



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JYRKI LUUMI
SYKLONIN HUOLTOTASON TUOTEMÄÄRITTELY JA SUUN-
NITTELUN AUTOMATISOINTI

Diplomityö

Tarkastajat: professori Kari T. Koskinen
yliopistonlehtori Antti Pulkkinen
Tarkastajat ja aihe hyväksytty Teknisten
tieteiden tiedekunnan tiedekuntaneuvos-
ton kokouksessa 6. toukokuuta 2015

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Tuotantotekniikan laitos

LUUMI, JYRKI: Syklonin huoltotason tuotemäärittely ja suunnittelun automatisointi
Diplomityön nimi englanniksi: Design automation and product specification of maintenance platform for cyclone

Toukokuu 2015

Pääaine/painotus: Tuotantotekniikka, Tuotekehitys

Tarkastajat: Professori Kari T. Koskinen, yliopistonlehtori Antti Pulkkinen

Avainsanat: Tuotemäärittely, suunnittelun automatisointi, tuoteperhe, huoltotaso

Suuren kokoluokan projektiluontoisesti toimitettavissa tuotteissa on mahdollista vähentää projektikohtaisen suunnittelutyön määrää hyödyntämällä asiakasräätälöintiä helpottavia strategioita, kuten systeemistä räätälöintiä ja osittaista konfigurointia. Kyseisten strategioiden toteuttamiseen liittyy oleellisena osana erilaisten suunnittelujärjestelmien hyödyntäminen.

Tässä diplomityössä kehitettiin suunnittelujärjestelmä sekä seitsemän kokoluokkaa kattava tuoteperheen määrittely voimalaitoskattilassa käytettävän syklonin huoltotasolle. Työssä tutkittiin erilaisten suunnittelujärjestelmien mahdollisuuksia ja pyrittiin näin löytämään toiminnallisuudeltaan mahdollisimman hyvin huoltotason suunnittelussa esiintyneisiin haasteisiin vastaava suunnittelujärjestelmä. Juuri tietylle tuotteelle sopivan tyyppisestä järjestelmästä on hankala löytää referenssiä kirjallisuudesta, joten järjestelmän määrittely tehtiin pohjautuen tuotteeseen liittyviin haasteisiin ja mahdollisuuksiin, sekä käytettävissä olevien ohjelmistojen tarjoamiin toiminnallisuuksiin.

Työssä määritellyn suunnittelujärjestelmän avulla projektikohtainen suunnittelutyö ja työpiirustusten päivittäminen saatiin periaatteessa eliminoitua täysin, sekä piirustusten tarkastaminen rajoitettua kahdeksaan kokoonpanopiirustukseen. Osien vakioinnin ansiosta uusien osien määrä pysyi maltillisena skaalattaessa yksittäisen kokoluokan rakenne seitsemään eri kokoluokkaan. Järjestelmä myös kokoaa yhteen huoltotasoon liittyvän tuotetiedon ja toimii virtuaalisena prototyyppinä tuotteen rakenteeseen perehdyttäessä.

Toisaalta suunnittelujärjestelmän kaikkea sisältöä ei ehditty työn aikataulun puitteissa viimeistelemään. Myös kahden suurimman kokoluokan tukirakenteiden määrittely jäi toistaiseksi odottamaan toimitusprojektia, jonka yhteydessä määrittelytyö voitaisiin toteuttaa. Kokonaisuudessaan järjestelmän toteuttamiseen meni arviolta sama aika kuin kahden ensimmäistä kertaa toteutettavan kokoluokan määrittelyyn ja dokumenttien tuottamiseen.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

LUUMI, JYRKI: Design automation and product specification of maintenance platform for cyclone

Master of Science Thesis, 64 pages, 2 Appendix pages

May 2015

Major: Product development

Examiner: professor Kari T. Koskinen, Associate Professor Antti Pulkkinen

Keywords: Product specification, design automation, product family, maintenance platform

In large scale product deliveries it is possible to utilize customization based strategies such as systemic customization or partial configuration in order to reduce the workload of project specific design tasks. Various kinds of design systems such as design automates are commonly used to implement these strategies.

In this thesis a design system and product family specification for seven size ranges are developed for a maintenance platform of a cyclone used in a steam boiler. The possibilities of different types of design systems were studied and this information was used in choosing the features that best match the known issues with the design tasks of the maintenance platform. Finding reference for a design system made for the particular type of product was not possible so the design system was specified by analysing the issues and possibilities of the product as well as the features of the available software.

With the help of the developed product design system the project specific design tasks including updating the drawing sheets were practically eliminated completely. Inspection of project specific documents were reduced to eight assembly drawings. The number of new parts was managed to keep moderate by effective standardizations of parts in different size ranges. The system also effectively gathered the product data for the maintenance platform and also acts as a virtual prototype for studying the design of the product.

On the contrary not all of the content for the design system was finished in the time frame of the project. The structural specification for the two biggest sizes were also not completed and were delayed until a suitable project would emerge during which the specification can be done. In total, the project of developing the system to the point it was implemented took approximately the amount of time equivalent of creating specifications and documentation for two completely new size ranges.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Valmet Power Oy:lle alihankintana RD Velho Oy:n kautta. Haluan kiittää työni tarkastamisesta ja hyödyllisistä neuvoista professori Kari T. Koskista sekä yliopistonlehtori Antti Pulkkista. Tämän diplomityön mahdollistamisesta ja ohjaamisesta, sekä hyvistä neuvoista ja ammattitaidollisesta inspiiraatiosta haluan kiittää Tero Heinoa ja Pekka Hurria Valmet Power Oy:stä. Haluan myös kiittää Simo Sippolaa RD Velho Oy:stä urani ohjaamisesta oikeaan suuntaan.

Erityisesti haluan kiittää avopuolisoani Katja Suhosta, jonka älyn ja hyvän tahdon merkitystä jaksamiseni kannalta ei voi liiaksi korostaa. Suuri kiitos kuuluu myös kaikille ystäväilleni ja tovereilleni harrastusten parissa, joita olen opintojeni aikana saanut kohdata, sekä myös vanhemmilleni, joiden tuki ja kannustus on ollut korvaamaton voimavara pitkäksi venyneiden opiskeluvuosien aikana.

Tampereella 16. toukokuuta 2015

Jyrki Luumi

SISÄLLYS

1	Johdanto	1
1.1	Työn tavoitteet ja menetelmät	1
1.2	Työn sisältö ja rakenne	2
2	Suunnittelujärjestelmien hyödyntäminen asiakasräätälöinnissä	4
2.1	Tuotekehitysprojektin tavoitteet ja motivaatio suunnitteluprosessin kehittämiseksi	4
2.2	Massaräätälöinnin periaate ja tuotekohtainen soveltaminen	6
2.3	Modulaarisuuden merkitys asiakasräätälöinnissä	9
2.4	Tuoteperheet ja -alustat	11
2.4.1	Tuoteperheiden jaottelu	11
2.4.2	Tuotealustat	11
2.4.3	Tuoteperheen ja tuotealustan määrittelyt	12
2.5	Suunnittelujärjestelmät	14
2.5.1	Määrittelyprosessit ja tuotantostrategiat	15
2.5.2	Konfiguraattorit ja suunnittelujärjestelmät	16
2.5.3	Parametriset, piirrepohjaiset solidimallit	19
2.6	Suunnittelujärjestelmät engineer-to-order -toiminnassa	20
2.7	Yhteenveto	22
3	Työn lähtökohdat, tavoitteet ja työvaiheiden suunnittelu	24
3.1	Kohteen käyttöympäristö	24
3.1.1	Leijupetikattilat ja sykloni	25
3.1.2	Syklonialueen standardointi kohdeyrityksessä	27
3.1.3	Kohdeyrityksen syklonituoteperhe	28
3.2	Syklonin huoltotaso	29
3.2.1	Huoltotason periaate	30
3.2.2	Huoltotason suunnitteluprosessi ja tuotemäärittelyn lähtötilanne	32
3.3	Suunnittelujärjestelmän toteuttamiseen käytettävät ohjelmistot	34
3.4	Suunnittelujärjestelmän ja tuotemäärittelyn tavoitteet	36
3.5	Suunnittelujärjestelmän toteuttamisprosessi	37
4	Suunnittelujärjestelmän toteuttaminen	41
4.1	Lähtötietojen selvittäminen	41
4.1.1	Telinekuormien määrittely	41
4.1.2	Standardit ja suunnitteluohjeet	43
4.2	Tuoteperheen määrittely	43
4.3	Parametrisen mallin rakentaminen	45
4.3.1	Mallin ja dokumentaation toteuttaminen toimitusprojektin yhteydessä	46

4.4	Jatkokehittäminen ja jalostaminen suunnittelujärjestelmäksi	47
4.4.1	Vakiodokumentit	48
4.4.2	Parametrinen malli ja konfiguraattori	49
4.4.3	Osaluettelo	52
4.4.4	Tekninen laskenta ja muu tuotetieto	53
4.5	Viimeistely	54
5	Tulosten tarkastelu ja jatkotoimenpiteet	55
5.1	Tavoite: Manuaalisen suunnittelutyön minimointi	55
5.2	Tavoite: Tuoteperheen määrittelyn selkeyttäminen	57
5.3	Tavoite: Tuotetiedon kokoaminen	58
5.4	Suunnittelujärjestelmä osana räätälöintitoimintaa	59
5.5	Tutkimuskysymykset	60
5.6	Jatkotoimenpiteet	62
6	Yhteenveto	63
	Lähteet	65
	LIITE A. SYKLONEIDEN TUOTETIETO	68
	LIITE B. STANDARDISELVITYS	69

LYHENTEET, TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

CODP	Customer order decoupling point eli asiakastilauksen kytkentäpiste.
ETO	Engineer to order. Suuren kokoluokan toimitusprojekteille tyypillinen tuotantostrategia, jossa tuotteen suunnittelu aloitetaan vasta tilauksen varmistuttua.
Integroitu tuoterakenne	Tuoterakenne, jossa useampia tuotteen toimintoja on kohdennettu samalle toiminnalliselle osalle.
Konfiguraattori	Suunnittelujärjestelmään kuuluva työkalu, jonka avulla käyttäjän antamien syötteiden ja järjestelmään määriteltyjen sääntöjen perusteella voidaan konfiguroida erilaisia tuotevariantteja.
Massaräätälöinti	Toimintatapa, jolla pyritään tuottamaan asiakkaalle räätälöityjä tuotteita, säilyttäen kuitenkin massatuotannolle tyypillinen kustannustehokkuus.
Massatuotanto	Toimintatapa, jossa pyritään tuotteen valmistuskustannusten alentamiseen suuren tuotantovolyymien avulla.
Modulaarisuus	Tuoterakenne, jossa tuote koostuu toiminnallisista, vaihdettavista moduuleista.
Osittainen konfigurointi	Strategia, jossa konfigurointi rajoitetaan selkeästi vain tuotteen niihin osiin, joiden kohdalla sillä voidaan selkeästi saavuttaa hyötyjä.
PDM-järjestelmä	Tuotetiedon hallintajärjestelmä.
Parametrinen malli	CAD -ohjelmalla luotu 3D -malli, jossa kappaleen dimensioille on kohdistettu symbolinen muuttuja, joiden välille on mahdollista luoda side-ehtoja.
Systeeminen räätälöinti	Suuren kokoluokan yksittäistuotannossa hyödynnettävä toimintamalli, jolla pyritään projektikohtaisen suunnittelutyömäärän vähentämiseen.
Tuotantostrategia	Asiakastilauksen kytkentäpisteen paikasta tilaus-toimitusprosessissa riippuva toimintatapa. Esimerkiksi make-to-stock, assemble-to-order, make-to-order tai engineer-to-order.
Tuotealusta	Joukko elementtejä, joiden avulla tuoteperheen yksilöt muodostetaan, sekä tieto siitä, kuinka tuoteyksilöt muodostetaan näistä elementeistä.

1 JOHDANTO

Suunnitteluohjelmistojen kehittyminen on luonut uusia strategisia mahdollisuuksia yritysten kilpailuun globaaleilla markkinoilla. Yksi seuraus kilpailun kiristymisestä on yritysten pyrkimys tarjota markkinoille entistä paremmin asiakkaan vaatimuksia vastaavia, räätälöityjä tuotteita. Aiemmin massatuotantoon keskittyneet yritykset ovat alkaneet ottaa käyttöön massaräätälöintinä tunnettua toimintatapaa.

Projektiluontoisesti toimitettavien tuotteiden kohdalla asiakaskohtainen räätälöinti on puolestaan jo lähtökohtaisesti tyypillinen toimintatapa. Sekä laajempiin yksittäisiin toimitusprojekteihin liittyvässä systeemisessä räätälöinnissä, että massaräätälöinnissä voidaan hyödyntää monia samantyyppisiä toimintatapoja ja työkaluja.

Yksi räätälöintitoiminnalle tyypillinen menetelmä on tuoteperheiden hyödyntäminen. Tuoteperheiden avulla yrityksen on mahdollista saavuttaa laajempi joukko asiakasvaatimuksia, mutta riskinä on tuotemääritysprosessin kasvaminen liian työlääksi ja lopulta tuotetiedon ylläpidon hankaloituminen ja ymmärrettävyyden karsiminen liiallisen moniulotteisuuden vuoksi. Erilaisia suunnittelujärjestelmiä hyödyntämällä monimutkaiselle tuoterakenteelle voidaan luoda käyttäjärajapinta, joka mahdollistaa oikeanlaisen tuotteen konfiguroinnin ilman syvällistä perehtymistä tuotteeseen.

1.1 Työn tavoitteet ja menetelmät

Tässä diplomityössä luodaan tuoteperhe ja suunnittelujärjestelmä Valmet Power Oy:n höyrykattilan syklonissa käytettävälle väliaikaiselle huoltotasolle. Työ on osa laajempaa kokonaisuutta, jossa leijukerroskattilan painerungon komponenteista pyritään luomaan modulaarinen kokonaisuus, jossa suunnittelun ja toimitusprojektien tukena voidaan käyttää erilaisia suunnittelujärjestelmiä ja parametrisia CAD-malleja. Sykloni on yksi painerunkoon kuuluva komponentti ja työssä käsiteltävä huoltotaso siihen liittyvä, optiona myytävä lisävaruste.

Projektiluontoisesti toimitettavien tuotteiden suunnittelua on mahdollista tukea monilla erityyppisillä suunnittelujärjestelmillä. Järjestelmät toteutetaan tavallisesti hyödyntäen erilaisia suunnitteluohjelmistoja, kuten CAD-ohjelmistoja tai taulukkolaskentaohjelmia ja ne ovat tyypillisesti tuotekohtaisia. Tätä työtä koskevia, suunnittelujärjestelmän määrittelyn kannalta tärkeitä tutkimuskysymyksiä ovat:

- Mitä toiminnallisuuksia järjestelmältä halutaan?
- Kuinka paljon resursseja järjestelmän toteuttamiseen ja ylläpitoon tulisi käyttää?
- Miten käytettävien ohjelmistojen ominaisuudet rajaavat järjestelmän toteutusvaihtoehtoja?

Työn tavoitteena on määritellä ja toteuttaa toiminnallisuuksiltaan sellainen järjestelmä, joka tukee strategista tavoitetta vähentää projektikohtaisen suunnittelutyön määrää. Rääätälöinnillä ja suunnittelujärjestelmillä on mahdollista saavuttaa myös monia muita potentiaalisia hyötyjä, joiden löytäminen vaatii perehtymistä kyseisten aihepiirien taustoihin.

Suunnittelujärjestelmä toteutetaan rinnakkain huoltotason tuoteperheen määrittelyn kanssa, jolloin osapuolet voidaan rakentaa toisiaan tukeviksi. Myös tuotemäärittelyssä tärkeä tekijä on määrittelyyn ja sen ylläpitoon käytettävä työmäärä. Tämän lisäksi tulee löytää sopiva tasapaino tuoterakenteen yksinkertaistamisen ja rakenteellisen optimoinnin välille. Suunnittelujärjestelmällä voidaan tukea monimutkaisien tuoterakenteen hallintaa. Tuoteperheen määrittelyä koskevat tutkimuskysymykset ovat siis:

- Mitä tuoteperheen määrittelyssä tulee määritellä?
- Miten tuoteperhe voidaan määritellä aikataulullisesti ja resurssien kannalta tehokkaasti?
- Miten suunnittelujärjestelmiä voidaan hyödyntää tuotemäärittelyn kannalta?

Työssä tukeudutaan massaräätelöintiä ja systeemistä räätelöintiä koskevaan tutkimustietoon, sekä aiempaan kokemukseen suunnittelujärjestelmien toteuttamisesta kohdeyrityksessä. Työn tulosten arvioinnissa pyritään löytämään vertailukohtia vastaaviin aikaisempiin projekteihin ja niiden avulla analysoimaan muun muassa tekijöitä, jotka vaikuttavat suunnittelujärjestelmien potentiaaliin hyötyihin ja riskeihin. Arvioinnissa pyritään myös puntaroimaan järjestelmän toteuttamiseen käytettyjen resurssien suhdetta sillä saavutettuihin hyötyihin.

1.2 Työn sisältö ja rakenne

Luvussa 2 perehdytään suunnittelujärjestelmän toteuttamisen ja analysoinnin kannalta hyödylliseen teoriaan. Teoria rakennetaan massaräätelöinnin viitekehykseen tukeutuen, keskittyen kuitenkin suuren kokoluokan toimitusprojekteissa hyödynnettävän räätelöinnin kannalta relevanttiin tietoon. Massaräätelöintiin ja systeemiseen räätelöintiin yhtä lailla liittyvää tietoa ovat muun muassa teoriat, jotka liittyvät

tuoteperheisiin ja -alustoihin, modulaarisuuteen, konfiguraattoreihin sekä tuotantostrategioihin.

Alaluvuissa 2.3 ja 2.4 käsitellään edellä esitettyihin, tuoteperheen määrittelyä koskeviin tutkimuskysymyksiin liittyviä aiheita ja alaluvuissa 2.5 ja 2.6 puolestaan pyritään löytämään vastausvaihtoehtoja suunnittelujärjestelmän määrittelyä koskeviin tutkimuskysymyksiin.

Luvussa 3 esitellään aluksi työssä käsiteltävä tuote, sekä automatisointiprojektin taustat. Tämän jälkeen esitetään analyysi tuotteeseen liittyvistä kehityskohteista ja ongelmista, joita järjestelmän avulla pyritään ratkaisemaan. Ongelmakohtien ja suunnittelujärjestelmiä koskevan teorian pohjalta johdetaan työvaiheet, joiden avulla suunnittelujärjestelmä toteutetaan. Järjestelmän toteuttamisprosessi ja lopputuloksena saatu tuotos esitellään oleellisilta osin luvussa 4.

Luvussa 5 arvioidaan toteutetun järjestelmän toiminnallisuutta ja projektin onnistumista. Arvioinnissa hyödynnetään aikaisemmista vastaavista projekteista saatuja kokemuksia sekä teoriaosuudessa esitettyjä potentiaalisia hyötynäkökulmia. Kapaleessa 6 esitetään yhteenveto projektin läpiviennistä ja tuloksista.

2 SUUNNITTELUJÄRJESTELMIEN HYÖDYNTÄMINEN ASIAKASRÄÄTÄLÖINNISSÄ

Tietojärjestelmien kehittyminen viime vuosikymmeninä on avannut uudenlaisia strategisia mahdollisuuksia yritystoiminnalle. Yksi tällainen kehityksen luoma strateginen kilpailukeino on pyrkiä tarjoamaan asiakkaille entistä yksilöllisemmin räätälöityjä tuotteita, pitäen kuitenkin hintatason mahdollisimman alhaisena ja tuotannon volyymin korkeana. Tällaisen strategian toteuttamista kutsutaan massaräätälöinniksi. Erilaiset automatisoidut suunnittelujärjestelmät ovat keskeisiä massaräätälöinnin toteuttamiseen liittyviä työkaluja.

Joustavien valmistusjärjestelmien, kehittyneiden ohjelmistojen ja yritysten strategioiden hioutumisen myötä massaräätälöintiä on alettu soveltaa kaikenlaisissa tuotteissa. Tuotteesta riippuen räätälöinnin sovellustapa saattaa olla hyvinkin erilainen. Asiakkaalle voidaan esimerkiksi tarjota mahdollisuus kustomoida tuote itse haluamansa kaltaiseksi web-pohjaisen konfiguraattorin avulla. Monimutkaisemmissa tuotteissa avainasemassa saattaa olla riittävän selkeän tuotearkkitehtuurin luominen ja ylläpitäminen.

Tässä luvussa perehdytään massaräätälöinnin ja siihen liittyvien teorioiden kautta erityyppisiin suunnittelujärjestelmiin ja niiden toteuttamisvaihtoehtoihin. Massaräätälöinti sinällään ei ole oikea termi kuvamaan voimalaitostoimituksiin liittyvää räätälöintiä (kts. kappale 2.2), mutta toimii hyvänä johdatuksena suunnittelujärjestelmiä koskevaan teoriaan. Tässä luvussa esiteltäviä, massaräätälöintiin liittyviä työkaluja, kuten modulaarisuutta, tuoteperheitä, tuotealustoja ja parametrissa mallinnusta voidaan yhtälailla hyödyntää myös voimalaitostoimituksille tyypillisessä pienemmän tuotantovolyyminvolyymin toiminnassa, josta käytetään nimitystä systeeminen räätälöinti.

2.1 Tuotekehitysprojektin tavoitteet ja motivaatio suunnittelu- prosessin kehittämiseksi

Asiakasräätälöintiin perustuvien strategioiden voidaan ajatella syntyvän onnistuneen tuotekehitysprojektin ominaispiirteistä. Whitneyyn [1, s. 19] mukaan tuotekehitysprojektissa tärkein tehtävä on kehittää tuote, joka täyttää sille asetetut vaatimukset. Vaatimukset syntyvät monista eri lähtökohdista, esimerkiksi:

- Mitä asiakkaat ja markkinat haluavat. Esimerkiksi: ominaisuudet, ulkonäkö, hinta
- Mitä kansalliset määräykset velvoittavat. Esimerkiksi: ympäristöystävällisyys, turvallisuus
- Mitä yrityksen käytännöt vaativat/tukevat. Esimerkiksi: suunnittelumenetelmät, materiaalit, saatavilla olevat komponentit
- Tuotteen laadun mittarit. Esimerkiksi: luotettavuus, kestävyys, turvallisuus, tarpeisiin vastaaminen

Ulrich & Eppinger [2, s. 2] määrittelee onnistuneen tuotekehitysprojektin piirteiksi tuotteen korkean laadun, alhaiset valmistuskustannukset, nopean kehitysprosessin, alhaiset kehityskustannukset, sekä tiimin kyvyn oppia ja jalostaa tuotekehitysprosessiaan seuraavia tuotteita ajatellen. Edelleen, tuotteen laatu myös tässä yhteydessä on moniulotteinen käsite, joka kuitenkin on suoraan yhteydessä siihen, kuinka paljon asiakas on halukas tuotteesta maksamaan.

Yksittäisen tuotteen, pienen tai suuren, kehittäminen on kuitenkin työlästä. Uusi tuote kilpailee aina resursseista yrityksen muiden tuotteiden kanssa, eivätkä likimainkaan kaikki tuotteet onnistu tavoittamaan markkinoita. [3, Luku 1] Menestyäkseen globaaleilla markkinoilla, tuotekehitystä harjoittavan yrityksen on siis kyettävä käyttämään resurssinsa tehokkaasti oikeisiin asioihin ja tuottamaan nopealla tahdilla oikeanlaisia, laadukkaita tuotteita. Toisin ilmaistuna, yrityksen tulee kyetä tuottamaan kilpailijoitaan paremmin asiakkaan tarpeisiin soveltuvia tuotteita, tekemättä liikaa kompromisseja tuotteen hinnan ja toimitusajan suhteen.

Monet tekijät viimeisen kahden vuosikymmen aikana ovat johtaneet koventuneeseen kilpailuun kansainvälisillä markkinoilla. Internet, globalisaatio ja kansallinen kilpailun vapautuminen ovat kaikki johtaneet tilanteeseen, jossa yritysten kaikilla aloilla on kyettävä mukautumaan asiakkaiden muuttuviin tarpeisiin entistä paremmin. [4, s. 45] Koventuneen kilpailun aiheuttama tuotevarianttien määrän kasvu oli selvästi havaittavissa 90-luvun alussa [5, s. 10].

Kahnin [4, s. 45- 46] mukaan yksi keinoista kilpailla tiukentuneilla markkinoilla on keskittyä ensisijaisesti kohtaamaan asiakkaiden tarpeet kilpailijoita paremmin varioidumman tuotevalikoiman avulla. Tällöin asiakkaalle voidaan tarjota täsmällisemmin hänen nykyisiin tarpeisiinsa sopiva tuote ja toisaalta asiakkaalla on myös jatkossa varaa valita laajasta tuotevalikoimasta, mikäli hän on tyytyväinen aikaisempaan hankintaansa.

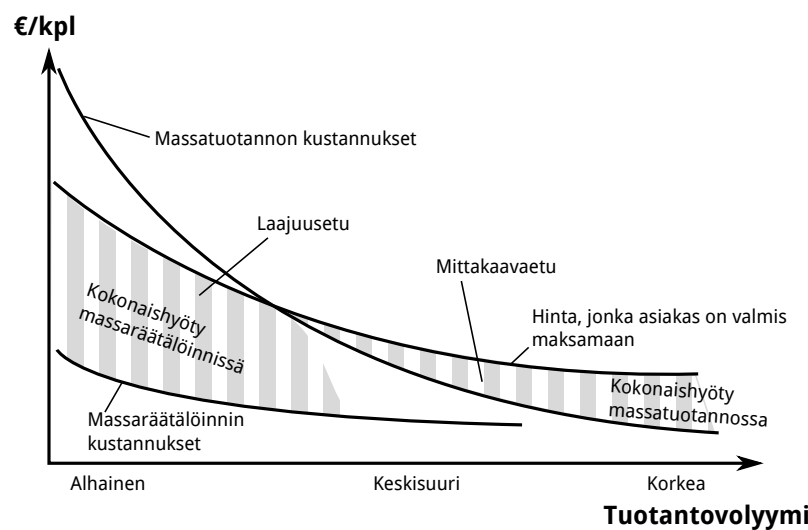
Laajan tuotevalikoiman suunnitteleminen tuote kerrallaan ei kuitenkaan ole kustannustehokasta. Suurella todennäköisyydellä vain osa tuotteista menestyy markkinoilla, jolloin tuotevalikoiman luomiseen liittyvät kustannukset ja riskit kasvavat

suuriksi. Kustannuksia voidaan kuitenkin hallita vakioimalla tuotevalikoiman tuotteille yhteisiä piirteitä ja keskittymällä tiettyjen, todellisiin asiakastarpeisiin liittyvien piirteiden variointiin. Kyseistä toimintatapaa hyödynnetään massaräätälöintinä tunnetussa strategiassa. [4, s. 45-46]

Massaräätälöinti on strategiamalli, jota yritykset ovat osin koventuneen globaalin kilpailun takia ja toisaalta tietojärjestelmien kehittymisen ansiosta alkaneet ottaa enenevässä määrin käyttöön. Internetin palveluiden ja valmistusjärjestelmien edelleen kehittyessä, myös massaräätälöinnin potentiaali kilpailukeinona on vielä kasvuvaiheessa. Toisaalta massaräätälöinnin toteuttaminen vaatii yritykseltä myös tuotteisiin ja toimintatapoihin liittyvää strategista muutosta. Seuraavissa kappaleissa tutustutaan tarkemmin massaräätälöinnin paradigmaan sekä sen keskeisiin työkaluihin.

2.2 Massaräätälöinnin periaate ja tuotekohtainen soveltaminen

Tseng & Jiaon mukaan massaräätälöinnillä pyritään tarjoamaan asiakkaille suuremman tuotevalikoiman kautta mahdollisimman hyvin tarpeisiin soveltuvia tuotteita, säilyttäen kuitenkin massatuotannon mahdollistama kustannustehokkuus. [6, s. 3] Kuvassa 2.1 on havainnollistettu massaräätälöinnin tuottamia hyötyjä tuotteen arvossa erilaisilla tuotantovolyymeilla.



Kuva 2.1. Massaräätälöinnin luoma lisäarvo tuotantovolyymin funktiona (mukailen Tseng & Jiao [6]).

Lähestyessä massatuotannolle ominaista korkeaa tuotantovolyymiä räätälöinnistä saatavat hyödyt suhteessa kustannuksiin pienenevät. Pienillä ja keskisuurilla tuotantovolyymeilla räätälöinnistä saatava hyöty tuotteen arvossa on suurempi. Korkeampi tuotantovolyymi tähtää massatuotannon keinoin mittakaavaetuun (economy

of scope), eli volyymin kasvusta saatuun kustannushyötyyn. Alhaisemmilla tuotantovolyyymeilla massaräätälöinnillä saavutetaan laajuusetua, eli hyötyjä esimerkiksi tuottamalla useampia tuotteita samoilla tuotantomenetelmillä (economy of scale).

Yhdessä ensimmäisistä massaräätälöintiä käsittelevistä teoksista, Joseph Pine kuvaa massaräätälöintiä bisnesmalliksi, joka on seuraava looginen askel massatuotannosta. Siinä missä massatuotannossa pyritään korkeaan laatuun alhaisilla tuotantokustannuksilla, massaräätälöinti pyrkii tämän lisäksi tarjoamaan asiakkaille laajan tuotevalikoiman kautta paremmin omiin tarpeisiin sopivia tuotteita. [7, s. 6]

Piller [8, s. 314] toteaa, että tänä päivänä massaräätälöinnin tarkka määritelmä on osin sekoittunut käsittämään kaikki joustavaan valmistukseen ja asiakaslähtöiseen suunnitteluun liittyvät strategiat. Piller itse määrittelee massaräätälöinnin vapaasti suomennettuna seuraavasti [8, s. 315]:

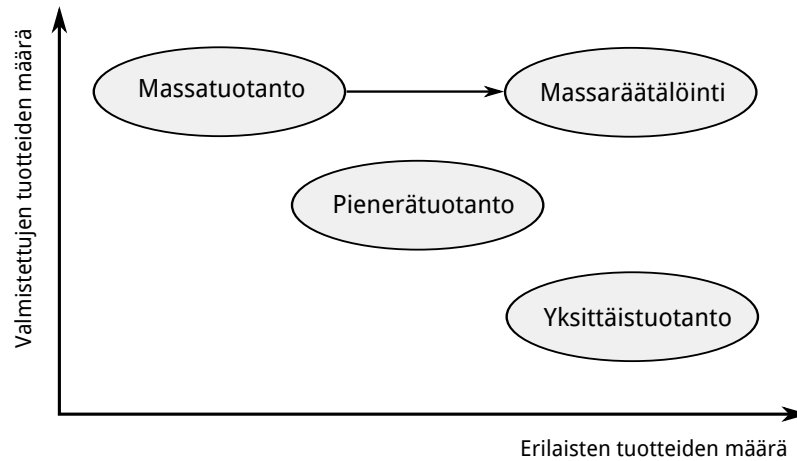
Asiakkaan kanssa yhteistyössä toteutettava suunnitteluprosessi, joka ottaa huomioon yksittäisten asiakkaiden tarpeet liittyen tiettyihin tuotteen ominaisuuksiin. Suunnitteluoperaatiot toteutetaan ennalta määrätyn, mutta joustavan ja responsiivisen ratkaisujoukon rajoissa. Tämän tuloksena räätälöintiin liittyvät kustannukset mahdollistavat kuitenkin pysymisen alhaisessa hintaluokassa.

Piller painottaa, että massaräätälöinti eroaa muista joustavista strategioista nimenomaan siinä, että asiakas osallistutetaan suunnitteluprosessiin. Piller myös mainitsee, että massaräätälöinnin todellisen hyödyntämisen mahdollistavat työkalut valmistuksessa ja varsinkin ohjelmistopuolella ovat kehittyneet kunnolla vasta hiljattain [8, s. 317-318]. Tästä syystä massaräätälöinti ei ole vielä niin laajasti hyödynnetty toimintamalli, kuin sillä olisi potentiaalia olla.

Massaräätälöintiin siirtyminen vaatii yritykseltä tuotteisiin, organisaatioon ja toimintatapoihin liittyviä strategisia muutoksia. Tarvittavia muutoksia on helpompi ymmärtää kuvan 2.2 mukaisen, Hvam & Mortensenin esittämän, massaräätälöinnin perusajatusta kuvaavan kaavion pohjalta [9, s. 25].

Massatuotantoon keskittyneen yrityksen siirtyessä massaräätälöintiin, on sen uusittava strategiansa sellaiseksi, että se tukee asiakaskohtaista räätälöintiä, säilyttäen kuitenkin suuren tuotantokapasiteettinsa. Tuotteiden konfigurointiin liittyvä oleellinen tieto on oltava yrityksen tietojärjestelmissä, kaikkien tuotteiden kanssa tekemisissä olevien organisaation jäsenten käytettävissä. [9, s. 25]

Yksittäistuotantoon keskittyneen yrityksen sen sijaan on kyettävä keventämään yksittäisen tuotteen tai projektin suunnitteluun käyttämiään resursseja ja keskitettävä niitä tuotteen kehittämiseen. Myös asiakkaan kanssa tehtävää tuotemääritystä tulee rationalisoida niin, että se tukee tuotteelle suunniteltuja vakiointeja ja konfigurointia. [9, s. 25]



Kuva 2.2. Massaräätelöinnin konsepti yksinkertaistettuna (mukaihen Hvam, Mortensen, Riis [9]).

Tseng & Jiao listaa kolme kriteeriä, joita massaräätelöintiin siirtyvän yrityksen tulisi omata [6, s. 3-4]:

- Kyky löytää piileviä ja tyydyttämättömiä asiakastarpeita markkinoilta.
- Kilpailijoita vastaava laatu, kustannustaso ja reagointikyky.
- Tuotannon valmius edulliseen ja joustavaan tuotantoon.

Tseng & Jiao pitää massaräätelöintiä erityisesti pienen tai keskisuuren tuotantovolyymien tuotteiden mahdollisuutena. Kuten kuvassa 2.1 on havainnollistettu, massatuotannolle tyypillinen suuri tuotantovolyymi pystyy itsessään tuottamaan tarvittavat voitot muun muassa investoinneista, suunnittelusta ja kouluttamisesta johtuvien kulujen kattamiseen. Asiakkaille räätälöidyillä tuotteilla pystytään kokemusten mukaan tuottamaan asiakkaalle lisäarvoa ja siten kasvattamaan myynnistä saatavia voittoja. Hyödyntämällä samankaltaisuutta ja osien standardointia tuotteiden välillä, voidaan kyseisten osien tuotannon volyymia kasvattaa. Lisäksi nykyaikaisilla joustavilla valmistusjärjestelmillä yksittäisten räätälöityjen kappaleiden valmistus voidaan hoitaa tehokkaasti, ilman osien varastoon valmistusta. [6, s. 3]

Massaräätelöinnin toteutustavat vaihtelevat kuitenkin merkittävästi tuotteesta riippuen. Suurten, perinteisesti projektiluontoisten tuotteiden, kuten voimalaitosten yhteydessä hyödynnettävästä räätälöinnistä käytetään joskus termiä systeeminen räätälöinti. [10, s. 82] Termi on kuvaa paremmin suurten ja kalliiden tuotepakettien räätälöintiä, sillä niiden yhteydessä ei voi puhua massatuotannon ja asiakasräätelöinnin kombinaatiosta. Systeeminen räätälöinti tähtää kuitenkin massaräätelöinnin tavoin ja myös monilta osin sen keinoin kustannussäästöihin ja laajempaan tuotevalikoimaan.

Massaräätälöinti on ennen kaikkea paradigma, jonka toimintatapoja ja työkaluja voidaan soveltaa monenlaisissa strategioissa. Massaräätälöinnin toimintatapojen soveltamisesta voi esimerkiksi olla hyötyä prototyyppejä hyödyntävässä empiirisessä tuotekehityksessä [11, s. 565-566]. Massaräätälöinnin hyödyt eivät välttämättä suoraan näy tuotettuna voittona, mutta sen sijaan se voi avata uusia markkinasegmenttejä ja auttaa organisaation osaamisen kartuttamisessa [12].

Massaräätälöintiin oleellisesti liittyviä avaintekijöitä ovat modulaarinen tuoterakenne [13, s. 117], valmiin tuotteen määrittely asiakkaan tarpeita vastaavaksi mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa toimitusketjussa [13, s. 116] [9, s. 26], sekä tuotelustojen ja standardoinnin hyödyntäminen [3]. Näihin avaintekijöihin perehdytään syvällisemmin seuraavissa kappaleissa.

2.3 Modulaarisuuden merkitys asiakasräätälöinnissä

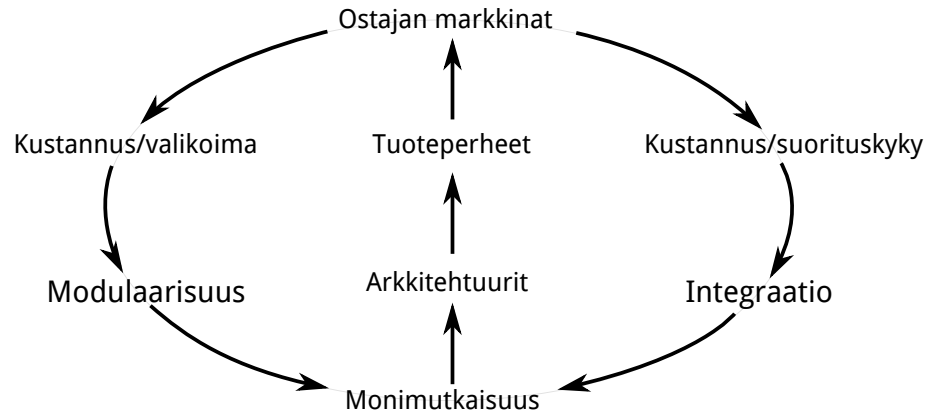
Monet asiantuntijat pitävät massaräätälöinnin perusedellytyksenä modulaarista tuotearkkitehtuuria. [6, s. 4] [9, s. 2] [5, s. 5] Modulaarisuudella tai modulaarisella arkkitehtuurilla tarkoitetaan tuoterakennetta, jossa tuotteen eri toiminnot on jaettu niille dedikoiduille osille tai alikokoonpanoille. [14, s. 495] Erixonin [5, s. 5] mukaan modulaarisella tuoterakenteella ei tavoitella niinkään optimaalista teknistä ratkaisua, vaan ensisijaisesti strategisesti joustavaa tuoterakennetta, jolla tuotteiden variointi on mahdollista mahdollisimman pienillä muutoksilla.

Täysin modulaarisessa rakenteessa tuotteen jokainen toiminto olisi kohdennettu omalle moduulilleen, eikä moduulien välillä ole riippuvuuksia. Tällöin rakenteen yksittäistä moduulia voidaan muuttaa tai se voidaan korvata ilman, että muihin moduuleihin tarvitsee tehdä lainkaan muutoksia.

Modulaarisuuden eräänlainen vastakohta on integraatio, jossa useampia toimintoja on kohdennettu samalle osalle tai alikokoonpanolle [2, Luku 9]. Esimerkiksi autossa moottori ja vaihdelaatikko voitaisiin periaatteessa sijoittaa samaan fyysiseen kokoonpanoon, esimerkiksi tilan tai painon säästämiseksi, jolloin nämä toiminnot olisi integroitu. Tavallisesti kuitenkin vaihdelaatikko ja moottori ovat erillisiä kokoonpanoja, eli moduuleja, jolloin esimerkiksi auton huoltaminen on helpompaa ja toisaalta saman moottorin yhteydessä voidaan käyttää automaattisia ja manuaalisia vaihdelaatikoita. Lisäksi tuotekehityksen kannalta moduulien päivittäminen uuteen versioon onnistuu pelkästään toista moduulia muuttamalla. Hyvin suunniteltu modulaarinen tuote tukee tuotteeseen helposti tehtäviä muutoksia ja tukee siten innovatiivista tuotekehitystä [5, s. 5].

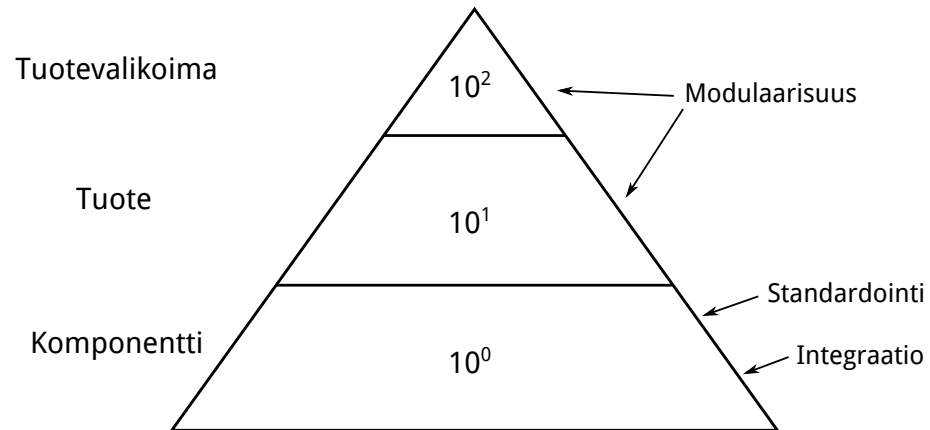
Tuotteet ovat harvemmin täysin modulaarisia tai integroituja, eikä se yleensä ole tuotteen toiminnan kannalta edes kannattavaa. [2] Kuten kuvassa 2.3 on havainnollistettu, integraatiolla voidaan tietyissä tapauksissa saavuttaa tuotteelta samat ominaisuudet ja suorituskyky, mutta pienemmillä kustannuksilla. Vastaavasti modu-

laarisuudella tavoitellaan tuotevalikoiman laajentamista ilman merkittävää kustannustason nousua. Sekä modulaarisuuden, että integraation tavoitteena on asiakkaan vaatimusten tavoittaminen tuotearkkitehtuurin uudelleenjärjestelyn avulla. Niiden keinot ovat näennäisesti ristiriidassa keskenään, mutta toisaalta myös kummankin etuja on mahdollista hyödyntää samassa tuotteessa [15, s. 165].



Kuva 2.3. Modulaarisuus ja integraatio ovat eriäviä keinoja samaan tavoitteeseen pyrkimisessä.

Tuotearkkitehtuuria voidaan tarkastella komponentti-, tuote- ja tuotevalikoimatasolla. [5, s. 17-18] Modulaarisuuden avulla saavutettu kompleksisuuden aleneminen tuotevalikoimatasolla kertaantuu tuotetasolla ja edelleen komponenttitasolla, kuten kuvassa 2.4 on esitetty. Alimmalla komponenttitasolla monimutkaisuutta voidaan hallita integroinnin ja standardoinnin avulla.



Kuva 2.4. Modulaarisuudella saavutettu yksinkertaistuminen tuoteperhetasolla kertaantuu yksittäisten tuotteiden ja edelleen niissä käytettyjen komponenttien tasolla.

Modulaaristen rakennuspalikoiden muuntelu mahdollistaa vaihteleviin asiakastarpeisiin vastaamisen ja on siten tärkeä työkalu massaräätelöinnin toteuttamisessa. Modulaarisuus ennen kaikkea tekee tuoterakenteesta selkeämmän, joustavamman ja helpommin käsiteltävän.

2.4 Tuoteperheet ja -alustat

Meyerin [3, Luku 1] mukaan keskittymällä yksittäisiin tuotteisiin tuoteperheiden sijasta, yritys jättää hyödyntämättä standardoinnin, modulaarisuuden, sekä samankaltaisuuden ja yhteensopivuuden suomia mahdollisuuksia. Yrityksen tuotevalikoiman kasvaessa tehottomuus lisääntyy merkittävästi, jolloin yrityksen kilpailukyky väistämättä heikkenee. Modulaarisia tuoteperheitä hyödyntämällä voidaan tehokkaasti luoda joukko tuotteita, jotka kattavat yhtä tuotetta suuremman osuuden potentiaalisista markkinoista [16, s. 119].

Massaräätelöinnin yhtenä kantavana ajatuksena on asiakkaan osallistuttaminen tuotteen elinkaaren vaiheisiin ja erityisesti suunnitteluvaiheeseen. Massaräätelöinnissä pääpaino tulisi siirtää pois yksittäisten projektitoimitusten suunnittelusta tuoteperheiden suunnitteluun. Tuotteiden räätälöintiä varten luodaan tuoteperearkkitehtuuri, joka käsittää tiedon siitä, kuinka tuotevariantteja voidaan konfiguroida tuotteen sisältämiä moduuleja vaihtamalla ja modifioimalla. [6, s.5]

2.4.1 Tuoteperheiden jaottelu

Tuoteperheet voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin: modulaarisuuteen perustuviin ja mittojen skaalautuvuuteen perustuviin tuoteperheisiin. Näistä käytetään usein myös termejä konfiguroituva ja parametrinen tuoteperhe. Tuoteperheet sisältävät usein sekä modulaarista konfiguroituvuutta, että parametrista muuntelua. [17, s. 6]

Tuoteperheet voidaan jakaa myös niin sanottuihin top-down ja bottom-up tyyppiin tuoteperheisiin. Top-down tyyppinen, eli proaktiivinen tuoteperhe on olemassa olevasta tuotealustasta (kts. kappale 2.4.2) suunnitelmallisesti kehitetty tuoteperhe, jossa on hyödynnetty tuotealustan mukaisia standardointeja. Bottom-up tyyppinen, eli reaktiivinen tuoteperhe taas on olemassa olevasta yksittäisestä tuotteesta johdettu tuoteperhe, jolla pyritään kasvattamaan tuotannon mittakaavaa. [17, s. 6]

Tuoteperhe voi perustua myös yhden tai useamman dimension tai muun vastaavan muuttujan asteittaiseen skaalautumiseen. Kokoluokkien käyttö on tehokas tapa kasvattaa tuotevalikoimaa, sillä yhdelle tuotteelle tehtyä suunnittelutyötä voidaan käyttää hyväksi muiden kokojen määrittämisessä muuttamalla suunnittelussa käytettyjä parametreja. [14, s. 465] Skaalautuvuus ja modulaarisuus liittyvät läheisesti toisiinsa, sillä modulaarisissa tuoteperheissä eri variantit voivat erota toisistaan siten, että yksi tai useampi moduuli on korvattu esimerkiksi eri koko- tai teholuokkaan skaalatuilla moduuleilla.

2.4.2 Tuotealustat

Tuotealusta, eli tuoteplatformi on tuoteperheisiin liittyvä, kuitenkin laajemman kokonaisuuden kattava käsite. Tuotealustalle on useita määritelmiä, joista yksi on Ro-

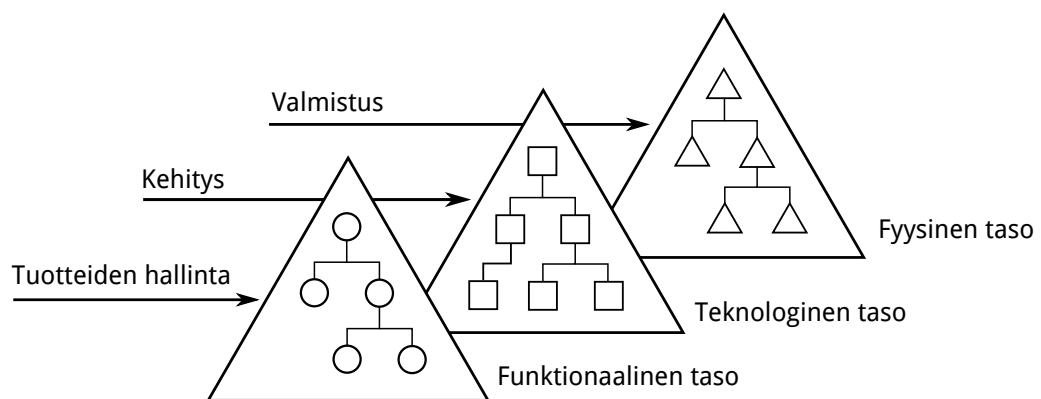
betsonin & Ulrichin määritelmä [18], jonka mukaan tuoteplatformi käsittää tuotejoukon jakamat piirteet ja samankaltaisuudet. Yhtäläisyyksiä, joita tuotteet tai tuoteperheet voivat keskenään jakaa, ovat esimerkiksi:

- **Komponentit** - Tuotteiden sisältämät yhteiset osat.
- **Prosessit** - Työkalut ja menetelmät, joilla osat ja kokoonpanot valmistetaan ja kokoonpannaan.
- **Tieto** - Suunnittelutieto, tuotteiden käyttökohteet ja tarkoitukset. Suunnittelu- ja testausdata.
- **Henkilöt** - Tiimit, vastuuhenkilöt ja organisaatiot.

Meyer & Lehnerd määrittelee tuoteplatformin joukoksi yhteisiä komponentteja, moduuleja tai osia joita hyödyntämällä uusia tuotteita voidaan kehittää ja lanseerata [3]. Tuoteperhe voi koostua esimerkiksi saman tuotteen eri kokovarianteista, kun taas tuoteplatformi voi olla vaikkapa joukko tuotteita tai tuoteperheitä, jotka käyttävät tiettyjä standardoituja valmistusmenetelmiä. Volkswagenin A-tuotealusta on esimerkki platformista, josta on johdettu useita eri merkkien automalleja, kuten VW Golf, Skoda Octavia ja Audi TT [19, s.167]. Yksittäisen mallin eri varustelutason omaavia versioita voidaan taasen kutsua tuoteperheeksi.

2.4.3 Tuoteperheen ja tuotealustan määrittelyt

Erens & Verhulst esittää tuotemäärittelyn kolmeen eri tasoon jaettavana informaationa. Nämä kolme kategoriala määrittelevät tuotemallin, joka muodostaa kootun tuotetiedon perustan. [15, s. 166]



Kuva 2.5. Tuotemallin kolme tasoa (mukailten Erens & Verhulst [15]).

Kuvassa 2.5 esitetyt kolme tuotemallia eivät ole riippuvaisia tarkastelutasosta tuotteen hierarkiassa. Tuotetta, sen alikokoonpanoa tai yksittäistä osaa koskeva tieto voidaan jakaa samalla tavalla kolmeen eri tason määrittelytietoon. [15, s. 167]

Tuotemallin kolme tasoa koostuvat seuraavista osa-alueista [15, s. 166]:

- Funktionaalinen malli sisältää tuotteen toiminnallisuutta ja käyttötarkoitusta kuvaavan tiedon. Funktionaalisen mallin sisältö tulee tuotteen vaatimusmäärittelystä tuotejohdon toimista.
- Teknologinen malli kuvaa tuotteessa käytettyjä teknologioita, joiden avulla haluttu toiminnallisuus toteutetaan. Teknologinen malli on tiiveimmin yhteydessä tuotekehitykseen.
- Fyysinen malli on yhtenäinen kuvaus tuotteen fyysisestä rakenteesta ja valmistuksesta. Fyysinen malli palvelee tuotteen osia valmistavia tahoja.

Tuotealustan määrittelyllä on suuri vaikutus tuotteen laatuun, riskeihin ja kustannuksiin. Määrittelyn toteuttamiseen on olemassa lukuisia lähtökohtia, joista modulaarisuus, integraatio ja niiden välimuodot ovat yksiä vaihtoehtoja. Tyypillisesti modulaarisuuden hyödyt realisoituvat parhaiten mitä monimutkaisemmasta tuotteesta on kyse.[20, s. 61]

Gonzalez-Zugasti, Baker & Otto [20] kuvaa tuotealustan määrittelyä pohjimmiltaan usean tavoitteen optimointitehtäväksi. Hyvin yksinkertaistettuna määrittelytehtävä voidaan ilmaista seuraavasti funktiona:

$$\min_{\vec{x}_p} \sum_i \min_{\vec{x}_{v_i}} [f(\vec{x}_p, \vec{x}_{v_i})] \quad (1)$$

Suhteessa vaatimuksiin:

$$\vec{g}(\vec{x}_p, \vec{x}_{v_i}) \leq \vec{\tau} \quad (2)$$

Funktiolla f kuvataan kaikkia tuoteperheen yksittäisen jäsenen suunnittelukriteereitä, kuten esimerkiksi materiaalikustannuksia ja suorituskyvyn mittareita. Indeksillä i kuvaa yksittäistä tuotetta tai tuoteperheen varianttia. Muuttuja x_p kuvaa tuotealustaan liittyvää vakioitua piirrettä, eli kaikille tuoteperheille tai tuotteille yhteisiä piirteitä ja x_{v_i} indeksin ilmaisemaan varianttiin liittyviä piirteitä. Vaatimuksia kuvaava funktio g voi olla esimerkiksi tuoteperheen suunnitteluun varattu budjetti ja τ sen maksimiarvo. [20, s. 64]

Käytännössä määrittelyprosessi on kuitenkin hyvin monimutkainen tehtävä. Tavoitteita ja vaatimuksia on useita, eikä niiden riippuvuudet ole lineaarisia. Edellä esitetty funktio onkin vain teoreettinen malli todellisesta tehtävästä, joka käytännössä tavallisesti ratkaistaan eri vastuualueita hoitavien asiantuntijoiden yhteistyön tuloksena. Otto esittää kyseisen optimointitehtäväkonseptin pohjalta kehitetyn yksinkertaistetun metodin tuoteperheen määrittelyyn [21, s.334-338]:

1. Listaa tarjottavat tuotteet (lähtöarvot & kriteerit)

2. Listaa toteutusvaihtoehdot kullekin variantille
3. Määritä tuotealustavaihtoehdot (vakioinnit)
4. Kartoita toteutusvaihtoehtojen ja suunnittelukriteerien kohtaaminen
5. Valitse parhaat tuote- ja tuotealustaoptiot
6. Arvioi kandidaatit ja etsi uusia vaihtoehtoja

Kohdan neljä toteutusvaihtoehtojen kartoittamisessa Otto käyttää kuvan 2.6 mukaista matriisia. Taulukossa ylimmällä rivillä on esitettyä tuoteperheen toteutusvaihtoehdot esimerkin tapauksessa graafisessa muodossa. Seuraavalla rivillä on listattuna tuotealustavaihtoehdot A, B ja C. Vaihtoehdot kuvaavat erilaisia tapoja vakioida piirteitä tuoteperheessä. Esimerkiksi vaihtoehdossa A, kaikissa tuoteperheen jäsenissä käytetään samaa komponenttia A, vaihtoehdossa B komponenttia B ja vaihtoehdossa C sekä komponenttia A, että komponenttia B. Seuraavilla riveillä on listattuna arviointikriteereitä, joita vastaan eri vaihtoehtoja arvioidaan. [21, s. 337-338]

Product Family	Family 1			Family 2			Family 3			Family 4			Family 5			Family 6			Family 7			Family 8					
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
Platform Option	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Materials Cost	+	+	+	0	0	0	-	-	-	0	0	0	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inventory Cost	-	0	+	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Visual Appeal	+	+	+	0	0	0	-	-	-	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
Ergonomics	-	-	-	-	-	-	+	+	+	0	0	0	+	+	+	-	-	-	0	0	0	0	0	0	-	-	-
TOTAL	0	1	2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	0	-2	-1	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-4	-4	-3

Kuva 2.6. Matriisi tuoteperheiden tuotealustavaihtoehtojen analysointia varten. [21, s.337]

Arvioinnissa vertailukohtana käytetty vaihtoehto on merkitty kuvassa lihavoidulla tekstillä ja arvoksi on annettu neutraali 0. Muita vaihtoehtoja verrataan kyseiseen vaihtoehtoon ja annetaan arvioksi joko plus (+), mikäli kyseessä on parempi vaihtoehto tai miinus (-), mikäli vaihtoehto on heikompi. [21, s. 337-338]

2.5 Suunnittelujärjestelmät

Yksiselitteisesti määritelty tuoteperhearkkitehtuuri avaa mahdollisuuden tilaus-toimitusprosessin eri vaiheiden automatisointiin. Oikeiden moduulien yhdistämistä asiakasvaatimuksia vastaavaksi kombinaatioksi voidaan helpottaa luomalla järjestelmiä,

joiden avulla konfiguroinnin suorittaja ei välttämättä tarvitse syvällistä suunnittelu-tietoa tuotteesta. Suunnittelujärjestelmään voidaan esimerkiksi sisällyttää logiikkaa, jonka avulla valintaprosessia voidaan helpottaa. Tietyissä tapauksessa konfigurointi voidaan jopa siirtää täysin asiakkaan itsensä tehtäväksi.

Seuraavissa kappaleissa perehdytään suunnittelujärjestelmiin, suunnittelun auto-matisointiin ja konfiguraattoreihin. Aluksi esitellään ongelma, johon suunnittelun automatisoinnilla pyritään vastaamaan. Sitten perehdytään teknologioihin ja työ-kaluihin, joita suunnittelujärjestelmissä voidaan hyödyntää. Lopuksi tarkennetaan teoriaa vastaamaan työn soveltavassa osuudessa käsiteltävän tuotteen piirteitä.

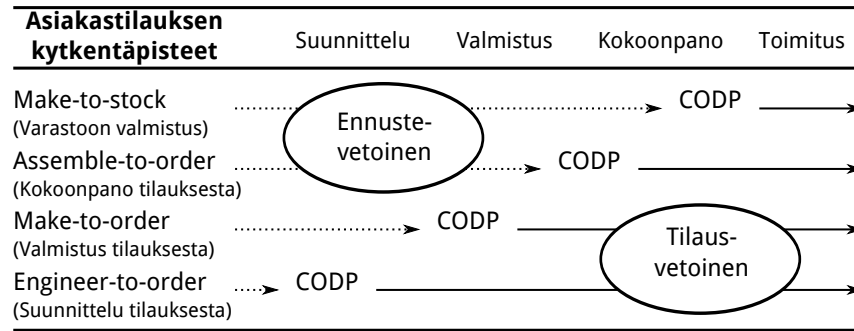
2.5.1 Määrittelyprosessit ja tuotantostrategiat

Tuotteen elinkaari kehitysvaiheesta toimitukseen ja siitä eteenpäin, sisältää useita määrittelyprosesseja. Näitä prosesseja toteutetaan yrityksen eri osastojen ja henkilöiden toimesta ja myös asiakas pyritään osallistuttamaan niihin. [9, s. 18] Yksi suunnittelujärjestelmien tehtävistä on pyrkiä helpottamaan toimitusprosessiin kuu-luvia määrittelyprosesseja ja toimia siten tuotantostrategian toteuttamisvälineenä.

Määrittelyprosessit voidaan jakaa kuuluvaksi joko tuotekehitykseen tai toimitus-prosessiin. Tuotekehitykseen liittyvät määrittelyprosessit ovat tuotteen paranteluun liittyviä esivalmisteleviä toimia, joilla pyritään luomaan tuotteelle lisäarvoa ja järke-vöittämään toimitusprosessia. Toimitusprosesseihin liittyvässä määrittelyssä käyte-tään rutiininomaisesti hyväksi olemassa olevaa tuotetietoa ja edellisistä toimituksista kertynyttä kokemusta ja dokumentaatiota. Tuotekehitykseen liittyvissä prosesseissa tuotetietoa luodaan ja toimitukseen liittyvissä prosesseissa sitä hyödynnetään. [9, s. 23]

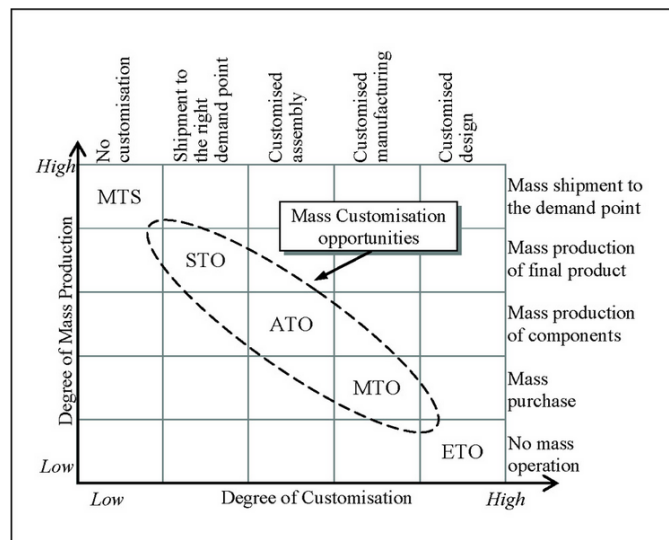
Yksi tuotteen määrittelyprosesseihin vaikuttava tekijä on tuotteeseen liittyvä tuo-tantomalli. Tuotekohtaiset toimintatavat voidaan jaotella asiakastilauksen kytken-täpisteen mukaan. Yrityksen toimintatavasta ja tuotteistosta riippuen pääpaino voi olla joko tuotekehityksellä tai toimitusprosesseilla. Kuvassa 2.7 on esitetty erityyppisiä toimintatapoja sen mukaan, missä kohtaa tuotteen määrittelyprosessia siirry-tään tuotekehityksestä toimitusprosessiin. Lyhenne CODP tulee englanninkielisestä sanasta customer order decoupling point, eli asiakastilauksen kytkentäpiste.

Toimintatavat ovat Make-to-stock (MTS), assemble-to-order (ATO), make-to-order (MTO) ja engineer-to-order (ETO). Toisessa ääripäässä oleva MTS, eli va-rastoon valmistaminen nojautuu vahvasti ennusteisiin ja on tavallisesti suuren tuo-tantovolyymien tuotteisiin liittyvä toimintatapa. Sitä vastoin ETO -tyyppisessä toi-minnassa tuotteen suunnittelu aloitetaan vasta kun asiakas on tilannut tuotteen. Toimintatapana ETO liitetään tavallisesti suuriin, projektiluontoiisiin toimituksiin, joissa on paljon asiakaskohtaista muuntelua. [22, s. 38] [9, s. 26-27]



Kuva 2.7. Erityyppisiä tuotantostrategioita

Joissakin massaräätelöintiä käsittelevissä teorioissa ETO -tyyppisen tuotantostrategian piiriin kuuluvat tuotteet on jätetty teorian ulkopuolelle, kuten kuvassa 2.8. Kuten kappaleessa 2.2 todettiin, monia massaräätelöinnin toimintatapoja voidaan silti hyödyntää myös pienen tuotantovolyymien strategioissa.



Kuva 2.8. Massaräätelöinnin mahdollisuudet eri tuotantostrategioissa Saghirin mukaan [23]

Suuri osuus massaräätelöintiin liittyvästä teoriasta pätee parhaiten ATO- ja MTO -tyyppisissä toimintamalleissa, joissa hyödynnetään myös massatuotannon toimintatapoja. Kappaleessa 2.6 käsitellään tarkemmin massaräätelöinnin soveltamista ETO -tyyppisessä toiminnassa.

2.5.2 Konfiguraattorit ja suunnittelujärjestelmät

Modulaarinen tuoterakenne mahdollistaa tuotteen määrittelyprosessien automatisoinnin konfiguraattoreita hyödyntämällä. Konfiguraattori on työkalu, jonka avulla

valmiista moduuleista ja osista voidaan määrittellä tuotteen kaikki mahdolliset variaatiot syöttämällä lähtöarvoiksi tarvittavat parametrit. Konfiguraattori on tavallisesti tietojärjestelmä, joka sisältää säännöt siitä miten moduuleja voidaan yhdistää ja millaisella yhdistelmällä halutunlainen tuote saadaan aikaan. [9, s. 33]

Yhtenä konfiguroitavan tuotteen perusmäärittelmästä on, että tilaus-toimitusprosessissa ei tehdä lainkaan luovaa uutta suunnittelua. [24, s. 1] Konfiguraatiomalli perustuu tuotemalliin (ks. kohta 2.4.3), joka on abstrakti kuvaus tuotteesta tai tuoteperheestä. Tuotemalli sisältää oleellisen tiedon tuotteen rakenteesta, ominaisuuksista ja funktioista, sekä tuotteen elinkaaren eri vaiheisiin liittyvän informaation. Tuotemallin itsessään tulisi olla niin kattava kuvaus tuoteperheestä ja sen yksittäisistä jäsenistä, että sen perusteella voidaan johtaa määrittely asiakkaan vaatimuksiin parhaiten soveltuvasta tuotteesta. [9, s.34-35]

Konfiguraattorin tehtävä on automatisoida määrittelyprosessi tuotemallin pohjalta ja samalla tuottaa eri osapuolille hyödyllistä informaatiota. Tuotemallin ja konfiguraattorin yksi oleellinen ominaisuus on, että organisaatiossa eri asiantuntijoille hajaantunut tieto saadaan tallennettua yhtenäiseen järjestelmään.

Konfiguraattori on yksi massaräätelöinnin toteuttamiseen liittyvistä avainteknologioista. Massaräätelöintiin liittyy monia haasteellisia аспекteja, joita voidaan hallita konfiguraattoreita hyödyntämällä. Kuvassa 2.9 on esitetty Felfernigin, Hotzin, Bageleyn & Tiihosen listaamat viisi massaräätelöintiin liittyvää haastetta ja niitä kumoavia hyötyjä, joita konfiguraattorien hyödyntämisellä voidaan saavuttaa [25].

Listan ensimmäinen massaräätelöintiin ja laajan tuotevalikoiman ylläpitämiseen liittyvistä haasteista liittyy hankaluuteen saada tarvittava tuotetieto myynnistä vastaavan henkilöstön tietoon. Haasteellisuus johtaa helposti tilanteeseen, jossa myydyt projektit eivät vastaa viimeisintä tuotetietoa. Tuotekokonaisuudessa on saatettu yhdistää vääriä moduuleja ja virheet saatetaan huomata vasta tuotantovaiheessa. Konfiguraattoreita hyödyntämällä voidaan automatisoida oikeiden tuotekonfiguraatioiden täsmävyys asiakasvaatimukseen. Samalla myyntivaiheeseen liittyvää työmäärää voidaan merkittävästi vähentää ja parantaa tarjousvaiheen tehokkuutta. Onnistuneet tilauksen määrittelyvaiheet lisäävät seuraavien määrittelyvaiheiden tarkkuutta entisestään.[25]

Laajan tuotevalikoiman riskinä on myös listan toisessa kohdassa esitetty liiallinen monimutkaisuus, jonka vuoksi asiakkaiden ja myyntivastaavien saattaa olla hankala luoda riittävän hyvin asiakasvaatimuksia vastaavia konfiguraatioita. Tähän liittyen konfiguraattoriin voidaan liittää logiikkaa, joka helpottaa päätöksentekoa tai ainakin vähentää vaihtoehtojen määrän helpommin ymmärrettäväksi. Joissain tapauksissa tämäntyylistä konfiguraattoria voidaan soveltaa jopa niin, että asiakas tekee itse tuotteen räätälöintiin liittyvät päätöksen konfiguraattorin avulla. Lisäksi konfiguraattorin avulla uuden myyntihenkilöstön kouluttaminen nopeutuu ja

konfiguraattori toimii täten eräänlaisena yrityksen sisäisenä tuotetiedon sisältävänä muistina.[25]

Haaste	Konfiguroinnilla saavutettu hyöty
Virheelliset ja epätäydelliset tarjoukset	-Virheiden eliminointi tai vähentäminen -Lyhyempi läpimenoaika -Suurempi myynti -Pienemmät henkilöstökulut -Tarkempi työmäärän arviointi -Kannattavammat tuotteet -Tarkempi aikataulun arviointi
Asiakkaan hämmentyminen suuren valikoiman johdosta	-Asiakkaan itsepalvelu -Paremmiin informoidut asiakkaat -Organisaation muisti
Asiakstarpeiden määrittämisen hankaluus	-Enemmän myyntiä -Asiakstarpeiden kartoittuminen järjestelmään -Asiakkaan osallistuminen
Tuotetiedon integroinnin hankaluus	-Luotettavampi vaatimusten ennustaminen -Lyhyempi markkinoilletuontiaika -Vähemmän virheitä
Tuotetiedon hallinnan hankaluus	-Tehokkaampi tuotekehitys -Helpompi ylläpito

Kuva 2.9. Massaräätelöinnin haasteet ja niitä vastaavat konfiguroinnin hyödyt.

Toisaalta, yleinen tilanne voi olla myös kolmannessa kohdassa esitetty tilanne, että asiakas ei itsekään tiedä konfigurointiprosessin alkuvaiheessa omia tarpeitaan tai ainakaan ei osaa suhteuttaa niitä tarjolla oleviin vaihtoehtoihin. Älykkäällä konfiguraattorikäyttöliittymällä voidaan tutkitusti kasvattaa myyntiä ja toisaalta saada arvokasta tilastollista dataa asiakastarpeista, jolloin asiakkaan ohjausta voidaan sujuvoittaa. Mikäli asiakas ei löydä tarpeitaan tyydyttävää ratkaisua, voidaan sellainen luoda osallistuttamalla asiakas tuotekehitysprosessiin. [25]

Neljännän kohdan haaste tarkoittaa eri tahojen hankaluutta muodostaa tarkoituksenmukaista kokonaiskuvaa monimutkaisten tuotteiden eri piirteistä. Monimutkaisten tuotteiden hallinnassa on tärkeitä, että ajankohtainen tuotetieto on tiiviisti integroitu yrityksen eri osastoihin ja toimitusketjuihin. Pitkälle kehitetty konfigurointitekniikka toimii siten perustana muun muassa asiakaskohtaiselle konfiguroinnille, hinnoittelulle ja kustannusarvioiden tekemiselle.[25]

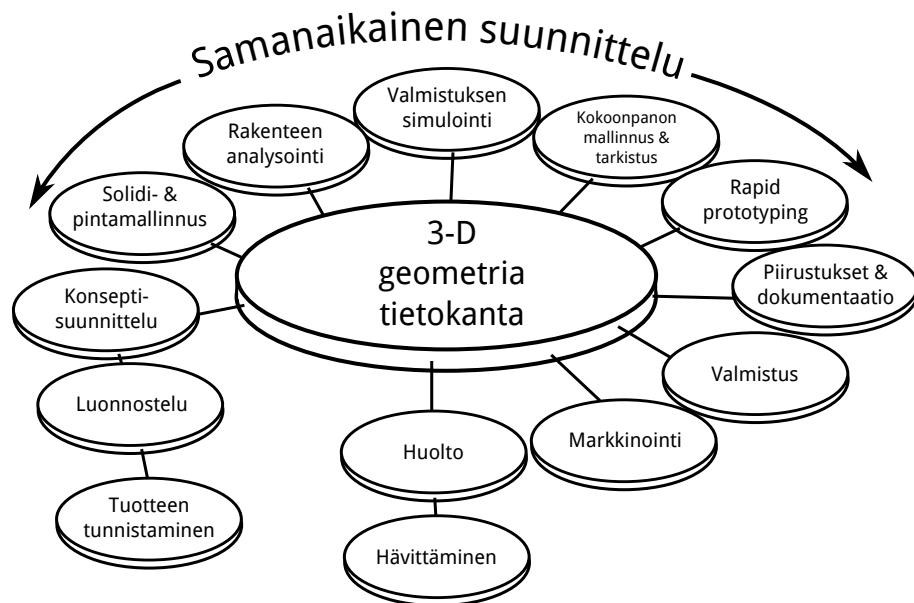
Listan viides haaste on, että tuoteperheisiin liittyvä tieto saattaa olla hajallaan muun muassa yrityksen PDM -järjestelmissä, hajanaisissa ja vanhentuneissa tietokannoissa ja osaltaan jopa vain yksittäisten suunnittelijoiden muistissa. Konfiguraattorin luominen vaatii oleellisen tuotetiedon keräämisen ja jäsentelyn yhteen, keskitettyyn tietokantaan. Relevantin tuotetiedon jakaminen koko yrityksen käyttöön on tärkeitä projektien määrittelyyn täsmällisen onnistumisen kannalta.[25]

2.5.3 Parametriset, piirrepohjaiset solidimallit

Kuten kappaleessa 2.4.3 mainittiin, tuotemäärittelyn tulee sisältää yksiselitteinen, valmistusta tukeva fyysinen kuvaus tuotteesta. Nykyaikaiset 3D CAD -järjestelmät perustuvat parametrisiin piirrepohjaisiin solidimalleihin, joiden avulla tuotteesta voidaan tehokkaasti luoda yksityiskohtainen graafinen kuvaus, jonka avulla esimerkiksi valmistusdokumentaatio voidaan johtaa. [26]

Piirrepohjaisuus tarkoittaa, että CAD -ohjelmalla mallinnettavat komponentit voidaan rakentaa yksinkertaisten geometrinen tilavuusmallien ohella komponenteissa usein esiintyvistä piirteistä, kuten hahloista, tapeista, kierteistä ja pyörityksistä. CAD -ohjelmista löytyvät piirteet ovat siis yhteydessä yleisesti käytössä oleviin valmistusmenetelmiin. Näin kappaleen mallinnus CAD -ohjelmassa muistuttaa fyysisen kappaleen valmistusta. [27, s. 36]

Parametrisuus puolestaan tarkoittaa, että CAD -mallissa olevat elementtien mitat määrittyvät automaattisesti parametrien tai muuttujien avulla. Mittojen ja geometrioiden välille voidaan myös helposti luoda side-ehtoja, jolloin yhden parametrin muuttaminen vaikuttaa muihin mittoihin tarkoituksenmukaisella tavalla. Mittojen välisiä yhteyksiä voidaan myös hallita yhtälöillä ja loogisilla ehdoilla. [27, s. 36]



Kuva 2.10. Parametrisen solidimallin hyödyntäminen concurrent engineering ympäristössä (mukaiillen Barr & Juricic[28]).

Kuvassa 2.10 on esitetty monia hyötyjä, joita 3D -CAD-mallilla voidaan saavuttaa samanaikaisessa suunnittelussa. Monet samat ominaisuudet ovat hyödynnettävissä myös massaräätelöintiin liittyvässä konfiguroinnissa. Konfiguroinnissa yksi tavoitteista on, että konfiguroidusta tuotteesta on saatavilla hyvälaatuinen kolmiulotteinen visuaalinen malli. [29, s. 26]

Parametrinen malli tarjoaa hyvän lähtökohdan suunnittelujärjestelmälle, sillä valmista mallia voidaan käyttää aihiona useiden erityyppisten järjestelmien toteuttamiseen. Huomioitavaa on kuitenkin, että varsinkin monimutkaisten tuotteiden kohdalla CAD -ohjelmistojen suorituskyky saattaa olla varteenotettava rajoite. Aberdeen Grouping vuonna 2006 toteuttamassa tutkimuksessa todettiin, että 31 % tutkimukseen osallistuneista, suuria ja monimutkaisia tuotteita käsittelevistä ryhmistä kärsi CAD -ohjelmiston suorituskyvyn rajoittuneisuuden aiheuttamista ongelmista. [30, s. 3]

2.6 Suunnittelujärjestelmät engineer-to-order -toiminnassa

Systemisen räätälöinnin hyödyntämisellä voidaan toteutustavasta riippuen pyrkiä erilaisiin tavoitteisiin. Ennen konfiguroitavan tuoteperheen suunnittelua tulisi tiedostaa, mitä potentiaalisia hyötyjä sillä voidaan saavuttaa. Tiihonen, Soininen, Mänistö & Sulonen [24] toteutti tutkimuksen kymmenelle suomalaiselle, konfiguroitavia tuotteita hyödyntävälle yritykselle. Tutkimuksessa kysyttiin yrityksen edustajilta syitä konfiguroitavien tuotteiden käyttöön. Yleisimmät mainitut syyt olivat:

- Kyky tavoittaa laaja skaala asiakasvaatimuksia
- Nopeampi läpimenoaika tilaus-toimitusprosessissa
- Tehokkaampi tuotannonohjaus
- Asiakaskohtaisen suunnittelun väheneminen
- Tehokas tapa tarjota laaja tuotevalikoima
- Parempi laatu

Monet edellä mainituista syistä ovat päteviä vain tuotevalikoiman ylimmällä hierarkiatasolla eli puhuttaessa asiakkaille näkyvästä tuotevalikoimasta. Myös yksittäiset moduulit, jotka itsessään voivat sisältää moduuleja ja kokoluokkia, voivat olla konfiguroitavia. Tällaisten, alemman hierarkiatason konfiguroitavien tuotteiden kohdalla tavoitteiden tulisi perustua tarkemmin kyseisen tuotteen tarjoamaan potentiaaliin ja toisaalta suunnittelujärjestelmän ja valmistuksen teknisiin mahdollisuuksiin.

Tyypillisesti tuoterakenteeltaan monimutkaisia ja useita hierarkiatasoja sisältäviä tuotteita ovat esimerkiksi suuret yksittäiset toimitusprojektit. Tällaiset tuotteet noudattavat myös tyypillisesti ETO- tuotantomallia (kts. 2.5.1), joka sinällään myöskin on erikoistapaus massaräätälöinnin kontekstissa.

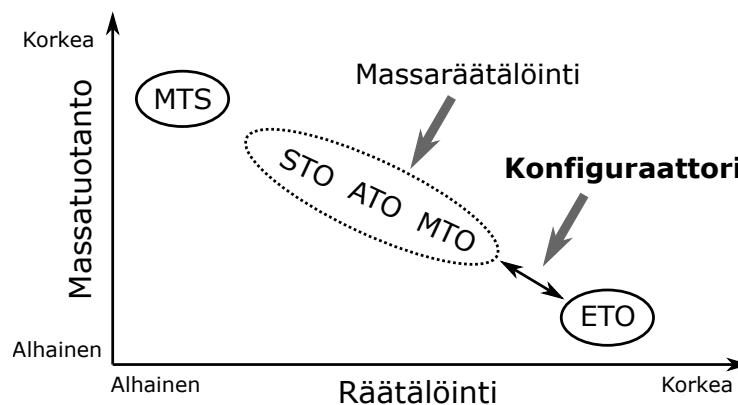
Kuvassa 2.11 on esitetty tapoja, joilla konfiguraattoreita voidaan luokitella [31, s.91]. Kaaviosta havaitaan, että erilaisia vaihtoehtoja on hyvin paljon. Karkeammin

konfiguraattorit voidaan luokitella myynti-, tuote- ja suunnittelukonfiguraattoreihin [32, s. 225]. Myyntikonfiguraattoreiden tarkoitus on myyntihenkilöstön käyttämä toimia tukena asiakasvaatimusten muuntamisessa tilaukseksi. Tuotekonfiguraattorin tehtävä puolestaan on muuntaa asiakasvaatimukset valmiiksi tuoterakenteeksi tuotantoa varten.

Knowledge base	Rule-based	Model-based	Case-based
Strategy	Fabricators	Integrators	Modularizers Assemblers
Organization	Central		Distributed
Internal/external	Internal		External
Interaction nature	Online central data processing	Online local data processing	Offline
Updates' execution	push		pull
Scope of use	Single-purpose		General purpose
Complexity	Primitive	Interactive	Automatic
Integration level	Stand-alone	Data-integrative	Application-integrative
Solution searching approach	Technical elements		Features
Product life cycle support	Configurator without reconfigurator	Separate configurator and reconfigurator	Integrated configurator and reconfigurator

Kuva 2.11. Konfiguraattorien luokitus. Katkoviivalla on kuvattu yksittäisen konfiguraattorin luokitus. [31, s.91]

Suunnittelukonfiguraattori eroaa edellisistä siinä, että sen tarkoitus on ennen kaikkea tuottaa yksilöllisiä tuoterakenteita ja dokumentaatiota ETO -tyyppiseen prosessiin. Kuvassa 2.12 on esitetty, kuinka suunnittelukonfiguraattori luo tavan toteuttaa massaräätelöintiä ETO -tuotantostrategiassa.



Kuva 2.12. Suunnittelukonfiguraattorin funktio massaräätelöinnissä. (Mukaien Mäkipää, Paunu & Ingalsuo [32, s. 225])

Suunnittelukonfiguraattorin tehtävä tilaus-toimitusprosessissa on automatisoida projektin suunnitteluvaihe ja lyhentää siten läpimenoaikaa ja suunnittelussa syntyviä virheitä. Suunnittelukonfiguraattorin toiminta perustuu CAD- ja PDM -järjestelmien hyödyntämiseen. Tavallisesti massaräätälöinnissä hyödynnettävän modulaarisuuden ohella hyödynnetään myös CAD -mallien parametrisuutta ja mahdollisuuksia tuottaa valmiita valmistuspiirustuksia niiden pohjalta. [32, s. 227-228]

Toimitusluontoisissa tuotteissa voidaan myös käyttää ns. osittaista konfigurointia (partial configuration) [33, s. 200-201]. Osittaisella konfiguroinnilla tarkoitetaan tuotteen vain niiden osien konfigurointia, joiden kohdalla sillä voidaan saavuttaa selkeitä etuja. Ne osat, joiden konfigurointi ei ole perusteltua, suunnitellaan siis edelleen manuaalisesti.

2.7 Yhteenveto

Edellä esitetyn teorian tarkoituksena on toimia tukena diplomityössä toteutettavan suunnittelujärjestelmän alustavassa määrittelyssä, toteutuksessa ja analysoinnissa. Osa teoriasta ei suoraan liity huoltotason tai muunkaan yksittäisen kohteen suunnittelun automatisointiin, mutta on silti oleellista tietoa suuren kokoluokan toimitusprojektien systeemisen räätälöinnin viitekehyksessä. Teorian pohjalta suunnittelujärjestelmän vaikutuksia voidaan analysoida osana laajempaa kokonaisuutta.

Luvuissa 2.1 ja 2.2 esiteltiin massaräätälöinnin paradigman tausta ja keskeisin sisältö. Kuten luvun alussa mainittiin, massaräätälöinti ei sinällään ole täysin oikea termi kuvaamaan voimalaitostoimituksiin liittyvää toimintaa. Massatuotantoaspektin ulos rajaava termi, systeminen räätälöinti, kuvaa paremmin engineer-to-order tyyppisessä toiminnassa hyödynnettävää, muun muassa läpimenoajan lyhenemiseen ja suunnittelutyön tehostamiseen tähtäävää räätälöintitoimintaa.

Toisaalta systeemisen räätälöinnin toteuttamisessa voidaan käyttää monia massaräätälöinnin työkaluja. Kuten kappaleessa todettiin, ovat esimerkiksi monet tietotekniset ratkaisut kehittyneet vasta hiljattain, eikä niiden potentiaalia ole vielä täysin hyödynnetty.

Modulaarisuus sekä tuoteperheet ja -alustat liittyvät kiinteästi sekä työn aiheena olevaan huoltotasoon, että laajempaan kokonaisuuteen, johon huoltotasoprojekti kuuluu. Kummassakin selkeän tuotevalikoiman edellytyksenä on tuotteiden jaloogisiin osakokonaisuuksiin ja niiden välisiin rajapintoihin. Kompromissit modulaarisuuden ja toimintojen integroinnin välillä korostuvat etenkin suurissa ja monimutkaisissa kokoonpanoissa, joissa esimerkiksi materiaalikustannuksilla ja teknisen laskennan raskaudella on merkitystä.

Modulaaristen tuoteperheiden määrittelyllä on ratkaiseva merkitys asiakkaille tarjottavan tuotevalikoiman laatuun. Tuoteperheen luominen on työläs prosessi, joten on tärkeää, että määrittely tähtää oikeanlaiseen tuotevalikoimaan ja sisältää oleel-

liset tiedot tuoteperheen parhaaseen mahdolliseen hyödyntämiseen.

Luvun lopussa perehdyttiin työn varsinaisena aiheena olevaan suunnittelun automatisointiin. Kappaleessa määriteltiin suunnittelujärjestelmien tärkeimmät tehtävät ja vastaavuudet erilaisiin räätälöintiin liittyviin ongelmakohtiin. Lisäksi esiteltiin työkaluja, joita suunnittelujärjestelmän toteutuksessa voidaan käyttää. Suunnittelujärjestelmien hyödyntäminen engineer-to-order toiminnassa eroaa merkittävästi lievemmin tilausvetoisten tuotantostrategioiden tapauksista. Toisaalta suunnittelujärjestelmien hyödyntäminen kaventaa kyseisten tuotantostrategioiden välistä kuilua siirtämällä suunnittelun työkuormaa pois yksittäisiltä projekteilta.

Voimalaitoksen kokoisessa tuotteessa käytännöllisin strategia on osittainen konfigurointi, jossa suunnittelujärjestelmien avulla konfiguroidaan vain kohteita, joiden tapauksessa konfigurointi on eri kriteerien puitteissa perusteltua. Yksi työn tehtävistä on pohtia näitä kriteereitä huoltotason suunnittelun automatisoinnista saatujen kokemusten pohjalta. Aiheeseen palataan luvussa 5.

3 TYÖN LÄHTÖKOHDAT, TAVOITTEET JA TYÖVAIHEIDEN SUUNNITTELU

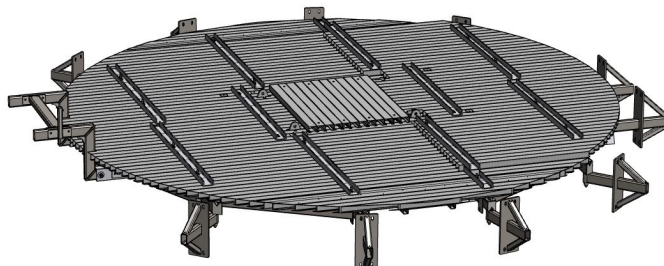
Tässä luvussa esitellään määrittely- ja automatisointiprojektiin liittyvät taustatiedot, projektin lähtökohdat sekä projektin tavoitteet. Aluksi esitetään tiiviisti tuotteen käyttöympäristö, eli kiertoleijukattilan syklonialue, sekä syklonin peruseriaate, jonka jälkeen esitellään muiden komponenttien tuotemäärittelyiden periaatteet.

Käyttöympäristön esittelyn jälkeen perehdytään itse tuotteen, eli huoltotason peruseriaatteeseen, sekä sen ominaisuuksiin ja suunnittelussa esiintyneisiin ongelma-kohtiin. Näiden pohjalta määritellään projektille tavoitteet, sekä luodaan lopuksi hahmotelma projektin läpiviennin työvaiheista.

Projektin yhteydessä luotavasta suunnittelun automatisointiin käytettävästä järjestelmästä käytetään tästä eteenpäin termiä *suunnittelujärjestelmä*, joka kuvaa yleisluontoisemmin järjestelmää, jonka toiminnallisuutta ei vielä tässä vaiheessa ole täysin määritelty. Esimerkiksi termi *suunnitteluautomaatti* viittaa määrittelyprosessien automatisointia sisältävään toiminnallisuuteen, jollaista huoltotasoprojektissa toteutettava järjestelmä ei välttämättä tule sisältämään.

3.1 Kohteen käyttöympäristö

Diplomityön tehtävänä on kehittää tuoteperhe ja konfiguroitavaan malliin perustuva suunnittelujärjestelmä höyryvoimalaitoksessa käytettävän syklonin huoltotasolle. Huoltotason suunnittelun automatisointi on osa laajempaa projektia, jossa kattilan painerungon komponentit pyritään standardoimaan asiakastarpeiden mukaan räätälöitäväksi modulaariseksi kokonaisuudeksi. Projektin lopullisena tavoitteena on luoda säästöjä vähentämällä merkittävästi projektikohtaisen suunnittelutyön määrää ja siirtää painotusta tuotekehitykseen.



Kuva 3.1. Yleiskuva huoltotasosta.

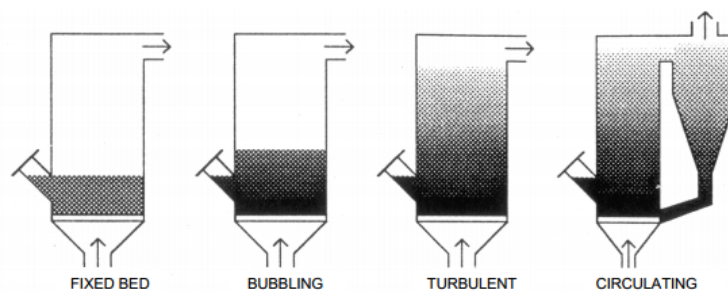
Työn kohteena oleva, kuvassa 3.1 esitetty huoltotaso, on höyryvoimalaitoksen painerunkoon kuuluvan syklonin sisäpuolelle väliaikaisesti asennettava aukoton taso. Huoltotasoa voidaan hyödyntää painerunkokomponenttien asennusvaiheessa sekä syklonin huoltotöissä. Huoltotaso toimii alustana tason päälle kasattaville rakennustelineille ja samalla suojakattona tason alapuolella tapahtuvia huoltotöitä varten.

Seuraavissa kappaleissa esitellään ensin lyhyesti työn aiheeseen liittyviä Valmet Oy:n tuotteita ja niissä käytettävää teknologiaa ja komponentteja. Tämän jälkeen esitellään huoltotason tuoteperheen määrittelyn lähtötietoihin vaikuttavat muiden komponenttien tuotemäärittelyt.

3.1.1 Leijupetikattilat ja sykloni

Leijupetikattila on voimalaitoskattilatyyppejä, jonka vahvuutena on mahdollisuus käyttää monentyyppisiä polttoaineita. Tyypillisesti leijupetikattiloita käytetään biomassan, jätteiden tai korkean rikkipitoisuuden omaavan hiilen polttoon. Leijupetitekniikan avulla voidaan hyödyntää esimerkiksi huonosti syttyviä, kosteita ja alhaisen lämpöarvon omaavia haastavia polttoaineita. Lisäksi typen ja rikin oksidien päästömääriä pystytään kontrolloimaan tavanomaisia teknologioita paremmin. [34, s. 17-1]

Leijupetikattilassa polttoaine palaa tulipesässä, tyypillisesti kalkkikivipartikkeleista koostuvassa hiekkapedissä, jota leijutetaan ilmvirran avulla. Kuvassa 3.2 on esitetty erityyppisiä leijupetikattiloita. Vasemmanpuoleisissa tapauksissa ilmvirta on vähäisempää, jolloin peti pysyy tulipesän alaosassa. Tällöin kyseessä on kerrosleijukattila. Ilmvirran lisääntyessä hiekkapedi leviää korkeammalle tulipesässä. Oikeanpuoleisessa tapauksessa leijuva hiekka ulottuu tulipesän yläosiin asti, mistä se kerätään talteen, erotellaan palokaasuista ja palautetaan jälleen tulipesän alaosaan. Kattilaa, jossa hiekka kierrätetään erillisen keräimen kautta, kutsutaan kiertoleijukattilaksi. Kuvan keskimmäiset kattilatyypit ovat edellä mainittujen tyyppien välimuotoja.

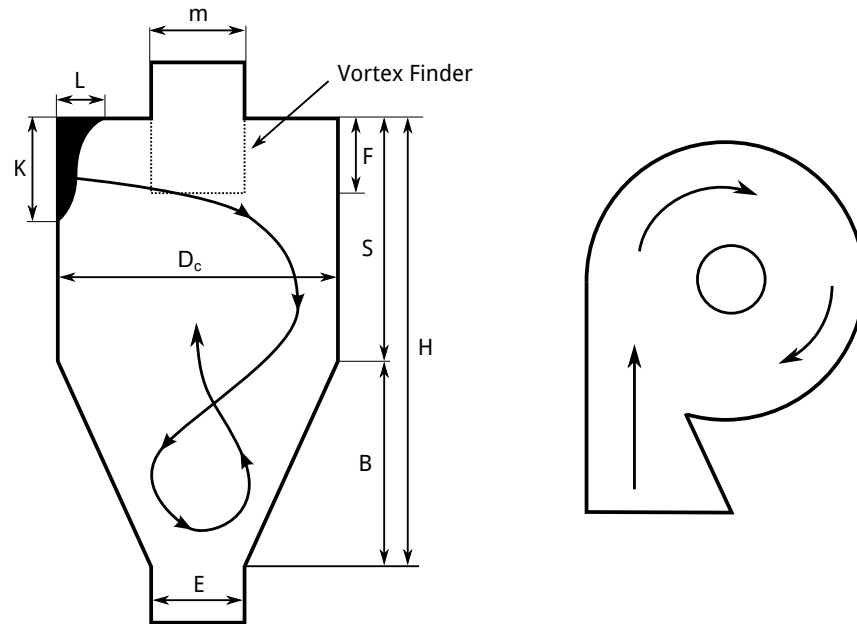


Kuva 3.2. Eri tyyppisiä leijupetikattiloita [34, s. 17-1].

Kohdeyrityksen tuotevalikoimasta löytyy sekä kerros- että kiertoleijutyypiset kattilat. HYBEX tuotenimellä myytävä kattila on niin sanottu BFB, eli bubbling fluidized bed.

dized bed -tyyppinen kerrosleijukattila. CYMIC tuotenimellä myytävä kattila puolestaan on CFB eli circulating fluidized bed -tyyppinen kiertoleijukattila.

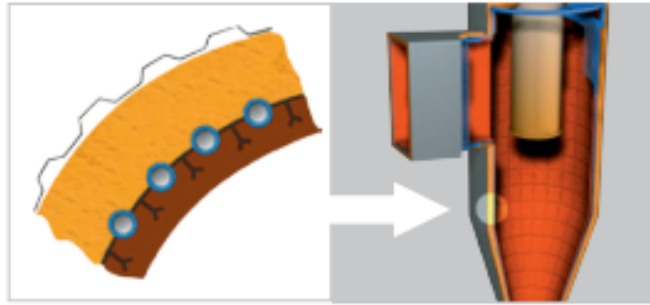
Kiertoleijukattiloissa palotuotteena syntynyt kaasu ja petimateriaalina toimiva kiinteä aines erotellaan tavallisesti syklonisen erottelun avulla. Sykloni on muihin erottelumenetelmiin verrattuna yksinkertainen ja painehäviöltään vähäinen. Tavallisin syklonityyppi on kuvan 3.3 pystyakselinen, tangentiaalisella sisääntuloaukolla varustettu sykloni. [35, s. 383] Myös kohdeyrityksen CYMIC-kattilassa käytetään tämän tyyppistä syklonia.



Kuva 3.3. Pystyakselisen, tangentiaalisella sisääntuloaukolla varustetun syklonin periaate. (Mukaiillen [35, s. 383])

Syklonin tehtävänä on käsitellä suuri määrä hyvin kuumaa kaasua. Tästä syystä CFB -kattiloiden syklonit ovat tavallisesti halkaisijaltaan suuria. Isoissa kattiloissa syklonit ovat tyypillisesti halkaisijaltaan noin 7-8 metriä. Syklonin sisäpinta on muurattu hiekkapartikkeleiden aiheuttamaa kulutusta kestäväällä betonilla. Betoni on hyvin painava materiaali, jolla on lisäksi korkea lämpökapasiteetti. Tästä syystä vakiintunut rakenne, myös kohdeyrityksen sykloneissa, on käyttää niin sanottuja membraaniseiniä, joissa on jäähdytyksenä vesi- tai höyrykierto. Membraaniseinän rakenne on havainnollistettu kuvassa 3.4.

Muurauksen massan vähentämisellä saavutetaan kaksi hyötyä: rakenteen pienempi massa ja muurauksen lämpenemis- ja jäähtymisajan lyheneminen, joka lyhentää huoltotöihin käytettävää aikaa. Kevyemmän rakenteen ansiosta voidaan myös tukirakenteita keventää. Syklonista talteen otetun lämmön ansiosta myös kattilan hyötysuhde paranee.



Kuva 3.4. Membraaniseinärakenne [36]

Sykloni on yksinkertainen ja varmatoiminen laite, jonka avulla saadaan käsitellyä suuri määrä kaasua hyvin alhaisella painehäviöllä. [35, s. 381] Toisaalta varsinkin syklonin pyöreä muoto verrattuna muiden kattilakomponenttien suorakulmisiin muotoihin, tuottaa ongelmia kattilan sommittelun ja muiden komponenttien yhteensovittamisen kanssa. Pyöreä muoto tekee myös syklonin huoltotason rakenteesta merkittävästi monimutkaisemman.

3.1.2 Syklonialueen standardointi kohdeyrityksessä

Syklonialueella tarkoitetaan kiertoileijukattilaan kuuluvaa kokonaisuutta, jonka tehtävänä on kerätä tulipesän yläosassa leijuva hiekka, erotella se palotuotteista ja palauttaa hiekka tulipesän alaosaan, keräten samalla hiekkaan ja savukaasuihin varastoitunutta lämpöenergiaa vesikiertoon. Sykloni itsessään on syklonialueen keskeisin komponentti, mutta syklonialue sisältää tämän lisäksi muitakin, rakenteeltaan yhtä monimutkaisia komponentteja. CYMIC-kattilan painerungon syklonialue sisältää seuraavat pääkomponentit:

- Tuloaukko tulipesän ja syklonin välille
- Sykloni
- Välikappale syklonin ja hiekkalukon välille
- Hiekkalukko
- Paluukanava hiekkalukon ja tulipesän välille

Huoltotason tuotemäärittely on osa projektia, jonka tarkoituksena on määritellä CYMIC -kattilan syklonialueen komponentit tuoteperheiksi, joiden instansseja vaihtelemalla voidaan luoda asiakkaan vaatimuksia vastaava ja laitoksen prosessin kannalta toimiva kokonaisuus.

Kaikille pääkomponenteille on olemassa vähintäänkin parametriikkaa hyödyntävät CAD -mallit sekä kokoluokkien päämitat sisältävät tuotemäärittelyt. Tuotemäärittelyiden valmiusaste vaihtelee komponenteittain. Niiden tuotteiden kohdalla, joita ei ole vielä täydellisesti määritelty tuoteperheiksi, joudutaan tekemään projektikohtaisia ratkaisuja ja nojautumaan vanhoihin projekteihin. Tuotemäärittelyissä on pyritty painottamaan standardiosien ja vakiomateriaalien käyttöä eri komponenttien ja kokoluokkien välillä.

Komponenteista sykloni ja tuloaukko kuuluvat samaan kokonaisuuteen, eli tietyn kokoluokan sykloniin tulee aina tietyn kokoluokan tuloaukko. Tuloaukossa ja syklonissa voi kuitenkin olla parametrisia eroja, esimerkiksi membraaniseinän putkien mitoissa. Sykloni ja tuloaukko on määritelty erillisiksi komponenteiksi siksi, että tuloaukko on kiinteä osa tulipesää ja kuuluu siten valmistuksen kannalta eri kokonaisuuteen. Lisäksi tuloaukon ja syklonin välillä saattaa olla parametrisia eroja ja toisaalta kummatkin ovat myös suuria kokonaisuuksia, joiden käsittely CAD -ympäristössä on tehokkaampaa erillään.

Syklonin kokoluokka määrää lisäksi syklonin ja hiekkalukon välisen välikappaleen syklonin puoleisen halkaisijan. Muilta osin välikappaleen mitat määräytyvät tulipesän koosta sekä syklonin ja hiekkalukon tyypeistä. Hiekkalukon kokoluokka ja tyyppi eivät puolestaan suoraan ole lukittu syklonityyppiin, vaan ne määritellään laitoksen prosessin mukaan. Paluukanava määräytyy hiekkalukon kokoluokan, syklonimäärän ja syklonin kokoluokan mukaan.

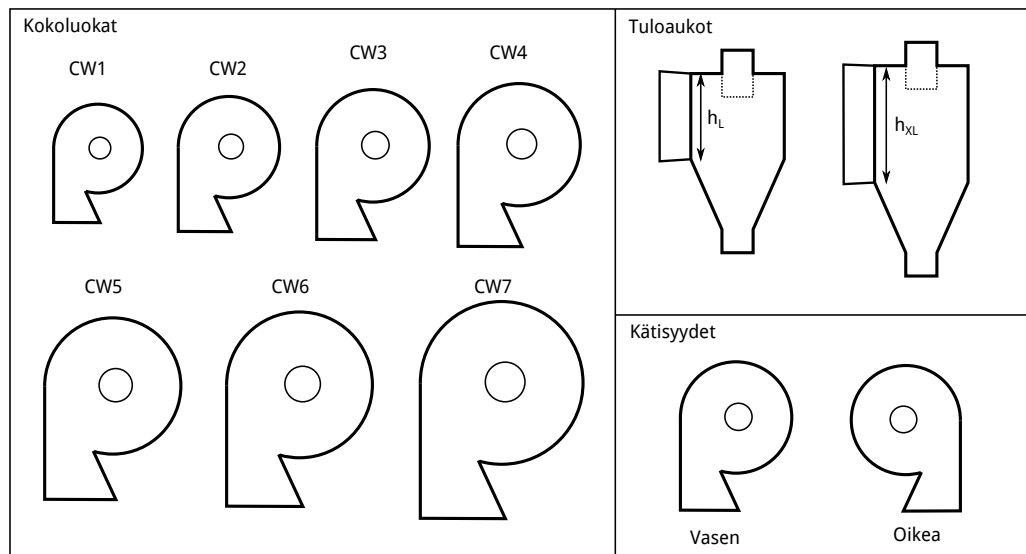
3.1.3 Kohdeyhteyksen syklonituoteperhe

Kohdeyhteyksen CYMIC -kattiloiden sykloneille on määritelty tuoteperhe, joka perustuu syklonin halkaisijoiden kokoluokkiin ja kahteen sisääntuloaukon kokovaihtoehtoon. Tuoteperhettä havainnollistava kaavio on esitetty kuvassa 3.5.

Ulkoisten dimensioiden lisäksi membraaniseinien putkien seinämävahvuudelle on määritelty kaksi, paineluokasta riippuvaa vaihtoehtoa. Sykloneista ja vastaavasti tuloaukoista on kaksi versiota, jotka ovat toistensa peilikuvia. Näitä kutsutaan oikean- ja vasenkätisiksi versioiksi. Eri kätisyydet ovat mitoiltaan samanlaiset, mutta sisääntuloaukon ja siten myös syklonin kiertoosuunta on päinvastainen. Eri kätisyyksiä tarvitaan tilanteissa, joissa painerungossa käytetään useampaa syklonia. Tällöin on tarpeellista käyttää sommittelua, jossa esimerkiksi sykloneiden tuloaukkojen suorat seinät ovat vierekkäin.

Sykloneiden kokoluokkia on 9 kpl. Pienimmän halkaisija lieriömäisellä osalla on noin 4 metriä ja suurimman vastaavasti noin 10 metriä. Kaksi pienintä kokoluokkaa on lisätty tuoteperheeseen myöhemmin, eikä niiden määrittely ole vielä täydellinen. Tästä syystä nämä kokoluokat jätetään käsittelemättä työn puitteissa. Syklonituoteperheeseen kuuluvien syklonien päämitat ja muita tarkempia määrittelytietoja on

listattuna liitteessä A.



Kuva 3.5. Syklonituoteperheen kokoluokat, tuloaukkovaihtoehdot ja kätisyydet. Kokoluokista on jätetty pois kaksi pienintä kokoa, joiden määrittely ei ole vielä valmis.

Kokoluokat on nimetty seuraavasti: CW1, CW2, CW3, CW4, CW5, CW6, CW7, CW8 ja CW9. Etuliite CW on sykloneihin liittyvä tunniste ja perässä oleva numero on syklonin kokoluokkaan viittaava tunniste. Jokaiselle halkaisijakokoluokalle on lisäksi olemassa kaksi erikokoisella sisääntuloaukolla varustettua versiota. Näitä nimetään tunnuksilla L ja XL, joista XL on suurempi kokoluokka. Myös sisääntuloaukkojen tarkat dimensiot on listattu liitteessä A. Tuloaukon korkeus vaikuttaa myös syklonin lieriömäisen osan korkeuteen, mutta muuten, esimerkiksi pohjan geometrian osalta L- ja XL-versioiden päämitat ovat samat. Syklonin luokka voidaan ilmoittaa esimerkiksi tunnisteella CW4XL.

3.2 Syklonin huoltotaso

Työn kohteena oleva syklonin huoltotaso on syklonin lieriömäisen osan alaosaan väliaikaisesti asennettava aukoton taso. Huoltotasoa käytetään syklonin asennusvaiheessa syklonin sisäpinnan muuraustöihin, kattilan seisokin aikana tehtäviin muurausten korjaustöihin, sekä syklonin yläosassa olevan keskusputken vaihdossa ja asennuksessa. Lisäksi huoltotaso toimii suojakattona tason alapuolella tapahtuvia huoltotöitä varten. Huoltotason mukana toimitetaan lisäksi muita syklonin huoltoihin liittyviä apu- ja turvavälineitä, kuten suojakaide syklonin tuloaukon ja tulipesän reunalle, sekä rullatukia, joiden avulla huoltotason osia on helpompi ja turvallisempi siirrellä.

Käyttötilanteessa huoltotaso kasataan ohjeiden mukaisesti sykloniin, jonka jälkeen huoltotason päälle kasataan rakennustelineet. Rakennustelineet peittävät syklo-

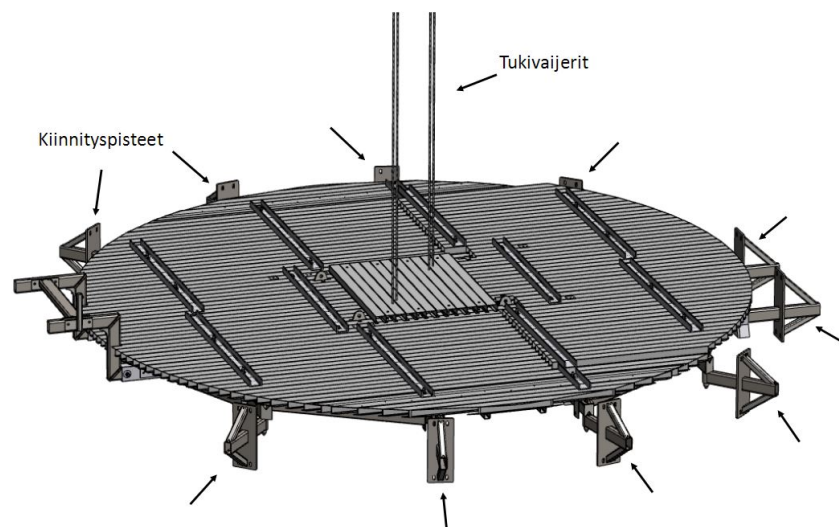
nin lieriömäisen osan sisäpinnan, joten lieriömäisen osan korkeus vaikuttaa telineiden massaan ja siten huoltotason kohdistuviin kuormiin. Huoltotason kohdistuvat kuormat aiheutuvat rakennustelineistä, telineillä työskentelevistä henkilöistä sekä rakennusmateriaaleista ja työkaluista.

Syklonin huoltotason tuotemääritys pohjautuu alustavasti edellä esiteltyyn syklo-
neiden tuotemäärityyn. Syklonin lieriömäisen osan halkaisija määrää suoraan myös huoltotason ulkomitat, joten tietyiltä osin huoltotason kokoluokat vastaavat suoraan syklo-
neiden kokoluokkia. Huoltotason kohdistuvat kuormat ohjaavat huoltotason tukirakenteiden geometriaa ja materiaalivalintoja.

Huoltotaso on toteutettu aikaisemmin kolmeen projektiin, joista kaksi on ollut saman kokoiseen, CW7L-kokoiseen sykloniin ja yksi CW6L-kokoiseen sykloniin. Projektien myötä huoltotason rakenneratkaisut CW7-kokoluokalle ovat jalostuneet riittävän pitkälle. Rakenteen peruseräite on todettu käytössä toimivaksi, joten sitä voidaan oletettavasti käyttää myös muissa kokoluokissa. Seuraavassa kappaleessa huoltotason periaate ja rakenne on esitelty tarkemmin.

3.2.1 Huoltotason periaate

Huoltotaso liittyy sykloniin kahden eri tukirakenteen avulla: huoltotason korkeudella olevien, ulkopuolelta syklonin membraaniseinän läpi työnnettävien tappien, sekä huoltotason keskelle tulevien, syklonin päälle asennettavaan palkkiin liittyvien ri-
pustusvaijerien avulla. Tuennan periaate on esitetty kuvassa 3.6. Normaalissa käytötilanteessa kummatkin tuentatavat ovat käytössä yhtä aikaa. Suurten jänneväl-
lien takia tasoon kohdistuvat suuret kuormat kannatellaan enimmäkseen vaijerien avulla. Joissakin tapauksissa, kuten tason toimiessa suojakattona tason alapuolella tapahtuville huoltotöille, voidaan tasoa käyttää myös ilman vaijerituenta.



Kuva 3.6. Huoltotason tuennan periaate.

Tappikiinnitystä varten sykloneissa on ulkokehällä läpivientikonsolit, joista kannatintapit työnnetään syklonin ulkopuolelta läpi. Konsoleita on kaikissa kokoluokissa 10 kappaletta. Läpivientikonsolien paikat on määritelty syklonimäärittelyssä, joten myös huoltotason tuennan paikat on ennalta määrätty. Syklonimäärittelyä on kuitenkin vielä tarpeen vaatiessa mahdollista muuttaa, varsinkin sellaisten kokoluokkien kohdalla, joita ei ole vielä toteutettu projekteissa.

Vaijerikiinnitystä varten syklonin päällä olevan kulmakanavan päälle asennetaan palkkirakenne, johon ripustusvaijerit kiinnitetään. Palkkia käytetään lisäksi kulmakanavan päällä olevan raskaan luukun avaamiseen ja siirtämiseen sivuun, sekä syklonin keskusputken ripustamiseen asennusvaiheessa.

Huoltotason toimintaperiaate selviää parhaiten huoltotason asennusvaiheista, jotka on listattu alla. Listan tarkoitus on helpottaa huoltotason rakenteen ymmärtämistä ja se sisältää vain tason asennukseen liittyvät oleelliset vaiheet. Todellisuudessa vaiheiden välissä on vielä useita lisävaiheita, jotka liittyvät turvallisuuteen ja asennustyön helpottamiseen. Palkkien asennus sisältää yksinkertaistetusti seuraavat vaiheet:

1. Kannatintappien asennus läpivientikonsoleihin 1-10
2. Pääkannatinpalkkien liittäminen syklonin tuloaukon lattialla
3. Pääkannatinrakenteen siirtäminen sykloniin vaijereiden avulla ja liittäminen liityntätappeihin
4. Vanerilevyjen asentaminen pääkannatinrakenteen päälle.
5. Poikittaistukipalkkien asennus kiinnityspisteiden ja pääkannattimen välille.
6. Ulkokehän palkkien asennus.
7. Kannatinvaijerien asennus ja kiristäminen.
8. Alumiinilankkujen asennus.
9. Alumiinilankkujen lukituspalkkien asennus.

Vakiintuneessa CW81-koon rakenteessa kahdesta pitkästä ristikkorakenteesta koostuva pääkannatinrakenne liittyy toisesta päästä kahteen kannatintappiin ja toisesta päästään se lepää syklonin sisääntuloaukon lattiaa vasten L-palkkien kannattelemana. Poikittaistukipalkit liittyvät loppuihin kahdeksaan kannatintappiin symmetrisesti siten, että ne ulottuvat hieman pääkannatinrakenteen yli. Poikittaistuet ja pääkannatinrakenne risteävät täten neljässä kohdassa. Kannatinvaijerit liittyvät näihin risteyskohtiin.

Valmiiksi muotoon sahatut alumiinilankut levitetään aukottomaksi tasoksi tukipalkkien päälle. Alumiinilankut tulevat kahteen tasoon, osin limittäin, jolloin pitkien lankkujen ei tarvitse olla aivan mittatarkkoja, vaan saadaan reilusti säätövaraa. Tukipalkkeihin asetetaan etukäteen lukitusosat, joihin kuuluva kierteellinen tappi tulee läpi alumiinilankuissa olevista rei'istä. Alumiinilankut lukittuvat paikalleen U-profiilista tehdyillä lukituspalkeilla, jotka kiinnittyvät lukitusosien kierretappeihin mutterien avulla.

Huoltotasoon kuuluu lankkujen ja kannatinrakenteiden lisäksi suojakaiteet tason keskelle avautuvaa kulkuaukkoa varten, suojakaiteet syklonintuloaukon tulipesän puoleiseen aukkoon sekä asennukseen liittyviä apu- ja turvavälineitä. Myös kokoluokkakohtaiset käyttö- ja turvallisuusohjeet sekä muu vastaava dokumentaatio kuuluvat huoltotason toimitukseen.

3.2.2 Huoltotason suunnitteluprosessi ja tuotemäärittelyn lähtötilanne

Kuten kappaleessa 3.2 mainittiin, huoltotaso on toimitettu aikaisemmin kahteen CW7L-kokoiseen sykloniin ja yhteen CW6L-kokoiseen sykloniin. Pienempi kokoluokka toteutettiin skaalaamalla vanhan projektin mittoja pienemmäksi, joka on mahdollista, kun kyseessä on vain yhtä astetta pienempi syklonikoko. Rakennetta on jatkokehitetty jonkin verran aina projekteista saatujen palautteiden ja kokemusten perusteella.

Huoltotaso on osoittautunut hankalaksi suunnittelukohteeksi monestakin syystä. Seuraavassa on listattu huoltotason toteuttamiseen liittyviä piirteitä, jotka ovat tuotaneet ongelmia aikaisemmin ja saattavat oletettavasti tuottaa hankaluuksia tuoteperheen määrittelyssä:

- **Monimutkaisuus:** Huoltotason rakenteessa on paljon yksityiskohtia. CW7-mallin huoltotason osaluettelo sisältää yli 250 erilaista osaa ja alikokoonpanoa. Näiden osien joukossa on muun muassa hitsattuja alumiinirakenteita, teräsraakenteita, puuosia, vaijereita ja köysiä sekä suuri määrä valmiita tilausosia. Huoltotason toteuttaminen uudelle projektille vaatii kymmenien piirustusten päivittämisen ja pienikin projektikohtainen muutos saattaa aiheuttaa rakenteessa suuren määrän muutoksia ja lisää siten virhealttiutta.
- **Suunnittelutiedon keskittyneisyys:** Huoltotason alkuperäinen rakenne on pitkälti yhden suunnittelijan toteuttama. Sama suunnittelija on vastannut myös useimmista projektitoteutuksista. Monimutkaiseen rakenteeseen perehtyminen on työläs ja aikaa vievä prosessi, joka vaatii myös huoltotason alkuperäisen suunnittelijan aktiivista osallistumista.

- **Osaluettelon ja kokoonpanokuvien laatiminen:** Huoltotaso sisältää suuren määrän nimikkeitä, jotka hankitaan eri toimittajilta. Alumiini- ja teräsraakenteet saatetaan hankkia eri paikoista ja lisäksi rakenteeseen kuuluu useita valmiina ostettavia osia. Selkeän osaluettelon laatiminen eri toimittajille ja kokoonpanijoille, sekä osaluettelon ylläpitäminen muutoksissa ovat työläisiä ja tarkkuutta vaativia tehtäviä.
- **Kokoluokkien skaala tuoteperheessä:** Ero suurimman ja pienimmän sykloinin välillä on suhteellisen iso. Pienin sykloni on halkaisijaltaan alle viisi metriä ja suurin yli kymmenen metriä. Tämän lisäksi suuremmissa sykloneissa myös lieriöosan korkeus ja sitä kautta myös rakennustelineiden koko kasvaa. Jänneväliden piteneminen ja rakennustelineiden massan kasvu suurentaa tukirakenteiden kuormia merkittävästi. Tämä on ristiriidassa kokoluokkien väliseen osien standardointiin pyrkimisen kanssa.
- **Ohjeistuksen hankaluus:** Tuotteen monimutkaisuus luo haasteita myös tuotteen käytettävyydelle. Monivaiheinen asennus, suuri määrä osia sekä korkealla työskentelemiseen liittyvät turvallisuusriskit tekevät asennuksen ohjeistuksesta hankalan toteuttaa niin, ettei asiaan hyvin perehtyneen suunnittelijan tarvitsisi itse käydä valvomassa asennustyötä.

Huoltotason tuotekehitykseen ja toimitusprosessiin liittyvät ongelmat johtuvat lähtökohtaisesti tuotteen yksityiskohtien ja funktionaalisten elementtien suuresta määrästä. Suunnittelijalta, joka ei ennestään tunne tuotetta, kestää pitkään saada hyvä käsitys tuotteen rakenteesta ja kaikkien osien tarkoituksesta. Tuotedokumentointi luominen toimitusprojektille vaatii tarkkuutta ja on siten altis virheillemme, vaikka dokumentaatio pelkästään kopioidaan vanhasta projektista. Merkittävien muutosten, kuten uuden kokoluokan toteuttaminen, vaatii huomattavan määrän työtunteja ja erityyppisiä määrittelytehtäviä.

Alkuperäisestä tuotteesta johdetussa tuoteperheessä on riskinä, että tuotetiedon monimutkaisuus kasvaa entisestään, jolloin ylläpito monimutkaistuu, eikä pysy enää hallittuna. Tämän vuoksi tuotetieto on järjestettävä selkeäksi kokonaisuudeksi ja selkeyden vuoksi on myös ehkä tehtävä kompromisseja rakenteen optimoinnin suhteen. Lähtötilanteessa tuotetieto on sisällytettynä seuraavanlaiseen dokumentaatioon:

- Osien ja alikokoonpanojen valmistuspiirustukset, jotka liittyvät toimitusprojekteihin. Piirustukset ovat vakio-osakirjastossa. AutoCAD-muodossa olevia piirustuksia on lähtökohtaisesti yhtä kokoluokkaa kohden noin 100 kappaletta.
- Kokoonpanopiirustuksista, jotka toimivat sekä valmistuksen, että käytön tukena. Myös kokoonpanopiirustukset ovat AutoCAD-muodossa ja niitä kokoluokkaa kohden 8 kappaletta.

- Excel-muotoisesta osaluettelosta, jossa eriteltynä muun muassa alumiini-, teräs- ja kiinnitysosat. Osaluettelon juoksevalla numeroinnilla viitataan kokoonpanokuvissa esitettyihin kuvantoihin ja erillisillä tunnisteilla valmistuskuvien piirustusnumeroihin.
- Käyttöohjeista, jotka koostuvat kokoonpano- ja turvallisuusohjeista. Käyttöohjeet ovat Powerpoint -muodossa ja niissä on käytetty projektien yhteydessä otettuja valokuvia, sekä AutoCAD:llä laadittuja kaavioita.
- Projekteille tehdyistä lujuuslaskentapohjista. Lujuuslaskut on tehty pääasiassa peruslujuusopilla Mathcad -ohjelmaa käyttäen. Alumiiniristikon laskentaan on käytetty FEM-laskentaa Ansys Workbench -ohjelmaa hyödyntäen.

Tuotetieto on siis lähtökohtaisesti hajallaan eri projektien kansioissa, vakio-osa-kirjastossa ja osaltaan myös suunnittelijoiden omassa muistissa. Johdettaessa tuoteperheen määrittelyä yksittäisen kokoluokan tuotteesta, yksi haaste on hajallaan olevan tuotetiedon jäsentely selkeäksi ja loogiseksi kokonaisuudeksi, jotta määrittelyä suorittava taho kykenee ottamaan kaiken oleellisen huomioon.

3.3 Suunnittelujärjestelmän toteuttamiseen käytettävät ohjelmistot

Huoltotason suunnittelun automatisointi on osa meneillään olevaa syklonialueen määrittely- ja automatisointiprosessia. Tästä syystä vaihtoehdot huoltotason suunnittelujärjestelmän toteuttamiseen käytettävien ohjelmistojen ja työkalujen suhteen ovat pitkälti rajattu jo käytössä oleviin järjestelmiin. Käytössä olevissa ohjelmissa on kuitenkin jonkin verran toiminnallista päällekkäisyyttä ja toisaalta ohjelmistoilla on myös mahdollista toteuttaa järjestelmiä monilla vaihtoehtoisilla tavoilla, joten pientä liikkumavaraa toteutustavoissa on olemassa.

Tässä kappaleessa esitellään lyhyesti ohjelmistot, niiden oleelliset ominaisuudet ja tyypilliset sovelluskohteet kohdeyrityksen toiminnassa. Esiteltyjen ohjelmistojen lisäksi käytössä on tyypilliset toimisto-ohjelmistosovellukset, joita kylläkin hyödynnetään järjestelmän toteutuksessa, mutta ei erikseen laajemmin käsitellä tässä kappaleessa, sillä ne oletetaan hyvin tunnetuiksi. Etenkin Excel -taulukkolaskennan monia edistyneitä ominaisuuksia hyödynnetään laajalti.

Syklonialueen muut suunnittelujärjestelmät on toteutettu Solidworks CAD-ohjelmistolla. Solidworks on parametrinen ja piirrepohjainen, solidimalleihin perustuva 3D CAD-ohjelmisto. Mallin parametrisyys voidaan määritellä numeerisilla parametreillä, kuten viivan pituudella tai ympyrän halkaisijalla, tai geometrisilla parametreillä, kuten yhdensuuntaisuudella, samankeskisyydellä tai vaaka- tai pystysuoruudella. 3D-mallin mittojen ja piirteiden muuttaminen päivittyä automaattisesti osasta

tehdyn piirustuksen kuvantoihin ja mitoituksiin.

Solidimallit perustuvat piirteisiin, kuten pursotuksiin, leikkauksiin ja pyöristykseen, joista monet vastaavat todellisten, konepajalla valmistettujen kappaleiden tavallisesti sisältämiä piirteitä. Solidworksiin on lisäksi saatavilla laajennuksia, jotka sisältävät tiettyyn valmistustekniikkaan liittyviä hyödyllisiä ominaisuuksia. Tällaisia ovat esimerkiksi ohutlevymallinnukseen (Sheet metal) ja profiilipalkeille (Weldments) tarkoitetut laajennukset, jotka kummatkin ovat kohdeyrityksessä aktiivisessa käytössä.

Solidworksin tukena on EPDM-järjestelmä, johon tallennetaan esimerkiksi projekteihin liittyvät Solidworks mallit, vakio-osat ja -piirustukset sekä myös suunnitteluautomaatteihin liittyvät parametriset mallit. EPDM:llä hallitaan tiedostojen käyttö- ja muokkausoikeuksia, versionhallintaa sekä muita tyypillisiä PDM-järjestelmän toimintoja. Esimerkiksi EPDM-järjestelmään tallennetun kokoonpanon osaluettelo on mahdollista luoda automaattisesti järjestelmän avulla.

Parametristen mallien ohjaamista varten käytössä on Automateworks ohjelmisto, jonka avulla SolidWorks mallia voidaan ohjata Excel-taulukon listatuilla komennoilla. Komennoilla voidaan esimerkiksi muuttaa mallin parametreja, ottaa käyttöön tai poistaa käytöstä osien piirteitä tai kokoonpanon osia ja vaihtaa osien attribuutteja, kuten materiaalia. Automateworks on hyödyllinen työkalu suunnitteluautomaattien toteuttamisessa, koska tuotetieto ja sen käyttöön liittyvä logiikka voidaan sisällyttää Excel taulukon, jolloin se on keskitetyssä ja paremmin muiden kuin järjestelmän luojaan ymmärtämässä muodossa.

Solidworks CAD-ohjelmiston lisäksi kohdeyrityksessä on käytössä AutoCAD-ohjelmisto. AutoCAD on käytössä lähinnä monimutkaisemmassa 2D-suunnittelussa. Osien valmistuspiirustukset ja yksinkertaisimmat kokoonpanopiirustukset on toteutettu Solidworksillä, mutta monimutkaisemmat kokoonpano-, sommittelu ja määrittelykuvat on tavallisesti toteutettu AutoCAD:llä. Solidworksin piirustustyökalulla luotuja osien kuvantoja on myös mahdollista tuoda AutoCAD:iin.

AutoCAD-kuvien vahvuutena on, että suuri määrä informaatiota saadaan sisällytettyä yhdelle näkymälle. Esimerkiksi tuoteperheiden määrittelykuvat ja projektien sommittelukuvat on tyypillisesti toteutettu AutoCAD:llä. Tuoteperheen määrittelykuvasta oikean kokoluokan kuvannot on helppo siirtää osaksi suurempia kokonaisuuksia esittäviä sommittelukuvantoja.

Tyypillinen toimintatapa on ollut toteuttaa tuoteperheen geometrioiden määrittely visuaalisessa muodossa AutoCAD -kuvassa, josta se on muutettu Excel-taulukkomuotoon. Automateworks -ohjelman avulla Excel taulukkoa voidaan käyttää edelleen parametrisen Solidworks -mallin konfiguraattorissa. Aikaisemmin myös valmistuspiirustuksia on toteutettu AutoCAD:llä, mutta suuntauksena on ollut siirtyminen enenevässä määrin Solidworksin käyttöön.

Teknisen laskennan työkaluna käytössä on lisäksi Mathcad-ohjelmisto. Mathcadin käyttö perustuu laskenta-arkkeihin, jossa yhtälöt ja ratkaisut ovat näkyvillä samaan tapaan kuin paperilla laskiessa. Täten se soveltuu paremmin selkeiden ja helppolukuisten laskentapohjien laatimiseen, kuin esimerkiksi Excel, jossa matemaattiset lausekkeet ovat hankalassa koodimuodossa.

Mathcad tukee parametrisuutta, sillä laskennan alkuarvojen muutokset näkyvät välittömästi tuloksissa. Tulokset voidaan myös esittää taulukon tai graafin avulla. Täten yhdelle kokoluokalle tehtyä laskentapohjaa voidaan hyödyntää hyvin pitkälle myös muiden kokojen laskennassa. Mathcad tukee lisäksi muun muassa kuvien ja laskennassa käytettäviin arvoihin linkitettävien Excel-tilukoiden upottamista laskenta-arkkeihin.

3.4 Suunnittelujärjestelmän ja tuotemäärittelyn tavoitteet

Huoltotason suunnittelujärjestelmä edustaa tyypillistä ETO-tuotantostrategiassa sovellettavaa suunnittelukonfiguraattoria (kts. kappale 2.6). Tuotemäärittelyn ja suunnittelujärjestelmän tavoitteena on ennen kaikkea toimia osana painerungon komponenttien suunnittelutyön kokonaisvaltaista tehostamista ja tukea modulaarisiin tuoteperheisiin perustuvaa systemistä räätälöintiä.

Huoltotason tuotemäärittelyn taustalla olevan syklonimäärittelyn vuoksi yksittäinen, projektille toimitettava huoltotaso ei tarvitse raskasta projektikohtaista määrittelyprosessia. Tietyn kokoiseen sykloniin sopii vain tietyn tyyppinen huoltotaso, eikä tapauskohtaisesti vaihtuvia muuttujia tai suunnittelukriteereitä ole. Suunnittelujärjestelmän tehtävänä ei siis ole tuottaa monimutkaisten lähtötietojen perusteella joustavasti muokattavaa tuotetta, kuten esimerkiksi joidenkin, voimalaitoksen prosessiin läheisemmin liittyvien tuotteiden kohdalla voisi olla.

Tuotemäärittelyn lähtötietojen ja tuotteeseen liittyvien kokemusten ja ongelma-kohtien perusteella järjestelmälle määriteltiin kolme päätavoitetta:

1. Manuaalisen suunnittelutyön minimointi
2. Tuoteperheen määrittelyn selkeyttäminen osien vakiointia hyödyntämällä
3. Tuotetiedon kokoaminen ja tuotteeseen perehtymisen helpottaminen

Manuaalisen suunnittelutyön minimoinnilla tarkoitetaan, että uuden toimitusprojektin yhteydessä ei tarvitsisi käydä läpi suurta määrää piirustuksia ja muita dokumentteja. Huoltotason rakenne kullekin kokoluokalle on mahdollista määritellä täydellisesti pohjalla olevan syklonimäärittelyn perusteella, joten myös tarvittavat dokumentit kaikille kokoluokille voidaan laatia valmiiksi.

Tuotemäärittely ja dokumenttien laatiminen toteutetaan järjestelmällisesti, pyrkien työmäärän minimoimiseen ja tuoterakenteen hallittavuuteen. Näihin voidaan

vaikuttaa hyödyntämällä vakioituja rakenneratkaisuja useammassa kokoluokassa. Tiettyjä osia voidaan esimerkiksi käyttää kaikissa kokoluokissa, joitakin tietyissä kokoluokkien ryhmissä ja joitakin sellaisenaan vain yhdessä kokoluokassa, mutta parametrisesti skaalattuna useammassa kokoluokassa.

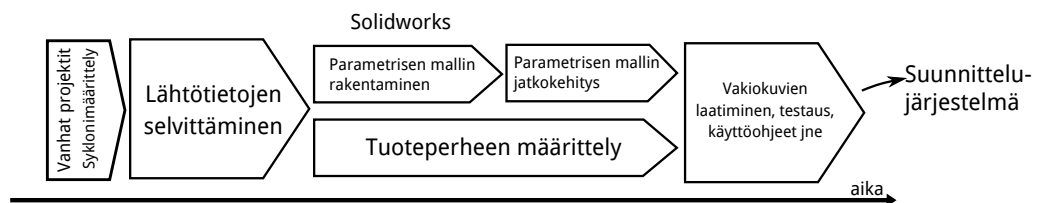
Projektidokumentaation laatiminen, tuoteperheen määrittelyyn perehtyminen, tuotteen kehittäminen ja suunnittelujärjestelmän ylläpito pyritään myös tekemään mahdollisimman riippumattomaksi tuotteen parhaiten tuntevista suunnittelijoista tai suunnittelujärjestelmän kehittäjästä. Ensisijaisen tärkeitä on kuitenkin, että järjestelmän käyttö ei aiheuttaisi virheellisiä dokumentteja, vaikka dokumentaation loisi henkilö, joka ei täydellisesti tunne tuotetta.

3.5 Suunnittelujärjestelmän toteuttamisprosessi

Kuten kappaleessa 2.6 esitettiin, suunnittelujärjestelmiä on olemassa hyvin monen-tyyppisiä. Suunnittelujärjestelmien tyyppikirjon lisäksi eri suunnitteluohjelmistot tarjoavat kukin omat vahvuutensa ja heikkoutensa, joilla on suuri vaikutus ominaisuuksiin, joita suunnittelujärjestelmään voidaan sisällyttää. Näiden syiden vuoksi kirjallisuudesta on hankala löytää juuri sopivaa prosessia tietyn tyyppisen tuotteen suunnittelujärjestelmän toteuttamiseen.

Tarkkaa toteuttamisprosessia tärkeämpää onkin pyrkiä löytämään järjestelmälle tarkoitus ja toteutusperiaate, eli mitä järjestelmällä tavoitellaan, kuka sitä hyödyntää ja millaisilla työkaluilla järjestelmä toteutetaan. Järjestelmän tavoitteisiin vaikuttaa pitkälti tuotteen ja tuoteperheen tyyppi, sekä siihen liittyvät ongelmakohdat, joita järjestelmällä pyritään ratkaisemaan. Tästä syystä tuotteen rakenteeseen, sekä sen eri piirteisiin on syytä perehtyä huolella ennen varsinaisen suunnittelujärjestelmän määrittelyä.

Kuvassa 3.7 on esitettynä suunnittelujärjestelmän alustavan toteuttamisprosessin työvaiheet. Prosessi on tarkoituksella pelkistetty, jolla on tavoiteltu paikkaansa pitävyyttä riippumatta projektin edetessä ilmenevistä muutoksista. Prosessin rakenne perustuu ajatukseen, että suunnittelujärjestelmä toteutetaan tiiviillä ryhmällä, enimmäkseen yhteistyössä huoltotason alkuperäisen suunnittelijan kanssa.



Kuva 3.7. Suunnittelujärjestelmän toteuttamisprosessi

Ensimmäisessä vaiheessa perehdytään olemassa olevaan tuotetietoon, joka huoltotason tapauksessa koostuu pääasiassa vanhoihin projekteihin liittyvistä piirustuksista, käyttöohjeista ja teknisestä laskennasta. Myös huoltotason kokoonpanon ohjauksessa saatuja kokemuksia on jonkin verran kirjatussa muodossa. Tämän lisäksi lähtötietona on olemassa oleva alustava syklonimäärittely, joka sisältää rajapinnan huoltotasoon kiinnityspisteiden sijaintien ja ulkomittojen muodossa.

Lähtötietojen selvittämiseen kuuluu esimerkiksi huoltotasoon vaikuttavien kuormitusten selvittäminen eri kokoluokille ja tuotteeseen liittyviin suunnitteluohjeisiin ja standardeihin perehtyminen. Tämän lisäksi kootaan tuoteperhettä kuvaavaan sommittelukuvaan saatavilla olevia, rakenteeseen vaikuttavia parametreja, kuten palkkien jännevälejä.

Seuraavassa vaiheessa kootun tuotetiedon pohjalta rakennetaan parametrinen Solidworks-malli. Malli rakennetaan vanhoille projekteille tehtyjä osien valmistuspiirustuksia hyödyntämällä. Yksittäisen koon mitoista pyritään löytämään mahdollisimman paljon yleispäteviä geometrisia sääntöjä, joita voidaan käyttää kaikissa kokoluokissa. Malli rakennetaan alustavasti parametrisesti ohjautuvaksi siten, että sitä voidaan nopeasti konfiguroida eri kokoluokkiin. Tällöin tuotemäärittelyn yhteydessä tehtyjen muutosten ja standardointien toimivuus lopullisessa mallissa voidaan todentaa nopeasti. Monimutkaisimpien rakenteiden parametrissa ohjautuvuutta ei kuitenkaan toteuteta yksityiskohtaisesti, sillä rakenteen ei tässä vaiheessa tarvitse olla viimeistelty.

Mallinnuksen kanssa samaan aikaan voidaan aloittaa tuotemäärittelyyn liittyviä tehtäviä. Tuoteperheen määrittelyvaiheen tavoitteena on kokoluokkakohtaisten rakenteellisten ratkaisujen päättäminen. Määrittelyvaihe sisältää kaikki toimenpiteet, jotka tukevat tätä päätöksentekoa. Näitä ovat esimerkiksi tarvittava tekninen laskenta sekä materiaali- ja valmistustekniset päätökset.

Syklonikokojen suuren skaalan vuoksi on oletettavaa, että kokoluokkia on jaettava ryhmiin, joiden kesken voidaan käyttää samantyyppisiä ratkaisuja. Esimerkiksi pääkannatinpalkeille kohdistuvan kuorman ero pienimmän ja suurimman kokoluokan välillä on niin merkittävä, että saman rakenteen käyttö molemmissa ei olisi järkevää. Määrittelyvaiheessa pyritään löytämään kompromisseja osien standardoinnin ja rakenteen optimoinnin välillä.

Tuoteperheen määrittelyvaihetta on perusteltua tehdä samanaikaisesti parametrin mallin rakentamisen kanssa. Ensinnäkin, rakenteen monimutkaisuuden vuoksi mallintaminen on suunnittelujärjestelmän toteuttamisen selkeästi työläin vaihe, joten se on syytä aloittaa mahdollisimman aikaisin. Mahdollisuuksien mukaan mallintamisen yhteydessä määrittelyyn liittyviä tehtäviä voidaan jakaa eri henkilöille. Parametrisuuden vuoksi rakenteeseen on helppo tehdä tarvittavat muutokset, mikäli se määrittelyn perusteella on tarpeellista. Toisekseen, kolmiulotteinen malli toimii

virtuaalisena prototyyppinä, jonka avulla rakenteiden yhteensopivuus voidaan skaalautusten jälkeen suurpiirteisesti varmistaa.

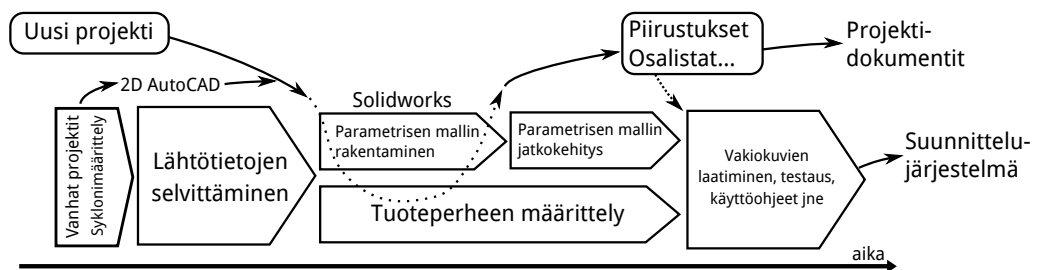
Valmiin parametrisen mallin ja tuoteperheen määrittelyn perusteella voidaan jatkokehittää parametrisen mallin toiminnallisuutta suunnittelujärjestelmäksi. Järjestelmän tavoitteiden ja ohjelmistojen mahdollisuuksien mukaan järjestelmään voidaan esimerkiksi sisällyttää konfiguroituvuutta ja suunnitteluautomaattimaista toiminnallisuutta.

Yksinkertaisimmillaan alkuperäisestä mallista voidaan johtaa vain mallit ja valmistuspiirustukset eri kokoluokille, pyrkien mahdollisimman valmiisiin dokumentteihin minimityömäärällä. Toista ääripäätä edustaa järjestelmän kehittäminen sellaiseen suuntaan, jossa konfiguraattorin syötteet ovat riippumattomia syklonirajapinnasta, eli huoltotaso voitaisiin esimerkiksi konfiguroida portaattomasti mille tahansa halkaisijan arvolle.

Kun tuoteperheen määrittely ja parametrisen mallin jatkokehitys on saatettu riittävän pitkälle, voidaan aloittaa standardiosista tehtävien vakiokuvien laatiminen, suunnittelujärjestelmän käyttäjätestaus, järjestelmän käyttöohjeen laatiminen ja muu järjestelmän viimeistelyyn liittyvä toiminta.

Parametrinen malli voidaan toteuttaa myös toimitusprojektin yhteydessä. Tällöin suunnittelujärjestelmän rakentaminen ei ole kokonaisuudessaan irrallinen kehitysprojekti ja työläs mallinnusvaihe voidaan sisällyttää projektille tehtyihin tunteihin. Mallintaminen on hitaampi toimenpide kuin 2D-kuvien muokkaaminen pienempään kokoluokkaan, mutta olemassa olevien valmistuspiirustusten avulla mallintaminen on silti mahdollista tehdä normaalin projektiaikataulun puitteissa.

Myös tuoteperheen määrittelyä voidaan samaan tapaan toteuttaa projektin yhteydessä. Huoltotason kokoluokkien geometriat tunnetaan ja ne vertautuvat hyvin toisiinsa, joten yhdelle kokoluokalle tehtyä laskentaa voidaan tehokkaasti hyödyntää muihin kokoluokkiin samaan tapaan kuin parametrasta mallia. Kaaviossa 3.8 on esitetty suunnittelujärjestelmän toteuttaminen prosessin läpiviennin yhteydessä.



Kuva 3.8. Suunnittelujärjestelmän toteuttamisprosessi yhdistettynä toimitusprojektiin.

Alkuperäisen kaavion yläpuolella kulkevalla viivalla kuvataan uuden projektin to-

teuttamisprosessia. Vanhojen projektien 2D-kuvia hyödynnetään parametrinen mallin toteutuksessa. Viiva tekee mutkan mallinnusvaiheen ja tuotemäärittelyprosessin lävitse, millä kuvataan toimintatavasta aiheutuva lievää lisätyömäärää, mutta toisaalta rinnakkaista työpanosta suunnittelumallin toteuttamiseen. Projektille tehtäviä piirustuksia, osalistoja ja muuta dokumentaatiota voidaan edelleen hyödyntää jatkokehitys- ja viimeistelyvaiheissa.

Mallinnuksessa painotetaan tässä tapauksessa nopeaa toteutusta enemmän kuin mallin viimeistelyä parametrissa ohjautuvuutta. Parametrisuudelle pyritään kuitenkin luomaan hyvät edellytykset esimerkiksi sitomalla kappaleiden mitat yhteiseen luurankomalliin (skeleton), joka sisältää kappaleiden paikoittamiseen ja mitoittamiseen tarvittavat apuviivat ja -tasot. Nopean toteutuksen ja mallin toimivuuden edellytyksenä on, että mallinnuksesta vastaava henkilö hallitsee hyvin parametrinen mallinnustavan. Lisäksi tuoteperheen määrittelyn lähtötietojen on oltava mallinnusvaiheessa riittävän hyvin selvitettyinä.

4 SUUNNITTELUJÄRJESTELMÄN TOTEUTTAMINEN

Tässä luvussa kuvaillaan suunnittelujärjestelmän toteuttamisprosessin työvaiheet lähtötietojen selvittämisvaiheesta järjestelmän viimeistelyyn, sekä lopputuloksena saadun tuotoksen periaate.

4.1 Lähtötietojen selvittäminen

Tuoteperheen määrittelyä varten oli tarpeellista selvittää joitakin lähtötietoja. Huoltotason merkittävin tehtävä on kantaa kuormaa ja toimia suojana tason alapuolella tapahtuvissa työtehtävissä. Tämän lisäksi sen on oltava helposti ja turvallisesti ka-
sattava. Huoltotason rakenne on yhden koon osalta suunniteltu käytettävyyden ja turvallisuuden kannalta tyydyttäväksi, joten rakenteeseen ei tulla tekemään merkittäviä muutoksia. Selvitettäväksi lähtötiedoiksi jää huoltotasoon vaikuttavien kuormien ja turvallisuusvaatimusten selvittäminen.

4.1.1 Telinekuormien määrittäminen

Tuoteperheen määrittelyä ja suunnittelujärjestelmää varten tehtävä lähtötietojen kartoitus aloitettiin selvittämällä huoltotasoon vaikuttavat kuormitukset eri kokoluokilla. Huoltotason merkittävimmät tehtävät ovat kantaa tason päälle kasattavien rakennustelineiden, työntekijöiden ja työvälineiden kuorma ja toimia suojana tason alla tapahtuvissa työtehtävissä. Täten syklonin halkaisija, eli huoltotason ulkomittat ja rakennustelineiden kuorma ovat ainoat rakenteellisia muutoksia aiheuttavat tekijät kokoluokkien välillä.

Rakennustelineet eivät ole osa huoltotasoa, vaan ne toimitetaan rakennusliikkeen tai telinetoimittajan toimesta. Telinekuormien määrittämistä varten päätettiin tilata telineiden kuormalaskenta ulkopuoliselta telinetoimittajalta. Koko tuoteperheessä olisi laskettavia kohteita kaikkiaan 18, joten laskenta päätettiin suorittaa vain muutamalle hajakoolle ja arvioida näiden avulla kuormat lopuille kokoluokille.

Hajakokoja valittiin kuusi; kaksi isointa kokoa, kaksi kokoa pienimmästä päästä sekä kaksi kokoa vaihteluvälin keskivaiheilta. Telinetoimittajalta saadut hajakokojen massat on esitetty taulukossa 4.1. Kuormien lisäksi pyydettiin arviot rakennustelineiden pystypalkkien sijoittelusta. Pystypalkkien sijoittelulla on merkitystä kuormaa

kantavien rakenteiden sijoitteluun ja toisekseen tietoa voidaan käyttää telinekuormien tarkastuslaskelmiin.

Taulukko 4.1. *Telinetoimittajalta saadut telinekuormat kuudelle hajakoolle.*

Syklonikoko	CW3L	CW3XL	CW6L	CW7XL	CW9L	CW9XL
Telinekuorma, kg	1305	1566	4252	6900	13200	15400

Rakennustelineiden tehtävä on mahdollistaa syklonin sisäseinän muuraaminen kauttaaltaan. Tästä syystä rakennustelineiden koko on verrannollinen syklonin seinäpinta-alaan. Telineillä tulee olla työskentelytasoja noin kahden metrin välein korkeussuunnassa, koko syklonin kehän matkalla. Myös yläosan kapeneva osa muurataan ja lisäksi telineitä voidaan hyödyntää keskusputken vaihdossa, joten syklonin yläosassa tarvitaan ylimääräisiä tasorakenteita.

Rakennustelineiden massaa ei ole perusteltua arvioida lioitellun tarkasti koko tuoteperheelle, sillä rakenteiden mitoituksessa on joka tapauksessa oltava reilusti varmuutta. Riittävä tarkkuus on, että telinetoimittajalta saatujen hajakokojen väliin jäävien kokoluokkien telinekuormat ovat linjassa hajakokojen kuormien kanssa, kun otetaan huomioon syklonin seinäpinta-alan suhteellinen kasvu.

Tätä varten telinetoimittajalta saadut kuormat asetettiin graafiin, jossa x-akselilla on syklonin halkaisija ja y-akselilla telineiden massa. Valmiiden kuormien välille interpoloitiin taulukkolaskentaohjelmalla sopiva eksponenttifunktio. Eksponenttifunktion avulla saadaan arvioitu telinekuorma syklonin halkaisijan funktiona. Interpoloimalla saadut telinekuormat on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 4.2. *Telinetoimittajalta saatujen kuormien avulla ekstrapoloidut telinekuormat kaikille kokoluokille.*

Kokoluokka	L (kg)	XL (kg)
CW1	750,3	846,7
CW2	961,1	1084,5
CW3	1305,0	1566,0
CW4	1577,7	1780,2
CW5	2194,5	2476,3
CW6	4252,0	3445,8
CW7	4614,2	6900,0
CW8	6972,3	7867,6
CW9	13200,0	15400,0

Taulukossa esitetyt kuormat ovat riittävän tarkkoja arvioita pienemmillä koilla, joissa palkkien paino ei lyhyemmistä jänneväleistä johtuen nouse vielä liian suureksi. Tämä toteamus voidaan tehdä, koska skaalan suuremmasta päästä olevan, alkuperäisen CW7L kokoluokan osien massat tunnetaan. Isommilla kokoluokilla osien painon

merkitys suunnittelukriteerinä kasvaa, jolloin rakenteen lujuuden varmuudesta on tingittävä. Isommissa kokoluokissa rakennustelineiden massat ja niiden aiheuttamat kuormat on siten syytä tarkastella paremmin.

4.1.2 Standardit ja suunnitteluohjeet

Huoltotason tarkemman tuotemäärittelyn yhteydessä haluttiin myös suorittaa aihepiiriin liittyviä standardeja ja suunnitteluohjeita koskeva tarkastelu. Huoltotason kategorisointi tietynlaiseksi tuotteeksi ei ole täysin yksiselitteinen tapaus, sillä kyseessä on sekä alhaalta tuettu, että ylhäältäpäin vajereilla kannateltava rakenne.

Huoltotaso päädyttiin oletamaan periaatteessa sen päälle kasattavien rakennustelineiden jatkeeksi, jolloin telineitä koskevia standardeja voitaisiin soveltaa myös huoltotason tapauksessa. Valmiista komponenteista kasattavia, väliaikaisia rakennustelineitä koskevat standardit EN-12810 ja EN-12811. Huoltotason koskevat, standardin sisältämät ohjeet ja määräykset on listattu liitteessä B.

Standardiselvityksen pohjalta ei ryhdytty konkreettisiin toimenpiteisiin, sillä jo olemassa oleva huoltotaso täytti standardin määrittelemät vaatimukset rakenteensa puolesta. Joitakin, esimerkiksi osien merkitsemistä koskevia vaatimuksia ei tämän työn puitteissa huomioitu. Selvityksen perusteella osataan kuitenkin varautua mahdollisiin toimenpiteisiin, mikäli asiakas vaatii huoltotason validointia rakennustelinestandardien mukaiseksi.

4.2 Tuoteperheen määrittely

Huoltotasotuoteperheen määrittelyä ohjaavat kokoluokkakohtaiset suunnittelukriteerit, sekä toisaalta tuoteperheen tehokkaaseen ja selkeään toteutukseen vaikuttavat seikat. Tuotteen kaikkien kokoluokkien tulee täyttää niille asetetut vaatimukset, mutta tuoteperheen luomiseen käytetty työmäärä ei saa kasvaa liian suureksi, jolloin riskinä on, että tuote jää viimeistelemättömäksi tai kannattamattomaksi. Suunnitelmallisen tuoteperheen määrittelyn tarkoituksena on määritellä rakenne kaikille kokoluokille huomattavasti pienemmällä työmäärällä, kuin jos kokoluokat suunniteltaisiin yksitellen.

Yksittäisen kokoluokan, eli tuoteperheen variantin vaatimukset syntyvät lähtötiedoista. Telinekuormien perusteella tiedetään kultakin variantilta vaadittava kuormankantokyky. Kaikkia kokoluokkia koskeva toinen suunnittelukriteeri on siirreltävien osien massa. Ilman apuvälineitä siirrettävän taakan massa saisi olla korkeintaan 40 kg, kun asentajina toimii nostotyöhön tottuneita työmiehiä [37, s. 40]. Massarajoite koskee etenkin pitkiä pääkannatin- ja poikittaistukipalkkeja.

Huoltotason ominaispiirteitä ovat runsas yksityiskohtien määrä ja pitkä osaluettelot. Yksittäisestä kokoluokasta johdettavassa, bottom-up -tyyppisessä tuoteperheessä

on vaarana yksityiskohtaisuuden kasvaminen entisestään hankalasti hallittavaksi kokonaisuudeksi, jonka ylläpito ja konfigurointi tulisi olemaan työlästä. Tästä syystä ensisijainen painotus tuoteperheen määrittelyssä on osien ja funktionaalisten elementtien vakioinnissa. Tätä strategiaa tukee myös se, että pienen tuotantovolyymien vuoksi materiaalikustannusten minimointi ei ole merkittävä suunnittelukriteeri. Lievästi ylimitoitettujen rakenteiden käyttö tuoteperheen pienimmissä koissa on siten sallittua, mikäli se palvelee selkeän ja loogisen tuoterakenteen tavoitetta.

Suunnittelujärjestelmän toteutuksen kanssa rinnakkain saatiin toteutettavaksi projektille toimitettava CW54L-kokoluokan syklonin huoltotaso. Kappaleessa 3.5 määritellyn työjärjestyksen mukaisesti, voitiin toimitusprojektin yhteydessä tuottaa myös järjestelmän toteuttamisessa hyödynnettävää materiaalia. Tuotemäärittelyn kannalta toimitusprojektin yhteydessä toteutettiin lujuustarkastelu ja rakenteiden uudelleenarviointi aikaisempaa pienemmälle kokoluokalle.

Pienemmässä kokoluokassa voitiin tehdä joitakin rakennetta yksinkertaistavia ratkaisuja. Muutokset kohdistuivat kuormaa kantaviin osiin ja niitä varten tehtiin tarvittavat lujuuslaskennat. Pienempään kokoluokkaan tehtiin seuraavat muutokset verrattuna aiempiin rakenteisiin:

- Pääkannatinpalkkeina toimivat ristikkorakenteet korvattiin yksinkertaisilla, riittävän lujilla alumiinisilla suorakaidepalkkeilla.
- Pääkannatinpalkkien keskikohdan pulttiliitoksesta luovuttiin, koska lyhyempiä ja kevyempiä palkkeja pystyy liikuttelemaan kokonaisena syklonin ja tulokanavan sisällä.
- Alumiiniset poikittaistukipalkit korvattiin vastaavilla teräsosilla. Koska palkit ovat lyhyempiä, voidaan ne massarajoitteen puitteissa tehdä myös lujemmasta, halvemmasta ja valmistusteknisesti yksinkertaisemmasta teräksestä.
- Kulmakanavan päälle tulevan tukipalkin rakenne pidettiin muuten samana, mutta palkissa käytetyt teräsprofilit vaihdettiin pienempiin.

Kokoluokkien suuren vaihteluvälin vuoksi joidenkin tukirakenteiden osien vakiointi koko tuoteperheen kattavaksi ratkaisuksi ei ole järkevää. Esimerkiksi edellä mainitussa toimitusprojektissa alumiinisen ristikkorakenteen säilyttäminen pääkannatinpalkkeissa olisi ollut lujuusteknisesti karkeasti ylimitoitettu ratkaisu. Määrittelyä voidaan kuitenkin helpottaa jakamalla tuoteperhe pienempiin osiin, joiden sisällä voidaan käyttää yhteneviä rakenteita. Tuoteperhe jaettiin kolmeen osaan:

- Pienet koot: CW3, CW4 & CW5
- Keskisuuret koot: CW6 & CW7

- Suuret koot: CW8 & CW9

Kokoluokkiin jako perustuu aikaisemmin toteutettujen, CW7-kokoluokan huoltotasojen, sekä määrittelyn yhteydessä toteutettavan CW4-kokoluokan huoltotason rakenteiden perusteella tehtyyn arviointiin. Keskipöytä huoltotasoissa voidaan käyttää CW7:n rakenneratkaisuja, eli ristikkorakenteesta koostuvaa pääkannatinta ja alumiinisia poikittaistukia. Vastaavasti pienissä koissa voidaan käyttää projektille määritellyn CW4:n ratkaisuja, eli yksittäisistä alumiinipalkeista koostuvia pääkannattimia, sekä hiiliteräksisiä poikittukia. Tulokanavan kokoluokat L ja XL huomioidaan kannatusvaijerien pituudessa, mutta muuten tulokanavan ja sitä kautta syklonin korkeuden muutos ei vaikuta huoltotason rakenteeseen. Mitoitus kullekin kokoluokalle tehdään XL-koon mukaisen telinekuorman mukaisesti.

Suurimpien kokojen kohdalla arvioidaan aikaisemmin käytettyjen rakenneratkaisujen olevan riittämättömiä ja toisaalta yksittäisten osien massan kasvavan yli 40 kg:n rajoitteen. Suurimpien kokojen tarkempi määrittely jätetään siten odottamaan, kunnes tarvittavat ratkaisut voidaan toteuttaa toimitusprojektin yhteydessä.

Kappaleessa 2.4.3 esiteltiin kolme tasoa, joista tuoteperheen määrittely koostuu. Määrittelyn fyysistä tasoa edustavat tuoteperheen valmistus- ja kokoonpanopiirustukset. Huoltotason suunnittelun automatisointiprojektin yksi päätavoitteista on valmistusdokumentaation määrän hallinta tuoteperheen määrittelyssä, joten painopiste on fyysisen tason tuotetiedon määrän hallinnassa.

Dokumentaation määrään ja järjestelyyn voidaan puolestaan vaikuttaa osien valikoinnilla sekä tuotteen jakamisella funktionaalisiin osiin, joita hyödynnetään tuoteperheen eri kokoluokissa. Eri funktiolle kohdennetut rakenneratkaisut, sekä funktionaalinen rakenne itsessään edustavat tuotetiedon teknologista tasoa. Tuotetiedon funktionaalista tasoa taas edustaa tuoteperheen jäsenten suorituskyvylliset parametrit, eli kunkin kokoluokan kuormankantokyky.

4.3 Parametrin mallin rakentaminen

Tuotemäärittelyn kanssa rinnakkain aloitettiin parametrin Solidworks-mallin rakentaminen. Suuren osien lukumäärän vuoksi mallinnuksen oletettiin olevan hyvin työläs työvaihe, joten se tulisi aloittaa mahdollisimman aikaisin.

Huoltotason parametrin mallin alustavassa mallinnuksessa käytettiin parametrin mallinnustapaa, jossa pääkokoonpanoon sisällytetään aputasoista ja -viivoista koostuvia layout-piirteitä. Layout-piirteiden avulla voidaan johtaa kaikki osien ja alikokoonpanojen mitat ja paikoitukset. Myös alikokoonpanoissa voi olla layout-piirteitä, mutta niiden sisältämät mitat pyritään johtamaan pääkokoonpanosta.

Layout-piirteiden sisältämiä mittoja voidaan ohjata Automateworks ohjelman

avulla luodulla yksinkertaisella konfiguraattorilla. Konfiguraattoriin taulukoitiin huoltotason eri kokoluokkiin liittyviä mittoja. Mittojen lisäksi taulukoihin on mahdollista sisällyttää myös matemaattisia funktioita ja loogisia ehtoja normaalin Excel-taulukon tapaan. Konfiguraattorilla voidaan ajaa kaikkia mallin sisältämiä mittoja, myös muita kuin layout-piirteissä olevia. Tämän lisäksi konfiguraattorin avulla voidaan ottaa käyttöön, poistaa käytöstä tai vaihtaa mallin sisältämiä osia ja piirteitä.

Mallinnus aloitettiin mallintamalla tarkka kopio vanhasta CW7-kokoluokan huoltotasosta, käyttäen hyväksi valmiita 2D-piirustuksia. Pääkokoonpanoon luotiin CW7 koon mittoja vastaava layout-piirre, johon osien ja alikokoonpanojen mitat ja sijainnit sidottiin. Mallintaminen aloitettiin tukipalkit sisältävästä alikokoonpanosta. Konfiguraattorin avulla layout-piirrettä voitiin ajaa eri kokoluokkia vastaaviin mittoihin, jolloin yksittäisten osien parametrisia muutoksia voitiin testata mallinnuksen aikana.

Huoltotason rakenne jakautuu loogisiin kokonaisuuksiin, joiden perusteella jako alikokoonpanoihin voidaan suorittaa. Suurempia loogisia kokonaisuuksia, jotka voidaan erottaa omiksi alikokoonpanoiksi ovat:

- Huoltotason tukipalkit, joihin kuuluvat pääkannatinpalkit/-ristikot, poikittais-tukipalkit, ulkokehän tukipalkit sekä kiinnitystapit.
- Alumiinilankut, joihin kuuluvat etu- ja takaosan lankut, sivualueiden lankut ja kulkuaukon peitelankut.
- Kulmakanavan päälle tuleva kannatinpalkki, johon kuuluvat myös palkkiin liittyvät varusteet kuten esimerkiksi vaijerit, köydet ja siirtovaunu.

Yksittäiset osat ja pienemmät alikokoonpanot, jotka eivät suoraan kuulu mihinkään loogiseen alikokoonpanoon, voidaan sisällyttää pääkokoonpanoon. Tällaisia ovat esimerkiksi suojakaiteet, sekä asennukseen liittyvät apuvälineet ja työkalut. Myös alumiinilankkujen lukituspalkit sijoitetaan osaksi pääkokoonpanoa, jolloin alumiinilankkujen kokoonpanoon kuuluu selkeästi pelkästään alumiinilankut.

Kaikkia huoltotasoon kuuluvia osia ei ole välttämätöntä mallintaa, mikäli niiden paikka voidaan ilmaista piirustuksissa ilman tarkkaa visuaalista kuvausta. Tällaisia ovat esimerkiksi kiinnitysosat ja vaijerit.

4.3.1 Mallin ja dokumentaation toteuttaminen toimitusprojektin yhteydessä

Sopivaan ajankohtaan toteutunut toimitusprojekti tarjosi mahdollisuuden toteuttaa huoltotason parametrinen malli ja sen avulla luodut valmistuspiirustukset toimitusprojektin yhteydessä. Toteutettavan projektin kokoluokka oli CW4, eli huomattavasti pienempi kuin aikaisemmin toteutetut CW7- ja CW6-kokoluokan huoltotasot.

Rakenteen periaate säilyisi enimmäkseen samana kuin suuremmissa koissa, mutta tukirakenteiden mitoitus ja rakenneratkaisut oli määriteltävä pienemmälle koolle uusiksi. Lisäksi suurin osa valmistus-, kokoonpano- ja käyttöohjepiirustuksista täytyisi päivittää uusille mitoille. Kappaleessa 4.2 on esitelty pienempään kokoluokkaan tehdyt rakenteelliset muutokset.

Tarpeelliset muutokset tehtiin malliin, mutta myös isompaan kokoluokkaan kuuluneet, vanhojen piirustusten pohjalta mallinnetut rakenteet jätettiin piilotettuna malliin. Tällöin samassa mallissa olisi valmiina jo CW7- ja CW4-kokoluokan rakenteet, joiden pohjalta voidaan myöhemmin toteuttaa kaikki pienet ja keskisuuret kokoluokat. Kuten kappaleessa 4.2 todettiin, suuret kokoluokat jätettiin vielä määrittelemättä, jolloin niitä ei myöskään vielä mallinnettu.

Projektille toteutettavan mallinnustyön valmistuttua malli irtaannutettiin erilliseen projektikansioon ja aloitettiin projektikohtaisten valmistus- ja kokoonpanopiirustusten tekeminen. Myös piirustukset tehtiin vanhojen 2D-kuvien pohjalta, käyttäen 3D-mallin avulla tuotettuja kuvantoja, jolloin muuttuneet mitat ja rakenteelliset muutokset saatiin automaattisesti päivittymään uusiin piirustuksiin. Mallin ja piirustusten lisäksi projektille laadittiin myös täydellinen osaluettelo vanhojen projektien osaluettelon pohjalta.

4.4 Jatkokehittely ja jalostaminen suunnittelujärjestelmäksi

Projektimallin toteutuksen valmistuttua malli ja piirustukset kopioitiin takaisin työkansioon geneeriseksi parametriseksi malliksi. Projektille mallinnettujen uusien piirteiden ohjautuvuus muun parametriikan mukana tarkastettiin ja korjattiin tarvittaessa.

Jatkokehittelyvaiheen aihiona oli yksinkertainen konfiguraattori ja parametrisesti ohjautuva malli, jotka sisälsivät rakenteelliset ratkaisut kaikkiin muihin paitsi kahden isoimpaan kokoon. Lisäksi valmiina oli yhdelle koolle tehdyt täydelliset valmistuspiirustukset sekä kyseiselle kokoluokalle tehty Excel-muotoinen osaluettelo.

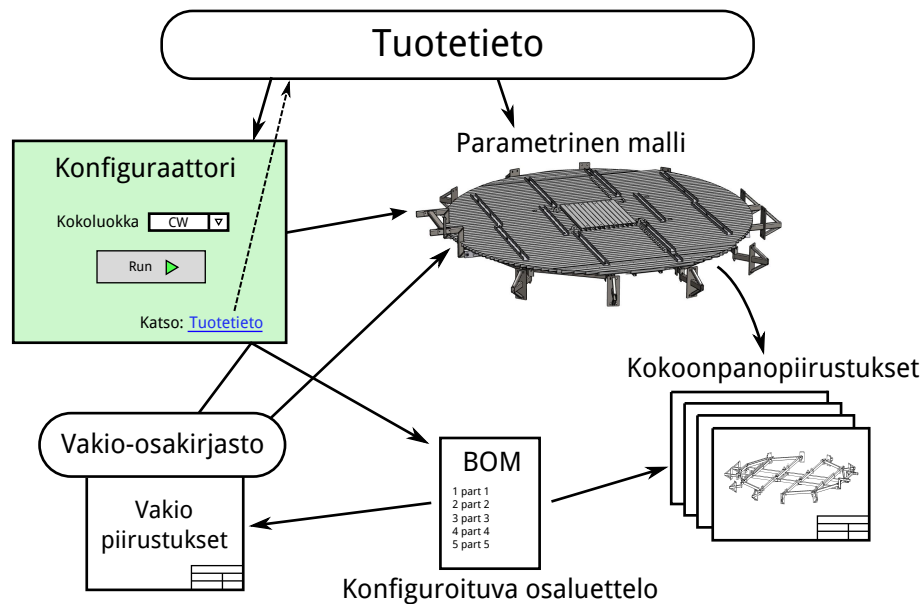
Käytössä olevilla työkaluilla on mahdollista toteuttaa monenlaisia suunnittelujärjestelmiä. Käytännössä vaihtoehtoja rajaavat tuotteen tyyppi, tuoteperheen määrittely, halutut räätälöintimahdollisuudet ja ohjelmistojen rajoitteet. Erilaisia suunnittelujärjestelmien luokitustapoja on listattu luvussa 2.6. Huoltotason suunnittelujärjestelmän tavoitteiden määrittelyssä päädyttiin kappaleessa 3.4 esitettyihin tavoitteisiin.

Kappaleessa 3.2.2 puolestaan esiteltiin huoltotason tuotetieto. Tuotetiedosta toimitettavaan dokumentaatioon kuuluu ainakin seuraavat kokoluokkakohtaiset dokumentit:

- Osien ja alikokoonpanojen valmistuskuvat. Noin 100 kpl.

- Laajempien kokonaisuuksien kokoonpano- ja käyttöohjekuvat. 8 kpl.
- Osaluettelo, jossa eri sivuille jaoteltuna alumiini- ja teräsosat, sekä kiinnitys-, nosto- ja muut tarvikkeet.
- Käyttö- ja turvallisuusohjeet.

Käytössä olevat ohjelmistot mahdollistavat suunnittelujärjestelmän lopullisen toteutuksen useilla vaihtoehtoisilla tekniikoilla. Edellä esitettyjen päätavoitteiden perusteella ja ohjelmistojen rajoitteet tuntien, tehtiin päätös siitä, mihin suuntaan järjestelmää lähdettiin jalostamaan. Lopullinen järjestelmä muodostui kuvan 4.1 mukaisista osista.



Kuva 4.1. Kaaviokuva suunnittelujärjestelmän osa-alueista.

Seuraavissa kappaleissa on esitelty järjestelmän komponenttien tarkemmat tehtävät ja toteuttamistavat.

4.4.1 Vakiodokumentit

Suurin osa komponenttien ja alhaisen tason alikokoonpanojen malleista ja valmistuspiirustuksista voidaan vakioida. Vakio-osat siirretään erilliseen kirjastoon, jossa niitä pääsee muokkaamaan vaan rajattu, vakio-osia ylläpitävä käyttäjäjoukko. Vakio-osiin liitetään tunniste, joka pysyy aina samana. Vakio-osista poiketen projektikohtaisille osille määrätään aina uusi osanumero, vaikka täsmälleen vastaavaa osaa olisi käytetty aikaisemmassa projektissa. Täten esimerkiksi muutosten hallinta on merkittävästi helpompaa vakio-osien tapauksessa.

Tukirakenteissa käytettyjen palkkien materiaali ja poikkileikkauksen mitat muuttuvat kokoluokkakohtaisesti. Selkeyden vuoksi eri poikkileikkausprofiilin omaaville

palkeille tehdään erilliset vakio-osapiirustukset. Eri pituiset, mutta saman poikkeileikkauksen omaavat palkit voidaan sisällyttää samaan kuvaan siten, että muuttuva mitta korvataan symbolilla, jonka arvo eri kokoluokissa ilmoitetaan kuvaan sisällytetyssä taulukossa.

Joidenkin osien mitat saattavat muuttua projektikohtaisesti, mikäli esimerkiksi syklonin muurauspaksuus, tai jokin muu mitta poikkeaa tavanomaisesta. Tässä tapauksessa vakio-osa voidaan helposti vaihtaa projektikohtaiseksi osaksi, tehdä osaan tarvittavat muutokset ja antaa osalle projektiosanumero. Projektikohtaisten muutosten tarve arvioidaan kuitenkin vähäiseksi.

Laajempia kokonaisuuksia käsittelevät kokoonpano- ja käyttöohjepiirustukset jätetään projektikohtaisiksi kuviksi. Kuvista tehdään kuitenkin valmiit, kokoluokka-kohtaiset piirustukset. Piirustukset tarkistetaan aina uuden projektin tapauksessa, mutta tavoite olisi, että muutoksia tai korjauksia ei tarvitsisi tehdä. Kokemusten mukaan piirustusten kuvantojen päivittyminen mallia kopioitaessa ei kuitenkaan aina toimi optimaalisesti, joten korjaustarvetta ei välttämättä saada täysin eliminoitua.

4.4.2 Parametrinen malli ja konfiguraattori

Solidworks -mallin parametrinen ohjautuvuus voidaan toteuttaa kahdella vaihtoehdoisella tavalla. Merkittävin ero tekniikoiden välillä liittyy tapaan ohjata parametrin mallin sisältämiä osia, mittoja ja piirteitä, eli konfiguroida tuotetta. Parametrin mallin ohjaamiseen käytettävä määrittelytieto voidaan sisällyttää joko erilliseen konfiguraattoriin tai malliin itseensä.

Konfiguraattoriin sisällytettynä kokoluokkakohtaiset mitat, sekä osia ja piirteitä koskevat säännöt taulukoidaan konfiguraattorina toimivaan Excel-tiedostoon, josta ne ajetaan Solidworks-malliin Exceliin liitettävän Automateworks-laajennuksen avulla. Konfiguraattori koostuu kolmesta perusosasta: konfiguraattorisivusta, data-sivuista ja komentosisivusta.

Data for model configuration

Cyclone size: CW4 XL Inlet

Filename prefix: 111222_ Main assembly file: 111222_Platform.SLDASM

Project folder path: C:\CAD_Vault\Project\Platform for Cyclone
(Without "\\" at the end)

Open assembly drawings for inspection after model generation (WARNING: Takes a long time and may slow down performance!)

Kuva 4.2. Esimerkki konfiguraattorisivun sisällöstä.

Konfiguraattorisivu toimii konfiguraattorin käyttöliittymänä. Konfiguraattorisivulle voidaan sijoittaa arvojen syöttämistä varten tekstikenttiä, pudotusvalikoita ja

valintaruutuja. Lisäksi käyttöliittymää voidaan tukea ohjeilla, kuvilla ja interaktiivisilla palautteilla, jotka vaihtuvat syötteen mukaan. Kuvassa 4.2 on esimerkki konfiguraattorisivun elementeistä.

Datasivut sisältävät taulukkomuodossa ohjattavan mallin mitat ja loogiset ohjeet siitä, mitä osia ja piirteitä malliin halutaan ajaa. Tyypillinen tapa on sijoittaa vaihtoehdot mitat lohkokon, josta käyttöliittymän valintojen perusteella valitaan arvo tietyltä riviltä. Datasivuja voi olla useita, mikä auttaa jäsentelemään määrittelytiedon selkeämmin, mikäli on kyse hyvin monimutkaisesta mallista. Logiikan rakentamisessa voidaan käyttää kaikkia taulukkolaskentaohjelman toimintoja, kuten ehtolauseita, monimutkaisia matemaattisia lausekkeita ja ohjelmoitavia makroja. Kuvassa 4.3 on esimerkki datasivun sisältämästä taulukoinnista.

	Cyclone pressure		Aluminium	First support
4	part diameter	Tube distribution	planks in middle	angle
Selected Values ->	9000	2,571	20	50,14
CW3	5000	3,75	16	58,13
CW4	7000	3,33	16	51,67
CW5	8000	2,90	16	45,00
CW6	9000	2,57	20	50,14
CW7	10000	2,25	22	48,38
CW8	11000	2,00	26	51,00
CW9	12000	1,80	30	53,10

Kuva 4.3. Esimerkki datasivun sisällöstä.

Konfiguraattorin komentosisivu koostuu komentoriveistä, jotka konfiguraattori ajaa parametriseen malliin. Komentorivit koostuvat komennosta, komennon kohteesta ja arvosta. Komentoja ovat muun muassa kokoonpanon tai osan avaaminen, mittaparametrin muuttaminen, osan tai kokoonpanon ottaminen käyttöön tai poistaminen käytöstä, konfiguraation vaihtaminen, mallin päivittäminen ja attribuuttien, kuten osan materiaalin vaihtaminen. Komennon kohteena voi olla osa, kokoonpano, mittaparametri tai piirre. Ajettavan komennon arvo määritellään datasivuilla määritellyn logiikan avulla ja linkitetään komentosisivun arvokenttään. Kuvassa 4.4 on esimerkki komentosisivusta.

Command	SolidWorks Object	Value	Status	Comment
open	C:\CAD_Vault\Project\Platform for Cyclone\111222_Maintenance_Platform-CMP.SLDASM			
configuration	111222_Maintenance_Platform-CMP.SLDASM	CW5		Configuration for main assembly
rebuild		TRUE		
goto		12		Skip following lines if drawing number are not set
attribute	Drawing_no@@Aluminium_Planks-CMP-1	P002323		Drawing number for plank cutting drawing
attribute	Drawing_no@@Support_Beams-CMP-1	P001212		Drawing number for support beam assembly dwg
attribute	Drawing_no@@Dummy1-CMP-1	P006767		Drawing number for assembly tools drawing

Kuva 4.4. Esimerkki komentosisivun sisällöstä.

Toinen tapa toteuttaa järjestelmä, on sijoittaa määrittelytieto suoraan parametriseen malliin. Mallissa oleville osille ja alikokoonpanoille voidaan luoda konfiguraatioita, joiden avulla niistä saadaan vaihtoehtoisia variantteja. Konfiguraatio voi vaikuttaa yhteen tai useampaan mittaan tai piirteeseen mallissa. Konfiguraatiotoimin-

noilla voidaan muuttaa osien ja alikokoonpanojen mittaparametreja, vaihtaa alikokoonpanon sisältämien osien konfiguraatiota ja ottaa käyttöön tai poistaa käytöstä piirteitä tai kokoonpanon osia.

Configuration Name	Sketch1
	D5
CW1	3351.1mm
Default<As Welded>	3351.1mm
CW2	3877.2mm
< Creates a new configuration. >	

Kuva 4.5. Esimerkki Solidworks malliin sisälletystä konfiguraatiotaulukosta.

Jokaista mallin vaihtoehtoista varianttia varten on luotava oma konfiguraationsa, minkä takia konfiguraatioita ei voi käyttää, jos esimerkiksi jotakin mitta halutaan muuttaa portaattomasti. Myös monimutkaisten logiikoiden toteuttaminen konfiguraatio toiminnolla on hankalaa. Vastaavasti konfiguraatiot toimivat hyvin tapauksissa, joissa esimerkiksi kokoonpanon tiettyyn varianttiin sisältyy aina yksiselitteisesti tietynlaiset osat. Tällöin kokoonpanon sisältämät osat saadaan vaihtumaan kokoonpanon konfiguraatiota vaihtamalla, ilman erillistä konfiguraattorin ajamista.

Järjestelmän toteutustavaksi valittiin jälkimmäinen tapa, jossa määrittelytieto sijoitetaan enimmäkseen malliin itseensä. Järjestelmälle luodaan konfiguraattori, mutta sen tarkoituksena on toimia järjestelmän käyttöliittymänä. Konfiguraattorin etusivulle sijoitetaan valinta huoltotason kokoluokasta ja ohjeita järjestelmän käyttöön. Datasivuille tulee mallin ohjaamista varten pelkästään toiminto, jolla etusivulla annettu valinta muunnetaan komentosivua varten sopiviksi komennoiksi, joilla avataan mallin pääkokoonpano ja vaihdetaan sen konfiguraatio.

Konfiguraatiot toimivat hyvin, kun tietystä kokoonpanosta tehdystä piirustuksesta halutaan tehdä useampi versio, sillä piirustuksien sisältämät kuvannot liittyvät aina tiettyyn konfiguraation. Toteutustapa helpottaa työstä kokoonpanokuvien laatimista eri kokoluokille. Piirustuksille saadaan siis hyvät aihiot kopioimalla alkupeäinen piirustus kokoluokkien määrää vastaavaksi määräksi kopioita ja vaihtamalla näistä kuvantojen konfiguraatiot vastaamaan kutakin kokoluokkaa. Tehtäväksi jää tällöin kuvantoihin liittyvien mittojen ja osanumeroiden mahdollinen korjaaminen ja päivittäminen, sekä kuvantojen mittakaavan tai arkin koon muuttaminen.

Konfiguraatiot luodaan pääkokoonpano mukaan lukien kaikille kokoluokan mukaan muuttuville osille ja kokoonpanoille. Kokoluokkien L- ja XL-variaatioille ei luoda erillisiä konfiguraatioita, sillä niiden rakenteet on määritelty kannatinvaijereiden pituutta lukuun ottamatta samoiksi. Tehtäväksi jää siis kuuden piirustuksen muokkaaminen seitsemälle kokoluokalle, eli yhteensä 42 piirustusta. Eri kokoluokkien piirustukset ovat pääpiirteittäin samanlaisia, joten työ nopeutuu merkittävästi ensimmäisen muokkauksen jälkeen.

4.4.3 Osaluettelo

Excel-muotoinen osaluettelo liitetään osaksi konfiguraattoria, koska myös osaluettelon tulisi generoitua automaattisesti vastaamaan oikeata kokoluokkaa. Täten kaikki mallin generointiin vaadittavat toimenpiteet voidaan suorittaa yhden käyttöliittymän avulla. Osaluettelon generointi tapahtuu siten, että käyttäjä syöttää konfiguraattorille oikean kokoluokan, sekä projektikohtaiset tiedot, kuten työnumeron ja dokumenttien laatijan tunnisteiden ja painaa tämän jälkeen painiketta, joka luo valmiin osaluettelon erilliseksi dokumentiksi. Lopulliseen osaluetteloon ei täten jää viitteitä konfiguraattorista.

Osaluettelon konfigurointi perustuu konfiguraattorin datasivuille taulukoituihin sääntöihin siitä, mitkä osat kuuluvat mihinkin kokoluokkaan. Lisäksi taulukoidaan osiin liittyviä attribuuttitietoja, kuten kokoluokkakohtaiset kappalemäärät ja massat sekä kokoonpanokuvissa käytetyt osanumerot. Massat ja muut tarpeelliset attributit saadaan selvitettyä parametrinen mallin avulla. Konfiguraattorin yhdelle välilehdelle kopioidaan valmis osaluettelo vanhasta projektista. Osaluettelon solut linkitetään taulukoituihin sääntöihin siten, että osaluettelon tiedot päivittyvät etusivun syötteiden mukaan valittua kokoluokkaa vastaavaksi valmiiksi osaluetteloksi.

Eri kokoluokkien kokoonpanopiirustusten laatiminen on työläs prosessi. Työstä saadaan systemaattisempaa asettamalla osaluettelon nimikkeille kiinteät osanumerot, jotka osoitetaan piirustuksissa pallomerkinällä. Lisäksi osiin, jotka toteuttavat saman funktion, mutta kokoluokasta riippuen erilaisella rakenteella, voidaan viitata samalla numerolla.

Edellä kuvattu toteutus tarkoittaa, että osaluettelon numerointi juoksee pienemmästä suurempaan, mutta ei tasaisin inkrementein. Ratkaisun vuoksi osaluettelon selkeys kärsii hieman, mutta se tukee järjestelmän ylläpidettävyyttä, sillä myös piirustuksissa osien numerointi on staattinen. Osanumerot sekä piirustuksissa, että osaluettelossa ovat kummatkin pelkästään manuaalisesti muutettavissa.

Standard parts

Selected: CW4
Diameter: 5000

Filter criteria: CW4
has: x

Aluminium parts		(Some quantity cells may have IF functions)				Part applied in...								
Part name	Fixed Part list number	Manufacturing code	Qty	Part mass in selected configuration	CW1	CW2	CW3	CW4	CW5	CW6	CW7	CW8	CW9	
Aluminium bridge beam	1	FISDD-01576	2	0	x	x	x	x	x					
Aluminium truss 1	1	FISDD-01609	2	0						x	x	x	x	
Aluminium truss 2	2	FISDD-01610	2	0						x	x	x	x	
Connecting plate for truss	3	FISDD-01604	0	0					x	x	x	x	x	
Connecting beam for truss	4	FISDD-01605	0	0					x	x	x	x	x	

Kuva 4.6. Ote osataulukosta.

Automaattisesti konfiguroituvan osaluettelon toteutuksessa hyödynnettiin Excel

taulukon suodatustoimintoa ja yksinkertaisia makroja. Kaikki tuoteperheessä käytössä olevat vakio-osat ja alikokoonpanot listattiin taulukoihin riveittäin. Osat jaoteltiin alkuperäisen osaluettelon tavoin alumiini- ja teräsosiin, alumiinilankkuihin, köysiin, vaijereihin, vaneriosiin sekä muihin tarvikkeisiin ja kiinnitysoosiin. Taulukoiden pystysarakkeisiin listattiin kaikki huoltotason kokoluokat. Kuhunkin kokoluokkaan kuuluvat osat merkitään x-kirjaimella osaa edustavalle riville, kokoluokkaa edustavaan sarakkeeseen.

Suodatintoiminnon avulla taulukosta voidaan kopioida erilleen ne rivit, joissa on x-kirjain sarakkeessa, joka vastaa konfiguraattorin käyttöliittymäsivulla tehtyä kokoluokan valintaa. Suodatintoiminto ei itsessään osaa päivittää erilleen kopioitua listaa automaattisesti, kun kokoluokkaa muuttaa, joten toiminnallisuuden huomiseen on käytettävä kahta makroa, joista toinen tarkkailee valittua kokoluokkaa kuvaavan solun muuttumista ja ajaa syötteen saadessaan toisen makron, joka päivittää suodatetun listan.

Automaattisesti generoituvan osaluettelon määrittely toimii pohjana tuoteperheen määrittelylle, johon palataan viimeistelyvaiheessa. Konfiguraattorin ylläpitoon kuuluu, että osaluettelon generoitumista ohjaavat säännöt vastaavat virallista määrittelydokumentaatiota. Järjestelmän luontivaiheessa määrittely voidaan tehdä konfiguraattoriin, josta se kirjoitetaan puhtaaksi varsinaiseksi määrittelydokumentaatioksi.

4.4.4 Tekninen laskenta ja muu tuotetieto

Kaikille kokoluokille on suoritettava riittävän tarkka lujuustarkastelu, jotta rakenteessa käytetyt ratkaisut voidaan perustella ja tuotetta käyttävälle taholle voidaan määritellä tuotteen turvallisen käytön edellyttävät rajoitteet. Sallittuja kuorman arvoja tarvitaan myös käyttöohjedokumentaatioon.

Projektin yhteydessä toteutettiin tekninen laskenta CW4 kokoluokan huoltotasolle. Aikaisempien projektien yhteydessä puolestaan on toteutettu laskenta CW7 kokoluokan huoltotasolle, jota käytettiin pohjana myös CW4:n laskennassa. Koska keskikokoisten kokoluokkien ryhmän lujuuslaskut on tehty ryhmän suurimmalle koolle ja ryhmän sisällä käytetään samantyyppisiä kannatinrakenteita, voidaan keskikokoiset huoltotasot olettaa määritellyiksi lujuuden osalta.

Toimitusprojektin yhteydessä toteutettu laskenta CW4:lle ei puolestaan edusta pienten kokoluokkien ryhmän suurinta varianttia, joten laskenta täytyi laajentaa myös CW5:n mitoille. Tämän yhteydessä laskentaan lisättiin myös CW3:n mittoja vastaavat tulokset, sekä kirjoitettiin laskentapohja puhtaaksi, sekä lisättiin selkeyttäviä kuvia ja kaavioita.

Konfiguraattorin käyttöliittymäsivulle lisättiin hyperlinkki verkkolevylle luotuun kansioon, johon koottiin laskentadokumentit, sekä muita valmistusdokumentaation

laatimiseen ja tuotteeseen perehtymiseen liittyviä aineistoja. Muita kansioon lisättyjä dokumentteja olivat muun muassa osto-osien ohjelehdet, vanhat käyttöohjeet sekä tukirakenteiden layout-piirustus.

4.5 Viimeistely

Järjestelmän viimeistely jäi aikataulun venymisen vuoksi tämän työn osalta enimmäkseen suunnittelutasolle. Viimeistelyvaiheen tehtäviin kuuluu tärkeimpänä tehtävänä vakio- ja kokoonpanopiirustusten, osaluettelon tietokannan sekä muun projektitoimituksissa luovutettavan dokumentaation valmiiksi tekeminen. Tämän lisäksi järjestelmän käytettävyys ja ohjeistus tulisi viimeistellä käyttäjätstien avulla. Etenkin järjestelmän väärinkäytöstä johtuvien virheiden mahdollisuus olisi pyrittävä eliminoimaan.

Viimeistelyn osalta järjestelmä saatiin nyt aikataulun puitteissa vain esittelykelpoiseen vaiheeseen. Tämä tarkoittaa, että kokoonpanokuvat valmisteltiin vain yhden koon osalta, konfiguraattorin käyttöliittymäsivulle sijoitettiin oleelliset valinnat ja syötekentät sekä osaluettelon tietokantaan taulukoitiin vain osa eri kokoluokkien sisältämistä osista.

5 TULOSTEN TARKASTELU JA JATKOTOIMENPITEET

Työn puitteissa toteutettiin leijukerroskattilan sykloniin asennettavalle huoltotasolle tuoteperheen määrittely, sekä parametriseen CAD-malliin perustuva suunnittelujärjestelmä. Työn lähtökohtana oli yhdelle syklonikoolle toteutetun huoltotason suunnittelutieto, valmistusdokumentaatio sekä käytöstä saadut kokemukset. Tuoteperheen määrittelyn lähtötietona puolestaan oli syklonituoteperheen dimensiot, sekä niiden avulla määritetyt, tasolle kohdistuvat kuormat.

Työn tuloksia on tarkasteltava kahdella tasolla. Ensimmäkin, suunnittelujärjestelmällä saavutettuja hyötyjä on verrattava määrittelyvaiheessa asetettuihin tavoitteisiin. Myös yleisluontoisemmat seikat, kuten järjestelmän helppokäyttöisyyden ja toimintavarmuuden tulisi olla kunnossa. Toisekseen, suunnittelujärjestelmän toteuttaminen tulisi pystyä perustelevaan myös järkevänä strategisena toimenpiteenä, jolloin vaakakupeissa painavat monet tekijät, kuten järjestelmän toteuttamiseen ja ylläpitoon käytettävä aika ja työpanos, järjestelmän kyky vastata tulevaisuudessa tehtäviin muutoksiin sekä erilaisten rajoitteiden takia tehdyt kompromissit.

Kappaleessa 3.4 listattiin järjestelmän kolme päätavoitetta. Seuraavissa kappaleissa tutkitaan yksitellen järjestelmän ja tuotemäärittelyn vastaavuutta kyseisiin tavoitteisiin. Kappaleessa 5.4 pohditaan järjestelmän strategista merkitystä ja perusteltavuutta. Tavoitteiden toteutumisen kautta otetaan myös kantaa luvussa 1 esitettyihin tutkimuskysymyksiin.

5.1 Tavoite: Manuaalisen suunnittelutyön minimointi

Yksi järjestelmän päätavoitteista oli projektille tehtävään toteutukseen liittyvän manuaalisen työn minimointi. Ideaalitapauksessa konfiguraattorille voitaisiin syöttää pelkästään projektin tiedot ja syklonin kokoluokka, joiden perusteella projektikohtainen dokumentaatio luodaan automaattisesti. Mikäli järjestelmä toimii luotettavasti, ei dokumentaation laatijan tarvitsisi ennestään tuntea tuotteen yksityiskohtia.

Objektiivinen vertailu työn määrästä suunnittelujärjestelmän avulla tai ilman on hankalaa, koska työn määrä riippuu huomattavasti siitä, onko kyseistä kokoluokkaa toteutettu aikaisemmin. Mikäli uudelle projektille luotava dokumentaatio tehdään aikaisemmin toteutettuun kokoluokkaan, voidaan dokumentaatio kopioida vanhasta projektista. Projektikohtaiset tiedot joutuu tosin tällöinkin päivittämään

dokumentteihin manuaalisesti. Tietyn kokoluokan toteuttaminen ensimmäistä kertaa vaatii puolestaan huomattavasti suuremman työmäärän, johon sisältyy vaativia tehtäviä, kuten rakenteiden mitoittamista.

Lähtökohtaisesti järjestelmällä pyrittiin eliminoimaan manuaalinen suunnittelu-työ kokonaan. Lopullisen suunnittelujärjestelmän avulla projektidokumentaation luominen koostuu seuraavista vaiheista:

1. Mallin ja konfiguraattorin kopioiminen projektikansioon. Tiedostoille annetaan etuliitteeksi projektinumero.
2. Konfiguraattorin avaaminen, sekä etuliitteen ja projektikansio-polun syöttäminen konfiguraattoriin.
3. Tuotteen kokoluokan valitseminen ja konfiguraattorin ajaminen, eli projektimallin generoiminen.
4. Projektitietojen syöttäminen osaluettelon generointiosioon.
5. Osaluettelon generoiminen ja tallentaminen.

Suurin osa huoltotason osista on vakio-osia, jolloin niiden piirustuksia ei tarvitse projektin yhteydessä tarkastaa. Valmistuspiirustuksista ainoastaan alumiinilankkujen sahauspiirustus ei ole vakioitu. Sahauspiirustus ja muut kokoonpanokuvat on luotu etukäteen, joten ne vaativat vain silmämääräisen tarkastuksen piirustusten oikein generoitumisesta.

Järjestelmän ansiosta manuaalinen työ koostuu siis järjestelmän valmistelusta, syötteiden antamisesta ja tulosten tarkastamisesta. Työvaiheista jää siten pois kuvien ja osaluettelon muokkaaminen, ainakin siinä tapauksessa, että korjaustarpeita ei ilmene. Mikäli korjaustarpeita ilmenee, voidaan ne kirjata suunnittelujärjestelmän kehityskohteisiin ja pyrkiä korjaamaan niin, ettei korjauksia tarvitsisi jatkossa tehdä.

Suunnittelujärjestelmän toteuttamisvaiheen aikana laadittiin dokumentaatio projektille, jossa käytettiin huoltotasosta aikaisemmin toteutettua kokoluokkaa. Työtehtävät tässä tapauksessa koostuivat enimmäkseen vanhan projektin dokumenttien kopioinnista, jäsentelystä ja piirustusten otsikkokenttien muokkaamisesta viittaamaan uuden projektin tietoihin. Tämän kaltainen tilanne vastaa periaatteessa nopeinta mahdollista tapausta, jossa projektidokumentaatio toteutetaan ilman suunnittelujärjestelmää, joskin työssä käytettiin henkilöitä, jotka eivät ennestään tunteneet tuotetta.

Dokumentaation kopioimiseen ja muokkaamiseen kului kahdelta ihmiseltä aikaa noin 7 työpäivää, eli yhteensä työn suorittamiseen kului noin 100 tuntia. Työhön kuului myös runsaasti tuotteeseen perehtymistä, sekä alkuperäisestä suunnittelusta

vastanneen henkilön konsultointia. Voidaan arvioida, että aikaisemmin vastaavan tehtävän toteuttaneilta henkilöiltä kuluisi työhön aikaan noin puolet vähemmän, eli 50 työtuntia.

Vastaavan työn voi toteuttaa suunnittelujärjestelmän avulla maksimissaan kahden työpäivän aikana yksi, ennestään tuotetta tuntematon henkilö. Täten suunnittelutyöhön käytetty aika lyheni arviolta 50 tunnista, noin 15 työtuntiin.

5.2 Tavoite: Tuoteperheen määrittelyn selkeyttäminen

Yksi huoltotasotuoteperheen määrittelyn riskeistä oli jo ennestään monimutkaisen tuoterakenteen kasvaminen hankalasti hallittavaksi. Toimitusten laadun ja myös jatkuvan kehittämisen kannalta tuoteperhearkkitehtuurin tulisi olla looginen ja selkeästi perusteltu. Huoltotason tapauksessa tärkeimmät suunnittelukriteerit olivat rakenteen kyky kantaa tarvittavien rakennustelineiden kuorma, tason komponenttien keveys ja käsiteltävyys ahtaissa tiloissa. Rakenteiden optimointi materiaalinkäytön suhteen ei ollut merkittävä kriteeri.

Suunnittelukriteerit huomioiden, tuoteperheen määrittelyä voitiin yksinkertaistaa jakamalla kokoluokat kolmeen ryhmään, joissa kussakin voitiin käyttää yhtenäisiä rakenneratkaisuja. Ryhmiä olivat pienet (CW3L-CW5XL), keskikokoiset (CW6L-CW7XL) ja suuret syklonikoot (CW8L-CW9XL). Ryhmäjako oli perusteltu sillä, että projektin lähtötilanteena toimivan CW7-kokoluokan rakenteita voitiin vielä perustellusti skaalata yksi kokoluokka alaspäin, mutta sitä pienemmissä rakenteet olisivat olleet ylimitoitettuja.

Määrittelyprosessin kannalta sopivasti ajoittunut projektitoimitus CW4-kokoiselle huoltotasolle tarjosi mahdollisuuden kehittää rakenneratkaisut pienille kokoluokille. Vastaavasti suurten kokoluokkien tarkempi määrittely jätettiin toistaiseksi odottamaan toteutuvaa projektia jostakin suurten kokojen ryhmään kuuluvasta syklonikoosta.

Merkittävin ero kokoryhmien välillä liittyy tukirakenteisiin. Pienten syklonikojen huoltotasoissa tukirakenteita voitiin yksinkertaistaa suunnittelun lähtökohtana toimineesta keskikokoisesta syklonista. Alkuperäinen alumiinisesta ristikkorakenteesta koostuneet pääkannattimet voitiin korvata pelkillä yksinkertaisilla alumiinipalkeilla. Poikittaistuet puolestaan voitiin korvata halvemmilla teräsosilla, koska lyhyemmän mittansa ansiosta ne täyttivät massakriteerin, myös painavammasta materiaalista valmistettuna.

Suurin osa huoltotason osista voitiin vakioda kirjasto-osiksi. Vakio-osat koostuvat osista joita voidaan käyttää kaikissa kokoluokissa sellaisenaan, sekä osista joissa on yksi tai korkeintaan kaksi kokoluokkakohtaisesti muuttuvaa mitta. Piirustuksissa muuttuvat mitat merkitään muuttujalla, jonka arvot eri kokoluokissa on ilmoitettu piirustukseen sisällytetyllä taulukolla.

Tuoteperheen määrittelyssä tehtyjen valintojen tuloksena rakenne joillakin kokoluokilla on materiaalinkäytön kannalta hivenen epäoptimaalinen ja lujuusteknisesti ylimitoitettu. Tällä saavutettiin kuitenkin se, että nimikkeiden määrä kasvoi alkuperäisestä tuotteesta hyvin maltillisesti. Tämä nopeutti järjestelmän kehittämistä ja tekee myös sen ylläpidosta tehokkaampaa. Toisaalta toimivan suunnittelujärjestelmän ja selkeän alustavan määrittelyn pohjalta tuotemäärittelyä on helpompi kehittää tarpeen vaatiessa yksityiskohtaisempaan suuntaan.

5.3 Tavoite: Tuotetiedon kokoaminen

Projektin tavoitteena oli myös pyrkiä eroon tilanteesta, jossa oleellinen tuotetieto oli hajallaan eri projektien tietokannoissa, sekä suurelta osin muutaman suunnittelijan muistissa. Tavoitteena oli, että projektidokumentaation laatijalla tai tuotteen jatkokehittelijällä ei tarvitsisi ennestään olla syvällistä tuntemusta tuotteesta, mutta toisaalta järjestelmän käyttö ei saisi johtaa virheellisiin toimituksiin.

Solidworks CAD-ohjelmalla mallinnettu kolmiulotteinen parametrinen malli on tehokas visualisointityökalu tuotteen kokonaisuuden hahmottamiseen. Koska huoltotason funktio ylipäätään on melko yksinkertainen kuorman kantaminen, näkee mallista nopeasti tuotteen rakenteen ja ymmärtää eri funktionaalisten elementtien tarkoituksen. Mallin ajaminen eri kokoluokkiin on nopea toimenpide, joten myös kokoluokkakohdaiset eroavaisuuden on helposti havainnoitavissa.

Suunnittelujärjestelmän konfiguraattori toimii käyttöliittymänä dokumentaation luomiseen ja myös tuotteeseen tutustumiseen. Konfiguraattorin avulla voidaan luoda 3D-malli, kokoonpanopiirustukset ja täydellinen osaluettelo halutun kokoluokan huoltotasosta. Lisäksi konfiguraattorin käyttöliittymäsivulla on linkki kansioon, joka sisältää muun muassa lujuuslaskennat eri kokoluokille, tietoa tilausosista sekä muuta yksityiskohtaisempaa tuotetietoa.

Kappaleessa 5.1 viitattiin tapaukseen, jossa dokumentaatio luotiin uudelle projektille muokkaamalla vanhan, saman kokoluokan toimituksen dokumentaatiota. Työn toteuttivat tässä tapauksessa tuotetta ennestään tuntemattomat henkilöt. Työtä hidasti merkittävästi tuotteen monimutkaiseen rakenteeseen perehtyminen sekä tarvittavan tuotetiedon etsiminen.

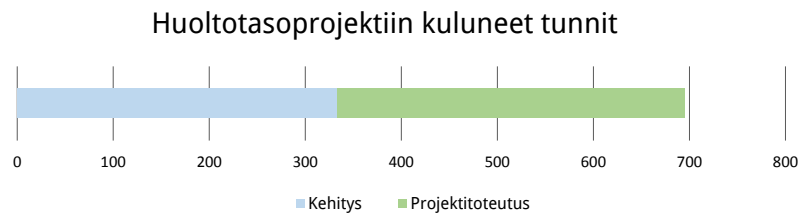
Suunnittelujärjestelmässä tarvittava tuotetieto on koottu konfiguraattoriin ja 3D-malliin, joista myös tuotteen rakenne on havainnollisesti todennettavissa. Kokoonpanopiirustusten tarkastamista lukuun ottamatta dokumentaation tuottaminen suunnittelujärjestelmän avulla ei vaadi käyttäjältä asiantuntemusta tai tuotteen tuntemista ennalta. Kahdeksan kokoonpanopiirustuksen tarkastaminen on kuitenkin syytä suorittaa kokeneen suunnittelijan toimesta. Myös kokoonpanopiirustukset ovat kuitenkin ennalta laadittuja, joten niidenkin osalta tarkastettava on vain, että kuvat koskevat oikeata kokoluokkaa ja ettei järjestelmän ajossa ole syntynyt virheellisiä

dokumentteja.

5.4 Suunnittelujärjestelmä osana räätälöintitoimintaa

Toteutetun tuoteperheen määrittelyn ja suunnittelujärjestelmän tulisi palvella systeemin räätälöinnin strategiaa ja siihen käytettyjen resurssien tulisi olla perusteluita. Oleellinen kysymys projektin arvioinnissa, on saavutettujen hyötyjen punnitseminen järjestelmän luomiseen kulutettuja ja sen ylläpitoon tarvittavia resursseja vastaan. Kaikkia järjestelmän hyötyjä, eikä toisaalta myöskään ongelmia voida todeta ilman useammasta käyttökerrasta saatuja kokemuksia. Sekä hyödyistä, että riskeistä on mahdollista ja myös hyödyllistä esittää runsaasti spekulatioita, joiden toteutuminen tosin voidaan todeta vasta riittävän kokemuksen myötä.

Järjestelmän toteuttamiseen kulunut työ määrä sen sijaan on tarkasti dokumentoitu ja yksittäisistä projektitoimituksista on olemassa kokemuksia sekä sellaisista tapauksista, joissa dokumentaatio on kopioitu vanhalla projektilta, että sellaisista, joissa on luotu kokonaan uuden kokoluokan dokumentaatio. Lisäksi huomioitavaa on, että merkittävä osuus järjestelmän toteutuksesta voitiin hoitaa toimitusprojektin yhteydessä. Projektille tehty työ on tällöin tavallaan vähennettävissä järjestelmän toteuttamiseen kuluneista tunneista siinä mielessä, että kyseinen työ olisi jouduttu tekemään joka tapauksessa, myös ilman suunnittelujärjestelmäprojektia.



Kuva 5.1. Suunnittelujärjestelmän toteuttamiseen kuluneet tunnit.

Järjestelmän toteutukseen siihen pisteeseen, kuin se projektin puitteissa saatiin toteutettua, kului aikaa yhteensä 695 tuntia. Näistä 333 tuntia kului puhtaasti kehitystyöhön ja 362 tuntia kehitystyön yhteydessä toteutettuun projektitoimitukseen. Järjestelmän kehittämiseen kuluneista tunneista yli puolet voitiin siis kohdistaa projektille. Projektidokumentaatio kehitettiin mallintamalla tason osat vanhojen AutoCAD-muotoisten piirustusten perusteella ensin Solidworksilla 3D-malliksi, josta edelleen luotiin valmistuspiirustukset Solidworksin piirustustyökalulla.

Toteutustapa on periaatteessa hieman työlämpi, kuin jos dokumentaatio olisi enimmäkseen kopioitu vanhasta projektista ja mitoitettu osat uudestaan pienemmälle kokoluokalle sopiviksi. Toisaalta tällöin rakenteen toimivuuden tarkastaminen

olisi ollut huomattavasti hankalampaa, jolloin myös virheiden riski olisi ollut suurempi. Toteutunutta, noin 350 tunnin työmäärää voidaan pitää hyvänä arviona uuden kokoluokan toteuttamiselle ilman suunnittelujärjestelmää. Täten järjestelmän toteuttamiseen kuluneet tunnit, jotka eivät sisällyneet projektitoteutukseen, vastaavat likimain yksittäisen, uuden kokoluokan projektin toteuttamista.

Toisaalta huomioitavaa on, että järjestelmä ei ollut vielä arviointivaiheessa täysin valmis. Järjestelmä saatiin määriteltyä halutunlaiseksi ja toteutettua käyttövalmiiksi, mutta osa sisällöstä jäi vielä toteuttamatta. Edellä mainittuun, noin 700 tuntiin eivät vielä sisälly suurten kokoluokkien tuotemäärittelyyn ja tukirakenteiden mallinukseen, kokoonpanopiirustusten viimeistelyyn, eikä vakio-osapiirustusten viimeistelyyn käytetyt tunnit.

Varsinkin suurten kokoluokkien tuotemäärittelyn työmäärää on hankala arvioida, koska kuormitustapaukset niissä ovat merkittävästi pieniä kokoja haastavampia. Toisaalta myös suurten kokojen päämitat, osien paikoitukseen tarvittavat piirteet ja suurin osa tarvittavista osista on jo mallissa. Täten järjestelmä ja sen luomiseen tehty pohjatyö auttaa merkittävästi myös suuriin kokoihin liittyvän sisällön toteuttamisessa.

5.5 Tutkimuskysymykset

Kappaleessa 1 esitettiin työhön liittyviä tutkimuskysymyksiä. Tutkimuskysymykset jaettiin työssä toteutettavaa suunnittelujärjestelmää ja tuoteperheen määrittelyä koskeviin kysymyksiin. Suunnittelujärjestelmää koskevat kysymykset olivat:

- Mitä toiminnallisuuksia järjestelmältä halutaan?
- Kuinka paljon resursseja järjestelmän toteuttamiseen ja ylläpitoon tulisi käyttää?
- Miten käytettävien ohjelmistojen ominaisuudet rajaavat järjestelmän toteutusvaihtoehtoja?

Järjestelmälle määritelty ensimmäinen päätavoite, eli projektikohtaisen manuaalisen suunnittelutyön minimointi kiteyttää järjestelmän lähtökohtaisen toiminnallisuuden ja vastaa siten ensimmäiseen tutkimuskysymykseen. Kyseinen tavoite määriteltiin analysoimalla tuotteen suunnitteluun liittyviä ongelmakohtia. Tavoite saavutettiin edellä esitettyjen tulosten mukaisesti tyydyttävästi.

Toiseen tutkimuskysymykseen ei voi esittää yksiselitteistä vastausta, sillä resurssien käyttö tulee oikeuttaa järjestelmällä saavutettavilla hyödyillä tapauskohtaisesti. Huoltotason tapauksessa järjestelmä kyettiin toteuttamaan noin kahden uuden kokoluokan toteuttamiseen käytettävää työmäärää vastaavassa ajassa. Mikäli järjestelmä osoittautuu toimivaksi ja sitä päästään hyödyntämään useammassa projektissa,

voidaan huoltotason osalta puhua hyvin perustellusta resurssien käytöstä.

Järjestelmä toteutettiin hyödyntäen useita eri ohjelmistoja, kuten CAD-ohjelmistoa ja taulukkolaskentaohjelmaa. Koska käytettävien ohjelmistojen pääasiallinen tarkoitus ei ole suunnittelujärjestelmien tai -automaattien luominen, ovat ne tietyiltä osin rajoittuneita tähän tarkoitukseen. Huoltotason suunnittelujärjestelmän tapauksessa osa kokoonpanopiirustusten muokkaamisesta täytyy tehdä manuaalisesti jokaiselle kokoluokalle erikseen. Lisäksi kyseiset kokoonpanopiirustukset on tarkastettava aina projektin yhteydessä, sillä kokemusten mukaan järjestelmässä saattaa esiintyä virheitä projektimallia luodessa. Käyttökokemus järjestelmän toteuttamiseen käytettävistä ohjelmistoista on merkittävässä roolissa järjestelmän toteutustapaa ja toiminnallisuuksia määriteltäessä.

Tuoteperheen määrittelyyn liittyviä tutkimuskysymyksiä puolestaan olivat:

- Mitä tuoteperheen määrittelyssä tulee määritellä?
- Miten tuoteperhe voidaan määritellä aikataulullisesti ja resurssien kannalta tehokkaasti?
- Miten suunnittelujärjestelmiä voidaan hyödyntää tuotemäärittelyn kannalta?

Tuoteperheen määrittelyssä tulee dokumentoida selkeästi kuvaukset tuotteen fyysiselle rakenteelle, teknologisille ratkaisuille ja funktionaaliselle parametreille. Huoltotason tapauksessa kokoonpano- ja valmistuspiirustukset edustavat fyysistä tasoa. CAD-mallissa havainnollistetut rakenteiden toteutustavat ja niiden funktiot taas edustavat tuotteen teknologisen tason määrittelyä. Funktionaalisen tason tuotetietoa edustavat rakenteelle laaditut lujuuslaskelmat.

Tuotemäärittelyyn käytettävää työmäärää voidaan tehokkaasti hallita järkevillä tuoteperheen sisäisillä vakioinneilla. Vakioinnit myös tekevät tuoterakenteesta selkeämmän ja vähentävät näin virheiden todennäköisyyttä. Huoltotason tapauksessa uusien osien määrä pystyttiin pitämään hyvin vähäisenä, kun rakenne määriteltiin yhden kokoluokan pohjalta tuoteperheeksi.

Monimutkaisen tuoterakenteen toteuttamisessa voidaan hyödyntää konfiguraattoreita. Konfiguraattorien avulla tuotetiedon yksityiskohtiin perehtyminen voidaan tehdä tarpeettomaksi, jolloin projektikohtaisen dokumentaation laatijan ei tarvitse ennestään tuntea tuotetta. Suunnittelujärjestelmän valmistelussa on tärkeitä koota oleellinen tuotetieto yhdeksi kokonaisuudeksi ja pyrkiä pois tilanteesta, jossa tuotetieto on hajaantunut ja pahimmillaan yksittäisten suunnittelijoiden muistin varassa. Tuotetiedon kokoaminen, jäsentely ja selkeyttäminen tukee myös jatkuvaa tuotteen kehittämistä.

5.6 Jatkotoimenpiteet

Huoltotason monimutkainen rakenne ja sen aiheuttama suuri työmäärä tuoteperheen ja suunnittelujärjestelmän toteuttamisessa olivat tiedossa jo projektiin lähdetessä. Tästäkin huolimatta tuotteen osien mallintaminen ja vakiodokumenttien laatiminen osoittautui hyvin työlääksi, eikä järjestelmää saatu aivan valmiiksi aikataulun puitteissa.

Itse järjestelmä saatiin määriteltyä ja toteutettua suunniteltuja tarkoituksia palvelevaksi kokonaisuudeksi. Parametrinen malli ja tuotemäärittely saatiin valmiiksi pienten ja keskikokoisten kokoluokkien osalta. Suurimmat kaksi kokoa jäivät sen sijaan vielä määrittelyn ja suurten kokoluokkien tukirakenteiden mallinnuksen osalta kesken. Näiden osalta viimeistely jätettiin odottamaan toimitusprojektia, jonka yhteydessä määrittely voitaisiin saattaa loppuun samaan tapaan kuin pienten kokoluokkien tapauksessa.

Myös vakiokomponenttien valmistuspiirustusten ja kokoluokkakohtaisten valmistuspiirustusten laatiminen jäi kesken. Vakiokomponenttien piirustuksista tehtiin valmiiksi aihiot toimitusprojektin yhteydessä, joten niiden osalta tehtäväksi jäi piirustusten viimeistely ja kokoluokkakohtaisten konfiguraatioiden mittojen siirtäminen piirustuksiin sisällytettäviin taulukoihin. Myös kokoonpanopiirustuksista on olemassa yhdelle kokoluokalle laaditut aihiot, joissa tehtävänä on osanumeroiden ja detailikuvantojen korjaaminen. Kokoonpanokuvia on yhteensä 8 kappaletta jokaista kokoluokkaa kohden, eli 56 kappaletta, joista yhden koon kuvat ovat lähtökohtaisesti virheettömiä, mutta muut vaativat korjailua.

Lisäksi alkuperäiseen suunnitelmaan liittyi myös huoltotason kokoonpano-ohjeiden päivittäminen vanhoista, valokuviin perustuneista ohjeista 3D-mallin avulla toteutettuihin, kokoluokkien oikeaa rakennetta vastaaviin ohjeisiin. Myöskään tätä ominaisuutta ei ehditty työn aikataulun puitteissa hyödyntämään. Mallin avulla havainnollisten ohjeiden luominen on kuitenkin mahdollista ja tätä mahdollisuutta tullaan oletettavasti hyödyntämään tulevissa projekteissa.

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli kehittää kohdeyrityksen tuotevalikoimaan kuuluvassa höyrykattilassa käytettävän syklonin väliaikaiselle huoltotasolle tuoteperheen määrittely ja suunnittelujärjestelmä. Kyseisten tehtävien taustalla on pyrkimys luoda syklo-nista ja muista painerunkokomponenteista modulaarinen kokonaisuus, jossa komponenttien tuoteperheiden jäseniä yhdistelemällä voidaan luoda asiakasvaatimuksia vastaavia yhdistelmiä. Myös muiden komponenttien konfiguroinnissa hyödynnetään suunnitteluautomaatteja ja parametrisia malleja, joiden avulla muun muassa projektikohtaista manuaalisen suunnittelutyön määrää on mahdollista vähentää.

Huoltotason rakenneratkaisut olivat yhden kokoluokan osalta todettu toimiviksi. Lisäksi syklo-nien tuoteperheen määrittelystä saatiin valmiiksi määritellyt huoltotason päämitat sekä kiinnityspisteiden paikat. Tehtäväksi muodostui siten huoltotasojen tuoteperheen eri kokoluokkien rakenteiden määrittely järkevällä tavalla, sekä tuotteeseen liittyvien haasteiden kannalta tarkoituksenmukaisen suunnittelujärjestelmän toteuttaminen.

Merkittävä osa järjestelmän toteuttamiseen liittyvistä tehtävistä voitiin suorittaa toimitusprojektin yhteydessä. Näihin kuuluivat esimerkiksi parametrisen Solidworks-mallin mallintaminen sekä tiettyihin kokoluokkiin liittyvien lujuuslaskupohjien laatiminen. Kaikkineen noin puolet järjestelmän luomisen työmäärästä voitiin toteuttaa toimitusprojektin yhteydessä ilman, että toimitusprojektin aikataulun merkittävää häiriintymistä. Mallintamisessa ja suunnittelujärjestelmän toteuttamisessa oli hyötyä aikaisemmista suunnittelujärjestelmäprojekteista ja niistä saaduista kokemuksista, varsinkin toteuttamiseen käytettyjen ohjelmistojen osalta.

Tuoteperheen määrittelyn ja siihen pohjautuvan suunnittelujärjestelmän avulla projektikohtaisen manuaalisen suunnittelutyön tarve saatiin käytännössä eliminoidua täysin. Projektikohtaisen dokumentaation luomiseksi järjestelmän avulla käyttäjän on käytännössä vain valmistettava järjestelmä projektia varten, ajettava parametrinen malli ja osaluettelo oikeaan kokoluokkaan sekä tarkistettava dokumentaatio virheiden varalta. Ilman suunnittelujärjestelmää, projektikohtaisen työn määrä edullisessa tilanteessa, jossa dokumentaatio voidaan muokata saman kokoluokan vanhasta projektista, arvioitiin noin 50 tunniksi. Suunnittelujärjestelmän avulla dokumentaatio voidaan luoda mille tahansa kokoluokalle noin 75 % pienemmässä ajassa, eli 15 tunnissa.

Tuoteperheen määrittely saatiin pelkistettyä siten, että merkittävät rakenteelliset eroavaisuudet kokoluokkien välillä rajoittuvat kannatinrakenteisiin. Merkittävä osuus osista ja alikokoonpanoista voitiin vakioida käytettäväksi kaikissa kokoluokissa tai kokoluokkien ryhmässä. Huoltotason tuoteperheeseen kuuluvien osien määrä kasvu pysyi maltillisena.

Toisaalta huomioitavaa on myös, että esivalmisteltua sisältöä, johon järjestelmän toiminta perustuu, ei saatu aikataulun puitteissa täysin viimeistelyä. Viimeisteltäviin dokumentteihin kuuluu muun muassa vakio-osa- ja kokoluokkakohtaiset kokoonpanopiirustukset. Valmiiden aihoiden pohjalta viimeistelytyön määrä voidaan kuitenkin arvioida kohtuulliseksi.

LÄHTEET

- [1] Whitney, Daniel E. 2004. Mechanical Assemblies: their design, manufacture, and role in product development. Oxford University Press. USA.
- [2] Ulrich, Karl T; Eppinger, Steven D. 2008. Product design and development - International edition. McGraw-Hill.
- [3] Meyer, Marc H; Lehnerd, Alvin P. 1997 The power of product platforms: Building value and cost leadership. The Free Press. USA.
- [4] Kahn, Barbara E. 1998. Dynamic relationships with the customers: High-Variety Strategies. Julkaistu: Journal of the Academy of Marketing Science - Volume 26. Sivut 45-53.
- [5] Ericsson, Anna; Erixon, Gunnar. 1999. Controlling design variants: Modular product platforms. Society of Manufacturing Engineers and Modular Management AB.
- [6] Tseng, Mitchell M; Jiao, Jianxin. 1999. A methodology of developing product family architecture for mass customization. Julkaistu: Journal of Intelligent Manufacturing.
- [7] Pine, Joseph B. 1993. Mass customization: the new frontier in business competition. Harvard Business School Press. USA.
- [8] Piller, Frank, T. 2005. Mass Customization: Reflections on the State of the Concept. Julkaistu: The International Journal of Flexible Manufacturing Systems 16. Sivut 313-334. Springer Science + Business Media.
- [9] Hvam, Lars; Mortensen, Niels Henrik; Riis, Jesper. 2008. Product Customization. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [10] Pulkkinen, A. 2007. Product Configuration in Projecting Company: the Meeting of Configurable Product Families and Sales-Delivery Process. Dissertation. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaisu – Tampere University of Technology. Publication 712. 184 s.
- [11] Bare, Marshall; Cox, Jordan J. 2008. Applying principles of mass customization to improve the empirical product development process. Julkaistu: Journal of intelligent manufacturing 19. Sivut 565-576.
- [12] Kotha, Suresh. 1995. Mass Cutomization: Implementing the Emerging Paradigm for Competetive Advantage. Julkaistu: Strategic MAnagement Journal, Vol. 16, Sivut 21-42.

- [13] Feitzinger, Edward; Lee, Hau L. 1997. Mass Customization at Hewlett-Packard: The Power of Postponement. Jukaistu: Harvard Business Review, January-February 1997.
- [14] Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang; Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich. 2007. Engineering Design: A systematic approach - 3rd ed. Springer-Verlag London Limited.
- [15] Erens, Freek; Verhulst, Karel. 1997. Architectures for product families. Julkaisu: Computers in Industry 33(1997) Sivut: 165-178.
- [16] Simpson, Timothy W; Umapathy, Karthikeyan; Nanda, Jyotirmaya; Halbe, Sachin; Hodge, Barry. 2003. Development of a Framework for Web-Based Product Platform Customization. Journal of Computing and Information Science in Engineering. Copyright by ASME.
- [17] Simpson, Timothy W.; Siddique, Zahed; Jiao, Jianxin. 2006. Product Platform and Product Family Design. Springer Science+Business Media, Inc. USA.
- [18] Robertson, D., & Ulrich, K. (1998). Planning for product platforms. Sloan management review, 39(4).
- [19] Wells, P. 2001. Platforms: engineering panacea, marketing disaster? Julkaisu: Journal of Materials Processing Technology 115 (2001) sivut 166-170.
- [20] Gonzalez-Zugasti, J. P., Otto, K. N., & Baker, J. D. (2000). A method for architecting product platforms. Research in Engineering Design, 12(2), 61-72.
- [21] Otto, Kevin N; Wood, Kristin L. 2001. Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development. Pearson Education, Inc.
- [22] Olhager, J. (2012). The role of decoupling points in value chain management. In Modelling Value (pp. 37-47). Physica-Verlag HD.
- [23] Saghiri, S. (2007), "Critical Role of Supply Chain Decoupling Point in Mass Customisation from its Upstream and Downstream Information Systems Point of View", In: Blecker, T. and Friedrich, G. (Eds.), "Mass Customization Information Systems in Business", Idea Group Reference: London, UK, pp.185-197.
- [24] Soininen, T., Männistö, T., & Sulonen, R. (1998). Configurable Products: Lessons Learned from the Finnish Industry. Helsinki University of Technology.
- [25] Felfernig, Alexander; Hotz, Lothar; Bagley, Claire; Tiihonen, Juha. 2014. Knowledge-Based Configuration: From Research

- to Business Cases. Morgan Kaufmann Publishers. Saatavilla: <http://common.books24x7.com/toc.aspx?bookid=66995>.
- [26] Engineer's Handbook [WWW] Engineering Software - CAD, CAM, FEA - CAD Software Programs. Saatavissa: <http://engineershandbook.com/Software/cad2.htm>.
- [27] Ault, Holly K. 1999. 3-D Geometric Modeling for the 21st Century. Julkaistu: Engineering Design Graphics Journal 63(2) 1999.
- [28] Barr, Ronald E.; Juricic, Davor. 1997. Classroom Experiences in an Engineering Design Graphics Course with a CAD/CAM Extension.
- [29] Jorgensen, Kaj A. 2009. Product Configuration and Product Family Modelling.
- [30] Jackson, C. (2006). The transition from 2D drafting to 3D modeling benchmark report: Improving engineering efficiency. Aberdeen Group.
- [31] Blecker, Thorsten; Friedrich, Gerhard; Kaluza, Bernd; Abdelkafi, Nizar; Kreutler, Gerold. 2005. Information and management systems for product customization. Springer Science + Business Media, Inc.
- [32] Mäkipää, M., Paunu, P., & Ingalsuo, T. (2012). Utilization of design configurators in order engineering. Int. J. Ind. Eng. Manag, 3, 223-231.
- [33] Forza, C., & Salvador, F. (2007). Product information management for mass customization: connecting customer, front-office and back-office for fast and efficient customization. New York: Palgrave Macmillan.
- [34] Stultz, S.C. & Kitto, J.B. Steam: it's generation and use. 40th edition. Barberton 1992, The Babcock & Wilcox Company.
- [35] Basu, Prabir. 2006. Combustion and Gasification in Fluidized Beds. CRC Press 2006. Taylor & Francis Group, LLC.
- [36] CYMIC boilers - Circulating Fluidized Bed (CFB) technology. Valmet Corporation. [WWW] Saatavissa: [http://www.valmet.com/Valmet/products/Vault2MP.nsf/BYWID/WID-130603-2256E-4D698/\\$File/HPGB_B_2300_027-02.pdf](http://www.valmet.com/Valmet/products/Vault2MP.nsf/BYWID/WID-130603-2256E-4D698/$File/HPGB_B_2300_027-02.pdf).
- [37] Mäkelä, Tarja; Kauranen Hannu. 2006. Ergonomiaopas rakentajille. Tutkimusraportti Nro VTT-R-11070-06.

LIITE B. STANDARDISELVITYS

Standardiselvitys:

Toimenpiteet rakenteeseen liittyen

- Varmistaa ettei tasolla ole yli 25 mm leveitä rakoja. [EN 12810-1, 7.3.4.2]
- Varmistaa tasokomponenttien (alumiinilankut) kiinnitys niin, etteivät ne voi irrota vahingossa ja että kiinnitys on helposti todennettavissa [EN 12810-1, 7.3.5.1]
- Mahdollisuuksien mukaan: irrallisten kiinnitysmekanismien (mutterit, ruuvit yms.) integroiminen jompaan kumpaan kiinnitettävään osaan tapauksissa joissa osaan ei kohdistu kuormitusta [EN 12810-1, 7.3.5.5]
- Kaiteet: varmistaa vähintään 1 metrin korkeus [EN 12811-1, 5.5.2]. Varmistaa kaiteiden kuormankestävyys: 1,25 kN pystysuunnassa ja 0,3 kN vaakasuunnassa ja pystysuunnassa ylöspäin. [EN 12811-1, 6.2.5] Näillä kuormilla taipuma ei saa olla yli 35 mm. [EN 12811-1, 6.3.2]
- Tutkittava pystyykö huoltotason määrittelemään johonkin kuormitusluokkaan (teline + hyötykuormat). [EN 12811-1, 6.1.3] Jos pystyy, niin tulee tarkistaa rakenteen lujuus kuormitusluokkaan liittyvillä vaatimuksilla. (Leyher – telinesysteemi on kuuluu kuormaluokkaan 3)
- Kuormaluokan ohjekuormalla mikään tason komponentti ei saisi taipu enempää kuin 1/100 jännevälistöä. Kuormittamattoman ja kuormitetun komponentin taipumien erotus ei saisi missään kohdassa olla yli 25 mm. [EN 12811-1, 6.3.1]
- Niiltä osin kuin EN12810:tä ei voi soveltaa, tulee käyttää suunnittelun pohjana Eurocodea. [EN 12811-1, 10.1.1]

Muut toimenpiteet

- Järjestelmä tulee arvioida standardin mukaiseksi organisaation ulkopuolisella henkilöllä [EN 12810-1, 11]
- Mukana on toimitettava kattava käyttöohje ja manuaali, josta selviää standardissa määritellyt asiat [EN 12811-1, 7&8]
- Mietittävä myös purkujärjestys [EN 12811-1, 6.1.1]
- Merkinnät: symboli tai teksti, josta selviää työtelineen tyyppi ja valmistaja, sekä valmistusvuosi. Merkinnän tulee olla kestävä. [EN 12810-1, 10]

Kuva 3. Huoltotasolle suoritettussa standardiselvityksessä listatut toimenpiteet.