Tampereen yliopisto

Aleksi Nahkala

TYÖLAITTEIDEN TUOTEDOKUMENTAATIO PLM-JÄRJESTELMÄSSÄ

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Mikko Vanhatalo
Tarkastaja: Tero Juuti
Kesäkuu 2025

TIIVISTELMÄ

Aleksi Nahkala: Työlaitteiden tuotedokumentaatio PLM-järjestelmässä
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan DI-ohjelma
Kesäkuu 2025

Diplomityössä tutkittiin, kuinka kohdeyrityksen valmistamien pienkuormaajaan kiinnitettävien lisälaitteiden tuotedokumentaatiota voisi hallita PLM-järjestelmässä. Työssä selvitettiin, mitä tuotedokumentaatioon tarvitaan lainsäädännön näkökulmasta, mitä dokumentaation hallintatapoja löydetään kirjallisuudesta ja standardeista sekä mitä omia vaatimuksia kohdeyrityksellä on dokumentaation suhteen.

Kirjallisuuskatsauksessa saatiin selville lainsäädännön velvoittavat dokumentit ja niiden sisältö. Yrityksen työlaitteet kuuluvat pääosin Konedirektiivin 2006/42/EY alaisuuteen, ja se velvoittaa toimittamaan tuotteen mukana käyttöohjekirjan ja EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen. Lisäksi koneelle täytyy koostaa tekninen tiedosto, joka sisältää koneeseen liittyvän yleiskuvauksen, tekniset erittelyt sekä suunnittelussa käytetyt standardit. Kirjallisuuskatsauksessa perehdyttiin myös tuotteen elinkaarenhallintaan (PLM) sekä valikoituihin tuotesuunnittelun ja -tiedonhallinnan prosesseihin ja teorioihin.

Työn käytännön osuudessa rakennettiin tuotedokumentaation mallipohja yrityksen käyttämään Windchill-PLM-järjestelmään. Pohjaa voidaan monistaa ja liittää mukaan uuden tai olemassa olevan työlaitteen tuoterakenteelle. Siihen voidaan tuoda tuotteeseen liittyviä dokumentteja ohjelman ulkopuolelta, jolloin ne siirtyvät mukaan tuotteen elinkaarenhallintaan. Lisäksi tuotedokumenteille luotiin luokittelumalli, jota voidaan tulevaisuudessa hyödyntää, kun yritys siirtyy seuraavaan vaiheeseen PLM-projektissaan.

Yrityksen omiin vaatimuksiin perustuen työn tuloksena luotiin osana tuotedokumentaatiota PLM:ssä hallittava yhteensopivuusmatriisi, joka määrittää alkeelliseen logiikkaan perustuen, mitkä työlaitteet ovat yhteensopivia eri pienkuormaajamallien kanssa. Malli vaatii kuitenkin myöhemmällä ajankohdalla yhdessä asiantuntijoiden kanssa tehtävää jatkokehitystä vastatakseen täysin yrityksen vaatimuksia.

Työssä luotiin virtausmalli kuvaamaan tuotekehitysprosessin aikana syntyvää dokumentaatiota. Mallin avulla saatiin selville, missä kaikissa vaiheissa erilaisia dokumentteja syntyy ja miten niitä nykyhetkellä hallitaan. Mallista selviää, että suuri osa kaikesta tuotteeseen liittyvästä dokumentaatiosta syntyy sen kehitysprosessin aikana, ja suurta osaa näistä dokumenteista hallitaan versiohallinnan avulla vähän tai ei ollenkaan.

Avainsanat: PLM, Product Lifecycle Management, tuotteen elinkaarenhallinta, tuotedokumentaatio.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

ABSTRACT

Aleksi Nahkala: Managing Product Documentation of Compact Loader Attachments in PLM
Master's Thesis
Tampere University
Master's Degree Program in Mechanical Engineering
June 2025

This master's thesis studies how the product documentation of compact loader attachments could be managed in a PLM system. The thesis studies what is needed for product documentation from the point of view of legislation, what documentation management methods can be found in literature and standards, and what own requirements the manufacturing company has regarding documentation.

The documents needed from the legislation's point of view were studied in literature review. The company's attachments are mainly covered by the Machinery Directive 2006/42/EC, which obliges the product to be accompanied by a user manual and an EC declaration of conformity. In addition, a technical file must be compiled for the machine, which includes a general description of the machine, technical specifications and the standards used in the design. The literature review also focused on product lifecycle management (PLM) and selected processes and theories of product design and product information management.

In the practical part of the work, a template for product documentation was formed in Windchill PLM system used by the company. The template can be duplicated and attached to the BOM of a new or existing attachment. Product-related documents can be imported into it from outside of the program, and after that they can be managed within the lifecycle of the attachment. In addition, a classification model was created for product documents, which can be used in the future when the company moves to the next phase of its PLM project.

Based on the company's own requirements, a compatibility matrix was built in the Windchill system. The matrix defines what attachments are compatible with certain compact loader models. However, the model requires further development later together with experts to fully meet the company's requirements.

In the thesis, a flow model was created to describe the documentation created during the product development process. The model shows what kind of documentation is created within the product development process and the lifecycle of the attachment. The model revealed that a large part of all documentation related to a product is created during its development process, and a large part of this documentation is not yet managed with any kind of version control.

Keywords: PLM, Product Lifecycle Management, documentation

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

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

☐ Ei
☒ Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmaprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia:

Tekoälysovellusten nimet ja versiot:
ChatGPT-4

Käyttötarkoitus:
ChatGPT:tä hyödynnettiin dokumenttien hallintaan liittyvien standardien etsimisessä.

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty:
Lähdemateriaali; dokumentaatioon liittyvät standardit SFS-EN 82045-1 ja SFS-EN ISO 11442.

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

ALKUSANAT

Viisi vuotta meni nopeasti, enkä ennen opintoja olisi osannut odottaa puoliakaan matkan varrella tapahtuneista kokemuksista tapahtuvan. Päällimmäisenä on papan yllättävä poismeno. Pappa odotti kovasti ja toivoi, että olisi ehtinyt näkemään valmistumispäiväni. Ei se lopulta kovin kauaksi jäänyt, vain muutaman kuukauden päähän. Haluaisin omistaa tämän työn hänelle, sillä hän oli yksi suurimmista syistä, miksi kiinnostuin tästä alasta. Kiitos kaikesta.

Onneksi matkan varrelle mahtuu hyviäkin muistoja. Kiitos kaikille opiskelutovereille, ilman teitä olisi varmasti ollut tylsää, enkä varmaan olisi vieläkään päässyt differentiaaliyhtälöiden kurssia läpi ilman oman porukan tukea.

Kiitos Hannu, Teemu ja Sebastian kaikesta työhön liittyvästä tuesta ja avusta. Kiitokset Mikolle työn ohjaamisesta ja tarkastamisesta sekä ohjauksen aikana saaduista hyvistä vinkeistä. Kiitokset myös Terolle työn tarkastamisesta.

Kiitos tyttöystävälleni Jaanalle ja koko muulle perheelle korvaamattomasta tuesta kaiken tämän aikana. Kiitos kaikille kavereilleni tuesta ja avusta työn oikolukemisen kanssa.

Special thanks to Martin and Jonas from PDSVISION for all the help in the Windchill environment.

Tampereella 29.6.2025

Aleksi Nahkala

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
1.1 Tutkimuksen tausta 1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet 1
1.3 Tutkimusongelma ja -kysymykset 2
1.4 Tutkimuksen rajaus 3
2. TUTKIMUSSTRATEGIAT JA -MENETELMÄT 5
2.1 Konstruktiivinen tutkimusote 5
2.2 Tutkimuksen rakenne 5
2.3 Kirjallisuuskatsaus 7
2.4 Tutkimusaineiston keräys 11
3. TYÖN TEOREETTINEN TAUSTA 13
3.1 Aiemmat tutkimukset aiheeseen liittyen 13
3.2 Tuotedokumentaatio 13
3.2.1 Lainsäädännölliset vaatimukset tuotedokumentaatiolle 15
3.2.2 Dokumentaatioon ja dokumentointiin liittyvät standardit 17
3.3 Tuotetiedonhallinta 20
3.3.1 Nimike ja attribuutti 20
3.3.2 PLM 21
3.3.3 PDM 23
3.3.4 Tuotealusta ja tuoteperhe 24
3.4 Tuotesuunnittelun ja -hallinnan prosessit 25
3.4.1 Stage-Gate-malli 25
3.4.2 Virtausmalli 26
3.4.3 Muutostenhallinta 27
4. LÄHTÖKOHDAT TUTKIMUKSELLE KOHDEYRITYKSESSÄ 29
4.1 Kohdeyrityksen esittely 29
4.1.1 Nykytila-analyysi 29
4.1.2 Yrityksen työlaitteiden tuoterakenne 30
4.1.3 Työlaitteiden yhteensopivuus kuormaajien kanssa 31
4.2 Yrityksen dokumenttityypit ja vastuu eri osastojen välillä 33
5. TUOTEDOKUMENTAATION KÄSITTELY PLM-JÄRJESTELMÄSSÄ 35
5.1 Windchill-PLM 35
5.2 Nimikkeet ja attribuutit Windchill-PLM:ssä 36
5.2.1 Yksittäisten dokumenttien linkittäminen tuotteelle 36
5.2.2 Attribuutteina esiintyvät tuotetiedot 38
5.3 Muutostenhallinta Windchillissä 40
5.4 Tuotedokumentaation elinkaari 41
5.5 Tuoteperheajattelun hyödyntäminen dokumentaatiossa 42
6. TULOKSET 43

6.1 Malli tuotedokumentaation rakenteesta ... 43
6.1.1 Dokumenttien ja nimikkeiden luokittelu ... 46
6.1.2 Yhteensopivuustaulukko ... 49
6.1.3 Mallin kokeilu käytännössä ... 55
6.2 Tuotedokumentaation elinkaarimalli ... 56
6.3 Tuotedokumentaation jakelu ... 58
6.4 Virtausmalli tuotedokumentaatioprosessista ... 59
6.5 Vastuunjakotaulukko ... 62
6.6 Tulosten arviointi ja vastaukset tutkimuskysymyksiin ... 63
7. YHTEENVETO JA TAVOITTEIDEN SAAVUTTAMINEN ... 66
7.1 Valittu tutkimusstrategia ja tutkimuksen onnistuminen ... 67
7.2 Työn tavoitteiden saavuttaminen ... 68
8. JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITYSEHDOTUKSET ... 70
LÄHTEET ... 72
HAASTATTELUT ... 76
LIITE A: VIRTAUSMALLI ... 77

KUVALUETTELO

Kuva 1. *Työn tarkastelunäkökulma ja rajaukset havainnollistettuna* 4
Kuva 2. *Kuvaus tutkimuksen rakenteesta* 6
Kuva 3. *Kaavio tutkimuksen tiedonhakuprosessista* 9
Kuva 4. *Eri dokumenttityyppejä. Koottu lähteistä (Peltonen et al. 2002; Watts 2012a)* 14
Kuva 5. *EU:n konedirektiivin vaatimat dokumentit* 16
Kuva 6. *CE-merkki. Lainattu lähteestä Euroopan Unioni (2006)* 17
Kuva 7. *Dokumenttien versioiden voimassaolo havainnollistettuna. Mukaillen lähdettä (SFS ry 2002).* 18
Kuva 8. *Tuotesuunnitteluprosessin aikana syntyvä dokumentaatio. Mukaillen lähdettä (SFS ry 2006)* 19
Kuva 9. *Stage-Gate-mallin prosessikaavio. Muokattu lähteestä Cooper (2008)* 25
Kuva 10. *Kuvakaappaus erään työlaitesarjan yhteensopivuusmatriisista. Työlaitteiden tuotekoodit ja kuormaajien mallit on sumennettu.* 31
Kuva 11. *Nimikerakenteen Documents-näkymä Windchillissä* 37
Kuva 12. *Esimerkki Windchilliin luodusta dokumenttirakenteesta (Haastattelu, Fransson 2025)* 40
Kuva 13. *Yrityksen käyttämä elinkaarimalli* 41
Kuva 14. *Kaavio työlaitteiden tuoterakenteesta* 44
Kuva 15. *Luotu konsepti dokumentaation rakenteesta Windchillissä* 45
Kuva 16. *Dokumenttien luokittelumalli* 46
Kuva 17. *Franssonilta (2025) saatu esimerkki Windchillin hakutoiminnon luokittelusuodatuksesta* 47
Kuva 18. *Kuvakaappaus erään hydraulisen kauhan teknisen tiedoston osasta. Tuotenumerot ja suunnittelijat on sumennettu.* 48
Kuva 19. *Nimikkeiden luokitteluvaihe* 48
Kuva 20. *Luodut Module- ja Design Unit -tasot Windchillissä* 49
Kuva 21. *Luotu optiosarja (Option Set) ja sen valinnat* 50
Kuva 22. *Luotu kuormaajatuoteperhe. Kuormaajamallit ja sarjojen nimet on sumennettu.* 51
Kuva 23. *Windchillin tuottama, konfigurointipohjainen yhteensopivuusmatriisi* 53
Kuva 24. *Excelissä toteutettu yhteensopivuusmatriisi. Kaikki tuotenumerot ja kuormaajamallit on sumennettu.* 54
Kuva 25. *Sorakauhojen tuoterakenteelle liitetty tuotedokumentaatio. Yksittäisten kauhojen tuotenumerot on sumennettu.* 56
Kuva 26. *Tuotedokumentaation elinkaarimalli* 57
Kuva 27. *Tarkastusvaiheen sisältävä dokumentaation elinkaarimalli* 58
Kuva 28. *Franssonilta (2025) saatu esimerkki myPDS Searchin hakutoiminnosta* 59

LYHENTEET JA MERKINNÄT

BOM	Bill of Materials, osaluettelo tai tuoterakenne
CAD	Computer-Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CPC	Center for Product Customization, tanskalainen modulointiin keskittyvä konsulttiyritys
DXF	AutoCAD DXF, Drawing Exhange Format, tiedostomuoto, jolla tietoa, kuten 2D-piirustuksia, voidaan siirtää eri CAD-ohjelmien välillä
eBOM	Engineering Bill of Materials, suunnittelun osaluettelo tai tuoterakenne
ECN	Engineering Change Notice, muutostiedote
ECR	Engineering Change Request, muutospyyntö
ERP	Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä
mBOM	Manufacturing Bill of Materials, valmistuksen osaluettelo tai tuoterakenne
NPD	New Product Development, uusien tuotteiden suunnitteluprosessi
OEM	Original Equipment Manufacturer, alkuperäinen laitevalmistaja
PDM	Product Data Management, tuotetiedonhallinta
PIM	Product Information Management, tuoteinformaation hallinta
PLM	Product Lifecycle Management, tuotteen elinkaarenhallinta
QA	Quality Assurance, laadunvarmistus
WTPart	Windchill Technology Part, Windchillin nimitys osien nimikkeille

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Kehittyvässä ja voimistuvassa kilpailussa valmistavan teollisuuden yritysten tulisi sekä yrittää säilyttää oma tuotekehitysetunsa ja samalla asemansa markkinoilla että pyrkiä kehittämään omaa toimintaansa tehokkaammaksi. Yksi väline tähän on tuotteiden elinkaarenhallinta eli PLM (Product Lifecycle Management), joka tarjoaa yrityksille mahdollisuuden hallita oman tuoteportfolionsa elinkaarta aina konseptista tuotannosta poistamiseen saakka.

Tämän diplomityön aiheena on kotimaisen pienkuormaajavalmistajan työlaitteisiin liittyvän tuotedokumentaation hallinta PLM-järjestelmässä. Yritys on aiemmin työtä edeltävänä vuonna siirtynyt PDM-järjestelmästä kokonaisvaltaisempaan Windchill-PLM-järjestelmään, joka mahdollistaa tuotteen täyden hallinnan sen koko elinkaaren aikana.

Kohdeyrityksessä ei ole ollut käytössä erillistä dokumentinhallintaohjelmistoa. Dokumentteja tallennetaan toistaiseksi jaetuille verkkolevyille, eikä niillä juurikaan ole saatavana versiohistoriaa. Käyttöön otetussa PLM:ssä on sisäänrakennettuna dokumentinhallintaan liittyviä toiminnallisuuksia, joita ei kuitenkaan ole vielä otettu käyttöön. Se mahdollistaisi dokumenttien hallinnan yhdessä paikassa sekä muun muassa version- ja muutostenhallinnan.

Viime vuosikymmenen aikana aihetta sivuavien opinnäytetöiden perusteella vaikuttaisi siltä, että tekniikan alan yrityksissä ei syystä tai toisesta hyödynnetä joko dokumentinhallintaohjelmistoja tai käytössä olevien PLM-järjestelmien kyseisiä ominaisuuksia (Töyrylä 2022; Olli 2016; Suuronen 2024). Tämä työ pyrkii vastaamaan siihen, miten dokumentteja voisi hallita paremmin ja keskitetysti.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimukselle pyrittiin asettamaan konkreettiset tavoitteet, jotka olisi tarvittaessa pilkottu pienempiin alitavoitteisiin. Työlle määritettiin kolme päätavoitetta, joista kahdelle vielä kaksi alitavoitetta kummallekin.

- Malli tuotedokumentaation rakenteesta
    a. Dokumentaation rakenne
    b. Yhteensopivuustaulukko
- Kuvaus tuotedokumentaation elinkaaren hallinnasta
    a. Elinkaarimalli
    b. Vastuunjakotaulukko
- Kuvaus tai suunnitelma tuotedokumentaation jakelusta

Työn teoriaosuuteen ja kirjallisuuskatsaukseen asetettiin tavoitteeksi erilaisten dokumentaation ja dokumenttien hallintatapojen löytäminen. Lisäksi työlle määritettiin yksi valinnainen ja ehdollinen tavoite. Mikäli mahdollista, tavoitteena on kokeilla tuotedokumentaation hallintaa ja erityisesti luokittelua Dassault:n 3DEXPERIENCE-järjestelmässä. Se on kyseisen yrityksen PLM-järjestelmä, joka eroaa huomattavasti muista siinä, että sen käyttöliittymä on widget-pohjainen ja periaatteessa käyttäjä pystyy itse muokkaamaan sen haluamakseen. Kohdeyrityksellä on käytössä ohjelman kokeiluversio, mutta laajemmassa käytössä se ei ole ollut. Tavoite riippuu täysin siitä, ehditäänkö ohjelmalle järjestämään esittely- ja koulutustilaisuus diplomityön aikataulun puitteissa.

1.3 Tutkimusongelma ja -kysymykset

Kohdeyrityksen PLM-taival on vasta aluillaan, ja siitä haluttaisiin saada mahdollisimman suurta hyötyä. Työn tutkimusongelmana on, kuinka yrityksen työlaitteiden tuotedokumentaatio voitaisiin rakentaa PLM-järjestelmään verkkolevylle tallentamisen sijasta. Tähän haetaan ratkaisua vastaamalla seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- TK1: Mitä tietoja työlaitteen tuotedokumentaatioon tarvitaan?
- TK2: Kuinka tuotedokumentaatiota käsitellään PLM-järjestelmässä?
    a. TK2.1: Millainen on tuotedokumentaation elinkaarimalli?
    b. TK2.2: Millainen on tuotedokumentaation vastuunjako?
- TK3: Miten yhteensopivuustieto kuormaajien kanssa rakennetaan dokumentaatioon?
- TK4: Miten tuotedokumentaation jakelu toteutetaan?

Työn tutkimuskysymykset pyrittiin määrittämään tarkasti, jotta niihin saataisiin selvät vastaukset. Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen pyritään löytämään vastaus kirjallisuudesta. Toiseen tutkimuskysymykseen yritetään löytää vastaus niin ikään kirjallisuudesta, mutta myös yrityksen PLM-järjestelmän ohjeistuksesta sekä tarvittaessa konsultoimalla PLM-palveluntarjoajaa tai muita ulkoisia toimijoita. Myös sisäisiä haastatteluja hyödynnetään tähän kysymykseen vastaamiseen. Muihin tutkimuskysymyksiin etsitään ratkaisua hyödyntämällä PLM-testiympäristöä käytännön osuudessa sekä konsultoimalla asiantuntijoita.

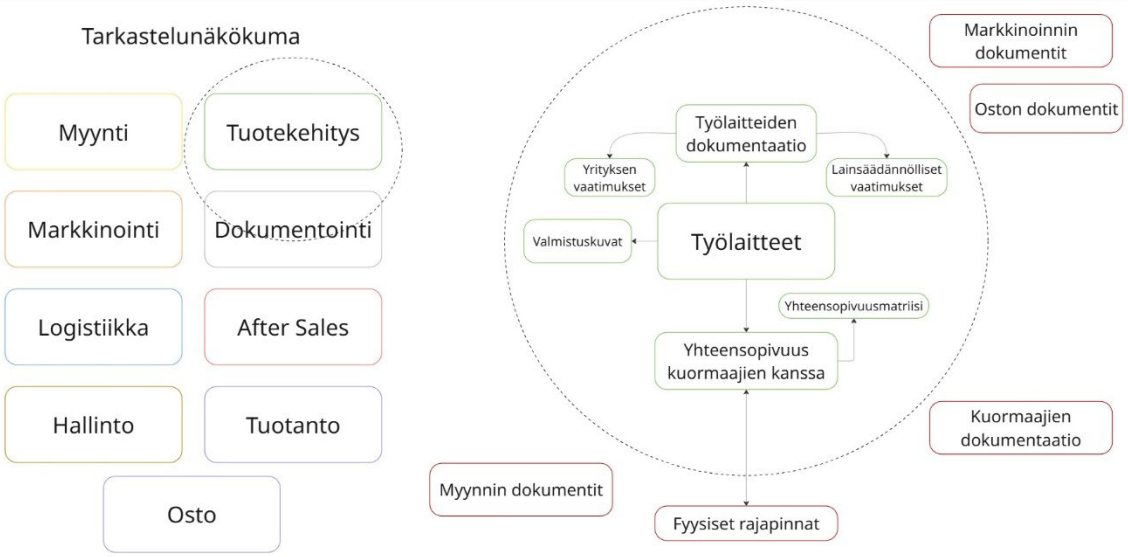
1.4 Tutkimuksen rajaus

Tutkimuksen tarkastelunäkökulmaksi valittiin tuotekehitys, ja tutkimus rajattiin koskemaan yrityksen työlaitteita ja niihin liittyvää dokumentaatiota. Dokumentaation vaatimustarkasteluun valittiin lainsäädännölliset sekä yrityksen omat vaatimukset. Yhteensopivuus kuormaajien kanssa haluttiin sisällyttää työlaitteiden tuotedokumentaatioon.

Kuormaajat sekä niihin liittyvä dokumentaatio rajattiin aihealueen ulkopuolelle. Fyysisten rajapintojen hallinta rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle, vaikka se liittyykin yhteensopivuuden hallintaan. Tutkimuksessa on kuitenkin tarkoituksena tarkastella työlaitteiden ja kuormaajien ominaisuuksien yhteensopivuutta, joten tämä rajaus koettiin aiheelliseksi.

Tutkimuksessa tarkastellaan ainoastaan yrityksen valikoimassa kirjoitushetkellä olevia työlaitteita, ja yhteensopivuutta tarkastellessa myös kuormaajia. Esimerkiksi kaikki jo poistuneet kuormaajamallit eivät kuulu työn aihepiiriin, vaikka ne yleensä sisällytetään myyntikatalogien ja teknisten tiedostojen yhteensopivuustaulukoihin.

Tarkastelunäkökulmaa ja tutkimuksen rajauksia on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1. *Työn tarkastelunäkökulma ja rajaukset havainnollistettuna*

Kuvassa 1 on katkoviivoin ympyröity vasemmalla tarkastelunäkökulmana tuotekehitys sekä oikealla tutkimukseen sisällytetyt aiheet ympyrän sisäpuolella. Ympyröidyn alueen ulkopuolella ovat tutkimuksen ulkopuolelle rajatut aiheet. Työn ulkopuolelle rajattiin myös myynnin, oston ja markkinoinnin dokumentit, kuten työlaitteisiin liittyvät esitteet sekä osto- ja myyntitilaukset.

Työn tarkastelutasoksi määritettiin suoraan työlaitteiden lopputuotteeseen liittyvät nimikkeet. Työssä ei tarkastella erikseen esimerkiksi komponentteihin liittyviä datalehtiä, mutta niiden olemassaolo kuitenkin tiedostetaan.

2. TUTKIMUSSTRATEGIAT JA -MENETELMÄT

Tässä luvussa esitellään työssä käytettävät tutkimusstrategiat ja -menetelmät. Ensiksi esitellään tutkimuksen toteuttamiseen valittu strategia, konstruktiivinen tutkimusote. Sen jälkeen perehdytään tutkimuksen rakenteeseen, ja lopuksi tutkimusmenetelmiin ja aineiston keräysmenetelmiin.

2.1 Konstruktiivinen tutkimusote

Työn tutkimusstrategiaksi valittiin konstruktiivinen tutkimusote. Sen perustana on innovatiivisten mallien eli konstruktioiden kehittäminen. Näillä konstruktioilla pyritään ratkaisemaan oikeita ongelmia ja tuottamaan lisäarvoa kohteeseen, johon sitä sovelletaan. (Lukka 2001)

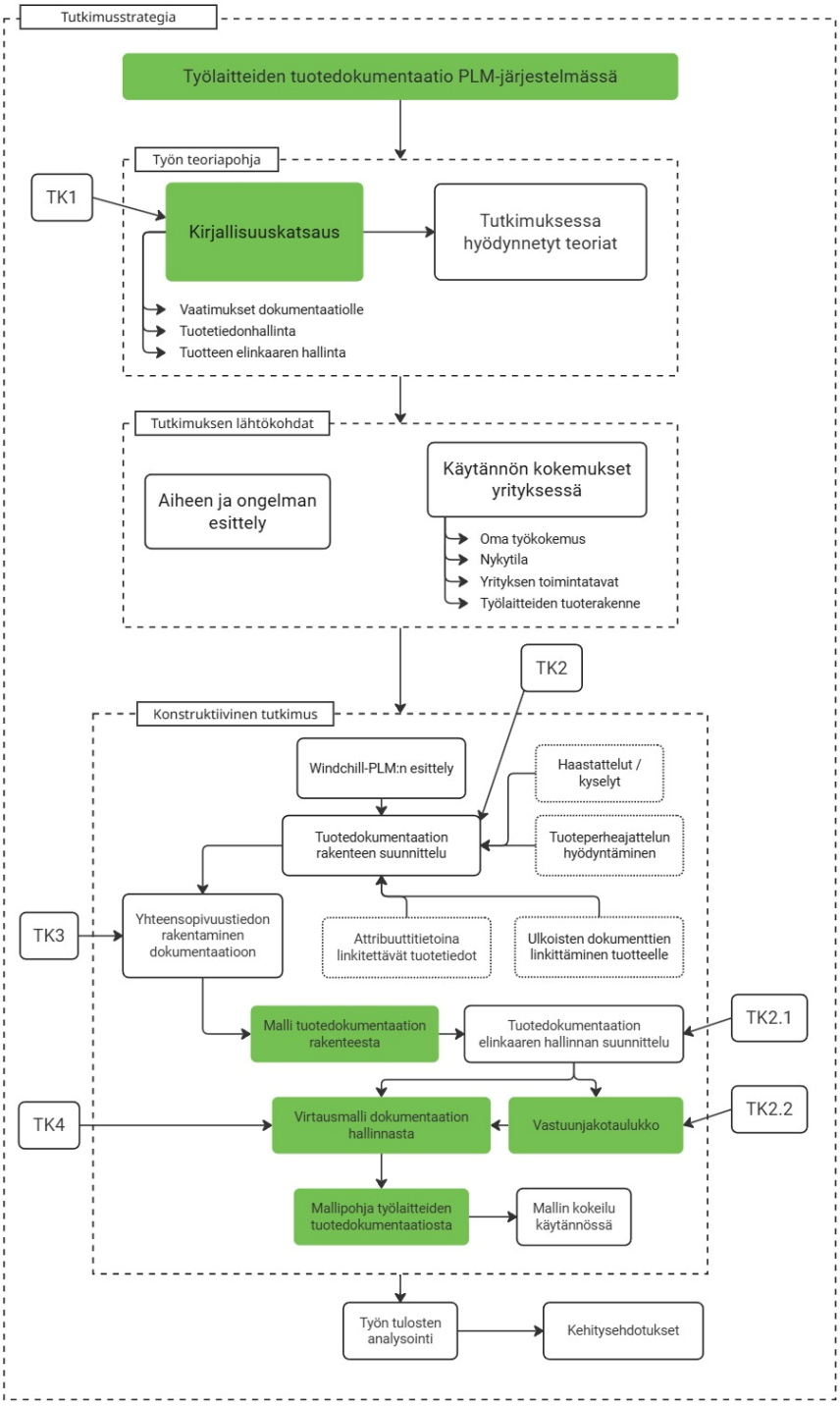
Lukan (2001) mukaan konstruktio voi olla esimerkiksi diagrammi, suunnitelma, kaupallinen tuote tai tietojärjestelmämalli. Konstruktion tunnistaa siitä, että se on kehitetty tiettyyn tarpeeseen, eikä sitä ole keksitty. Konstruktiivisen tutkimusotteen ydinpiirteitä ovat Lukan mukaan

1. tosielämän ongelmien ratkaisemiseen keskittyminen
2. ongelman ratkaisemiseen tarkoitetun konstruktion kehittäminen
3. kehitetyn konstruktion kokeileminen käytännössä
4. tutkijan ja käytännön tekijöiden läheinen yhteistyö
5. huolellinen kytkeminen teoreettiseen tietämykseen
6. empiiristen löydösten reflektointi sovellettuun teoriaan. (Lukka 2001)

Konstruktiivinen tutkimusote valittiin työn tutkimusstrategiaksi, sillä se vaikuttaa sopivalta etenemistavalta työn johdannossa taustoitetun kaltaiseen tutkimukseen. Tavoitteena oli luoda malli yrityksen työlaitteissa käytettävään tuotedokumentaatioon. Dokumentaatiolle ei ole ollut olemassa yhteisesti sovittua mallia, eikä se ole ollut yhtenäinen kokonaisuus.

2.2 Tutkimuksen rakenne

Valitun tutkimusstrategian pohjalta laadittiin tutkimukselle kuvan 2 mukainen rakenne. Tutkimus alkaa kirjallisuuskatsauksella, jossa etsitään tietoa työssä käsitellyistä aiheista, kuten tuotedokumentaatiosta ja tuotetiedonhallinnasta. Lisäksi esitellään työssä hyödynnetyt teoriat.



Kuva 2. *Kuvaus tutkimuksen rakenteesta*

Seuraavaksi esitellään työn lähtökohdat. Tämä alkaa aiheen ja tutkimusongelman esittelyllä. Tämän jälkeen tehdään nykytila-analyysi, joka pohjautuu kohdeyrityksen työlaitteiden suunnittelupäällikön, PLM-kehityspäällikön sekä tuoteturvallisuuspäällikön kanssa pidettyihin avoimiin haastattelutilaisuuksiin. Siihen kuuluvat esimerkiksi yrityksen ja sen toimintatapojen sekä yrityksen valmistamien työlaitteiden tuoterakenteen esittely.

Konstruktiivisen tutkimuksen esittely alkaa yrityksen käyttämän PLM-järjestelmän esittelyllä. Tämän jälkeen aloitetaan varsinaisen tuotedokumentaation rakenteen suunnittelu. Tämän tuloksena saadaan malli dokumentaation rakenteesta sekä virtausmalli dokumentaation hallinnasta ja vastuunjakotaulukko, josta saadaan selville dokumentaation osien vastuuhenkilöt tai -osastot. Tuotedokumentaation mallia myös kokeillaan käytännössä.

Lopuksi analysoidaan työn tulokset sekä esitetään kehitysehdotuksia yritykselle. Myös itse tutkimusta ja sen toteutusta arvioidaan ja pohditaan, mitä kehitettävää tutkimusprosessissa on.

2.3 Kirjallisuuskatsaus

Tutkimuksen teoriapohja muodostettiin toteuttamalla kirjallisuuskatsaus työn aihepiiristä. Tiedonhaun helpottamiseksi aihepiiri jaettiin kolmeen pääosaan: tuotedokumentaation vaatimuksiin, tuotetiedonhallintaan sekä tuotedokumentaation käsittelyyn PLM:ssä. Näistä muodostettiin taulukon 1 mukaisia käsiteryhmiä, joiden alle kerättiin niihin liittyviä käsitteitä.

Taulukko 1. *Käsiteryhmät tiedonhaun jäsentelyä varten*

Ryhmä	Dokumentaation vaatimukset	Tuotetiedonhallinta	Tuotedokumentaatio PLM:ssä
1	Tekninen dokumentaatio Tuotedokumentaatio Dokumentti	PLM PDM PIM Tuoterakenne	Attribuutit Rakenne Dokumentit
2	Vaatimukset Standardit Direktiivit	Historia Nykytila Järjestelmät	Käsittely Muutostenhallinta Konfigurointi Elinkaari

Taulukon 1 käsitteistä muodostettiin hakulausekkeita. Käsitteet käännettiin tätä varten englanniksi, jotta osumia saataisiin mahdollisimman laajasti. Jotta osumia saatiin vastaavasti rajattua täsmällisemmiksi, päädyttiin käyttämään rajaavia NOT-operaattoreita. Varsinkin dokumentaatioon liittyvien hakutulosten joukossa havaittiin olevan huomattava

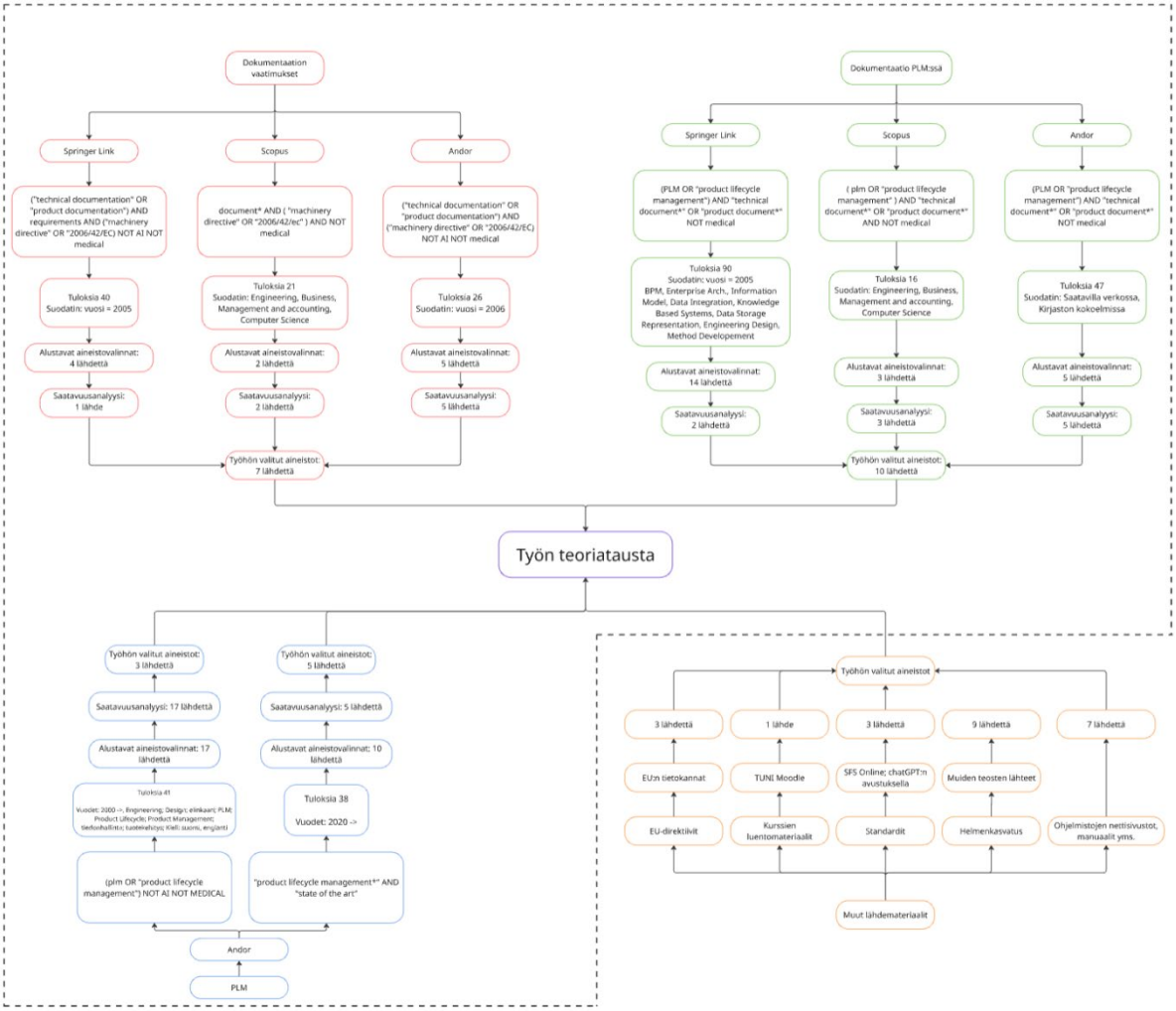
määrä lääketieteellisiin laitteisiin sekä tekoälyyn liittyviä tuloksia, jotka rajattiin pois lisäämällä hakulausekkeeseen NOT AI NOT medical -operaattorit. Muodostetut hakulausekkeet on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. *Käsitteistä muodostettuja hakulausekkeita*

Dokumentaation vaatimukset	("technical documentation" OR "product documentation") AND requirements AND ("machinery directive" OR "2006/42/EC) NOT AI NOT medical (documentation) AND ("machinery directive" OR “2006/42/ec”) AND NOT medical
Tuotetiedonhallinta	(PLM OR ”product lifecycle management”) NOT AI NOT MEDICAL
Tuotedokumentaatio PLM:ssä	(PLM OR "product lifecycle management") AND "technical documentation*" "dokument*" AND (PLM OR "product lifecycle management")

Tietoa lähdettiin hakemaan eri tietokannoista hyödyntämällä Tampereen yliopiston kirjaston alakohtaista kone- ja automaatiotekniikan tiedonhakuopasta (Tampereen yliopiston kirjasto n.d.). Oppaasta löytyivät tietokannat, joissa taulukon 2 hakulausekkeet tuottivat tuloksia. Tietokannoiksi valittiin Springer Link, Scopus, ProQuest Central sekä Andor. Kaikissa näissä tehdyt haut tuottivat tuloksia välillä 20–80.

Tehdyt haut dokumentoitiin ja kirjattiin ylös, paljonko ne tuottivat tuloksia sekä millaista suodatusta haussa oli mahdollisesti hyödynnetty. Hakutulokset käytiin läpi, ja teoksen otsikon ja tiivistelmän perusteella valittiin tämän tutkimuksen kannalta kiinnostavimmat teokset alustavasti mukaan työn lähdemateriaaliin. Kuva 3 havainnollistaa tiedonhakuprosessia.



Kuva 3. *Kaavio tutkimuksen tiedonhakuprosessista*

Kuvassa 3 on katkoviivalla rajattu työn pääasiallinen teoriasisältö jo siihen liittyvät hakuparametrit. Muulla tavoin löydetyt lähteet on koottu yhteen katkoviivan ulkopuolelle.

Alustavien lähdevalintojen jälkeen suoritettiin saatavuusarviointi, jossa työhön valittiin lopulta ne lähteet, jotka olivat saatavilla joko vapaasti tai jotka olivat saatavana Tampereen yliopiston kirjaston kautta. Tämä pienensi hyödynnettävien lähteiden määrää huomattavasti.

Lähdevalikoimaan otettiin mukaan myös muutamia jo entuudestaan tiedossa olleita teoksia, jotka liittyivät työn aihepiiriin. Tällaisia olivat esimerkiksi Sääksvuoren (Sääksvuori et al. 2005, 2002) ja Starkin (2024) tuotteen elinkaaren- ja tuotetiedonhallintaan liittyvät kirjat.

Tärkeimmät kirjallisuuskatsaukseen valitut lähteet sekä niiden valintakriteerit on kerätty taulukkoon 3.

Taulukko 3. *Kirjallisuuskatsaukseen valittuja tärkeimpiä lähteitä*

Lähde	**Tietokanta, josta löytyi**	**Aihepiiri**
Jespen, T. (2016). Risk Assessments and Safe Machinery.	Springer Link	Tiivistää koneisiin liittyvät EU-direktiivit ja muut vaatimukset, käsittelee laajasti myös tuotedokumentaatiota.
Konedirektiivi 2006/42/EY	-	Euroopan Unionin konedirektiivi, joka vaikuttaa suoraan kohdeyrityksen valmistamiin työlaitteisiin.
Lehnerd, A. & Meyer, M. (2011). The Power of Product Platforms	Proquest Central	Tuoteperheet ja -alustat.
Simpson, T. et al. (2006). Product Platform and Product Family Design	Springer Link	Käsittelee laajasti tuoteperheitä ja -alustoja.
Harlou, U. (2006). Developing product families based on architectures: Contribution to a theory of product families	-	Tunnettu väitöskirja, jossa Harlou käsittelee arkkitehtuuriin perustuvia tuoteperheitä.
Stark, J. (2016). Product Lifecycle Management (Volume 2)	Springer Link	PLM ja siihen liittyvät toiminnot.
Lehner, C. et al. (2024). Digital twin and digital thread within the product lifecycle management	Andor; ScienceDirect	Digital Thread -ajattelun ja digitaalisen kaksosen hyödyntäminen tuotteen elinkaarenhallinnassa.
Kehl, S. et al. (2019). Challenges and Architectural Approaches for Automotive PLM in Multi-Brand Organisations - A Discussion Paper	Proquest Central	PLM:n aiheuttamat haasteet autoteollisuudessa sekä ratkaisuja niihin.
Watts, F. (2012). Engineering Documentation Control Handbook: Configuration Management and Product Lifecycle Management	Andor; ScienceDirect	Laaja kirja liittyen dokumentaation hallintaan. Lisäksi kerrotaan laajasti tuotteen elinkaarenhallinnasta ja muutostenhallinnasta.
Ulonska, S. & Welo, T. (2013). Need Finding for the Development of a Conceptional, Engineering-Driven Framework for Improved Product Documentation	Andor	Käsittelee dokumentaation hallintaa suunnittelun näkökulmasta. Antaa ehdotuksia siitä, kuinka dokumentaatiota ja prosessia tulisi hallita tehokkaasti.
Sääksvuori, A. & Immonen, A. (2005). Product Lifecycle Management	Andor; Springer Link	Alan klassikkoteoksia, aiheena PLM ja siihen liittyvät toiminnot.

2.4 Tutkimusaineiston keräys

Tutkimusaineiston keräys suoritettiin pääosin havainnoimalla. Osallistuva havainnointi koettiin hyväksi metodiksi, sillä tekijä on toiminut kohdeyrityksessä työn kirjoittamishetkellä noin kaksi vuotta. Osallistuva havainnointi perustuu tutkijan eli havainnoijan fyysiseen läsnäoloon tutkimuskohteessa. Hänen läsnäolonsa on muiden tiedossa, ja aktiivisessa osallistuvassa havainnoinnissa hän saattaa myös itse vaikuttaa tutkittavaan kohteeseen. Passiivisessa osallistuvassa havainnoinnissa tutkija taas on mukana osallistujana, muttei vaikuta tutkimuksen kulkuun. (Anttila 2014)

Ensimmäisen vuoden tekijä työskenteli teknisen dokumentoinnin ja tuoteturvallisuuden osastolla. Vaikka tekijä keskittyi ja osallistui enimmäkseen kuormaajien ohjekirjojen tekoon ja kuormaajien testaamiseen, hän teki jonkin verran työtä myös työlaitteiden ohjekirjojen parissa sekä osallistui muutaman työlaitteen riskienarviointiin. Tästä tekijä sai hyvän käsityksen siitä, millaisia vaatimuksia muun muassa erilaiset säädökset aiheuttavat yrityksen valmistamille tuotteille.

Ensimmäisen vuoden jälkeen tekijä siirtyi työlaitesuunnitteluun. Siirtymävaiheessa tekijä toteutti työlaitteissa käytettävien varoitustarrojen yhtenäistämisprojektin, jonka tuloksena tarroille saatiin yhtenäinen tyyli sekä materiaalimäärittely kummankin työlaitteita valmistavan alihankkijan kesken. Tämän jälkeen tekijä sai vastuulleen yhden kokonaan uuden työlaitteen suunnittelun sekä muutaman muun työlaitteen suunnittelun jo olemassa olevan laitteen pohjalta. Tästä tekijälle muodostui hyvä käsitys siitä, mitä vaiheita työlaitteen suunnitteluun liittyy, miten suunnittelutyötä seurataan ja dokumentoidaan ja mitä täytyisi olla tehtynä, jotta työlaite voidaan julkistaa ja siirtää tuotantoon.

Myös haastatteluja hyödynnettiin tutkimusaineiston keräämisessä. Käytetyt haastattelutyypit olivat videopuheluin ja sähköpostikeskusteluin toteutetut asiantuntijahaastattelut ja ryhmähaastattelut. Kaikki tehdyt haastattelut olivat luonteeltaan joko puolistrukturoituja tai vähän strukturoituja: asiantuntijoille esitettiin etukäteen määritettyjä, tarkkoja kysymyksiä sekä laajempiin aiheisiin liittyviä avoimempia kysymyksiä, kun taas yrityksen sisäisesti toteutetut ryhmähaastattelut olivat joko täysin avoimia palaverityylisiä tapaamisia tai vähän strukturoituja, joissa keskusteltiin ennalta määritetyistä kysymyksistä tai aiheista.

Puolistrukturoitu tai vähän strukturoitu haastattelu ovat Hyvärisen et al. (2021) mukaan erääitä laadullisen haastattelun muotoja. Niiden ideana on, että haastattelija ohjaa haastattelua valmiilla kysymyksillä tai aiheilla, mutta vain sen verran, että haastateltavat pysyvät aiheessa. Näin haastateltavat saavat mahdollisuuden esittää omia näkemyksiä ja

kantojaan keskusteltavasta aiheesta. Puoli- tai vähän strukturoituja haastatteluja voidaan esimerkiksi tallentaa nauhurilla tai videomuodossa. (Hyvärinen et al. 2021)

Asiantuntijahaastattelua hyödynnetään silloin, kun heillä oletetaan olevan tietoa tutkittavasta aiheesta. Usein asiantuntijoiden haastattelulla on tarkoitus tuottaa uutta tietoa, joka pohjautuu heidän näkemyksiinsä ja tietämyksiinsä. Asiantuntijat omat oman alansa ja tietämyksensä ammattilaisia, minkä vuoksi he voivat suhtautua haastatteluihin eri tavoin. Tästä johtuu, että haastateltavan ja haastattelijan näkemykset ja tavoitteet eivät välttämättä kohtaa, jolloin haastateltavalla ei välttämättä ole halua tehdä yhteistyötä haastattelijan kanssa. Asiantuntijahaastattelu on usein puolistrukturoidun haastattelun muunnelma. (Alastalo et al. 2017)

Pietilän (2017) mukaan ryhmähaastattelun keskeinen piirre on osallistujien välinen vuorovaikutus. Haastattelijan tehtävänä on ohjata keskustelua, mutta antaa samalla tilaa haastateltavien keskinäiselle vuorovaikutukselle. Tavoitteena tällaisessa haastattelussa voi olla esimerkiksi löytää yhteisymmärrys, joka pohjautuu haastateltavien omiin kokemuksiin ja näkemyksiin. Ryhmähaastattelun haasteena on vuorovaikutuksen toimiminen: aktiiviset keskustelijat saattavat alkaa hallita keskustelua siten, että varovaisemmat eivät pääse ääneen ollenkaan. (Pietilä 2017)

3. TYÖN TEOREETTINEN TAUSTA

Tässä luvussa esitellään diplomityöhön liittyvä teoriatausta. Aluksi esitellään muutamia tuotetiedonhallintaan liittyviä opinnäytetöitä viimeisen vuosikymmenen ajalta. Sen jälkeen selitetään, mitä tarkoitetaan tuotedokumentaatiolla ja mitä vaatimuksia siihen liittyy. Tämän jälkeen esitellään keskeisimmät tuotetiedonhallinnan aiheet, ja lopuksi esitellään keskeisimmät prosesseihin liittyvät teoriat: Stage-Gate-malli, virtausmalli ja muutostenhallinta.

3.1 Aiemmat tutkimukset aiheeseen liittyen

Työn aiheeseen liittyen tai ainakin sitä sivuavia tutkimuksia on tehty jonkin verran. PLM ja tuotetiedonhallinta ylipäätään näyttäisi kasvattaneen suosiotaan myös opinnäytetöiden aiheena. Esimerkiksi Töyrylä (2022) keskittyy diplomityössään yleisesti tuotetiedonhallinnan kehittämiseen kohdeyrityksessään. Hänen tavoitteenaan oli kartoittaa ongelmia yrityksen tuotetiedonhallinnassa ja ratkaista niitä. Niskanen (2016) kuvaa AMK-opinnäytetyössään oman kohdeyrityksensä teknistä dokumentointiprosessia. Olli (2016) perehtyy diplomityössään niin ikään kohdeyrityksensä tuotetiedon hallinnan kehitykseen. Myös Suuronen (2024) sivuaa omassa diplomityössään tuotedokumentaation hallintaa.

Huomattavaa on, että Töyrylä, Olli ja Suuronen mainitsevat tuotteiden dokumentoinnin ja dokumentaation hallinnan olleen töidensä kirjoitushetkillä haasteellista (Olli 2016; Töyrylä 2022; Suuronen 2024). Erityisesti epäjärjestelmällisyys dokumentointiin liittyvissä prosesseissa on tuottanut haasteita. Yrityksissä ei esimerkiksi ole välttämättä sovittu tiettyä vastuunjakoa dokumentaation eri osa-alueille. Dokumentteja saatetaan tallentaa esimerkiksi pelkästään verkkolevylle, jolloin linkkiä niiden ja itse tuotteen välillä ei ole eivätkä dokumentaatio tai yksittäiset dokumentit täten ole myöskään mukana tuotteen elinkaaren hallinnassa. Usein tämä tarkoittaa sitä, että dokumentin historiatietoa ei välttämättä ole saatavilla.

3.2 Tuotedokumentaatio

Tuotteen elinkaaren aikana syntyy paljon siihen liittyvää tietoa, josta tuotedokumentaatio muodostuu. Tuotedokumentaatio käsittää kaiken tuotteeseen liittyvän dokumentaation, kuten valmistuspiirustukset, 3D-mallit, käyttöohjeen sekä mahdolliset sertifikaatit ja vaatimustenmukaisuusvakuutukset. Watts jakaa kirjassaan (2012a) tuotedokumentaation karkeasti dokumenttiryhmiin, joita voivat olla esimerkiksi

- suunnitteludokumentit, jotka määrittelevät tuotteen
- tukidokumentit, jotka tukevat tuotetta tai sen ylläpitoa
- valmistusdokumentit, jotka määrittelevät valmistusprosessin.

Wattsin mukaan tarvittaessa dokumenttiryhmiä voidaan luoda edelleen lisää, kuten esimerkiksi markkinointiin liittyvät dokumentit (Watts 2012a). Peltonen et al. (2002) mainitsevat teoksessaan näiden lisäksi projektidokumentit, toimitusdokumentit, prosessidokumentit, ohjelmistodokumentit sekä kaupalliset dokumentit (Peltonen et al. 2002).

Suunnitteludokumentit

Tuotemäärittely
Asiakasvaatimukset
Testivaatimukset
Suunnitteluspesifikaatiot

Valmistusdokumentit

3D-mallit
Osien piirustukset
Hydrauli- ja sähkökaaviot
Kokoonpano-ohjeet
Pakkausohjeet
NC-ohjelmat

Kaupalliset dokumentit

Laskut
Ostotilaukset
Myyntitilaukset
Tarjoukset

Projektidokumentit

Projektisuunnitelmat
Projektiaikataulut

Markkinointidokumentit

Myyntikatalogit
Hinnastot
Sovellusohjeet
Esitteet

Tekniset dokumentit

Käyttöohjeet
Tekniset tiedostot
Viranomaishyväksynnät
Varaosaluettelot
Asennusohjeet
Huolto-ohjeet

Kuva 4. *Eri dokumenttityyppejä. Koottu lähteistä (Peltonen et al. 2002; Watts 2012a)*

Dokumenttityyppien tunnistaminen ja luokittelu ryhmiin helpottaa niiden ylläpitoa ja selventää sitä, kuka tai mikä osasto niistä on vastuussa (Watts 2012a). Se myös nopeuttaa haluttujen dokumenttien etsimistä (Arnarsson et al. 2021).

Ulonska ja Welo (2013) esittävät, että kaikki tuotekehitysprojektiin liittyvä tuotedokumentaatio tulisi rakentaa samaan hierarkiseen malliin. Heidän mukaansa useaan eri paikkaan tallennetut dokumentit tekevät halutun tiedon etsimisestä vaikeaa. Kaiken tuotteeseen liittyvän dokumentaation voisi kerätä yhteen rakenteeseen, joka voitaisiin linkittää tuotteen arkkitehtuuriin. Tällöin dokumentaatio olisi vähemmän hajanaista ja helpommin löydettävissä. (Ulonska et al. 2013)

Ulonska ja Welo (2013) esittävät myös, että dokumentaation tulisi sijaita yhdessä paikassa. Tämä helpottaa yleistä tiedonhakua sekä yksittäiseen projektiin liittyvien dokumenttien hakemista, kun kaikki tieto sijaitsisi yhdessä strukturoidussa paikassa. Jos tietoa tallennetaan useaan eri paikkaan, on mahdollista, että uusia osia tai dokumentteja luodaan turhaan siksi, että jo olemassa olevaa tietoa ei ole löydetty. (Ulonska et al. 2013)

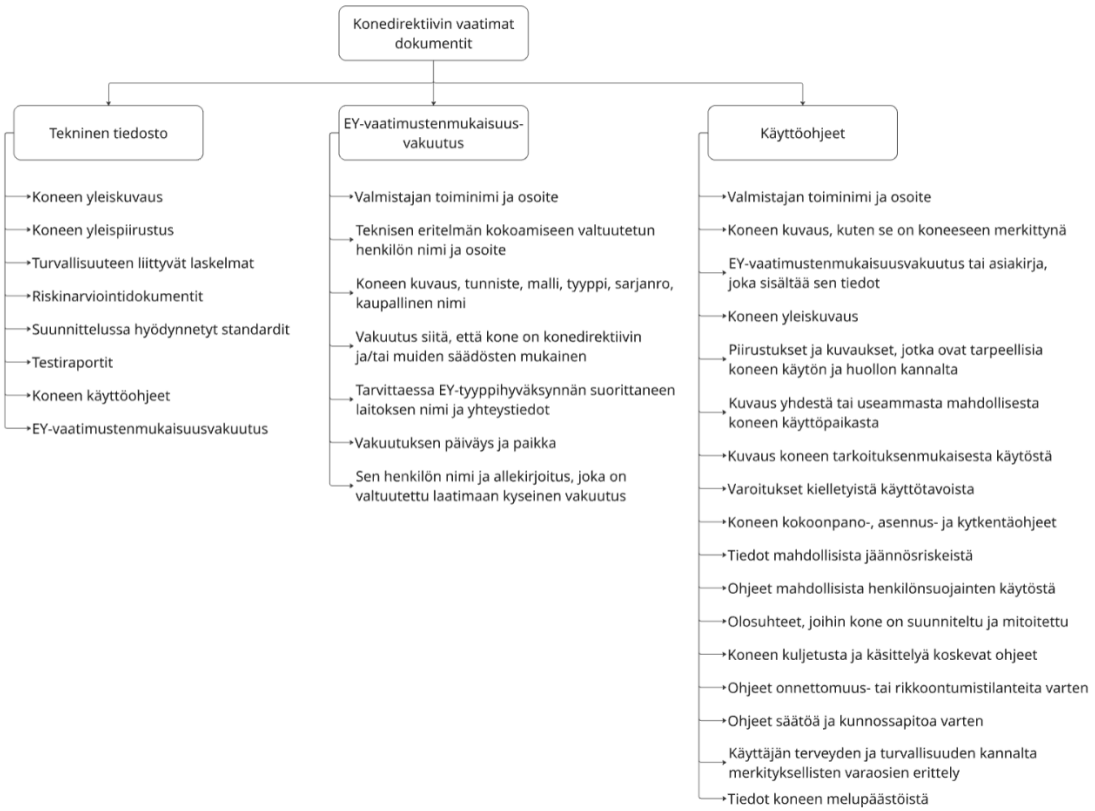
3.2.1 Lainsäädännölliset vaatimukset tuotedokumentaatiolle

Valmistavassa teollisuudessa tuotteelta vaadittavaa dokumentaatiota voi ohjata muun muassa yrityksen omat intressit tai lainsäädäntö. Lainsäädännön vaatimukset riippuvat valmistettavasta tuotteesta. Tässä työssä tarkastellaan pienkuormaajaan kiinnitettäviä työlaitteita, jotka luokitellaan Euroopan Unionin konedirektiivin alaisiksi koneiksi (Euroopan Unioni 2006). Direktiivin mukaan koneella tarkoitetaan toisiinsa liitettyjen osien kokoonpanoa, jossa on vähintään yksi liikkuva osa. Se toimii kytkettynä voimanlähteeseen tai esimerkiksi moottoriajoneuvoon. (Euroopan Unioni 2006)

Konedirektiivi asettaa valmistajille monia vaatimuksia niin suunnittelun, valmistuksen kuin dokumentoinnin näkökulmasta. Dokumentaation osalta konedirektiivi velvoittaa koneen valmistajaa

- laatimaan koneelle teknisen tiedoston, joka sisältää koneen teknisen määrittelyn
- antamaan koneelle EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen, joka sisältää vakuutuksen siitä, että kone vastaa sille määritettyjä vaatimuksia
- toimittamaan koneen mukana asianmukaiset käyttö- ja huolto-ohjeet. (Tukes n.d.; Jespen 2016)

Näiden vaatimusten tarkemmat erittelyt on esitelty kuvassa 5.



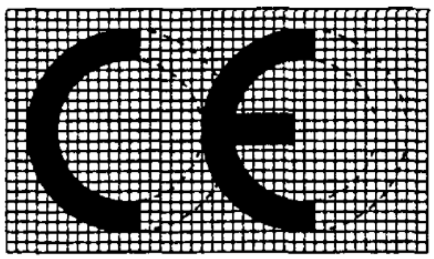
Kuva 5. *EU:n konedirektiivin vaatimat dokumentit*

Kuten kuvasta 5 nähdään, käyttö- ja huolto-ohjeet ovat yksittäisten vaatimusten ja sisältönsä osalta laajin dokumentti, joka valmistajan on toimitettava koneen mukana. Käyttöohjeiden on sisällettävä koneen käyttöönoton ja käytön kannalta oleelliset tiedot muun muassa sen mahdollisista jäännösriskeistä, tarkoituksenmukaisesta käytöstä ja ohjeistukset esimerkiksi vaadittujen henkilösuojainten käytöstä. (Euroopan Unioni 2006)

Tekninen tiedosto kuvaa koneen rakennetta, sen suunnittelua ja sille tehtyjä testejä. Sen tulee sisältää muun muassa koneen yleiskuvaus, turvallisuuteen liittyvät laskelmat, suunnittelussa hyödynnetyt standardit sekä tehdyt testaukset ja riskinarviot. Teknistä tiedostoa ei toimiteta koneen mukana loppukäyttäjälle, vaan se on tarkoitettu viranomaisia varten. Sillä voidaan tarvittaessa todistaa koneen markkinoille saattamisen jälkeen, että kone vastaa sille asetettuja vaatimuksia. (Euroopan komissio 2019)

Muita vaatimuksia dokumentaatiolle on esimerkiksi vaatimus kääntää tuotteeseen liittyvät dokumentit kohdemaan kielelle. Jespenin (2016) mukaan kone- tai muun tuotedirektiivin vaatimat dokumentit, kuten käyttöohjeet, tulee kääntää kohdemaan kielelle. Sen sijaan dokumentit, jotka valmistajan on toimitettava pyydettäessä viranomaisille, voivat olla kirjoitettu yhdellä tai useammalla EU-alueen kielellä. Tällaisia dokumentteja ovat esimerkiksi tekninen tiedosto tai EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus. (Jespen 2016)

Mikäli konedirektiivin vaatimukset täyttyvät ja valmistaja pystyy huolehtimaan siitä, että kone pysyy vaatimusten mukaisena, on valmistaja oikeutettu kiinnittämään koneeseen CE-merkin (kuva 6).



Kuva 6. *CE-merkki. Lainattu lähteestä Euroopan Unioni (2006)*

CE-merkittyä konetta voidaan myydä vapaasti Euroopan talousalueella ilman lisävaatimuksia (Euroopan Unioni 2006). CE-merkinnän lisäksi jokaiseen koneeseen on kiinnitettävä vähintään valmistajan nimi ja yhteystiedot, kuvaus koneesta, tyyppimerkintä, sarjanumero sarjatuotannossa olevan koneen tapauksessa sekä valmistusvuosi. Myös koneen massa on ilmoitettava, mikäli sitä tai sen osaa on käytön aikana käsiteltävä nostolaitteella. (Euroopan Unioni 2006)

Euroopan komission (2018) selvityksen mukaan puutteellinen tuotedokumentaatio aiheutti vaatimustenvastaisuuden noin kolmasosalla (35 %) tutkimuksessa havaituista vaatimustenvastaisuustapauksista. Ongelmia aiheuttivat erityisesti vaatimukset dokumentaation kääntämisestä kohdemaan kielelle sekä vaatimus toimittaa käyttöohje sekä EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus paperisena tuotteen mukana. Näiden vaatimusten koettiin lisäävän erityisesti kustannuksia, ja tutkimukseen osallistuneet yritykset toivoivatkin mahdollisuutta toimittaa kyseiset dokumentit sähköisessä muodossa. (Euroopan komissio et al. 2018)

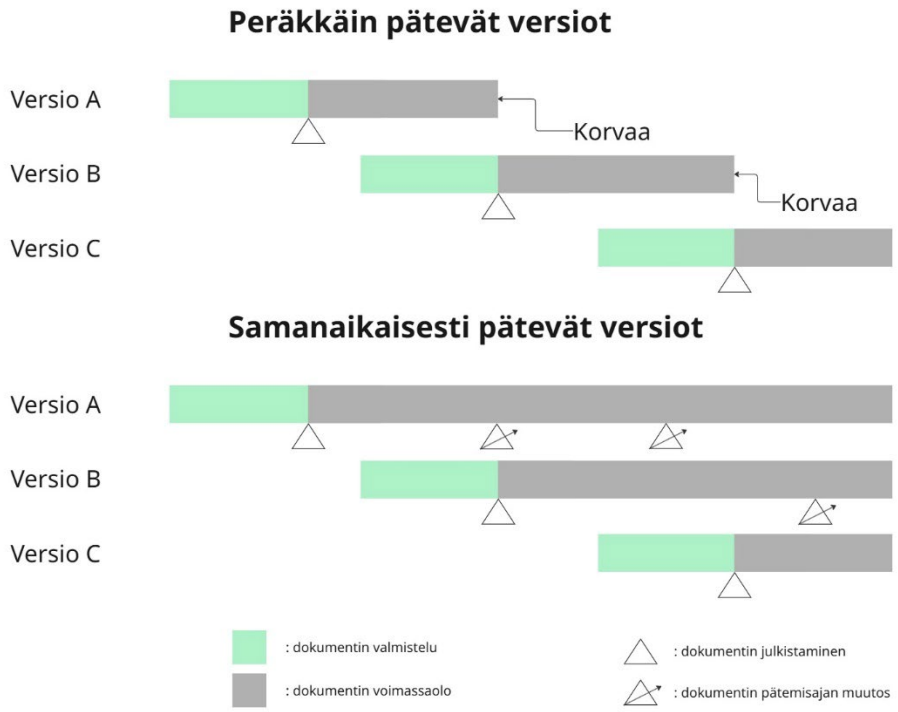
3.2.2 Dokumentaatioon ja dokumentointiin liittyvät standardit

Tuote- ja teknisen dokumentaation hallintaan on olemassa omat standardinsa. Yksi niistä on SFS-EN 82045-1, jossa määritetään pääasiassa dokumenttien hallinnan periaatteita sekä dokumentteihin liittyvää metadataa, joko liittyen niiden ympäristöön tai elinjakson aikaisiin toimintoihin. Standardi määrittää esimerkiksi, miten dokumenttien valmistelu, hyväksyminen, julkistaminen ja versiointi tapahtuvat. (SFS ry 2002)

Standardin SFS-EN 82045-1 mukaan dokumenttiin on aina liittyneenä metadataa, joka voi olla esimerkiksi osa dokumentin esitystä, mukana dokumentin tiedostossa, liittyneenä dokumenttiin sen hallintajärjestelmässä tai erillisenä datajoukkona, jota käytetään

dokumentista riippumattomasti hallittuna hakutarkoituksiin. Metadata voi olla osa yhtä tai useampaa dokumenttia. (SFS ry 2002)

Dokumentteihin liittyviä muutoksia voi standardin SFS-EN 82045-1 olla yleensä kahta tyyppiä: informaation tai informaation esitystavan muutos. Informaatiota muutettaessa on otettava käyttöön uusi dokumentin versio. Esitystapaa muutettaessa tämä ei ole välttämätöntä. Dokumentin versiot voivat olla samaan aikaan tai peräkkäin pätevänä olevia. Tätä on havainnollistettu kuvassa 7.



Kuva 7. *Dokumenttien versioiden voimassaolo havainnollistettuna. Mukaillen lähdettä (SFS ry 2002).*

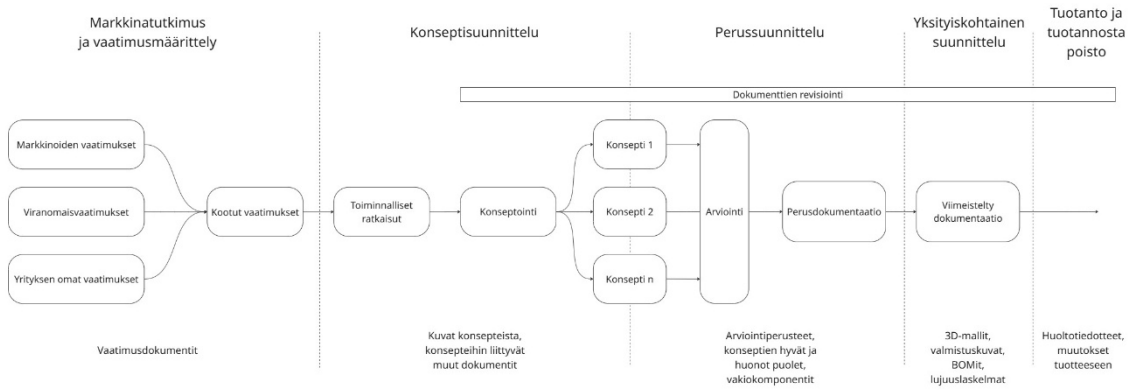
Peräkkäin ja samanaikaisesti pätevyyden ero on siis se, että peräkkäin pätevyydessä uusi versio korvaa vanhan version, kun se julkaistaan. Samanaikainen pätevyys tarkoittaa sitä, että versiot voivat olla päteviä toistensa kanssa samaan aikaan. Tällöin pätevyysaikoihin voidaan erikseen tehdä muutoksia. (SFS ry 2002)

SFS-EN 82045-1 jakaa dokumentin elinkaaren ja sen aikana tapahtuvat toimenpiteet siten, että ensin dokumentille määritetään tunniste ja sille voidaan antaa tarvittaessa luokittelevia määritteitä. Dokumentin sisältö muodostetaan sen valmisteluvaiheessa. Ennen dokumentin hyväksyntää sen sisältö tulisi tarkastaa ja tarvittaessa suorittaa ulkoinen tarkastus. Tarkastus on suoritettava erityisesti silloin, kun yrityksessä on käytössä ISO 9000 -sarjan mukaisia laadunvarmistusjärjestelmiä. Dokumentin valmisteluvaihe päättyy sen julkaisuun. (SFS ry 2002)

Mikäli dokumentin sisältöä täytyy muuttaa, voidaan tämä tehdä muutosvaiheessa. On huomattavaa, että kaikkien muutosten tulisi olla jäljitettäviä ja saatavana dokumentin historiatiedoissa. (SFS ry 2002)

Dokumentti voidaan standardin mukaan poistaa käytöstä, kun sitä ei voida enää hyödyntää. Tällöin sitä täytyy mahdollisesti säilyttää vielä määritetyn säilytysajan. Kun säilytysaika päättyy, voidaan dokumentti poistaa lopullisesti. (SFS ry 2002)

Toinen, ensisijaisesti teknisen dokumentaation hallintaan liittyvä standardi on SFS-EN ISO 11442:2006. Tämä standardi määrittää perussäännöt teknisen dokumentaation hallinnalle, dokumentointityön vaiheille, dokumentaation muutostenhallinnalle sekä dokumentaation elinkaaren hallinnalle (SFS ry 2006). Standardi esittää myös, missä suunnitteluprosessin eri vaiheissa eri dokumentteja luodaan, ja missä vaiheessa niitä voidaan muuttaa. Tätä on havainnollistettu kuvassa 8.



Kuva 8. *Tuotesuunnitteluprosessin aikana syntyvä dokumentaatio. Mukaillen lähdettä (SFS ry 2006)*

Konseptointivaiheesta eteenpäin syntyviin dokumentteihin tulisi soveltaa dokumenttien revisiointisääntöjä, mikäli niitä täytyy muuttaa. Näin saavutetaan dokumenttien versiohallinta ja voidaan varmistua siitä, että dokumentit ovat ajan tasalla ja sisältävät oikeaa tietoa.

ISO 9001 ei varsinaisesti liity tuotedokumentaatioon, mutta sitä voidaan soveltaa myös dokumentointi- ja suunnitteluprosessiin. Standardi määrittelee vaatimukset yrityksen laadunhallintajärjestelmälle. Sen mukaan tuotekehitysprosesseja on hallittava, jotta varmistutaan siitä, että työlle asetetut tavoitteet määritetään. Suunnittelun tuloksia on myös arvioitava katselmointitilaisuuksissa. Tulokset on todennettava, jotta voidaan olla varmoja siitä, että ne täyttävät asetetut lähtövaatimukset. Lisäksi kelpuutustoimenpiteillä varmistetaan, että tuotteet tai palvelut vastaavat suunnitellun käyttötarkoituksen vaatimuksia. Mahdollisia ongelmia on käsiteltävä tarvittavalla tavalla koko laadunvarmistusprosessin

ajan. Lopuksi koko suunnitteluprosessi on dokumentoitava, ja tätä dokumentoitua tietoa on säilytettävä tarvittavan ajan. (SFS ry 2015)

Toisin sanoen tuotesuunnittelun ja dokumentointiprosessin tuloksina syntyneet tuotokset, kuten 3D-mallit, valmistuspiirustukset ja käyttöohjeet, täytyy tarkastaa ennen niiden julkaisua. Standardi vaatii myös, että tuotteen suunnittelun ja muun elinkaaren aikana syntynyt dokumentaatio tallennetaan ja säilytetään, eli tuotteesta muodostetaan ”dokumentoitua tietoa”. (SFS ry 2015)

3.3 Tuotetiedonhallinta

Tässä aliluvussa kerrotaan tarkemmin tuotetiedonhallinnasta ja sen osa-alueista. Aluksi esitellään, mitä tarkoitetaan nimikkeellä ja attribuutilla. Sen jälkeen perehdytään tuotteen elinkaaren hallintaan eli PLM:ään (Product Lifecycle Management) sekä sen alle miellettävään PDM:ään eli tuotedatan hallintaan (Product Data Management).

3.3.1 Nimike ja attribuutti

Sääksvuoren ja Immosen (2005) mukaan nimike (item) on systemaattinen ja standardoitu tapa identifioida, nimetä ja yksilöllistää esimerkiksi jokin fyysinen tuote, sen osakokoonpano, komponentti tai dokumentti. Heidän mukaansa tuotetiedonhallinnan näkökulmasta olisi tärkeää, että nimikkeitä ja niiden luokittelua käsiteltäisiin yhtenäisesti yrityksen sisäisesti.

Nimikkeet tulisi luokitella riittävän tarkasti. Liian karkeasta luokittelusta ei ole juuri hyötyä ja liian tarkka luokittelu saattaa pahimmillaan vain hidastaa yrityksen toimintoja ja lisätä nimikkeiden ylläpitoon tarvittavaa työtä. Nimikkeiden hierarkia ja nimikkeiden sekä nimikekategorioiden väliset yhteydet tulisi myös dokumentoida. (Sääksvuori et al. 2005)

Attribuutilla tarkoitetaan nimikkeen metadataa. Ne kuvailevat nimikettä ja ovat yleensä sen perustietoja tai -ominaisuuksia (Stark 2016). Starkin (2024) mukaan esimerkiksi lentokoneen attribuutteja voisivat olla väri, massa, rungon pituus ja siipien väli. Attribuutteja voidaan hyödyntää muun muassa nimikkeiden tai tuoteperheiden luokittelussa; samankaltaiset attribuutit omaavat nimikkeet voidaan helposti ryhmitellä. Vastaavasti attribuutteja voidaan hyödyntää myös tiedon hakemisessa järjestelmästä. (Sääksvuori et al. 2005; Stark 2016)

3.3.2 PLM

Tuotteen elinkaaren hallinnalla eli PLM:llä (Product Lifecycle Management) tarkoitetaan nimensä mukaisesti tuotteen hallintaa koko sen elinkaaren ajalta ideasta ja suunnittelu-vaiheesta tuotannosta poistamiseen ja hävittämiseen asti (Sääksvuori et al. 2005). PLM on kokonaisvaltainen toimintatapa, jonka tavoitteena on erityisesti nopeuttaa ja tehostaa tuotesuunnittelua, hallita tuotteeseen liittyvää informaatiota ja muutoksia sekä vähentää virheitä. Täysin implementoituna PLM ei ole pelkkä tietokoneohjelma tai järjestelmä, vaan ylätason toimintatapa, joka kattaa koko organisaation ja henkilöstön (Stark 2016).

PLM:stä puhuttaessa tarkoitetaan kuitenkin yleensä nimenomaisesti PLM-järjestelmää (Sääksvuori et al. 2005). Sen tehtävänä on toimia säilytyspaikkana kaikelle tuotteeseen ja sen elinkaareen liittyvälle tiedolle. Lisäksi PLM tukee arvontuottoketjun aikana tuote-kehitystä sekä muita erilaisia sidosryhmiä, kuten ostoa, jälkimarkkinointia tai yksittäisiä alihankkijoita (Kehl et al. 2019). PLM-järjestelmän yleisimmät tehtävät on eritelty taulukkoon 4.

Taulukko 4. *PLM-järjestelmien tehtävät ja toiminnot selitettynä. Koottu lähteestä Sääksvuori & Immonen (2005)*

Toiminto	Tarkoitus
Nimikkeiden hallinta	Kontrolloi nimikkeiden tietoja ja tiloja sekä nimikkeiden luontiin ja ylläpitoon liittyviä prosesseja.
Tuoterakenteen hallinta	Hallinnoi ja ylläpitää tuoterakenteen avulla yksittäisiä tietoja ja niiden yhteyksiä muihin tietoihin.
Käyttäjien oikeuksien hallinta	PLM:ssä voidaan esimerkiksi määrittää, kuka pääsee käsiksi mihinkin tietoihin tai kuka pystyy luomaan uusia nimikkeitä tai dokumentteja.
Nimikkeiden ja dokumenttien tilan hallinta	Ylläpitää nimikkeen tai dokumentin elinkaaren tilaa. Tila näytetään esimerkiksi muodossa Suunnittelussa / Tuotannossa / Poistettu tuotannosta. Ylläpitää myös revisio- ja versiohistoriaa.
Muutostenhallinta	Ylläpitää tietoa nimikkeelle tehdyistä muutoksista ja pitää huolen siitä, että viimeisin hyväksytty versio on saatavana.
Konfiguraatioiden hallinta	Hallinnoi tuotteen eri konfiguraatioita eri muunteluvaihtoehtoja. Mahdollistaa tuotteen muuntelun asiakkaan toiveiden mukaisesti.
Tehtävien ja työnkierron hallinta	Mahdollistaa kommunikoinnin ja tehtävien jakamisen, esimerkiksi muutospyyntöjen avulla.
Historiatietojen säilytys	Tallentaa tarvittaessa kaikki PLM:n sisällä tapahtuvat muutokset, mikä mahdollistaa jäljitettävyyden.
Tiedostojen säilytys	PLM sisältää tiedostopankin, jonne tieto ja tiedostot tallennetaan.

Kuten taulukosta 4 nähdään, PLM:llä on monia tärkeitä tehtäviä. Sitä voidaan pitää eräänlaisena yrityksen ydinprosessien hallitsijana, jonka päätehtävänä on keskittää tieto ja josta sitä voidaan jakaa tarvittaessa muille ohjelmistoille, prosesseille tai sidosryhmille (Sääksvuori et al. 2005).

PLM-järjestelmän implementointi tulisi Granholmin (2013) mukaan lähteä yrityksen liiketoiminnallisista tarpeista, ja siinä tulisi huomioida, millaisia yrityksen tuotteet ovat, miten ne tuotetaan ja mikä on yrityksen liiketoimintaympäristö. Näiden pohjalta voidaan rakentaa tarvittavat tietomallit, prosessikuvaukset ja kerätä eri sidosryhmien vaatimukset. Muutoin vaarana on muun muassa ”siiloutuminen”, jossa yrityksen eri osastot toimivat omien aikaisempien prosessiensa, toimintatapojensa ja tavoitteidensa mukaan. (Granholm 2013)

Lehnerin et al. (2024) mukaan eri tuotteiden elinkaaret ovat usein toisistaan riippumattomia. Tämän vuoksi tärkeää tietoa saatetaan menettää erityisesti NPD-prosesseissa

(New Product Development) eli uusien tuotteiden suunnittelussa. Neljännen teollisen vallankumouksen eli Industry 4.0:n mukana yleistynyttä Digital Thread -ajattelua voisi Lehnerin et al. (2024) mukaan hyödyntää erityisesti NPD-prosesseissa. Digital Thread tarkoittaa data-arkkitehtuuria, joka yhdistää tuotteen elinkaaren eri vaiheiden aikana muodostuvaa tietoa (Singh et al. 2018). Tätä tietoa voidaan hyödyntää erityisesti silloin, kun suunnitellaan täysin uusia tuotteita tai tietyn tuotteen seuraavaa sukupolvea (Lehner et al. 2024; Singh et al. 2018). Tällöin Digital Thread -ajattelua voisi Lehnerin et al. (2024) mukaan hyödyntää muun muassa erilaisten tuotteisiin liittyvien datamallien harmonisointiin. Myös Laroccan et al. (2022) toteuttama kirjallisuustutkimus NPD-prosessin aikana tapahtuvasta tuotetiedonhallinnasta paljastaa, että PLM:n tuotetiedonhallintatyökalujen tarjoamat mahdollisuudet mainitaan useissa heidän tutkimissaan lähteissä.

Kehl et al. (2019) ovat tutkineet PLM:ään liittyviä haasteita autoteollisuuden yrityksissä, jotka valmistavat useiden eri automerkkien autoja. Heidän mukaansa prosesseihin liittyvät haasteet koskevat usein työnkiertoon liittyviä toimintoja, jotka aiheutuvat autovalmistajien erilaisista toimintatavoista. Teknologiaan liittyvät haasteet aiheutuvat usein eroista yritysten käyttämissä ohjelmistoissa. Esimerkiksi eri CAD-ohjelmistojen tuottamat 3D-mallit ovat harvoin keskenään yhteensopivia. (Kehl et al. 2019)

3.3.3 PDM

Tuotetiedonhallinta eli PDM (Product Data Management) mielletään Starkin (2016) mukaan nykyään yhdeksi PLM:n osa-alueeksi. Se kehitettiin alun perin 1980-luvulla, ja se rajoittui lähinnä funktiokeskeisiin kehitys- ja suunnittelutoimintoihin (Kehl et al. 2019). Se mahdollistaa muun muassa tuotteen tai nimikkeiden yksilöinnin, säilyttämisen ja versionhallinnan. (Sääksvuori et al. 2005; Peltonen et al. 2002)

PLM:n yhtenä osa-alueena PDM vastaa nykyäänkin tuotetiedonhallinnasta. Se on Starkin (2016) mukaan yksi tärkeimmistä PLM:n toiminnoista, sillä se vastaa tuotteeseen liittyvän tiedon oikeellisuudesta ja ajantasaisuudesta. Mikäli tuotetieto ei ole hallittua tuotteen elinkaaren aikana, on koko tuotteen hallitseminen hankalaa (Stark 2016).

Stark (2016) listaa taulukon 5 mukaisia esimerkkejä PDM:ään liittyvistä ongelmista, joita yritykset saattavat kohdata.

Taulukko 5. *PDM:ään liittyviä mahdollisia ongelmatapauksia. Mukaillen lähdettä (Stark 2016)*

Ongelma	Ongelma
Useita PDM-järjestelmiä käytössä	Liian paljon vaadittua kustomointia
Päällekkäiset PDM-toiminnot	Riittämätön käyttäjätuki
Liian paljon tuotetietoa PDM:n ulkopuolella	Vääränlainen datamalli
Puutteet PDM-järjestelmässä	Rajalliset työnkierron toiminnot
Huonosti toteutettu implementaatio	Kallis ylläpito
Liikaa käyttöön liittyvää byrokratiaa	Järjestelmän hitaus

Vaikka PDM:n käyttöönotto voi aiheuttaa ongelmia, helpottaa se yleensä Sääksvuoren ja Immosen (2002) sekä Starkin (2016) mukaan tuotetiedonhallintaa merkittävästi.

3.3.4 Tuotealusta ja tuoteperhe

Tuotealustalla tarkoitetaan yleensä eri tuotteissa esiintyviä samoja piirteitä tai yhteisiä osia, usein esimerkiksi runkoa, jonka päälle tuote on tehty. Samojen osien käyttämisellä voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä, kun samankaltaisia osia ei tarvitse suunnitella joka kerta uudelleen (Lehnerd et al. 2011). Esimerkiksi Volkswagenin kehittämä tuotealusta, joka sisältää rungon, voimayksikön ja akselistot, on käytössä useassa saman konsernin eri merkkien autoissa, kuten Audissa, Seatissa ja Skodassa (Simpson et al. 2006).

Tuoteperheellä taas tarkoitetaan joukkoa usein tuotealustoista johdettuja tuotteita, jotka eroavat ominaisuuksiltaan, mutta jotka on suunniteltu täyttämään jonkin tietyn asiakaskunnan tarpeet. Tuoteperheitä voidaan muodostaa esimerkiksi muuttamalla tuotteiden mittoja, jolloin niiden ominaisuudet muuttuvat. Tämä on yleistä etenkin lentokoneteollisuudessa, kun koneiden runkomittaa ja samalla matkustajamäärää on kasvatettu. Tuoteperheajatteluun liittyykin usein läheisesti myös modulaarisuus. (Simpson et al. 2006)

Harlou esittää väitöskirjassaan (2006), että tuoteperheen arkkitehtuuri on keskeinen periaate sen rakentamisessa. Tuotealustan tai -perheen arkkitehtuuri määrittää, mistä osista ne koostuvat ja miten lopputuote voidaan koota yhdistelemällä niitä. Arkkitehtuuri

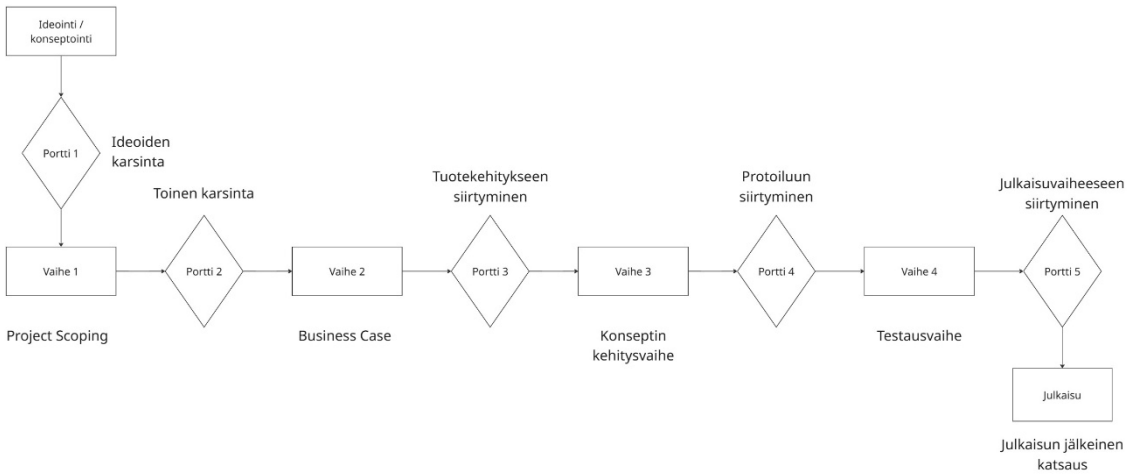
koostuu Harloun mukaan suunnitteluyksiköistä, vakiokomponenteista, rajapinnoista ja sovellutuskohteen ominaisuuksista. (Harlou 2006)

3.4 Tuotesuunnittelun ja -hallinnan prosessit

Tässä aliluvussa kerrotaan tuotesuunnittelussa ja tuotehallinnassa hyödynnettävistä prosesseista. Aluksi esitellään Stage-Gate-malli, joka soveltuu koko tuotekehitysprojektin hallinnoimiseen. Sen jälkeen esitellään virtausmalli, joka on tehokas tapa kuvata monimutkaisia prosesseja ja niiden osien riippuvuuksia toisiinsa. Lopuksi kerrotaan muutostenhallinnasta.

3.4.1 Stage-Gate-malli

Stage-Gate- tai Phase-Gate -malli on menetelmä uusien tuoteprojektien hallinnoimiseen ideasta markkinoille saattamiseen asti. Se perustuu vaiheisiin ja ”portteihin” eli välitavoitteisiin, joissa ennalta määritetyt tavoitteet täytyy olla saavutettu ennen siirtymistä seuraavaan vaiheeseen. Tyypillisesti suurissa tuotekehitysprojekteissa portteja on viisi, keskisuurissa kolme ja pienissä kaksi. (Cooper 2008) Mallia on havainnollistettu kuvassa 9.



Kuva 9. *Stage-Gate-mallin prosessikaavio. Muokattu lähteestä Cooper (2008)*

Cooperin Stage-Gate-mallin vaiheet perustuvat siihen, että jokaisessa vaiheessa kerätään tietoa, jotta projektin kokonaiskustannuksia ja epävarmuuksia voidaan pienentää. Lisäksi jokainen vaihe on edeltäjäänsä kalliimpi. Vaiheiden sisältämät tehtävät tehdään rinnakkain, eikä mitään vaihetta ole kohdistettu millekään tietylle osastolle yrityksessä. (Cooper 2008)

Mallin ideana on siis se, että työtä ja tehtäviä tehdään samanaikaisesti, kunnes ennalta määritetyt tavoitteet vaiheelle on saavutettu jokaisen portin kohdalla. Portit taas sisältävät valmiit tuotokset, niiden arvioinnin kriteerien perusteella sekä päätöksen projektin jatkamisesta tai hylkäämisestä (Cooper 2008). Lisäksi Cooperin mukaan jokainen seuraava vaihe on edeltäjäänsä kalliimpi, jolloin projektin taloudellinen panos kasvaa loppua kohti. Toisaalta projektin edetessä epävarmuudet pienenevät, jolloin kokonaisriski on hallittavissa (Cooper 2008).

Stage-Gate-malli on kehittynyt vuosien saatossa, kun yritykset ovat muokanneet sitä omiin tarpeisiinsa. Siihen on otettu mukaan muun muassa ohjelmistokehityksestä tuttuja toimintatapoja, kuten ketterät menetelmät ja Scrum (Cooper 2014).

3.4.2 Virtausmalli

Virtausmalli perustuu Koskelan (2000) esittämään ajattelutapaan tuotannon prosessien kuvaamisesta virtana. Se auttaa kuvaamaan tehtävien tai tapahtumien välisiä riippuvuuksia muodostaen niistä ketjun, jolla on yksi alku- ja yksi loppupiste (Lehtonen et al. 2024). Se on Lehtosen et al. mukaan lähtöisin japanilaisesta Monozukuri-filosofiasta, joka tarkoittaa asioiden tai esineiden valmistamista. Termissä ”mono” tarkoittaa esinettä ja ”zukuri” tekemistä tai valmistamista. Virtausmalli perustuu Lehtosen et al. (2024) mukaan siihen, että kaikenlainen toiminta on ”tiedon jatkuvaa virtausta”. Lisäksi se perustuu heidän mukaansa arvovirta-ajatteluun sekä joihinkin Lean-periaatteisiin.

Virtausmallin laatimisprosessissa kannattaa Lehtosen et al. (2024) mukaan hyödyntää Gemba walk -menetelmää. Se tarkoittaa tuotannon tai prosessin katselmointia, usein paikan päällä käymällä. Lehtonen et al. (2024) opastavat tekemään Gemba walkin toimitusketjun tai prosessin lopusta alkuun. Tällä tapaa saadaan samalla toteutettua Monozukurin periaate, jonka mukaan kaikki tekeminen liittyy alkuun ja loppuun. Lisäksi usein pystytään myös noudattamaan Leanin periaatetta hukan poistamisesta. (Lehtonen et al. 2024)

Virtausmalli muodostuu Lehtosen et al. (2012) mukaan tieto-, työ-, materiaali- ja ohjausvirroista. Tietovirralla tarkoitetaan niitä vaiheita, joiden tuloksena syntyy tai siirtyy suunnittelutietoa, kuten 3D-malleja tai muuta dokumentaatiota. Työvirtaan kuuluvat ne vaiheet, jotka lisäävät tuotteen arvoa. Tällaisia vaiheita ovat yleensä kaikki valmistukseen liittyvät työvaiheet. Materiaalivirta kuvaa tuotteeseen liittyvien raakamateriaalien tai alihankintana valmistettujen osien virtaa. Ohjausvirralla havainnollistetaan toimintoja, joilla hallitaan ajoitusta ja tarkastuksia ohjaustapahtumien avulla. (Lehtonen et al. 2012)

Virtausmallin laatimisen ensimmäinen vaihe on Adlinin (2022) mukaan informaatioelementtien tunnistaminen. Ne luovat vaiheiden pohjatiedot sekä sisältävät suunnittelutietoa sekä tietoa työvaiheista. Vaiheen tuloksena on tunnistettu tuotekehitysprosessin vaiheet sekä niiden selitykset. Adlinin (2022) mukaan tämä vaihe toteutetaan yhteistyössä eri sidosryhmien kanssa, jotta mallinnettavista vaiheista päästään yhteisymmärrykseen.

Elementtien tunnistamisen jälkeen seuraa niiden jäsentely. Tätä vaihetta voidaan toteuttaa usein samanaikaisesti elementtien tunnistamisen kanssa. Jäsentely helpottaa tietovirran visualisointia mallin eri elementtien näkökulmista. Jäsentely voidaan mallinnettavan aiheen mukaan toteuttaa esimerkiksi tuote- tai organisaatiorakenteen mukaisesti. (Adlin 2022)

Viimeinen vaihe on mallin elementtien yhdistäminen siten, että ne muodostavat yhtenäisen virtauksen. Valmis malli kuvaa aiemmin jäsenneltyjen elementtirakenteiden sisäisiä sekä ulkoisia yhteyksiä muihin virtausmalliin osiin. Valmiista mallista voidaan havaita muun muassa eri osien tai toimintojen välisiä syy-seuraussuhteita. (Adlin 2022)

Virtausmalli on myös sukua Stage-Gate-mallille. Näiden kahden välinen oleellinen ero on se, että Stage-Gate ei kuvaa tehtävien tai tapahtumien yhteyttä, vaan ainoastaan sitä, mitä täytyy tehdä, jotta voidaan siirtyä eteenpäin. Se ei näin ollen useinkaan tue rinnakkaisia tehtäviä, mikäli ne sijaitsevat portin eri puolilla. (Lehtonen et al. 2024)

3.4.3 Muutostenhallinta

Muutostenhallinnalla tarkoitetaan kirjaimellisesti muutosten hallitsemista. Tuotteen suunnittelussa tehtäviä muutoksia kutsutaan usein lyhenteellä EC (Engineering Change) eli tekninen muutos. Muutos voi liittyä mihin tahansa tuotteen piirteeseen, kuten rakenteeseen, toiminnallisuuteen tai dokumentaatioon (Riascos et al. 2024). Wattsin (2012b) mukaan muutos vaikuttaa joko tuotteen dokumentaatioon tai muutos on välttämätöntä tehdä, jotta tuotemäärittely ja luottavuusvaatimukset tai tuoteturvallisuusvaatimukset täyttyvät. Muutos voidaan tehdä myös valmistus- tai ylläpitokustannusten pienentämiseksi. Lisäksi tuotteeseen voidaan tehdä yleisiä parannuksia, joilla pyritään ylittämään alkuperäisen tuotemäärittelyn vaatimukset. (Watts 2012b)

Muutostyypit voidaan Wattsin (2012b) mukaan johtaa edellä mainituista seikoista. Niitä ovat dokumenttimuutos, tuotemäärittelyyn liittyvä muutos, valmistus- tai ylläpitokustannuksien pienentämiseksi tehtävä muutos sekä yleinen tuotteen parantamiseksi tehtävä muutos. Muutokset voidaan lisäksi luokitella Wattsin (2012b) esimerkin mukaisesti

- luokan I muutoksiin, jotka eivät ole taaksepäin yhteensopivia
- luokan II muutoksiin, jotka ovat taaksepäin yhteensopivia
- luokan III muutoksiin, jotka koskevat ainoastaan dokumentteja.

Taaksepäin yhteensopimattomassa muutoksessa nimikkeen koodin on vaihduttava. Muissa luokissa muutos voidaan toteuttaa revisioimalla nimike tai dokumentti. (Watts 2012b)

Wattsin (2012b) mukaan tuotteen esimerkiksi tuotteen valmistuksessa tapahtuva poikkeuksen vuoksi muutosta ei tarvitse tehdä. Poikkeus voi olla tilapäinen muutos, jossa esimerkiksi jokin osa voidaan joutua vaihtamaan toimitusvaikeuksien vuoksi tilapäisesti toiseen. Tällöin poiketaan alkuperäisestä tuotemäärittelystä, mutta vain sovituksi ajaksi, jonka jälkeen pyritään palaamaan suunniteltuun tilanteeseen. (Watts 2012b)

Muutostenhallinnalla mahdollistetaan tuotteeseen tai sen osiin tehtyjen muutosten toimeenpaneminen hallitusti ja siten, että tieto tulevasta muutoksesta saavuttaa tarvittavat henkilöt tai osastot organisaatiossa (Sääksvuori et al. 2002). Muutostenhallinta mahdollistaa Sääksvuoren ja Immosen (2002) mukaan myös muutosten jäljitettävyyden ja historiatietojen keräämisen.

Muutos alkaa PDM- tai PLM-ympäristössä usein muutospyyntöjen (ECR, Engineering Change Request) luomisella (Sääksvuori et al. 2002). Muutospyyntö tehdään usein silloin, kun havaitaan jokin muutostarve, mutta sitä ei välttämättä ole tässä vaiheessa arvioitu teknisen ja taloudellisen mielekkyyden kannalta (Peltonen et al. 2002). Kuitenkin Sääksvuoren ja Immosen (2002) mukaan muutospyynnön liitteenä on voitu toimittaa liite, jossa on määritelty tarkemmin pyydettävät muutokset.

Muutoksen toimeenpanovaihetta kutsutaan muutostiedotteen (ECN, Engineering Change Notice) julkaisuksi. Muutostiedotteella toimeenpannaan valmistellut muutokset. Sen avulla tieto muutoksista saatetaan kaikkien niiden henkilöiden tai organisaation osastojen tietoon, joiden tarvitsee tietää siitä. Muutostiedotteessa voidaan myös määrittää, miten ja millä aikataululla muutos toimeenpannaan ja mitä tuotteen edelliseen versioon liittyville osille tehdään. (Sääksvuori et al. 2002; Peltonen et al. 2002)

4. LÄHTÖKOHDAT TUTKIMUKSELLE KOHDEYRITYKSESSÄ

Tässä luvussa käydään läpi diplomityön kohdeyrityksen taustoja. Alussa yritys ja sen toiminta esitellään lyhyesti. Lisäksi toteutetaan nykytila-analyysi, esitellään työlaitteiden tuoterakenne sekä pohjustetaan, mitä yrityksessä tarkoitetaan yhteensopivuudella ja mitä vaatimuksia yhteensopivuustaulukolle on. Lopuksi esitellään yrityksen eri dokumenttityypit ja näiden tyyppien vastuuosastot.

4.1 Kohdeyrityksen esittely

Diplomityön kohdeyritys on kotimainen pienkuormaajavalmistaja, joka on toiminut alalla jo useamman vuosikymmenen ajan. Yritys valmistaa seitsemää eri kuormaajasarjaa, jotka vaihtelevat nostokyvyltään ja muilta ominaisuuksiltaan merkittävästi toisistaan. Lisäksi yritys valmistaa yli 200 erilaista työlaitetta, jotka on suunnattu muun muassa kiinteistönhoitoon, maatalouteen ja viherrakentamiseen.

Kohdeyrityksen tuotekehitys, joka kattaa kuormaaja- sekä työlaitesuunnittelun, sijaitsee kotimaassa. Yrityksen kuormaajatuotanto sijaitsee niin ikään omalla kiinteistöllä kotimaassa, mutta työlaitetuotanto on ulkoistettu. Lisäksi yritys myy omalla nimellään muutamia ulkoisten valmistajien suunnittelemia ja valmistamia OEM-työlaitteita. OEM-työlaitteisiinkin on saatettu itse suunnitella pikakiinnityskorvakkeet sekä ryhmäpikaliitin, jotta pystytään varmistamaan yhteensopivuus kuormaajien kanssa.

4.1.1 Nykytila-analyysi

Toistaiseksi kohdeyrityksessä työlaitteen suunnittelija on vastannut itse laitteen suunnittelusta. Aiemmin käytössä olleeseen Solidworks-ePDM:ää on hyödynnetty 3D-mallien ja piirustusten tallentamiseen ja tuotantoon hyväksymiseen tai sieltä poistamiseen. Sinne on saatettu tallentaa myös muita tuotteeseen liittyviä tiedostoja, mutta varsinaisia linkkejä näiden välille ei ole ollut mahdollista luoda.

Yrityksen työlaitteiden tuotekehityksessä on toistaiseksi edetty 3D-malli ja CAD-rakenne edellä. Tuoterakenteet tulevat melko suoraan 3D-mallin pääkokoonpanon eBOMista. Koska työlaitteet valmistetaan alihankintana muualla, mBOMit on määritetty alihankkijoi-

den toimesta. Kuitenkin työlaitteet kaikkine alikokoonpanoineen on pyritty suunnittelemaan siten, että ne palvelisivat myös valmistusta ja edistäisivät valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta.

Yrityksessä ei juurikaan ole ollut tapana säilöä tuotteen suunnittelun aikana syntyvää aineistoa, kuten kuvia tai määrittelyitä erilaisista konsepteista mihinkään yhteisesti sovittuun paikkaan. Tällöin esimerkiksi perustelu jonkin konseptin tai ratkaisun hylkäämisestä saattaa olla täysin työlaitteen suunnittelijan muistin varassa, mikäli hän ei ole kirjannut sitä mihinkään ylös. Mikäli suunnittelija joskus poistuu yrityksen palveluksesta, voi tällainen tieto kadota kokonaan. Suunnitteluprosessien aikana syntyy huomattava määrä hiljaista tietoa. Hiljaisella tiedolla tarkoitetaan usein työntekijän omiin kokemuksiin perustuvaa tietoa, jota on vaikea kerätä järjestelmällisesti (Singh et al. 2019). Hiljainen tieto onkin uhka erityisesti silloin, kun toinen suunnittelija saa tehtäväkseen muuttaa jotakin tuotetta, jonka historiatietoa ei ole saatavana. Tällöin ei voida tietää, mitä ratkaisuja on kokeiltu aiemmin ja miten nykyiseen ratkaisuun on päädytty. Hiljaisen tiedon vuoksi on myös mahdollista, että esimerkiksi uusia osia suunnitellaan turhaan, vaikka jo olemassa ollut osa olisi ollut kelvollinen (Ulonska et al. 2013).

Kohdeyrityksessä on hiljattain otettu käyttöön Stage-Gate-malli kuormaajien tuotekehitysprojekteissa. Siinä on määritetty aiemmin työn teorialuvussa kerrotuin periaattein tarvittavat tehtävät, jotka täytyy olla tehtynä katselmointipisteisiin mennessä, jotta projektissa voidaan siirtyä eteenpäin. Työlaitesuunnittelussa ei toistaiseksi ole käytetty Stage-Gate-mallia sellaisenaan. Sen sijaan työlaiteprojektien seurantaan on kehitetty itse niin sanottu ”taulu”, johon on tunnistettu työlaitteen suunnittelun keskeisimmät vaiheet. Se on eräänlainen muunnelma Stage-Gate-mallista, mutta se ei sisällä kyseisen mallin tapaan yhtä tiukkoja katselmointipisteitä. Viljamaa (2020) kehitti lisäksi omassa diplomityössään suunnittelijoiden apuvälineeksi tarkistuslistan, johon kerättiin ne vaiheet sisältöineen, jotka tulee olla tehtynä ennen työlaitteen julkaisua.

4.1.2 Yrityksen työlaitteiden tuoterakenne

Yrityksen työlaitteiden tuoterakenne on varsin yksinkertainen, sillä se sisältää perusyksikön eli varsinaisen työlaitteen ja mahdolliset optiot eli lisävarusteet. Yksinkertaisimmissa laitteissa, kuten kauhoissa tai rehupihdeissä optioita ei yleensä ole saatavana. Toisaalta esimerkiksi harjalaitteissa optioita voi olla valittavana useita.

Työlaitteen ja kuormaajan yhdistelmää voidaan ajatella konfiguroitavana moduuliyhdistelmänä. Kuormaaja on perusyksikkö, jolla on selvä rajapinta, johon työlaite voidaan kiinnittää. Työlaitteet ovat vastaavasti vaihdettavia moduuleja, jotka sopivat yhteen lähes

kaikkien kuormaajamallien kanssa. Yhteensopivuuteen vaikuttaa eniten työlaitteen massa ja koko: suurimpia kauhoja ei yleensä voi käyttää pienimpien kuormaajamallien kanssa. Hydrauliikan osalta yhteensopivuuteen vaikuttavat öljyn paine ja virtaus. Kuormaajan tuottama hydrauliikan paine vaihtelee jonkin verran mallisarjojen välillä. Hydrauliöljyn virtaus vaihtelee huomattavasti enemmän, useita kymmeniä litroja minuutissa.

Yhteensopivuus kirjataan nykyhetkellä työlaitteiden teknisiin tiedostoihin. Viime vuosina on alettu kirjaamaan tiedostoihin myös perusteluja yhteensopivuudelle, mikäli esimerkiksi jokin työlaite ei ole mekaanisesti yhteensopiva joidenkin kuormaajamallien kanssa. Jotkin työlaitteet saatavat vaatia kuormaajalta myös tiettyä varustelutasoa, kuten sähköistä ohjauskytkinpakettia tai umpinaista ohjaamoa.

4.1.3 Työlaitteiden yhteensopivuus kuormaajien kanssa

Tutkimuksessa haluttiin selvittää, kuinka nykyiset, työlaitteiden teknisiin tiedostoihin luodut yhteensopivuusmatriisit saataisiin siirrettyä PLM:ään. Matriisit on toistaiseksi koottu kuvan 10 esimerkin mukaisesti.

70							
71	Kuormaajat, joihin laite on suunniteltu:						
72	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
73	[illegible]	1450mm	-	-	-	-	(•)	•
74	[illegible]	1800mm	-	-	-	-	(•)	(•)
75							

Kuva 10. *Kuvakaappaus erään työlaitesarjan yhteensopivuusmatriisista. Työlaitteiden tuotekoodit ja kuormaajien mallit on sumennettu.*

Matriisin rivien otsakkeina ovat työlaitteet ja sarakkeiden otsakkeina kuormaajamallit. Matriisiin otetaan yleensä mukaan myös jo tuotannosta kauan sitten poistuneita malleja. Näille malleille ei usein ole omaa nimikettään PLM-järjestelmässä, mikä hankaloittaa niihin liittyvien tietojen ylläpitoa.

Matriisin merkintöjen selitykset ovat seuraavat:

- ”-” -merkki tarkoittaa, että työlaite ei sovellu käytettäväksi kuormaajan kanssa
- ”•” -merkki kuvaa sitä, että työlaite sopii hyvin yhteen kuormaajan kanssa
- ”(•)” -merkintä kuvaa sitä, että työlaite ei täysin sovellu, mutta on kuitenkin sovellettavissa yhteen kuormaajan kanssa.

Yhteensopivuus ei toistaiseksi perustu mihinkään yhteisesti sovittuun säännöstöön tai malliin, pois lukien suunnittelussa hyödynnetty, Viljamaan (nyk. Wallin) kehittämä rajapinta- ja tilavarausmalli (Viljamaa 2020). Malli on kuitenkin lähinnä suunnittelukäyttöön tarkoitettu apuväline, eikä se ota kantaa muihin tekijöihin. Yhteensopivuuden yleisimmin

määrittävinä tekijöinä on yrityksessä pidetty työlaitteen massaa tai suurinta sallittua kuormaa verrattuna kuormaajan nostokykyyn sekä työlaitteen vaatimaa hydrauliikan tuottoa verrattuna kuormaajan tuottamaan virtaukseen, mikäli työlaitteessa käytetään esimerkiksi hydraulimoottoreita.

Yhteensopivuutta hahmotellaan usein jo aivan työlaitteen suunnittelun alkuvaiheessa, mikäli halutaan tehdä esimerkiksi pienimpiin tai suurimpiin kuormaajiin kohdennettu työlaite tai työlaitesarja. Esimerkiksi pienimpiin kuormaajamalleihin kohdennetut kauhat tai trukkihaarukat eivät yleensä sovellu suurimpiin malleihin, sillä niiden suuri nostokyky voi rikkoa pienen työlaitteen.

Yhteensopivuudelle olisi jo olemassa tarvittavat attribuutit työlaitteiden osalta. Lähes kaikissa työlaitteissa CAD-mallin perusteella laskettu massa on lähellä työlaitteen punnittua massaa. Lisäksi hydraulisiin työlaitteisiin kiinnitetään tavoitellun öljyvirtauksen ilmaiseva tarra, mikäli se on tarpeen. Samat arvot tiedetään myös kuormaajien osalta, tosin nostokyky ja kaatokuorma määritetään omilla laskentatavoillaan ja -pohjillaan, eikä näille ole toistaiseksi omaa attribuuttiaan PLM:ssä.

Yrityksen omat vaatimukset yhteensopivuustaulukolle ovat

- selvä merkintätapa kuormaajista, jotka sopivat hyvin yhteen työlaitteen kanssa
- selvä, erottuva merkintätapa kuormaajista, joihin työlaite on sovellettavissa
- yhteensopivuuden perustuminen esimerkiksi hydrauliikan tuottoon tai työlaitteen massaan
- yhteensopivuustaulukon manuaalinen muokkaus tarvittaessa.

Taulukkoa on kyettävä muokkaamaan manuaalisesti, sillä osa työlaitteista saattaa vaatia kuormaajalta esimerkiksi sähköistä ohjauskytkinpakettia, joka on lisävaruste. Muutamat työlaitteet saattavat aiheuttaa myös mekaanisia yhteensopivuusongelmia tiettyjen kuormaajamallien kanssa.

Yhteensopivuutta voitaisiin yrittää hahmotella vähintäänkin alustavasti erilaisten konfigurointimatriisien avulla. Kuten edellisessä aliluvussa 4.1.4 todettiin, voidaan kuormaajan ja työlaitteen yhdistelmää ajatella konfiguroitavana tuotteena: ruohonleikkurityölaitteen asentaminen kuormaajaan tekee yhdistelmästä ruohonleikkurin, ja kauhan kiinnittäminen muuttaa kuormaajan kauhakuormaajaksi.

4.2 Yrityksen dokumenttityypit ja vastuu eri osastojen välillä

Yrityksen työlaitteisiin liittyvät dokumenttityypit listattiin, jotta niihin liittyvät vastuualueet voitiin selvittää. Dokumenttityyppejä ovat

- käyttöohjekirjat
- varaosakirjat
- tekninen tiedosto
- viralliset testiraportit
- riskinarviot
- prototyypeistä tehdyt omat testit
- sertifikaatit, esimerkiksi ruohonleikkureilla ja niittomurskaimilla
- mahdollinen tyyppihyväksyntä
- testausvaiheessa otetut valokuvat
- laatudokumentit
- service bulletinit eli huoltotiedotteet
- mahdolliset huolto-ohjeet
- suorituskykytestit. (Haastattelu. Työlaitteiden tuotekehityspäällikkö, tuoteturvallisuuspäällikkö & PLM-kehityspäällikkö 2025)

Toistaiseksi yrityksen teknisen dokumentoinnin ja tuoteturvallisuuden osasto on ollut vastuussa työlaitteiden käyttöohjekirjojen, testiraporttien, sertifikaattien sekä huoltotiedotteiden koostamisesta ja ylläpidosta. Lisäksi mahdolliset huolto-ohjeet, suorituskykytestit, tyyppihyväksynnät ja huoltotiedotteet ovat olleet osaston vastuulla.

Varaosakirjat on koostettu työlaitesuunnittelussa yhden henkilön toimesta, joka on usein muodostanut myös tarvittavat räjäytyskuvat työlaitteiden kokoonpanoista. Prototyyppien testaus ja mahdollinen niihin liittyvä materiaali on koostettu työlaitesuunnittelussa ja tallennettu yhteiselle jaetulle verkkolevylle. Tekniset tiedostot on koottu työlaitesuunnittelussa yleensä tuotteen suunnittelun loppuvaiheessa.

Yrityksessä ennen käytetyssä PDM-järjestelmässä kaikille dokumenteille, joille haluttiin oma tuotekoodi ja muita määrittelyjä, täytyi aiemmin luoda myös CAD-malli. Malli jätettiin yleensä tyhjäksi, tai sitten siihen tehtiin esimerkiksi A4-kokoinen ”paperi” kuvaamaan ohjekirjaa. PDM-järjestelmässä ei pystynyt luomaan uusia, koodillisia dokumentteja muuten kuin kuvatulla tavalla. Tämä tapa on osittain periytynyt myös eteenpäin

PLM:ään. Nykyhetkellä CAD-mallin luonti ohjekirjoille on turha vaihe, sillä PLM-järjestelmässä pystyttäisiin luomaan dokumentteja, joille saadaan tuotekoodi sekä mahdollisia muita haluttuja attribuutteja.

5. TUOTEDOKUMENTAATION KÄSITTELY PLM-JÄRJESTELMÄSSÄ

PLM on yksi vaihtoehto myös koko tuotedokumentaation käsittelylle, sillä kuten luvussa 3.2.2 todettiin, on tiedostojen hallinta yksi PLM-järjestelmän perustehtävistä. PLM-järjestelmien on todettu nopeuttavan ja helpottavan dokumenttien jakamista sekä yrityksen sisäisesti että ulkoisesti esimerkiksi alihankkijoille. Samalla on usein pystytty varmistamaan, että jaettu tieto on oikeaa ja ajantasaista (Tanpure et al. 2022). Merminodin ja Rowen (2012) tutkimuksen mukaan PLM soveltuu hyvin ja tuo selvää lisäarvoa erityisesti tiedon jakamiseen alihankkijoille.

Tässä luvussa perehdytään tarkemmin tuotedokumentaation hallitsemiseen kohdeyrityksen käytössä olevassa Windchill-PLM -järjestelmässä. Luku alkaa Windchill-ohjelman lyhyellä esittelyllä, jonka jälkeen tutustutaan siihen, miten nimikkeet ja attribuutit käyttäytyvät Windchillissä. Tämän jälkeen perehdytään dokumenttien linkittämiseen tuotteelle tai mille tahansa nimikkeelle. Tämän jälkeen esitellään, millaista tuotetietoa yrityksen työlaitteista on toistaiseksi käytössä attribuuttimuodossa ja kuinka tämä tieto voitaisiin rakentaa Windchilliin. Seuraavaksi kerrotaan, kuinka muutostenhallinta toimii ja millainen on yrityksen vakioelinkaarimalli, ja kuinka sitä täytyisi mahdollisesti muokata tuotedokumentaatiolle sopivammaksi. Lopuksi pohditaan, miten tuoteperheajattelua voisi hyödyntää tuotedokumentaatiossa ja miten tuoteperheet ylipäätään toimivat Windchillissä.

5.1 Windchill-PLM

Windchill on yhdysvaltalaisen PTC:n kehittämä PLM-järjestelmä. Se mahdollistaa reaaliaikaisen tiedonjakamisen, visualisoinnin sekä yhteistyön organisaation eri osastojen ja toimipaikkojen välillä turvallisesti ja tehokkaasti. Windchill voidaan myös integroida eri järjestelmien, kuten ERP- tai CAD-ohjelmistojen kanssa yhteensopivaksi. PLM-järjestelmänä sen ydinideana on kaiken tuotteeseen liittyvän tiedon säilyttäminen samassa paikassa. Windchill toimii sekä selainpohjaisesti että työpöytäsovelluksena. (PTC 2025b; PDSVISION 2025)

PLM-järjestelmänä Windchill täyttää teoriaosion luvussa 3.3.2 esitellyt toiminnallisuusvaatimukset. Sen perustoimintoihin kuuluvat samassa luvussa esitellyt ominaisuudet, joita ovat muun muassa tuoterakenteiden ja muutosten hallinta, nimikkeiden luokittelu, tuotetiedonhallinta sekä tuotevariaatioiden hallinta ja konfigurointi. Lisäksi Windchill mahdollistaa laadun-, valmistusprosessien ja toimitusketjujen hallinnan. (PTC 2025b)

PTC tarjoaa myös Windchillin yhteyteen luotua hakuohjelmaa, Thingworx Navigatea. Ohjelma tunnetaan myös nimellä Windchill Navigate, ja sen tehtävänä on helpottaa tuotetietojen, kuten valmistuspiirustusten tai DXF-tiedostojen hakemista PLM:stä. (PTC 2025a)

5.2 Nimikkeet ja attribuutit Windchill-PLM:ssä

Windchill-PLM:ssä nimikkeistä käytetään termiä objekti (object). Objekti on yleinen käsite kaikelle yrityksen datalle, joka on tuotu Windchilliin ja jota hallinnoidaan siellä. Objektit jakautuvat erilaisiin tyyppeihin, joilla on kaikilla omat ominaispiirteensä (PTC 2023c).

Windchill-PLM:ssä osista käytetään termiä WTPart (Windchill Technology Part). WTPartilla on olemassa omat attribuuttinsa sekä juokseva numero, joka otetaan automaattisesti uutta osaa luotaessa ja joka yksilöi sen muista nimikkeistä. Kohdeyrityksessä nämä WTPartit luodaan toistaiseksi automaattisesti silloin, kun jollekin 3D-mallille tehdään check-in ja jos sille on valittu nimikekategoria. WTParteja voidaan luoda myös manuaalisesti, ja niille voidaan linkittää muita nimikkeitä tai esimerkiksi CAD-objekteja (PTC 2023a).

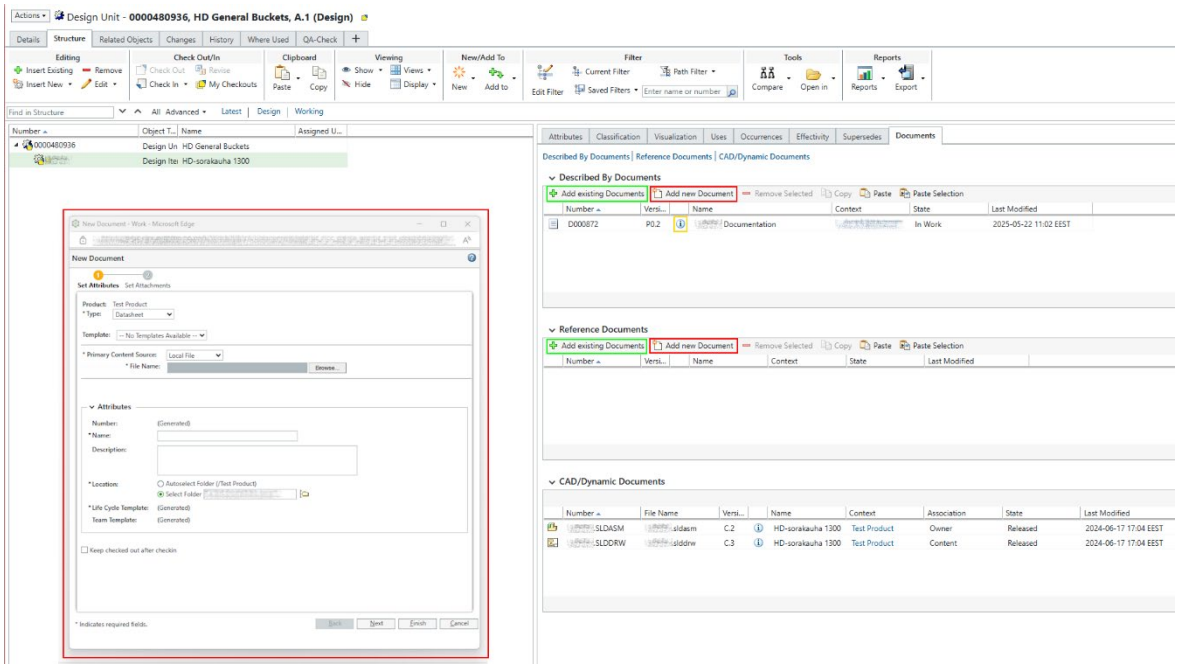
5.2.1 Yksittäisten dokumenttien linkittäminen tuotteelle

PLM-järjestelmässä voidaan yleensä luoda linkkejä eri tietojen, kuten dokumenttien, rakenteiden tai yksittäisten osien välille ja näin luoda niistä rakenteita. Jonkin tuotteen CAD-mallin kokoonpano onkin hyvä esimerkki rakenteesta, jossa eri osat liittyvät toisiinsa, usein hierarkkisesti. Garettin et al. (2005) mukaan tiedon määrän kasvaessa onkin PLM-järjestelmään tärkeää luoda linkkejä eri tietojen välille, jotta tiedonhaku helpottuu.

Windchilliin on mahdollista ladata dokumentteja, kuten PDF-, Word- tai Excel -tiedostoja, jotka sijaitsevat esimerkiksi verkkolevyllä. Dokumentit voivat esittää tuotteen yleistietoa tai -kuvausta, tai ne voivat sisältää jotain tiettyä tuotekehitykseen liittyvää yksityiskohtaisempaa tietoa. Windchilliin ladatut dokumentit rakentuvat kahdesta osasta: objektista,

jolla on samankaltaisia ominaisuuksia kuin muillakin nimikkeillä, sekä dokumentin sisällöstä. Koska dokumentti ajatellaan Windchill-ympäristössä ikään kuin nimikkeenä, sen historiatietoja voidaan hallita, sitä voidaan revisioida, sille voidaan määrätä oma numerokoodi ja se voidaan linkittää yhteen muiden nimikkeiden kanssa. Dokumentin sisältö saattaa tarkoittaa esimerkiksi paikallista tiedostoa, joka on ladattu järjestelmään tietokoneen kovalevyltä. Dokumentti voi sisältää myös esimerkiksi URL-linkin tai ulkoisen tallennuspaikan (External Storage), jos kyseessä on esimerkiksi fyysinen objekti, jota ei voida ladata järjestelmään. Tyhjä dokumenttikin on mahdollinen, jolloin se voi toimia esimerkiksi varauksena mahdollisille tuleville dokumenteille, kuten käyttöohjeille. (PTC 2023b)

Kuvassa 11 on havainnollistettu nimikerakenteen dokumenttinäkymää.



Kuva 11. *Nimikerakenteen Documents-näkymä Windchillissä*

Kuvaan on punaisella värillä ympyröity uusien dokumenttien lisäyspainikkeet. Myös tämän painikkeen klikkaamisesta avautuva näkymä on niin ikään ympyröity punaisella. Vihreällä on ympyröity painikkeet, joiden kautta pystyy lisäämään jo olemassa olevia dokumentteja. Näistä avautuvaa näkymää ei ole syytä lisätä kuvaan, sillä se on vain geneerinen hakuikkuna, jonka kautta dokumentteja voidaan hakea numeron tai nimen perusteella. Muutoin kuvasta on sumennettu kaikki yrityksen tuotantoympäristössäkin käytössä olevat tuotenumerot ja linkit.

Kuvan 11 esimerkissä kauhan nimikkeelle on linkitetty kyseisen kauhan alustava dokumentaatiorakenne. Rakenne on lisätty kuvan mukaisen Add new Document -ikkunan kautta, josta se määritettiin tyhjäksi dokumentiksi. Dokumentaatiorakenne saadaan auki

painamalla keltaisella ympyröityä infokuvaketta tai hakemalla dokumentaatiota esimerkiksi sen numerolla. Tämän jälkeen dokumentaatiorakenteelle voidaan lisätä joko uusia tai jo olemassa olevia dokumentteja samaan tapaan kuin kuvassa 11.

5.2.2 Attribuutteina esiintyvät tuotetiedot

Työn yhteydessä toteutettiin arviointi yrityksen PIM-järjestelmässä olevista työlaitteiden attribuuttitiedoista. Attribuuttitietoja on pyritty luomaan siten, että ne kuvaisivat osuvasti jotakin työlaitteen ominaisuutta, kuten esimerkiksi työleveyttä, tilavuutta tai laitteen ulkomittoja. Ajan saatossa attribuutteja on kuitenkin ehditty luomaan valtava määrä, joten tämän työn yhteydessä oli sopivaa käydä läpi myös PIMiin syötetyt attribuutit. Selvityksen avulla tiedetään myös, mitä eri attribuutteja olisi luotava Windchilliin, jotta järjestelmien välinen integraatio olisi sujuvaa eikä attribuuttimuunnoksia tarvitsisi välttämättä tehdä.

Koska erilaisia attribuutteja on paljon, ei niiden kaikkien liittäminen osaksi työtä ole mielekästä. Hyvä esimerkki attribuuteista kuitenkin saatiin, kun huomattiin, että esimerkiksi työleveydelle oli määritetty useita, toisistaan vain vähän poikkeavia attribuutteja. Nämä pystyttiin kokoamaan yhteen yhden työleveyden alle. Attribuuteista on koostettu esimerkki taulukkoon 6.

Taulukko 6. *Yhdistelyyn soveltuvat attribuutit ja yhdistelyn tulokset*

Yhdisteltävät attribuutit	**Tulos**
AttachmentBladeWidthMinMm AttachmentBroomWidthMinMm AttachmentRotorWidthMm AttachmentPlateSizeWidthMm AttachmentScreeningAreaWidthMm AttachmentDiggingWidthMm AttachmentCuttingWidthMinMm AttachmentSpreadingWidthMinMm AttachmentCultivatingWidthMinMm AttachmentBucketWidthMm	AttachmentWorkingWidthMinMm
AttachmentBladeWidthMaxMm AttachmentCuttingWidthMaxMm AttachmentSpreadingWidthMaxMm AttachmentBroomWidthMaxMm AttachmentCultivatingWidthMaxMm	AttachmentWorkingWidthMaxMm
AttachmentWaterTankVolume AttachmentVolumeWaterL AttachmentWaterVolumeL	AttachmentWaterVolumeL
AttachmentBladeTurningAngleDegree AttachmentPlowTurningAngleDegree AttachmentTurningAngleDegree AttachmentTurningAngleDegrees	AttachmentTurningAngleDegrees
AttachmentNumberOfCuttingTeetPcs AttachmentNumberOfTeethPcs AttachmentBladesPcs AttachmentFlailsPcs	AttachmentBladesPcs
AttachmentMaxAllowedLoadKg AttachmentRatedMaxLoadKg AttachmentMaxLoadKg	AttachmentRatedMaxLoadKg

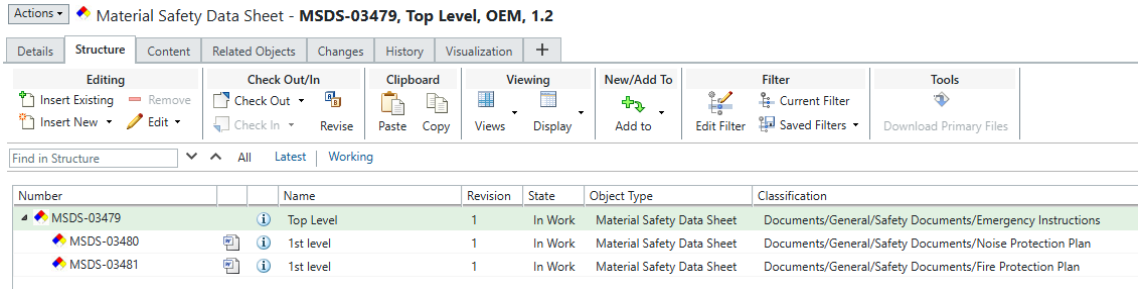
Kuten taulukosta 6 nähdään, attribuuttien määrää saatiin tällä tapaa karsittua jo huomattavasti. Kyseiset attribuutit toistuvat monilla työlaitteilla, kuten kauhoilla, ruohonleikkureilla, lumiauroilla ja harjakoneilla. Toisaalta attribuutteja on edelleen suuri määrä PIM:ssä. Tarkastelun jälkeen pystyttiin kuitenkin toteamaan, että suurin osa niistä on tarpeellisia, kun halutaan viestiä joidenkin yksittäisten työlaitteiden ominaisuuksista. Attribuuttien on oltava selkeitä, mutta kuvattava kuitenkin ominaisuutta tarpeeksi hyvin, koska yrityksen myyntikatalogit käännetään usealle kielelle.

PIM:n attribuutit ovat pääsääntöisesti rikastettua tuotetietoa, joka on luotu käsin ja joka palvelee lähinnä markkinoinnin ja myynnin tarpeita kohdeyrityksessä. On suunniteltava vielä tarkemmin erikseen, mitä attribuutteja halutaan mahdollisesti PLM-järjestelmään.

Tämän työn puitteissa luodaan kuitenkin muutamia esimerkkejä kyseisien PIM-attribuuttien integroinnista PLM-järjestelmään.

Jos nimikkeet luokiteltaisiin attribuuttien avulla, voitaisiin esimerkiksi tuoteperheet tai samankaltaiset nimikkeet jakaa omiin luokkiinsa ja tehdä niistä näin helpommin löydettäviä käytetyssä hakuohjelmassa. Joitakin attribuutteja on jo aiemmin hyödynnetty yrityksen nimikkeiden luokittelussa: esimerkiksi nimikekategorioille on olemassa oma numerokoodinsa, jolla voidaan jakaa nimikkeet esimerkiksi pääkokoonpanoon, hitsauskokoonpanoon, vakiokomponentteihin tai levyosiin.

Windchill mahdollistaa nimikkeiden luokittelun niiden tyypin ja tarkemman luokittelumallin mukaisesti. Objektin tyypillä nimike, kuten dokumentti, voidaan jakaa kuvan 12 mukaisesti esimerkiksi materiaalin turvallisuustietolomakekategoriaan.



Kuva 12. *Esimerkki Windchilliin luodusta dokumenttirakenteesta (Haastattelu, Fransson 2025)*

Kuvassa 12 on esimerkinomaisesti luotu ylin rakenne tuotedokumentaatiolle, jonka alle on lisätty yksittäisiä dokumentteja. Kaikkien dokumenttien tyyppi on Material Safety Data Sheet, ja tarkemmalla luokittelulla dokumentit on jaettu edelleen hätätilanneohjeisiin, melusuojaussuunnitelmaan sekä palontorjuntasuunnitelmaan.

5.3 Muutostenhallinta Windchillissä

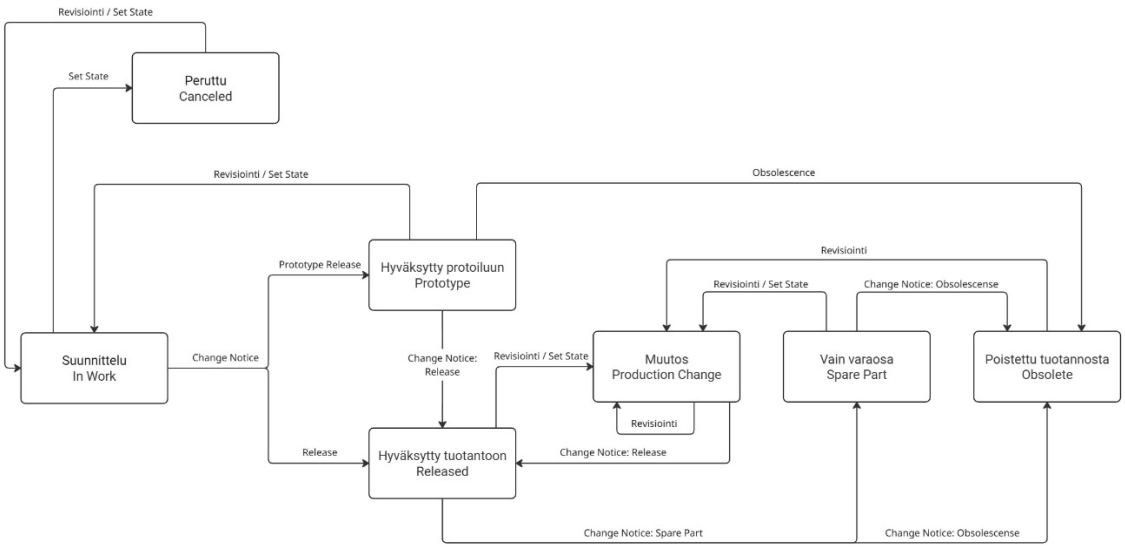
PLM-järjestelmänä yksi Windchillin tärkeimpiä tehtäviä on muutostenhallinta: mitä, on tehty, miksi on tehty, kuka on tehnyt ja milloin on tehty. PTC:n (2024) muutostenhallinnan ohjekirjan mukaan Windchill kykenee tehokkaasti hallitsemaan koko muutosprosessia. Kuten aiemmin työn teoriaosuudessa todettiin, muutostenhallinnan avulla pystytään kootusti toimeenpanemaan useisiin osiin tai kokoonpanoihin kohdistuvia muutoksia. Lisäksi muutokset ja muutostiedotteet tallentuvat Windchillin historiatietoihin.

Muutostenhallintaprosessia voidaan myös muokata Windchillissä yrityksen tarpeiden mukaan. Esimerkiksi tuotteen elinkaarimallia voidaan muokata, jolloin eri tuotteille voi-

daan määrittää eri tavoin, missä vaiheissa ja miten muutoksia voidaan toteuttaa. Windchill myös lähettää muutoksista automaattisesti muutostiedotteet siihen integroituihin ohjelmiin, kuten ERP-järjestelmiin. (PTC 2024)

5.4 Tuotedokumentaation elinkaari

Windchill-PLM:ssä pystytään toteuttamaan valmiita pohjia nimikkeen tai tuotteen elinkaarelle. Yrityksen nimikkeillä – eli tällä hetkellä lähinnä CAD-tiedostoilla – on PLM:ssä määritetty kuvan 13 mukainen elinkaarimalli.



Kuva 13. *Yrityksen käyttämä elinkaarimalli*

Malli on melko suoraviivainen: Suunnittelu- eli In Work -tilasta voidaan hyväksyä nimike muutostietotteella eli Change Notice -toiminnolla prototyypiksi tai siirtää se suoraan tuotantoon. Vastaavasti prototyyppi voidaan hyväksyä tuotantoon tai siirtää se takaisin suunnitteluun revisioinnilla tai niin sanotulla pimeällä muutoksella eli Set State -toiminnolla. Suunnittelu, tilasta voidaan siirtää nimike myös Peruttu- eli Canceled-tilaan.

Nimikkeen siirtäminen takaisin suunnitteluun eroaa riippuen siitä, onko kyseessä prototyypiksi vai tuotantoon hyväksytty nimike. Prototype-tilasta voidaan palauttaa nimike takaisin suunnitteluun siirtämällä se In Work -tilaan. Tuotantoon hyväksytty nimike voidaan siirtää Released-tilasta Production Change -tilaan. Tilanmuutos tapahtuu revisioimalla tai käyttämällä Set State -toimintoa. Pääsääntöisesti tulisi aina käyttää revisiointia, mutta esimerkiksi huolimattomuusvirheiden korjaamiseen voi käyttää pimeää muutosta.

Tuotannossa oleva nimike voidaan siirtää varaosaksi (Spare Part) tai poistaa se tuotannosta kokonaan (Obsolete). Myös varaosa voidaan siirtää Obsolete-tilaan. Tuotannosta

poistettukin osa voidaan palauttaa Production Change -tilaan. Tästä tilasta voidaan siirtää nimike ainoastaan takaisin tuotantoon. Nimikettä voidaan kuitenkin revisioida Production Change -tilan sisäisesti.

Windchill mahdollistaa vaiheiden lisäämisen elinkaarimalliin. Esimerkiksi alustava versio (Preliminary) tai tarkistuksessa (Under Review) -tilat voidaan ottaa käyttöön. Jos esimerkiksi yritys joskus ottaisi käyttöön ISO 9001 -laadunhallintajärjestelmän ja siirtyisi käyttämään nimikkeiden useampivaiheista tarkistusta tuotekehityksessä, olisi nämä tilat todennäköisesti otettava käyttöön.

5.5 Tuoteperheajattelun hyödyntäminen dokumentaatiossa

Tutkimuksessa haluttiin toteuttaa toistaiseksi teknisiin tiedostoihin merkityt yhteensopivuustaulukot PLM-järjestelmään. Koska tekniset tiedostot ja samalla myös yhteensopivuustaulukot on pyritty kokoamaan mallisarjoittain, on järkevää siirtää sama periaate myös PLM-järjestelmään. Jotta tämä onnistuisi, on järjestelmään luotava rakenne tuoteportfoliolle, joka voidaan jakaa esimerkiksi työlaitteiden tyypeittäin aina yksittäisiin työlaitteisiin asti. Toinen vaihtoehto olisi tehdä jaottelu markkinasegmenttien mukaan. Tämä tapa voisi kohdeyrityksen tapauksessa olla luontevampaa, sillä työlaitteet on jo jaoteltu kyseisellä tavalla yrityksen myyntikatalogiin.

Tuoteportfolion rakenteen muodostaminen palvelisi myös muuta tuotedokumentaatiota. Esimerkiksi tekniset tiedostot voitaisiin liittää mallisarjan nimikkeelle, eikä linkkiä teknisen tiedoston ja jokaisen siihen liittyvän yksittäisen työlaitteen välille tarvitsisi muodostaa erikseen manuaalisesti. Myös muut mahdolliset dokumentit voitaisiin yhdistää mallisarjaan, sillä muun muassa käyttöohjekirjat on yleensä rakennettu mallisarjoittain eikä yksittäin jokaiselle työlaitteelle erikseen.

Yrityksessä on toistaiseksi ajateltu tuotteistamisprosessi siten, että työlaitteen pääkokoonpano on samalla ikään kuin lopputuote. Tämä on toiminut hyvin PLM-aikaan siirtymiseen asti, sillä edellinen PDM-järjestelmä toimi lähinnä vain CAD-dokumenttien tallennuspaikkana. Koska Windchill-PLM:ää haluttaisiin nyt hyödyntää myös tuotedokumentaation hallinnassa, olisi tähän prosessiin soveliasta ottaa mukaan lopputuoteajattelu (End Item). Lopputuote olisi työlaitteen pääkokoonpanoa yhtä ylempi taso, jonka alle voidaan linkittää CAD-rakenne (pääkokoonpano) sekä tuotedokumentaatio. Tällä tapaa työlaitteen CAD-rakennetta ei tarvitsisi revisioida, mikäli dokumentaatiota muutetaan. Sama toimisi tietenkin myös päinvastoin.

6. TULOKSET

Tässä luvussa kerrotaan työn tuloksista. Aluksi esitellään luotu malli tuotedokumentaation rakenteesta. Se käsittää itse dokumentaation mallipohjan, dokumenttien luokittelumallin, yhteensopivuustaulukon sekä mallipohjan kokeilun käytännössä. Tämän jälkeen esitellään dokumentaation elinkaarimalli, suunnitelma tuotedokumentaation jakelusta sekä luotu virtausmalli ja vastuunjakotaulukko. Lopuksi arvioidaan saatuja tuloksia ja esitellään vastaukset tutkimuskysymyksiin.

6.1 Malli tuotedokumentaation rakenteesta

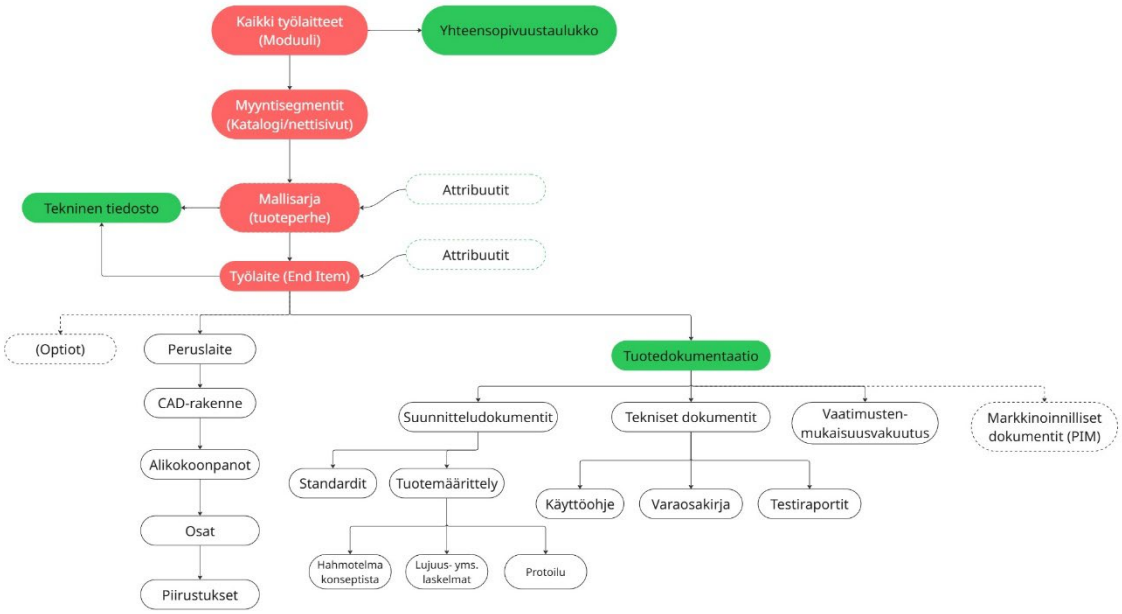
Tuotedokumentaation mallia lähdettiin rakentamaan siten, että siinä voitaisiin hyödyntää tuoteperheajattelua ja jo olemassa olevia yrityksen myyntisegmenttejä. Ne koettiin hyväksi tavaksi jakaa laaja työlaitevalikoima pienempiin ryhmiin ja edelleen tarvittaessa mallisarjoihin, jolloin dokumentaatio voitiin toteuttaa mallisarjoittain. Tämä oli perusteltua, sillä ohje- ja varaosakirjat sekä tekniset tiedostot on koottu yrityksessä tähänkin asti samaa ajattelua hyödyntäen. Lisäksi ylläpidettävän dokumentaation määrää pystyttiin rajoittamaan.

Tuotedokumentaation rakennetta varten päädyttiin suunnittelemaan Windchill-PLM:ään konsepti koko työlaitevalikoiman rakenteesta, sillä tekniset tiedostot koettiin mielekkäämmäksi linkittää mieluummin mallisarjoittain kuin yksittäin jokaiselle työlaitteelle. Samoin yhteensopivuustaulukko koettiin helppokäyttöisemmäksi, jos se on saatavana ylimmällä tasolla.

Mallia lähdettiin hahmottelemaan kaavionpiirto-ohjelmassa. Aluksi koostettiin jo tiedossa oleva CAD-rakenne, joka on toistaiseksi toiminut myös työlaitteen lopputuotenimikkeenä. CAD-rakenteen yläpuolelle luotiin tuleva lopputuotteen taso (End Item). Tämän alle luotiin CAD-rakenteen kanssa rinnakkaisiksi tasoiksi työlaitteen mahdolliset optiot sekä tuotedokumentaation ylin taso. Tuotedokumentaation alle koottiin luvussa 4.2 esitetyt dokumenttityypit.

Tuoteperheajattelua hyödynnettiin luvun 5.6 esimerkein. Työlaitteen lopputuotenimikkeen yläpuolelle luotiin kolme tasoa: työlaitemallisarja, työlaitteiden jako myyntisegmenteittäin sekä kaikille työlaitteille yhteinen ylätaso. Mallisarjojen lisääminen hyödyttää erityisesti kauhojen, niittomurskainten ynnä muiden työlaitteiden dokumentaation luontia, sillä usein näiden kaltaiset laitteet eroavat toisistaan lähinnä työleveydeltään tai tilavuu-

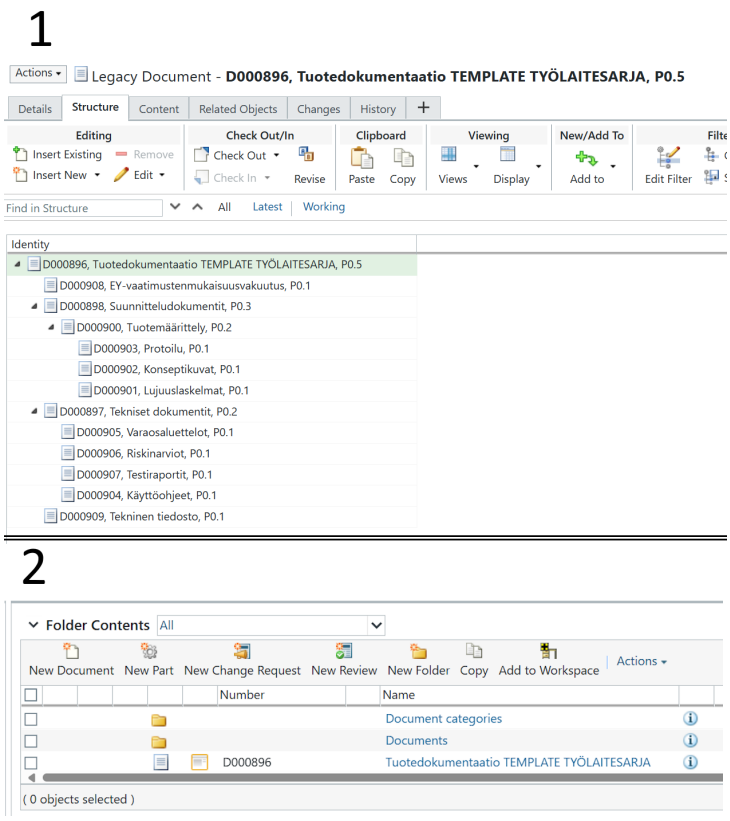
deltaan. Myyntisegmenteittäin jaon todettiin helpottavan rakenteessa navigoimista. Ylätaso, moduuli, luotiin yhteensopivuusmatriisia varten. Luotu konsepti työlaitteiden ja dokumentaation rakenteesta on hahmoteltu kuvaan 14.



Kuva 14. *Kaavio työlaitteiden tuoterakenteesta*

Kuvassa 14 on vihreällä korostettu työn tuloksena luodut dokumentaation elementit ja punaisella luotu rakenne kaikkien työlaitteiden tasolta yksittäisten työlaitteiden lopputuotetasoon asti. Valkoisella pohjalla olevat kohdat ovat jo olemassa ollutta tietoa.

Seuraavaksi voitiin luoda kuvan 14 dokumentaation rakenne PLM:ään. Rakennetta lähdettiin rakentamaan siten, että sen voisi linkittää sekä yksittäisen työlaitteen että työlaitesarjan tuoterakenteelle. Tässä vaiheessa luotu rakenne on havainnollistettu kuvaan 15.



Kuva 15. *Luotu konsepti dokumentaation rakenteesta Windchillissä*

Kuvan 15 rakenteeseen luotiin tyhjinä dokumentteina hierarkia (kohta 1). Niiden alle tehtiin tarvittaessa lisää hierarkiatasoja. Lopuksi luotiin tarvittaville yksittäisille dokumenteille tilavarauksiksi tyhjät dokumentit, joiden alle järjestelmän ulkoa tuotavat dokumentit voidaan liittää. Tällaisia dokumentteja ovat muun muassa käyttöohjeet sekä varaosaluettelot. Vastaavasti varsinkin tuotemäärittely-kohtaan tuleville dokumenteille tehtiin vain valmiiksi jaottelu eri dokumenttiryhmiin, sillä näiden ryhmien sisältöä ei juurikaan voi ennalta tietää ja se saattaa vaihdella huomattavasti eri työlaitteiden välillä.

Windchilliin luotiin myös valmiiksi kansiot dokumenttirakenteelle ja dokumenteille, joihin luodut dokumentit voidaan siirtää (kuvan 15 kohta 2). Näin navigointi helpottuu kansioiden välillä, eikä yksi ylimmäisen tason kansio täyty kaikista dokumenteista.

Dokumenttirakenteen luonnissa hyödynnettiin Ulonskan & Welon (2013) esitystä siitä, että dokumentaation tulisi sijaita yhdessä sijainnissa ja dokumentaation rakenteen tulisi olla hierarkkinen. Samaa mieltä oli myös Fransson (2025).

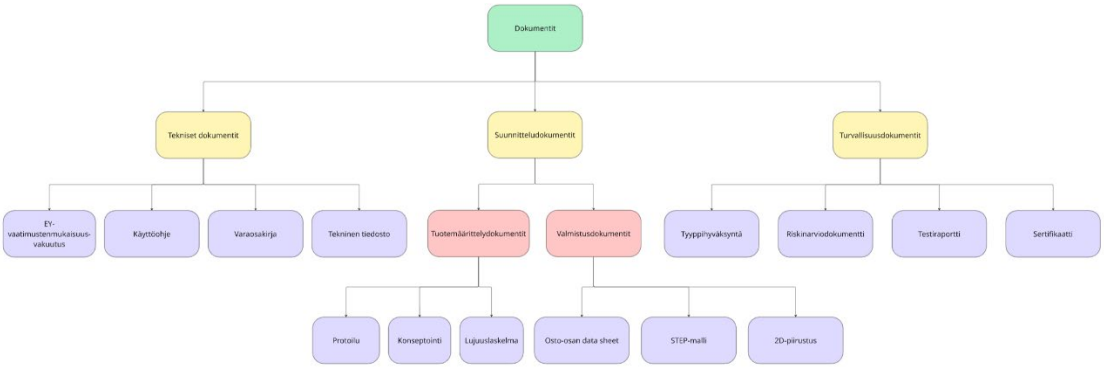
Dokumenttirakenteeseen ei haluttu liikaa turhaa hierarkiaa. Esimerkiksi käyttöohjeet jakautuvat vielä eri kieliversioihin, mutta nämä voidaan kaikki linkittää luodun Käyttöohjeet-tason alapuolelle. EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus ja tekninen tiedosto sisältävät viittauksen käytettyihin standardeihin, mutta koska kyseessä on tiedoston sisäinen viittaus,

ei standardilistausta ole järkevää linkittää erikseen kummankin tason alle. Sen sijaan standardilistaus päätettiin sijoittaa suunnitteludokumenttien alle.

6.1.1 Dokumenttien ja nimikkeiden luokittelu

Dokumenteille määritettiin omat luokitteluattribuutit, joilla ne voidaan jakaa ryhmiin ja jotka helpottavat dokumenttien hakemista. Itse luokittelua ei kuitenkaan vielä voitu tehdä, sillä se vaatii myöhemmin tehtävää lisäselvitystä siitä, mitä eri dokumenttiluokkien attribuuteiksi halutaan. Dokumenttiluokkien luonti Windchillissä vaatii myös pääkäyttäjätason oikeuksia. Tässä vaiheessa oli siis perusteltua siirtää dokumenttien luokittelun toteutus myöhemmälle ajankohdalle.

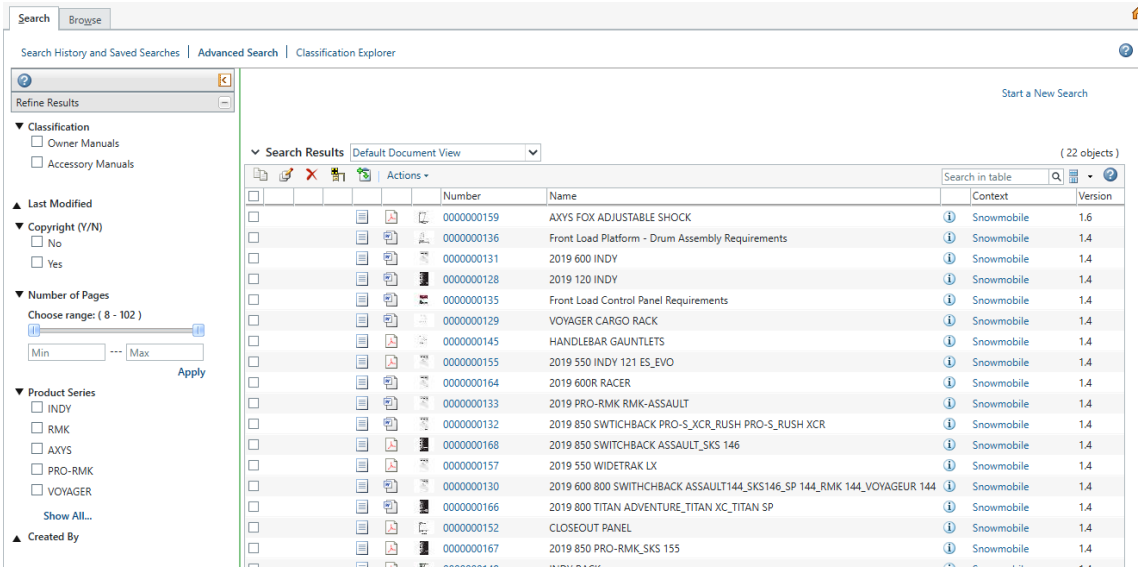
Dokumenteille muodostettiin kuvan 16 mukainen luokittelupuu. Puuta lähdettiin rakentamaan Franssonin (2025) käydyn sähköpostikeskustelun perusteella. Hänen mukaansa luokittelurakenne kannattaa toteuttaa Windchilliin kuvan 12 kaltaisesti siten, että dokumenttityypit olisi jaoteltu omiksi luokikseen. Siispä luokittelumalliin tunnistettiin kolme päätyyppiä, tekniset dokumentit, suunnitteludokumentit ja turvallisuusdokumentit. Suunnitteludokumentit jakautuvat edelleen kahteen alityyppiin, tuotemäärittelydokumentteihin ja valmistusdokumentteihin. Valmistusdokumentit ovat lähes aina sidonnaisia CAD-dokumentteihin, joten niille luokittelu tapahtuu automaattisesti. Poikkeuksena ovat PLM:n ulkopuolelta tuodut osto-osien määrittelytiedostot, jotka täytyy luokitella käsin. Dokumenttityypit on merkitty kuvaan 16 keltaisella ja punaisella.



Kuva 16. *Dokumenttien luokittelumalli*

Violetilla on merkitty kuvassa 16 dokumenttiluokat. Luokat kerättiin luvussa 4.2 mainituista yrityksessä käytettävistä dokumenttiluokista. Ylätaso, dokumentit, on merkitty kuvaan vihreällä.

Franssonilta (2025) saatiin sähköpostitse esimerkki (kuva 17) siitä, miltä Windchillin hakunäkymä näyttää, jos halutaan käyttää luokitteluun perustuvaa hakua.



Kuva 17. *Franssonilta (2025) saatu esimerkki Windchillin hakutoiminnon luokittelusuodatuksesta*

Vasemmassa reunassa on vaihtoehtoja, joiden mukaan hakua voidaan muokata. Tähän esimerkkiin on luotu käyttöohjekirja ja lisäosien ohjekirja. Lisäksi muita luokitteluattribuutteja ovat esimerkiksi mallisarja. Windchill mahdollistaa myös sivumäärien perusteella hakutulosten rajaamisen. (Fransson 2025)

Tässä yhteydessä haluttiin kokeilla, voisiko teknisen tiedoston tietoja siirtää attribuuttitiedoiksi. Suurin osa teknisen tiedoston sisällöstä on kuvan 18 kaltaista tietoa, jonka esitystapa on melko samanlaista työlaitteesta riippumatta.

Varoitustarrat	Käyttöohjeessa luettelo ja kiinnitys
Konekilpi	CE-merkitty laite, konekilven tuotenumero käyttöohjeessa
Vaatimustenmukaisuusvakuutus	
Käyttöohjekirja: versiot ja käännökset	Erillinen dokumentti /
Riskien arviointi	Erillinen dokumentti
Koneen suunnittelijat	
Suunniteltu hydrauliikan syöttö:	
Suurin hydrauliikan syöttö	30 l/min, 225 bar
Hydraulikaavio	
Kauhasylinteri	
Kauhan toiminta	Itsenäiset hydraulisylinterit molemmissa kourissa
Sähkökaavio	*ei koske tätä laitetta*
Punnittu massa:	n. 400 kg (**ei ole vielä punnittu**)
Kokonaisleveys	1800 mm
Suurin sallittu kuormitus	2000 kg

Kuva 18. *Kuvakaappaus erään hydraulisen kauhan teknisen tiedoston osasta. Tuotenumerot ja suunnittelijat on sumennettu.*

Kokeilua varten Windchilliin luotiin muutama työlaitekategoria ja niihin liittyvät attribuutit. Täytettäviä attribuuttikenttiä on mahdollista luoda esimerkiksi siten, että työleveys ilmoitetaan valmiiksi millimetreinä ja tilavuus litroina tai kuutiometreinä. Tällöin käyttäjän täytyy itse lisätä vain oikea arvo. Attribuuttikenttiä voidaan luoda myös täysin tyhjinä, joihin voidaan kirjoittaa mitä tahansa tekstiä.

Tuloksena selvisi, että työlaitteiden lopputuotenimikkeet pystytään luokittelemaan kuvatulla tavalla. Luokittelu näkyy nimikkeen tiedoissa. Näistä tiedoista voidaan tarvittaessa luoda Excel-tiedosto, ja koska konedirektiivi 2006/42/EY ei määrää tekniselle tiedostolle tiettyä mallipohjaa tai tiedostomuotoa, voitaisiin nykyisten teknisten tiedostojen sisältö luoda attribuuttipohjaiseksi tiedoksi Windchilliin. Nimikkeiden luokitteluvaihe on havainnollistettuna kuvaan 19.

Kuva 19. *Nimikkeiden luokitteluvaihe*

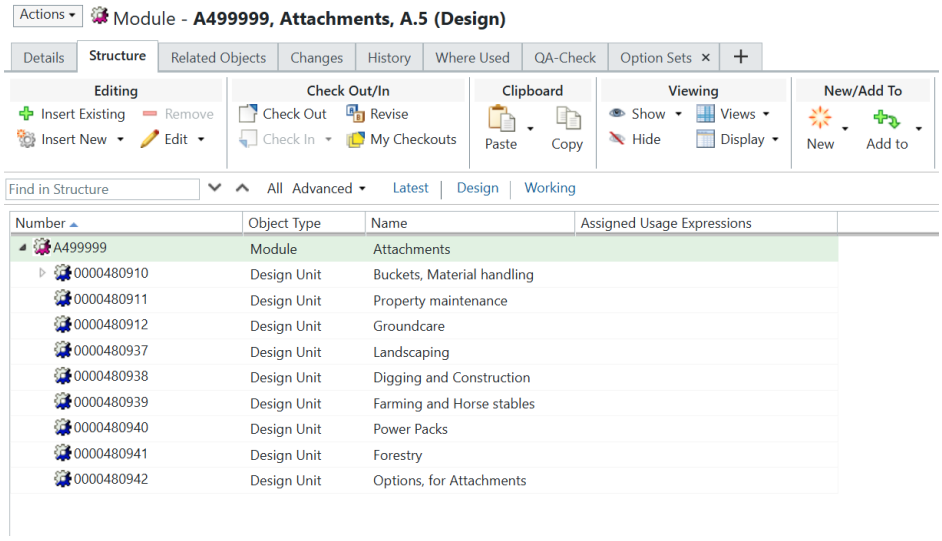
Nimikkeiden luokittelua varten kohdeyrityksen Windchill DEV -ympäristöön oli luotava ensin luokittelumalli. Järjestelmään luotiin muutama työlaitetyyppi malliksi (Kuva 19, kohta 1), ja näille määrättiin tyypillisiä attribuutteja, joita tekniset tiedostot ja kohdeyrityk-

sen PIM-järjestelmä sisältävät. Kuvan 19 kohdasta 2 huomataan sama luokittelurakenne, mikä valittiin kohdassa yksi. Kohdassa 3 luokittelu on tehty loppuun, ja kyseiset tiedot näkyvät nyt työlaitteen nimikkeellä.

6.1.2 Yhteensopivuustaulukko

Erityisesti tätä vaihetta varten sovittiin avoin haastattelu- ja demotilaisuus kohdeyrityksen PLM-toimittajan Customer Success Managerin kanssa. Tämä toteutettiin videopalaverina Teams-ympäristössä. Tilaisuudessa olivat läsnä hänen lisäksi diplomityön tekijä sekä yrityksen PLM-kehityspäällikkö. Tilaisuuden aikana pystyttiin opastetusti rakentamaan yrityksen käytössä olevassa Windchillin DEV-ympäristössä alustava yhteensopivuusmalli. (Toreskog 2025)

Yhteensopivuustaulukko luotiin luvussa 6.1 esitetyn kuvan 14 pohjalta. Mallin rakentaminen aloitettiin luomalla ylimmäinen taso kaikille työlaitteille, joka määritettiin konfiguroitavaksi moduuliksi ja End Item -lopputuotteeksi. Tämän alle voitiin luoda alempia tasoja, Design Uniteja, jotka päätettiin luoda vastaamaan kohdeyrityksen katalogista tai nettisivuilta tuttuja myyntisegmenttejä. Tämä tehtiin siksi, jotta työlaitteet olisi jaoteltu myös PLM-järjestelmässä omiin kategorioihinsa ja jotta ne olisi helpompi löytää näiden rakenteiden kautta. Design Unit on oma tyyppinsä, joka määrittää moduulin sisäisesti erityyppiset geneeriset elementit. Näitä Design Unit -tasoja ei luotu lopputuotteeksi (End Item). Kuva 20 havainnollistaa tätä luotua rakennetta.

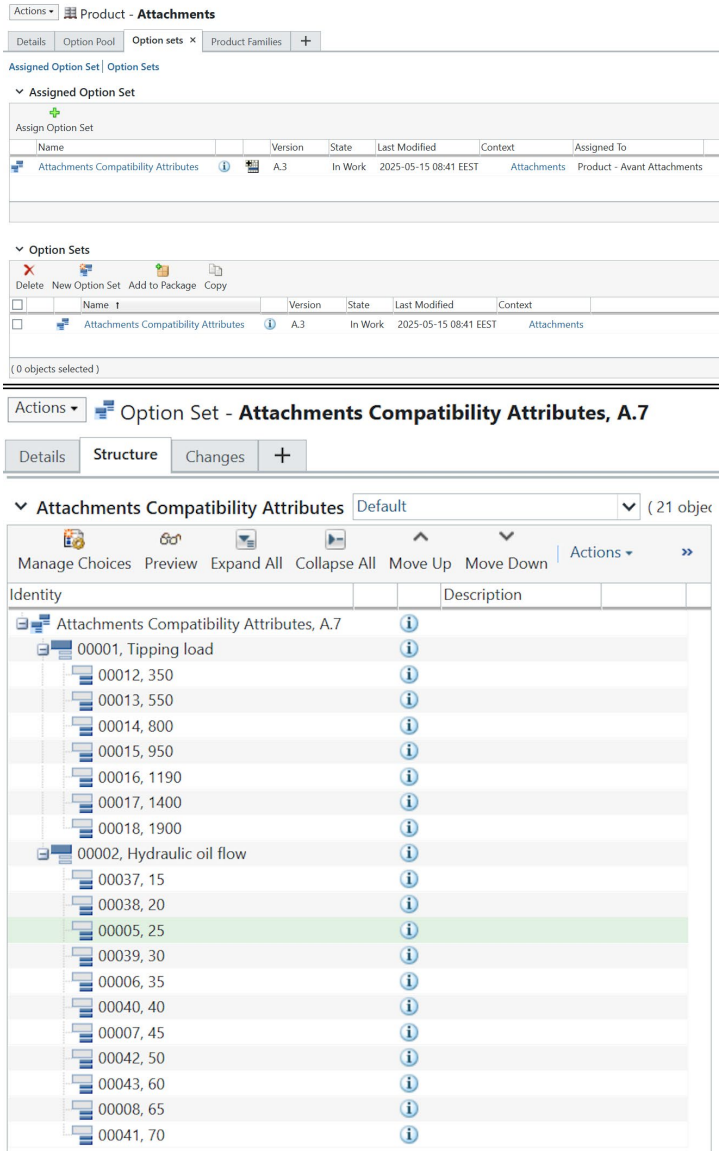


Kuva 20. *Luodut Module- ja Design Unit -tasot Windchillissä*

Kuvan 20 myyntisegmenteittäin jaoteltujen tasojen alitasoiksi luotiin vielä tarvittava määrä tasoja ennen yksittäisten työlaitteiden lopputuotenimikettä. Esimerkiksi ”Buckets,

Material handling” -tason alle tarvittiin vielä omat tasonsa muun muassa sorakauhoille, lumikauhoille ja nelitoimikauhoille.

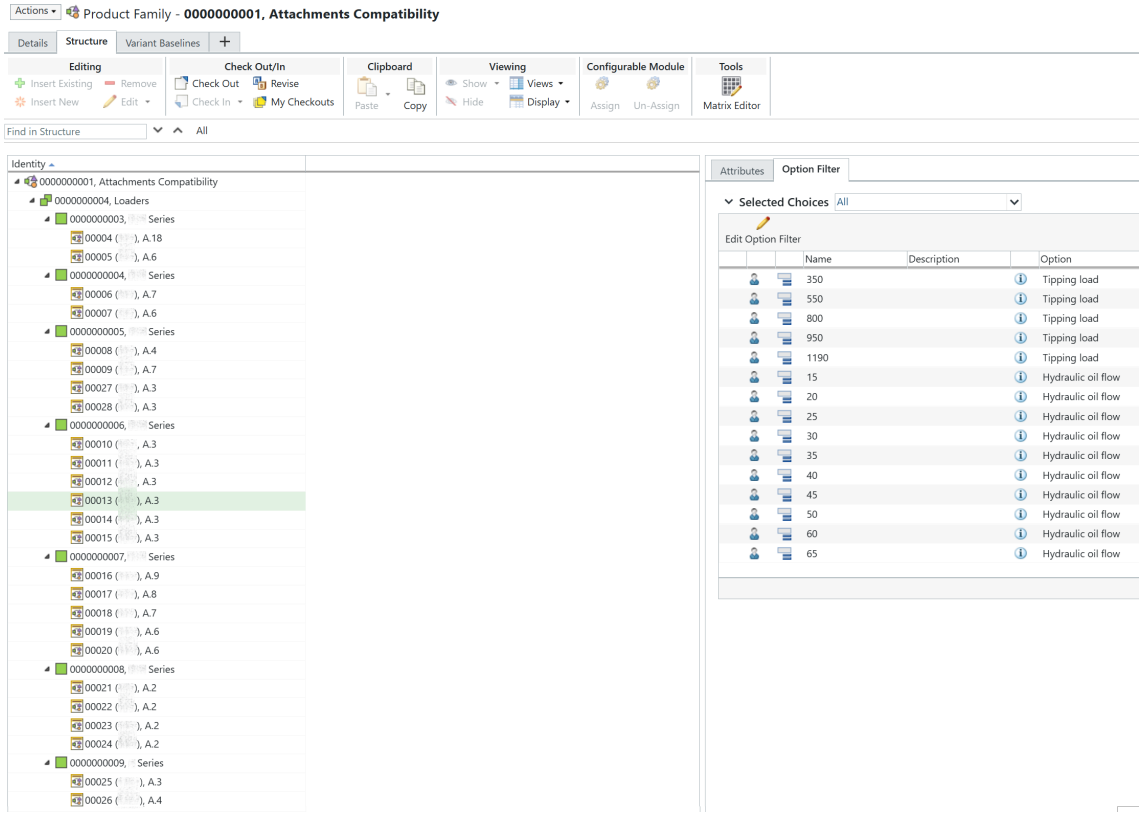
Tämän jälkeen voitiin luoda niin sanotut optiosarjat, jotka sisältävät vaihtoehdot eri kaatokuormille ja hydrauliikan tuotoille. Sarjoihin määritetyt kaatokuormat valittiin vastaamaan yrityksen kuormaajien kaatokuormia. Hydrauliikan tuotot määritettiin portaittain viiden litran välein välillä 15 l/min – 70 l/min vastaamaan työlaitteissa tarralla ilmoitettuja lukemia. Kuvassa 21 nähdään luotu optiosarja ja sen sisältö.



Kuva 21. *Luotu optiosarja (Option Set) ja sen valinnat*

Kyseinen optiosarja luotiin yrityksen Attachments-kontekstiin. Konteksteihin liittyvät optiosarjat voidaan tällä tavalla määrätä erikseen esimerkiksi jokaiselle yrityksen käyttämälle tuotesarjalle. Optiosarjoja voidaan tarvittaessa luoda lisää, ja kyseiseen optiosarjaan voidaan myöhemmin lisätä uusia valintoja.

Seuraavaksi luotiin kuormaajamallit tuoteperheenä, sillä kuormaajia täytyy ajatella perusyksikkönä, joihin voidaan vaihtaa konfiguroinnin kautta moduuleja eli työlaitteita. Aiemmin luodut optiosarjat liitettiin tähän kuormaajatuoteperheeseen, jolloin kuormaajille voitiin määrittää optiosarjan kaatokuormat ja hydrauliöljyn tuotot, joita ne tukevat. Luotua kuormaajatuoteperhettä on havainnollistettu kuvassa 22.



Kuva 22. *Luotu kuormaajatuoteperhe. Kuormaajamallit ja sarjojen nimet on sumennettu.*

Kuvassa 22 on valittuna kuormaajamalli, jonka kaatokuorma on noin 1190 kilogrammaa. Optiosarjasta on tällöin valittu kyseinen lukema sekä kaikki sitä pienemmät kaatokuormat, sillä tällä mallilla voidaan hyvin käyttää myös pienimpiä työlaitteita ilman huomattavaa riskiä rikkoutumisesta. Kahden suurimman mallisarjan kuormaajiin joudutaan vastaavasti jättämään pienin kaatokuorman arvo pois vähintäänkin kauhoille ja trukkihaarukoille. Työlaite vaatisi tässä tilanteessa kyseistä kaatokuorman arvoa ollakseen sopiva, mutta koska kuormaajan tiedoista tätä ei löydy, eivät työlaite ja kuormaaja tällöin ole yhteensopivia.

Kyseinen kuormaajamalli kykenee tuottamaan suurimmillaan 65 l/min hydrauliöljyn virtauksen. Täten optiosarjasta valittiin samaan tapaan kaikki arvot siitä alaspäin. Joillekin työlaitteille voi olla suositeltu öljyvirtausta välillä 10–20 l/min, mutta myös suurimmat kuormaajamallit pystyvät tarjoamaan näin pientä virtausta. Öljyvirtauksen tapauksessa

voidaan siis valita kaikki arvot pienimmästä suurimpaan kuormaajan tuottamaan virtaukseen asti.

Kun optiosarjat on saatu määritettyä sekä kuormaajille että työlaitteille, voidaan käynnistää kuvassa 22 yläpalkin oikeassa reunassa näkyvä matriisieditori. Sen avulla voidaan tarkastella tuoteperheeseen soveltuvia moduulivariantteja, eli tämän työn tapauksessa kuormaajamalleihin soveltuvia työlaitteita. Matriisieditorilla voidaan käsin poistaa tai lisätä yhteensopivuuksia. Tältä osin matriisieditori sopii hyvin työn tarkoituksiin, sillä yrityksen omiin vaatimuksiin kuului mahdollisuus muokata yhteensopivuuksia käsin. Kuva 23 esittää matriisieditori-näkymää, johon on avattu näkyviin eri kauhoja.

Identity	0000000003, Series		0000000004, Series		0000000005, Series				0000000006, Series						0000000007, Series					0000000008, Series			
	00004	00005	00006	00007	00008	00009	00027	00028	00010	00011	00012	00013	00014	00015	00016	00017	00018	00019	00020	00021	00022	00023	00024
A499999, Attachments, A.2 (Design)																							
0000480910, Buckets, A.10 (Design)																							
0000480921, General Buckets, A.2 (Design)																							
Sorakauha 1300, A.7 (Design)			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Sorakauha 1040 (Avant 200 ser	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Sorakauha 1150, A.7 (Design)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Sorakauha 1050, A.7 (Design)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Sorakauha 900, A.7 (Design)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Sorakauha 900, hammastettu, A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Sorakauha 1300, hammastettu,			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Sorakauha 1150, hammastettu,	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Sorakauha 1050, hammastettu,	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Sorakauha 1350, A.7 (Design)			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Sorakauha 1350, hammastettu,			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
0000480922, HD General Buckets, A.1 (Desi																							
HD-sorakauha 1600, C.7 (Desig							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
HD-sorakauha 1450, C.7 (Desig							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
HD-sorakauha 1300, C.7 (Desig							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
XL-HD sorakauha 1600, A.7 (D							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
0000480923, Light Material Buckets, A.1 (D																							
KEV. MAT. KAUHA 1300 SER. 2 ,			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
KEV. MAT. KAUHA 1150 SER. 2 ,			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
0000480925, XL Light Material Buckets, A.1																							
XXL-kauha 2000, A.7 (Design)															✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
XXL-kauha 1800, A.7 (Design)															✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
XL-kauha 1800, -.6 (Design)					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
XL-kauha 1600, -.6 (Design)					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
XL-kauha 1450, -.6 (Design)					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
0000480926, 4 in 1 Buckets, A.1 (Design)																							
VELITOIMIKAUHA 1600 , D.4 (							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
VELITOIMIKAUHA 1600 HAMM							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NELITOIMIKAUHA 1450 , B.4 i					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NELITOIMIKAUHA 1450 HAM							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Neltoimikauha 1800, A.4 (Des							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Neltoimikauha 1800 hamma							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NELITOIMIKAUHA 1300 Ser.2,					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Neltoimikauha 1150 ser.2, C.3			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
0000480927, High Tip Buckets, A.1 (Design)																							
Kärkippaava kauha 105 CM 150	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
KIPPIKAUHA 128 CM 3 50 L , F.1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
0000480928, XL High Tip Buckets, A.1 (Desi																							
, XL-kärkikippaava kauha 1800, F									✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
KIPPIKAUHA 128 CM 3 50 L , F.1					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Kuva 23. *Windchillin tuottama, konfigurointipohjainen yhteensopivuusmatriisi*

Tällä tapaa aikaansaatu yhteensopivuusmatriisi ei kuitenkaan täytä kaikkia sille asetettuja vaatimuksia. Luvussa 4.1.3 esitellyistä vaatimuksista toiseen eli sovellettavissa olevien työlaitteiden merkitsemiseen matriisi ei kykene. Matriisi pohjautuu Windchillin konfigurointiominaisuuksiin, joten se voi näyttää yhteensopivuuden ainoastaan muodossa ”kyllä tai ei”. Näin ollen näiden välinen vaihtoehto jää siis kokonaan pois. Tätä tarkoitusta varten konfiguroinnille täytyisi määrittää omat logiikkansa ja sääntönsä, joiden perusteella se laskisi kaatokuormaan perustuen ylä- ja alarajojen lähettyville sijoittuvan oman alueensa, jossa sovellettavissa-vaihtoehto olisi voimassa.

Tätä ajatusta lähdettiin kehittämään eteenpäin Excelissä. Tavoitteena oli muodostaa esimerkki siitä, millaisen yhteensopivuusmatriisin yritys haluaisi. Tätä voitaisiin tarvittaessa jakaa esimerkiksi yrityksen PLM-toimittajalle tai muille asiantuntijoille konsultointia varten.

Excel-tiedostoon tehtiin samalla tapaa rivien otsakkeiksi työlaitteet ja sarakkeiden otsakkeiksi kuormaajamallit kuten Windchill-matriisissakin. Kuormaajien kaatokuorma ja öljyvirtauksen tuotto lisättiin mallinimien alapuolelle. Vastaavasti työlaitteiden massa, niiden suurin sallittu kuorma ja vaadittu öljyvirtaus lisättiin työlaitteiden tuotenumeroiden viereen omiin sarakkeisiinsa. Lisäksi tehtiin vielä oma sarake yhteenlasketulle massalle ja sallitulle kuormalle, jota matriisissa verrataan kuormaajan kaatokuormaan. Muodostettu taulukko on havainnollistettu kuvassa 24.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
5																											
6																											
7																											
8																											
9																											
10						Loader series	[illegible]		[illegible]			[illegible]				[illegible]					[illegible]					[illegible]	
11						Loader	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
12						Tipping load	320	320	550	550	800	800	950	950	1190	1190	1190	1190	1400	1400	1400	1400	1400	1900	1900	1900	1900
13	Attachment	Mass	Max. Allowed load	Mass + Load	Required Oil flow	Hydraulic oil flow	30	42	34	34	34	34	36	36	66	66	75	75									
14	[illegible]	82	350	412			+	+	✓	✓	✓	✓	+	+	+	+	+	+									
15	[illegible]	72	350	422			+	+	✓	✓	✓	✓	✓	✓	+	+	+	+									
16	[illegible]	50	350	400			✓	✓	✓	✓	✓	✓	+	+	+	+	+	+									
17	[illegible]	73	350	423			+	+	✓	✓	✓	✓	✓	✓	+	+	+	+									
18	[illegible]	83	350	433			+	+	✓	✓	✓	✓	✓	✓	+	+	+	+									
19	[illegible]	78	500	578			+	+	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	+	+	+	+	+				
20	[illegible]	91	500	591			+	+	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	+	+	+	+	+				
21	[illegible]	86	500	586			+	+	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	+	+	+	+	+				
22	[illegible]	98	500	598			+	+	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	+	+	+	+	+				
23	[illegible]	90	500	590			+	+	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	+	+	+	+	+				
24	[illegible]	102	500	602			+	+	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	+	+	+	+	+				
25																											
26	[illegible]	126	1000	1126							+	+	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
27	[illegible]	138	1000	1138							+	+	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
28	[illegible]	150	1000	1150							+	+	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
29	[illegible]	190	1000	1190							+	+	+	+	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
30																											

Kuva 24. *Excelissä toteutettu yhteensopivuusmatriisi. Kaikki tuotenumerot ja kuormaajamallit on sumennettu.*

Excel-taulukkoon määritettiin kaavan 1 mukaisesti ylempi ja alempi raja-alue, joissa työlaite olisi sovellettavissa kuormaajaan. Taulukkoon otetut työlaitteet ovat samoja kuin kuvassa 23.

```
=IF(G$13>=$E14;IF(AND(G$12>=0,8*$D14;G$12<=2,3*$D14);"✓";
IF(OR(AND(G$12>=0,5*$D14;G$12<0,8*$D14);
AND(G$12>2,2*$D14;G$12<=3*$D14));"+";""));"")
```
(1)

Kaava 1 jaettiin selvyyden vuoksi kolmelle riville. Se vertaa ensimmäiseksi, onko kuormaajan tarjoama öljyvirtaus riittävä verrattuna työlaitteen vaatimaan virtaukseen. Seuraavaksi kaava vertaa kaatokuormaa (Tipping load) työlaitteen yhteenlaskettuun massaan ja sallittuun kuormaan (Mass + Load). Mikäli kaatokuorma on vähintään 0,8-kertainen tai alle 2,3-kertainen verrattuna yhdistettyyn massaan ja kuormaan, on työlaite tällöin sopiva. Mikäli tämä ja vaadittu öljyvirtausehto täyttyvät, tulostetaan soluun "✓"-merkki eli työlaite on sopiva. Jos kaatokuormaehto ei täyty, tarkistaa kaava seuraavaksi, täyttyvätkö sovellettavuuden ehdot. Tällöin kuormaajan kaatokuorman pitää olla joko vähintään 0,5-kertainen ja enintään 0,8-kertainen tai vaihtoehtoisesti vähintään 2,2-kertainen ja enintään kolmasosa työlaitteen yhteenlasketusta massasta ja kuormasta. Mikäli toinen ehdoista täyttyy, ja mikäli vaadittu öljyvirtausehto täyttyy, tulostetaan soluun ”+”-merkki eli työlaite on sovellettavissa, mutta ei välttämättä täysin sopiva. Kaikissa muissa tapauksissa solu jätetään tyhjäksi.

Kaavan 1 kertoimet valittiin siten, että lopputulos muistuttaisi tämänhetkistä tilannetta siitä, miten yhteensopivuus on määritetty mallikohtaisesti teknisiin tiedostoihin. Mikäli ideaa haluttaisiin työstää pidemmälle, tulisi kertoimien määrittämiseen kehittää jokin menetelmänsä, joka perustuisi esimerkiksi mahdollisiin standardeihin. Tämän saadun mallin todettiin kuitenkin olevan riittävän hyvä kuvastamaan nykytilannetta, ja sitä voidaan käyttää ainakin esittelytarkoituksiin sellaisenaan.

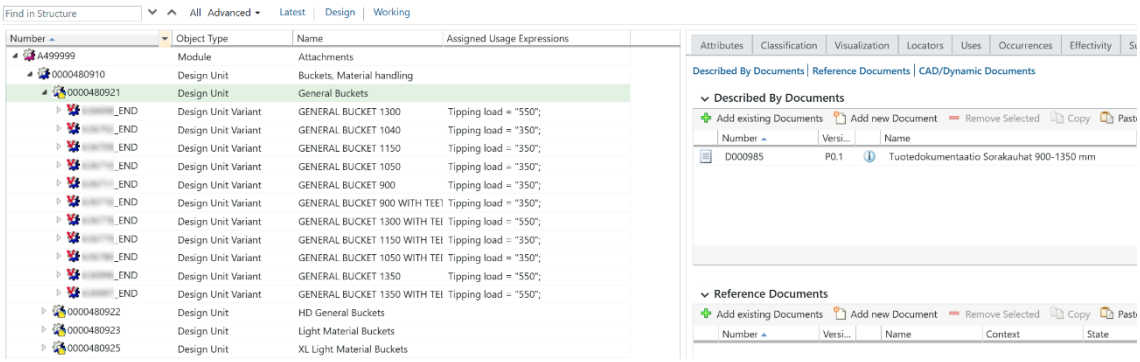
6.1.3 Mallin kokeilu käytännössä

Dokumentaation käytännön kokeilu aloitettiin kokeilemalla, pystyykö luotua dokumenttipohjaa monistamaan. Windchillissä on Copy- ja Paste-toiminnot, joiden avulla dokumentteja pystyy kopioimaan ja liittämään rakenteen sisälle tai rinnalle. Tätä toimintoa hyödyntämällä yritettiin aluksi kopioida dokumentaation pohja ja liittää se samaan kansioon. Tällä toiminnolla kuitenkin vain dokumentaation pohjalle muodostui uusi koodi, ja kaikki sen alatasot olivat samoja tiedostoja kuin alkuperäisessä pohjassa. Selvisi, että koko rakenteen kopion luomiseen on käytettävä Save As -toimintoa, jolla voi lisäksi valita, mistä dokumenteista halutaan luoda kopio uudella koodilla.

Dokumentaatiopohjaan liitettiin aluksi mukaan yhteensopivuusmatriisi Excel-tiedostona. Tällöin täytyy Save As -toimintoa tehtäessä valita matriisille Reuse-toiminto, joka käyttää jo olemassa olevaa dokumenttia uudessa rakenteessa, eikä rakenteelle luoda kopiota kyseisestä dokumentista. Tämä kuitenkin lisää marginaalisesti työmäärää mutta erityisen paljon riskiä siitä, että suunnittelija unohtaa tehdä tämän, joten yhteensopivuusmatriisi päätettiin siirtää pois pohjasta. Excel-muotoisen yhteensopivuusmatriisin liittäminen

tuotedokumentaatioon on tässä vaiheessa tehty kokeilumielessä, sillä tavoitteena on saada edellisessä luvussa 6.1.2 Windchilliin muodostettu yhteensopivuusmatriisi toimimaan toivotulla tavalla.

Tuotedokumentaatiopohjaa päätettiin kokeilla sorakauhoille. Pohjasta tehtiin Save As -toiminnolla kopio, joka onnistuttiin linkittämään ongelmitta luvussa 6.1.2 luodulle sorakauhojen Design Unit -nimikkeelle eli mallisarjatasolle kuvan 25 mukaisesti.

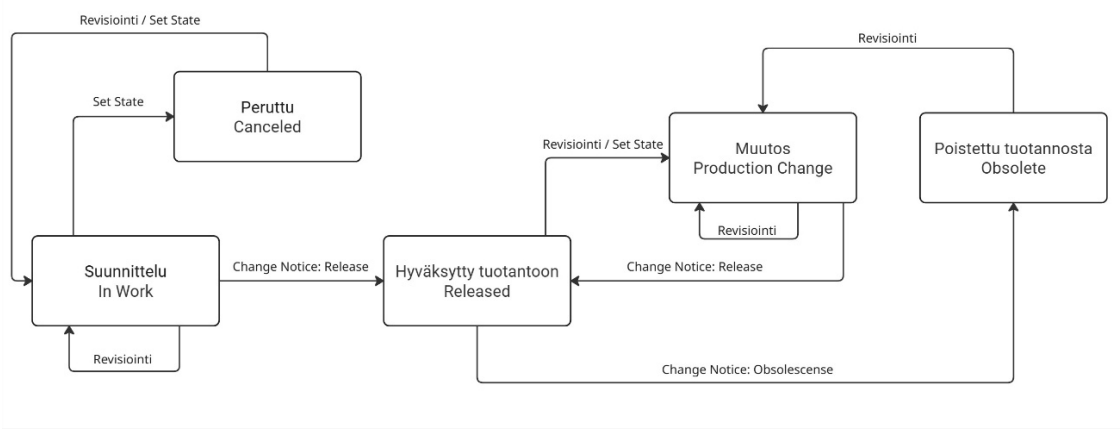


Kuva 25. *Sorakauhojen tuoterakenteelle liitetty tuotedokumentaatio. Yksittäisten kauhojen tuotenumerot on sumennettu.*

Samaan tapaan voidaan tuotedokumentaatiota nyt monistaa muillekin työlaitesarjoille tai yksittäisille laitteille. Tällä tapaa kaikki dokumentaatio on nyt saman rakenteen alla, kun Windchillin oma yhteensopivuusmatriisi on saatavana kyseisen rakenteen ylimmän, Attachments-tason yhteydessä.

6.2 Tuotedokumentaation elinkaarimalli

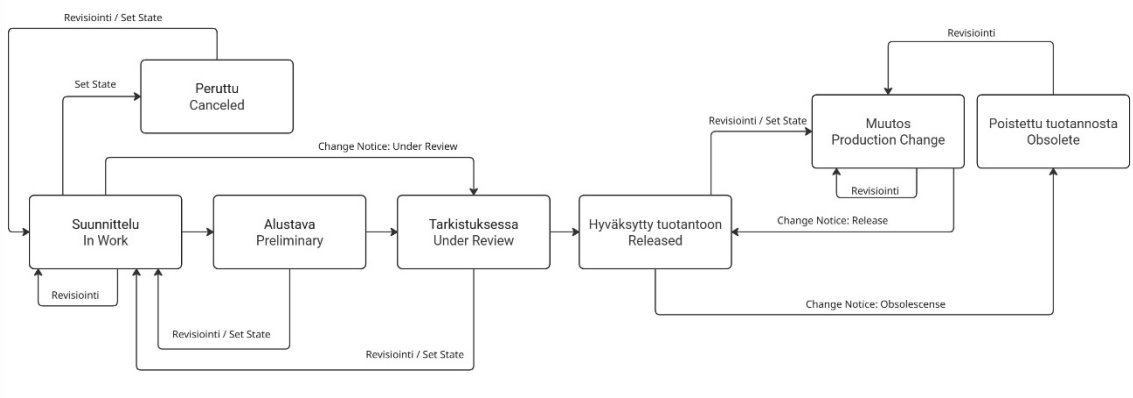
Tuotedokumentaation ja sen sisältävien dokumenttien elinkaarimalli päädyttiin pitämään lähestulkoon samanlaisena kuin muidenkin nimikkeiden. Siitä poistettiin Varaosa- ja Prototyyppi -tilat, jotka eivät ole tarpeellisia dokumentaatiota käsitellessä. Dokumentaation elinkaarimalli on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. *Tuotedokumentaation elinkaarimalli*

Koska Windchillissä pystytään erikseen määrittämään, mitkä dokumentit liittyvät mihinkin versioon tuotteesta, ei prototyyppi- ja varaosa -tiloille ole tarvetta dokumentaation elinkaaressa. Toisaalta esimerkiksi komponentteihin liittyvät määrittelytiedostot tai tietolomakkeet ovat hyödyllistä pystyä määrittämään myös varaosaksi tai prototyypiksi niitä hallitsevan nimikkeen mukaan, joten tämän tyyppisille dokumenteille on syytä olla vaihtoehtona myös nämä elinkaaren tilat. Kyseiset dokumentit rajattiin kuitenkin pois tämän työn aihealueesta.

Kun dokumentaatioon tai johonkin sen osaan tehdään työlaitteen elinkaaren aikana muutoksia, on muutosten syy ja sisältö merkittävä muutostiedotteeseen Windchillissä. Koska muutostiedotteet jäävät dokumentin tai minkä tahansa muun nimikkeen historiatietoihin, on historiasta mahdollista tarkastaa myöhemmin, mitä muutoksia on tehty ja miksi. Muutoksia tehtäessä on tärkeää käyttää ensisijaisesti revisiointia, jolloin dokumentin tiedoista pystytään huomaamaan, mistä revisiosta on kyse. Samalla voidaan määrittää, mitkä revisiot ovat päteviä. Pimeitä muutoksia tulee välttää, mutta niitä voidaan tarvittaessa hyödyntää pienten virheiden korjaamiseen, ennen kuin dokumentti on ehditty lähettää eteenpäin. Jotta tältä voitaisiin välttyä ja pimeiden muutosten luontioikeus siirtää ainoastaan pääkäyttäjille, olisi yrityksessä otettava käyttöön tarkastusvaihe. Tarkastusvaiheen sisältävä elinkaarimalli on esitettynä kuvassa 27.



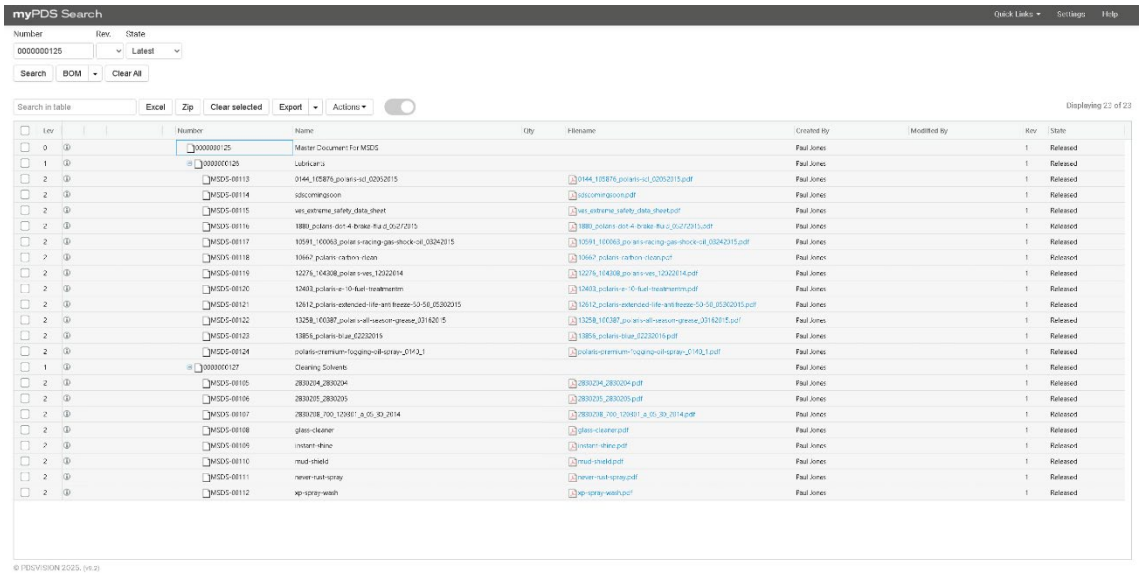
Kuva 27. *Tarkastusvaiheen sisältävä dokumentaation elinkaarimalli*

Kuvan 27 malli sisältää myös alustavan tilan nimikkeelle. Tätä voidaan käyttää, jos halutaan julkaista jokin dokumentti alustavasti, vaikka sen sisältö olisi vielä kesken. Tarkastusvaiheeseen dokumentti siirrettäisiin silloin, kun se on valmis, mutta se täytyy vielä tarkastaa. Tarkoitus olisi, että dokumentti voitaisiin tarkastuksen jälkeen siirtää tuotantoon. Tässä mallissa tarkastusvaihe olisi pakollinen, eli dokumenttia ei voitaisi hyväksyä suoraan suunnittelusta tuotantoon. Alustava vaihe olisi kuitenkin vapaaehtoinen, eli dokumentti voitaisiin siirtää suunnittelusta tarkastukseen ilman tämän vaiheen läpikäyntiä.

6.3 Tuotedokumentaation jakelu

Työtä varten haastateltu PDSVISIONin asiantuntija suositteli kyseisen yrityksen itse kehittämää myPDS Search -hakuohjelmaa käytettäväksi Windchillin yhteydessä. Windchill ja sen omat hakutoiminnot toki ovat toimiva ratkaisu, mutta pelkästään dokumenttien jakamiseen käytettynä se on melko järeä ohjelmisto. Lisäksi kohdeyrityksessä alun perin Windchillin yhteydessä käyttöön otettu ThingWorx Navigate -hakuohjelmisto on osoittautunut monelta osin riittämättömäksi. Kohdeyrityksessä harkitaankin tästä ohjelmasta luopumista (Haastattelu. Työlaitteiden tuotekehityspäällikkö, tuoteturvallisuuspäällikkö & PLM-kehityspäällikkö 2025).

Diplomityön kirjoittamisen aikana PLM-toimittajan kanssa pidetyssä konsultointipalaverissa erääksi vaihtoehdoksi nousi toimittajan itse kehittämä hakuohjelma, myPDS Search. Dokumenttirakenteen haku onnistuisi myPDS Searchilla siten, että ensin navigoidaan lopputuotteen nimikkeelle, jonka alla dokumentaatiorakenne on. Sieltä voidaan avata rakennepuu, ja tarvittavat dokumentit voidaan ladata joko yksitellen tai yhdessä (Fransson 2025). Tästä saatiin kuvan 28 esimerkki sähköpostitse Franssonilta (2025), sillä kohdeyrityksellä ei vielä ole käytössä kyseistä ohjelmistoa tai lisenssiä siihen.



Kuva 28. *Franssonilta (2025) saatu esimerkki myPDS Searchin hakutoiminnosta*

Kuvan 28 kaltaisen erillisen hakuohjelman käyttäminen helpottaisi dokumenttien tai esimerkiksi valmistuskuvien hakemista PLM:stä. Ohjelman voisi mahdollisesti ottaa käyttöön myös yrityksen alihankintayrityksissä, jolloin valmistuspiirustusten tai muiden työlaitteeseen liittyvien dokumenttien jakaminen helpottuisi. Samalla pystyttäisiin varmistumaan siitä, että dokumentit ovat varmasti ajantasaisia.

6.4 Virtausmalli tuotedokumentaatioprosessista

Diplomityön alusta asti haluttiin muodostaa malli, joka kuvaa työlaitteen elinkaaren aikana syntyvää dokumentaatiota. Mallilla haluttiin selvittää, minkä suunnittelun ja ylläpidon aikaisten työvaiheiden aikana dokumentaatiota syntyy ja kuinka dokumentaatiota nykyhetkellä hallitaan. Vaihtoehtoina olivat kuormaajakehityksessä aiemmin käyttöön otettu Stage-Gate-malli ja virtausmalli.

Aiheesta järjestettiin palaveri yrityksen työlaitteiden tuotekehityspäällikön, PLM-kehityspäällikön sekä tuoteturvallisuuspäällikön kanssa. Palaverissa käsiteltiin muun muassa yrityksen kuormaajaprojekteissa käyttöön otettua Stage-Gate-mallia, joka toisaalta on todettu toimivaksi, mutta jonka porttien sisältävien tehtävien valmistumista ei toistaiseksi seurata erityisen tarkasti. Stage-Gate-mallin ei todettu olevan mielekäs ratkaisu työlaitesuunnitteluun, eikä erityisesti tuotedokumentaation luomisprosessin ohjaukseen. Dokumentaatiota luodaan koko tuotteen elinkaaren ajan, ja yleensä suunnittelija on itse aloittamassa tätä työtä luomalla ensimmäisiä hahmotelmia tai konsepteja tuotteen rakenteesta tai ulkonäöstä. Tämän vuoksi malli olisi turhan jäykkä kuvaamaan tuotedokumentaation luomisprosessia ja elinkaarta, sillä se ei muun muassa sallisi portin eri puolilla olevien tehtävien suorittamista rinnakkain. Se ei myöskään kerro eri tehtävien yhteyksiä

toisiinsa. Toisaalta mallin avulla voisi helposti määrittää, mitä tehtäviä tulisi olla tehtynä ennen kuin voidaan siirtyä esimerkiksi konseptoinnista protoiluun, ja vastaavasti protoilusta tuotantoon. Yrityksen portfoliossa on kuitenkin todella paljon vaatimuksiltaan ja rakenteeltaan eroavia työlaitteita, minkä vuoksi Stage-Gate-mallille olisi vaikeaa määrittää yleispätevää pohjaa.

Virtausmallin todettiin sen sijaan soveltuvan kuvaamaan hyvin dokumentaatioprosessia ja erityisesti eri tehtävien yhteyksiä toisiinsa. Viljamaa (2020) on toteuttanut omassa diplomityössään virtausmallin työlaitteen tuotteistamisprosessista, mutta työlaitteen elinkaaren aikana syntyvästä dokumentaatiosta ja sen hallinnasta ei ennen ole tehty kuvausta yrityksessä. Virtausmallin avulla voidaan helposti kuvata eri vaiheiden tai tehtävien yhteydet ja riippuvuudet toisiinsa, ja lisäksi virtausmallista selviää nopeasti, mitä vaiheita voitaisiin toteuttaa aiemmin tai samanaikaisesti muiden vaiheiden kanssa.

Virtausmalli haluttiin toteuttaa nykytilanteesta. Toinen vaihtoehto olisi ollut toteuttaa virtausmalli kuvitteellisesta ihannetilanteesta, jossa kaikki dokumentit kerättäisiin yhteen paikkaan. Tämä virtausmalli ei kuitenkaan olisi havainnollistanut mahdollisia kehityskohteita niin hyvin kuin nykytilaan perustuva malli.

Virtausmalli mallinnettiin Tampereen yliopiston Design Explorer -ohjelmassa. Virtausmallin luonti aloitettiin kirjaamalla malliin ylös kaikki aiemmissa yhteyksissä mainitut dokumentit sekä suunnittelun työvaiheet, joissa uusia dokumentteja luodaan. Malliin kirjattiin myös karkeasti dokumentointiosaston työvaiheita, jotta on selvää, minkä vaiheen tuloksena muodostuu mitäkin dokumentteja.

Työvaiheiden välille luotiin yhteyksiä ja riippuvuuksia. Tavoitteena ei ollut määrittää tarkkaa tuotekehitys- tai dokumentointiprosessia, vaan virtausmallin tavoitteena on kuvata, minkälaista dokumentaatiota syntyy missäkin vaiheessa ja miten näitä dokumentteja hallitaan nykyhetkellä. Esimerkiksi ohjekirjan laatimisprosessi on pitkä ja siihen kuuluu monia vaiheita, mutta virtausmalliin se kuvattiin yhtenä etappina, jonka tuotoksena syntyy ohjekirja. Tuotekehitysprosessin osalta tämän työn virtausmallissa hyödynnettiin Viljamaan (2020) omassa diplomityössään luomaa virtausmallia tuotekehitysprosessista ja työlaitteen tuotteistamisesta. Viljamaan mallista kerättiin ne vaiheet, joissa dokumentteja syntyy, ja niiden pohjalta luotiin mallin runko. Tuotteistamisprosessi on pysynyt melko samanlaisena, mutta nykyisin riskinarviota tehdään enemmän jo työlaitteen konseptin hahmotteluvaiheessa.

Kun mallin runko oli valmis, pohdittiin, mitä dokumentaatiota eri tehtävistä syntyy ja miten sitä tällä hetkellä hallitaan. Virtausmalliin luotiin Design Explorer -ohjelmassa niin sanotut

uimaradat kuvaamaan täysin versionhallinnan ulkopuolella olevaa dokumentaatiota, jonkinlaisen versionhallinnan piirissä olevia dokumentteja sekä PLM:ssä hallittuja dokumentteja. Uimaradat eivät tulostu malliin tallennettaessa, joten ne lisättiin jälkeenpäin Adobe Illustrator -ohjelmassa.

Työlaitteen konseptointivaiheen aikana syntyy erilaisia hahmotelmia työlaitteesta ja sen rakenteesta. Nämä voivat olla esimerkiksi paperille tai tietokoneen piirto-ohjelmilla käsin piirrettyjä kuvia. Työlaitetta saatetaan myös lähteä hahmottelemaan saman tien CAD-ohjelmassa. Näiden vaiheiden tuloksena syntyy paljon työlaitteen rakenteeseen liittyvää tietoa, jota ei nykyhetkellä kerätä mihinkään. Työlaitesuunnittelulla on oma verkkolevynsä, jonne suunnittelijat voivat vapaaehtoisesti lisätä omiin projekteihinsa liittyvää tietoa.

Kun valittu konsepti on selvillä, voidaan alkaa työstämään työlaitteen ensimmäisen version hahmotelmia. Usein tässä vaiheessa tehdään myös tarvittavia lujuuslaskelmia ja riskinarviointia. Lujuuslaskelmista ja riskinarvioinnista syntyy jälleen lisää dokumentaatiota, jota ei kerätä hallitusti.

Ensimmäisen kerran PLM:ssä hallittua dokumentaatiota syntyy, kun työlaitteesta luodaan sinne tallennettavia 3D-malleja. Malleista luodaan ensimmäisen prototyypin valmistuskuvat, joiden perusteella prototyyppi valmistetaan. Suunnittelijat testaavat usein ainakin omia laitteitaan, ja usein tulevia työlaitteita lähetetään asiakasyrityksille testikäyttöön. Palautetta saadaan vaihtelevasti ja monessa eri muodossa. Kaikki työlaitteesta saatu palaute pyritään kirjaamaan ylös, mutta sitä ei tallenneta PLM:ään.

Dokumentointiosastolla on käytössä omat tallennuspaikkansa verkkolevyllään käyttöohjekirjoille, riskinarviointidokumenteille sekä vaatimustenmukaisuusvakuutuksille. Tekniset tiedostot tallennetaan niin ikään tuotekehityksen verkkolevylle. Varaosakirjat luodaan työlaitteen osien piirustustiedostoihin luotujen räjäytyskuvien pohjalta. Niitä siis osittain hallitaan PLM:ssä, mutta valmista varaosakirjaa ei tallenneta sinne.

Työlaitteen ylläpidon ajalta kertyy dokumentaatiota silloin, kun myynnissä olevasta työlaitteesta saadaan palautetta asiakkailta, ja palautteen perusteella työlaitteeseen tehdään muutoksia. Muutoksia saatetaan tehdä myös suunnittelun omasta aloitteesta. CAD-malleihin tehdyt muutokset jäävät historiatietoihin PLM:ssä, mutta kuten työlaitteen testausvaiheessa, ei saatua palautetta erikseen tallenneta sinne.

Virtausmalliin tunnistettiin 23 eri työvaihetta, joiden tuloksena syntyy 25 erilaista dokumenttityyppiä. Lisäksi tunnistettiin viisi suurempaa kokonaisuutta tuotteen elinkaaren ajalta, joista ainoastaan yhtä hallitaan nykyhetkellä täysin PLM:ssä. Työlaitteen ylläpidon

aikana siihen tehtävät muutokset tallentuvat historiatietoihin Windchillin muutostenhallinnan avulla. Konseptoinnin ja protoilun aikana hallittu dokumentaatio kerätään usein verkkolevylle, samoin työlaitteesta saadut palautteet. Useinkaan ei ole saatavana versionhallintaa tai historiatietoja. Dokumentointiosaston luomat dokumentit, kuten käyttöohjekirja, ovat jonkinasteisen versionhallinnan piirissä. Käyttöohjekirjat luodaan omassa ulkoisessa ohjelmassaan, ja niiden pätevyys määritetään usein työlaitteen vuosimallin tai sarjanumeron perusteella. Teknisiin tiedostoihin on lisätty oma kenttä, joihin muokkaaja voi kirjoittaa, milloin ja miksi tiedostoa on muutettu.

Kaikkiaan 12 eri dokumentaation tyyppiä ei tällä hetkellä hallita joko PLM:ssä tai erillisen versionhallinnan kautta. Yhdeksää eri dokumenttityyppiä hallitaan PLM:ssä, ja neljälle dokumenttityypille on olemassa oma versionhallintansa. Nykyhetkellä siis noin 48 prosenttia työlaitteiden dokumentaatiosta ei ole hallittua. Muodostettu virtausmalli on työn liitteenä (Liite A).

6.5 Vastuunjakotaulukko

Luvussa 4.2 esitellyille dokumenteille muodostettiin käytyjen palaverikeskusteluiden perusteella vastuunjakotaulukko (taulukko 7).

Taulukko 7. *Dokumenttien vastuunjakotaulukko*

Tuotekehitys	Dokumentointi & tuoteturvallisuus	Osastot yhdessä
Prototyyppien testaus	Käyttöohjekirjat	Riskinarviot
Suunnittelun aikainen riskinarvio	Sertifikaatit	Tyyppihyväksyntä
Varaosakirjat	Työlaitteiden viralliset testit ja testiraportit	Suorituskykytestit
Laatudokumentit	Huolto-ohjeet	
Tekninen tiedosto	Huoltotiedotteet	
Valmistusdokumentit		

Taulukko muodostetiin nykytilanteeseen pohjautuen. Yrityksen sisäisesti käydyissä palavereissa dokumenttien vastuiden jakautumista pidettiin melko selvänä, ja pääosin kaikki suunnitteluvaiheeseen liittyvä dokumentaatio määritettiin tuotekehitykselle. Vastaavasti työlaitteen asiakkaalle päätyvä dokumentaatio on dokumentoinnin ja tuoteturvallisuuden vastuualuetta. Lisäksi osastolle kuuluu virallisten testien dokumentointi sekä

mahdollisten sertifikaattien laatiminen. Tuotekehitys ja dokumentointi vastaavat yhdessä suunnittelun loppuvaiheessa tehtävästä virallisesta riskinarviosta sekä mahdollisista tyyppihyväksynnöistä ja suorituskykytesteistä.

6.6 Tulosten arviointi ja vastaukset tutkimuskysymyksiin

Kaikkiin tutkimuskysymyksiin saatiin vastattua työn tuloksena. On kuitenkin huomioitava, että työ keskittyi PTC:n Windchill-PLM-ympäristöön, eikä tuloksia voi välttämättä yleistää kaikkiin PLM-järjestelmiin sopiviksi. Toisaalta kirjallisuuskatsauksessa saatiin selville, että PLM:n perusominaisuudet ovat suurin piirtein vakioita. Järjestelmien välillä voi kuitenkin esiintyi eroavaisuuksia esimerkiksi konfiguraatioiden hallinnassa. Myös yrityksen käytössä olevat lisenssit järjestelmän eri ominaisuuksiin vaikuttavat huomattavasti siihen, miten hyvin järjestelmän täyttä potentiaalia voidaan hyödyntää.

Tutkimukseen liittyen saatiin järjestettyä hyvin etäpalavereja yrityksen PLM-toimittajan kanssa. Näissä pystyttiin hyvin tiedustelemaan ja keskustelemaan asiantuntijoiden kanssa, kuinka tuotedokumentaatiota voisi hallita PLM:ssä. Heiltä saatujen tietojen ja esimerkkien pohjalta pystyttiin muodostamaan dokumentaation rakenne, yhteensopivuustaulukko sekä esimerkkejä luokittelusta. Näiltä osin tuloksia voidaan pitää luotettavina, sillä aiheista on keskusteltu alan ammattilaisten kanssa. Myös yrityksen omien PLM-asiantuntijoiden kanssa keskusteltiin aiheista.

Työn tuloksena muodostettiin nykytilaa kuvaava virtausmalli, joka kuvaa tuotteen eri elinkaaren vaiheissa syntyvää dokumentaatiota ja lisäksi sitä, miten eri dokumentteja toistaiseksi hallitaan yrityksessä. Virtausmallissa on muistettava, että työ rajattiin koskemaan pääosin tuotekehityksen ja osittain dokumentoinnin prosesseja. Todellisuudessa siis tuotteeseen liittyvää dokumentaatiota syntyy paljon enemmän, jos myynnin, markkinoinnin, jälkimarkkinoinnin ja osto-osaston tuottama dokumentaatio otettaisiin huomioon työssä ja virtausmallissa.

Kaikkiin tutkimuskysymyksiin onnistuttiin vastaamaan täysin yhtä lukuun ottamatta. Kirjallisuuskatsauksessa selvitettiin lainsäädännön vaatimat tuotedokumentaation osat sekä perehdyttiin tuotteen elinkaarenhallintaan. Tällä pohjustettiin vastausta kysymykseen siitä, kuinka tuotedokumentaatiota käsitellään PLM:ssä. Myös tehtyjä haastatteluja hyödynnettiin vastauksessa. Vastaus siihen, kuinka yhteensopivuustieto voitaisiin rakentaa PLM:ään saatiin selvitettyä yhdessä kohdeyrityksen PLM-toimittajan pidetyissä palavereissa. Tämä oli ainoa tutkimuskysymys, johon ei saatu täydellistä vastausta, sillä

luotu yhteensopivuusmatriisi ei täysin vastannut yrityksen vaatimuksia. Tuotedokumentaation jakeluun liittyen saatiin myös vastaus PLM-toimittajalta, joka suositteli ulkoisen hakuohjelman käyttöönottoa myös yrityksen alihankkijoille.

Alla on listattuna tutkimuskysymykset sekä vastaukset niihin.

- TK1: Mitä työlaitteen tuotedokumentaatioon tarvitaan?
    a. Tuotedokumentaatioon tarvitaan tiivistetysti vähintäänkin lakien ja EU- tai muiden direktiivien vaatimat tekniset dokumentit, kuten tekninen tiedosto, EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus sekä käyttöohjekirja. Näihin liittyy edelleen muita dokumentteja, kuten testiraportteja, sertifikaatteja ja mahdollinen tyyppihyväksyntä. Yrityksellä voi olla myös omia vaatimuksia, kuten tässä työssä yhteensopivuustaulukko.
- TK2: Kuinka tuotedokumentaatiota käsitellään PLM-järjestelmässä?
    a. Tuotedokumentaation ja siihen liittyvien dokumenttien käsittely eroaa luokittelun osalta Windchill-PLM:ssä. Luokittelulla voidaan määrittää esimerkiksi dokumenttiluokat ja eri luokkien vaatimat käyttäjäoikeudet tarkasteluun. Muutoin käsittely on samanlaista kuin muillakin nimikkeillä.
    b. TK2.1: Millainen on tuotedokumentaation elinkaarimalli?
        i. Elinkaarimalli on esitetty luvussa 6.2. Elinkaarimalli on lähes samanlainen kuin muillakin nimikkeillä, mutta Prototyyppi- ja Varaosa-tilat on jätetty pois. Lisäksi tutkimuksen tuloksena suositellaan vahvasti Tarkistuksessa-tilan ottamista käyttöön.
    c. TK2.2: Millainen on tuotedokumentaation vastuunjako?
        i. Vastuunjakotaulukko on esitetty luvussa 6.5. Tiivistettynä tuotekehitys vastaa kaikesta suunnitteluun liittyvästä dokumentaatiosta sekä prototyyppien testaamisesta. Dokumentointi koostaa virallliset dokumentit, kuten käyttöohjekirjat ja testiraportit. Osastot vastaavat yhdessä muun muassa virallisista riskinarvioinneista.
- TK3: Miten yhteensopivuustieto kuormaajien kanssa rakennetaan dokumentaatioon?
    a. Tämä on esitetty luvussa 6.1.2. Vastuunjako voidaan toteuttaa Windchillin konfiguraatio-ominaisuuksilla, mutta se ei täysin vastaa yrityksen toiveita. Tätä varten luotiin oma Excel-tiedosto, jota voidaan tarvittaessa hyödyntää Windchill-yhteensopivuusmatriisin jatkokehityksessä.

- TK4: Miten tuotedokumentaation jakelu toteutetaan?
    a. Tähän voidaan käyttää erillisiä hakuohjelmia, joilla PLM:stä voidaan hakea valmistuspiirustuksia tai muita dokumentteja. Ohjelma voitaneen ottaa käyttöön myös valikoiduilla alihankkijoilla, jolloin heillä olisi varmasti valmistuksen kannalta ajantasainen tieto saatavilla.

7. YHTEENVETO JA TAVOITTEIDEN SAAVUTTAMINEN

Diplomityössä rakennettiin työlaitteisiin liittyvä tuotedokumentaation kokonaisuus kohdeyrityksessä käytössä olevaan Windchill-PLM-järjestelmään. Toistaiseksi dokumentaatiosta on hallittu vain pientä osaa. Tähän kuuluvat lakien vaatimat vaatimustenmukaisuusvakuutukset, käyttöohjekirjat ja tekniset tiedostot. Myös testiraportteja on alettu viime vuosien aikana keräämään yhteen paikkaan. Suunnitteluun liittyvistä dokumenteista ainoastaan varaosakirjoja ja valmistukseen liittyviä piirustuksia ja 3D-malleja on hallittu järjestelmällisesti jo aiemmassa PDM-järjestelmässä. Muutoin esimerkiksi konseptin hahmotteluvaiheessa käsin piirrettyjä kuvia ei ole järjestelmällisesti kerätty talteen.

Dokumentaatiorakenne luotiin hierarkkisesti omaksi mallipohjakseen PLM:ään. Näin sitä voidaan jatkossa monistaa ja liittää uuden työlaitteen rakenteelle suunnitteluvaiheessa. Mallipohja sisältää omat tasonsa vaatimustenmukaisuusvakuutukselle, tekniselle tiedostolle, suunnitteluun liittyville dokumenteille sekä teknisille dokumenteille kuten käyttöohjekirjalle. Mallipohjaa voidaan käyttää sekä yksittäisille työlaitteille että työlaitesarjoille.

Dokumentaatiorakenteen täydellinen hyödyntäminen vaatisi luopumista CAD-pääkokoonpanon käyttämisestä virallisena työlaitteen loppunimikkeenä. Lopputuotteelle täytyisi luoda oma, End Itemiksi määritetty ylätaso, jonka alle CAD- ja dokumentaatiorakenteet liitettäisiin. Näin nämä kaksi rakennetta pysyisivät liitettyinä toisiinsa koko elinkaaren ajan, mutta mikäli vain toisesta täytyisi muuttaa jotain, ei toiseen rakenteeseen tarvitsisi koskea ollenkaan.

Työn tuloksena saatiin selvitettyä, että tähän asti teknisiin tiedostoihin määritetty yhteensopivuus voidaan rakentaa ainakin osittain automaattiseksi ja alkeelliseen logiikkaan perustuen PLM:ään. Luotu yhteensopivuusmatriisi ei kuitenkaan täytä sellaisenaan yrityksen vaatimuksia siltä osin, että se kykenee määrittämään ainoastaan kyllä tai ei -muotoisen yhteensopivuuden, eikä niiden välille ole mahdollista muodostaa automaattisesti rajatapauksille omaa merkintätapaa. Aihe vaatii vielä jatkokehitystä, mutta työn tuloksena saatu alustava konsepti on todettu asiantuntijoidenkin kanssa onnistuneeksi.

Työssä tutkittiin myös dokumenttien ja työlaitteiden nimikkeiden luokittelumahdollisuuksia PLM:ssä. Dokumenteille luotiin oma luokittelumallinsa, jonka pohjalta tehty luokittelu helpottaa dokumenttien löytämistä hakutoiminnolla sekä Windchillissä että ulkoisissa hakuohjelmissa. Nimikkeiden luokittelu on kiinnostava aihe myös siksi, että yrityksessä on

pohdittu, voisiko osaa tai kaikkea teknisen tiedoston sisältämää tietoa siirtää luokitteluattribuuttitiedoksi. Työn tuloksena saatiin esimerkinomaisesti luotua osa sekä teknisen tiedoston että yrityksen PIM-järjestelmän attribuuteista suoraan työlaitteen nimikkeelle. Windchill pystyy lisäksi muodostamaan kaikista tuotteeseen liittyvistä attribuuteista tarvittaessa Excel-muotoisen tiedoston.

7.1 Valittu tutkimusstrategia ja tutkimuksen onnistuminen

Työhön valittu tutkimusstrategia, konstruktiivinen tutkimusote, vaikutti onnistuneelta valinnalta. Työn tuloksena saatiin luotua useampikin malli, joita pystyttiin jollain tasolla kokeilemaan käytännössäkin. Toisaalta käytännön kokeilua rajoitti se, että dokumentaatioon liittyvät mallit täytyi rakentaa kohdeyrityksen PLM:n DEV-ympäristöön, joka eroaa jossain määrin tuotantoympäristöstä, eikä se ole yhteydessä muun muassa ERP- tai Thingworx Navigate -järjestelmiin. Tämän takia esimerkiksi luodun dokumenttirakenteen hakemista ei voitu testata muualla kuin Windchill-PLM:ssä.

Käytännön kokeilun rajoitteiden vuoksi työn tutkimussuunnitelmaksi olisi voinut sopia myös esimerkiksi tapaustutkimus (Case Study) tai toimintatutkimus. Tapaustutkimukseen olisi ollut todella hyvin materiaalia saatavana, ja sen avulla olisi ehkä pystytty keskittymään dokumentaatioon tarkemmalla tasolla, kun olisi tarkasteltu vain yhtä tai muutamaa työlaitetta ja niiden dokumentaatiota. Toisaalta tavoitteena oli toteuttaa nimenomaan mahdollisimman yleispätevä malli dokumentaatiolle. Toimintatutkimus olisi huomattavasti osallistavampi tutkimusstrategia myös muille työlaitesuunnittelun jäsenille. Tämä olisi toisaalta voinut aiheuttaa ongelmia työn tiukan aikataulun vuoksi. Työssä voidaan toisaalta nytkin nähdä piirteitä varsinkin tapaustutkimuksesta, kun dokumentaatio luotiin käytännön kokeilussa muutamalle työlaitteelle.

Dokumenttirakenteen luontiin tutkimusstrategia sopi todella hyvin, sillä rakenteen kokeileminen käytännössä paljasti monia seikkoja, joita täytyi parantaa tai jotka täytyy muuten huomioida, jos työssä luotu rakenne joskus otetaan käyttöön kohdeyrityksessä. Yksi huomioitava kohde oli esimerkiksi se, kuinka tuotedokumentaation mallipohjasta voitaisiin tehdä helposti monistettava. Tässä tapauksessa pohjasta poistettiin Excel-muotoinen yhteensopivuusmatriisi, sillä suunnittelija saattaisi helposti unohtaa poistaa sen monistettavien nimikkeiden listasta.

Kirjallisuuskatsauksen toteutusta hankaloitti se, että monet hyvältä vaikuttavat uudet lähteet olivat maksumuurin takana, eikä niitä ollut saatavana yliopiston kirjaston kokoelmissa. Kuva 3 selventää tilannetta, sillä saatavuusanalyysi rajasi mahdollisia lähteitä huomattavan paljon muutamassa tietokannassa. Esimerkiksi Starkin (2016) PLM:stä

kertovasta kirjasta on olemassa tuoreempi painos vuodelta 2024, mutta tätä ei ollut saatavana kirjaston kokoelmassa.

7.2 Työn tavoitteiden saavuttaminen

Pääsääntöisesti työn tavoitteet saavutettiin, vaikkakin muutaman tavoitteen tulos ei ollut täysin toivottu ja vaatisi vielä jatkokehitystä. Työn keskeisimpänä tavoitteena oli rakentaa työlaitteiden tuotedokumentaatiolle malli Windchill-PLM -järjestelmään. Tämä saavutettiin, ja dokumentaation mallille saatiin luotua pohja, jota voidaan hyödyntää jatkossa, kun uusia työlaitteita suunnitellaan ja aikanaan hyväksytään tuotantoon. Jo nyt yrityksen järjestelmässä käytössä oleva QA-check-toiminto (laaduntarkastus/-varmistus) voidaan tarvittaessa valjastaa tarkastamaan, onko työlaitteen lopputuotteen nimikkeelle linkitettynä kaikki tarvittavat dokumentit ja CAD-rakenteet, jotta se voidaan hyväksyä tuotantoon. Lisäksi pohjaa luotaessa pyrittiin huomioimaan kirjallisuuskatsauksessa esitettyjä lähteitä muun muassa Digital Thread -ajattelusta (Lehner et al. 2024; Singh et al. 2018) sekä dokumenttien luokittelusta tyyppien mukaan (Peltonen et al. 2002; Watts 2012a).

Toisena tavoitteena oli muodostaa kuvaus tai malli tuotedokumentaation elinkaaren hallinnasta. Tämäkin saavutettiin hyvin, ja tuotedokumentaatiota varten saatiin tehtyä konsepti PLM:ssä käyttöön otettavasta, dokumentaatiolle räätälöidystä elinkaarimallista. Lisäksi dokumentaation elinkaaresta tehtiin prosessikuvauksena toimiva virtausmalli, josta selviävät dokumentaation eri vaiheiden yhteydet toisiinsa ja esimerkiksi eri suunnitteluprosessin vaiheisiin. Dokumentaation vastuunjaosta luotiin myös oma taulukkonsa.

Työn teoriaosuuden ja kirjallisuuskatsauksen tavoitteeksi määritettiin tuotedokumentaation hallitsemiseen liittyvien tapojen löytäminen. Lisäksi tuotedokumentaation vaaditulle sisällölle pyrittiin löytämään vaatimukset kirjallisuudesta. Kumpikin tavoite onnistui: tuotedokumentaation hallintaan löytyi esimerkiksi Wattsin (2012a) kirja ”Documentation Control Handbook” sekä kaksi standardia, jotka liittyivät dokumentaatioon tai dokumentointiprosessiin (SFS ry 2006, 2002). Konedirektiivi 2006/42/EY oli ilmiselvä lähde dokumentaation vaatimuksille, mutta kirjallisuuskatsaukseen löytyi myös sitä selittävä Euroopan komission (2019) selittävä ohje direktiiviin sekä niin ikään Euroopan komission teettämä tutkimus, jossa käsiteltiin konedirektiivin ja sen vaatimusten toteutumista eri EU-maissa (Euroopan komissio et al. 2018).

Työlle asetettua valinnaista tavoitetta 3DEXPERIENCE-järjestelmän kokeilusta ja dokumentaation rakentamisesta sinne ei saavutettu. Järjestelmän toimittajan kanssa ei kyetty järjestämään työn aikataulun puitteissa sopivaa esittelytilaisuutta, eikä toisaalta aikaa haluttu tuhlata täysin uuden järjestelmän opetteluun. Yrityksessä on kuitenkin edelleen

kiinnostusta tutkia työn aihetta sekä mahdollisesti muita 3DEXPERIENCEn toimintoja kyseisessä järjestelmässä, ja tätä todennäköisesti jatketaan diplomityön jälkeen.

Työn tuloksena Windchillissä generoitu yhteensopivuusmatriisi ei aivan täyttänyt kaikkia yrityksen vaatimuksia. Matriisiin ei saatu sisällytettyä omaa merkintätapaa sovellettavissa oleville työlaitteille. Jatkokehittäminen vaatii lisäselvityksiä, joita aiotaan mahdollisesti toteuttaa tanskalaisen CPC:n (Center for Product Customization) kanssa. He ovat kehittäneet Windchilliin rakennetun lisäosan, joka toimii konfiguraattorin tapaan ja jolla voidaan määrittää tarkemmin konfigurointisääntöjä (Toreskog 2025).

8. JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITYSEHDOTUKSET

Työn aluksi tarkasteltiin muutamaa aiheeseen liittyvää, viimeisen kymmenen vuoden aikana valmistunutta opinnäytettä, joissa tarkasteltiin jossain määrin tuotteeseen liittyvän dokumentaation hallintaa. Useassa työssä mainittiin ongelmakohtina dokumentaation hallinnan epäjärjestelmällisyys ja varsinkin dokumenttien tallennuspaikkojen vaihtelevuus. Näiden opinnäytetöiden kohdeyrityksissä ei välttämättä käytetä dokumentinhallintaohjelmia, eikä dokumentaatiota välttämättä tallenneta PLM-järjestelmään, vaikka sellainen olisikin käytössä. Samankaltaisia ongelmia voidaan tunnistaa myös tämän työn kohdeyrityksessä. Pienen otannan vuoksi ei voida tietää tai yleistää, kuinka yleisiä tämänkaltaiset ongelmat ovat tekniikan alojen yrityksissä, mutta aiheesta tehtyjen opinnäytetöiden perusteella voitaneen todeta, että ongelmia esiintyy osassa alan yrityksistä ja niiden merkittävyys vaihtelee sen mukaan, kuinka paljon dokumentaatiota tuotteesta ylipäätään syntyy.

Tutkimuksen aikana valkeni useita syitä, miksi yrityksissä ei välttämättä olla halukkaita hyödyntämään PLM-järjestelmien dokumentinhallintaominaisuuksia. On valitettavasti todettava, että PLM-järjestelmä, tämän työn tapauksessa Windchill, lisää merkittävän paljon dokumenttien hallintaan liittyvää kankeutta ja pahimmillaan hidastaa tehokkaaksi miellettyjä prosesseja varsinkin uuden ohjelmiston oppimiskäyrän alussa. Diplomityötä lähdettiin tekemään ennakkoajatuksella, että Windchill olisi tehokas ja helppokäyttöinen työkalu dokumentinhallintaan. Kuitenkin varsinkin erilaiset lisenssi- ja käyttöoikeusongelmat aiheuttivat sen, että käytännön kokeilujen toteuttaminen rajoittui merkittävästi. Ongelmat on toki mahdollista ratkaista hankkimalla tarvittavat lisenssit, mutta ne taas lisäävät ohjelmiston kustannuksia. Lisäksi kohdeyrityksessä käytyjen keskustelujen perusteella varsinkin puutteellinen ohjeistus saattaa tehdä ohjelmiston käyttämisestä vaikeaa tai jopa mahdotonta, sillä Windchillin kaltainen laaja ohjelmisto mahdollistaa saman tehtävän suorittamisen usealla eri tapaa. Tämä taas tekee yhteisten toimintatapojen sopimisesta haastavaa, mikäli ohjelmisto on ollut käytössä jo jonkin aikaa.

Diplomityön teoriaosuus osoittaa, että myös tuotteeseen liittyvää dokumentaatiota tulisi kuitenkin hallita jollain tapaa, joko PLM:ssä tai erillisessä dokumentinhallintaohjelmistossa. Hallitsematon, esimerkiksi verkkolevylle tallennettu dokumentaatio voi johtaa väärän tiedon leviämiseen ja epävarmuuteen siitä, mikä on dokumentin viimeisin versio sekä miten ja miksi sitä on muokattu sen elinkaaren aikana. Hallittu dokumentaatio myös eh-

käisee hiljaisen tiedon syntymistä, kun tuotteen konseptoinnissa ja myöhemmin mahdollisissa muutosvaiheissa syntynyt tieto olisi tarvittaessa helposti saatavana. Työn käytännön osuus osoittaa, että Windchillin kaltainen PLM-järjestelmä sopii käytettäväksi myös tuotedokumentaation tallennuspaikkana, ja se pystyy käsittelemään laajasti erilaista dokumentaatiota. Dokumenteille voidaan määrätä luokitteluattribuutteja, jotka helpottavat niiden hakemista PLM:ssä ja ulkoisissa hakuohjelmistoissa. Attribuutteja voidaan määrittää myös suoraan tuotteille, mikä mahdollistaa muun muassa teknisen tiedoston sisältämien tietojen siirtämisen tuotteen nimikkeelle, josta sitä voidaan jakaa edelleen esimerkiksi PIM-järjestelmään. Näin PLM toimisi niin sanottuna master-tiedon hallintajärjestelmänä.

Diplomityön perusteella tunnistettiin selviä kehityskohteita työn kohdeyrityksessä. Osa niistä on välttämätöntä toteuttaa, jotta työn tuloksia voitaisiin täysin hyödyntää. Osa havaituista kehityskohteista liittyy yleisesti tuotekehityksen prosesseihin, ja niiden avulla voitaisiin muun muassa vähentää virheitä. Työn tulosten hyödyntämiseksi välttämättömiä muutoksia olisivat tuotteen elinkaaren aikana syntyvän dokumentaation tallentaminen PLM-järjestelmään sekä lopputuotetason käyttöönotto työlaitteen tuoterakenteessa. Näin tuotetta ja sen dokumentaatiota pystyttäisiin hallitsemaan paremmin kuin nykytilanteessa.

Yleisesti tuotekehitysprosessiin liittyvä kehitystoimenpide olisi tarkastusvaiheen käyttöönotto myös yrityksen sisäisesti. Nykytilanteessa alihankkijat tarkastavat kaikki heille saapuvat työlaitteiden valmistuspiirustukset. Olisi kuitenkin soveliasta, jos tuotekehityksen sisäisesti käytäisiin valmistuskuvat läpi, jolloin muut suunnittelijat voisivat huomata mahdollisia virheitä. Tuotteen elinkaarimalliin olisi otettava myös tarkastusvaihe käyttöön, josta se voitaisiin palauttaa takaisin suunnittelutilaan ilman pimeitä muutoksia tai revisiointia. Tarkastusvaihetta voisi hyödyntää myös dokumenteille siitä lähtien, kun ne on siirretty PLM:ään.

Yhteensopivuusmatriisin kehitys on selvä jatkotutkimuskohde. Jotta matriisi toimisi ja täyttäisi yrityksen vaatimukset, olisi sitä tutkittava esimerkiksi yhdessä tanskalaisen CPC:n kanssa. Tässä työssä Windchilliin luotu matriisi todettiin PDSVISIONin asiantuntijoiden kanssa hyväksi pohjaksi jatkokehitykselle. Lisäksi työssä luotu Excel-pohjainen matriisi soveltuu esittelykäyttöön, jos yhteensopivuusmatriisin vaatimuksia tulevaisuudessa esitellään ulkopuolisille asiantuntijoille.

LÄHTEET

Adlin, N. 2022. Formalisation of Information Flows to Support Lean Manufacturing Implementation : Study of High-Variety, Low-Volume Manufacturing in a High-Cost Country. Tampere University. (Accepted: 2022-03-23T10:04:28Z). https://trepo.tuni.fi/handle/10024/138181

Alastalo, M., Åkerman, M. & Vaittinen, T. 2017. Asiantuntijahaastattelu. Teoksessa Matti Hyvärinen & Pirjo Nikander & Johanna Ruusuvuori (toim.). Tutkimushaastattelun käsikirja. Tampere: Vastapaino, 214–232. https://www.ellibslibrary.com/reader/9789517686112

Anttila, P. 2014. Pirkko Anttila: Tutkimisen taito ja tiedon hankinta. METODIX. https://metodix.fi/2014/05/17/anttila-pirkko-tutkimisen-taito-ja-tiedon-hankinta/ (luettu 11.5.2025)

Arnarsson, I. Ö., Frost, O., Gustavsson, E., Jirstrand, M. & Malmqvist, J. 2021. Natural language processing methods for knowledge management—Applying document clustering for fast search and grouping of engineering documents. Concurrent Engineering. SAGE Publications Ltd STM, 29(2), 142–152. DOI: 10.1177/1063293X20982973

Cooper, R. G. 2008. Perspective: The Stage-Gate® Idea-to-Launch Process—Update, What's New, and NexGen Systems. Journal of Product Innovation Management. Wiley-Blackwell, 25(3), 213–232. DOI: 10.1111/j.1540-5885.2008.00296.x

Cooper, R. G. 2014. What's Next? Research Technology Management. Arlington, United Kingdom: Taylor & Francis Ltd., 57(1), 20–31.

Euroopan komissio 2019. Guide to application of the Machinery Directive 2006/42/EC. https://ec.europa.eu/docsroom/documents/60145 (luettu 20.5.2025)

Euroopan komissio, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Technopolis, Simmonds, P., Rentel, M. & Brown, N. 2018. Evaluation study of Directive 2006/42/EC on Machinery: final report. Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2873/431334

Euroopan Unioni 2006. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY, annettu 17 päivänä toukokuuta 2006 , koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta (uudelleenlaadittu) (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). http://data.europa.eu/eli/dir/2006/42/oj/fin

Garetti, M., Terzi, S., Bertacci, N. & Brianza, M. 2005. Organisational change and knowledge management in PLM implementation. International Journal of Product Lifecycle Management. 1(1), 43. DOI: 10.1504/IJPLM.2005.007344

Granholm, G. 2013. Katsaus kompleksisten järjestelmien elinkaaren suunnitteluun. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland.

Harlou, U. 2006. Developing product families based on architectures: Contribution to a theory of product families. Kgs. Lyngby: Technical University of Denmark.

Hyvärinen, M., Suoninen, E. & Vuori, J. 2021. Haastattelut - Tietoarkisto. https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/laadullisen-tutkimuksen-aineistot/haastattelut/ (luettu 3.6.2025)

Jespen, T. 2016. Introduction. Risk Assessments and Safe Machinery. Springer, Cham, 1–3. DOI: 10.1007/978-3-319-31361-0_1. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-31361-0_1

Kehl, S., Hesselmann, C., Stiefel, P. & Müller, J. P. 2019. Challenges and Architectural Approaches for Automotive PLM in Multi-Brand Organisations - A Discussion Paper. Proceedings of the Design Society. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 1: 1095–1104. DOI: 10.1017/dsi.2019.115. https://www.proquest.com/docview/2389783826/abstract/1934B7055ACF4DFFPQ/1

Koskela, L. 2000. An exploration towards a production theory and its application to construction. Espoo: Technical Research Centre of Finland.

Larocca, A., Borsato, M., Kubo, P. & Estorilio, C. 2022. Data management within new product development and collaborative engineering: a bibliometric and systemic analysis. VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems. Bingley, United Kingdom: Emerald Group Publishing Limited, 52(5), 701–717. DOI: 10.1108/VJIKMS-07-2020-0131

Lehner, C., Padovano, A., Zehetner, C. & Hackenberg, G. 2024. Digital twin and digital thread within the product lifecycle management. Procedia Computer Science. 232, 2875–2886. DOI: 10.1016/j.procs.2024.02.104

Lehnerd, A. P. & Meyer, M. H. 2011. The Power of Product Platforms. New York, UNITED STATES: Free Press. http://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=4934625

Lehtonen, T., Juuti, T. & Pakkanen, J. 2024. KONE.320-2023-2024-1 Integroitu tuotekehitys ja tuotanto -kurssin luentokalvot. 2024, Tampereen yliopisto.

Lehtonen, T., Pakkanen, J., Juuti, T., Vanhatalo, M. & Becker, I. 2012. Achieving integrated product and production development with knowledge creation and flow model. The 22nd International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM 2012, 10-13 June, 2012, Helsinki, Finland. Tampere University of Technology. Department of Production Engineering, 357–364. https://researchportal.tuni.fi/en/publications/achieving-integrated-product-and-production-development-with-know

Lukka, K. 2001. Kari Lukka: Konstruktiivinen tutkimusote. METODIX. https://metodix.fi/2014/05/19/lukka-konstruktiivinen-tutkimusote/ (luettu 10.5.2025)

Merminod, V. & Rowe, F. 2012. How does PLM technology support knowledge transfer and translation in new product development? Transparency and boundary spanners in an international context. Information and Organization. 22(4), 295–322. DOI: 10.1016/j.infoandorg.2012.07.002

Niskanen, J. 2016. TUOTEDOKUMENTAATION LAADUNHALLINTA

Olli, H. 2016. Nostosiirtovaunujen tuotetiedon hallinnan kehitys. (Accepted: 2016-01-22T10:27:12Z). https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/23712

PDSVISION 2025. PTC Windchill. PDSVISION. https://pdsvision.com/plm/windchill/ (luettu 2.6.2025)

Peltonen, H., Martio, A. & Sulonen, R. 2002. PDM: Tuotetiedon hallinta. 1. painos. Edita, IT Press.

Pietilä, I. 2017. Ryhmäkeskustelu. Teoksessa Matti Hyvärinen & Pirjo Nikander & Johanna Ruusuvuori (toim.). Tutkimushaastattelun käsikirja. Tampere: Vastapaino, 111–130. https://www.ellibslibrary.com/reader/9789517686112

PTC 2023a. Creating a New Part. https://support.ptc.com/help/windchill/r13.0.1.0/en/index.html#page/Windchill_Help_Center/parts/PMPartCreate.html# (luettu 22.5.2025)

PTC 2023b. Documents in Windchill. https://support.ptc.com/help/windchill/r13.0.1.0/en/index.html#page/Windchill_Help_Center/docmgmt/DocMgmtAbout.html# (luettu 22.5.2025)

PTC 2023c. Object Overview. https://support.ptc.com/help/windchill/r13.0.1.0/en/index.html#page/Windchill_Help_Center/objectoview/ObjectOviewAbout.html#

PTC 2024. Understanding Change Management in Windchill. PTC. https://pdsvision.com/wp-content/uploads/2025/01/Understanding-Change-Management-V10-1.pdf

PTC 2025a. Windchill Navigate for Product Development | PTC. https://www.ptc.com/en/products/windchill/windchill-navigate (luettu 7.6.2025)

PTC 2025b. Windchill PLM Software | Enterprise PLM System | PTC. https://www.ptc.com/en/products/windchill (luettu 22.4.2025)

Riascos, R., Ostrosi, E., Stjepandić, J. & Sagot, J.-C. 2024. Agility in Engineering Change Management: Navigating Complexities of Emergent Changes in PLM. Journal of Industrial Integration & Management. World Scientific Publishing Company, , 1–23. DOI: 10.1142/s2424862224500039

SFS ry 2002. SFS-EN 82045-1 Dokumenttien hallinta. Osa 1: periaatteet ja menetelmät. SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS. SFS Online

SFS ry 2006. SFS-EN ISO 11442 Tekninen tuotedokumentointi. Dokumentinhallinta. SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS. SFS Online

SFS ry 2015. SFS-EN ISO 9001 Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset. SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS. SFS Online

Simpson, T. W., Siddique, Z. ja Jiao, J. R. 2006. Product Platform and Product Family Design. New York, NY: Springer US. DOI: 10.1007/0-387-29197-0. http://link.springer.com/10.1007/0-387-29197-0

Singh, N. & Ahuja, N. J. 2019. Empirical Analysis of Explicating the Tacit Knowledge Background, Challenges and Experimental findings. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 8(10), 4559–4568. DOI: 10.35940/ijitee.J9850.0881019

Singh, V. & Willcox, K. 2018. Engineering Design with Digital Thread. AIAA journal. 11.2018.

Stark, J. 2016. Product Lifecycle Management (Volume 2): The Devil is in the Details. Cham: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-24436-5. https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-50658-1

Suuronen, L. 2024. Tankkauslaitteiden valmistuksen tuotannonohjaus ja dokumentaation hallinta. (Accepted: 2024-03-21T13:08:31Z). https://trepo.tuni.fi/handle/10024/155706

Sääksvuori, A. & Immonen, A. 2002. Tuotetiedonhallinta - PDM. Helsinki: Satku.

Sääksvuori, A. & Immonen, A. 2005. Product Lifecycle Management. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. DOI: 10.1007/b138258. http://link.springer.com/10.1007/b138258

Tampereen yliopiston kirjasto n.d. Oppaat | Guides: Kone- ja automaatiotekniikka: Artikkelit ja tietokannat. https://libguides.tuni.fi/kone-ja-automaatiotekniikka/artikkelit (luettu 19.5.2025)

Tanpure, G., Yadav, V., Jain, R. & Soni, G. 2022. Adoption of product lifecycle management in new product development: a case study of automotive organisation. Benchmarking: An International Journal. 29(5), 1546–1561. DOI: 10.1108/BIJ-04-2021-0181

Tukes n.d. Koneita koskevat vaatimukset. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet (luettu 23.4.2025)

Töyrylä, M. 2022. Tuotetiedon hallinnan kehittäminen. (Hyväksytty: 2022-04-26). https://trepo.tuni.fi/handle/10024/139042

Ulonska, S. & Welo, T. 2013. Need Finding for the Development of a Conceptional, Engineering-Driven Framework for Improved Product Documentation. 423-432. Elsevier. DOI: 10.1016/j.procs.2013.01.044. (Accepted: 2018-02-16T12:42:57Z). https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2485400

Viljamaa, J. 2020. Työlaitteen ja kuormaajan yhteensopivuuden hallinta tuotteistamisessa. (Accepted: 2020-12-18T11:03:41Z). https://trepo.tuni.fi/handle/10024/124395

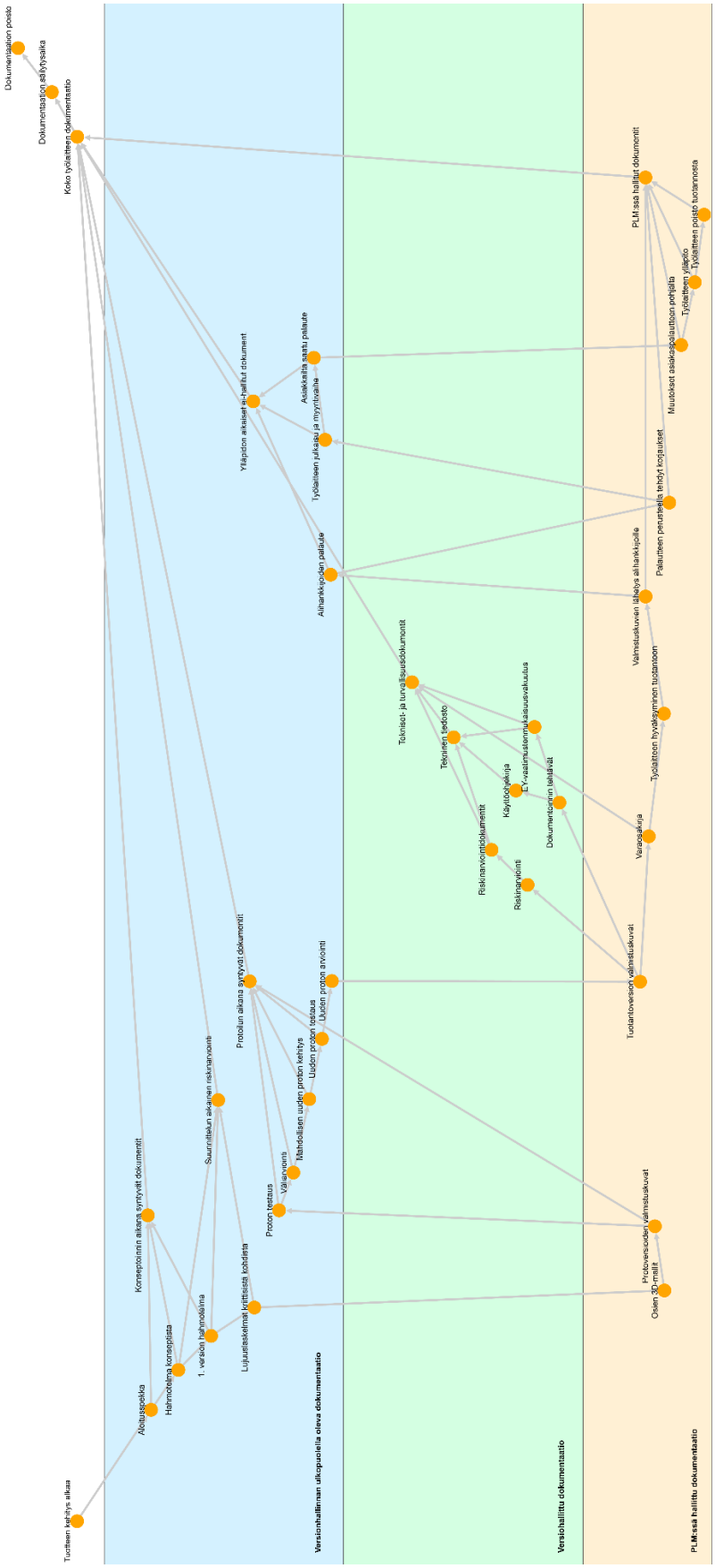
Watts, F. B. 2012a. Chapter 2 - Product Documentation. Watts, Frank B (toim.); Engineering Documentation Control Handbook (Fourth Edition). Boston: William Andrew Publishing, 21–49. DOI: 10.1016/B978-1-4557-7860-7.00002-8. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781455778607000028

Watts, F. B. 2012b. Chapter 10 - Change Management. Watts, Frank B (toim.); Engineering Documentation Control Handbook (Fourth Edition). Boston: William Andrew Publishing, 213–264. DOI: 10.1016/B978-1-4557-7860-7.00010-7. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781455778607000107

HAASTATTELUT

Haastattelu. Fransson, Jonas, Head of Customer Success Management, PDSVISION. 3.6.2025. Teams-palaveri & sähköpostikeskustelu.

Haastattelu. Toreskog, Martin, Customer Success Manager, PDSVISION. 2.5.2025. Teams-palaveri.

Haastattelu. Työlaitteiden tuotekehityspäällikkö, tuoteturvallisuuspäällikkö & PLM-kehityspäällikkö. 3.6.2025. Palaverimuistio

LIITE A: VIRTAUSMALLI