

<https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/08/MBD-raportti-2016.pdf>

METSTA. (2021). *Opastusta mallipohjaisen tuotemäärittelyn (MBD) käyttöönottoon.*

<https://metsta.fi/wp-content/uploads/2021/12/MBD-opas.pdf>

PTC. (n.d.). *Model-Based Definition* [kuva].

<https://www.ptc.com/en/technologies/cad/model-based-definition>

Rensi. (n.d.). *EDGE CAM.*

<https://www.rensi.fi/tuotteet/ohjelmistot/edgecam/edgecam/>

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. (2006-a). 1.2.2 *Laadullisen tutkimuksen elementit.* https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L1_2_2.html

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. (2006-b). 6.3.2 *Teemahaastattelu.*

https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3_2.html

SEW-EURODRIVE. (n.d.) *SEW-EURODRIVE Suomessa.*

https://www.sew-eurodrive.fi/yritys/mikae_meitae_liikuttaa/lc_karkkila.html

SFS-EN ISO 10303-242:2022. (2022). *Industrial automation systems and integration-Product data representation and exchange.* SEW sisäinen järjestelmä.

SFS-EN ISO 1101:2017. (2017). *Geometrisen tuotemäärittely (GPS). Geometriset toleranssit. Muodon, suunnan, sijainnin ja heiton toleranssit.* SFS Online.

SFS-EN ISO 16792:2021. (2021). *Tekninen tuotedokumentointi. Digitaalista tuotemäärittelytietoa koskevat käytännöt.* SFS Online.

Tech Soft 3D. (10.10.2016) *Enabling your Application with 3D PDF – Webinar*

[kuvakaappaus]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=QpZEGv-XC80>

ZEISS Industrial Metrology. (4.5.2023) #measuringhero | Episode 110: CAD & PMI in ZEISS CALYPSO [kuvakaappaus]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=vZPt3BsWxEA&t=70s>

ZEISS Industrial Metrology. (4.5.2023) #measuringhero | Episode 110: CAD & PMI in ZEISS CALYPSO [video]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=vZPt3BsWxEA&t=70s>

Liite 1. Haastattelun kysymykset

Teema 1: 3D-ympäristön hyödyntäminen myyntityössä

1. Millä tavoin hyödynnät työssäsi osien 3D -malleja
2. Kuinka usein asiakkaille lähetetään 3D-malli vaihteesta?
3. Kuinka usein asiakkaat pyytävät 3D-mallia vaihteesta?
4. Onko asiakkaiden ollut vaikea ymmärtää mittakuvia?

Teema 2: MBD-mallien mahdollisuudet myyntityössä

1. Tiedätkö mitä mallipohjaisella tuotemäärittelyllä (MBD) tarkoitetaan?

Esittele 3D-pdf tiedostolla kevyesti MBD!

2. Voisiko MBD-mallin visuaalisuudella helpottaa myyntiä?
3. Olisiko hyvä lähettää mittakuvan mukana automaattisesti 3D-malli?
4. Onko jotain kysyttävää MBD:stä tai 3D-maailman hyödyntämisestä tai ideoita?

Teema 1: 3D-ympäristön hyödyntäminen suunnittelussa

1. Koetko että 2D-valmistuskuvalla on helppo kertoa riittävän hyvin, miten osa valmistetaan?
2. Koetko 2D-valmistuskuvan tekemisen joskus ylimääräisenä työnä 3D-mallin rinnalle? Milloin?O
3. saatko arvioida, kuinka paljon aikaan menee keskimäärin yhden 2D-valmistuskuvan tuottamiseen?
4. Osaatko arvioida, kuinka monta uutta 2D-valmistuskuvaa keskimäärin tuotetaan viikossa yhden suunnittelijan toimesta?
5. Mitä standardeja uudemmissa vaihdesarjoissa käytetään yleistoleroinnin osalta?

Teema 2: MBD-mallien mahdollisuudet suunnittelussa

1. Tiedätkö mitä mallipohjaisella tuotemäärittelyllä (MBD) tarkoitetaan?

Esittele 3D-pdf tiedostolla kevyesti MBD!

2. Koetko että suunnittelussa olisi mahdollista tuottaa MBD-malleja? Miksi?
3. Olisitko valmis siirtymään mallipohjaiseen tuotemäärittelyyn osittain tai kokonaan? Miksi?
4. Koetko että tuotteiden muutostilanteessa kuvia olisi helpompi hallita, jos olisi vain yksi dokumentti (MBD-malli) 2D-valmistuskuvan ja 3D-mallin sijaan?
5. Koetko että suunnittelussa tarvittaisiin lisää koulutusta ohjelmien lisäosien käyttöön?
6. Herättääkö MBD jotain kysymyksiä tai ideoita hyödyntämisestä?

Teema 1: 3D-ympäristön hyödyntäminen hankinnassa

1. Millä tavoin hyödynnät työssäsi osien 3D-malleja?
2. Kysytäänkö alihankinnasta usein kappaleiden 3D-malleja tai lähetetäänkö ne automaattisesti 2D-valmistuskuvan mukana?
3. Olisiko 2D-valmistuskuvan mukana hyvä lähettää automaattisesti aina 3D-malli? (Jos ei tällä hetkellä lähetetä)
4. Onko 2D-valmistuskuvien ymmärtämisessä ollut vaikeuksia?

Teema 2: MBD-mallien mahdollisuudet hankinnassa

1. Tiedätkö, mitä mallipohjaisella tuotemäärittelyllä (MBD) tarkoitetaan?

Esittele 3D-pdf tiedostolla kevyesti MBD!

2. Onko alihankinnasta kysytty mitoitettuja 3D-malleja (MBD)?
3. Onko alihankinnasta kysytty SOLIDWORKS natiivimalleja?
4. Herääkö jotain kysymyksiä?

Teema 1: 3D-ympäristön hyödyntäminen koteloverstaalla/välitysosaverstaalla

1. Mitä ohjelmaa työstörahojelmointiin käytetään?
2. Jos käytetään EDGECAM-ohjelmaa, onko kokemusta Strategy Managerista?
3. Tehdäänkö työstöradat CAM-ohjelmoinnilla vai ohjelmoidaanko niitä myös käsin?
4. Kuinka kauan menee aikaa keskimäärin yhden ohjelman luomiseen CAM ohjelmassa?
5. Hyödynnetäänkö 3D-mallia CAM-ohjelman teossa?
6. Kirjataanko toleranssiedot ohjelmaan käsin 2D-valmistuskuvasta?
7. Onko 2D-valmistuskuvat helposti ymmärrettävissä vai tarvitaanko rinnalle 3D-malli?

8. Kuinka monta ohjelmaa luodaan keskimäärin esimerkiksi viikossa?
9. Kuinka usein toleranssien kirjaus ohjelmaan virheellisesti, aiheuttaa esimerkiksi viallisen kappaleen tai muita ongelmia?
10. Olisiko CAM-ohjelmoinnista olemassa valmista mittausdataa ajankäytön suhteen?

Teema 2: MBD-mallien mahdollisuudet koteloverstaalla/välitysosaverstaalla

1. Tiedätkö mitä mallipohjaisella tuotemäärittelyllä (MBD) tarkoitetaan?

Esittele 3D-pdf tiedostolla kevyesti MBD!

2. Jos CAM-ohjelma osaisi lukea toleranssitiedon automaattisesti 3D-mallista käyttöön, uskoisitko sen vaikuttavan ohjelmien tekemiseen jotenkin? Miten?
3. Olisiko kiinnostusta kokeilla MBD-mallin käyttöä ohjelmoinnissa?
4. Uskotko että olisi mahdollista siirtyä pois 2D-mittakuvista ja käyttää 3D-kuvaa dokumenttina? (näytetty esimerkkinä 3D-pdf)
5. Herättääkö MBD jotain kysymyksiä tai ideoita hyödyntämisestä?

Teema 1: 3D-ympäristön hyödyntäminen mittauksessa

1. Mitä ohjelmia mittauksessa käytetään?
2. Onko 3D-ympäristöön siirtymisestä ollut selkeää hyötyä laadun näkökulmasta?
3. Mitkä komponentit mitataan koordinaattimittakoneella?
4. Hyödynnetäänkö tällä hetkellä 3D-malleja mittausohjelmien teossa?
5. Kirjataanko 2D-valmistuskuvasta käsin tietoa mittausohjelmaan? Mitä?
6. Tehdäänkö paljon yksittäisten kappaleiden mittaamiseen ohjelmia?
7. Kuinka kauan yhden ohjelman tekeminen keskimäärin kestää?
8. Käytetäänkö ohjelmien tekemiseen paljon aikaa viikoittain?
9. Olisiko CAI-ohjelmoinnista olemassa valmista mittausdataa ajankäytön suhteen?

Teema 2: MBD-mallien mahdollisuudet mittauksessa

1. Tiedätkö mitä mallipohjaisella tuotemäärittelyllä (MBD) tarkoitetaan?

Esittele 3D-pdf tiedostolla kevyesti MBD!

2. Auttaisiko 3D-mallissa näkyvässä oleva mitoitus ja toleranssitieto kappaleiden hahmottamista?

3. Helpottaisiko kappaleen toleranssitiedon automaattinen luku mittausohjelman tekemistä?
4. Uskotko että olisi mahdollista siirtyä pois 2D-mittakuvista ja käyttää 3Dkuva dokumenttina? (näytetty esimerkkinä 3D-pdf)
5. Onko aiheeseen liittyen jotain kysyttävää?

Teema 1: 3D-ympäristön hyödyntäminen kokoonpanossa

1. Millä tavoin kokoonpanossa hyödynnetään osien 3D-malleja?
2. Onko 3D-ympäristöön siirtymisessä seurannut jotain selkeitä hyötyjä?
3. Ovatko 2D-kokoonpanokuvat helposti ymmärrettäviä?
4. Onko jotain kysyttävää tai ideoita 3D-maailman hyödyntämisestä?

Teema 2: MBD-mallien mahdollisuudet kokoonpanossa

1. Tiedätkö mitä mallipohjaisella tuotemäärittelyllä (MBD) tarkoitetaan?

Esittele 3D-pdf tiedostolla kevyesti MBD!

2. Voisiko MBD-mallin visuaalisuudella helpottaa kokoonpanoa jotenkin?
3. Uskotko että olisi mahdollista siirtyä pois 2D-kokoonpanokuvista ja käyttää MBD-kokoonpanokuvaa dokumenttina? (näytetty esimerkkinä 3D-pdf)
4. Minkälaisia vaikutuksia MBD-kokoonpanokuvalla olisi kokoonpanoon?
5. Onko jotain kysyttävää MBD:stä tai ideoita?