# MODULAARISTEN TUOTEMALLIEN TUOTETIETOJEN KÄYTETTÄVYYDEN ARVIOINTI PAPERI- JA KARTONKIKONEEN VIIRAOSALLA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Konetekniikan diplomityö

2025

Iikka Huotari

Tarkastajat: Professori Aki Mikkola

DI Sami Broström

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUTin energiajärjestelmien tiedekunta

Konetekniikka

Iikka Huotari

**Modulaaristen tuotemallien tuotetietojen käytettävyyden arviointi paperi- ja kartonkikoneen viiraosalla**

Konetekniikan diplomityö

2025

78 sivua, 25 kuvaa, 2 taulukkoa ja 1 liite

Tarkastajat: Professori Aki Mikkola ja DI Sami Broström

Avainsanat: Modulaarisuus, Moduuli, Tuotetieto, Paperikone, Kartonkikone, Viiraosa, Tuotemallien käytettävyys

Tämä diplomityö toteutettiin Valmet Oyj:n Jyväskylän Rautpohjan Wet End -osaston toimeksiantona. Tutkimuksessa tarkastellaan paperi- ja kartonkikoneen viiraosan modulaaristen tuotteiden tuotetiedon käytettävyyttä ja käyttötehokkuutta toimitusprosessin eri vaiheissa. Modulointi on tuotesuunnittelun menetelmä, jossa tuote jaetaan itsenäisiin moduuleihin. Sen tavoitteena on muun muassa parantaa suunnittelun ja tuotannon tehokkuutta sekä vähentää hallintakustannuksia. Modulaaristen tuotteiden tuotetiedon hallintaan liittyy kuitenkin haasteita, jotka voivat heikentää toimitusprosessin sujuvuutta.

Tuotetieto jaettiin kolmeen kokonaisuuteen: 3D-malleihin, piirustuksiin ja osaluetteloihin. Tutkimuksessa hyödynnettiin kolmea menetelmää: kirjallisuuskatsausta, haastatteluja ja tuotemallien analyysiä.

Tutkimus osoitti, että hyvin laaditut tuotemallit tukevat merkittävästi toimitusprosessin eri vaiheita. Ne nopeuttavat suunnittelua, sujuvoittavat valmistusta ja parantavat toistettavuutta. Käytettävyydessä ja laadussa havaittiin kuitenkin vaihtelua, joka johtui erityisesti mallinnustekniikoiden epäyhtenäisyydestä ja toimintamallien puutteista. Lisäksi alihankinnan kanssa tehtävä yhteistyö todettiin osin epäjohdonmukaiseksi, mikä heikensi palautteen hyödyntämistä ja mallien kehittämistä.

Tulosten perusteella laadittiin suosituksia, joiden avulla tuotemallien käyttöä voidaan kehittää. Työn pohjalta tunnistettiin myös jatkotutkimuksen tarpeita, kuten mittariston kehittäminen tuotemallien arviointiin, kustannusvaikutusten tarkempi analyysi ja koesuunnittelun hyödyntäminen uusien mallien käyttöönotossa.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Mechanical Engineering

Iikka Huotari

**Evaluation of the usability of product data for modular product models on a paper and board machine wire section**

Master's thesis

2025

78 pages, 25 figures, 2 tables and 1 appendix

Examiners: Professor Aki Mikkola and M.Sc. (Tech.) Sami Broström

Keywords: Modularity, Module, Product data, Paper machine, Board machine, Forming section, Product model usability

This master's thesis was conducted for Valmet Oyj's Wet End department in Jyväskylä, Rautpohja. The study examines the usability and efficiency of product data in modular forming section products of paper and board machines across different phases of the delivery process. Modularity is a design principle in which a product is divided into independent modules. Its objectives include improving design and production efficiency as well as reducing management costs. However, managing product data in modular products presents challenges that may weaken the fluency of the delivery process.

Product data was divided into three categories: 3D models, drawings, and bills of materials. Three methods were applied in the research: a literature review, interviews, and product model analysis.

The study showed that well-prepared product models significantly support different phases of the delivery process. They accelerate design, streamline manufacturing, and improve repeatability. Nevertheless, variation in usability and quality was observed, caused particularly by inconsistencies in modeling techniques and the lack of standardized practices. Additionally, collaboration with subcontractors was found to be partly inconsistent, which weakened the use of feedback and the development of product models.

Based on the results, recommendations were made to improve the use of product models. The work also identified future research needs, such as developing metrics for evaluating product models, conducting a more detailed cost analysis, and applying experimental design to assess the implementation of new models.

**Sisällysluettelo**

Tiivistelmä

Abstract

Ilmoitukset

1 Johdanto ..... 7
1.1 Tutkimuksen tausta, tavoitteet ja rajaukset ..... 8
1.2 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne ..... 10
2 Kirjallisuuskatsaus ..... 12
2.1 Modulaarisuuden määritelmä ..... 12
2.2 Konfigurointi ..... 13
2.3 Moduulien kategoriat ..... 13
2.4 Tuotemodulaarisuus ..... 14
2.5 Mallinnustekniikat ..... 18
2.5.1 Funktionaalisen rakenteen heuristinen menetelmä (FSHM) ..... 19
2.5.2 Modulaarinen toimintojen jäsentäminen (MFD) ..... 20
2.5.3 Suunnittelurakennematriisi (DSM) ..... 21
2.6 Modulaarisuuden hyödyt ..... 22
2.7 Modulaarisuuden haasteet ..... 23
2.8 Tuotetieto ..... 24
2.9 Toimitusprosessi ..... 25
3 Paperi- ja kartonkikone ..... 27
3.1 Paperin ja kartongin valmistus ..... 27
3.2 Paperi- ja kartonkikoneen rainanmuodostusosa ..... 28
3.3 Puristinosa ..... 29
3.4 Kuivatusosa ..... 29
3.5 Viiraosa ja konseptit ..... 30
4 Tulokset ..... 37
4.1 Viiraosan modulaarisuus ja konfiguroitavuus ..... 37
4.2 Konfigurointityökalut Valmetilla ..... 39
4.3 Tuotemallit ja mallinnustekniikat ..... 40

4.3.1 Poikkipalkki ..... 42
4.3.2 Pituussuuntainen runkopalkki ..... 43
4.3.3 Foililaatikko ..... 45
4.3.4 Alasiirtotelan liikutuslaite ..... 47
4.3.5 Former layout tool ..... 49
4.4 Haastattelut ..... 50
5 Analyysi ..... 55
5.1 Tuotemallien hyödyt toimitusprosessin näkökulmasta ..... 55
5.2 Tuotemalleihin ja niiden käyttöön liittyvät haasteet toimitusprosessin näkökulmasta ..... 56
5.2.1 Tuotekehitys ..... 57
5.2.2 Tuotehallinta ..... 58
5.2.3 Suunnittelu ..... 60
5.3 Mallinnustekniikoiden soveltuvuus tuotemalleihin ..... 61
5.4 Mallinnustekniikan valinta tuotemalleissa ..... 63
5.5 Tuotemallien ohjeistusten nykytila ..... 69
5.6 Tuotemallien ohjeistusten suositus ..... 70
5.7 Tuotemallien piirustusten ja osaluettelojen nykytila ..... 72
5.8 Suositukset piirustusten ja osaluettelojen kehittämiseen ..... 72
5.9 Tuotemalleihin liittyvä mittarointi ..... 73
6 Johtopäätökset ..... 75
Lähteet ..... 77

Liitteet
Liite 1. Haastattelukysymykset

ILMOITUKSET

**Turnitin**

Tämän opinnäytetyön alkuperäisyys on tarkistettu Turnitin – samankaltaisuuden tarkastuspalvelun avulla.

**Tekoäly**

Tämän opinnäytetyön kirjoittaja Iikka Huotari on käyttänyt seuraavaa tekoälytyökalua opinnäytetyön tekemisessä:

1. ChatGBT (Open AI, GPT-5)

    a. Työkalun käytön tarkoitus: Työkalua käytettiin tekstin kielelliseen muotoiluun, selkeyttämiseen ja ymmärrettävyyden parantamiseen sekä tiedon jäsentelyyn ja tiivistämiseen.

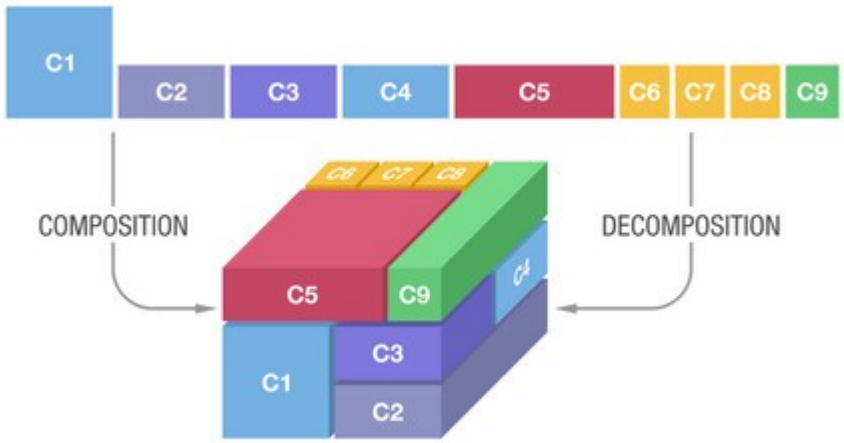
    b. Selvitys työkalun käytöstä: Työkalua hyödynnettiin diplomityön eri vaiheissa esimerkiksi kappaleiden muotoilussa selkeämmiksi, vaihtoehtoisten ilmaisutapojen ehdottamisessa ja tekstin rakenteen parantamisessa. Lisäksi työkalua käytettiin avuksi aiemmin kerätyn tiedon jäsentämisessä ja tiivistämisessä. Kaikki työssä esitetyt sisällöt, havainnot ja johtopäätökset ovat kuitenkin kirjoittajan itsensä tuottamia ja vastuulla.

**Vastuu**

Kirjoittaja, Iikka Huotari, ottaa täyden vastuun tämän opinnäytetyön sisällöstä ja on tarkistanut ja muokannut mahdollisen tekoälytyökalujen käytön myötä syntyneen sisällön.

# 1 Johdanto

Tuotesuunnittelu on merkittävä osa liiketoimintaa. Tuotesuunnittelun tarkoituksena on luoda käyttäjän tarpeisiin vastaavia tuotteita. Valmet hyödyntää suunnittelussa tuotteiden modulointia. Modulointi tarkoittaa tuotteen rakenteen jakamista itsenäisiin osakokonaisuuksiin eli moduuleihin, jotka voidaan yhdistää joustavasti eri tavoin. Moduuli määritetään komponentiksi tai komponenttien ryhmäksi, jolla on tuotteen toiminnallisuuden kannalta olennainen ja itsenäinen tarkoitus. Olennaista modulaarisuudessa on rajapintojen vakiointi, mikä määrittää moduulien omat paikoitusalueet (envelope areas). Moduuli voidaan irrottaa tuotteesta tai vaihtaa toiseen näiden alueiden sisällä vaikuttamatta muiden komponenttien toimintaan tai niiden toiminnallisuuteen. (Gershenson, Prasad & Zhang 2003, s. 297.) Modulointia havainnollistetaan kuvassa 1.




Kuva 1. Modulointi yksinkertaistettuna (mukaillen Dreamstime 2025).

Moduloinnin tavoitteena on parantaa tuotannon ja suunnittelun tehokkuutta, mahdollistaa tuotteiden räätälöinti asiakastarpeiden mukaan sekä vähentää kustannuksia koko tuotteen elinkaaren aikana. Modulointi tekee tuotekehityksestä nopeampaa, koska uusia tuotteita voidaan rakentaa yhdistämällä jo olemassa olevia moduuleita. Kuitenkin modulaaristen tuotteiden tuotetietojen käytettävyyteen ja käyttötehokkuuteen liittyy haasteita, jotka voivat vaikuttaa koko toimitusketjun sujuvuuteen.

Tämä diplomityö on tehty Valmet Oyj:n toimeksiantamana Jyväskylän Rautpohjassa Wet End-osastolle. Valmet on maailmanlaajuisesti toimiva teollisuusyritys, jonka juuret ulottuvat pitkälle Suomen teollisuuden historiaan. Vuonna 2023 Valmet työllisti yli 19000 henkilöä ja sen liikevaihto oli 5532 miljoonaa euroa. (Valmet 2023.) Yrityksen liiketoiminta voidaan jaotella viiteen liiketoimintalinjaan: palvelut, automaatiosysteemit, sellu ja energia, paperi sekä virtauksensäätö. Valmetin tarjoama kattaa koko laitosten elinkaaren, sisältäen suunnittelun, tuotannon, kunnossapidon ja optimoinnin. Yrityksen visiona on olla "globaalisti johtava yritys innovaatioiden ja palveluiden tuottamisessa kestävämmän maailman puolesta". Wet End-osasto kuuluu paperi-liiketoimintalinjan alle, ja sen tehtäviin kuuluu paperi- ja kartonkikoneiden viira- ja puristinosien suunnittelu.

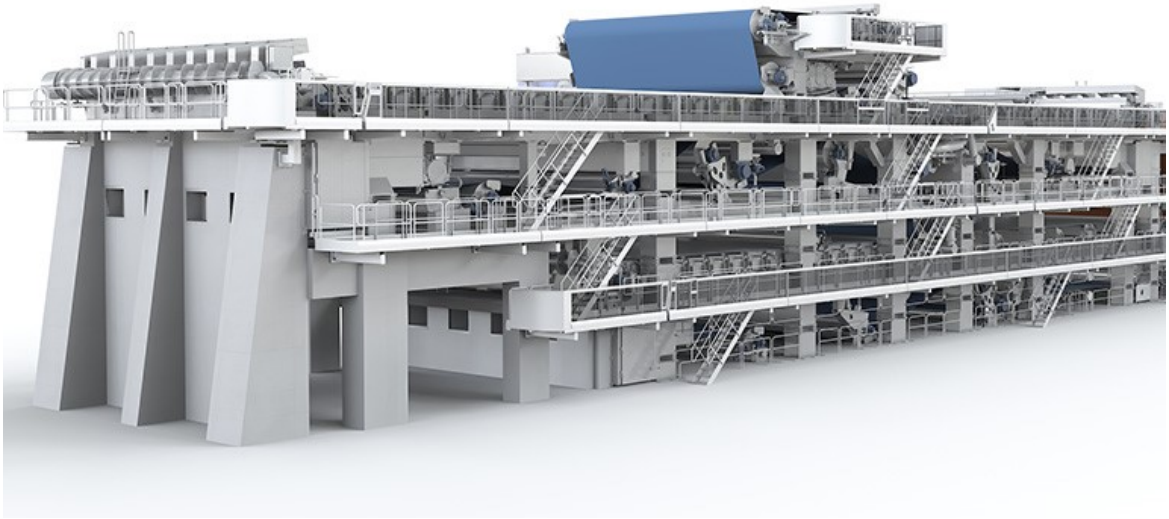
## 1.1 Tutkimuksen tausta, tavoitteet ja rajaukset

Nykytilanteessa tuotetiedon suuri määrä ja sen jakautuminen erilaisiin muotoihin, kuten 3D-malleihin, piirustuksiin ja osaluetteloihin, aiheuttaa monimutkaisuutta. On epäselvää, miten tuotetieto tukee tehokkaasti toimitusketjun eri vaiheita, kuten suunnittelua, valmistusta ja toimitusta. Lisäksi ei ole selkeää, millä mittareilla ja menetelmillä tuotetiedon käytettävyyttä ja käyttötehokkuutta voidaan arvioida. Yritykseltä puuttuu selkeät toimintamallit tuotemallien luomiseen ja ylläpitoon, minkä seurauksena mallinnustekniikan valinta on usein perustunut tekijän omiin henkilökohtaisiin valintoihin tai aikaisempiin tuotteisiin. Ilman yhtenäisiä toimintatapoja tuotetiedon hallintaan Valmet voi kohdata haasteita, kuten aikataulujen viivästymistä, kustannusten kasvua ja laatuongelmia.

Näiden haasteiden ratkaiseminen edellyttää syvempää ymmärrystä siitä, miten tuotetieto vaikuttaa koko toimitusprosessiin ja mitä käytännön toimia voidaan tehdä tuotetiedon hallinnan parantamiseksi. Näin voidaan varmistaa, että tuotetietoa hyödynnetään parhaalla mahdollisella tavalla, mikä tukee liiketoiminnan tavoitteita.

Tutkimustyössä tarkastellaan paperi- ja kartonkikoneen viiraosan modulaaristen tuotteiden tuotetiedon käytettävyyttä ja tehokkuutta eri toimitusprosessin vaiheissa. Kuvassa 2 esitetään paperikoneen viiraosan konsepti. Tarkasteltavan tuotemallin tuotetieto voidaan jaotella kolmeen eri kokonaisuuteen; 3D-malliin, piirustukseen ja osaluetteloon. Käytettävyyden ja tehokkuuden selvittämiseksi työssä tutkitaan, millä tavalla näitä voidaan luotettavasti mitata

ja arvioida. Käyttötehokkuutta kuvaavia tärkeimpiä mitattavia arvoja ovat takaisinmaksu ja käyttötunnit, ja käytettävyyttä arvioidaan laadullisella tutkimuksella kuten haastatteluilla.



Kuva 2. Paperikoneen viiraosa (Valmetin sisäinen materiaali).

Käyttötehokkuuden ja käytettävyyden arviointi suoritetaan tuotehallinnan, tuotekehityksen ja suunnittelun näkökulmista, unohtamatta koko toimitusketjua. Tuotehallinnalla viitataan tuotetiedon koko elinkaaren hallintaan, sisältäen tiedon luomisen, ylläpidon ja jakamisen eri sidosryhmien kesken. Tuotekehitys keskittyy uusien tuotteiden kehittämiseen erilaisiin asiakastarpeisiin ja olemassa olevien tuotteiden parantamiseen. Suunnittelu painottuu asiakasprojektien tekniseen toteutukseen annettujen vaatimusten mukaisesti. Arvioinnissa huomioidaan myös tuotetietojen vaikutukset muissa toimitusketjun merkittävissä vaiheissa, kuten valmistuksessa ja logistiikassa.

Arvioinnin pohjalta pyritään tunnistamaan parhaimmat toimintatavat tuotetiedon hallinnasta eri prosessivaiheissa. Tutkimustyön tavoitteena on saada ohjeistus, kuinka tuotemalleja tulisi luoda, ylläpitää ja käyttää mahdollisimman tehokkaasti. Työn tavoitteen pohjalta johdetaan seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Miten tuotemallien tuotetiedot tukevat eri toimitusketjun vaiheita?
2. Millä mittareilla ja menetelmillä tuotemallien tuotetietojen käyttötehokkuutta ja käytettävyyttä voidaan luotettavasti arvioida?

3. Miten toimintatapoja tulisi kehittää, jotta tuotemallien luominen, hallinta ja käyttö olisi mahdollisimman tehokasta?

Tutkimuksessa keskitytään tarkastelemaan paperi- ja kartonkikoneen modulaarisen viiraosan tuotemalleja. Viiraosan tuotemallien tarkastelun syynä on, että niiden luomisesta ja hyödyntämisestä on kertynyt pidempi käyttökokemus verrattuna muiden rakenneryhmien tuotemalleihin. Tämä tarjoaa paremman lähtökohdan käytettävyyden ja käyttötehokkuuden arvioinnille sekä mahdollistaa aiempien käytäntöjen tarkastelun ja kehityskohteiden tunnistamisen.

Tutkimuksessa tarkastellaan yksittäisiä viiraosan komponentteja, jotka on toteutettu erilaisilla mallinnustekniikoilla. Tämän avulla voidaan tutkia ja vertailla, kuinka erilaiset tekniset toteutukset vaikuttavat tuotetiedon käytettävyyteen ja käyttötehokkuuteen. Komponenttien valinta perustuu kahteen asiaan: mallinnustekniikoiden erilaisuuteen sekä komponenttien monimutkaisuuteen. Tämä mahdollistaa kattavamman vertailun. Mallinnustekniikan valinta puolestaan perustuu useisiin eri tekijöihin. Merkittävimmät tekijät ovat valmistustekniset asiat, kuten esimerkiksi koneistuksen ja ostettavien komponenttien määrä, sekä onko komponentti standardi- vai projektikohtainen osa.

Tutkimus rajataan modulaaristen tuotteiden tuotetiedon hallintaan ja sen käytön arviointiin toimitusprosessin näkökulmasta. Prosessin ulkopuoliset tekijät, kuten tuotannon aikaiset tekniset ongelmat tai laajamittaiset markkinatalouden vaikutukset, jätetään tutkimuksen ulkopuolelle.

## 1.2 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne

Tutkimuksen tueksi on valittu kolme menetelmää: kirjallisuuskatsaus, haastattelut ja tuotemallien analyysi.
Kirjallisuuskatsauksessa käsitellään modulaarisuuden teoriaa ja viiraosan roolia osana paperi- ja kartonkikoneen kokonaisuutta. Katsauksen tavoitteena on muodostaa yleiskuva modulaarisuuden periaatteista ja niiden soveltamisesta teollisuudessa sekä kartoittaa viiraosan teknisiä ja toiminnallisia erityispiirteitä. Lisäksi tutustutaan tarkemmin tuotetiedon määritelmään sekä toimitusprosessiin. Tarkastelujen tarkoituksena on luoda työlle teoreettinen pohja, joka tukee varsinaisen tutkimusvaiheen toteutusta ja tulosten tulkintaa.

Haastattelut tarjoavat käytännön tietoa viiraosan tuotemalleista ja niiden käytöstä toimitusprosessin eri vaiheissa. Haastateltavina ovat käyttäjät, jotka työskentelevät tuotemallien ja niiden hallinnan parissa, kuten suunnittelijat ja tuotekehittäjät. Näiden laadullisten haastatteluiden avulla selvitetään tuotemallien käytettävyyden ja käyttötehokkuuden nykytilaa, tunnistetaan kehityskohteita ja kerätään näkemyksiä parhaista käytännöistä.

Tuotemallien analyysissa tarkastellaan viiraosan konkreettisia tuotemalleja ja niiden tuotetietoja. Analyysissä arvioidaan tuotemallien käytettävyyttä ja tehokkuutta eri toimitusprosessin vaiheissa, sekä tunnistetaan mahdollisia puutteita ja kehityskohteita. Tämä menetelmä täydentää haastatteluista ja kirjallisuuskatsauksesta saatavaa tietoa tarjoamalla konkreettisen näkökulman tuotemallien nykyiseen tilaan.

# 2 Kirjallisuuskatsaus

Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan modulaarisuuden teoriaa ja siihen liittyviä keskeisiä käsitteitä. Lisäksi määritetään tuotetiedon ja toimitusprosessin käsitteet. Katsauksessa käydään läpi myös paperi- ja kartonkikoneen rakenne sekä tarkemmin viiraosan rakenne ja merkitys osana kokonaisuutta. Tavoitteena on muodostaa kokonaiskuva modulaarisuuden periaatteista ja niiden teollisesta soveltamisesta, selkeyttää keskeisiä käsitteitä sekä syventyä viiraosan teknisiin ja toiminnallisiin erityispiirteisiin.

## 2.1 Modulaarisuuden määritelmä

Tuotteita valmistetaan vastaamaan jatkuvasti muuttuviin vaatimuksiin, kuten asiakkaiden toiveisiin, vaihtoehtoisiin käyttötarkoituksiin, rajoituksiin ja lainsäädäntöihin sekä yhteiskunnallisten arvojen muutoksiin. Vaihtuvien asiakastarpeiden lisäksi tuotteisiin kohdistuu muutostarpeita tuotteen elinkaaren eri vaiheissa, kuten huollossa ja jälkimarkkinoinnissa. Tämä jatkuva muutostarve aiheuttaa yrityksille merkittäviä haasteita, etenkin massa- ja sarjatuotannossa, joiden kannattavuus perustuu vahvasti standardisoituihin osiin ja toimintatapoihin. Jos tuotevalikoimaa ei ole suunniteltu muokattavaksi teknisestä näkökulmasta tai jos myynti ei tue tuote-elementtien uudelleenkäyttöä, riskinä on, että suunnittelukustannukset, tuotanto, varastointi ja palvelu kallistuvat, jolloin kannattavuus laskee huomattavasti. Teollisuudessa tähän ongelmaan on vastattu rakentamalla tuoteperheitä modulaarisen suunnittelun periaatteiden mukaisesti. Moduulien avulla tuotteet ja järjestelmät voidaan jakaa standardisoituihin rakenneosiin, joita käsitellään vakioelementteinä myyntiprosessissa ja yhdistelemällä niitä voidaan luoda erilaisia tuotevariaatioita. (Pakkanen, Juuti & Lehtonen 2019, s. 32–34.)

Allen ja Carlson-Skalak määrittelevät moduulin komponentiksi tai komponenttien ryhmäksi, joka voidaan irrottaa tuotteesta vaikuttamatta muihin komponentteihin, ja joka suorittaa itsenäistä tuotteen toimimisen kannalta välttämätöntä perustoimintoa (Gershenson et al. 2003, s. 297). Modulaarisella tuotteella usein viitataan koneisiin ja kokoonpanoihin, jotka toteuttavat erilaisia kokonaisvaltaisia toimintoja yhdistämällä haluttuja toimintoja suorittavia moduuleja. Modulaarisuus tarjoaa teknisesti helposti toteutettavan ja taloudellisesti edullisen

ratkaisun, kun tuotteen toiminnalliset vaatimukset pystytään toteuttamaan vain yhden tai muutaman perusmoduulin sekä lisämoduulien pohjalta. (Pahl, Beitz, Feldhusen & Grote 2007, s. 495–500.)

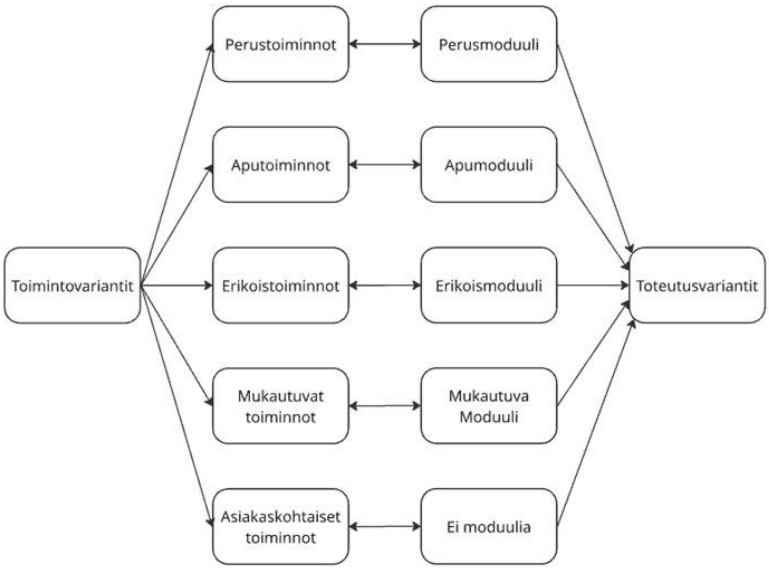
## 2.2 Konfigurointi

Konfigurointi tarkoittaa tietyn moduuliyhdistelmän muodostamista modulaarisen tuotearkkitehtuurin perusteella, noudattaen ennalta määriteltyjä sääntöjä. Modulaarinen tuotearkkitehtuuri kuvaa tuotteen rakenteen, eli miten tuote koostuu eri osista. Konfigurointisäännöt puolestaan määrittelevät, mitkä moduulit voidaan yhdistää toisiinsa ja miten asiakastarpeet ohjaavat tuotteen kokoonpanoa. Näiden sääntöjen avulla voidaan myös hallita liiketoiminnan periaatteita, kuten tuotteiden hinnoittelua ja pakkausta.

Konfiguroinnin toteuttamiseen käytetään tuotekonfiguraattoreita, jotka ovat ohjelmistoja konfigurointisääntöjen soveltamiseen. Ne voivat olla asiakkaille suunnattuja työkaluja, kuten myyntikonfiguraattorit tai CPQ-järjestelmät (Configure, Price, Quote), joiden avulla asiakas voi valita itselleen sopivan tuotteen ja nähdä sen hinnan. Toisaalta tuotekonfiguraattorit voivat olla yrityksen sisäisiä työkaluja, joita käytetään esimerkiksi materiaaliluetteloiden luomiseen, tuotannon suunnitteluun tai räätälöitävien tuotteiden piirustusten automaattiseen tuottamiseen. Konfigurointi tekee tuotteiden suunnittelusta ja valmistuksesta joustavaa, mahdollistaen asiakkaiden yksilöllisten tarpeiden huomioimisen tehokkaasti. (Martin 2025.)

## 2.3 Moduulien kategoriat

Moduulit voidaan jakaa kahteen kategoriaan: toiminnallisiin ja tuotannollisiin moduuleihin. Toiminnalliset moduulit on suunniteltu toteuttamaan teknisiä toimintoja joko itsenäisesti tai yhdessä muiden moduulien kanssa. Tuotantomoduulit puolestaan suunnitellaan pelkästään tuotannollisten näkökulmien perusteella, eikä niiden suunnittelu ole sidoksissa niiden toiminnallisuuteen. Toiminnalliset moduulit ja niiden toiminnot on esitetty kuvassa 3.




Kuva 3. Toiminnalliset moduulit ja niiden toiminnot (Mukaillen Kamrani & Nasr 2010, s. 60).

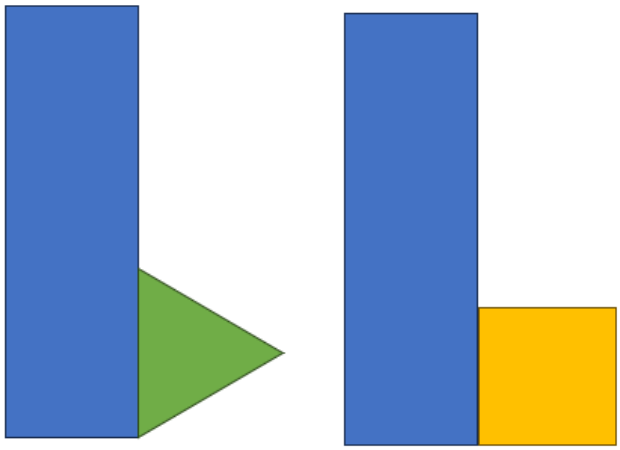
Perustoiminnot muodostavat järjestelmän ytimen, joka voidaan toteuttaa itsenäisesti tai muiden toimintojen kanssa. Niiden luonne on pääsääntöisesti muuttumaton, ja ne realisoidaan perusmoduulien avulla. Aputoiminnot täydentävät tätä kokonaisuutta ja ne rakentuvat tukimoduuleista, jotka toimivat perusmoduulien rinnalla. Erikoistoiminnot puolestaan koostuvat tehtäväkohtaisista alitoiminnoista, joita varten käytetään erikoismoduuleja. Mukautuvilla toiminnoilla mahdollistetaan järjestelmän sovittaminen muihin tuotteisiin ja järjestelmiin. Ne toteutetaan mukautuvilla moduuleilla, jotka mahdollistavat joustavuuden ennakoitumattomissa olosuhteissa. Asiakaskohtaiset toiminnot puolestaan ovat toimintoja, joita modulaarinen järjestelmä ei tarjoa, ja ne toteutetaan moduulien ulkopuolisilla yksilöllisesti suunnitelluilla osilla. Niiden yhdistelmä johtaa järjestelmään, joka yhdistää moduuleja ja räätälöityjä osia. (Kamrani et al. 2010, s. 60-61.)

## 2.4 Tuotemodulaarisuus

Tuotemodulaarisuus voidaan kuvata sillä perusteella, millaisia yhdistelmiä moduulien välillä on. Yhdistelmät luokitellaan sen mukaan, millaisia vuorovaikutuksia moduulien välillä esiintyy tuotteen sisällä.

Komponenttienvaihtomodulaarisuus

Komponenttien vaihdeltavalla modulaarisuudella (Component Swapping Modularity) tarkoitetaan sitä, että saman tuoteperheen eri versiot luodaan yhdistämällä vaihtoehtoisia komponentteja yhden peruskomponentin tai -tuotteen kanssa. Tätä havainnollistetaan kuvassa 4, jossa kaksi erilaista osaa (pieni suorakulmainen palikka ja kolmionmuotoinen palikka) voidaan yhdistää samaan perusosaan (iso palikka), jolloin syntyy eri tuotevariaatioita saman tuoteperheen sisällä.

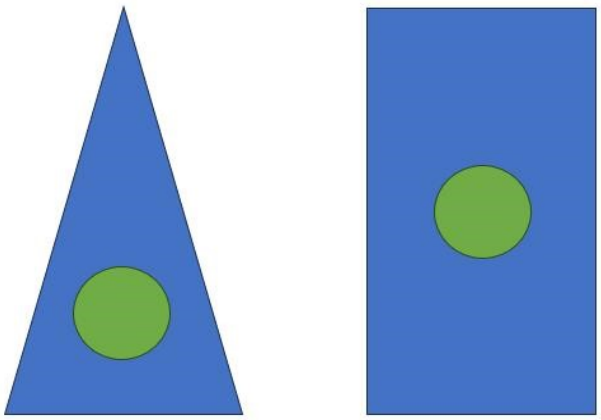


Kuva 4. Komponenttien vaihdeltavan modulaarisuuden havainnollistaminen (Mukaillen Kamrani et al. 2010, s. 62).

Tällaista modulaarisuutta hyödynnetään esimerkiksi tietokonealalla, kun erilaisia CD-asemia, näyttöjä ja näppäimistöjä yhdistetään samaan emolevyyn. Tämä mahdollistaa useiden eri tietokonemallien toteuttamisen käyttäen osittain samoja moduuleja. (Kamrani et al. 2010, s. 61-62.)

Komponenttijakomodulaarisuus

Komponenttien jakomoduulirakenteessa (Component-Sharing Modularity) eri tuoteperheiden variantit luodaan yhdistämällä erilaisia moduuleja, jotka käyttävät samaa peruskomponenttia. Tämä lähestymistapa täydentää komponenttien vaihdeltavaa modulaarisuutta. Jakomoduulirakenteen ja vaihdettavan modulaarisuuden ero on siinä, että vaihdettavassa modulaarisuudessa samaa perustuotetta muokataan käyttämällä erilaisia komponentteja, kun taas jakomoduulirakenteessa eri perustuotteet hyödyntävät samaa komponenttia. Näiden kahden lähestymistavan ero riippuu siitä, miten perustuote ja moduulit määritellään tietyssä tilanteessa. Tätä rakennetta havainnollistetaan kuvassa 5, jossa kaksi peruskomponenttia (palikka ja kolmio) jakavat saman komponentin (ympyrä).

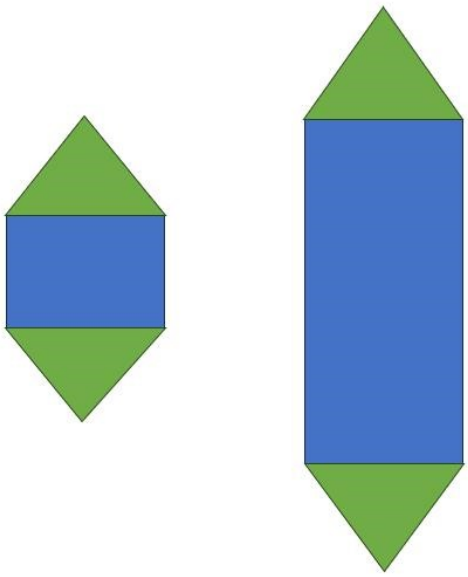


Kuva 5. Jakomoduulin havainnollistaminen (Mukaillen Kamrani et al. 2010, s. 62).

Tietokonealalla jakomoduulirakennetta edustaa esimerkiksi sama virtajohto, näyttö tai mikroprosessori, joita käytetään eri tietokonemallien tuoteperheissä. Tämä mahdollistaa tehokkaan suunnittelun ja tuotannon, kun samoja osia voidaan hyödyntää monissa eri tuotteissa. (Kamrani et al. 2010, s. 62.)

Sovittaen valmistettava modulaarisuus

Sovittaen valmistettavassa modulaariuudessa (Fabricate-To-Fit Modularity) yksi tai useampi vakiokomponentti yhdistetään yhteen tai useampaan portaattomasti muokattavaan lisäkomponenttiin. Muutokset liittyvät yleensä fyysisiin mittoihin, joita voidaan muokata tarpeen mukaan. Tätä modulaarisuutta havainnollistetaan kuvassa 6, jossa vakiokomponentteja (kolmiopalat) yhdistetään säädettävän pituiseen osaan (suorakulmainen palikka), jolloin saadaan eri tuotevariaatioita. Tyypillinen esimerkki tästä on kaapeliasennelmat, joissa kaapelin pituus voi vaihdella, mutta sen molemmissa päissä käytetään standardiliittimiä. (Kamrani et al. 2010, s. 62).

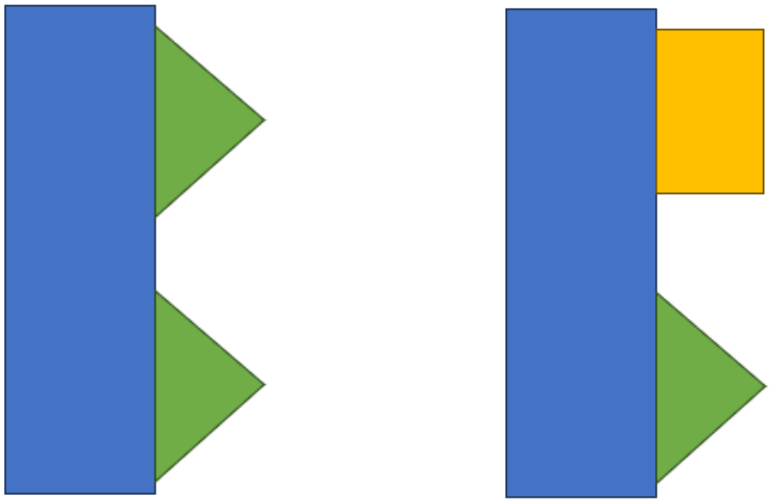


Kuva 6. Sovittaen valmistettavan modulaarisuuden havainnollistaminen (Mukaillen Kamrani et al. 2010, s. 63).

Väylämodulaarisuus

Väylämodulaarisuudessa (Bus Modularity) moduuli voidaan liittää mihin tahansa määrään peruskomponentteja. Tämä mahdollistaa sen, että tuotteen peruskomponenttien määrä ja

sijainti voivat vaihdella tarpeen mukaan. Väylämodulaarisuutta havainnollistetaan kuvassa 7. Väylämodulaarisuutta hyödynnetään esimerkiksi tietokoneissa, joissa eri syöttö- ja tulostusyksiköt, hiiret, RAM-muistit ja kiintolevyt voivat vaihdella sekä määränsä että sijaintinsa puolesta. Tällainen rakenne tarjoaa joustavuutta ja mahdollistaa erilaisten kokoonpanojen luomisen samalla perusrakenteella. (Kamrani et al. 2010, s. 62.)



Kuva 7. Väylämodulaarisuuden havainnollistaminen (Mukaillen Kamrani et al. 2010, s. 63).

## 2.5 Mallinnustekniikat

On olemassa useita erilaisia tapoja modulaarisen periaatteen toteutukseen, mutta näistä vain muutama on systemaattinen. On myös olemassa eri kategorioita, joihin suunnittelumetodit voidaan luokitella. *Checklist methods* ovat usein yksinkertaisia ja tehottomia. *Design rules* ovat helppokäyttöisiä mutta eivät tarpeeksi yksityiskohtaisia suunnittelun toteuttamiseksi. *Matrix manipulations* ovat hyvin yksityiskohtaisia ja mahdollistavat komponenttien ja moduulien käsittelyn. *Step-by-step measure and re-design methods* ovat usein osa matrix manipulation-menetelmiä. (Kamrani et al. 2010, s. 71.) Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan systemaattisia mallinnustekniikoita modulaarisen periaatteen toteutukseen.

### 2.5.1 Funktionaalisen rakenteen heuristinen menetelmä (FSHM)

Funktionaalisen rakenteen heuristinen menetelmä (Function Structure Heuristic Method, FSHM) on mallinnustekniikka, joka perustuu tuotteen toiminnalliseen pilkkomiseen ja esittää tuotteen toiminnot sekä niiden väliset materiaalin-, energian- ja informaatiovirrat lohkokaaviona. FSHM:n avulla tunnistetaan hallitsevat virrat, haarautuvat virrat ja muunnos- sekä siirtovirrat, joita käytetään moduulien välisten riippuvuuksien analysointiin. Menetelmän tavoitteena on toiminnallisen rakenteen perusteella muodostaa mahdollisia moduuleja ryhmittelemällä toimintoja. Tämä helpottaa suunnittelijoita luomaan helposti irrotettavia ja uudelleenkäytettäviä moduuleja sekä tukee kierrätettävyyttä huomioiden materiaalien yhteensopivuuden ja purkamisen helppouden.

FSHM sisältää kolme keskeistä vaihetta:

1. Ongelman määrittely: Suunnitteluongelman tyyppi ja ominaisuudet määritellään, ongelma jaetaan osiin, ja modulaarisuuden tavoitteet asetetaan.
2. Vuorovaikutusanalyysi: Komponenttien välisiä vuorovaikutuksia arvioidaan matriisin avulla, johon annetaan arvoja skaalalla 0–10. Näistä lasketaan painotettu keskiarvo kunkin parin vuorovaikutukselle.
3. Moduulien muodostaminen: Algoritmia käytetään komponenttien ryhmittelyyn moduuleiksi maksimoimalla vuorovaikutukset komponenttien välillä. Algoritmi tuottaa satunnaisia ryhmiä ja optimoi kokoonpanoja etsien parasta mahdollista ratkaisua.

Menetelmän etuna on sen soveltuvuus sekä yksittäisiin tuotteisiin että tuoteperheisiin, joissa on samankaltaisia tuotteita. Se myös huomioi samanaikaisesti useita elinkaaren elementtejä. FSHM:n rajoituksia ovat muun muassa moduulien välisten vuorovaikutusten minimoinnin sekä komponenttien yhteensopimattomuuden ja samankaltaisuuden huomioimatta jättäminen. Lopullinen päätös moduulien valinnasta jää suunnittelijan vastuulle, mikä korostaa kokemuksen merkitystä suunnitteluprosessissa. (Kamrani et al. 2010, s. 70-71.)

### 2.5.2 Modulaarinen toimintojen jäsentäminen (MFD)

Modulaarinen toimintojen jäsentäminen (Modular Function Deployment, MFD) on modulaarisuuteen keskittyvä menetelmä, joka painottuu enemmän hallinnolliseen kuin insinööritekniseen lähestymistapaan. Se perustuu toiminnalliseen pilkkomiseen, mutta huomioi moduulien muodostamisessa myös muut kuin toiminnalliset tekijät. MFD on suunniteltu yhden tuotteen modulaarisuuden kehittämiseen, ja siinä hyödynnetään erilaisia modulaarisuuden ajurin käsitettä. Näitä ajureita ovat esimerkiksi:

- Carryover, joka viittaa toiminnon säilyttämiseen eri tuotteissa ilman teknologisia muutoksia.
- Teknologian kehitys ja suunnitellut tuotemuutokset, jotka huomioivat sekä odottamattomat että suunnitellut muutokset.
- Eri spesifikaatiot, jotka mahdollistavat tuotteen muunneltavuuden, sekä tyylilliset vaikutukset, jotka liittyvät modulaarisuuden vaikutukseen tuotteen ulkoasuun.
- Yhteinen yksikkö, joka muistuttaa FSHM:n yhteisten toimintojen heuristiikkaa.
- Prosessiin tai organisaatioon liittyvät tekijät, kuten erillinen testaus, toimittajien saatavuus sekä huolto ja ylläpito.
- Päivitettävyys, joka mahdollistaa tulevien lisäysten tekemisen tuotteeseen.
- Kierrätettävyys, joka tarkastelee tuotteen elinkaarta sen käytön jälkeen.

Modulaarisuuden ajureista valitaan yksi tai useampi yrityksen strategian mukaisesti. Ajurit kartoitetaan suhteessa tuotteen toimintoihin matriisissa. Ryhmittely moduuleihin aloitetaan toiminnoista, joilla on korkein summattu pistemäärä, ja samaan ajuriin painottuvat toiminnot ryhmitellään yhdeksi moduuliksi.

MFD:n mukaan ihanteellinen moduulien määrä on noin neliöjuuri tuotteen osien tai kokoonpanotoimenpiteiden lukumäärästä. Tämä arvio perustuu koko tuotteen kokoonpanoajan optimointiin. Lisäksi MFD:ssä on vaihe, jossa suunnitellaan moduulien rajapinnat. Tähän kuuluu muun muassa rajapintojen muoto, kiinnitysperiaatteet, kosketuspintojen määrä, liitokset sekä energian, materiaalin ja signaalien siirtopisteet. Menetelmä nojaa suunnittelijoiden asiantuntemukseen rajapintojen määrittämisessä, mikä voi olla joko etu tai haaste näkökulmasta riippuen. (Holtta & Salonen 2003, s. 3.)

### 2.5.3 Suunnittelurakennematriisi (DSM)

Suunnittelurakennematriisi (Design Structure Matrix, DSM) on menetelmä, jota käytetään tuotteen kehitystehtävien tai tiimien organisointiin tarpeettoman uudelleentyöstön vähentämiseksi ja kehitysprosessin nopeuttamiseksi. DSM:ää voidaan myös hyödyntää yksittäisen tuotteen arkkitehtuurin moduulien määrittämisessä. Komponentti- tai toimintopohjaisessa DSM:ssä, jota kutsutaan myös arkkitehtuuripohjaiseksi DSM:ksi, komponentit tai toiminnot sijoitetaan matriisin riveille ja sarakkeisiin. Näiden välinen vuorovaikutus merkitään matriisiin, ja vuorovaikutukset voivat edustaa esimerkiksi tilallisia, energian, informaation tai materiaalin siirtymiä.

Nämä vuorovaikutukset voidaan kuvata kytkentäkertoimilla, jotka vaihtelevat arvosta -2 (ei-toivottu vahva vuorovaikutus) arvoon 2 (toivottu vahva vuorovaikutus). Kun toiminnot tai komponentit ja niiden vuorovaikutukset on sijoitettu DSM:ään, voidaan käyttää klusterointialgoritmia ryhmittelemään toimintoja tai komponentteja niin, että vuorovaikutukset klustereiden sisällä maksimoidaan ja klustereiden välillä minimoidaan. Näin muodostetut klusterit ovat mahdollisia moduulikandidaatteja.

Klusterointialgoritmien tavoitteena on järjestää matriisin rivit ja sarakkeet niin, että merkinnät asettuvat mahdollisimman lähelle matriisin lävistäjää tai tiiviiksi ryhmiksi. Esimerkkinä algoritmista on Thebeaun kehittämä tietokoneistettu algoritmi, joka tuottaa selkeästi määritellyt klusterit. Algoritmi voi kuitenkin tuottaa päällekkäisiä moduuleja tai jättää tiettyjä toimintoja klusteroimatta, jolloin suunnittelijan tehtäväksi jää päättää, miten nämä käsitellään. Päällekkäiset osat voidaan esimerkiksi monistaa ja sijoittaa molempiin moduuleihin tai sisällyttää vain yhteen moduuliin algoritmin suosituksen mukaisesti.

DSM on erityisen hyödyllinen monimutkaisissa tuotearkkitehtuureissa, joissa se keskittyy moduulien rajapintoihin yksinkertaistaen näin suunnitteluprosessia ja tuotteen arkkitehtuurin ilmeistä monimutkaisuutta. DSM voidaan yhdistää myös tehtävä- ja tiimipohjaisiin DSM-menetelmiin, jolloin modulaarisuus integroidaan osaksi koko suunnitteluprosessin suunnittelua. Menetelmä antaa suunnittelijalle vapauden tehdä liiketoimintaan ja tuotteen toiminnallisuuteen liittyvät päätökset sen jälkeen, kun arkkitehtuuri on yksinkertaistettu. (Holtta et al. 2003, s. 2-3.)

## 2.6 Modulaarisuuden hyödyt

Modulaarisuuden hyödyt liittyvät laajasti tuotannon, suunnittelun ja liiketoiminnan etuihin. Modulaarisuus mahdollistaa mittakaava- ja laajuushyötyjen saavuttamisen sekä osien hankinnan ja testauksen kustannussäästöt. Lisäksi se tukee massaräätälöintiä hyödyntämällä yhteisiä komponentteja joko yhdessä tuotteessa tai koko tuoteperheessä. Modulaarisuuden avulla suunnittelu on joustavampaa, koska moduuleja voidaan kehittää itsenäisesti, ja tuotevariaatioita voidaan luoda vaihtamalla moduuleja ilman, että muu tuote muuttuu.

Modulaarisuus yksinkertaistaa tuotearkkitehtuurin hallintaa ja vähentää tuotteen monimutkaisuutta. Blackenfelt kuvaa monimutkaisuutta tuotteen elementtien ja niiden välisten suhteiden määrän ja tyypin kautta. Vaikka elementtien lukumäärä ja tyyppi ovat kiinteitä, modulaarisuuspäätöksillä voidaan vaikuttaa suhteiden määrään ja luonteeseen. Tämä parantaa yrityksen mahdollisuuksia tehdä strategisia päätöksiä esimerkiksi komponenttien ulkoistamisesta. Modulaarisuuspäätöksiä voidaan tehdä jo tutkimus- ja kehitysvaiheessa, mikä auttaa määrittämään, mitä fyysisiä periaatteita tulisi tutkia.

Modulaarisuus yksinkertaistaa yksittäisen tuotteen arkkitehtuuria ja helpottaa suunnitteluprosessia. Lisäksi moduuleja voidaan hyödyntää tuoteperheissä, jolloin eri moduulien yhdistelmillä voidaan luoda uusia tuotteita. Tämä vähentää suunnittelutyötä, koska samoja komponentteja voidaan käyttää useissa tuotteissa ilman, että niitä tarvitsee suunnitella uudelleen. (Holtta et al. 2003, s. 2.) Taulukossa 1 on kuvailtu yksityiskohtaisemmin modulaarisuuden hyötyjä.

Taulukko 1. Modulaarisuuden hyödyt ja niiden kuvaus (Kamrani et al. 2010, s. 81–82).

| **Hyöty** | **Kuvaus** |
|---|---|
| Komponenttien mittakaavaedut | Moduulien käyttö yli tuoteperheiden tuo taloudellista hyötyä, koska samoja komponentteja voidaan standardoida ja valmistaa suurina määrinä. |
| Helpompi tuotepäivitys | Modulaarisuus mahdollistaa tuotteen päivittämisen vaihtamalla tai lisäämällä toiminnallisia moduuleja ilman, että koko tuotetta tarvitsee muuttaa. |
| Tuotevalikoiman laajentaminen | Pienempi määrä komponentteja voi mahdollistaa laajemman tuotevalikoiman, koska komponentteja voidaan yhdistellä eri tavoin. |
| Lyhyempi toimitusaika | Pienempi komponenttimäärä voi johtaa yksinkertaisempiin toimitusketjuihin ja lyhyempään läpimenoaikaan (lead time). |
| Huollon helppous | Moduulien vaihdettavuus ja erillinen kuluminen helpottavat tuotteiden huoltoa ja ylläpitoa. |
| Tuotantoprosessin joustavuus | Modulaarisuus mahdollistaa tuotannon joustavuuden esimerkiksi lykkäämällä tuotteen viimeistelyvaiheita (postponement), jolloin yritys voi vastata kysynnän muutoksiin tehokkaammin. |
| Elinkaarikustannusten vähentäminen | Standardointi ja toistojen vähentäminen tuotannossa alentavat tuotteen elinkaarikustannuksia. |
| Asiakaskohtainen räätälöinti | Moduulien avulla asiakkaat voivat yhdistellä ja mukauttaa tuotteita omien tarpeidensa mukaisesti ("mix and match"). |
| Ympäristöystävällisyys ja uudelleenkäytettävyys | Modulaariset tuotteet ovat usein helpommin uudelleenkäytettäviä kuin ei-modulaariset tuotteet. |

## 2.7 Modulaarisuuden haasteet

Vaikka modulaarisuus tarjoaa merkittäviä etuja, siihen liittyy myös haasteita. Modulaarisuus voi johtaa suorituskyvyn kompromisseihin tai ylimääräisiin kustannuksiin, jos yksinkertainen komponentti korvataan kalliimmalla monitoimikomponentilla yhdenmukaisuuden saavuttamiseksi. Lisäksi modulaarisuuden vaikutukset voivat vaihdella sidosryhmittäin.

Esimerkiksi valmistaja voi hyötyä kustannussäästöistä, mutta toimittajan kustannukset voivat samalla nousta. (Holtta et al. 2003, s. 2.)

Modulaarisuuden suunnittelu vaatii usein järjestelmän riippuvuuksien täydellistä irrottamista, jotta moduulien välinen kytkentä voidaan minimoida. Tämä voi kuitenkin lisätä suunnittelun monimutkaisuutta, koska riippuvuuksien poistaminen voi vaatia uusien rakenteiden ja suunnitteluratkaisujen luomista järjestelmän toiminnallisuuden säilyttämiseksi. Pieneltäkin vaikuttavan riippuvuuden poistaminen voi johtaa merkittävään lisätyöhön ja uusien suunnittelutietojen tarpeeseen, mikä kasvattaa kokonaisvaltaisesti suunnittelun kompleksisuutta. (Topcu, Mukherjee, Hennig & Szajnfarber 2022, s. 1-2.)

## 2.8 Tuotetieto

Yksi tutkimuksen päätavoitteista on modulaaristen tuotteiden tuotetiedon käytettävyyden arviointi. Periaatteessa tuotteeksi voidaan määritellä mikä tahansa asia, joka on valmistettu tai rakennettu. Nykyisin tuotteet ovat usein monimutkaisia kokonaisuuksia, jotka sisältävät, laitteiston, ohjelmiston ja niihin liittyvän dokumentaation. Tämä lisää vaatimuksia niiden yhteensopivuuden ja toimivuuden varmistamiselle. (Dalal 2004, s. 4.) Sääksvuoren ja Immosen määritelmän mukaan tuotetieto muodostuu kolmesta pääkategoriasta: tuotteen määrittelytiedot, elinkaaritiedot ja metatiedot. Määrittelytiedot kuvaavat tuotteen fyysisiä ja toiminnallisia ominaisuuksia. Ne voivat sisältää teknisiä tietoja, kuten 3D-mallit, piirustukset ja osaluettelot, mutta myös abstrakteja ja käsitteellisiä tietoja. Näiden tietojen selkeys on tärkeää, sillä epäselvyys voi aiheuttaa tulkinnanvaraisuuksia ja ongelmia tuotteen suunnittelussa ja valmistuksessa. Elinkaaritiedot puolestaan kattavat tuotteen koko elinkaaren ajan tarvittavan tiedon, kuten valmistukseen, käyttöön, huoltoon ja hävittämiseen liittyvät vaatimukset. Esimerkki elinkaaritiedosta ovat viranomaismääräykset. Metatiedot ovat tietoa tiedosta, kuten tietoja tiedoston tekijästä, sijainnista, tiedostomuodosta ja luontiajankohdasta. Näiden tietotyyppien yhteensovittaminen tapahtuu tuotetietomallin kautta, joka yhdistää kaikki tuotteen tiedot toisiinsa. Tutkimuksessa keskitytään määrittelytietoihin kuuluvien tuotetietojen tarkasteluun. (Sääksvuori et al. 2002, s. 17.)

Tuotetiedonhallinta eli Product Data Management (PDM) on keskeinen osa tuotteen elinkaaren hallintaa. PDM:n tehtävä on hallita ja ohjata tuotteeseen liittyvää tietoa koko sen elinkaaren aikana. PDM:n avulla varmistetaan, että tuotetiedot ovat oikeassa muodossa,

oikeaan aikaan ja oikeiden toimijoiden saatavilla. Tämä tukee monia yrityksen keskeisiä prosesseja, kuten tuotekehitystä, valmistusta, hankintaa sekä yhteistyötä ulkoisten sidosryhmien, kuten toimittajien, alihankkijoiden ja asiakkaiden kanssa. Vaikka suuri osa PDM-järjestelmän tiedoista syntyy suunnitteluvaiheessa, tietoa luodaan ja hyödynnetään myös elinkaaren myöhemmissä vaiheissa eri rooleissa toimivien käyttäjien toimesta. (Dalal 2004, s. 19-20.)

PDM-järjestelmän keskeisiä ominaisuuksia ovat muun muassa tuotteiden, tuoterakenteiden ja konfiguraatioiden hallinta sekä käyttöoikeuksien, tiedostojen ja dokumenttien hallinta. Lisäksi järjestelmässä on tyypillisesti toiminnallisuuksia varmuuskopiointiin, tiedonhaun hallintaan, tapahtumalokien seurantaan ja tietojen suojattuun säilytykseen. Näistä esimerkiksi tietoholvi viittaa tiedostojen säilytyspaikkaan, joka voi olla esimerkiksi selainpohjainen tiedostopalvelin. (Sääksvuori et al. 2002, s. 21–23.)

## 2.9 Toimitusprosessi

Modulaarisuudella on merkittäviä vaikutuksia tuotteen elinkaaren eri vaiheissa. Tässä kappaleessa käsitellään toimitusprosessin määritelmää sekä siihen kuuluvia osapuolia ja tekijöitä.

Toimitusprosessi kattaa kaikki osapuolet ja vaiheet, jotka liittyvät asiakkaan tarpeen täyttämiseen. Se koostuu monista toimijoista, kuten valmistajista, tavarantoimittajista, jakelijoista, kuljetusyrityksistä, jälleenmyyjistä ja asiakkaista. Toimitusprosessi ei rajoitu vain fyysisten tuotteiden siirtoon, vaan siihen sisältyy myös tiedon ja rahavirtojen hallinta ketjun eri vaiheiden välillä.

Esimerkkinä toimitusprosessista voidaan käyttää Walmartin toimitusketjua. Kun asiakas ostaa pesuainetta Walmartin myymälästä, toimitusprosessi alkaa asiakkaan tarpeesta. Pesuaine on tuotu myymälään jakelijan tai varaston kautta, ja valmistaja, kuten Procter & Gamble, on toimittanut sen jakelijalle. Valmistaja puolestaan on hankkinut tarvittavat raaka-aineet useilta toimittajilta. Tämä prosessi sisältää jatkuvaa informaation ja rahavirtojen liikettä, kuten myyntipisteiden tietojen siirtoa varaston täydennystä varten ja maksujen välitystä jakelijalle.

Toimitusprosessi on monitahoinen verkosto, jossa kulkee tietoa, tuotteita ja rahavirtoja molempiin suuntiin. Esimerkiksi verkkokaupassa, kuten Amazonilla, toimitusprosessi sisältää verkkosivuston tarjoamat hinnat ja saatavuustiedot, asiakkaan tekemän tilauksen, varaston käsittelyn, toimituksen ja mahdollisen palautusprosessin. Tämä esimerkki korostaa asiakaslähtöisyyden merkitystä toimitusprosessissa.

Toimitusprosessi voidaan myös organisoida eri tavoin. Esimerkiksi Dellin toimitusketju tarjoaa mallin, jossa suoramyynti eliminoi tietyt välivaiheet, kuten jälleenmyyjät ja jakelijat. Kuluttajatuotteissa, kuten PC:t, puolestaan hyödynnetään jälleenmyyjiä ja jakelijoita. Tämä osoittaa, että toimitusprosessin rakenne vaihtelee riippuen siitä, miten asiakastarpeet parhaiten täytetään.

Toimitusprosessi ei aina ole lineaarinen ketju, vaan se voi muodostaa monimutkaisen verkoston, jossa eri vaiheet ja osapuolet ovat yhteydessä toisiinsa. Tämän vuoksi termit "toimitusverkosto" tai "toimitusverkko" kuvaavat paremmin nykyaikaisen toimitusprosessin luonnetta. (Chopra & Meindl 2007, s. 13-15.)

Tärkeä osa toimitusprosessia on tuotantoketju. Tuotantoketju kattaa kaikki vaiheet raaka-aineiden hankinnasta lopputuotteiden valmistukseen ja jakeluun asiakkaalle. Se sisältää valmistajat, tavarantoimittajat, logistiikkayritykset ja jakeluverkoston osapuolet. Tuotantoketju voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen: Ylärakenne (upstream), johon kuuluu raaka-aineiden hankinta ja jalostus, keskirakenne (midstream), johon kuuluu valmistus ja tuotanto, sekä alarakenne (downstream), johon kuuluu jakelu, kuljetus ja myynti asiakkaalle. (Mbang 2012, s. 195.) Moduloinnilla pyritään saavuttamaan hyötyjä tuotantoketjun optimointiin.

# 3 Paperi- ja kartonkikone

Kappaleessa tutustutaan paperi- ja kartonkikoneeseen. Tarkemman tarkastelun kohteena on viiraosa, jossa käsittelyn kohteena on eri viiraosatyypit, rainanmuodostus eri viiraosatyypeillä ja viiraosan vaikutukset paperin ja kartongin ominaisuuksiin.

## 3.1 Paperin ja kartongin valmistus

Paperin ja kartongin valmistuksessa raaka-aineet valitaan ja käsitellään huolellisesti, minkä jälkeen ne sekoitetaan vesipitoiseksi massaseokseksi. Paperin ja kartongin merkittävä ero on, että kartonki on yleensä monikerroksista ja sen neliömassa on suurempi kuin paperilla.

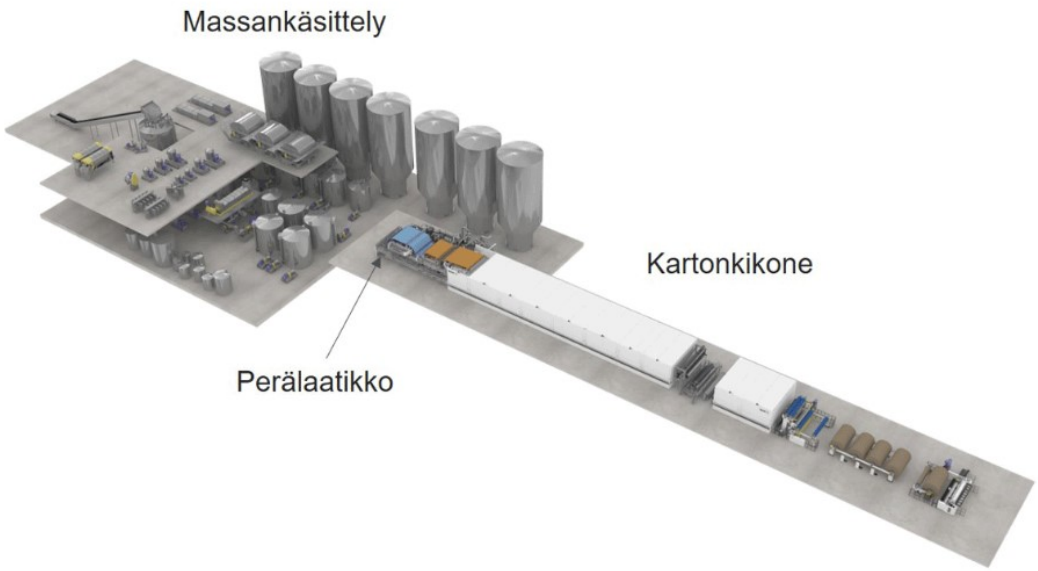
Paperinvalmistuksen pääraaka-aine on puukuitu. Puukuitu on kuitenkin käsittelemättömänä liian jäykkää ja huonosti sitoutuvaa paperin- ja kartonginvalmistuksen kannalta, joten sitä täytyy ensin muokata. Puusta voidaan valmistaa paperimassaa kemiallisella tai mekaanisella kuidutuksella, joissa kuidut irrotetaan toisistaan ja muokataan sopivammaksi paperin ja kartongin valmistukseen.

Toinen tärkeä komponentti paperin ja kartongin valmistuksessa on vesi. Veden avulla muun muassa kuljetetaan kuituja ja lämpöä, pestään massoja ja haketta puumassan valmistuksessa, lämmitetään ja jäähdytetään prosesseja sekä tiivistetään erilaisia pumppuja. Paperi- ja kartonkikoneessa vettä poistaessa selluloosamolekyylit muodostavat vetysidoksia, jolloin kuidut tarttuvat toisiinsa. Paperimassa levitetään tasaiseksi massarainaksi ja siitä poistetaan vettä suotauttamalla. Rainaa tiivistetään edelleen puristamalla ja haihduttamalla, kunnes jäljelle jäävä vesi on poistunut ja saadaan valmista, kuivaa tuotetta.

Lisäksi paperimassaan voidaan lisätä erilaisia täyteaineita, kuten esimerkiksi kaoliinia, talkkia tai kalsiumkarbonaattia. Täyteaineilla voidaan alentaa raaka-ainekustannuksia sekä niiden avulla voidaan parantaa paperin tai kartongin painettavuuteen liittyviä ominaisuuksia. (Knowpap v26.0.)

## 3.2 Paperi- ja kartonkikoneen rainanmuodostusosa

Paperi- ja kartonkikoneen rainanmuodostusosaan kuuluvat perälaatikon syöttöputkisto, perälaatikko ja viiraosa. Perälaatikko toimii linkkinä lyhyen kierron ja viiraosan välillä (kuva 8).




Kuva 8. Perälaatikon sijainti kartonkikoneessa (Knowpap v26.0).

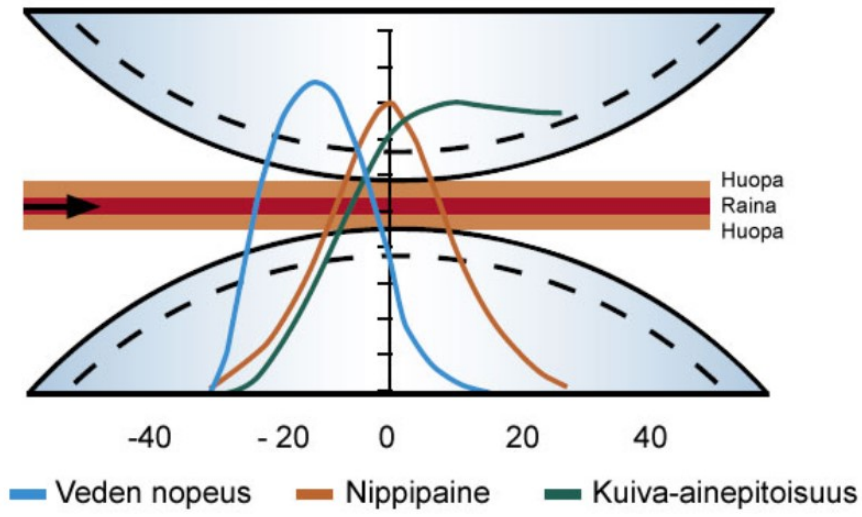
Perälaatikon tehtävänä on levittää massavirtaus tasaisesti viiran levyiseksi suihkuksi. Sen syöttöputkisto ja rakenteet tasapainottavat massavirran painevaihtelut ja pulseerauksen, ehkäisevät poikkisuuntaisia häiriöitä ja tuottavat sopivan virtaustason kuituflokkien hajottamiseksi. Massasuspensio syötetään viiraosalle, jossa sen sakeus, nopeus ja suunta ovat tarkasti hallittuja (tyypillisesti sakeus 0,5–1,0 %).

Viiraosalla massasuspensiosta poistetaan vettä sihtinä toimivan viirakudoksen läpi. Lisäksi viiraosa luo hydrodynaamisia voimia, jotka hajottavat flokkeja ja parantavat rainan tasalaatuisuutta. Vedenpoisto ja hydrodynaamiset voimat säädetään siten, että kuitu- ja täyteaineretentio ovat tasaiset ja halutun suuruiset. Lopuksi rainan kuiva-ainepitoisuus nostetaan riittävälle tasolle (n. 17–20 %), jotta siirto puristinosaan on sujuvaa. (Knowpap v26.0.)

## 3.3 Puristinosa

Viiraosalta raina siirretään puristinosaan, jossa vettä poistetaan mekaanisesti puristamalla. Puristimen tavoitteena on tiivistää raina ja saavuttaa riittävä märkälujuus, jotta raina voidaan siirtää kuivatusosaan ilman katkoksia. Puristuksen jälkeen rainan kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti 35–50 % paperi- tai kartonkilajista ja puristimesta riippuen.

Märkäpuristuksessa käytetään puristinhuopien ja telojen muodostamia nippejä (kuva 9). Prosessi aloitetaan varovasti, jotta raina ei rikkoudu, ja puristusvoimaa lisätään asteittain useiden nippeihin sijoitettujen telojen avulla. Liian voimakas puristus voi huuhtoa rainasta hienoainesta tai vahingoittaa kuituverkkoa. Märkäpuristus vaikuttaa merkittävästi paperin ominaisuuksiin, kuten sileysprofiiliin, hienoainejakaumaan, huokoisuuteen ja bulkkiin. (Knowpap v26.0.)




Kuva 9. Vettä poistetaan rainasta puristamalla märkäpuristimen nipissä (Knowpap v26.0).

## 3.4 Kuivatusosa

Puristinosalta raina siirtyy kuivatusosaan, jossa vettä poistetaan haihduttamalla. Kuivatusmenetelmiä ovat sylinterikuivaus, puhalluskuivaus ja säteilykuivaus. Näissä prosesseissa rainaan tuodaan ulkopuolista energiaa, joka haihduttaa veden, ja syntynyt vesihöyry

poistetaan ilman avulla. Kuivatusmenetelmän valinta vaikuttaa laitteen rakenteeseen ja energiatehokkuuteen.

Kuivausprosessilla on keskeinen vaikutus paperin ja kartongin ominaisuuksiin, kuten kosteuden tasaisuuteen, pinta- ja lujuusominaisuuksiin, venymään ja vaaleuteen. (Knowpap v26.0.) Tässä tutkimuksessa keskitytään paperikoneen viiraosaan ja siihen liittyviin tuotteisiin.

## 3.5 Viiraosa ja konseptit

Tässä kappaleessa tutustutaan tarkemmin viiraosaan ja sen merkitykseen paperin ja kartongin valmistuksessa. Tarkastelun kohteena on myös viiraosan merkitys rainanmuodostuksessa, joka on tärkeä prosessi.

### Rainanmuodostus

Rainanmuodostusprosessi paperikoneen viiraosalla vaikuttaa merkittävästi syntyvän paperin rakenteellisiin ominaisuuksiin. Tärkeitä ominaisuuksia, kuten neliömassavaihtelua, kuitujen orientaatiota ja paperin formaatiota, määritetään prosessin eri vaiheissa. Näiden lisäksi prosessi vaikuttaa paperin visuaaliseen tasaisuuteen sekä kuitu- ja täyteaineiden jakaumaan paperin paksuussuunnassa.

Paperikoneen rainanmuodostusosaan kuuluvat perälaatikon syöttöputkisto, perälaatikko ja varsinainen viiraosa. Näiden osien yhteisvaikutuksella massasuspensio levitetään viiraosan alkuosalle tasalaatuisena ja koneen levyisenä suihkuna. Perälaatikon suunnittelun ja virtausmitoituksen oikeellisuus ovat keskeisessä roolissa hyvän huulisuihkun ja tasaisen virtausprofiilin saavuttamisessa.

Vedenpoisto viiraosalla tapahtuu kolmessa päävaiheessa: rainanmuodostusalueella (1–3 % sakeus), tiivistymisvaiheessa (3–6 % sakeus) ja loppukuiva-ainepitoisuuden muodostusvaiheessa (yli 6 %). Alkuvaiheessa vedenpoisto perustuu suotautumiseen, jolloin kuidut alkavat kerrostua viirakudoksen pinnalle. Tiivistymisvaiheessa rainan sakeus kasvaa, ja samalla sen läpäisevyys muuttuu. Prosessin edetessä tarvitaan vedenpoistoelementtejä, jotka hyödyntävät alipaineita vedenpoiston tehostamiseksi.

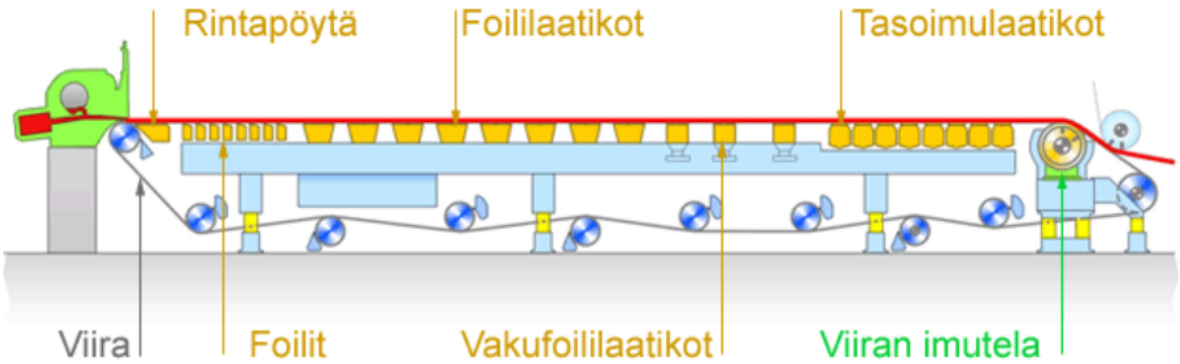
Suotautumis- ja sakeutumismekanismien yhdistelmä on keskeinen erityisesti nopeakäyntisillä paperikoneilla. Suotautumisen ansiosta kuidut jakautuvat tasaisesti, kun taas sakeutuminen lisää sidoksia kuitujen välillä. Molempien prosessien hallinta on tärkeää, jotta vältetään kuitukimppujen muodostuminen, joka heikentää paperin laatua. Tämä edellyttää leikkausvoimien ja turbulenssin synnyttämistä vedenpoiston eri vaiheissa.

Viiraosan suunnittelussa tulee huomioida paperilajin vaatimukset, jotta saavutetaan tasapaino rakenteellisten ominaisuuksien, kuten formaation ja kerroksittaisen kuiturakenteen, välillä. Näin varmistetaan optimaalinen lopputulos paperin laadun ja tuotantotehokkuuden näkökulmasta. (Knowpap v26.0.)

### Viiraosatyypit

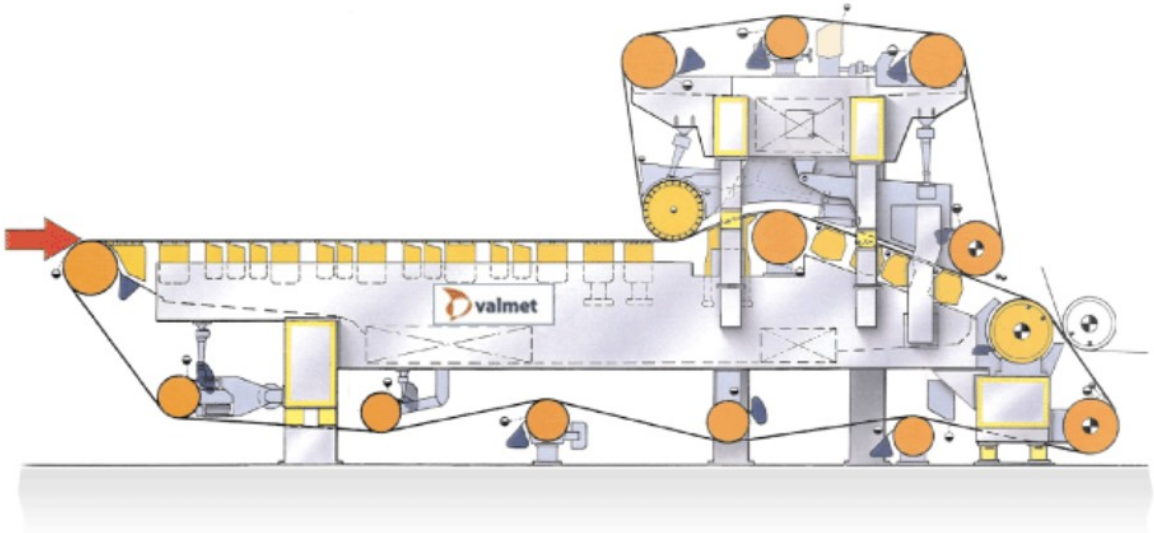
Paperikoneen viiraosat voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: tasoviira, hybridiformeri ja kitaformeri. Eri viiraosatyypit eroavat toisistaan vedenpoistomekanismin, rakenteen ja soveltuvuuden perusteella, mikä mahdollistaa niiden käytön erityyppisten paperilajien valmistuksessa.

Tasoviira (engl. *Fourdrinier*) on vanhin viiraosatyyppi, joka on edelleen laajasti käytössä. Uusia tasoviiroja rakennetaan nykyään erityisesti erikoispaperilajeille, joissa tasoviiran yksisuuntainen, hellävarainen ja pitkäkestoinen vedenpoisto tuo halutut ominaisuudet. Tasoviiran yksinkertainen rakenne ja toiminta tekevät siitä soveltuvan moniin käyttökohteisiin, vaikka sen toispuoleisuus- ja formaatio-ominaisuudet eivät kaikissa sovelluksissa ole optimaaliset (kuva 10).



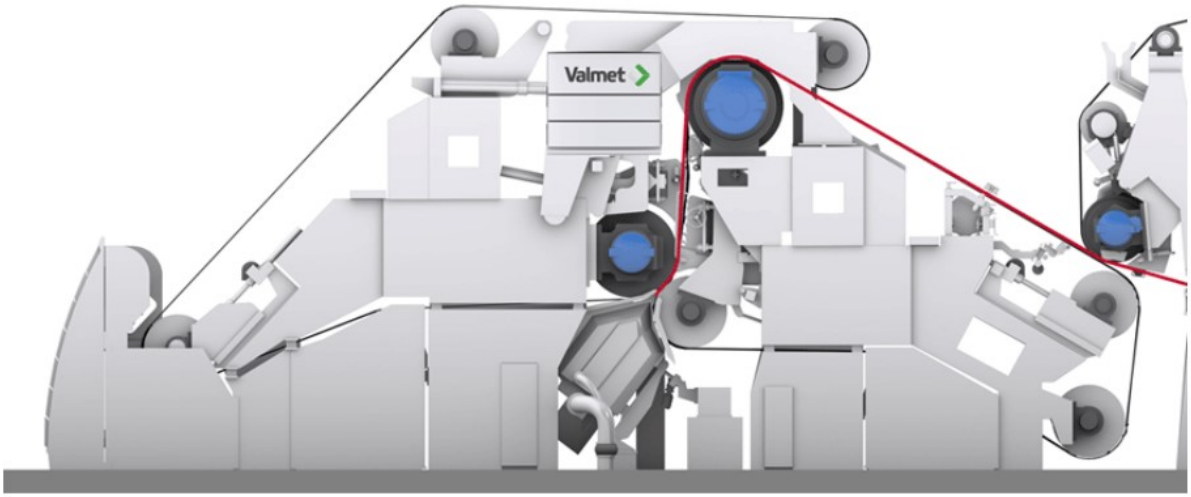

Kuva 10. Tasoviiran rakenne (Knowpap v26.0).

Hybridiformeri yhdistää tasoviiran ja kaksoisviirarainaimen parhaat ominaisuudet. Rakenteessa on aluksi tasoviiraosa, joka poistaa vettä alaspäin. Tämän jälkeen massaraina kulkee yläviirayksikön kautta kahden viiran välissä, jolloin vedenpoisto tapahtuu ylöspäin. Tämä vedenpoisto voidaan toteuttaa joko passiivisilla keskipakoelementeillä (kuva 11) tai aktiivisilla alipaine-elementeillä. Hybridiformeri tarjoaa paremman stabiilisuuden ja formaation verrattuna perinteiseen tasoviiraan, ja se soveltuu monille paperilajeille.




Kuva 11. Passiivisiin keskipakoelementteihin perustuva vedenpoisto hybridiformerissa (Knowpap v26.0).

Kitaformeri on puhdas kaksoisviirarainain, jossa vedenpoisto massarainasta tapahtuu alusta asti molempiin suuntiin. Tämä rakenne mahdollistaa vedenpoiston lyhyemmällä matkalla, mikä tekee kitaformerista erittäin stabiilin jopa korkeilla nopeuksilla. Nykyaikaiset kitaformerit käyttävät vedenpoistoon joko listaelementtejä tai sekä lista- että telaelementtejä (kuva 12). Kaksoisviiran symmetrinen vedenpoisto parantaa formaatiota ja vähentää toispuoleisuutta, mikä tekee kitaformerista sopivan erittäin vaativiin paperilajeihin. (Knowpap v26.0.)




Kuva 12. Tela-lista kitaformeri (Knowpap v26.0).

Rainanmuodostus eri viiraosatyypeillä

Rainanmuodostusprosessi vaihtelee viiraosatyypin mukaan, sillä jokainen rakenne hyödyntää erilaisia vedenpoistoelementtejä ja -mekanismeja. Tässä käsitellään rainanmuodostuksen erityispiirteitä tasoviiralla, hybridiformerilla ja kitaformerilla.

Tasoviiralla rainanmuodostus tapahtuu yksisuuntaisen vedenpoiston avulla. Viirakudoslenkki sisältää useita vedenpoistoelementtejä, kuten rintapöydän, foilit, foililaatikot,

vakufoililaatikot, tasoimulaatikot ja viiran imutelan. Näiden elementtien yhteistoiminta määrittää vedenpoiston tehokkuuden ja paperin laadun.

Vedenpoiston painopiste vaihtelee tavoitteiden mukaan: maksimaalinen vedenpoisto voidaan saavuttaa vedenpoistorajoitteisilla paperikoneilla, kun taas laadukkaampaa paperia varten foilikulmat ja -etäisyydet optimoidaan turbulenssiprofiilin hallitsemiseksi. Tasoviiran yksisuuntaisen vedenpoiston vuoksi rainan rakenteesta muodostuu epäsymmetrinen, ja paperin yläpintaan kertyy täyte- ja hienoainetta. Tämä voi johtaa paperin alapinnan huokoisuuteen ja kerrokselliseen orientaatioon. (Knowpap v26.0.)

Hybridiformerissa rainanmuodostus yhdistää tasoviiran ja kaksoisviirarainaimen ominaisuudet. Alkuvedenpoisto tapahtuu tasoviiralla, minkä jälkeen yläviirayksikkö suotauttaa paperin yläpintaa. Vedenpoisto jakautuu ala- ja yläpinnan läpi suhteessa noin 70 % / 30 %.

Yläviirayksiköissä käytetään erilaisia vedenpoistoelementtejä, kuten formeriteloja, listakenkiä ja kuormitettavia listoja. Modernissa hybridiformerissa keraamisilla listoilla varustettu laatikosto ja paineilmatoimiset kuormituselementit parantavat paperin formaatiota aiheuttamalla leikkausvoimia rainaan. Hybridiformerilla valmistettu paperi on symmetrisempää kuin tasoviiran tuottama paperi, ja sen täyte- ja hienoaines jakautuvat tasaisesti paperin paksuussuunnassa.
Kitaformerissa perälaatikon huulisuihku ohjataan kahden viirakudoksen muodostamaan kitaan, ja vedenpoisto tapahtuu alusta lähtien molempiin suuntiin. Kitaformerit voidaan jakaa neljään tyyppiin: lista-kitaformerit, tela-kitaformerit, telalista-kitaformerit ja kenkälista-kitaformerit.

Lista-kitaformerit tarjoavat hyvän formaation, mutta niillä on heikko ajettavuus. Tela-kitaformerit puolestaan ovat ajettavuudeltaan erinomaisia, mutta paperin formaatio saattaa kärsiä. Telalista-kitaformerit yhdistävät edellisten hyvät ominaisuudet, ja niillä on saavutettu maailmanennätysnopeuksia eri paperilajeilla. Kenkälista-kitaformerit hyödyntävät alipaineistettua kenkäimulaatikkoa pulseeraamattomaan vedenpoistoon, mikä mahdollistaa erittäin tasaisen rainanmuodostuksen ja korkean viiraretention myös paperin korkeilla täyteainepitoisuuksilla.

Kitaformerien symmetrinen vedenpoisto johtaa tasapainoisempaan täyte- ja hienoaineseostukseen sekä parempaan formaatioon, mikä tekee niistä erityisen soveltuvia nopeisiin ja tarkkuutta vaativiin tuotantoprosesseihin. (Knowpap v26.0.)

## Viiraosan vaikutukset paperin ja kartongin ominaisuuksin

Paperikoneen viiraosalla on keskeinen rooli paperin ja kartongin laadun muodostumisessa. Viiraosa vaikuttaa useisiin kriittisiin ominaisuuksiin, kuten formaatioon, vetolujuussuhteeseen, täyteainejakaumaan, kerrokselliseen orientaatioon sekä palstautumislujuuteen. Näillä ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus tuotteen toiminnallisuuteen ja käyttöominaisuuksiin.

### Formaatio

Formaatio viittaa paperin pienimittakaavaiseen neliömassavaihteluun, joka määrittää paperin rakenteen tasalaatuisuuden. Hyvä formaatio on tärkeä esimerkiksi painatuksen onnistumisen kannalta, sillä huono formaatio voi aiheuttaa laikullista painojälkeä tai puuttuvia painopisteitä. Viiraosalla formaatiota voidaan hallita säätelemällä turbulenssitasoa ja suihkuviirasuhdetta. Erityyppisillä formereilla, kuten hybridiformerilla ja kitaformerilla, on erilaiset keinot formaation optimointiin.

### Vetoslujuussuhde (KS/PS)

Vetolujuussuhde kuvaa paperin neliöllisyyttä ja vaikuttaa sen dimensiostabiilisuuteen, jäykkyyteen ja ajettavuuteen. Viiraosalla vetolujuussuhdetta voidaan säätää perälaatikon turbulenssin ja yläviirayksikön kuormituksen avulla. Alhainen vetolujuussuhde on erityisesti toivottavaa hienopapereissa.

### Täyteainejakauma

Paperin paksuussuuntainen täyteainejakauma vaikuttaa pintojen kiiltoon, musteabsorption tasaisuuteen ja pölyämiseen. Viiraosa vaikuttaa täyteainejakaumaan sekä viirakudoksen että vedenpoiston avulla. Esimerkiksi tasoviiraosalla täyteainejakauma on usein epäsymmetrinen, kun taas hybridiformerilla jakauma on symmetrisempi.

### Kerroksellinen orientaatio

Paperin kerroksellinen orientaatio vaikuttaa sen käyristymiseen, mikä on erityisen tärkeää kopiopaperin ajettavuuden kannalta. Viiraosalla voidaan hallita orientaatiota hienoainesjakauman ja kuiturakenteen säädöillä. Anisotropian taso vaikuttaa paperin käyristymistaipumukseen eri suuntiin.

### Palsautumislujuus

Palstautumislujuus kuvaa paperin kykyä kestää päällystys- ja painatusprosesseja. Viiraosalla tätä ominaisuutta voidaan parantaa rainan tiivistämisellä ja tasaisella hienoainesjakaumalla. Tasoviiraosalla saavutetaan usein paras palstautumislujuus.

### Ajettavuus ja stabiilisuus

Viiraosan suunnittelu vaikuttaa myös koko paperikoneen ajettavuuteen. Kitaformerit tarjoavat parhaan stabiilisuuden ja alhaisen neliömassan jäännösvaihtelun, mikä mahdollistaa korkeat ajonopeudet ilman häiriöitä.

Näiden vaikutusten hallinta viiraosalla on keskeistä paperin ja kartongin laadun optimoimisessa. Eri formereiden ominaisuuksien ja säätöparametrien tuntemus on avainasemassa tuotantoprosessin hallinnassa. (Knowpap v26.0.)

# 4 Tulokset

Tässä kappaleessa käsitellään modulaarisuutta Valmetin viiraosalla ja sen sisältämissä tuotteissa. Lisäksi käsitellään viiraosalla käytettäviä tuotemalleja ja niissä käytettyjä 3D-mallinnustekniikoita. Tarkastelun kohteeksi on valittu erilaisilla 3D-mallinnustekniikoilla toteutettuja tuotteita. Haastatteluilla kartoitetaan tuotemallien käyttäjien kokemuksia tuotemalleista.

## 4.1 Viiraosan modulaarisuus ja konfiguroitavuus

Modulaarinen viiraosa, eli MW Former, on osa Valmetin Opti Concept Modular-ohjelmaa (OCM), joka on Valmetin ensimmäisen sukupolven modularisointiohjelma. MW Former on Valmetin toisen sukupolven modularisointityö, jossa hyödynnetään moduloinnin asiantuntijoita sekä modulointityökaluja. Modulaarista viiraosaa valmistetaan kahdessa eri kokoluokassa. M-kokoluokka, jonka viiranleveys vaihtelee välillä 5851 mm - 7600 mm, sekä L-kokoluokkaa, jonka viiranleveys vaihtelee välillä 7601 mm - 9300 mm. Modular Way-viiraosa on jaettu kahteen eri kokoluokkaan kahdesta eri pääsyystä. Prosessiperusteinen syy on se, että L-kokoluokan mitoitus runkojen ja telojen kannalta johtaa pidempään ja korkeampaan viiraosaan eri varioituvuuksien osalta. Toinen pääsyy on kustannus. Ylimitoitusta halutaan välttää, jolloin on järkevää jakaa viiraosa kahteen eri kokoluokkaan.

Modulaariseen viiraosan toteutukseen on olemassa kolme erilaista konseptia. Konsepti ovat:

- OptiFormer Hybrid: Sisältää tasoviiran ja yläformerin yläimuyksiköllä.
- OptiFormer Multi Fourdrinier: Sisältää joko kaksi tasoviiraa tai useamman. Myös tämä voi sisältää yläformerin yläimuyksiköllä joko yhdellä tai useammalla tasoviiralla.
- OptiFormer Gap: Tätä työtä tehdessä Valmet kehittää myös uutta modulaarista kitaformerikonseptia.

Toimitusprojekteihin valitaan modulaarinen viiraosa konsepti eri perusteilla. Asiakkaan lopputuotteen, eli paperin tai kartongin laatu on keskeinen konseptien välisessä valinnassa. Eri konsepteilla voidaan tehdä myös samoja laatuja, jolloin konseptien välinen valinta voidaan

tehdä myös muilla perusteilla, kuten halutuilla paperin tai kartongin laatuominaisuuksilla, kustannusperusteisesti tai asiakkaan tottumusten perusteella.

Yksi moduuli on Area eli yksittäinen ”alue” viiraosan sisällä. Moduuleja voidaan siirtää, poistaa tai lisätä tarpeen mukaan. Jokaiselle moduulille on määritetty rajapinnat, joiden sisällä moduuleja voidaan muunnella tai vaihtaa. Rajapinnoiksi voi olla esimerkiksi määritelty kudoksenvaihtorungosto. Yleensä Area on selkeä oma kokoonpantava kokonaisuus. Modulaarisuutta esiintyy myös Areoiden sisällä. Yksittäisistä komponenteista on tehty modulaarisia tuotemalleja, joita voidaan tarvittaessa hyödyntää myös itsenäisesti Areoiden ulkopuolella.

Viiraosan kudoksenvaihto voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla. Yksi tapa on kantileveerauspalkki, joka on paperikoneiden märässäpäässä ollut tunnettua tekniikkaa useiden vuosikymmenien ajan. Siinä rungoston käyttöpäässä koneen poikkisuuntainen palkki tehdään tietyn verran yli rungostosta käyttöpuolelle päin ja kiinnitetään kanttiruuvilla yleensä paperikoneen kellarin omiin perustuksiin. Näin ollen, kun kudos halutaan vaihtaa, kuten viira, voidaan hoitopuolelta tunkata ja poistaa välipalat, ja siten jättää rungosto roikkumaan kanttipalkkien varaan.

Toinen tapa on suorittaa kudoksenvaihto kudoksenvaihtoyksiköllä eli FIU:lla (Fabric Insertion Unit). FIU on Valmetin oma tuote, jonka Valmet on patentoinut ja käyttää ainoana toimittajana maailmassa paperi- ja kartonkikoneissa. FIU:ssa on sisäinen vesihydrauliikkatunkkaus, jolla ylempi rungosto nousee ylöspäin, ja mahdollistaa FIU:n sisäisten ylä- ja alakammioiden väliin kudoksenvaihtoraon. Lisäksi FIU:ssa on hydraulinen rullaus kammioiden ulkopuolella pinnoitetulla metallihihnalla, joiden avulla saavutetaan kudosten, kuten viiran, sisäänveto koneeseen kudoksenvaihdossa.

Molemmissa vaihtoehdoissa, sekä kanttipalkissa että FIU:ssa, käytetään lisäksi apuna kudoksen sisäänvedossa koneeseen joko hydraulisia tai manuaalisia vetovinssejä koneen käyttöpuolella.

Modulaarisuuden kannalta kudoksenvaihdon varioituvuus modulaarisessa viiraosassa on erittäin merkittävää, koska kudoksenvaihtomenetelmien erilaisuus vaikuttaa merkittävästi modulaarisen viiraosan runkorakenteeseen.

Tuote voi olla joko oikea- tai vasenkätinen. Kätisyys määritetään sen mukaan, millä puoletta koneella on käyttöpuoli ja millä puolella hoitopuoli. Jos käyttöpuoli on oikealla puolella

katsottuna perälaatikolta koneen menosuuntaan, on kone tällöin oikeakätinen. Kätisyys vaikuttaa muun muassa siihen mitä komponentteja milläkin puolella konetta on, mikä vaikuttaa myös koneistuksiin ja ruuvireikien paikkoihin. Koska koneen kätisyys vaihtelee eri toimitusprojekteissa, on tärkeää, että jokainen tuotemalli huomioi molemmat kätisyydet ja kätisyydenvaihto toimii tuotemallissa nopeasti ja täsmällisesti.

Telahalkaisijat eri telatyypeillä, kuten putkiteloissa tai imuteloissa, voivat muuttua modulaarisessa viiraosassa kokoluokan sisällä ja kokoluokkien välillä. Tällä on vaikutusta myös viiraosan muihin rakenteisiin, kuten liikutuslaitteisiin ja eri komponentteihin. Lisäksi telojen tyypit eri positioissa voivat vaihdella eri parametrien, kuten koneen nopeuden perusteella. Esimerkkinä voidaan mainita, että korkeamman nopeuden koneessa joissakin positioissa käytetään imutelaa putkitelojen sijasta.

Myös telojen sisäinen varioituvuus voi olla erilaisten tuotemallien kannalta merkittävää. Esimerkkinä voidaan mainita laakeripesien eri koot, kun muutetaan laakerikokoa. Modular Way viiraosa kokoluokkien sisällä on eri telatyypeillä erilaisia laakeripesäkokoja, jotka tulee huomioida eri komponenttien tuotemalleissa. Liikutuslaitteiden osalta tämä tarkoittaa, että variaatioiden määrä kasvaa, mikä täytyy huomioida tuotemallia tehdessä.

Yksi tärkeimmistä viiraosan tuotemalliin vaikuttavista asioista modulaarisessa viiraosassa on koneen leveys ja sen vaihtelu. Koneen leveysparametri on tuotemallien osalta keskeinen, koska toimitusprojektien leveydet vaihtelevat asiakkaan lopputuotteen mukaan projektien välillä käytännössä aina.

Viiraosan ruostumattoman teräksen materiaali vaihtelee asiakkaan valinnan mukaan joko perinteisen ruostumattoman EN 1.4307 ja haponkestävän teräksen EN 1.4404 välillä. Käytännössä tämä vaikuttaa miltei jokaiseen tuotemalliin, koska suurimmassa osassa tuotteita on rakenteissa käytetty ruostumatonta terästä. Tuotemallissa materiaalin vaihto täytyy huomioida.

## 4.2 Konfigurointityökalut Valmetilla

Erilaisia työkaluja käytetään tuotemallien ja tuotetietojen hallinnassa sekä myynti- että teknisessä konfiguroinnissa. Valmet hyödyntää konfigurointiprosessissa kolmea eri työkalua: PALMA, Tacton ja WonderWAre.

PALMA (Product Architecture Lifecycle Management) on työkalu, jolla ylläpidetään ja päivitetään modulaarisia tuotteita ja niiden tuotetietoa. PALMA:ssa voidaan dynaamisesti yhdistää tuotevarioituvuus tuoterakenteeseen. PALMA työkalu on suunniteltu kompleksisten modulaaristen tuotteiden tuotetiedon hallitsemiseen. PALMA työkalussa voidaan määritellä erilaisille tuotteille niiden varioituvuus, moduulit ja niiden sijainti tuoterakenteessa.

Tacton CPQ on myynti- (ja tekninen) työkalu, jolla konfiguroidaan, hinnoitellaan ja tarjotaan tuotteita asiakkaalle. Tacton CPQ on jaettu kahteen eri työkaluun, Tacton studioon ja Tacton CPQ:hun. Tacton studiossa luodaan ja määritellään konfiguraattorin käyttöliittymä eli UI (User Interface). Tacton CPQ:ssa tehdään lopullinen UI ja käytetään konfigurointimallia. Valmetilla Tacton CPQ:n ominaisuuksista käytetään käytännössä vain konfigurointiominaisuutta, koska hinnoittelu ja varsinainen tuotteiden tarjoaminen (quotation) tehdään eri työkaluilla.

WonderWare yhdistää konfiguroidun tuotteen tiedot osaluettelotiedoksi. Se yhdistää mallitiedot PDM-tietojen kanssa ja muokkaa osaluettelon oikein. Valmet käytti aiemmin modulaarisissa tuotteissa WonderWarea teknisessä konfiguraatiossa, mutta sen monimutkaisuuden vuoksi siitä on luovuttu.

## 4.3 Tuotemallit ja mallinnustekniikat

Valmet käyttää tuotemallien luomisessa ja tuotetietojen hallinnassa Catia V6 ja PDM-järjestelmää. Catia V6 on Dassault Systèmesin kehittämä 3D-mallinnusjärjestelmä, ja se kuuluu osaksi 3D Experience-tuotetta. Catia V6:den avulla Valmet toteuttaa tuotteen 3D-mallin sekä tarvittavat piirustukset, kuten osan tai komponentin valmistuspiirustukset ja erilaiset kokoonpanopiirustukset. Valmetin PDM-järjestelmä on selainpohjainen applikaatio, jolla hallitaan tuotetietoa ja toteutetaan eri osien ja komponenttien osaluettelot toimitusprojekteille. Catia V6 ja PDM-järjestelmien välillä ei ole Valmetilla minkäänlaista integraatiota, jolloin niissä työskennellään itsenäisesti.

Valmetin tuotemalleissa käytetään viittä eri 3D-mallinnustekniikkaa, jotka ovat Skeletontekniikka, joustavat alikokoonpanot, Product Table (ilman Resource Tablea), Product Table Resource Tablen kanssa, ja Design Table.

Skeleton-tekniikka on yksinkertaisin käytetty mallinnustekniikka. Kaikki mitat on luotu samaan sketchiin, jossa niitä ohjataan. Samasta sketchistä saadaan tuotua publikaation avulla geometria jokaiseen tuotteen osaan. Näin olleen yksittäisen osan muokkaaminen ei vaikuta muihin osaan, mikä helpottaa mallin muokkaamista. Tämä tekniikka soveltuu parhaiten yksinkertaisille malleille, joihin tarvitsee tehdä vain vähän muutoksia.

Jos mallissa on sylintereitä, liikeruuveja tai muita vastaavia liikkuvia osia, joita halutaan näyttää eri asennoissa, voidaan näistä tehdä joustava alikokoonpano. Kyseisistä liikkuvista osista on olemassa standardimalli, joita käytetään monissa eri projekteissa. Aikaisemmin jokaisesta osasta piti kopioida uusi malli, jos se haluttiin tiettyyn asentoon. Joustava alikokoonpano mahdollistaa standardimallin käyttöä projektimallissa, koska siinä mallia ohjataan ylemmän tason skeletonilla, jonka mukaan sylinteri tai liikeruuvi muuttuu alikokoonpanoissa tilanteen mukaan.

Product Tablessa käyttäjän parametrit luodaan mallin ylimmälle tasolle. Käyttäjä valitsee mallin parametreista sellaiset valinnat, joilla se saa tuotteeseen haluamansa ominaisuudet. Kaikki halutut variaatiot on laitettu Catia V6:den Product Table-ominaisuuden alle. Parametrien mukaan valitaan Product Tablesta oikea rivi, joka sisältää halutun osan tai komponentin. Oikean rivin valitsemiseksi mallissa käytetään Rules-työkalua, joka parametrien valintojen perusteella valitsee Product Tablesta oikean rivin. Product Tablen sarakkeet sisältävät kaikki malliin ladattavat osat. Kun oikea rivi on valittu, ohjelma lataa true- ja false-komentojen perusteella tarvittavat osat oikean rivin kohdalta. True-komento tarkoittaa, että kyseinen osa ladataan ja false-komento tarkoittaa, että osa piilotetaan, koska tuotemallin avatessa Catia lataa kaikki siihen kuuluvat osat. Taulukossa 2 on yksinkertaistettu esimerkki Product Tablesta. Tuotemalli voi sisältää monta erillistä toisistaan riippumatonta Product Tablea.

Taulukko 2. Product Tablen rakenteen havainnollistaminen.

| | Komponentti X | Komponentti Y | Komponentti Z |
|---|---|---|---|
| M-koko variaatio 1 | False | True | True |
| M-koko variaatio 2 | False | True | False |
| M-koko variaatio 3 | False | False | True |
| M-koko variaatio 4 | True | True | True |
| M-koko variaatio 5 | True | False | True |

Product Table Resouce Tablen kanssa toimii samalla periaatteella kuin Product Table. Erona menetelmien välillä on se, että ladattavat osat löytyvät erillisestä resurssitaulukosta. Catia V6:den ei tarvitse ladata kaikkia osia tuotemallia ladatessa, vaan se lataa ainoastaan resurssitaulukossa määritetyt osat. Ilman Resource Tablea Catia V6 lataa ensin kaikki mallit muistiin, minkä jälkeen ylimääräiset mallit voidaan piilottaa erikseen.

Design hyödyntää Excel-pohjaista käyttöliittymää parametrien ohjaukseen. Tämä menetelmä on erityisen hyödyllinen silloin, kun mallissa on suuri määrä käyttäjäparametreja ja Rule-työkalun käyttö olisi liian monimutkaista. Excelin avulla voidaan suorittaa kaikki tarvittavat laskennat ja ohjata Catia V6:ta vastaavasti. Excel toimii samalla käyttöliittymänä ja valintalogiikkana: käyttäjä syöttää arvot taulukkoon, jossa voidaan hyödyntää funktioita oikeiden rivien valintaan. Product Tablet ja Resource Tablet rakennetaan malliin samalla tavalla kuin muissakin tekniikoissa, mutta tieto rivin valinnasta perustuu Excelin kautta tehtyyn laskentaan ja logiikkaan.

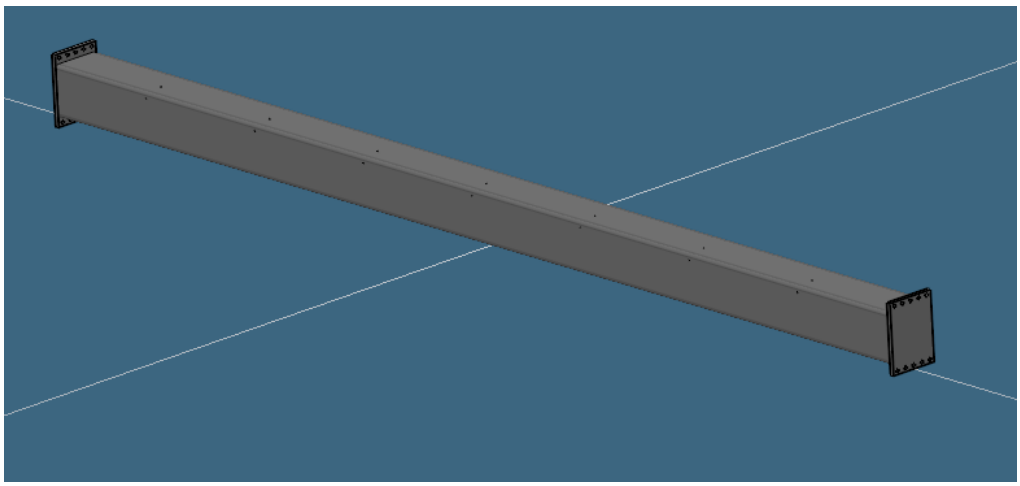
Seuraavassa kappaleessa tarkastellaan viittä eri tuotetta sekä niiden tuotemalleja. Tuotteet on valittu sen perusteella, että tuotemalleissa on käytetty eri mallinnustekniikoita.

### 4.3.1 Poikkipalkki

Poikkipalkki (kuva 13) on hitsattu rakenne, joka toimii runkojen tukirakenteena poikittaissuunnassa koneen kulkusuuntaan nähden. Tarkasteltavista tuotteista poikkipalkki on rakenteeltaan yksinkertaisin. Sen mallinnuksessa ja ohjauksessa hyödynnetään Skeleton-tekniikkaa, jonka avulla palkin pituusmittaa voidaan säätää muuttamalla leveyttä, pitäen muu geometria vakiona. Tuotteen yksinkertaisuuden ansiosta myös mallipiirustus on vakioitu;

ainoastaan leveysmitta L on jätetty vapaasti määriteltäväksi. Osaluettelo on vakiomuotoinen, mutta siihen lisätään erikseen poikkipalkin leveys.

Mallikirjastossa ei ole erillistä ohjetta mallin käyttöön, mikä on perusteltua, sillä mallin selkeys ja yksinkertaisuus tekevät lisäohjeistuksesta tarpeettoman.



Kuva 13. Poikkipalkin 3D-malli Catia V6:ssa.

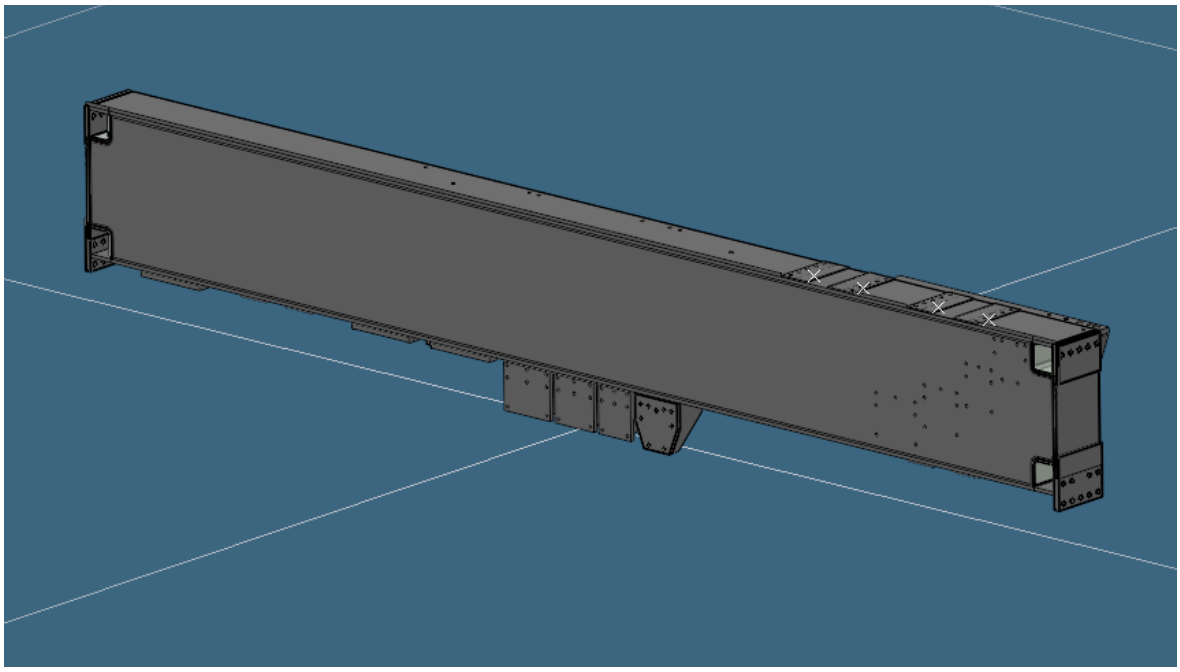
### 4.3.2 Pituussuuntainen runkopalkki

Pituussuuntainen runkopalkki (kuva 14) on yksittäinen hitsattu rakenne, joka toimii koneen runkona esimerkiksi kuvan 15 mukaisesti. Palkkiin kiinnitetään muita rakenteita ja komponentteja, ja sitä käytetään erityisesti Hybrid- ja monitasokoneissa. Tuotteen pituus vaihtelee tapauskohtaisesti, ja myös levystökannattimien määrä sekä sijainnit voivat muuttua projektin vaatimusten mukaan.

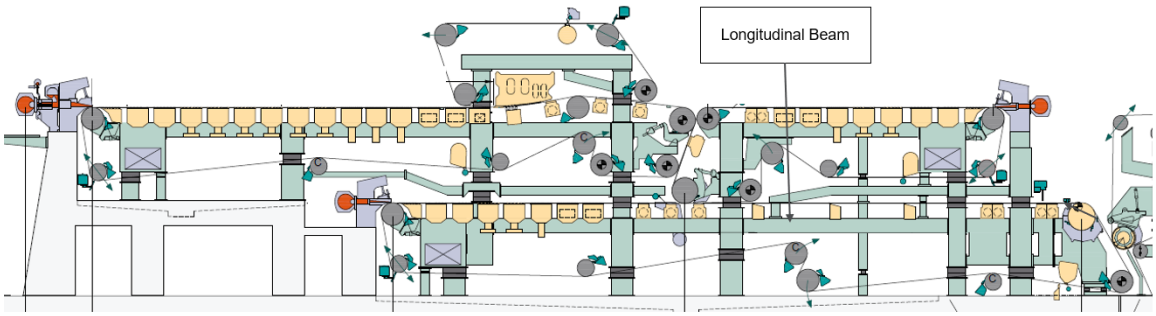
Runkopalkin leveys on määritetty Skeletoniin. Toisin kuin poikkipalkissa, tässä tuotemallissa leveyttä ohjataan erillisellä parametrilla, jonka arvo muuttaa vastaavaa Skeletonin mittaa. Myös levystökannattimien piirteet ja sijainnit on sidottu Skeletoniin, mahdollistaen niiden ohjauksen samankaltaisella parametrisoinnilla.

Tuotemallikirjaston puussa on malliin liitetty selkeä käyttöohje, joka on helposti löydettävissä ja tukee mallin oikeaoppista hyödyntämistä. Ohjeessa on yksityiskohtaisesti esitetty,

kuinka tuotemallia käytetään, mitä osia ja reikiä voidaan muokata parametreilla, ja mitä kohtia on tarvittaessa räätälöitävä. Lisäksi ohjeessa on esitetty parametrien käytölle asetetut reunaehdot, kuten alalevyjen reikien maksimimäärät ja halkaisijat. Käyttöohjeessa kerrotaan myös, miten mallipiirustuksia päivitetään ja mitä niissä tulee huomioida. Osaluettelon sijainti PDM-järjestelmässä on selkeästi ilmoitettu, ja mahdolliset muutostarpeet on erikseen kuvattu.



Kuva 14. Pituuspalkin 3D-malli Catia V6:ssa.




Kuva 15. Pituuspalkki paperi/kartonkikoneessa.

### 4.3.3 Foililaatikko

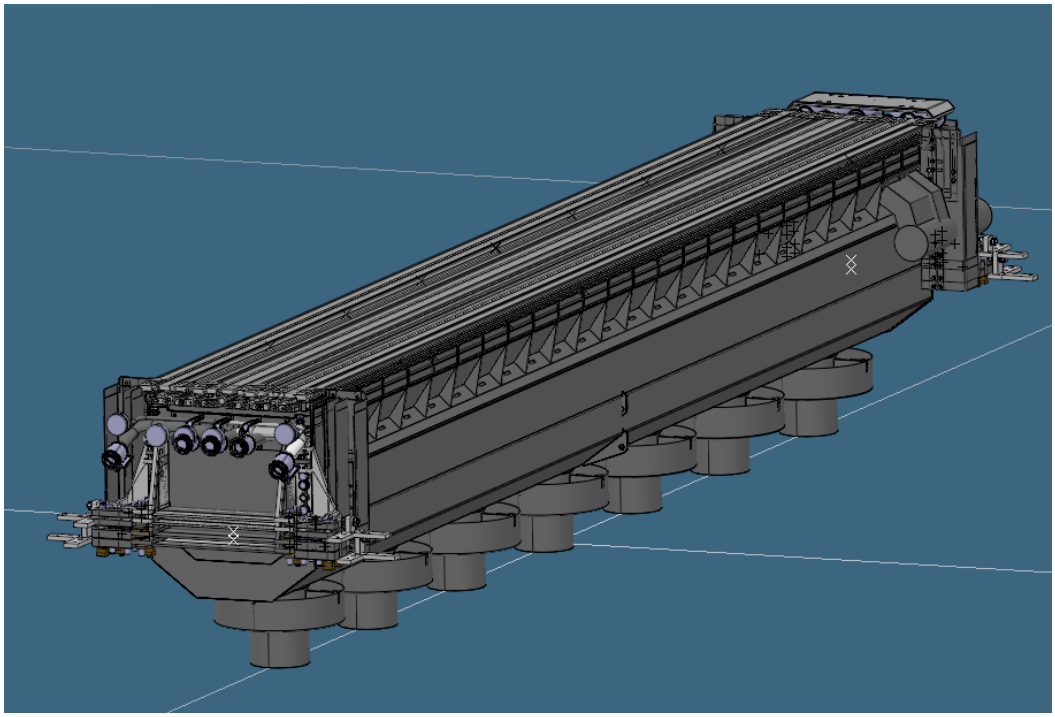
Foililaatikko (kuva 16) on vedenpoistoelementti, jota käytetään tasoviiran vedenpoistokalusteena, ja se soveltuu myös Hybridformer- ja monitasoviirakoneisiin. Yksittäisessä paperikoneessa voidaan hyödyntää useita erilaisia foililaatikoita riippuen vedenpoiston tarpeista. Kuvassa 17 esitetty lay-out havainnollistaa, kuinka erilaisia foililaatikoita on sijoitettu tietyn koneen viiraosaan. Vedenpoisto voidaan toteuttaa joko painovoiman avulla tai alipaineavusteisesti.

Foililaatikon tuotemalli on monipuolisesti parametroitavissa, ja se hyödyntää Catian omia funktioita sekä Product Table -toimintoja. Malliin on ladattu kaikki mahdolliset variaatiot, ja niin sanottu target-parametri määrittää, mitä kokonaisuuksia mallista aktivoidaan. Esimerkiksi "3D model creation" -valinta lataa vain tarvittavat osat projektikohtaisen mallin luomista varten. Tarvittaessa voidaan ladata kaikki tietyn kokoluokan, kuten M- tai L-koon, variaatiot esimerkiksi pääkokoonpanopiirustusten tekoa varten.

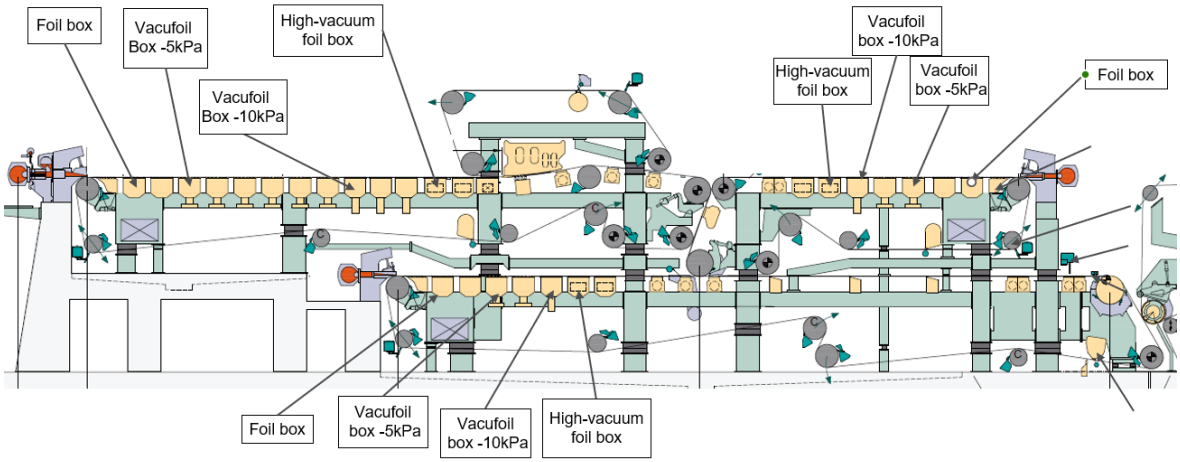
Tuotemallissa on käytössä useita eri Product Tableja, joihin liittyy joukko käyttäjäparametreja. Näitä ovat muun muassa laatikkotyypin valinta (alipaineavusteinen tai painovoimatoiminen), kätisyys, viiranleveys, kannakkeet, roiskesuojat ja materiaalivalinta. Parametrien avulla käyttäjä voi määrittää halutut ominaisuudet, minkä jälkeen Product Table valitsee niihin sopivan rivin ja lataa tarvittavat komponentit. Tämän rakenteen ansiosta mallilla voidaan muodostaa yli 800 käyttökelpoista variaatiota.

Mallissa on käytössä myös valmistuskoodijärjestelmä, jossa jokaiselle parametrivalinnalle on määritetty oma koodinimike. Koodi määräytyy käyttäjän tekemien valintojen perusteella, mutta sen perusrakenne säilyy muuttumattomana. Esimerkiksi foililaatikon päätyyppi toimii koodin ensimmäisenä nimikkeenä, jota seuraa kokovalinta (M- tai L-koko). Yhteensä koodissa on 14 muuttuvaa nimikettä, mikä mahdollistaa vastaavien piirustusten löytämisen suoraan koodin perusteella.

Foililaatikon tuotemallista on laadittu kattavat käyttöohjeet, jotka käsittelevät muun muassa valmistuskoodien logiikkaa, mallin duplikointia projektikohtaisiin tarpeisiin, osaluettelon kopiointia ja tuotemallin päivittämistä. Ohjeet on tallennettu erilliseen tietokantaan, mutta ne eivät ole suoraan saatavilla mallin rakennepuussa 3D-mallinnusympäristössä.



Kuva 16. Foililaatikon 3D-malli, johon ladattuna kaikki variaatiot.




Kuva 17. Erilaisia foililaatikoita paperi/kartonkikoneessa.

### 4.3.4 Alasiirtotelan liikutuslaite

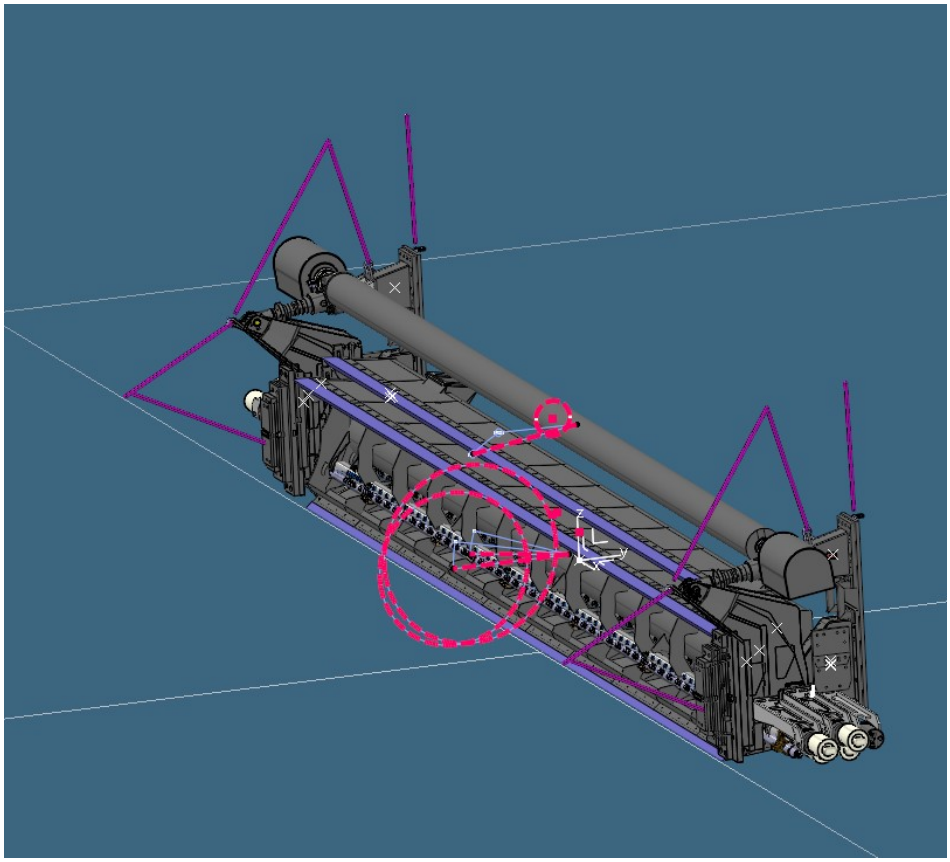
Alasiirtotelan liikutuslaitteisto (kuva 18) on suunniteltu mahdollistamaan telan liikkuminen käyttäjän tarpeiden mukaisesti. Laitetta käytetään erityisesti monitasoviirakoneissa kohdissa, joissa rainat yhdistetään (kuva 19). Telan asennon säätö tapahtuu ruuvivaihteiden avulla, mikä mahdollistaa portaattoman position säädön. Säädön jälkeen laite pysyy halutussa paikassa kierukkavaihteen ansiosta, joten erillistä mekaanista lukitusta ei tarvita. Laitteen liikuttamiseen käytetään joko hydrauli- tai sähkömoottoria.

Tuotemallissa on hyödynnetty Catian Product Table -toimintoa, johon sisältyy myös Resource Table. Mallin rakenne noudattaa pitkälti samaa logiikkaa kuin foililaatikkomalleissa. Käyttäjäparametrit sijaitsevat mallin päätasolla, ja mallin luomisessa voidaan käyttää target-parametria, jolla valitaan esimerkiksi "project model creation" -tila. Tällöin käyttäjäparametrit aktivoituvat ja mahdollistavat mallin muokkaamisen parametrien valintojen mukaisesti.

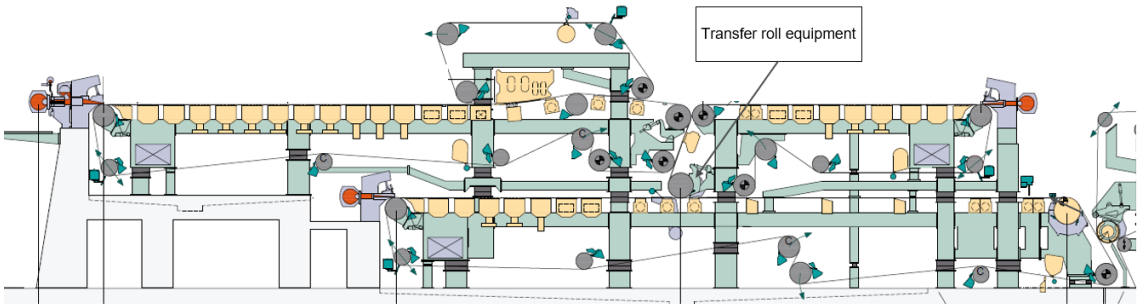
Parametrisoinnin avulla voidaan muodostaa laajasti eri variaatioita. Keskeisimpiä parametreja ovat viiranleveys, kätisyys, vaihtotelan tyyppi, telahalkaisija, laakerityyppi, vesikaukalon tyyppi sekä moottorivalinta (hydrauli- tai sähkömoottori). Lisäksi malliin on sisällytetty visualisointiin liittyviä valintoja: esimerkiksi Skeleton-rakenne tai nostoapuvälineet voidaan asettaa näkyviin tai piilottaa valittujen parametrien mukaisesti. Työn kirjoitushetkellä kaikkia osavalintoja ei ole vielä toteutettu, ja tuotemalli on edelleen osittain keskeneräinen.

Resource Tablen käyttö mahdollistaa sen, että malli lataa vain Product Tablessa määritetyt osat. Lisäksi mallissa käytetään joustavia alikokoonpanoja, mikä tukee standardimallien hyödyntämistä myös projektikohtaisissa sovelluksissa.

Tuotemallista on laadittu ohjeistus Catia V6:n puurakenteen mukaisesti. Ohjeessa kuvataan mallin toimintaperiaatteet sekä annetaan selkeät ohjeet mallin ja osaluettelon duplikointiin projektikäyttöön. Piirustusten laadinnassa hyödynnetään foililaatikkomallien tavoin valmistuskoodiperiaatetta, jossa parametrivalinnoista muodostetaan koodirakenne piirustusten tunnistettavuutta ja hallittavuutta varten.



Kuva 18. Telansiirtolaitteen 3D-malli Catia V6:ssa, johon ladattuna kaikki variaatiot.




Kuva 19. Telansiirtolaitteen sijainti.

### 4.3.5 Former layout tool

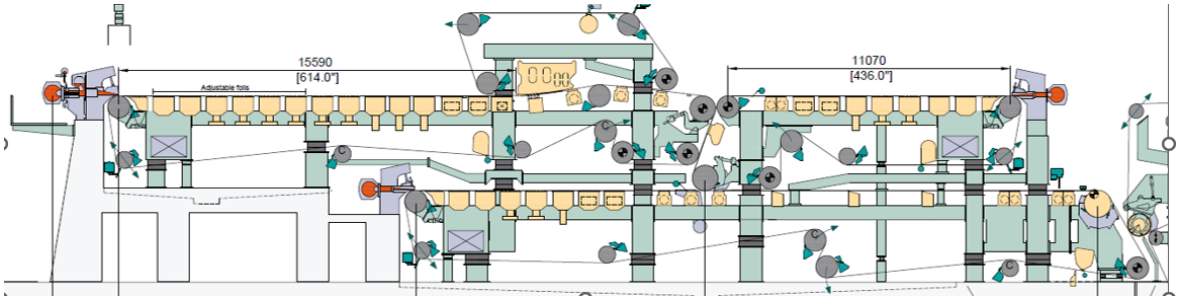
Former Layout Tool on suunnittelutyökalu, jota käytetään viiran layoutin mallintamiseen. Layout muodostaa kaksiulotteisen graafisen esityksen viiraosan komponenteista, niiden sijainneista sekä viiran kulkureitistä (kuva 20). Työkalun avulla voidaan havainnollistaa koko viiraosan tuoteperhe, mikä helpottaa erilaisten ratkaisuvaihtoehtojen tarkastelua ja vertailua. Lisäksi työkalu tarjoaa asiakkaalle selkeän visuaalisen näkymän viiran rakenteeseen sekä yksittäisten komponenttien positioihin ja mittoihin.

Former Layout Toolin käyttö on nopeaa ja suoraviivaista. Sen ohjauksessa hyödynnetään Design Table -tekniikkaa, jossa mallin parametrit määritellään Excel-pohjaisessa käyttöliittymässä. Verrattuna aiemmin tarkasteltuihin tuotemalleihin, Former Layout Tool sisältää huomattavasti enemmän ohjattavia parametreja, minkä vuoksi Excel tarjoaa tehokkaamman ja käyttäjäystävällisemmän ratkaisun kuin Catia V6:n sisältämät omat toiminnot. Excelin käyttö mahdollistaa myös paremman visualisoinnin parametrien hallintaan.

Käyttäjä tekee tarvittavat valinnat suoraan Excelin käyttäjäparametreihin, jotka ohjaavat mallin konfigurointia. Työkalu tukee käyttäjää valintaprosessissa osoittamalla punaisella värillä parametriyhdistelmät, jotka eivät ole yhteensopivia. Tämän jälkeen Excel laskee valintojen perusteella tarvittavat arvot, joiden pohjalta Catia V6 muokkaa 3D-mallin vastaamaan määriteltyjä ominaisuuksia.

Työkalun keskeinen vahvuus on sen monikäyttöisyys. hdellä ja samalla työkalulla voidaan tuottaa layout-malleja useisiin eri konfiguraatioihin ja konsepteihin.

Former Layout Toolin tuotemallista on laadittu kattava ohjeistus, joka on saatavilla suoraan Catia V6:n puurakenteesta. Ohjeistus sisältää selkeät kuvaukset työkalun toimintaperiaatteista, Excel-parametrien valinnasta ja ohjauksesta, mallin duplikoinnista, mahdollisten käyttövirheiden tunnistamisesta ja korjaamisesta sekä mallin muokkaamisesta erityistarpeisiin.




Kuva 20. Former layout toolin avulla luotu kuvanto viiraosan layoutista.

## 4.4 Haastattelut

Osana tutkimusta toteutettiin haastatteluja, joiden tarkoituksena oli syventää ymmärrystä tuotemalleista, niiden tuotetiedoista sekä käytettävyydestä eri työtehtävissä. Haastateltaviksi valittiin tuotemallien käyttäjiä monipuolisesti eri rooleista, jotta saatiin kattava kuva niiden hyödyntämisestä toimitusprosessin eri vaiheissa. Haastateltavia oli yhteensä 13, joista 9 on töissä Valmetilla ja 4 alihankkijalla.

Haastattelumenetelmäksi valittiin puolistrukturoitu haastattelu, jossa kysymykset laadittiin ennakkoon, mutta samalla jätettiin tilaa joustavuudelle ja jatkokysymyksille osallistujien vastausten perusteella. Haastattelukysymykset ovat liitteessä 1. Käyttäjäkokemuksia ja näkemyksiä tuotemalleista on vaikea täysin ennustaa, joten kyseinen menetelmä tarjosi hyvän mahdollisuuden kerätä monipuolista ja syvällistä tietoa.

Käsiteltävät asiat on jaoteltu kolmeen eri kokonaisuuteen: tuotekehitys, -hallinta ja suunnittelu. Jokaisen kokonaisuuden alle on koottu yhteenveto haastattelun oleellisimmista havainnoista.

### Tuotekehitys

Haastattelujen perusteella tuotemallien jatkuva parantaminen ja ajan tasalla pitäminen nähtiin keskeisenä osana tehokasta tuotekehitystä. Ajantasaiset ja hyvin ylläpidetyt tuotemallit tukevat uusien teknologioiden ja innovaatioiden hyödyntämistä, mikä nopeuttaa kehitysprosesseja ja parantaa lopputuotteen laatua. Modulaaristen rakenteiden hyödyntäminen

tuotemallien suunnittelussa mahdollistaa komponenttien uudelleenkäytön ja helpottaa ratkaisujen skaalautuvuutta tuleviin tarpeisiin.

Tuotekehityksen näkökulmasta painotettiin erityisesti parametrisoinnin merkitystä. Hyvin suunnitellut ja standardoidut parametrit mahdollistavat joustavan mallien muokkauksen ilman suuria uudelleensuunnittelutarpeita. Haastatteluissa tuotiin kuitenkin esiin, että puutteellisesti parametroidut tai jäykät tuotemallit voivat rajoittaa kehitystyötä ja hidastaa suunnitteluprosessia. Tällöin suunnittelijat joutuvat tekemään manuaalisia muutoksia, mikä vie aikaa ja voi heikentää työn laatua.

Uusien tuotemallien kehityksessä on tärkeää huomioida tuotteiden varioituvuus jo suunnittelun alkuvaiheessa. Haastatteluissa korostettiin, että myöhemmin tehtävät muutokset mallin varioituvuuteen voivat olla työläitä, erityisesti kun asiakaskohtaiset vaatimukset vaihtelevat ja kaikkia mahdollisia variaatioita on mahdotonta ennustaa etukäteen. Tällöin joudutaan usein tekemään räätälöityjä ratkaisuja, mikä lisää kehitystyön kuormitusta.

Kehitystyötä hidastavat myös tuotemallit, jotka ovat puutteellisia tai osittain rikkinäisiä. Erityisesti mainittiin harjallinen suihkuputki, jonka parametrien ohjaus ei toimi suunnitellusti. Tällaisissa tapauksissa suunnittelijat joutuvat joko muokkaamaan mallia manuaalisesti tai käyttämään kopioituja malleja muista projekteista, mikä ei tue systemaattista kehitystyötä. Haasteita ilmenee erityisesti alihankinnan piirissä, jossa tuotemallien ongelmat voivat jäädä korjaamatta, koska vastuut eivät ole selkeästi määritelty. Tämä vaikeuttaa palautteen antamista ja hidastaa mallien parantamista.

Lisäksi haastatteluissa nousi esiin piirustuksiin liittyviä ongelmia, kuten levyleikekuvantojen poikkeamia ohjeistukseen nähden. Tällaiset puutteet johtavat manuaaliseen korjaustarpeeseen ja hidastavat tuotteen valmistelua. Myös nimiketiedon hallinta nähtiin kehitystyön kannalta kriittisenä. Kun osiin tehdään muutoksia ja uusia nimikkeitä luodaan, nämä eivät päivity automaattisesti tuotemalleihin. Tämän seurauksena malleihin jää vanhentuneita komponentteja, mikä lisää virheiden riskiä ja vie aikaa projektikohtaisessa suunnittelussa.

### Tuotehallinta

Haastateltavat nostivat esiin tuotemallien versionhallinnan merkityksen. Muutosten hallinta on kriittistä, jotta vanhentuneet tiedot eivät aiheuta virheitä tai viivästyksiä. Haasteena on

varmistaa, että päivitetyt tuotemallit ovat nopeasti ja tehokkaasti saatavilla kaikille niitä tarvitseville käyttäjille. Lisäksi nimikkeistön hallinta vaatii jatkuvaa tarkastelua ja resursseja, jotta tuotemallien tiedot pysyvät ajan tasalla ja yhtenäisinä.

Tuotehallinnan näkökulmasta on tärkeää määritellä selkeät vastuut tuotemallien ylläpidosta. Haastateltavat korostivat, että ilman keskitettyä hallintaa tuotemallit voivat kehittyä epäyhtenäisesti, mikä vaikeuttaa niiden käyttöä ja ylläpitoa.

Tuotemallien muokkaaminen voi olla haastavaa ja työlästä, jos muutostarvetta ei ole otettu huomioon tuotemallia tehdessä. Olisi siis hyvä miettiä etukäteen, mitä osia vakioi ja mihin jättää enemmän liikkumavaraa.

Työn kirjoitushetkellä on koettu, että nykyinen tuotemallien päivittäminen ei ole riittävällä tasolla. Usein päivitystarpeet ilmenevät, kun alihankintasuunnittelussa käytetään tuotemalleja ja huomataan puutteita. Tuotemallien päivittämistä on myös tehty projektien lomassa alihankinnan toimesta. Valmetin näkökulmasta tämä on jouhevaa ja tehokasta, kun löydetyt puutteet voidaan korjata tuotemalliin projektin yhteydessä, eikä siihen tarvitse sijoittaa ylimääräisiä resursseja. Toisaalta alihankinnan näkökulmasta tämä on aiheuttanut kritiikkiä. On koettu, että suunnitteluun mitoitettu aikataulu on hyvin tiukka. Näin ollen ylimääräiseen tuotemallien korjaamiseen ei ole aikaa. Tuntisuunnittelussa ei ole myöskään otettu huomioon puutteellisten tuotemallien aiheuttamien ongelmien ratkaisuun kuluva aika. Tiukan aikataulun seurauksena malleissa on enemmän virheitä, koska tarkastukseen ja virheiden korjaamiseen jää vähemmän aikaa. Näin ollen huonojen tuotemallien käyttäminen on koettu epämiellyttäväksi. Lisäksi motivaatio korjata virheet tuotemalleissa on matala, koska suunnittelutunneissa ei ole otettu huomioon tuotemallien korjaamiseen kuluva aika. Alihankinta ei siis koe hyötyvänsä tuotemallien korjaamisesta.

Tuotehallinnan näkökulmasta keskeinen haaste on myös nimiketiedon päivittyminen tuotemalleihin. Tuotemalleissa käytettävät osat perustuvat nimikkeisiin, ja muutosten yhteydessä osille luodaan usein uudet nimikkeet. Vanhojen nimikkeiden automaattinen päivitys ei kuitenkaan toimi, minkä seurauksena tuotemalleihin jää vanhentuneita osia. Tämä aiheuttaa lisätyötä projektien aikana, kun vanhoja nimikkeitä joudutaan vaihtamaan käsin. Haastatteluissa todettiin, että nimiketieto voi muuttua merkittävästi jo vuoden aikana, mikä korostaa päivitystarpeen säännöllisyyttä.

Suunnittelu

Tuotemallien hyödyntäminen suunnittelussa nähtiin merkittävänä tekijänä suunnitteluprosessin tehostamisessa. Haastateltavat korostivat, että hyvin rakennetut tuotemallit mahdollistavat standardiratkaisujen laajamittaisen käytön, vähentävät manuaalista työtä ja pienentävät virheiden riskiä. Näin ne nopeuttavat suunnittelutyötä ja parantavat suunnittelun laatua.

Suunnittelun tehokkuuden kannalta tuotemallien rakenteen ja parametrien on oltava selkeitä, loogisia ja joustavia. Haastatteluissa nousi esiin, että monimutkainen tai huonosti dokumentoitu tuotemalli voi vaikeuttaa sen hyödyntämistä ja aiheuttaa turhaa lisätyötä. Suunnittelijat toivoivat intuitiivisempia malleja, jotka eivät rajoita muokkaamista ja mahdollistavat tarvittavat muutokset helposti eri projektien tarpeisiin.

Modulaarisuus koettiin tärkeänä ratkaisuna suunnittelutyön sujuvoittamiseen, sillä sen avulla voidaan toteuttaa erilaisia konfiguraatioita ilman tarvetta tehdä mallia alusta asti. Jotta modulaaristen mallien tarjoamat hyödyt voitaisiin maksimoida, tarvitaan haastateltavien mukaan selkeitä ohjeita ja yhtenäisiä toimintamalleja mallien käyttöön. Tällä hetkellä ohjeistuksessa on puutteita osaluettelorakenteen muodostamiseen liittyen. Vaikka yksittäisillä tuotemalleilla saattaa olla omat ohjeensa osaluettelon luomiseen, yleisiä, koko organisaation kattavia ohjeita tähän ei ole. Tämä vaikeuttaa etenkin harvemmin tuotemalleja käyttävien työntekijöiden työtä.

Haastatteluissa tuotiin esiin myös tarve Skeleton-pohjien laajempaan hyödyntämiseen. Skeleton-rakenne lisää mallien uudelleenkäytettävyyttä, mutta monissa nykyisissä 3D-malleissa sitä ei ole käytössä. Ilman Skeletonia mallien käyttö muihin projekteihin on vaikeaa tai mahdotonta, mikä vähentää tuotemallien pitkäaikaista hyötyä.

Suunnittelun tueksi toivottiin parempia keinoja mitata tuotemallien vaikutusta suunnittelutyöhön ja resurssien käyttöön. Tällä hetkellä ei ole käytössä menetelmiä, joilla voitaisiin seurata tuotemallien tuomia tehokkuus- tai taloudellisia hyötyjä. Tämä hankaloittaa mallien kehittämistä ja priorisointia. Alihankinnan osalta palautteen saaminen tuotemalleista on vaikeaa, eikä suunnittelutyön tai -tuntien käyttö ole helposti seurattavissa, koska alihankkijat määrittävät itse suunnittelun toteutustavat.

Konseptien monimuotoisuus muodostaa oman haasteensa tuotemallien hyödyntämiselle. Kaikki mallit eivät vastaa projektien erityistarpeita, jolloin joudutaan tekemään räätälöintiä.

Jos tuotemallia ei ole alun perin suunniteltu muokattavaksi, muutosten tekeminen voi olla työlästä. Esimerkiksi geometrian tai runkorakenteen muutokset saattavat ylittää tuotemallin mukautusmahdollisuudet. Myös tilanpuute on yleinen ongelma – mallilla luotu komponentti ei välttämättä sovi suunniteltuun asennuspaikkaan, jolloin suunnittelua on jatkettava tuotemallin ulkopuolella.

# 5 Analyysi

Analyysikappaleessa analysoidaan tuloskappaleessa esitettyjä tuloksia. Kappaleessa pohditaan tuotemallien tuotetietojen nykytilaa, ja kuinka ne vastaavat käyttäjien tarpeisiin. On tunnistettu tuotemalleissa tai niihin liittyviin toimintatavoissa olevia puutteita ja kehityskohteita, joihin on kehitetty ratkaisuja tai kehitysideoita. Kappaleessa vastataan johdannossa esitettyihin tutkimuskysymyksiin.

## 5.1 Tuotemallien hyödyt toimitusprosessin näkökulmasta

Haastattelujen ja tuotemallitarkastelujen perusteella Valmetin nykyiset tuotemallit ovat pääsääntöisesti selkeitä, helppokäyttöisiä ja toimivia. Suunnittelijoiden kokemusten mukaan tuotemalleihin tarvitsee vain harvoin tehdä sellaisia projektikohtaisia muutoksia, joita ei ole mahdollista toteuttaa valmiiksi mallinnetuilla variaatioilla. Kun tuotteet saadaan suunniteltua pelkästään tuotemallin sisältämillä vaihtoehdoilla, suunnittelu nopeutuu merkittävästi ja tehostuu selvästi verrattuna räätälöityihin ratkaisuihin. Vakioidut tuotteet, piirustukset ja osaluettelot ovat lisäksi helposti tarkastettavissa, mikä sujuvoittaa projektien etenemistä.

Tuotemalleihin sisältyvä toistuvuus tukee myös valmistusprosessia. Esimerkiksi koneistuksessa käytettävät ohjelmat voidaan hyödyntää uudelleen, kun tarvittavat koneistukset ja niiden järjestykset toistuvat tuotteesta toiseen. Tämä vähentää uusien koneistusohjelmien tarvetta ja nopeuttaa valmistusta. Myös hitsauksessa toistuvat rakenteet mahdollistavat vakioidun hitsausjärjestyksen käytön, mikä tuo tehokkuutta ja parantaa laatua.

Erityisesti layout-työkalu on saanut haastatteluissa paljon kiitosta. Työkalu nopeuttaa suunnittelua merkittävästi, sillä sen avulla voidaan määrittää tarvittavat tuotteet eri variaatio- ja yhdistelmävaihtoehtojen pohjalta. Tämä tekee siitä keskeisen ja ajansäästöä tuottavan osan suunnitteluprosessia.

Hyvä ohjeistus on olennainen osa tuotemallien sujuvaa käyttöä. Haastattelujen mukaan ohjeet ovat pääosin selkeitä ja helposti löydettävissä, ja ne sisältyvät yleensä Catia V6 -järjestelmän puurakenteeseen. Hyvin laaditut ohjeet vähentävät kysymysten määrää ja tukevat etenkin uusien tai harvemmin tuotemalleja käyttävien suunnittelijoiden työskentelyä.

Lisäksi tuotemallien hyödyntäminen standardiosiin perustuvassa mallintamisessa tuo merkittäviä etuja verrattuna referenssipohjaiseen mallinnukseen, jossa jokaiselle osalle joudutaan luomaan uusi nimike. Standardiosien käyttö nopeuttaa suunnittelua ja valmistusta, koska niille on jo valmiiksi olemassa hyväksytyt valmistuspiirustukset ja osaluettelot. Valmistusprosessissa standardiosien toistuvuus tuo tehokkuutta, vähentää virheiden mahdollisuutta ja mahdollistaa osaamisen kehittymisen kyseisten osien valmistuksessa.

## 5.2 Tuotemalleihin ja niiden käyttöön liittyvät haasteet toimitusprosessin näkökulmasta

Haastatteluiden perusteella tuotemallit vaativat merkittäviä päivityksiä jopa viiden vuoden sisällä niiden käyttöönotosta. Tämän vuoksi on tärkeää arvioida tuotemallien taloudellista kannattavuutta vertaamalla sen avulla suunnitellun tuotteen suunnitteluun käytettyä aikaa vastaavanlaiseen, täysin räätälöityyn tuotteeseen. Näin voidaan arvioida, kuinka monta tuntia tuotemallin käyttö on säästänyt yksittäisen tuotteen suunnittelussa. Lisäksi on tarpeen kerätä tietoa siitä, kuinka monta tuotetta yksittäisellä tuotemallilla on toteutettu esimerkiksi viiden vuoden ajanjaksolla. Tuotemallin tuottama kokonaishyöty voidaan arvioida laskemalla yhteen säästetyt suunnittelutunnit ja vertaamalla niitä tuotemallin kehittämiseen ja päivittämiseen kuluneisiin tunteihin. Mikäli kehitystyöhön ja ylläpitoon käytetty työmäärä ylittää saavutetut säästöt, ei tuotemallin hyödyntäminen ole kokonaistaloudellisesti perusteltua.

Viiden vuoden tarkastelujakso perustuu Valmetilla hyväksi koettuun takaisinmaksuaikaan tuotemallipanostuksille. Pidemmän aikavälin käyttäminen kasvattaa riskiä siitä, että tuotemalliin täytyy tehdä merkittäviä muutoksia päivitystarpeiden vuoksi. Tällöin aiempaan tuotantoon perustuva säästöarvio ei ole enää luotettava.

On kuitenkin huomioitava, että tässä arviointimallissa ei oteta huomioon kaikkia tuotemallien käytön hyötyjä. Esimerkiksi suunnittelun toistettavuus voi parantaa tuotteen laatua ja nopeuttaa tuotantoa, mikä tuo lisähyötyjä toimitusprosessin tehokkuuteen ja kokonaiskustannuksiin.

Modulaaristen tuotemallien tavoitteena on suunnittelukustannusten alentaminen. On kuitenkin tärkeää varmistaa, etteivät säästöt suunnittelussa johda lisäkustannuksiin toimitusprosessin muissa vaiheissa, kuten valmistuksessa tai kokoonpanossa. Tuotteen kokonaiskustannusten tulee pysyä mahdollisimman matalina, mikä edellyttää huolellista tasapainottelua ja

kompromisseja tuotemallien suunnittelussa ja ylläpidossa. Liiallinen yksinkertaistaminen voi johtaa tilanteisiin, joissa tuotteen valmistettavuus tai toimivuus kärsii. Haastatteluissa nousi esimerkiksi esiin tapaus, jossa eri projekteissa käytettiin samaa runko-osaa, vaikka projektien vaatimukset erosivat toisistaan. Tämä johti tarpeettomiin porauksiin, ylimääräiseen materiaaliin ja kokoonpanovaikeuksiin, sillä osat olivat osittain ylimitoitettuja tai varustettu turhilla ominaisuuksilla. Tällaiset ratkaisut voivat aiheuttaa lisäkustannuksia muun muassa koneistuksessa, materiaalihukassa ja hankalammassa kokoonpanossa.

Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan tuotemalleihin liittyvien toimintatapojen kehityskohteita tuotekehityksen, -hallinnan ja suunnittelun näkökulmista.

### 5.2.1 Tuotekehitys

Tuotteen varioituvuus pitää olla hyvin jäsennelty ennen kuin tuotemallia aletaan tekemään. Varioituvuuksien määrittämiseen on tämän työn pohjalta luotu lähtötietolomake, joka helpottaa tuotemallin tekijää tunnistamaan tuotteen varioituvuudet. Varioituvuuksien huolellinen määrittäminen on tärkeä vaihe, koska uusien varioituvuuksien lisääminen tuotemalleihin jälkikäteen voi olla todella haastava ja työläs prosessi. Tuotteen varioituvuuksien rajapintojen määrittäminen on haastattelujen mukaan yksi työläimpiä vaiheita tuotemallia luodessa.
Tietyissä tuotemalleissa on jo tiedossa olevia puutteita. Tällaisia puutteita ovat esimerkiksi suihkuputken tuotemalli, joka kirjoitushetkellä toimii niin huonosti, että haastattelujen mukaan suunnittelijat tekevät tuotteet mieluummin referenssituotteen perusteella kuin käyttäisivät tuotemallia. Toinen esimerkki on eräiden tuotteiden levyleikekuvannot, jotka haastattelujen mukaan eivät ole ohjeistusten mukaisia.
Iso ongelma nykyhetkellä on systemaattisuuden puute tuotemalleja luodessa. Tuotemalleja tulisi luoda siten, että niiden rakenteet ovat yhteneviä, jotta niitä olisi helppo käyttää ja muokata. Tätä varten tulisi tuotemallien luomiseen liittyvää ohjeistusta tehdä tarkemmaksi ja yksityiskohtaisemmaksi. Ohjeistuksen nykytilaa ja kehitysehdotuksia käsitellään lisää myöhemmissä kappaleissa.

### 5.2.2 Tuotehallinta

Haastatteluiden perusteella tuotemallien päivityksiä on usein ulkoistettu alihankkijoille projektien yhteydessä tehtäviksi lisätöinä. Tämä toimintatapa on osoittautunut ongelmalliseksi useista syistä. Ensinnäkin alihankkijoilla ei ole taloudellista kannustinta tuotemallien huolelliseen korjaamiseen, sillä päivitystyöstä ei ole useinkaan sovittu erillistä korvausta. Tämä johtaa siihen, että tuotemalleista korjataan ainoastaan kyseiseen projektiin vaikuttavat ilmeiset virheet. Usein nämä puutteet havaitaan sattumalta ilman järjestelmällistä tuotemallin tarkastelua, mikä tarkoittaa, että muita piileviä virheitä tai epäjohdonmukaisuuksia voi jäädä huomaamatta.

Toiseksi, tuotemallien päivitysten laadun varmistaminen on vaikeaa. Projektin yhteydessä tehtävä päivitystyö riippuu pitkälti alihankkijan yksittäisen työntekijän motivaatiosta ja resursseista. Haastattelujen mukaan motivaatiotaso on usein matala, ja tiukat aikataulut rajoittavat mahdollisuuksia huolelliseen työhön. Tämä voi johtaa virheellisesti tai puutteellisesti toteutettuihin päivityksiin — tai jopa siihen, ettei päivityksiä tehdä lainkaan.

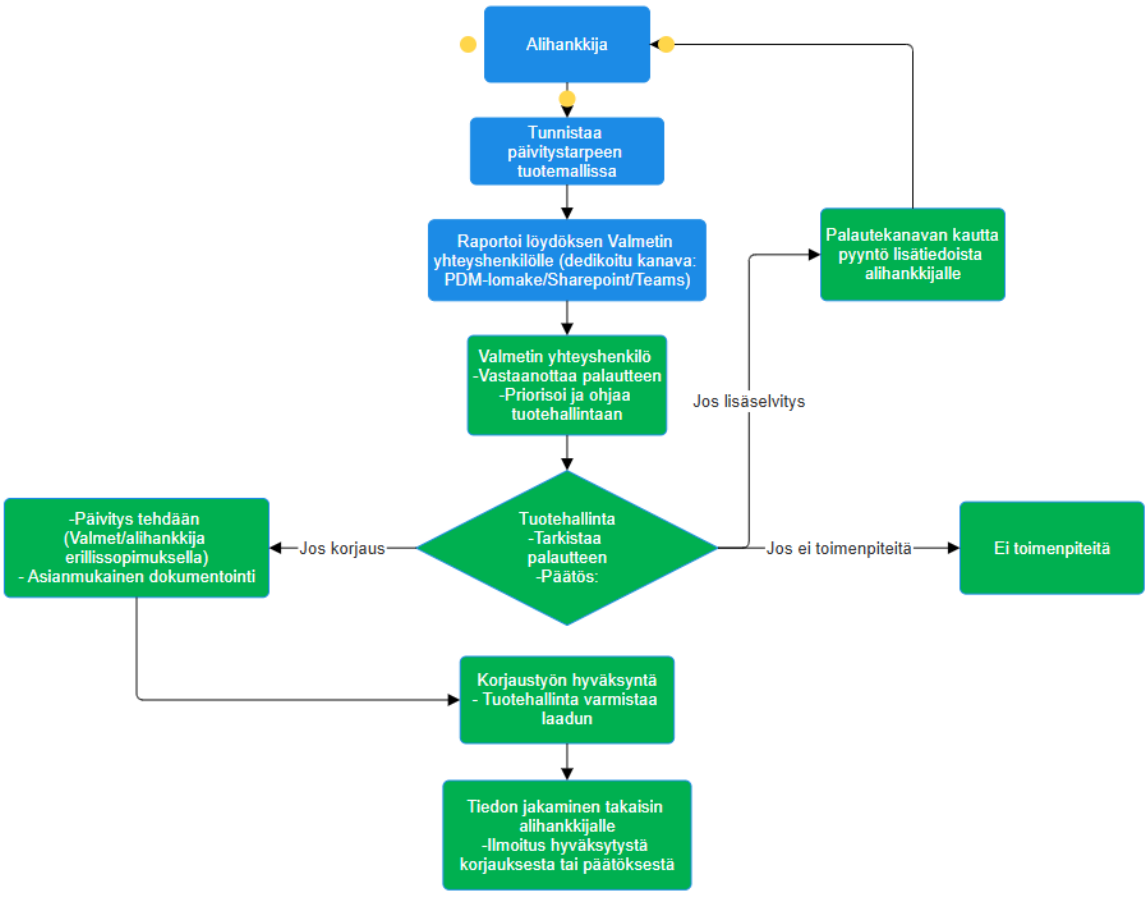
Kolmanneksi, dokumentointi päivityksistä on usein puutteellista tai kokonaan puuttuvaa. Muutoksia ei systemaattisesti kirjata ylös, mikä vaikeuttaa myöhempää seurantaa ja virheiden jäljittämistä. Ongelmia aiheuttaa myös se, ettei alihankkijoilla ole aina tiedossa, kenelle Valmetilla voi raportoida tuotemallien ongelmista tai kysyä neuvoa. Tämä johtaa siihen, että tieto ei kulje tuotehallinnalle eikä korjaustarpeisiin reagoida ajoissa.

Ongelmaa voitaisiin ratkaista sopimalla erillisistä lisätöistä alihankkijoiden kanssa nimenomaan tuotemallien päivittämiseksi. Tähän työhön tulisi sisällyttää myös mallien tarkastus mahdollisten piilevien virheiden varalta. Lisäksi tarvitaan nimetty yhteyshenkilö Valmetilta vastaamaan tiedonkulusta ja koordinoinnista alihankkijoiden suuntaan. Vaikka tuotemallien päivitys pyritään ensisijaisesti tekemään Valmetin sisällä osana tuotehallintatyötä, on projektien yhteydessä toteutettu päivitystyö koettu joustavaksi ja hyödylliseksi täydentäväksi käytännöksi.

Yhtenäinen ohjeistus on tärkeä edellytys laadukkaalle ja tehokkaalle tuotemallinnukselle. Rakenteeltaan yhtenevät tuotemallit helpottavat käyttöä ja nopeuttavat niiden ymmärtämistä. Ilman ohjeistusta mallinnustekniikat jäävät yksittäisten työntekijöiden varaan, mikä heikentää tiedon siirrettävyyttä ja luo riskin osaamisen katoamisesta. Esimerkiksi tilanteissa,

joissa osien nimikkeet muuttuvat, muutokset jäävät päivittämättä tuotemalliin ja huomataan vasta myöhemmin, usein projektien aikana.

Nykyinen toimintamalli ei kuitenkaan takaa tehokasta tuotemallien ylläpitoa. Tieto päivitystarpeista ei kulkeudu systemaattisesti tuotehallinnalle, eikä alihankkijoilla ole selkeää kanavaa, jonka kautta päivityksiin liittyvät havainnot saataisiin Valmetin tietoon. Tämän vuoksi ehdotettuna toimintamallina olisi perustaa yhtenäinen palautekanava, esimerkiksi sähköinen palauteportaali, johon alihankkijat voivat helposti raportoida havaitsemansa ongelmat ja kehitysehdotukset. Palautteen vastaanottamisesta vastaisi Valmetin nimetty yhteyshenkilö, joka ohjaisi raportit eteenpäin tuotehallinnalle ja varmistaisi reagoinnin. Raportointi tulisi myös aikatauluttaa osaksi projektin eri vaiheita, esimerkiksi suunnittelun aloituksen, välitarkastelun ja projektin lopetuksen yhteyteen. Näin varmistetaan, että havainnot kerätään järjestelmällisesti, ja tieto kulkee ajallaan oikeille tahoille. Ehdotettua toimintamallia havainnollistetaan prosessikaaviona kuvassa 21.




Kuva 21. Ehdotetun toimintamallin prosessikaavio.

Heikkolaatuinen tuotemalli aiheuttaa lisätyötä tuotteen muokkauksessa ja päivityksessä. Joissain tilanteissa on jouduttu harkitsemaan kokonaan uuden tuotemallin laatimista vanhan päivittämisen sijaan, jolloin aiemmin mallin tekemiseen käytetty työ menetetään. Tuotemallien tulisi olla rakenteeltaan sellaisia, että niiden päivittäminen ja hyödyntäminen olisi kannattavampaa kuin uuden mallin aloittaminen alusta.

### 5.2.3 Suunnittelu

Modulaarisuuden tuomat hyödyt jäävät vajaiksi, jos tuotemallien tarjoamia variaatioita ei voida käyttää sellaisenaan, vaan tuotetta joudutaan muokkaamaan käsin. Tällaisessa tilanteessa suunnittelu ei poikkea räätälöidyn tuotteen tekemisestä, ja moduulirakenteeseen perustuvien tuotemallien keskeiset edut — kuten toistettavuus, suunnitteluaikojen lyheneminen ja virheiden vähentyminen — menetetään. Jotta variaatioita voitaisiin hyödyntää tehokkaasti, tarvitaan selkeä mallinnustekniikka, ohjeistus sekä vakioidut ja helposti sovellettavat variaatiot. Lisäksi suunnittelun sujuvuuden varmistamiseksi piirustusten tulee syntyä suoraan 3D-mallista mahdollisimman vaivattomasti, ja osaluetteloiden on oltava aina ajan tasalla sisältäen oikeat nimikkeet ja määrät.

Kokoonpano perustuu niin sanottuun Area-piirustukseen, joka toimii projektikohtaisena asiakaspiirustuksena ja sisältää kaikki asennuksen kannalta kriittiset tiedot. Koska jokaiselle projektille laaditaan oma Area-piirustus, niitä ei ole mahdollista vakioida tuotemalleiksi samalla tavoin kuin muita suunnitteluelementtejä. Tämän vuoksi suunnittelussa tarvitaan erityistä tarkkuutta sen varmistamiseksi, että tuotemalleihin sisältyvät tiedot ovat yhdenmukaisia ja luotettavia myös Area-piirustuksiin perustuvan kokoonpanon näkökulmasta.

Joissain tapauksissa on tarkoituksenmukaista sallia projektikohtaisesti räätälöidyn osan käyttö sen sijaan, että tuotemalliin lisättäisiin uusi vakio-osa. Tällainen päätös tulisi perustua osan toistuvuuteen: jos osa esiintyy usein eri projekteissa, uuden malliosan luominen tuotemalliin on perusteltua. Harvoin käytettävät osat sen sijaan voidaan toteuttaa räätälöitynä ilman, että koko tuotemallia tarvitsee monimutkaistaa.

Koska suuri osa suunnittelusta toteutetaan alihankintana, tuotemallien käytettävyys korostuu juuri alihankkijoiden työssä. Näin ollen mahdolliset puutteet ja virheet tuotemalleissa

havaitaan usein nimenomaan alihankinnan toimesta. Jotta nämä havainnot voitaisiin hyödyntää tuotemallien kehittämisessä, on tärkeää varmistaa sujuva ja selkeä tiedonkulku alihankinnan ja Valmetin välillä. Tiedon tulee kulkea helposti ja nopeasti, jotta suunnittelun laatu ja tuotemallien ylläpito voidaan varmistaa myös alihankintasuunnittelussa.

## 5.3 Mallinnustekniikoiden soveltuvuus tuotemalleihin

Eri mallinnustekniikoilla on omat vahvuutensa ja rajoitteensa, ja niiden soveltuvuus riippuu tuotemallin rakenteesta, variaatioiden määrästä sekä suunnittelun ja käytön vaatimuksista. Haastattelujen ja tarkasteltujen tuotemallien perusteella teknisen valinnan vaikutukset tuotemallin toimivuuteen ja käytettävyyteen ovat merkittäviä.

Skeleton-tekniikka soveltuu parhaiten yksinkertaisiin tuotemalleihin, joissa on vain muutama helposti ohjattava muuttuja ja joissa suurin osa osista on vakiokomponentteja. Esimerkiksi poikkipalkkia koskevassa tuotemallissa Skeleton-tekniikka oli erinomainen valinta, koska ainoa muuttuja oli palkin leveys. Kun ohjaavia parametreja on enemmän kuin kolme, Skeleton-tekniikka muuttuu helposti liian monimutkaiseksi, jolloin se ei ole enää tehokas ratkaisu. Jos eri variaatiot sisältävät myös erilaisia osia, kannattaa Skeletonin sijaan hyödyntää Product Table- tai Resource Table -tekniikoita.

Joustavat alikokoonpanot mahdollistavat saman standardinimikkeen käytön useissa eri tuotemalleissa ilman, että siitä täytyy tehdä uusi nimike pelkästään eri sijainnin vuoksi. Tämä ratkaisee aiemman ongelman, jossa samasta osasta jouduttiin luomaan uusi nimike jokaiselle projektille. Tällainen käytäntö johti mallikirjaston kuormittumiseen ja vaikeutti osien hallintaa. Joustavat alikokoonpanot eivät kuitenkaan yksin riitä kattamaan tuotemallien tarpeita, vaan niitä käytetään tukena muiden tekniikoiden, kuten Resource Tablen, kanssa. Haasteena on, että Resource Table ei aina toimi moitteettomasti yhdessä joustavien alikokoonpanojen kanssa. Esimerkiksi alasiirtotelan liikutuslaitteen tuotemallissa liikuteltavat osat jouduttiin toteuttamaan Product Table -tekniikalla, koska Resource Table ei toiminut kyseisessä tapauksessa.

Product Table soveltuu monipuolisesti erilaisiin tarpeisiin. Se on periaatteiltaan samanlainen kuin Resource Table, mutta hieman nopeampi toteuttaa, koska erillistä Resource Tablea ei tarvitse tehdä. Product Table lataa kaikki variaatiot Catia V6: teen, joten mallin lataaminen

ja muokkaaminen vaatii enemmän resursseja. Toinen ongelma kaikkien mallien lataamiseen liittyen on, että Catia V6 lataa mallien lisäksi myös tarpeettomien mallien linkit. Näin ollen on suurempi riski, että konfiguroitua mallia ladattaessa linkit katkeavat. Resource Tablessa tällaista ongelmaa ei ole, koska Catia V6 lataa ainoastaan valitut mallit ja linkit, joten riski linkkien katkeamiseen on pienempi.

Esimerkkinä voidaan mainita foililaatikoiden tuotemalli, jossa Product Table -tekniikan käyttö ei ole suositeltavaa laajan varioituvuuden vuoksi. Sen sijaan alasiirtotelan liikutuslaitteen tuotemallissa käytetty Resource Table on soveltuvin vaihtoehto. Resource Table -tekniikka yhdistää resurssitehokkuuden ja luotettavan toiminnan, ja sen avulla tuotemallien käyttö on vaivatonta erityisesti silloin, kun tuotteet voidaan toteuttaa pelkästään tuotemallin valinnoilla. Helppokäyttöisyyttä voi edistää Reaction-komennolla, jonka avulla voi parametreista piilottaa valintojen perusteella tuotteeseen kelpaamattomat valinnat. Tämä vähentää riskiä käyttäjälle valita tuotteeseen soveltumattomat variaatiot.

Haastattelujen perusteella käyttäjän kannalta olisi tavoiteltavaa tehdä mahdollisuuksien mukaan mieluummin monta yksinkertaisempaa tuotemallia sen sijaan, että tekisi yhden monimutkaisemman tuotemallin. Esimerkiksi foililaatikoista M- ja L-kokoluokat on mallinnettu samaan tuotemalliin. Molemmista kokoluokista voisi tehdä erillisen tuotemallin, mikä helpottaisi käyttäjää. Tämän toteuttamiseen on suositeltavaa käyttää Resource Tablea.

Kaikkia erityistarpeita ei voida huomioida tuotemalliin ilman, että mallista tulee vaikeakäyttöinen. Yksinkertaisuus parantaa käytettävyyttä, ja harvinaiset tarpeet on parempi ratkaista räätälöimällä tuote tapauskohtaisesti. Tämä näkemys nousi toistuvasti esiin haastatteluissa: liian monimutkainen tuotemalli voi olla hankala peruskäyttäjälle, ja valintavaihtoehtojen suuri määrä voi tehdä käytöstä sekavaa.

Kirjoitushetkellä Former layout tool on ainoa tuotemalli, jossa on käytetty Design Table-tekniikkaa. Tuotemallitarkastelun perusteella tekniikan valitseminen tuotemallille on ollut hyvä ratkaisu parametrien suuren määrän vuoksi. Design Table-tekniikalla on paljon potentiaalia käytettäväksi muihinkin tuotemalleihin, joissa on runsaasti ohjaavia parametreja. Tuotemallin käyttöasteen sekä parametrien määrä tulee olla suuri, että on perusteltu luoda tuotemalli Design Table tekniikalla.

Kirjallisuuskatsauksessa esiteltiin useita tekniikoita, joilla voidaan toteuttaa modulaarisuuden periaatteita tuotemalleissa. Näistä funktionaalisen rakenteen heuristinen menetelmä

(FSHM) soveltuu erityisesti varhaisen vaiheen konseptisuunnitteluun, kun viiraosan tai sen komponenttien toiminnot halutaan jäsentää ja hahmottaa kokonaisuutena. Nykyisissä viiraosan tuotemalleissa toimintojen jaottelu on pääosin toteutettu hyvin, minkä vuoksi menetelmän soveltaminen olemassa oleviin tuotteisiin ei ole tehokasta, sillä se on aikaa vievää eikä tuo merkittävää lisäarvoa. Sen sijaan FSHM voi olla hyödyllinen uusien konseptien suunnittelussa, joissa on tarpeen tunnistaa moduuleiksi jaettavat toiminnot ja muodostaa niiden pohjalta uusi tuotemalli. Tällöin menetelmä tulisi yhdistää muihin mallinnustekniikoihin, sillä se ei sellaisenaan ohjaa fyysistä modulointia tai osarakenteiden määrittelyä. Hyöty jää vähäiseksi, jos funktionaalista analyysiä ei liitetä konkreettisiin suunnitteluratkaisuihin.

Jos tavoitteena on viiraosan modulaarisen rakenteen järjestelmällinen määrittely ja kehittäminen, modulaarinen toimintojen jäsentäminen (MFD) tarjoaa siihen toimivan lähestymistavan. Menetelmä on erityisen hyödyllinen tilanteissa, joissa pyritään komponenttien standardointiin, uudelleenkäyttöön ja tuotemallien yhtenäistämiseen eri toimitusprojekteissa. Sitä voidaan soveltaa nykyisen tuotemallidatan (3D-mallit, piirustukset ja osaluettelot) kanssa arvioimalla, mitkä komponentit ovat jo modulaarisia ja mitkä kaipaavat eriyttämistä. Lisäksi MFD tukee koko toimitusketjua, sillä sen avulla moduulit voidaan suunnitella tuotannon, logistiikan ja huollon näkökulmista. Hyvin dokumentoituna menetelmä myös helpottaa uusien työntekijöiden perehdytystä ja edistää tiedon siirtoa. Toimiakseen tehokkaasti MFD kuitenkin edellyttää laajoja lähtötietoja, kuten asiakasvaatimuksia, toimintorakenteita sekä valmistus- ja huoltonäkökulmia. Lisäksi sen käyttöönotto voi vaatia muutoksia organisaation suunnitteluprosesseihin ja PDM/PLM-järjestelmiin. Näin ollen MFD:n hyödyntäminen viiraosan tuotemalleissa edellyttäisi ensin merkittäviä prosessi- ja järjestelmämuutoksia organisaatiotasolla.

## 5.4 Mallinnustekniikan valinta tuotemalleissa

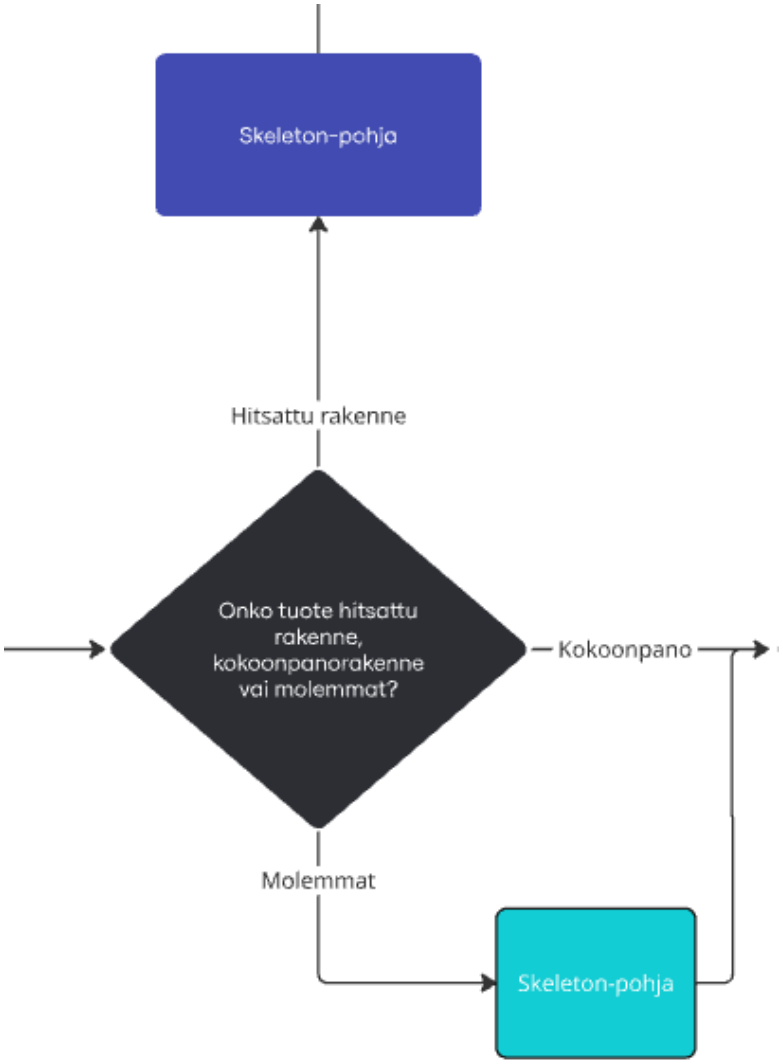
Nykyisellään tuotemallin tekijä valitsee itse, mitä mallinnustekniikkaa tuotemallissa käytetään. Valmetin sisäisessä ohjeistuksessa suositellaan erityisesti Resource Table- ja Design Table -tekniikoiden käyttöä, mutta muidenkaan tekniikoiden hyödyntämistä ei ole rajoitettu tai estetty. Haastattelujen perusteella Resource Table on arvioitu käytettävissä olevista mallinnustekniikoista kokonaisuutena parhaaksi. Se on sekä resurssitehokkain vaihtoehto että helpoin käyttää tuotemallin loppukäyttäjän näkökulmasta. Resource Tablessa on kuitenkin

haasteita, kun käytetään lisäksi Joustavia Alikokoonpanoja. On kuitenkin tilanteita, joissa on suositeltavaa käyttää muuta tekniikkaa, kuten esimerkiksi yksinkertaisissa tuotemalleissa. Soveltuvimman mallinnustekniikan valitsemiseksi on luotu vuokaavio. Vuokaavion avulla tuotemallin tekijä voi systemaattisesti ja luotettavasti tarkastaa, että hän ottaa huomioon oleellisimmat tekijät mallinnustekniikan valinnassa. Mallinnustekniikan valinnassa ensimmäinen vaihe on määritellä tuotemallin varioituvuus. Tämä tarkoittaa käytännössä sen määrittämistä, miten kokonaisuudet jaotellaan tuotteessa omiin kategorioihin eli moduuleihin. Variaatioiden määrittämiseen vaikuttavat päätekijät ovat (voi olla pienempiä tekijöitä ja variaatiot menevät usein limittäin):

- Koneen käytettävyyden huomioiminen: esimerkiksi huoltotoimenpiteet
- Minkälainen voitelutapa, rasva/öljy: koneen nopeus vaikuttaa voitelutavan valintaan
- Vaikuttaako FIU/kanttipalkkivalinta tuotemallin rakenteeseen
- Varaosat: onko rakenteessa vakiovaraosia
- Tuoterakenne esikokoonpano/purkurakenne: Vastaako kuljetusrakenne purkurakennetta
- Kätisyys: tarvitaanko molemman puoleisia tuotteita
- Alikokonaisuuksien määrä
- Turvallistaminen, direktiivien noudattaminen: turvallisuuskriteerit vaihtelevat maantieteellisesti, tiukimpien turvallisuusdirektiivien noudattaminen mahdollistaa tuotteen käytön maailmanlaajuisesti ja tekee tuotteesta turvallisemman mutta vaatii enemmän suunnittelua ja direktiiveihin perehtymistä
- Materiaalit: Onko tuotemallissa useaa eri materiaalia riippuen asiakkaan toiveista
- Lokalisointi: Onko Eurooppavastaavat vai Kiinavastaavat materiaalit, toimituspaikkavaihtoehto
- Onko toimilaitteita: onko hydraulisia, pneumaattisia, sähköllä toimivia vai manuaalisia toimilaitteita
- Onko tuotemallissa koneen leveyden vai nopeuden mukaisia sisäisiä varioituvuuksia

- Hitsattu rakenne vai kokoonpanorakenne
- Kiinteä vai liikkuva rakenne
- Kuinka usein varioituvuudet toistuvat: Onko järkevää tehdä variaatiosta tuotemalli, jos variaation menekki on vähäistä, vai kannattaako variaatio toteuttaa projektikohtaisena tuotteena
- Logistiikka: on tavoiteltavaa, että tuote tai osakokonaisuudet pystytään kuljettamaan umpikonttikokoisissa kuljetusyksiköissä

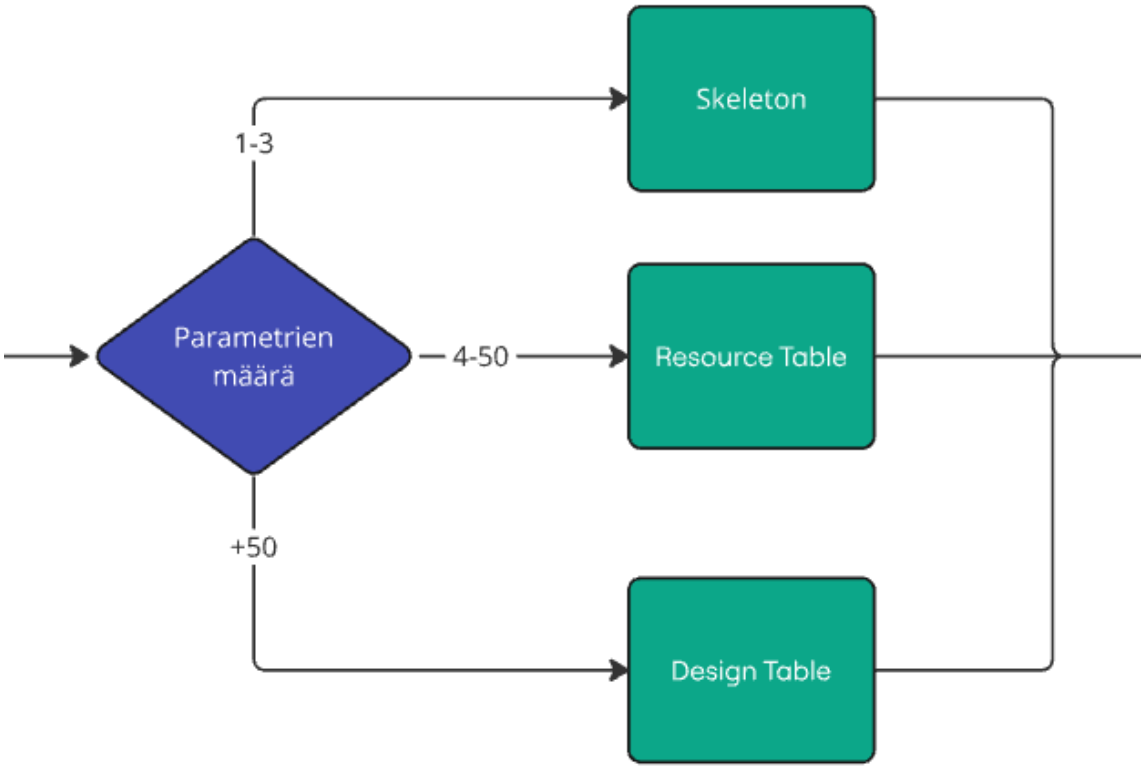
Kun yllä luetellut kohdat on käyty läpi ja määritelty, voidaan vuokaaviossa siirtyä ensimmäiseen päätökseen, joka ohjaa kohti oikean mallinnustekniikan valintaa. Kuvan 22 mukaisesti määritetään, onko tuote hitsattu rakenne, kokoonpanorakenne, vai onko siinä molemmat. Hitsattu rakenne tulee aina sisältää Skeleton-pohjan. Tämä ei kuitenkaan ole välttämätöntä pelkälle kokoonpanorakenteelle.




Kuva 22. Vuokaavio osa 1.

Hitsatun rakenteen mallinnustekniikan valintaa ajaa ohjattavien parametrien määrä, joka perustuu jo aikaisemmin määriteltyyn tuotteen varioituvuuteen. Skeleton-tekniikka soveltuu itsenäisenä käytettäväksi yhden tai maksimissaan muutaman parametrin ohjaamiseen. Mikäli parametrejä on useampi, tulee parametrien ohjaamiseen käyttää Resource Tablea. Mallin voi aluksi luoda toimivan pelkällä Product Tablella, mutta Resource Table tulisi tehdä malliin mahdollisimman pian sen tarjoamien hyötyjen vuoksi. Tekniikan valinta hitsatulle

rakenteelle on kuvattu kuvassa 23. Ohjaavien parametrien lukumäärä on suuntaa antava ja jokaista tuotemallia on arvioitava tapauskohtaisesti.

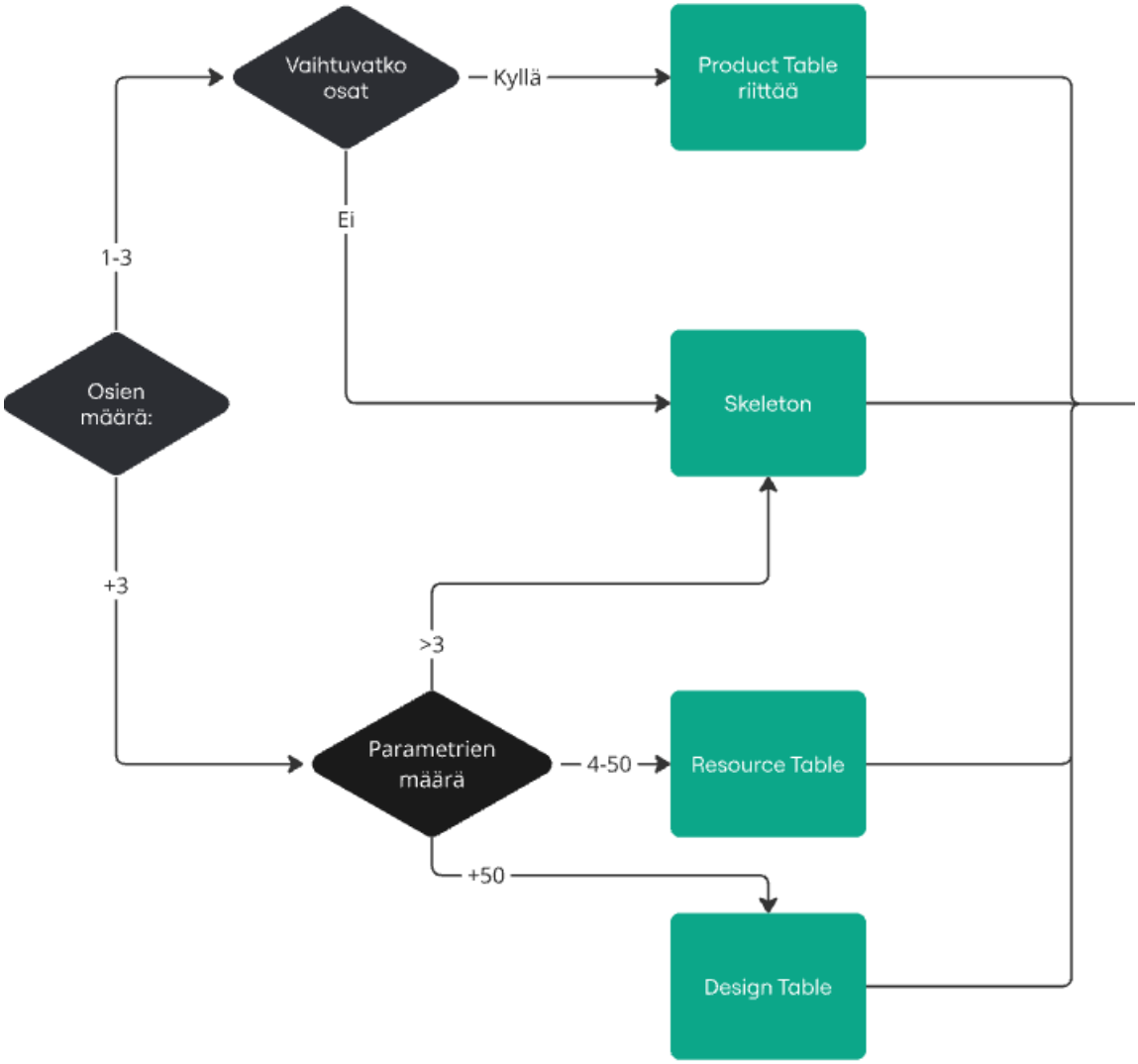



Kuva 23. Vuokaavio osa 2.

Kokoonpanorakenteen ollessa tuotteessa vaikuttaa mallinnustekniikan valintaan vaikuttaa myös erillisten osien määrä. Jos osia on tuotemallissa maksimissaan muutama, voidaan tuote toteuttaa joko Product Table tai Skeleton-tekniikalla. Product Table valitaan siinä tapauksessa, jos tuotteessa osat voivat vaihtua.

Jos osia on enemmän, vaikuttaa mallinnustekniikan valintaan parametrien määrä. Yhden tai muutaman parametrin sisältävään malliin riittää Skeleton-tekniikka. Jos parametrejä on enemmän, tulee siinä tapauksessa käyttää Resource Table-tekniikkaa. Jos parametrien määrä erittäin suuri (yli viisikymmentä), tulee harkita parametrien ohjaamiseen Design Table-tekniikkaa. Tämän tekniikan valinta on perustelua, jos parametrien ohjaaminen parametrien

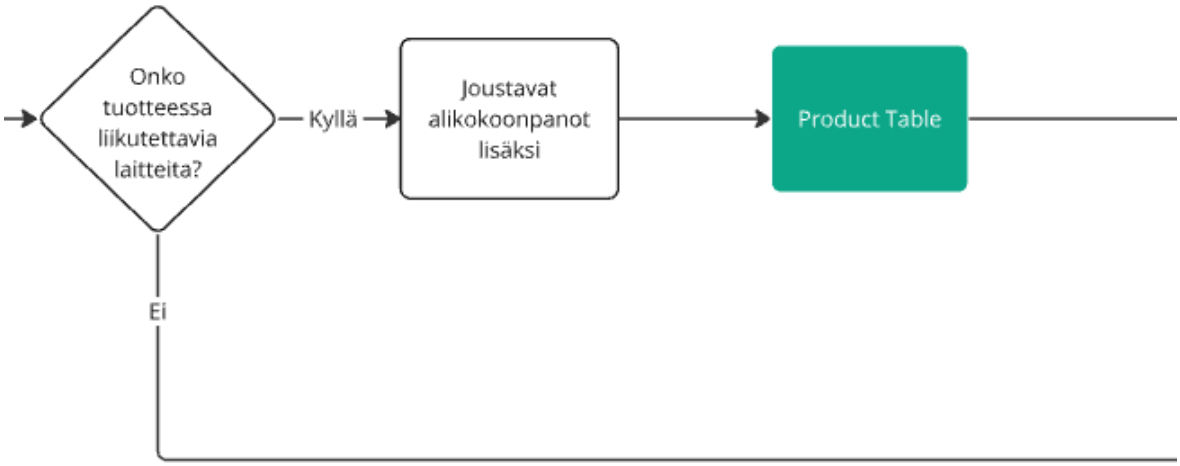
määrän vuoksi on käyttäjälle helpompaa Excel-ohjelmassa. Mallinnustekniikan valinta kokoonpanorakenteelliselle tuotteelle on kuvattu kuvassa 24.




Kuva 24. Vuokaavio osa 3.

Sekä hitsatussa rakenteen että kokoonpanorakenteen on mahdollista sisältää liikutettavia laitteita, mikä vaikuttaa mallinnustekniikan valintaan. Jos tuote sisältää liikuteltavia laitteita, tulee ne toteuttaa joustavien alikokoonpanojen avulla. Tätä varten tulee tehdä liikuteltaville laitteille Product Table. Suositeltava menetelmä tämän toteuttamiseen olisi Resource Table, mutta kirjoitushetkellä tämä ei ole vielä mahdollista. Tätä varten tulisi tehdä lisätutkimusta,

onko joustavia alikokoonpanoja mahdollista toteuttaa Resource Tablen avulla ja miten se käytännössä onnistuu. Liikutettavien laitteiden valinta on kuvattu kuvassa 25.




Kuva 25. Vuokaavion liikutettavien laitteiden valinta.

Vuokaavion lisäksi tämän työn pohjalta on tehty lähtötietolomake, jonka tuotemallin tekijä täyttää ennen tuotemallin mallintamisen aloittamista. Lähtötietolomakkeessa käydään läpi eri muuttujat, jotka vaikuttavat tuotteen varioituvuuteen. Lomakkeen tarkoitus on ohjata tekijää tunnistamaan tuotteen mahdolliset variaatiot systemaattisesti ja luotettavasti.

## 5.5 Tuotemallien ohjeistusten nykytila

Tuotemallien ohjeistuksessa on tällä hetkellä merkittäviä vaihteluita, eikä ohjeistus kata kaikkia tarpeellisia osa-alueita kattavasti tai johdonmukaisesti. Tuotemallien muokkaamiseen ei ole erillistä virallista ohjetta, ja nykyiset ohjeet, jotka löytyvät pääosin tuotemallien rakennepuusta, keskittyvät ennen kaikkea mallien käyttöön projektityössä, eivät niiden kehittämiseen tai muokkaamiseen.

Alihankinnan osalta 3D-mallinnustekniikoille ei ole olemassa yhtenäistä ohjeistusta. Tekniikkavalinnat perustuvat pitkälti tekijän omiin mieltymyksiin ja kokemuksiin. Joissakin

tapauksissa alihankkijat ovat itse kehittäneet toimiviksi katsomiaan mallinnustekniikoita ja dokumentoineet niitä omiin epävirallisiin ohjeisiin. Vaikka tämä vapaus on mahdollistanut uusien tekniikoiden kokeilemisen ja kehittämisen, ohjeistuksen puutteellisuus on samalla johtanut hajanaisuuteen ja vaikeuttanut erityisesti uusien käyttäjien perehdyttämistä. Tuotemalliosaaminen on tällä hetkellä pitkälti henkilöriippuvaista, mikä lisää riskiä tiedon siiloutumisesta ja vaikeuttaa osaamisen siirtämistä.

Yleinen ohjeistus mallinnustekniikoista on olemassa, mutta se on melko yleisluontoinen. Ohjeessa esitellään käytettävien tekniikoiden perusperiaatteet, mutta se ei ohjaa tekniikkavalintoja tuotemallikohtaisesti tai eri käyttötapauksia huomioiden. Poikkeuksena mainitaan, että Resource Tablea suositellaan Product Tablen sijaan resurssitehokkuuden vuoksi, ja Design Table -tekniikka mainitaan soveltuvaksi suuren parametrimäärän tapauksissa. Lisäksi ohjeessa on linkki malliosaluetteloiden laadinnan ohjeeseen.

Resource Table -tekniikka on yleisesti tunnettu Valmetilla, mutta sen käytöstä ei ole olemassa virallista ja kattavaa ohjeistusta. Myös alihankinnassa Resource Tablea käytetään ilman virallisia ohjeita, vaikka siellä on kerätty muistiinpanoja hyvistä käytännöistä ja periaatteista. Haastattelujen perusteella tarve viralliselle Resource Table -ohjeelle on selvä, sillä sen avulla voitaisiin yhtenäistää käytäntöjä ja helpottaa tekniikan tehokasta käyttöä.

Nykyisestä yleisohjeistuksesta puuttuu myös tuotemallikohtaisia erityishuomioita, joiden tunteminen olisi tärkeää mallien oikeanlaisen käytön ja muokkaamisen kannalta. Esimerkiksi ohjeistus ei huomioi sitä, ettei tuotemallin skeletonissa saa olla linkkejä standardiosien geometrioihin — tämä puute nousi haastatteluissa esiin toistuvasti. Tällaiset puutteet ja täydennystarpeet on koottu erilliseen Ohjeistusten suositus -kappaleeseen.

## 5.6 Tuotemallien ohjeistusten suositus

Tutkimuksen perusteella nykyisessä ohjeistuksessa on useita puutteita, jotka haittaavat tuotemallien yhtenäistä rakennetta ja käytettävyyttä. Alla on esitetty suosituksia ohjeistuksen kehittämiseksi. Näiden lisääminen ja täsmentäminen ohjeistukseen parantaisi tuotemallien yhdenmukaisuutta, helpottaisi mallien luomista ja vastaisi haastatteluissa esiin nousseisiin epäselvyyksiin.

Ohjeistuksen tulisi sisältää tai käsitellä ainakin seuraavat asiat:

- **Ohjeistuksen sijainti**: Jokaisessa tuotemallissa tulee olla ohjeistus, joka löytyy suoraan Catian rakennepuusta. Vaikka tämä toteutuu jo osittain, käytännön tulee olla johdonmukainen kaikissa malleissa.
- **Mallinnustekniikan valinta**: Ohjeistukseen lisätään vuokaavio, joka ohjaa sopivimman mallinnustekniikan valitsemisessa eri tilanteissa.
- **Lähtötietojen keruu**: Ohjeistukseen sisällytetään lähtötietolomake, joka tukee tuotemallien variaatioiden tunnistamista ja hallintaa.
- **Resource Table -tekniikka**: Tarvitaan yhtenäinen ja virallinen ohje Resource Table -tekniikan käyttöön. Ohjeessa tulisi käsitellä erityisesti seuraavat asiat:
    - Standardiosien geometriaa ei saa sijoittaa tuotemallin muokattavaan skeletoniin.
    - Resource Tablessa vaihtuvien osien akselistojen tulee sijaita samassa kohdassa, jotta resurssitaulukon toiminta säilyy.
    - Catian rakennerakenteen tulee vastata mahdollisimman tarkasti osaluettelon rakennetta.
- **Revisiokäytännöt**: Ohjeistuksessa on määriteltävä, tehdäänkö tuotemallista uusi revisio vai uusi nimike muutosten yhteydessä. Koska PDM-järjestelmä tuo automaattisesti uusimman revision piirustuksen, väärin hallittu revisiokäytäntö voi aiheuttaa virheitä tuotannossa.
- **Piirustuskäytännöt**: Ohjeistuksessa tulee selkeästi määrittää, tuleeko tuotemallista tehdä standardipiirustus vai voiko suunnittelija itse valita piirustustavan.
- **Vastuuhenkilö**: On suositeltavaa nimetä vastuuhenkilö, joka varmistaa ohjeistuksen jalkauttamisen ja sen tunnettuuden tuotemallien tekijöiden, ylläpitäjien ja käyttäjien keskuudessa.
- **Standardiosien käyttö Catia V6:ssa**: Ohjeistuksessa tulee kertoa, mistä standardiosien kirjastot löytyvät Catia V6:ssa ja miten niitä käytetään oikeaoppisesti.
- **Osaluetteloiden laadinta**: Tarvitaan yhtenäinen ohjeistus osaluetteloiden tekemiseen, jotta sisältö ja rakenne pysyvät johdonmukaisina tuotemallien välillä.

Näiden suositusten avulla voidaan parantaa tuotemallien ohjeistuksen laatua, vähentää virheitä ja nopeuttaa mallien luontia sekä käyttöä eri projektivaiheissa.

## 5.7 Tuotemallien piirustusten ja osaluettelojen nykytila

Nykyiset koodipiirustukset ovat suunnittelun kannalta toimivia ja helppoja toteuttaa, mutta niiden tulkinta voi olla käyttäjälle haastavaa. Piirustuksissa käytetty koodijärjestelmä voi aiheuttaa epäselvyyttä erityisesti silloin, kun käyttäjällä ei ole kokemusta kyseisestä piirustustyypistä. Vastaavasti standardipiirustukset sisältävät usein runsaasti tietoa, josta osa on projektin kannalta tarpeetonta. Tämä voi heikentää piirustusten luettavuutta ja valmistuksen tehokkuutta.

Haastattelujen perusteella palautetta piirustuksista saadaan tuotannosta vain satunnaisesti, mikä vaikeuttaa piirustusten kehittämistä käyttäjälähtöisemmäksi. Nykytilanteessa olisikin tärkeää lisätä vuorovaikutusta piirustuksia laativien suunnittelijoiden ja piirustuksia hyödyntävän tuotannon välillä.

Osaluetteloiden laadintaan ei ole olemassa yhtenäistä ohjeistusta. Ohjeet löytyvät tyypillisesti tuotemallikohtaisesti muun ohjeistuksen yhteydestä, mikä aiheuttaa vaihtelua käytännöissä ja vaikeuttaa ohjeiden soveltamista yhdenmukaisesti. Haastatteluissa on tuotu esiin, että osaluetteloihin voi jäädä vanhentuneita nimikkeitä, mikäli niitä ei päivitetä riittävän usein tai huolellisesti. Tällaiset virheet voivat aiheuttaa häiriöitä sekä suunnittelussa että valmistuksessa.

## 5.8 Suositukset piirustusten ja osaluettelojen kehittämiseen

Piirustusten selkeyttämiseksi olisi mahdollista siirtyä puolivalmiiden template-piirustusten käyttöön. Vaikka tämä lähestymistapa vaatii enemmän työtä suunnitteluvaiheessa, ylimääräisten kuvantojen karsiminen voisi parantaa piirustusten luettavuutta ja valmistettavuutta. Tämä olisi erityisen hyödyllistä tilanteissa, joissa valmistuksella ei ole aiempaa kokemusta kyseisen tuotteen piirustuksista.

Toisena vaihtoehtona voidaan tutkia piirustusten parametrisointia. Tällöin esimerkiksi piirustuksiin sisällytettävät kuvannot voitaisiin valita parametreilla. Menetelmässä on potentiaalia, mutta sen tehokkuudesta ei ole vielä kokemusta Wet End -alueella, joten käyttöönotto edellyttäisi lisäselvityksiä ja pilotointia.

Osaluetteloiden osalta Valmet käyttää tällä hetkellä PDM-järjestelmää. Lähitulevaisuudessa järjestelmä on kuitenkin poistumassa käytöstä, ja osaluetteloiden hallinta siirtyy samaan järjestelmään, jossa myös 3D-mallit ja piirustukset tehdään. Tästä johtuen ei ole koettu tarkoituksenmukaiseksi tehdä merkittäviä muutoksia nykyiseen osaluetteloiden laatimiskäytäntöön siirtymävaiheen aikana.

## 5.9 Tuotemalleihin liittyvä mittarointi

Tällä hetkellä tuotemalleihin liittyvä mittarointi keskittyy pääasiassa laajempaan kustannusseurantaan viira- ja puristinosatason kokonaisuuksissa. Nykyinen mittarointi ei kuitenkaan tarjoa tarkkaa tietoa siitä, mistä kustannukset tai säästöt konkreettisesti muodostuvat. Yksityiskohtaisempi mittarointi voisi tuoda merkittävästi lisäarvoa. Esimerkiksi suunnittelutuntien kohdistamista olisi mahdollista tarkentaa area-tasolle ja edelleen komponenttitasolle. Samoin suunnitteluprosessi voitaisiin jakaa eri vaiheisiin — kuten 3D-mallinnukseen, piirustusten laadintaan ja osaluetteloiden tekemiseen — ja mitata kullekin vaiheelle kulutettu aika. Tällainen tarkastelu mahdollistaisi myös sen arvioimisen, kuinka paljon aikaa säästyy verrattuna suunnitteluun ilman tuotemalleja.

On kuitenkin huomioitava, että tarkempi mittarointi vaatii resursseja. Siksi on tärkeää harkita, miten laajaa ja yksityiskohtaista seurantaa kannattaa toteuttaa. Ensimmäinen askel voisi olla sisäisten testien järjestäminen Valmetilla, joissa selvitetään tuotemallien käyttöön kuluva aika ja tunnistetaan eniten resursseja vaativat työvaiheet. Näin saataisiin realistinen käsitys suunnittelutuntien jakautumisesta ja säästöpotentiaalista.

Erityinen haaste mittaroinnille liittyy alihankintasuunnitteluun. Valmetilla ei tällä hetkellä ole tarkkaa tietoa siitä, miten alihankinta käyttää suunnitteluaikansa, sillä tuntiseurantaa ei joko tehdä tai sitä ei toimiteta eteenpäin. Tämä liittyy käytössä olevaan könttäkauppamalliin, jossa projektit myydään kiinteällä hinnalla. Tällöin alihankinta voi itse päättää, miten

suunnitteluresurssit jaetaan, eikä Valmetilla ole mahdollisuutta seurata tunnin tarkkuudella tuotemallien vaikutusta.

Vaikka könttäkauppa tekee projektimyynnistä hallittavampaa, se vaikeuttaa hyötyjen osoittamista mittaroinnin avulla. Yksi mahdollinen ratkaisu voisi olla suunnittelutuntien arvioinnin ja seurannan tekeminen area- tai tuotetasolla, jolloin vertailua ja analysointia voitaisiin tehdä tarkemmin. Toinen vaihtoehto olisi kehittää Valmetin ja alihankinnan välistä yhteistyötä siten, että seuranta- ja mittarointikäytännöistä sovitaan yhdessä selkeämmin.

Tuotemallien käyttötehokkuuden arvioimisessa voidaan hyödyntää useita mittareita, jotka kuvaavat sekä suunnitteluprosessin sujuvuutta että tuotemallien käytön vaikutuksia. Yksi keskeinen mittari on läpimenoaika, joka kertoo kokonaisajan suunnittelun aloituksesta valmiin tuotemallin toimittamiseen ja antaa siten kuvan siitä, nopeuttaako mallien käyttö prosessin valmistumista. Toiseksi tarkasteltavia ovat kokonaiskustannukset, joita voidaan mitata sekä rahassa että suunnittelutunneissa. Niiden avulla voidaan arvioida, tuottaako mallien hyödyntäminen todellisia säästöjä verrattuna perinteisempään suunnitteluun. Laadun näkökulmasta hyödyllisiä mittareita ovat puolestaan laatusattumukset, eli suunnittelussa tai valmistuksessa havaitut virheet, sekä muutostarpeet, joita seurataan Engineering Change Notice -järjestelmän kautta. Mikäli virheiden määrä ja muutospyyntöjen määrä vähenevät, voidaan päätellä mallien tukevan suunnittelun laatua ja ennustettavuutta. Lisäksi laatupalautteet, joita voidaan kerätä niin suunnittelijoilta, projektihenkilöstöltä kuin asiakkailtakin, antavat tärkeää tietoa tuotemallien käytettävyydestä ja luotettavuudesta. Tuotemallien käyttöaste eri projekteissa on myös olennainen mittari, sillä se osoittaa, kuinka laajasti ja systemaattisesti malleja hyödynnetään. Korkea käyttöaste viittaa vakiintuneeseen käytäntöön ja todelliseen arvoon toimitusprosessissa, kun taas matala käyttöaste voi kertoa siitä, että hyödyt eivät vielä toteudu täysimääräisesti.

# 6 Johtopäätökset

Tutkimuksen perusteella tuotemallit tuovat merkittäviä hyötyjä toimitusprosessin eri vaiheisiin. Hyvin laaditut tuotemallit nopeuttavat suunnittelua, tukevat toistettavuutta ja sujuvoittavat valmistusta. Parhaimmillaan tuotemallit ovat helppokäyttöisiä, sisältävät selkeät ja helposti löydettävät ohjeet, ja mahdollistavat erilaisten variaatioiden tehokkaan hallinnan.

Valtaosa nykyisistä tuotemalleista on toimivia ja tukee suunnittelutyötä. Kuitenkin osa tuotemalleista sisältää rakenteellisia tai tiedollisia puutteita, jotka heikentävät niiden hyödynnettävyyttä. Mallien laadun vaihtelu johtuu osittain siitä, että mallinnustekniikoiden valinta perustuu yksittäisten suunnittelijoiden harkintaan – erityisesti kokeneempien käyttäjien kohdalla tämä toimii, mutta aiheuttaa haasteita kokemattomammille käyttäjille.

Mallinnustekniikoilla on keskenään erilaisia vahvuuksia, ja niiden soveltuvuus vaihtelee tapauskohtaisesti. Esimerkiksi Skeleton-tekniikka soveltuu yksinkertaisiin malleihin, kun taas Resource Table tarjoaa etuja monimutkaisissa variaatiorakenteissa. Design Table puolestaan sisältää potentiaalia, vaikka sen käyttö on toistaiseksi vähäistä.

Alihankinnan kanssa tehtävä yhteistyö tuotemallien osalta on ollut epäjohdonmukaista. Yhteyshenkilön puuttuminen ja selkeän kommunikaatiokanavan olemattomuus ovat heikentäneet palautteen keruuta ja tuotemallien kehittämistä. Lisäksi tuotemallien päivitykset projektien yhteydessä ovat usein satunnaisia, eikä niistä ole sovittu erikseen.

Alla esitetään keskeiset suositukset, jotka nousevat tämän tutkimuksen havainnoista ja analyysistä. Suositukset tarjoavat konkreettisia kehitysehdotuksia viiraosan tuotemallien suunnitteluun, hallintaan ja käyttöön.

1. Yhtenäinen ohjeistus**:** Mallinnustekniikoiden valintaan tulisi laatia selkeä, dokumentoitu ohjeistus. Tämä vähentäisi riippuvuutta yksittäisistä henkilöistä ja yhtenäistäisi tuotemallien rakennetta.
2. Osaamisen jakaminen**:** Tietoa tuotemalleista ja niiden tekniikoista tulisi siirtää systemaattisemmin koulutuksen ja ohjeistuksen kautta. Tämä parantaisi uusien käyttäjien perehtymistä ja mallien ylläpidettävyyttä.

3. Alihankinnan yhteistyön kehittäminen**:** Alihankinnan suuntaan tulisi nimetä selkeä yhteyshenkilö tai luoda toimiva kommunikaatiokanava tuotemallien palautetta varten. Lisäksi mallien korjauksista ja kehityksestä tulisi sopia erikseen, jotta toimenpiteet olisivat motivoituja ja laadukkaita.

Vaikka tämä työ tuo esiin merkittäviä havaintoja viiraosan tuotemallien käytettävyydestä ja kehityskohteista, se ei kata kaikkia aiheeseen liittyviä näkökulmia. Työn pohjalta voidaan tunnistaa useita jatkotutkimuksen aiheita, joiden avulla Valmet voi parantaa tuotemallien kehitystä. Keskeiset jatkotutkimustarpeet on koottu seuraavaan listaan.

- Mittariston kehittäminen**:** Tuotemallien käyttötehokkuuden arvioimiseksi tulisi kehittää systemaattinen mittaristo. Sopivia mittareita voisivat olla esimerkiksi:
    - suunnittelutunnit
    - läpimenoajat
    - laatupoikkeamat
    - muutostarpeet (ECN)
    - asiakaspalautteet,
    - tuotemallien käyttöaste
- Kustannusvaikutusten analyysi: Tällä hetkellä kustannusseuranta tapahtuu liian yleisellä tasolla. Tarkempi analyysi esimerkiksi area- tai komponenttitasolla voisi paljastaa säästöpotentiaalia ja kehityskohteita tuotemallien hyödyntämisessä.
- Koesuunnittelun hyödyntäminen: Tuotemallien vaikutuksia suunnittelun tehokkuuteen voitaisiin arvioida koesuunnittelun avulla, erityisesti uusien mallien jalkautuksen yhteydessä.
- Alihankinnan seuranta: Kiinteähintaiset alihankintasopimukset vaikeuttavat suunnittelutuntien seurantaa. Jatkotutkimus voisi tarkastella, miten alihankintaa voitaisiin sitouttaa tuotemallien kehittämiseen ja mitä sopimusmalleja siihen voitaisiin hyödyntää.

Edellä esitetyt jatkotutkimustarpeet tarjoavat selkeän suunnan tuotemallien kehittämisen tueksi ja auttavat tunnistamaan konkreettisia keinoja, joilla niiden hyötyjä voidaan kasvattaa toimitusprosessissa.

# Lähteet

Chopra S. & Meindl, P. 2007. Understanding the Supply Chain. Teoksessa: Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation. 3. painos. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall. s. 13-30.

Crnkovic, I., Asklund, U. & Dahlqvist, A.P. 2003. Requirements of complex product development. Teoksessa: Implementing and integrating product data management and software configuration management. 1st ed. Norwood, MA: Artech, Print. s. 3-16.

Dmitrynew83. 2025. Physical Internet - modularity of containers. Dreamstime. [verkkosivu]. Saatavissa: https://www.dreamstime.com/physical-internet-modularity-containers-unitary-composite-p-composition-decomposition-different-smart-green-modular-image217202884 [Viitattu 27.11.2024]

Gershenson, J.K., Prasad, G.J. & Zhang, Y. 2003. Product modularity: definitions and benefits. Journal of Engineering Design, 14(3), 295–313.

Holtta, K. & Salonen, M. 2003. Comparing three modularity methods. Julkaisussa: *ASME* 2003 Design Engineering Technical Conferences: 15th International Conference on Design Theory and Methodology, Chicago, Illinois, USA. September 2-6, 2003. s. 533-541.

Kamrani, A. & Nasr, E. 2010. Modular Design. Teoksessa: Engineering Design and Rapid Prototyping. Boston, MA: Springer US. s. 57-86.

KnowPap. 2023. KnowPap v26.0. [verkkotietokanta]. Saatavissa: Valmet Technologies Oy Intranet [Viitattu 11.12.2024]

Martin, T. 2025. All you need to know about modularization. Modular Management. [verkkosivu]. Saatavissa: https://www.modularmanagement.com/blog/all-you-need-to-know-about-modularization [Viitattu 21.1.2025]

Mbang, J.-J. 2012. A new introduction to supply chains and supply chain management: definitions and theories perspective. International Business Research, 5(1), 194.

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.-H. 2007. Modular Products. Teoksessa: Engineering Design: A Systematic Approach. 3. painos. London: Springer. s. 495-513.

Pakkanen, J., Juuti, T. & Lehtonen, T. 2018. Identifying and addressing challenges in the engineering design of modular systems – case studies in the manufacturing industry. Journal of Engineering Design, 30(1), 32–61.

Sääksvuori, A. & Immonen, A. 2002. Tuotetiedonhallinta – PDM. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino OY. 201 s.

Topcu, T.G., Mukherjee, S., Hennig, A. & Szajnfarber, Z. 2021. The dark side of modularity: how decomposing problems can increase system complexity. Journal of Mechanical Design, 144(3), 031403.

Valmet. 2023. Vuosikatsaus 2023. Helsinki: Valmet Oyj. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: https://www.valmet.com/fi/sijoittajat/raportit-ja-esitykset/2023/ [Viitattu 20.11.2024]

Liite 1. Haastattelukysymykset:

Mikä on työnkuvasi ja kauan olet siinä työskennellyt?

Miten käytät viiraosan tuotemalleja työssäsi? Millä tasolla olet mukana tuotetietojen käsittelyssä? (3D-mallit, piirustukset, osaluettelot)

Kuinka usein käytät viiraosan tuotemalleja työssäsi? Kuinka paljon sinulla on työtunteja tuotemallien parissa?

Millaisia tekniikoita tuotemalleissa olet käyttänyt? Ovatko esimerkiksi Product Table ja Design Table-tekniikat tuttuja?

Ovatko tuotemallit ja niiden tiedot helposti saatavilla, ovatko ohjeet selkeitä?

Millaisia haasteita kohtaat tuotemallien käytössä? (Esim. ohjelmistot, tiedostomuodot, tiedon tulkinta?)

Mikä toimii hyvin viiraosan tuotemallien ja tuotetietojen nykyisessä käytössä?

Ovatko tuotetiedot riittävän yksityiskohtaisia ja käyttökelpoisia tarpeisiisi?

Millaisia piirteitä arvostat 3D-malleissa, piirustuksissa ja osaluetteloissa?

Missä tilanteissa tuotemallit eivät vastaa odotuksia?

Onko tuotemalleissa tai tuotetiedoissa epäselvyyksiä tai puutteita, jotka haittaavat työtäsi?

Mitä lisäominaisuuksia tai parannuksia toivoisit tuotemalleihin ja -tietoihin?

Miten modulaariset tuotemallit helpottavat (tai vaikeuttavat) työtäsi?

Koetko modulaarisuuden tuovan lisäarvoa suunnitteluun (ja valmistukseen tai toimitukseen)?

Onko jotain muuta mitä haluaisit kertoa tuotemalleista ja niiden tuotetiedoista?

Mitä toiveita tai suosituksia sinulla olisi tuotemallien kehittämiseksi?