

Opinnäytetyö AMK  
Kone- ja tuotantotekniikan insinööri  
2021

Joonas Kärppä

# KAIVOSTYÖKONEEN VALMISTUSRAKENTEEN KEHITYSTYÖ



OPINNÄYTETYÖ AMK/ TIIVISTELMÄ  
TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone -ja tuotantotekniikan insinööri  
2021

Joonas Kärppä

# KAIVOSTYÖKONEEN VALMISTUSRAKENTEEN KEHITYSTYÖ

Tämä opinnäytetyö tehtiin Sandvikin toimeksiannosta.

Työssä tarkoituksena oli Sandvikin Turun tehtaalla valmistettavan kaivostyökoneen tuoterakenteeseen liittyvän valmistuksen rakennedokumentaation toimintaympäristön kehittäminen yrityksen PLM-ympäristöön.

Työssä hyödynnettiin Siemens Teamcenter -ohjelmiston Multi-Structure Manager -sovelusta, johon valmistuksen liittyvät tiedot liitettiin. Työn tarkoituksena oli kokeilla (pilotti 1) kaivostyökoneen valmistusdokumentaation soveltuvuutta edellä mainittuun järjestelmään. Pilotti 1 -kokeilusta saatujen kokemusten perusteella tehtiin päätös tarpeellisista jatkotoimenpiteistä sekä arvioitiin järjestelmän soveltuvuutta kaivostyökoneen valmistusrakenteeseen.

Yrityksen tavoitteena on saada hajallaan oleva valmisdokumentaatio keskitetyksi saman järjestelmän alle. Näin ollen tuotteen kehittäminen ja valmistaminen ovat laadukkaampia nykyiseen toimintamalliin verrattuna ja dokumentaation ajantasaisuus on varmistettu.

ASIASANAT:

Valmistusrakenne, BOM, PLM.

Turun AMK:N OPINNÄYTETYÖ / Joonas Kärppä

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering

2021 | 40 pages

Joonas Kärppä

# MINING WORK MACHINE MANUFACTURE PRODUCT STRUCTURE DEVELOPING

This thesis was commissioned by Sandvik Turku

The purpose of the thesis work was to develop the operating environment for the production of the construction product documentation for the PLM-environment at Sandvik's Turku plant. The project utilized the Multi-structure Manager application of Siemens Teamcenter software, to which the manufacturing-related information was attached. The purpose of this work was to test (pilot 1) the suitability of the mining machine manufacturing documentation for the above system. Based on the experience of the pilot 1 experiment, a decision was made on the necessary follow-up and the suitability of the aforementioned system for the mining machine manufacturing structure was assessed.

The company's goal is to get scattered ready-made documentation centrally under the same system. As a result, product development and manufacturing are more extensive than the current operating model and the timeliness of the documentation is assured.

KEYWORDS:

Product structure, BOM, PLM.

Turun AMK:N OPINNÄYTETYÖ / Joonas Kärppä

## KÄYTETYT LYHENTEET

BOM	Osaluettelo, Bill of Materials
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu
ERP	Enterprise Resource Planning. Yritysten resurssien hallintaprosessi
FEM	Finite Element Method, elementtimenetelmä, lujuusimulointisovellus
IDIC	ID in context
JT-malli	Kevytversio 3D-mallista
MPP	Manufacturing process planner
Product Life cycle Management	Tuotteen elinkaaren hallinta
PDM	Product Data Management. Tuotetiedon hallintaprosessi
PLM	Product Lifecycle Management. Tuotetiedon elinkaaren hallinta
PPM	Planned preventative maintenance. Toimintaprosessien kokonaisvaltainen hallinta
Rakennedokumentaatio	Tuotteen rakenteeseen liittyvä dokumentaatio
Valmistusdokumentaatio	Tuotteen valmistukseen liittyvä dokumentaatio

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b> .....	1
1.1. Työn tarkoitus ja rajaus .....	1
1.2. Yritysesittely .....	3
<b>2 PLM TUOTETIEDON HALLINTA</b> .....	5
2.1. PLM:n teoria .....	6
2.2. PLM sovellukset ja työkalut .....	8
2.3. BOM .....	9
2.4. CAD .....	9
2.5. PDM .....	10
2.6. ERP .....	11
<b>3 FMEA</b> .....	12
3.1. FMEA yleisesti.....	12
3.2. FMEA analyysien jaottelu .....	13
<b>4 TUOTANNON OHJAUSJÄRJESTELMÄT</b> .....	15
4.1. Siemens Teamcenter .....	15
4.1.1. Muutoshallinta.....	16
4.1.2. Siemens multi structure manager.....	18
4.1.3. Structure manager .....	19
4.1.4. Reports .....	20
4.1.5. Aputyökalut .....	21
4.2. Roima intelligence Lean ERP.....	22
<b>5 SANDVIK KAIVOSTYÖKONEET</b> .....	23
5.1. TH663i.....	23
5.2. TH551i.....	24
<b>6 VALMISTUSRAKENTEEN KEHITYSTYÖ</b> .....	25
6.1. Lähtötiedot Pilotti 1:een .....	25
6.2. Dokumentaation käytettävyys .....	25
6.3. Collaboration container .....	26
6.4. Nimikkeen ostotason ja vaiheistustiedon määrittäminen.....	27
6.5. Nimikkeen assignaus .....	28
6.6. Tietojen soveltuvuus Siemens- järjestelmään .....	29
6.7. Tietojen käytön kokeilut Siemens-järjestelmässä.....	30
<b>7 LÖYDÖKSET JA SUOSITUKSET</b> .....	31
7.1. Pilotti 2:n lähtötiedot.....	31
7.2. Pilotti 2.....	31
<b>8 JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	33
<b>LÄHTEET</b> .....	34

# 1 JOHDANTO

## 1.1. Työn tarkoitus ja rajaus

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on Sandvik Mining and Rock Technologies Turku. Opinnäytetyön tarkoitus on selvittää yrityksen valmistaman kaivostyökoneen tuoterakenteen soveltuvuutta PLM-tuotedokumentaation hallintajärjestelmään.

Kohteena oli kaivostyökoneen rakenteen dokumenttien sijoittaminen PLM-järjestelmään. Tarkoituksena oli myös tehostaa kaivostyökoneiden tuotantoa siten, että kaikki valmistusdokumentaatio on sijoitettu systemaattisesti tietokantaan, se on ajantasaista ja tukee tuotannon kokoonpanotyötä. PLM-järjestelmän käyttö antaa paremmat mahdollisuudet kokoonpanojen tehostamiseen, tuotemuutosten käyttöönottoon sekä uusien tuotteiden ylös ajoon.

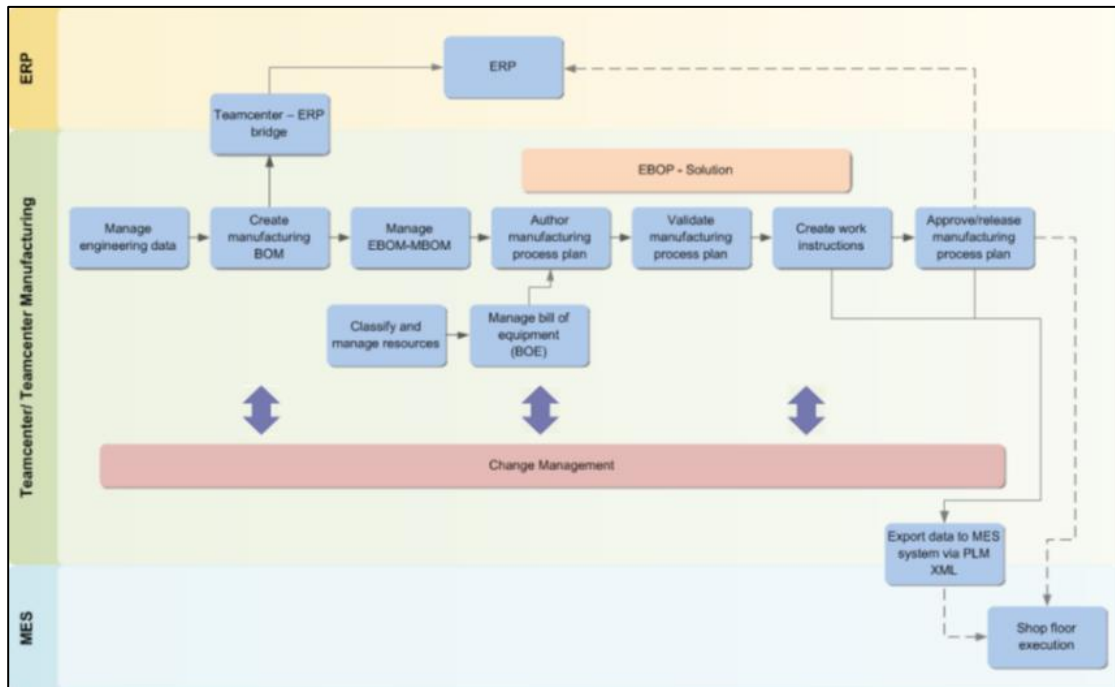
Työn tavoitteena on pilotoida rakennedokumentaation käytettävyyttä mikä tarkoittaa käytännössä olemassa olevan rakennedokumentaation tallentamista PLM-järjestelmään. Rakennedokumentaatio sisältää kaivostyökoneen kokoonpantavuuteen liittyvää sähköistä dokumentaatiota, kuten kokoonpanokuvat, asennusohjeet sekä tuotantologistiikkaan liittyvän sähköisen dokumentaation. Lisäksi tuotannossa olevaa ns. hiljaista tietoa muutetaan sähköiseen dokumentaatioon.

Opinnäytetyön tutkimuskysymyksenä on:

Miten nykyisen kaivostyökoneen rakennedokumentaatio saadaan luotettavimmin valittuun PLM-ympäristöön ja miten PLM-ympäristöä voidaan hyödyntää optimaalisesti kaivostyökoneen valmistuksen kokoonpanovaiheissa?

Rakennedokumentaatiolla tarkoitetaan tuotannossa tuotteiden kokoonpanossa hyödynnettävää dokumentaatiota, esimerkiksi kokoonpano-ohjeistuksia ja komponenttietietoja.

Kuvassa 1 on esitetty tiedonkulkuprosessi. Tässä työssä keskitytään kuvan 1 prosessin kahteen ensimmäiseen prosessin osaan: "Manage engineering data" -osaan ja "Create manufacturing BOM" -osaan.



Kuva 1. Valistusrakenteen toimintaprosessi. (Siemens 2019)

Opinnäytetyössä perehdytään PLM-järjestelmään, dokumentaation tallentamiseen em. järjestelmään, kokeillaan järjestelmän toimivuutta sekä raportoidaan löytyneet ongelmat ja kehitystarpeet.

Tämän opinnäytetyön konkreettisenä tuloksena syntyy valittuun tuotteeseen liittyvä rakennedokumentaatio, joka on osa yrityksen PLM-järjestelmää. Rakennedokumentaatio tehdään siihen valmiusasteeseen, että se voidaan koekäyttää.

Lähdemateriaalina on käytetty pääosin PLM-järjestelmätoimittajan tuotetietoja sekä Sandvik Mining Turun tuoterakenteita.

## 1.2. Yritysesittely

Sandvik Mining and Rock Technology Oy kuuluu Sandvik Group -konserniin. Se on kansainvälinen kaivostoiminnan raskaiden työvälineiden kehittäjä ja toimittaja. Sandvik Mining and Rock Technologies Oy:n (ent. Sandvik Mining and Construction Oy, ent. Tamrock Oy) liikevaihto oli vuonna 2017 lähes 950 miljoonaa euroa. Yritys teki voittoa tuona vuonna noin 120 miljoonaa euroa. Työntekijöitä yrityksessä on yhteensä noin 43 000 henkilöä.

Sandvikilla on Suomessa toimintaa Turussa, Tampereella, Lahdessa ja Vantaalla. Yritys työllistää Suomessa tällä hetkellä arviolta noin 2400 henkilöä. Turussa Sandvikilla työskentelee noin 650 työntekijää. Turussa Sandvik valmistaa kauhakuormaajia (lastareita) ja kuorma-autoja (dumppereita). Kuvat 2 ja 3. Turussa sijaitsee myös laitteiden ja teknologian osaamiskeskus. (Turun Sanomat 2019)

Yhtiö tuottaa kaivostoiminnan tarpeisiin materiaalinkäsittely- ja louhintalaitteita, kova-metallityökaluja ja niihin liittyviä palveluita. Yrityksellä on myös huolto- ja ylläpitopalvelu. Yhtiö panostaa voimakkaasti tuotekehitykseen tuoden markkinoille uusia innovaatioita. (Sandvik)





Kuva 2. Sandvik TH663 dumperi. (Sandvik 2018)



Kuva 3. Sandvik TH551i. (Sandvik 2018)

## 2 PLM TUOTETIEDON HALLINTA

Yrityksen toimintaan liittyy erilaisia tekijöitä kuten organisaatioita, tuotteita, toimintaympäristöjä, tarpeita ja vaatimuksia. Ennen kaikkea kaiken ytimessä on itse ihmisten välinen kommunikaatio ja toiminta. Näiden erilaisten tekijöiden välillä tiedonkulku tulee olla mahdollisimman sujuvaa ja tiedon tulee olla ajantasaista sekä helposti hyödynnettävää. Puhutaan tiedolla johtamisesta. (Saaksvuori 2008, 1-9) Tiedolla johtamiseen on kehitetty eri tarkoituksiin sopivia tiedonhallintajärjestelmiä. Niiden yhteistä tiedon hallintaan liittyvästä prosessista käytetään nimitystä PLM-järjestelmä (Product Lifecycle Management). PLM:n sisällä on siis lukuisia tiedon hallinnan sovelluksia. Haasteeksi on noussut eri sovellusten välinen toimintojen ja tiedostojen yhteensopivuus sekä tietojen oikeellisuus. Järjestelmiä on pyritty automatisoimaan siten, että inhimillisten virhelähteiden määrää voidaan minimoida.

PLM-järjestelmä ei tule ehkä koskaan ”valmiiksi”, vaan siihen liittyy jatkuva kehittäminen. Tarkoituksena on tarjota kehykset palvelujen, toimintojen ja tuotteiden jatkuvaan laadun parantamiselle. (SFS-EN ISO 9001:2015, 5.)

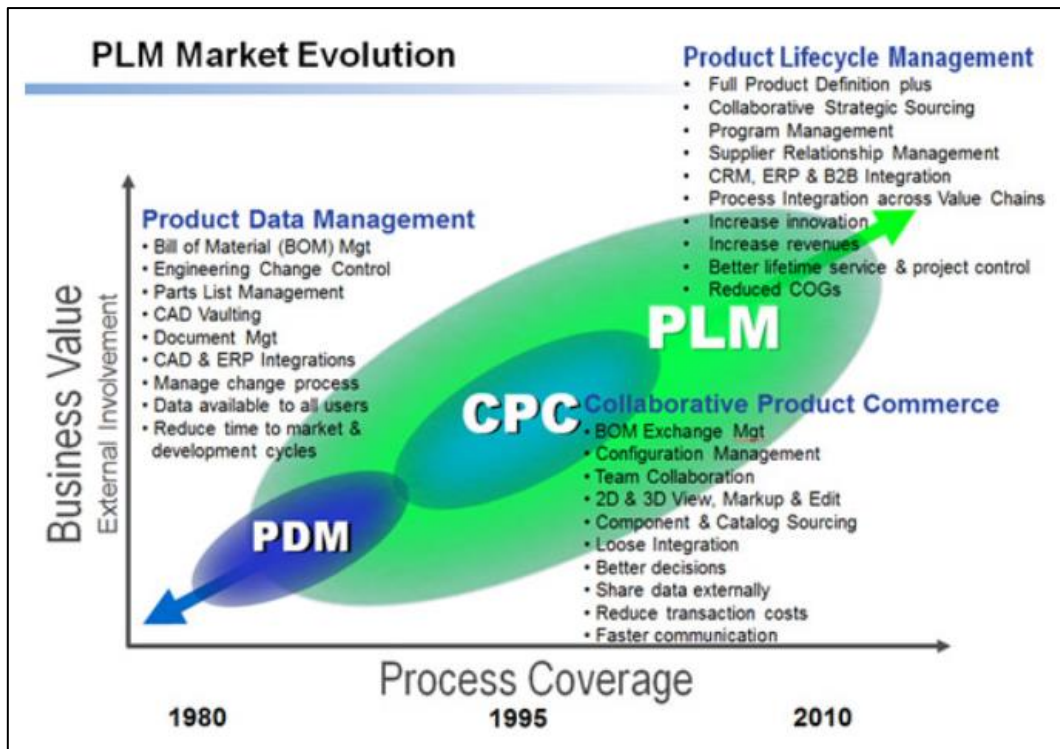


Kuva 4. Siemens PLM toimintaympäristö ([maktechnologiesllc.com/PLM.html](http://maktechnologiesllc.com/PLM.html))

## 2.1. PLM:n teoria

Tuotteen elinkaaren aikaisen tuotedokumentaation hallinnasta käytetään yleisesti nimitystä PLM (engl. Product Lifecycle Management). Siihen kuuluu tuotetiedon hallinnan sisältöön liittyviä toimintoja. Tällaisesta tuotetiedon hallinnasta käytetään nimitystä PDM (engl. Product Data Management). PDM käsittää yleisesti eri tyyppisiä ohjelmistoja, joilla hallitaan tuoterakenteisiin liittyviä asioita, kuten osakoodeja ja tuotekonfiguraatioita. PLM on laajempi kokonaisuus, jolla hallitaan tuotteen koko elinkaaren aikaisia tapahtumia. PLM sisältää myös toimintafilosofisia ajattelumalleja. Kuva 5 kertoo yleisesti PLM-ajattelun ja sovellusten kehityksen.

Teollisuudessa onkin kiinnitetty huomiota enemmän tuotetiedon hallinnasta (PDM) tuotteen elinkaaren aikaiseen tiedon hallintaan. PLM:n käyttö on tärkeää, koska se mahdollistaa tuotteiden hallinnan koko sen elinkaaren ajan. Tuotehallinnan menetys johtaa helposti vakaviinkin ongelmiin tuotteiden suunnittelussa, valmistuksessa, käytössä, huollossa ja markkinoinnissa. Hyvän asiakastyytyväisyyden taustalla on lähes aina hallittu ja toimiva tuotetiedonhallintajärjestelmä. PLM:n rooli on sidottu kiinteästi yrityksen tuottamiin tuotteisiin ja palveluihin sekä lopulta yrityksen tuloksellisuuteen. (Stark 2011.)



Kuva 5. PDM:n ja PLM:n kehityskulku. (Sopheon)

Yritysten liiketoiminnot ovat käytännössä niin erilaisia, ettei ole mahdollista käyttää täsmälleen samanlaista PLM-prosesseja. Esimerkiksi tuote-, projekti- ja toimitussuuntauneilla yrityksillä on samoja PLM-prosesseja, mutta niiden toiminnot vaihtelevat. Kuvassa 6 on esitetty viisi yrityksillä yleisesti toimivaa tuotteen elinkaareen liittyviä prosessia. Ne ovat tuotteen ideointi-, tuotemäärittely-, valmistus-, tuotetuki- ja markkinoilta poistoprosessit. (Stark 2011, s146)



Kuva 6. Yritysten yleiset toimintaprosessit. (Stark 2011, s146)

## 2.2. PLM-sovellukset ja työkalut

Tuotetiedon hallintaan on käytössä paljon erityyppisiä tuotetiedon hallinnan prosesseja ja sovelluksia PLM:n näkökulmasta. Kuvassa 7 on esitetty yleisempiä käytössä olevia tuotetiedon hallinnan sovelluksia. (Stark 2011, 171-224) Lisäksi yrityskohtaista räätälöintiä sovellusten suhteen tehdään paljon.

CAD	CAE	CAID	CAM	CAPE
CAPP	CASE	CSM	DMU	EDI
ECM	EDA	EDM	FEA	IPM
KBS	LCA	MRP	NC	PDM
PM	RP	SCM	TDM	VR

Kuva 7. Esimerkkejä PLM-sovelluksista (Stark 2011, 171)

Seuraavassa on esitelty tässä työssä käytettyjä PLM-sovelluksia.

## 2.3. BOM

BOM (Bill of Materials) rakenteella hallitaan tuotteen komponentteja. Se on tuotteen rakenteen kuvaus siitä, mistä osista tai ”asioista” kyseinen tuote on rakennettu. Teollisuudessa puhutaan usein osaluettelosta, mutta BOM sisältää myös muita tuoterakenteeseen liittyviä asioita, kuten valmistusohjeita. Niinpä BOM-sovellukset voidaan jakaa niiden käyttötarkoituksen mukaan, kuten eBOM (Engineering BOM) joka käsittelee tuotteen rakennetta, mBOM (Manufacturing BOM) joka tarkastelee tuoterakennetta valmistuksen kannalta ja sBOM (service BOM) jossa tuoterakenne on liitetty käytettävyyteen ja huollettavuuteen sekä tuotteen elinkaaren loppupuolen vaiheisiin. (Rushton 2000)

## 2.4. CAD

Computer Aided Design (CAD) on yleistermi niille tuotetiedonhallinnan sovelluksille, joilla tuotetaan varsinaisia tuotteen digitaalisia malleja ja sen kautta itse tuoterakenteet. CAD-ympäristössä luodaan tuotteesta digitaalisia 3D-malleja, joilla on todellisuutta vastaava materiaali, massa ja geometria. Mallit ovat siis lähtökohta kaikille tuotetiedonhallinnan toiminnoille. 3D CAD-mallilla voidaan testata tuotteen kestävyys (FEM-sovellukset) valmistettavuus, kokoonpantavuus (DFMA-sovellukset), asennettavuus ja yhteensopivuus erityyppisiin käyttöympäristöihin. 3D-mallista voidaan valmistaa kappaleita myös ainetta lisäävillä menetelmillä. (esim. 3D-tulostaminen) CAD 3D -malleja käytetään usein myös tehdasympäristöjen (lay-out) suunnittelussa ja tuotemarkkinoinnissa. CAD antaa mahdollisuuden myös asiakkaalle osallistua tuotesuunnitteluun.

CAD on kustannustehokas tapa luoda uusia tuotteita ja yleisesti CAD 3D-mallit ovat perusedellytys toimivalle PLM-toiminnalle. Teollisuudessa on käytössä useita eri kaupallisia CAD-sovelluksia, kuten Creo, CATS, Solid works, Siemens NX, Visualization ja Vertex. Eri sovellusten keskinäinen käytettävyys on ratkaistu yleisillä tiedostoformaateilla, kuten DXF, XML, .STEP, .IGES ja .STL. (Saaksvuori 2008, 42) Näin ollen 3D-mallien hyödyntäminen on laajentunut siten, että niitä voidaan käyttää helposti muissakin digitaalisissa sovelluksissa, kuten lujoussimuloinneissa ja rakenteiden optimoinnin sovelluksissa. (esim. Ansys ja Fusion 360, Autodesk )

## 2.5. PDM

Tuotteen hallintasovellus PDM (Product Data Management) on tuotetiedonhallinnan kokonaisuuden tärkeimpiä sovelluksia. Siinä hallitaan tuotetietoa koko elinkaaren ajan. Siihen liittyvät tuoteeseen liittyvät tekijät, kuten teknisten dokumenttien sähköinen hallinta, tuotereklamaatiot ja laadunhallintadokumentit. Toimiva tuotehallintajärjestelmä mahdollistaa monimutkaistenkin tuotetakenteiden hallitun käsittelyn ja kehittämisen. Sen hyötyjä on esitetty taulukossa 1. (Stark 2011, 205–224)

Taulukko 1. Toimivan PDM sovelluksen hyötyjä. (Stark 2011, 216) Muokattu.

Hyötykategoria	Esimerkkejä hyödyistä
Tiedonhallinta	Mahdollistaa yksinkertaisen, hallitun tuoteinformaation Erilaiset tuoteinformaation jaottelut eri tarpeisiin Nopea pääsy tietoihin Tuoterakenteiden (konfiguraatiot) hallinta
Tiedon kierrätys	Mahdollistaa olemassa olevien tuoterakenteiden ja designin hyödyntämisen muissa (uusissa) tuotteissa. Vähentää päällekkäisen tiedon olemassaoloa
Työnkulun hallinta	Varmistaa tarkoituksenmukaisten prosessien seurannan Parantaa työn jakamista ja resursointia Varmistaa toimintaprosessien noudattamisen
Suunnittelun muutosten hallinta	Nopeuttaa tuotemuutosten hallintaa, tarkastusta ja hyväksymisprosesseja Selkeyttää versionhallintaa ja -jäljitettävyyttä
Liiketoimintaan liittyvien ongelmien ratkaiseminen	Resurssien käytön optimointi Pienentää pääomakustannuksia
Toiminnallisuuden hallinta	Parantaa tuotteen suunnittelun tehokkuutta

	Lisää aikataulujen ja ajoitusten tarkkuutta Takaa korkealuokkaisen tiedon hallinnan
Tuotteen kehityksen hallinta	Parantaa projektin vuorovaikutusta muiden kanssa Vähentää tuotekehityksen aikatauluriskejä
Tuotteen kehittämisen automatisointi	Automatisoi tuotteen alasajon prosessia Automatisoi eri käyttöjärjestelmien välistä tiedonsiirtoa
Tietojärjestelmien tehokkuuden parantuminen	Yhdistää eri tietojärjestelmiä toisiinsa Poistaa tarpeettomia järjestelmiä
Tuotteen kehittämisen työkalut	Tukee tuotekehityksen sovelluksia ja toimintoja Tiedon säilytys, käsittely ja jakaminen tapahtuu sähköisesti
Nimike	Komponentti tai osakokonaisuus

## 2.6. ERP

Yrityksen johtamiseen ja resurssien suunnitteluun on rakennettu ERP- tiedonkäsittelyjärjestelmä (Enterprise Resource Planning). Siinä yhdistetään samaan yhteiseen tiedonkäsittelyjärjestelmään henkilöstön resurssien, taloushallinnon, markkinoinnin, myynninjohtamisen, laskentatoimen, tuotannon sekä tuotesuunnittelun toiminnot. ERP:n tosiasiallisena tehtävänä on hallita ja ohjata yrityksen tietovirtoja (data), rahavirtoja, henkilöstöä sekä materiaaleja. (Saaksvuori 2008, 59)

## 3 FMEA

FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) on menetelmä, jossa analysoidaan tuotteiden ja toiminnan toimintavarmuuden ja -riskien analysointityökalu pääasiassa teollisuuden, etenkin auto- ja elektroniikkateollisuuden käyttöön. FMEA-analyysijä käytetään



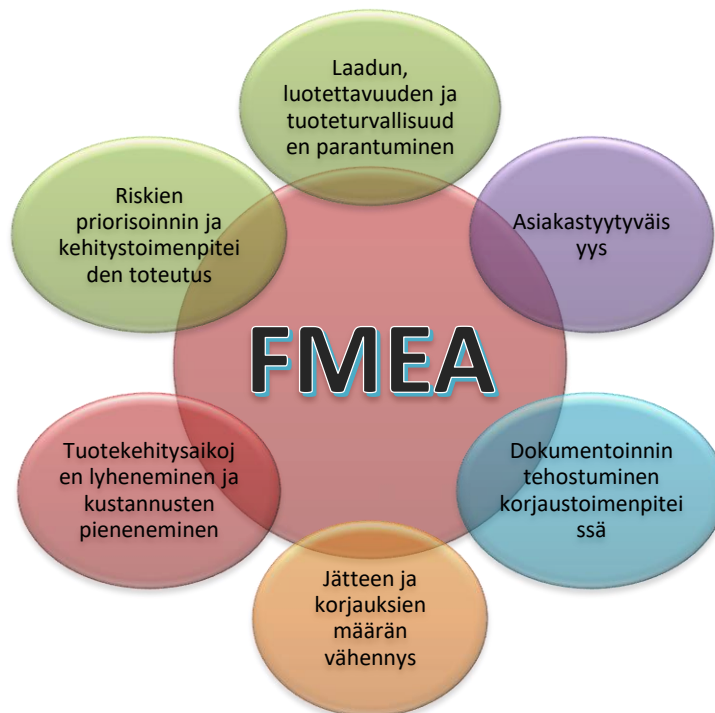
tetään laajasti eri toimialoilla, kuten prosessien analysoinneissa, tuotteiden suunnittelussa, tuotannon eri tarpeissa sekä jopa hallinnossa. FMEA:sta käytetään myös suomenkielistä nimitystä, vika- ja vaikutusanalyysiä. (McDermott 2009)

### 3.1. FMEA yleisesti

FMEA-analyysin tarkoituksena on löytää erityyppiset poikkeamat vaatimuksista sekä tunnistaa niiden vaikutukset. Samalla saadaan mahdollisuus kehittää tuotteita ja toimintoja laadukkaimmiksi sekä ennakoida ja minimoida mahdollisten riskien vaikutukset. Kuva 8. FMEA liittyy prosessien jatkuvaan kehittämiseen ISO 9001 periaatteiden mukaisesti ja se on tehokas laadunhallinnan työkalu.

FMEA prosessina mahdollistaa osaltaan pienemmän vikaantumistodennäköisyyden ja myös sitä kautta lisää kustannustehokkuutta. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi tuotekehitysprojekteissa niiden alkuvaiheessa. Näin ollen tuotesuunnittelijat voivat ottaa jo tuotekehityksen alkuvaiheissa huomioon tulevat vikaantumistodennäköisyydet. On yleisesti tiedetty, että tuotteen suunnittelussa määritellään jopa 85% lopputuotteen kustannuksista. (Jiao 1999 ja Brenke 2014)

Analyysit tehdään yhteistyössä eri toimijoiden kesken. Esimerkiksi tuotteen kehittämisessä siihen osallistuu työntekijöitä tuotemäärittelystä, tuotekehityksestä, valmistuksesta (tuotanto), laadunhallinnasta sekä asiakasrajapinnasta. FMEA-analyysit toimivat myös johdon päätöksentekovälineenä. (McDermott 2009)



Kuva 8. FMEA:n hyötyjä (Karjalainen & Karjalainen 2002). Muokattu.

### 3.2. FMEA-analyysien jaottelu

Kuten aiemmin todettiin, vika- ja vaikutusanalyysiä hyödynnetään eri käyttötarkoituksissa. Tämä on johtanut täsmällisempiin käyttötarkoituspohjaisiin FMEA-sovelluksiin. (Stamantis 2003, 40-43)

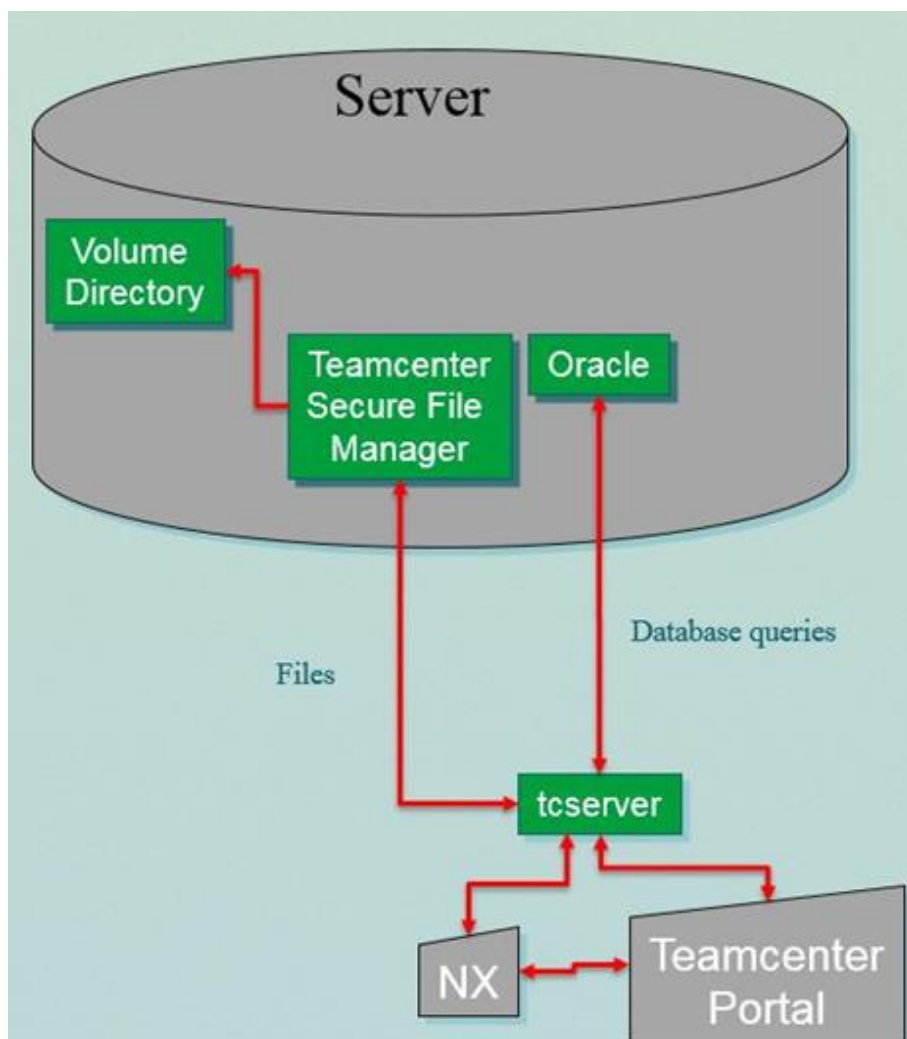
1. **System FMEA.** Tuotteen suunnittelun alkuvaiheessa tehtävä analyysi, jossa keskitytään järjestelmän toimivuuteen ja luotettavuuteen. Tavoitteena on minimoida virheiden syntyminen järjestelmässä ja maksimoida järjestelmän toimivuus laadun, huollettavuuden ja kustannusten näkökulmasta. (Stamantis 2003)
2. **Design FMEA.** Keskittyy itse tuotteen ja sen rakenteen luotettavuuden parantamiseen. Etsitään tuotevirheitä ja poikkeamia asiakas - ja tuotevaatimuksiin. Antaa mahdollisuuden tuotekustannusten pienentämiseen ja vikaantumistodennäköisyyksien minimoimiseen. Tavoitteena on tuotevirheiden minimoimisen kautta parantaa laatua, luotettavuutta kustannuksia ja huoltotarvetta. (Stamantis 2003)

3. **Process FMEA.** Käytetään siinä vaiheessa, kun tuote on siirtymässä tuotekehitysvaiheesta tuotantovaiheeseen. Menetelmässä käydään läpi jokainen valmistus- ja ylläpitovaihe. Analyysillä pyritään löytämään kaikki ne prosessin vaiheet, jotka mahdollisesti tulevat aiheuttamaan ongelmia. Näin löydetään sellaiset tavat toimia ja työkalut, joilla mahdolliset ongelmat voitaisiin valvoa ja hoitaa. Tämä vaihe on myös osa valmistuksen sisärajaa ja koulutusta. Tavoitteena on prosessin vikojen minimoimisen avulla maksimoida prosessin laatu, kustannukset, luotettavuus sekä tuottavuus. (Stamantis 2003)
  
4. **Service FMEA.** Ennen kuin tuote tai palvelu on asiakkaan käytettävissä, koko tuotteeseen liittyviä prosesseja tarkastellaan kriittisesti analysoimalla toimintojen (esim. työn) hallittavuutta ja kulkua. Tavoitteena on organisaation palveluvirheidensä minimoimisella maksimoida asiakastyytyvyyttä. (Stamantis 2003)

## 4 TYÖSSÄ KÄYTETYT OHJELMAT

### 4.1. Siemens Teamcenter

Siemensin kehittämä Teamcenter ohjelmisto on tarkoitettu suurten ja keskikokoisten yrityksen tiedonhallintajärjestelmäksi. Sandvikin SMRT divisioonalla on käytössä Teamcenter. (Siemens 2019) Kuvassa 9 on havainnollistettu Teamcenterin ja NX-mallinnusohjelman tiedonkulku, joka mahdollistaa tuotetietojen hallinnan yrityksen eri toimipisteiltä.



Kuva 9. Tiedonkulku järjestelmässä. (Siemens 2019)

Teamcenter pitää sisällään useita eri käyttötarkoituksiin erikoistuneita ohjelmia, jotka kaikki käyttävät yhteistä tietojen tallennuspaikkaa internetin välityksellä. Näitä Teamcenterin sisäisiä ohjelmia kutsutaan yleensä ohjelmamoduuleiksi. Jokainen ohjelmamoduuli on tarkoitettu tietynlaiseen tietojärjestelmän tietojen käsittelyyn.

Tämä opinnäytetyön tekemisessä käytettiin Multi-Structure Manager-, Structure Manager- ja Reports ohjelmamoduuleja erilaisiin tehtäviin. Lisäksi Teamcenter tarjoaa yksittäisten nimikkeiden ja valittujen kokonaisuuksien tarkasteluun monenlaisia aputyökaluja. Yleisimmin käytettyjä aputyökaluja ovat Summary, Details, Viewer, Graphics, Attachments ja Impact analysis. (Siemens 2019)

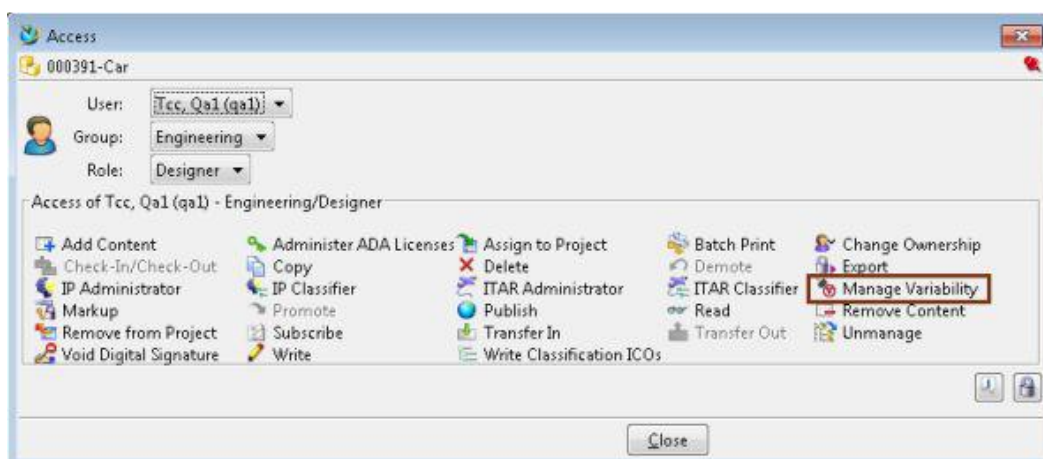
Siemensin kehittämä 3D-mallinnus ohjelma NX voidaan myös liittää Teamcenterin rinnalle osaksi tiedonhallintajärjestelmää, mutta NX toimii myös niin sanottuna itsenäisenä ohjelmanakin erillään tietojärjestelmästä toisin kuin Teamcenter mikä vaatii hyvän internet yhteyden toimiakseen sujuvasti. Siemensin ohjelmistotuote-perheeseen kuuluu myös muita ohjelmistoja mitkä toimivat samalla periaatteella. Sandvikin Turun yksikössä on käytössä muun muassa Technomatix Plant simulation ohjelmisto mitä on tulevaisuudessa mahdollista käyttää osana valmistusrakenteesta kehitettävien prosessirakenteiden simuloinnissa. Siemensin ohjelmistoperheen ulkopuolisia ohjelmia kuten esimerkiksi ERP-järjestelmää käytetään yleensä erillään Teamcenterin aktiivisesta tietojärjestelmästä ja tiedonsiirrot toteutetaan säännöllisinä massa-ajoina järjestelmästä toiseen. Erilaisten lisätoimintojen avulla saadaan tallennettua tietoa kyseisistä siirroista, jolloin Teamcenterin järjestelmään jää siirretyille nimikkeille tieto mikä revisio ja milloin se on viimeksi kopioitu järjestelmän ulkopuolelle. (Siemens 2019)

#### 4.1.1 Muutoshallinta

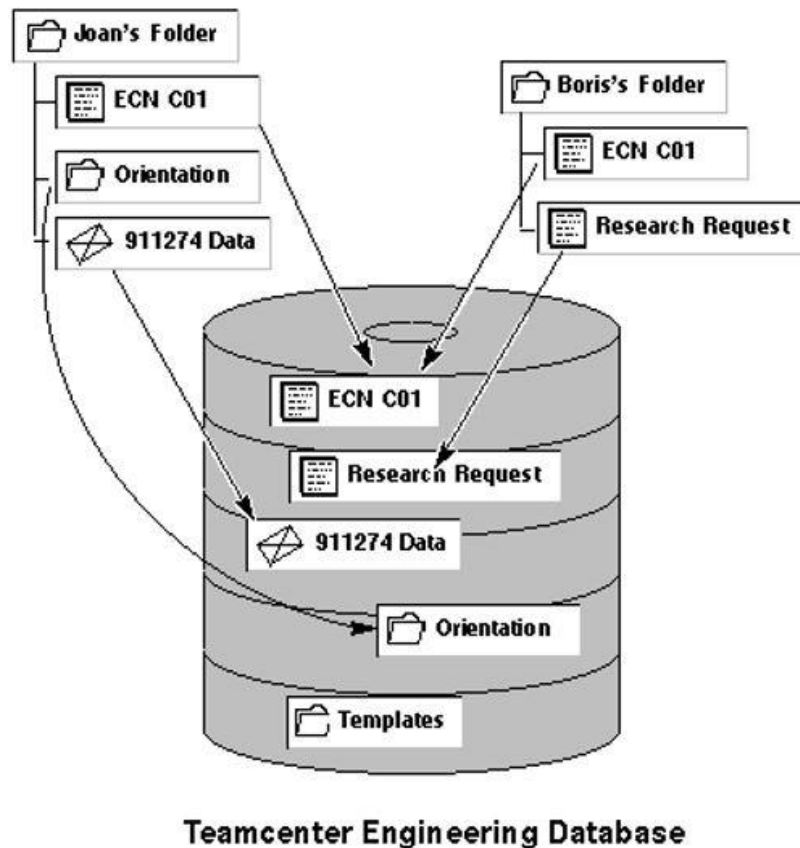
Muutostöiden oikeudet ovat sidottu Teamcenterin henkilökohtaisille käyttäjätileille mitkä ovat yhteydessä työntekijän Windows-käyttäjätunnuksen ja niiden salasana-muutosten kanssa. Käytännössä siis Teamcenter voidaan asettaa toimimaan samalla käyttäjätunnuksella ja salasanalla kuin tietokoneelle kirjaututtaessa. Eritasoisten oikeuksien lisäksi Teamcenterin pääkäyttäjät voivat tarvittaessa antaa tiettyihin kokonaisuuksiin tai yksittäisiin nimikkeisiin henkilölle tai ryhmälle lisäoikeuksia. Tällaista käytäntöä sovelletaan yleensä projektitiimien kesken, kun suunnitellaan rajattuja kokonaisuuksia. Oikeudet voivat olla nimikkeiden 3D-mallin muokkauksiin, sen säännöstöihin, versionhallintaan tai liitetiedostoihin liittyviä lisäoikeuksia, joita projektin osakkaat vaativat voidakseen tehdä tarvittavat muutokset. muutoksista jää järjestelmään muutetulle nimikkeelle käyttäjä- ja aikatieto. (Siemens 2019)

Teamcenterin tiedonhallintamalli mahdollistaa maailmanlaajuisen suunnitteluyhteistyön ja suunnittelukokonaisuuksien viiveettömän käytön eri tehtaiden välillä. Esimerkiksi saman yrityksen eri tehtaat voivat käyttää tuotteissaan samoja komponentteja ja kokonaisuuksia, joiden muutoshallinta tapahtuu Teamcenterissä. Tällaisia komponentteja kutsutaan standardi nimikkeiksi (global item) järjestelmässä ja kyseisillä osilla on niille määrätty säännöt, jotka estävät päällekkäiset muutostyöt. Kuva 10, 11. (Siemens 2019)

Toimipisteen sisäisessä suunnittelussa yleisin toimintamalli on nimikkeiden varaustoiminto (Check out) -toiminto millä varataan nimike muutostyön alle, jolloin muut käyttäjät eivät tilanteesta riippuen joko voi muokata samaan aikaan kyseistä nimikettä tai näe muokkaustyön alla olevaa revisiota nimikkeestä. Kokeellista suunnittelu- ja kehitystyötä tehtäessä on suositeltavaa käyttää tuoterakenteiden hallintaohjelmistoa jossa luodaan tuotteen kokoonpanossa tarvittavat tuoterakenteet. Tätä tuotehallinnan muokkaustoimintoa kutsutaan Collaboration containeriksi. Kyseisen toiminnon sisälle voidaan kopioida muun muassa nimikkeitä, kokoonpanoja tai tuoterakenteita ja tehdä muutoksia sinne laitettuihin nimikkeisiin ilman että ne vaikuttaisivat muualla käytössä oleviin kokonaisuuksiin. Kokeellisten kokonaisuuksien nimikkeet säilyttävät linkin Teamcenterin tietokannassa oleviin vastikkeisiinsa ja päivittyvät normaalisti myös containerin sisällä. Tarvittaessa Collaboration containerin sisällä oleviin kokonaisuuksiin voidaan asettaa revisiosääntöjä mitkä säätelevät sen ulkopuolelta tulevia uudempia revisioita. Esimerkiksi tuotekehityksessä tehtyjen ja valmistuksessa käytettävien komponenttimuutosten ajoitus sekä muutoshallinta. Valmistusrakenteen suunnittelussa, rakentamisessa ja testauksessa käytettiin Collaboration containeria rakenteiden hallintaan. (Siemens 2019)



Kuva 10. Näkymä käyttäjän oikeuksista nimikkeeseen 000391-Car. (Siemens 2019)

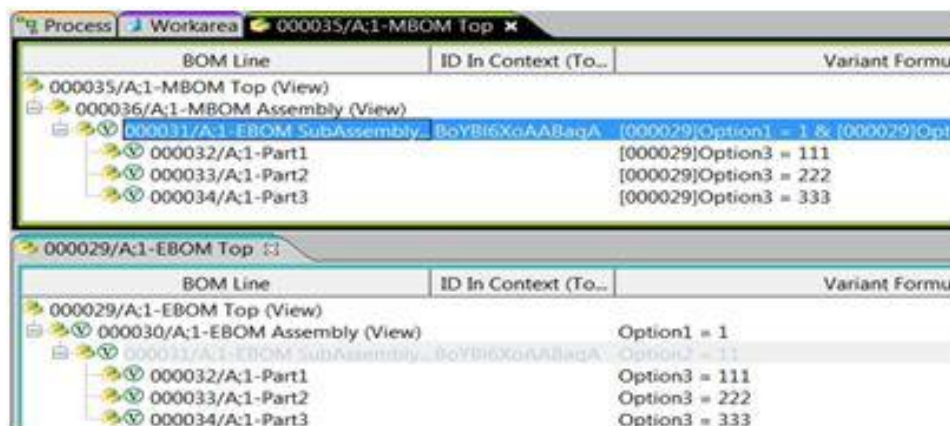


Kuva 11. Teamcenterin objektien toimintamalli perustuu siihen, että yksi objekti voi olla saman aikaisesti monessa eri kansiossa, mutta vain yksi kerrallaan muokattavissa. (Siemens 2019)

#### 4.1.2 Siemens Multi-Structure Manager

Teamcenterin tuoterakenteen hallinta (Multi-Structure Manager) on näkymätyökalu mikä on tarkoitettu kahden tai useamman toisiinsa linkitetyn rakenteen hallintaan, analysointiin ja muutostyön tekemiseen. Sitä voidaan käyttää hyödyksi suunnittelussa, kun suunnitellaan rakenteessa olevien itsenäisten alikokoonpanojen liittymäkohtia. Tällainen suunnittelutyö voi olla esimerkiksi kannakkeiden ja kiinnikkeiden suunnittelutyötä. Näkymässä voidaan myös luoda väliaikaisia kokeellisia kokoonpanoja ja analysoida niiden välisiä vaikutuksia muuttamalla kokoonpanojen sisältöä vaikuttamatta päärakenteisiin. Kokeellisten rakenteiden linkit sekä automaattinen päivitettävyyssäily ja alkuperäisessä rakenteessa tehdyt muutokset näkyvät myös

kokeellisessa rakenteessa. On suositeltavaa, että Multi-Structure Managerilla avat-  
tavat rakenteet sijoitetaan Collaboration containeriin ennen työn aloittamista, jotta  
vältetään tahattomilta muutoksilta muihin rakenteisiin. (Siemens 2019)



Kuva 12. Multi-Structure managerin näkymässä on yleensä järkevintä tarkastella rakenteita omissa ikkunoissa. (Siemens 2019)

#### 4.1.3 Structure manager

Structure Manager on tarkoitettu yksittäisen kokoonpanon tai rakenteen analysointiin, hallintaan ja muutostyön tekemiseen eikä se sovellu kahden tai useamman rakenteen saman aikaiseen tarkasteluun. Tällä työkalulla käsitellään yleensä tuotteen geneeristä tai konfiguroitua rakennetta (kuva 13). Structure managerilla voidaan luoda kokonaan uusia rakenteita ja tässä opinnäytetyössä käytetty valmistusrakenteen ylätasoinen rakenne luotiin käyttäen Structure manageria. (Siemens 2019)



BOM Line	Usage_MakeOrPurc..
000202/A;1-CAR EBOM (View)	
000203/A;1-Body (View)	Buy
000214/A;1-Chassis (View)	Buy
000224/A;1-Powertrain (View)	Phantom
000225/A;1-Transmission (View)	Phantom
000226/A;3-Drive Gears	Make
000227/A;3-Motor	Make
000228/A;3-Reducer Gears	Make
000229/A;2-rear_drive_asm (View)	Make
000230/A;2-rear_axle	Buy
000231/A;2-rear_drive_housing	Make
000232/A;2-main_drive_gear	Buy
000233/A;3-power pack case	Make
000235/A;3-rcvr servo remote control	Buy
000236/A;1-Power Source (View)	Phantom
000237/A;2-battery pack	Buy
000238/A;2-Wheel and Tire Asm (View)	Buy
000246/A;1-Steer and Control (View)	Buy

Kuva 13. Structure Managerin näkymässä tarkastellaan yhtä rakennetta kerrallaan. (Siemens 2019)

#### 4.1.4 Reports

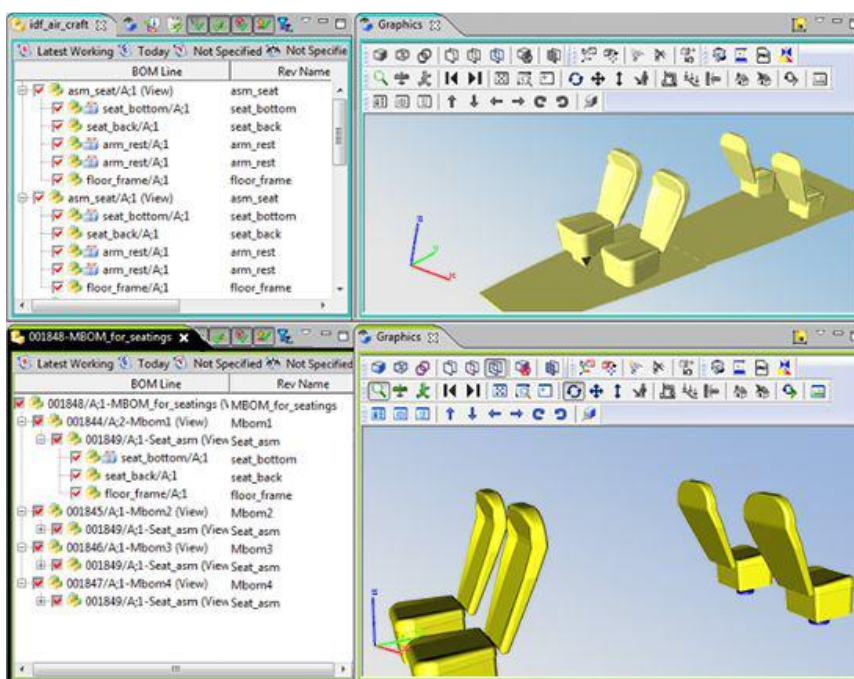
Reports -ohjelma on tarkoitettu nimensä mukaisesti tuottamaan erilaisista kokoonpanoista ja rakenteista haluttuja raportteja. Raporttien luominen rakenteesta vaatii rajausten ja sääntöjen asettamista ohjelmaan, jotta saadaan haluttu tulos. Yleisesti Reports työkalulla halutaan luoda PDF-raportti mikä pitää sisällään rakenteen nimikkeiden liitetiedostoja, kuten piirustuksia tai pöytäkirjoja. Muita käyttökohteita ovat muun muassa rakenteen osalistan ja niiden viimeisimpien revisioiden tulostaminen Excelliin. Tässä opinnäytetyössä Reports ohjelmaa käytettiin tuottamaan työstettävän koneen rakenteesta kokoonpanokuvia ja koneen työhjerakenteen ohjesivuja. (Siemens 2019)

#### 4.1.5 Aputyökalut

Aiemmin Teamcenterin esittelyssä mainituilla aputyökaluilla on jokaisella oma tehtävänsä näyttää rakennepuusta valittuna olevien nimikkeiden tai muiden objektien tiedot tietyllä tavalla omassa ikkunassaan. Summary toiminto näyttää valitun nimikkeen

yleisimmät tiedot kuten luojan, viimeisimmän revision ja revisiosäännön. Details-toiminto näyttää paljon syvällisemmin nimikkeen tietoja Summary toiminnon tietojen lisäksi kuten revisiohistorian, viimeisimmät muokkaajat, julkaisemattomat versiot ja attribuuttitietoja. Viewer toiminnolla voi esikatsella nimikkeen liitteitä kuten PDF-piirustuksia, asiakirjoja, kuvia ja yksittäisten osien kevennettyjä katseluun tarkoitettuja 3D-malleja (JT malleja). (Siemens 2019)

Graphics toiminto on tarkoitettu käytettäväksi, kun tarkastellaan rakenteita ja kokoonpanoja. Se näyttää kokoonpanojen JT-mallitietoa ja sen avulla voidaan yksilöidä rakennepuussa sijaitsevien osien sijaintia kokoonpanossa (kuva 14). (Siemens 2019)



Kuva 14. Graphics työkalu on erittäin käytännöllinen, kun käsitellään suuria rakennekokonaisuuksia missä vaaditaan paljon hahmotuskykyä. (Siemens 2019)

Attachments toiminnolla voidaan tarkastella listausmuodossa nimikkeeseen tallennettuja liitetiedostoja ja joissakin tapauksissa ladata niitä tietokoneelle. Impact analysis toiminnolla nähdään erilaisten nimikkeiden käyttökohteet eri kokoonpanoissa ja rakenteissa. Impact analysis toiminnolla voidaan hake erilaisten sääntöjen ja rajausten avulla nimikkeelle tehtyjen muutosten mahdollisia vaikutuksia ja käytettävyyttä. (Siemens 2019)

## 4.2. Roima intelligence Lean ERP

Sandvikin Turun yksikössä on käytössä suomalaisen Roima Intelligence Oy:n kehittämä Lean ERP-järjestelmä. Lean järjestelmässä on koneen rakenteelle määrätty ostokokonaisuudet eli rakenteen kokoonpanonimikkeille on määrätty kokonaisuuden joiden perusteella osto-organisaatio tilaa alihankkijoilta osia uusimmilla revisioilla. (Sandvik 2019)

Ostokokonaisuuksien nimikkeille on lisätty järjestelmään vaiheistustiedot, joiden avulla määritellään osatarpeet tuotteen kokoonpanojen eri vaiheissa. Varaston ohjaus käyttää näitä vaiheistustietoja hyväkseen ja ohjaa tarvittavat osat oikeille kokoonpanoasemille. Leanin rakenteiden vaiheistustieto on olennainen osa valmistusrakenteen luomisprosessia, koska valmistusrakenne nimensä mukaisesti käyttäytyy tuotteen kokoonpanojärjestyksen mukaisesti. (Sandvik 2019)

## 5 SANDVIK KAIVOSTYÖKONEET

### 5.1. TH663i

Sandvikin maanalaiset kuormaajat ja kuorma-autot ovat suunniteltu kaikkein vaikeimpiin kaivossovelluksiin, joissa turvallisuus, tuottavuus ja luotettavuus ovat tärkeimmässä roolissa. Vankka, kompakti ja erittäin hallittavissa oleva ergonominen laite tarjoaa kokoonsa nähden suuren kapasiteetin ja alhaisen tonnihinnan kivimurskalle. (Sandvik 2019) TH663i malli on suunniteltu käytettäväksi minimissään 6 metriä korkeisiin tunneleihin ja sen kapasiteetti on 63 tonnia (kuva15).



Kuva 15. TH663i. (Sandvik 2018)

## 5.2. TH551i

Kuorma-automalli TH551i vastaa suurelta osin isompaa TH663i mallia ja sen suurimmat eroavaisuudet ovat matalampi lava sekä pienempitehoinen moottori. TH551i on tarkoitettu käytettäväksi minimissään 5 metriä korkeissa tunneleissa ja sen kapasiteetti on 51 tonnia (kuvat 16 ja 17).



Kuva 16. TH551i ja matala toimintaympäristö. (Sandvik 2018)



Kuva 17. TH551i ja kapea toimintaympäristö. (Sandvik 2018)

## 6 VALMISTUSRAKENTEEN KEHITYSTYÖ

Kehitystyössä käytetyt ohjelmat ovat: Siemens Teamcenter 10, Roima intelligence Lean ERP PT8w ja Microsoft Excel 2016. Siemens Teamcenter sisältää lukuisia aliohjelmiä kuten raportointiin, rakennehallintaan ja 3D-mallien esikatseluun.

### 6.1 Lähtötiedot Pilotti 1:een

Lähtötietoina käytettiin ensisijaisesti konemallin työohjeita, mistä saatiin selville nimikkeiden sijaintitieto valmistusrakennetta varten. Työohjeet olivat .pdf muodossa ja ne olivat jaoteltu osakokoonpanoissa tiettyjen isoimpien komponenttien tai työtehtävätyyppien mukaan. Lisäksi pienemmät kokoonpanot olivat jaoteltu linjakokoonpanoasemien mukaisesti. Linjakokoonpanon ohjeet olivat jaoteltu kuuteen kokoonpanoasemaan ja niiden alla kymmeneen eri vaiheeseen. Tarkoituksena oli, että tulevan valmistusrakenteen ylin taso vastaisi kokoonpanoasemien ja vaiheiden järjestystä.

Tämän lisäksi käytettiin Roima Intelligencen suomessa markkinoimaa Lean ERP-järjestelmää mistä haettiin eri kokoonpanojen ostotasoja. Ostotasoilla tässä tapauksessa tarkoitetaan kokoonpanonimikettä mikä ostetaan alihankkijalta sellaisenaan. Ostonimikkeellä ostettuja kokonaisuuksia ei muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta kokoonpanna tuotannossa vaan sen on tehnyt alihankkija.

Teamcenterin sekä Lean järjestelmän toiminnasta ja uuden rakenteen luomisesta saatiin tietoa yrityksen asiantuntijoilta. Heidän apuansa käytettiin uuden valmistusrakenteen luomisessa säännöllisesti. Mukana kehitystyössä olivat myös Sandvikin omalla sisäisellä Industry 4.0 ja digital twin kehitysprojekteista- sekä työohjeiden kehityksestä vastaavat tuotannonkehitysasiantuntijat.

### 6.2 Dokumentaation käytettävyys

Dokumentaatiolla tarkoitetaan tässä yhteydessä tuotannon työohjeita ja niiden komponenttilistoja. Ohjeiden rinnalla käytettiin ERP-järjestelmää mikä pitää sisällään ostettavien komponenttien ajoitustiedot. Ostettavien komponenttien lisäksi tuotannossa

on pultteja ja muttereita mitkä eivät ole erikseen ostettavia komponentteja vaan suoraan kokoonpanoasemilla olevaa laatikkotavaraa.

Yleisesti ottaen dokumentaation käyttö valmistusrakenteen luomisessa oli hiukan vaihalloista johtuen siitä, että yhden nimikkeen paikoituksen määrittämiselle valmistusrakenteessa jouduttiin käyttämään kolmea eri ohjelmaa. Työohjeet tulivat väistämättäkin jonkun verran suunnittelurakennetta jäljessä, koska työohjeiden päivitystyö on paljon aikaa vievää työtä.

Tämä ilmeni siten että joitakin uusia nimikkeitä ei välttämättä löytynyt työohjeista tai jos nimikkeen vaiheistusta oli muutettu Leanissa, mutta työohjeissa se saattoi vielä sijaita edellisellä paikallaan. Työohjeet eivät myöskään sisältäneet kaikkia mahdollisia optiokokonaisuuksia ja niissä tapauksissa käytettiin työohjeiden sijasta kokoonpanopiirustuksia.

### 6.3 Collaboration container

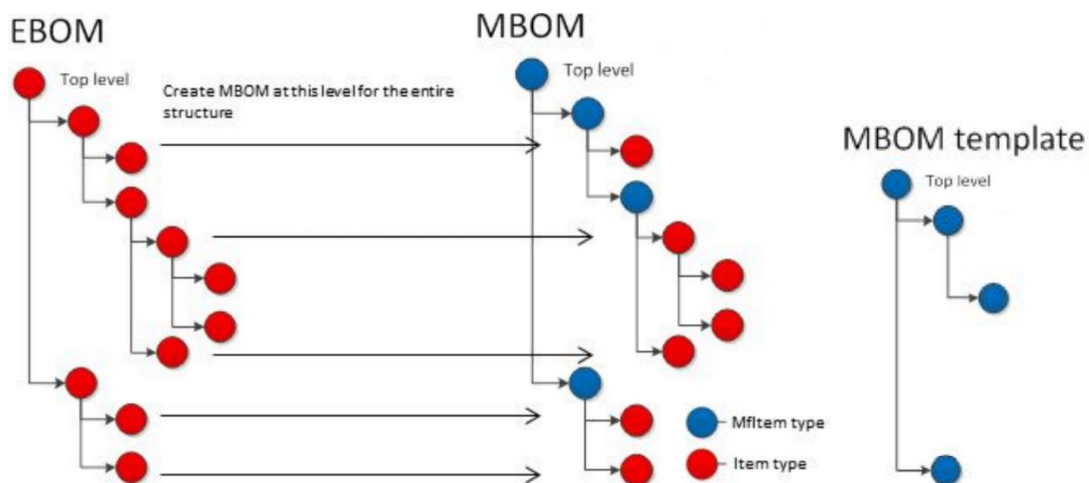
Työ Teamcenterissä aloitettiin luomalla järjestelmään Collaboration container ja määrittelemällä sille riittävät säännöt, jotta saatiin varmistettua, ettei kokeellisten rakenteiden muutokset päässeet vaikuttamaan tuotannon käytössä oleviin rakenteisiin. Seuraavaksi containeriin kopioitiin suunnittelurakenne mikä piti sisällään kaikki mahdolliset kokoonpanot ja osat mitä suunnittelu oli suunnitellut ja hyväksynyt tuotannon käyttöön. Viimeisenä containeriin luotiin master nimike valmistusrakenteelle.

Valmistusrakenteen ylätasot luotiin Structure Manager-ohjelmalla. Ennen nimikkeiden liittämistä tuoterakenteeseen se sisälsi vain päätason nimikkeen ja sen sisällä kaikkien kokoonpanoasemien ja työvaiheiden nimikkeet. Asemanimikkeiden luomisessa käytettiin mallipohjana tuotannon asemakaaviota mistä kävi ilmi kaikki kokoonpanoasemat ja niiden looginen järjestys toisiinsa nähden. Näiden nimikkeiden alle aloitettiin myöhemmässä vaiheessa suunnittelurakenteen nimikkeiden liittäminen (assignaus) (kuva 18).



## 6.4 Nimikkeen ostotason ja vaiheistustiedon määrittäminen

Nimikkeen liittämistyö (assignaustyö) aloitettiin Teamcenteristä, mistä valittiin suunnittelurakenteen ylimmän tason kokoonpanon työstettävä osuus ja sieltä haluttu nimike. Rakennepuun ylimmän tason nimikkeet ovat lähtökohtaisesti suuria toiminnallisia kokonaisuuksia ja ne koostuvat yleensä yhden tyyppisistä järjestelmistä. Esimerkiksi koko koneen hydraulikkakomponentit on eritelty kaikki yhden ylätasen nimikkeen alle. Käytössä olevasta tuotekonfiguraattorista johtuen usein kuitenkin joudutaan tekemään vaikkapa hydraulikkakomponenteille myös toinen ylätasen kokoonpanonimike, mikä eroaa sisällöltään olennaisesti ja on tarkoitettu käytettäväksi vain tiettyjen optiokokonaisuuksien kanssa. Tällainen oleellisesti hydraulikkajärjestelmään vaikuttava optiokokonaisuus on esimerkiksi ejektorilava, joka ei kallista lavaa vaan työntää kivimurskan hydraulisesti pois kyydistä ja vaatii siksi osittain erilaisen hydraulikkajärjestelmän.



Kuva 18. EBOM ja MBOM toimintaympäristö. MBOM rakenteelle luodaan tuotannon asemia vastaava rakenne ja EBOM rakenteen nimikkeet liitetään niiden alle. (Siemens 2019)

Ylimmän tason nimike kopioitiin leikepöydälle ja liitettiin se Lean järjestelmässä hakukenttään. Järjestelmä näytti hakutuloksena kyseisen kokoonpanon kaikki revisiovaihtoehdot, joista valittiin viimeisin käytössä oleva. Kokoonpanonimikkeen viimeisin revisio avattiin näyttämään sen alikokoonpanonimikkeet. Tämä rakenne oli sama kuin Teamcenterin saman nimikkeen suunnittelurakenteessa. Rakenteesta haettiin haluttu työstettävä kokoonpanonimike ja tarkistettiin että kyseinen nimike ei ole ostotasoksi



merkityn nimikkeen sisällä. Ostotaso on määrittäminen mikä tehdään komponenttitoimitajan kanssa ja määrittelee kuinka pitkälle kokoonpantuina osat saapuvat tehtaalle. Samalla ERP-järjestelmän ostotason nimikkeeltä tarkistettiin vaiheistustieto, mikä auttoi oikean työohjeen valitsemisessa. Lean järjestelmässä vaiheistustieto on saatavilla vain kokoonpanoaseman tarkkuudella, mikä ei ole riittävä tarkkuus valmistusrakennetta tehtäessä. Vaiheistustieto on tarkoitettu palvelemaan varaston toimintoja, sekä materiaalivirtoja tuotannossa, eikä se ota kantaa itse komponenttien asennuksen mukaiseen järjestykseen.

Seuraavaksi avattiin tuotannon työohjeet ja haettiin työstettävän nimikkeen ID-koodilla sen paikka ohjeissa. Työohjeet on jaoteltu valmistusasemien mukaan ja asemat on jaoteltu alivaiheisiin. Yksi alivaihe koostui yleisimmin noin kahdestakymmenestä ohjesivusta. Halutun nimikkeen ohjesivun selvittämiseksi saatiin selville myös nimikkeen vaihe ja alivaihe. Nimikekoodin haku ohjeista tapahtuu automaattisella hakutoiminnolla, mikä avaa sivun missä nimike esiintyy. Tuotannon käyttämät työohjeet on manuaalisesti Siemensin NX 11 3D-mallinnus ohjelmalla luotuja PDF muodossa olevia piirustuksia. Piirustukset sisältävät erilaisia asennuskokonaisuuksien havainnekuvia, joissa komponentit on värikoodattu ja merkitty numeroilla selvästi. Lisäksi piirustuksissa on numeroitu listaus komponenteista niiden nimikekoodeista ja kuvauksista. Viimeisenä piirustuksiin on usein lisätty tietokenttiä, jotka sisältävät olennaista tietoa komponenttien asennuksesta. Yleisimmin kyseiset tietokentät käsittelevät kiristysmomentteja, liittimien asentoja sekä aputyökalujen käyttöä. Kun saatiin selvitettyä missä kyseinen osa asennetaan kiinni koneeseen tai toiseen kokoonpanoon, voitiin siirtyä takaisin Teamcenteriin.

## 6.5 Nimikkeen liittäminen (assignaus)

Teamcenterin Multi-structure Manager-näkymässä ensimmäiseksi luotiin linkki suunnittelu- ja valmistusrakenteiden välille. Linkin luominen tapahtui Link/Associate structures toiminnolla, mikä tekee rakenteiden master nimikkeille identtiset IDIC-tunnistekoodit (attribuuttikoodi). IDIC-koodien avulla järjestelmä hallitsee rakenteiden ja nimikkeiden välistä relaatiota, jonka avulla voidaan ajaa hallittuja muutoksia rakenteesta toiseen. Suunnittelurakenteesta valittiin haluttu nimike, siirryttiin valmistusrakenteelle ja liitettiin nimike valmistusrakenteen luomiseen tarkoitettulla MEassign-käskyllä uuteen rakenteeseen oikealle asemalle ja työvaiheelle. MEassign-käsky loi

suunnittelurakenteessa olevalle ja valmistusrakenteeseen kopioidulle nimikkeelle IDIC-tunnistekoodin. IDIC-tunnistekoodi ei kuitenkaan säily nimikkeellä, jos nimikkeen paikkaa vaihdetaan valmistusrakenteen sisällä.

Lopuksi avattiin Excel-tiedosto, missä oli aiemmin käytettyä suunnittelurakennetta vastaava rakenne taulukkona, ja merkattiin assignattu nimike tehdyksi. Kyseinen rakenne saatiin Exceliin Export to Excel -toiminnolla. Excel taulukon rakenteessa pidettiin vain kirjaa työn edistymästä ja prosessin kestosta. Sitä käytettiin myöhemmässä vaiheessa valmistusrakenteen työmäärän arviointiin ja yleiseen tarkistukseen. Tarkistusrakennetta pidettiin yllä Excelissä, koska sen jakaminen ja tarkastelu oli helpompaa ja yksinkertaisempaa kuin Teamcenterissä sijaitseva täysi versio suunnittelurakenteesta.

## 6.6 Tietojen soveltuvuus Siemens- järjestelmään

Tietojen soveltuvuus Teamcenterin Multi-structure managerissa oli heti alkuun ongelmallista. Yksi nimike ei voinut sijaita monessa eri paikassa samaan aikaan, koska myöhemmän vaiheen ERP-prosessi ei voisi käyttää rakennetta hyödyksi ilman virheitä. Jos yksi nimike oli kopioitu työohjeiden mukaan aluksi osakokoonpanoihin ja sen jälkeen loppukokoonpanoasemalle, ERP-järjestelmä ei tätä logiikkaa tunnista vaan olettaa, että kyseessä on kaksi samanlaista osaa. Tästä seuraa se, että materiaalivaraukset ovat virheellisiä.

Työohjeiden päivitys ei seuraa versiomuutoksia ajantasaisesti vaan muutokset tulevat työohjeisiin viiveellä. Seurauksena on se, että suunnittelurakenteen nimikekoodit eivät välttämättä vastaa työohjeiden koodeja, jolloin paikoitustieto joudutaan päättelemään kokoonpanokuvien perusteella. Päätelytyö voi olla ongelmallista sen hitauden ja virheellisuuden vuoksi. Päätelmä tulisi hyväksyttäväksi sekä suunnittelun että asennustyöstä vastaavan henkilökunnan kanssa.

Työtä tehdessä havaittiin myös ristiriitoja ostotasojen ja työohjeiden välillä. Käytännössä ERP:ssä ostokokonaisuudeksi määritelty kokoonpano saatettiin asentaa paikalleen monella eri asemalla. Assignaustyötä ei voitu tehdä näille kokoonpanoille oikein, koska ostonimikkeen alikokoonpanot olisi jouduttu assignaamaan eri asemille.

Tällaisessa tilanteessa myöhemmän vaiheen ERP:n ostotilaukset monistuisivat kyseisten nimikkeiden kohdalla. Ostotilauksia ja saldovarauksia tehdessä ERP-järjestelmän huomattessa, että haluttu nimike on osa suurempaa ostokokonaisuutta, järjestelmä ostaa nimikkeen ostokokonaisuuden. Näin ollen hajotettu ostokokonaisuus tilaisi saman ostokokonaisuuden virheellisesti moneen kertaan eri asemille.

Työohjeiden käyttö vaiheistustiedon lähteenä oli ongelmallista joidenkin letkukomponenttien kohdalla siksi, että sama letku saattoi esiintyä kahteen kertaan eri asemien työohjeissa. Tämä johtui siitä, että letkun ensimmäinen pää asennettiin kiinni koneeseen jo aiemmin ja toinen pää kiinnitettiin vasta myöhemmillä vaiheilla aiheuttaen ylimääräistä selvitystyötä.

## 6.7 Tietojen käytön kokeilut Siemens-järjestelmässä

Siemensin Teamcenter käyttää tiedostojen tunnistamiseen ja yksilöimiseen nimikkekoodeja. Jokaisella objektilla järjestelmässä on siis uniikki BGXXXXXXXX-muotoinen koodi missä X on juokseva luku. Nimikkeeseen tai muunlaiseen objektiin (esim. työohje) voidaan liittää lähes mitä vain tiedostoja. Yleensä nimikkeet pitävät sisällään osien tai kokoonpanojen geometrian, JT-mallin, piirustuksia, revisiotietoja relaatiotietoja ja muuta tietoa. Valmistusrakennetta tehtäessä käytettiin linkitystoimintoa (assignaus). Näin järjestelmä tietää missä kaikkialla halutut nimikkeet näkyvät, vaikka yhdellä koodilla voi olla vain yksi objekti. Nimikettä revisioitaessa se revisioituu automaattisesti kaikkialle, missä kyseinen nimike esiintyy. Nimikkeiden revisiointia voidaan hallita valmistusrakenteessa asettamalla rakenteelle revisiosäännöt. Käytännössä rakenteelle määrätään rajoitus millaisia ja kuinka uusia revisioita siinä saa esiintyä. Jos revisio on uudempi kuin revisiosäännöt sallivat, jää vanhempi revisio käyttöön.

Pilotti 1:n aikana käytettiin sitä varten luotua collaboration containeria(kts. kappale 6.3), mikä erottaa sen sisällä olevat rakenteet normaalista ympäristöstä täysin omaksi alueeksi. Näin saatiin varmistettua, ettei tehdyt muutokset vaikuta käytössä oleviin rakenteisiin ja nimikkeisiin. Containerissa voitiin kokeilla erilaisia toimintoja vaikuttamatta normaaliin toimintaan ilman jatkuvia nimikkeiden revisiointeja.

## 7 LÖYDÖKSET JA SUOSITUKSET

### 7.1 Pilotti 2:n lähtötiedot

Pilotti 2 päätettiin aloittaa, kun ensimmäistä pilottia oli kehitetty noin neljä kuukautta. Syy uuden pilotin aloittamiselle oli ensimmäisen pilotin kehityksessä havaitut perusteelliset nimikkeiden hallintaan ja linkkien toimintaan vaikuttavat ongelmat. Uusi pilotti päätettiin rakentaa alusta asti uudelleen Teamcenterin Manufacturing Process Planner -ohjelmamouduissa (MPP). MPP soveltuu valmistusrakenteiden kehitys- ja ylläpitytyöhön oleellisesti paremmin siinä olevien toimintojen ja ominaisuuksien vuoksi. MPP-ympäristössä voidaan kehittää hyvin pitkälle automatisoitua logiikkaa eBOM:n ja mBOM:n välille, jolloin nimikkeiden linkitystyö toimii mBOM-rakenteen asemanimikkeille luotujen säännösten kautta. Rakenteiden ja niiden nimikkeiden välinen linkki toimii IDIC-tunnistekoodilla. Nimikkeiden automatisoitu linkitys toisiinsa toimii mBOM-rakenteen asemanimikkeille luotujen linkityssäännösten avulla, jotka lukevat eBOM:n nimikkeiden tunnistetietoihin lisättyjä vaiheistuksia. EBOM:n nimikkeiden vaiheistustieto haettiin pilotti 1:n tavoin ERP-järjestelmästä ja se lisättiin käsin rakenteen nimikkeiden attribuuttitietoihin.

### 7.2. Pilotti 2

Uudessa pilotissa päätettiin eriyttää joitakin mBOM:n toimintoja kolmanteen rakenteeseen. Näin saatiin selkeytettyä rakenteiden kehitystä ja yksinkertaistettua mBOM-rakenteen toimintaa. Suurin osa ensimmäisen pilotin ongelmista saatiin ratkaistua, kun mBOM määriteltiin palvelemaan ERP-järjestelmän ostotoimintoja ja materiaalivirtojen hallintaa. Osa MBOM-rakenteelle alun perin suunnitelluista toiminnoista päätettiin toteuttaa erillisellä prosessirakenteella (Bill of Process, BOP). Uusi prosessirakenne on suunniteltu toimimaan puhtaasti tuotannon asentajien työtä helpottamaan, eikä se ota kantaa ostotoimintoihin tai materiaalivirtoihin. BOP pitää sisällään työohjeiden sivut ja niissä esiintyvät nimikkeet. Nimikkeiden tarkka jaottelu mahdollistaa JT-mallien hyötykäytön työohjeina ja koneen JT-mallin ”askel kerrallaan” kokoamisen. Uudemman Teamcenter version mukana tulevat lisäominaisuudet MPP-ohjelmamoduuliin mahdollistavat automatisoidun nimikkeiden assignauksen eBOM-rakenteesta BOP-rakenteeseen. Lisäksi Visualization-ohjelman uusin versio laajim-

milla käyttöoikeuksilla mahdollistaa JT-kevytmalleille lisättävää tarkentavaa (PMI) tietoa esimerkiksi toleransseilla ja kiristysmomenteilla sekä muilla lisäominaisuuksilla. BOP-rakennetta voidaan käyttää tuotannon ajoittamisen parantamiseen ja simulointiin tietyin rajoituksin.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön aikana käsitys valmistusrakenteen toiminnasta ja käyttökohteista parani olennaisesti Sandvikilla. Alkuperäinen tavoitetila pystytään hahmottelemaan tarkemmin ja kehitystyötä voidaan ohjata määrätietoisemmin oikeaan suuntaan. Jatkokehitysprojekteja voidaan alkaa suunnittelemaan paremmin. Teamcenterin, ERP-järjestelmän ja yleisten toimintamallien luomia rajoitteita ja vaatimuksia pystytään hahmottamaan ja ottamaan paljon paremmin huomioon ennakoivasti, eikä jatkokehitystyössä tule vastaan niin paljon kriittisiä ongelmakohtia.

Lisäksi havaittiin, että valmistusrakenteen lisäksi on kannattavaa luoda myös prosessirakenne ja eriyttää osa toiminnoista siihen. Näin rakenteiden kehitys ja hallinta voidaan toteuttaa paljon helpommin joutumatta tekemään liikaa kompromisseja. Manufacturing Process Plannerin käyttö ja sen kehittyneempien työkalujen ja toimintojen hyödyntäminen rakenteiden kehityksessä ja ylläpidossa tekee työstä huomattavasti kannattavampaa ajankäytöllisesti ja toiminnallisesti. Rakennekehityksen ja -ylläpidon työmääriä pystytään arvioimaan tarkemmin.

Parantuneen kokonaiskuvan johdosta kiinnostus ja panostus valmistusrakenteiden ja prosessirakenteiden kehitykseen on lisääntynyt ja yhteistyö muiden yritysten kanssa on tuonut uusia näkökulmia kehitykseen. Opinnäytetyön ansiosta on saatu varmuus siitä, että valmistusrakenteiden ja prosessirakenteiden kehitys on oikea suunta, niille on todellinen tarve yrityksessä ja niistä on oleellisesti hyötyä tulevaisuudessa.

# LÄHTEET

Asnys sovellus [www.ansys.com](http://www.ansys.com), Haettu 12.1.2019

Autodesk sovellus [www.autodesk.com/products/fusion-360/](http://www.autodesk.com/products/fusion-360/) Haettu 12.1.2019

Brenke R. P.E , ACEC/Michigan Blog 11/18/2014 sekä Andersson et al. Design for Manufacturability & Concurrent Engineering 2008).

Fusion 360 sovellus [www.autodesk.com/products/fusion-360/](http://www.autodesk.com/products/fusion-360/) Haettu 12.1.2019

Jiao J. & Tseng M. (1999). A pragmatic approach to product costing based on standard time estimation, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 19(7), pp. 738-755

Karjalainen,T. & Karjalainen, E. 2002. Six Sigma: Uuden sukupolven johtamis ja laatu mene-telmät. Salpausselän kirjapaino Oy

McDermott R., Mikulak R. & Beauregard M. CRC Press cop. 2009. 2nd ed

PLM havaintokuva [maktechnologiesllc.com/PLM.html](http://maktechnologiesllc.com/PLM.html)

PDM ja PLM kehityskulku. (<https://www.sopheon.com/business-layer-plm-design-automation-business-value-optimization/>). Haettu 12.11.2018

Rusthon A, Oxley J & Croucher B 2000. Handbook of logistics distribution management. Kogan Page. ISBN:0-7494-3365-5

Saaksvuori A.& Immonen A. 2008. Product Lifecycle Management. PDF Publisher: Springer Verlag. eISBN-13: 9783540781721

Sandvik 2018: SANDVIK TH551i UNDERGROUND TRUCK Technical specification

Sandvik Mining yritystiedot. [www.home.sandvik/en/](http://www.home.sandvik/en/). Haettu 3.1.2019

SFS-EN ISO 9001:2015. Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset. 2001. 4. p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS

Siemens PLM toimintaympäristö [www.aktechnologiesllc.com/PLM.html](http://www.aktechnologiesllc.com/PLM.html). Haettu 15.2.2019

Stamatis D.H. 2003. Failure Mode Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution. 2. painos. Milwaukee: ASQ

Stark J. 2011. Product Lifecycle Management. PDF Publisher: Springer Verlag  
eISBN-13: 9780857295460

Tietoa yrityksestä [www.home.sandvik/en/](http://www.home.sandvik/en/)

Turun Sanomat 2019: Luettu 22.8.2019