

Anssi Tåg

**VIRTUAALISEN SUUNNITTELUN VAIKUTUS LOPPUTUOTTEEN  
LAATUUN**

# **VIRTUAALISEN SUUNNITTELUN VAIKUTUS LOPPUTUOTTEEN LAATUUN**

Anssi Tåg  
Opinnäytetyö  
Kevät 2019  
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma, auto- ja kuljetustekniikka

---

Tekijä: Anssi Tåg

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Virtuaalisen suunnittelun vaikutus lopputuotteen laatuun

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Impact of Virtual Design on Final Product Quality

Työn ohjaaja: Helena Tolonen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2019

Sivumäärä: 46 + 0 liitettä

---

Opinnäytetyössä tutkittiin Stage-Gate-tuotekehitysprosessia, front-end loading - suunnittelun periaatteita, tuotekehitysprosessia ideasta lopputuotteeksi sekä prosesseja virtuaalisen suunnittelun laadun parantamisesta. Stage-Gate-tuotekehitysprosessi on niin kutsuttu vaiheporttityyppinen tuotekehitysprosessi, jonka ideana on paloitella uuden tuotteen kehitysprosessi selviksi tuotekehitysjaksoiksi. Opinnäytetyön tilaajana toimi Äänekoskella traktoreita valmistava Valtra Oy:n tuotekehitysyksikkö.

Front-end loading -suunnittelu on iso osa Stage-Gate-prosessia. Työssä perehdyttiin siihen, miten front-end loading -suunnittelua toteutetaan ajoneuvoteollisuudessa ja miten periaatteeltaan samanlaisien prosessien toteutus voi olla hyvinkin erilainen. Erityisen suuri ero on japanilaisten ja yhdysvaltalaisien ajoneuvovalmistajien tuotekehitysprosessien välillä, ja Valtran käyttämä AMPIP-prosessi muistuttaa hyvin paljon yhdysvaltalaisien ajoneuvovalmistajien käyttämiä prosesseja. Yksi tavoite työlle oli myös, että siitä saadaan ylätason käsitys tuotekehitysohjelmasta ja sen vaiheista. Tällöin työtä voidaan käyttää perehdytysmateriaalina, kun uusi henkilö aloittaa työskentelyn NPI-projektin parissa.

Työn pohdinnassa esitetään vaihtoehtoja, joilla virtuaalista tuotetta ja front-end loading -suunnitteluprosessin laatua voidaan parantaa Valtralla. Yhtenä vaihtoehtona ehdotetaan kartoittamaan Valtralle vahvoja tuotekehityksen osa-alueita ja käyttämään komponenttitoimittajien insinööriosaaamista vähemmän vahvojen osa-alueiden tuotekehityksessä. Tuotekehitysprosessin näkökulmasta komponenttitoimittajien osallistuminen tuotekehitysprosessiin näkyy lyhentyneenä tuotekehitysohjelmien läpimenoaikana ja laadukkaampana lopputuotteena. Työn tuloksena huomattiin myös, että tuotekehityksen ulkopuolisten toimijoiden osallistuminen tuotekehitysprosessiin ei ole riittävää tällä hetkellä. Samoin esitetään tuoterakenteen moduulien väliselle törmäystarkastelulle prosessin kehittämistä, koska nykyisellään törmäystarkastelua ei tehdä tarpeeksi.

---

Asiasanat: tuotekehitys, Stage-Gate, virtuaalinen suunnittelu, front-end loading

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree programme in Mechanical Engineering, Vehicle and Transportation Engineering

---

Author: Anssi Tåg

Title of thesis: Impact of Virtual Design on Final Product Quality

Supervisor: Helena Tolonen

Term and year when the thesis was submitted: spring 2019

Pages: 46

---

This thesis is a study of the Stage-Gate product development process, workflow of the front-end loading design and product development process from idea to final product. In the Stage-Gate product development process, the complete product development process has been divided into clear phases and gates, which serve a clear function on each step of a product development process. In this thesis, different types of front-end loading design workflows were investigated, as front-end loading design workflow is one of the key parts of the Stage-Gate process. The main goal of this thesis is to find ways to improve final product quality and shorten up the product development time on the Valtra Inc. product development process.

In the study of front-end loading design workflow, the focus was on investigating how it was carried out by the companies that work in the vehicle industry. The findings of the study were compared to the workflow used by Valtra Inc.

Another goal for this thesis was to give an introduction of the processes and workflows for new employees who come to work for Valtra Inc. in NPI project.

As the conclusion of this thesis, it is suggested that some of the virtual design and front-end loading design workflows should be improved. It is also suggested that further studies should be carried out regarding possibilities to develop the current front-end design workflow used at Valtra Inc today.

---

Keywords: Stage-Gate, virtual design, product development, front-end loading

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Tutkimuskysymykset	8
1.3 Valtra Oy Ab	9
2 STAGE-GATE-TUOTEKEHITYSPROSESSI	10
3 FRONT-END LOADING -SUUNNITTELU	14
4 TUOTTEEN MÄÄRITYS	22
5 KONSEPTOINTI	23
5.1 Konseptien suunnittelu	23
5.2 Konseptien katselmointi ja valinta	24
6 PROTOTYYPPIVAIHE	25
6.1 Protovaiheiden määrä ja niiden määrittely	25
6.2 Suunnittelu	27
6.3 Jakelu	30
6.4 Fyysinen koesarja	31
6.5 Suunnittelun validointi	32
7 VIRTUAALISEN SUUNNITTELUN LAADUN PARANNUS	33
7.1 Törmäystarkastelu	33
7.2 3D-katselmoinnit	35
7.3 Simulointi	36
7.3.1 FEM, Finite Element Method	37
7.3.2 CFD, Computational Fluid Dynamics	38
7.4 3D skannaus	39
8 POHDINTA	40
8.1 Törmäystarkastelun prosessi	40
8.2 Omien vahvuuksien kartoittaminen	42
8.3 Muiden toimintojen osallistuminen	43



## **SANASTO**

100 % EBOM - tuotteen yksilörakenne

150 % EBOM - tuotteen täydellinen tuoterakenne

EBOM - Engineering Bill Of Materials, tuoterakenne

DFMEA - Design Failure Mode and Effects Analysis, suunnittelun vika- ja vaikutusanalyysi

DMU - Digital Mock-Up, digitaalinen katselmointimalli

DVP - Design Validation Plan, suunnittelun todennussuunnitelma

ERP - Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä

MBOM - Manufacturing Bill Of Materials, tuotannon osalista

NPI - New Product Introduction, uusien tuotteiden valmistus

PLM - Product Lifetime Management, tuotteen elinkaaren hallinta

PDM - Product Data Management, tuotetiedon hallinta

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Tämä tutkimus on insinööritutkimuksen opinnäytetyö, jonka tilaajana toimii Valtra Oy:n tuotekehitysyksikkö. Työssä tarkastellaan, miten virtuaalisella suunnittelulla pystytään vaikuttamaan lopullisen sarjatuotteen laatuun. Pääpaino työssä on varsinkin front-end loading -suunnittelussa ja siinä, miten front-end loading -suunnittelua toteutetaan Stage-Gate-tyyppisessä tuotekehitysprosessissa ja millaisia toteutuksia front-end loading -suunnittelulle eri ajoneuvovalmistajilla on käytössä omissa tuotekehitysproesseissaan. Yksi tavoite työlle on myös, että siitä saadaan ylätasoinen käsitys tuotekehitysohjelmasta ja sen vaiheista, jolloin opinnäytetyötä voidaan käyttää esimerkiksi perehdytysmateriaalina, kun uusi henkilö aloittaa työskentelyn NPI-projektissa. Perusta tutkimukselle on muodostunut työskentelyni opintojeni loppuvaiheessa Valtra Oy:n tuotekehitysyksikössä Product Lines and Platforms -ryhmässä, jonka tehtävänä on hallinnoida ja viedä NPI-tuoteprojektit konseptimallista lähtien lopputuotteeseen saakka.

Teoriaosuudessa käydään läpi Stage-Gaten teoriaa sekä front-end loading suunnittelun periaatetta ja toteutuksia. Käytännön osuudessa käydään läpi uuden tuotteen suunnittelun vaiheita sekä erilaisia menetelmiä, joilla pystytään todentamaan uuden tuotteen toimivuutta virtuaalisesti organisaation eri toimijoiden kesken. Pohdinnassa arvioidaan nykyisten prosessien toimivuutta ja parantamisen mahdollisuuksia sekä mahdollisia kohteita jatkotutkimuksille.

## 1.2 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymyksiä on asetettu kaksi:

- 1) Mitä on front-end loading -suunnittelu, minkälaisia prosesseja sille löytyy ja miten erilaiset front-end loading -prosessit vertautuvat Valtran tapaan tehdä sitä?
- 2) Mikä on modulaarinen tuote ja miten sen laatua voidaan parantaa virtuaalisessa suunnittelussa?

### 1.3 Valtra Oy Ab

Valtra Oy Ab on osa AGCO-konsernia, joka on maailman kolmanneksi suurin maatalouskoneita valmistava yritys. AGCO:n tuotemerkkeihin Valtran lisäksi kuuluvat Challenger, Fendt, GSI ja Massey Ferguson. (Agcocorp, linkki Our Brands). Vuonna 2017 AGCO-konsernissa työskenteli yhteensä noin 20 500 henkilöä, ja liikevaihto oli noin 8,3 miljardia Yhdysvaltain dollaria. (Fortune 500, linkki Agco.)

Valtralla on kaksi tehdasta, toinen Suomessa Suolahdessa ja toinen tehdas Brasiliassa Mogi de Cruzissa. Yhteensä molemmat tehtaavat valmistavat vuosittain noin 24 000 traktoria. (Valtra, linkki Tietoa Valtrasta.)

Valtran tuotemallisto sisältää yhteensä neljä eri mallisarjaa (kuva 1). Malliston pienin A-sarja edustaa 55 - 97 kilowatin teholuokkaa. Kooltaan A-sarjaa suuremman N-sarjan nelisynterinen moottorin teholuokka on 85 - 148 kilowattia. Kuusisynterisellä moottorilla varustettu T-sarja edustaa 125 - 198 kilowatin teholuokkaa. Valtran suurin mallisarja on S-sarja, jonka kuusisynterinen moottori tuottaa 221 - 298 kilowattia. (Valtra, linkki Tuotteet.)

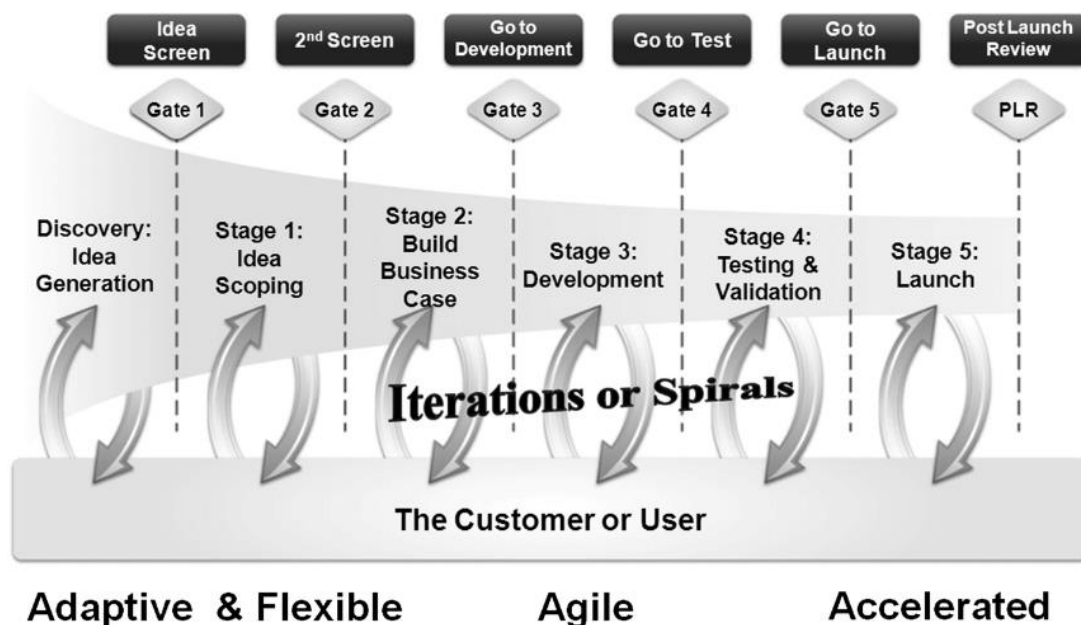


*KUVA 1. Valtran mallisto (Agcocorp – Asset Bank & Document Centre, linkit Valtra -> Marketing -> Images -> Machinery -> Current -> Model range)*

## 2 STAGE-GATE-TUOTEKEHITYSPROSESSI

Jokaisessa tuotekehitystä tekevässä organisaatiossa on tuotekehitysprojektille määritettävä prosessi, jolla tuotekehitysprojekteja viedään eteenpäin. Vaiheporttityyppinen Stage-Gate-toimintamallin pohjainen prosessi (myöhemmin Stage-Gate-prosessi) on erittäin suosittu varsinkin suurimmissa tuotekehitystä tekevissä organisaatioissa. Stage-Gate on toimintamalli, jonka pohjalta kukin organisaatio rakentaa omaan tuotekehitykseensä sopivan prosessin.

Stage-Gate-prosessissa tuotekehitysprojektin vaiheet on paloitetu erilaisiksi kehitysjaksoiksi, joiden päätteeksi on niin kutsuttu portti ja porttikatselmointi (kuva 2). Porttimallinen prosessi määrittelee projektin eri vaiheiden päätökselle erilaisia vaatimuksia esimerkiksi tuotteen kypsyydestä, joihin projektin on päästävä. Portin tavoitteiden täytyttyä projektissa voidaan siirtyä prosessin seuraavaan vaiheeseen ja kohti lopullista tuotetta. Prosessi myös määrittää eri vaiheisiin käytettävän ajan, millä pyritään pitämään uusien tuotteiden kehitysaika sopivana kyseisen organisaation tarpeisiin. Nykyaikainen Stage-Gate-prosessi on ikään kuin suppilo, jonka alkupäässä on tarkoitus kerätä suuri määrä ideoita ja mahdollisuuksia. Jokaisen kehitysjakson lopussa olevassa portissa vaihtoehtoja karsitaan, jolloin projektin ja tuotteen lopullinen sisältö tarkentuu. (Cooper 2014, 20–22.)



KUVA 2. Stage-Gate-prosessin ylätasoinen kaavio (Cooper 2014, 21)

Stage-Gate-toimintamalliin pohjautuvan tuotekehitysprosessin voi karkeasti jakaa kuuteen kehitysjaksoon ja hyväksyntäporttiin:

1. **Ideoiden keräysvaihe.** Keräysvaiheen päätteeksi portissa tarkastellaan idean tai ideoiden soveltuvuutta yrityksen strategiaan sekä päätetään projektin aloittamisesta ja sen resursoinnista. (Cooper 2001, 133.)
2. **Ideoiden syvempi tarkastelu.** Tutkitaan nopeasti ja vähäisellä panostuksella, miten projekti on toteuttavissa ja vastaako ideoiden pohjalta syntyvä lopputuote yrityksen asiakkaiden tarpeita. Portissa tarkastellaan yksinkertaisia kannattavuuslaskelmia ja mahdollisuuksia toteutukselle. (Cooper 2001, 134–135.)
3. **Liiketoimintamallin rakentaminen.** Tutkitaan tarkasti ja konseptoidaan, miten idea voidaan tuotteistaa niin tuotannon, kustannuksien kuin käytettävien teknologioidenkin näkökulmasta. Laaditaan tarkka suunnitelma seuraavien vaiheiden ja porttien etenemisestä. Tarpeen mukaan tehdään fyysinen konseptimalli tai -malleja. Tämän vaiheen portissa kaikkien vaiheen tutkimusten tuloksien tulee olla positiivisia, koska projekti voidaan vielä keskeyttää tässä vaiheessa ilman suurta taloudellista vahinkoa. (Cooper 2001, 136–138.)
4. **Kehittäminen.** Konsepti tai konseptit viedään prototyypiksi ja testaukseen suunnittelun todentamiseksi. Tässä vaiheessa organisaation jokainen toiminto on mukana tuotteen kehittämisessä. Portissa tarkastellaan testaus-suunnitelmaa, testauksen etenemistä sekä taloudellisia riskejä. Tämä vaihe vie prosessissa huomattavasti pidemmän ajan kuin muut vaiheet. Portissa tarkastellaan myös yksityiskohtaisia ajankäytön suunnitelmia projektin loppuajalle. (Cooper 2001, 138–139.)
5. **Testaus ja tuotannon aloitus.** Tässä vaiheessa viimeiset prototyypeillä tehdyt testaukset viedään loppuun ja todennetaan, että design on sarjatuotekelpoinen kaikkien organisaation toimintojen kannalta. Portissa keskitytään tuotteen laatuun ja toiminnallisuuteen. Tämä on viimeinen portti, jossa projekti on mahdollista keskeyttää, koska tämän portin jälkeen tuote kaupallistetaan. (Cooper 2001, 139–140.)

- 6. Julkaiseminen ja onnistumisen arviointi.** Tuote julkaistaan ja sitä aletaan toimittamaan asiakkaille. Projekti päättyy tähän. Muutaman kuukauden jälkeen projektin päättymisestä viimeisessä portissa arvioidaan projektin onnistumista. (Cooper 2001, 141.)

Jokaiseen porttiin on organisaation eri toimintojen eli business funktioiden tuotettava prosessissa sovittu toimitus eli deliverable. Pääsääntöisesti deliverable on raportti, jossa kukin toiminto arvioi projektin kypsyyttä sekä listaa kyseisen projektin riskit ja mahdollisuudet. Porttikatselmointien jälkeen prosessissa on niin kutsuttu päätöspiste, jossa päätetään, jatketaanko projektia vai lopetetaanko projekti. (Cooper 2008, 4–5.)

Stage-Gate-prosessin yksi suurimpia etuja on se, että prosessiin osallistuvat organisaation kaikki eri toiminnot. Tällöin riskien hallinta ja kartoitus tehdään jokaisessa projektissa samalla kaavalla sekä varmistetaan, että jokaisen eri toiminnon ääni kuullaan ennen kuin projekti etenee seuraavaan vaiheeseen. Stage-Gate-prosessin yksi huonoja puolia on, että se on monesti väärin ymmärretty. Stage-Gate-prosessin tarkoitus on ohjata organisaation resurssit siihen projektiin, jossa niitä tarvitaan ja tarvittaessa lopettaa niitä projekteja, joiden jatkamisesta ei ole organisaatiolle hyötyä. (Cooper 2008, 4–6.)

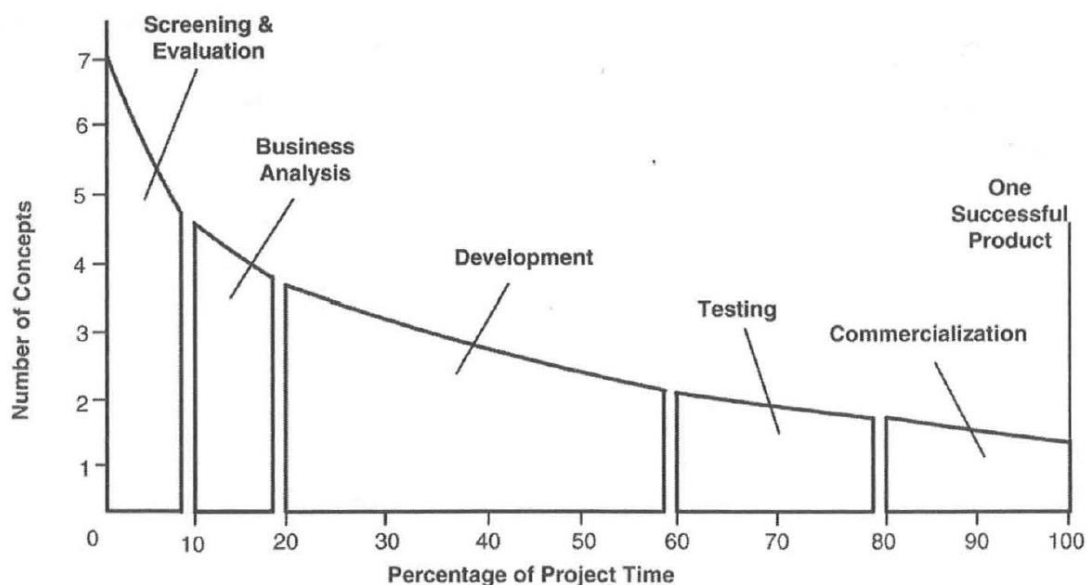
Monesti Stage-Gate-prosessin sovellutuksissa mennään liikaa projektin sisälle ja pyritään käyttämään prosessia yksittäisen projektin hallintaan. Monessa organisaatiossa tuotekehitysprojekteja on yhtä aikaa menossa enemmän kuin yksi, jolloin porttikatselmointien jälkeen on tärkeää päättää, miten resurssit jaetaan eri projektien kesken. Stage-Gate-prosessia tulisi ajatella ennemmin prosessina organisaation resurssien jakoon kuin puhtaasti tuotteen kehitystä ohjaavana prosessina. (Cooper 2008, 5–6.)

Stage-Gate prosessissa tärkeintä on, että niin kutsutut portit saadaan toimiviksi niin, että porttien jälkeen oikeasti päätetään, jatketaanko projektia vai lopetetaanko projekti. Monessa yrityksessä, kun päätös projektin aloituksesta on tehty, etenee projekti aina lopputuotteeseen saakka, vaikka itse prosessiin määriteltyjen porttien vaatimusten perusteella projekti olisi pitänyt jo lopettaa. On tärkeää, että päätöksen tekoon osallistuvat vain kyseisen organisaation ja projektin avainhenkilöt. Monesti varsinkin isommissa organisaatioissa päätöksen tekoon osallistuu turhan iso joukko henkilöitä yrityksen johtoportaasta, jolloin porttikatselmointien päätöksien teosta ei saada selkeää vastausta ulos. (Cooper 2008, 7–8.)

### 3 FRONT-END LOADING -SUUNNITTELU

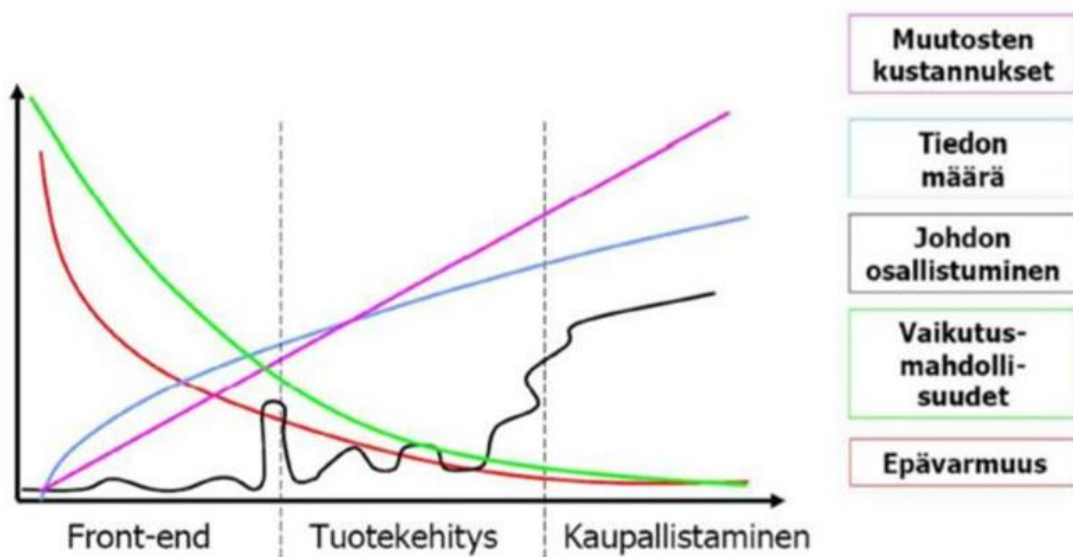
Stage-Gate-toimintamallin prosessissa painopiste on niin kutsutussa front-end loading -suunnittelussa. Front-end loading -suunnittelulla tarkoitetaan sitä, että itse tuotteen suunnittelua vietäisiin mahdollisimman pitkälle mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, ja suurin työkuorma olisi tarkoitus tehdä suunnitteluprojektin alkuvaiheessa. Käytännössä tämä tarkoittaa panostamista virtuaaliseen suunnitteluun. Tärkein syy front-end loading -tyyppiselle virtuaaliselle suunnittelulle on, että sillä pyritään säästämään aikaa ja resursseja. Pyrkimys on saada huono design kiinni suunnittelun alkuvaiheessa, jotta välttyttäisiin kalliilta virheiltiltä projektin loppuvaiheessa.

Kuvassa 3 esitetään, kuinka Stage-Gate-prosessissa tuotekonseptien ja layoutien määrää vähennetään suppilomaisesti projektin edetessä. Koska erilaisia ideoita ja layouteja on suunnittelun alkuvaiheessa paljon, olisi organisaatiossa tärkeää olla selkeä prosessi front-end loading -suunnittelulle, jotta organisaation jokaisella toiminnolla olisi selvä tehtävä myös prosessin alkuvaiheessa. Näin organisaation jokainen toiminto tulisi kuulluksi jo prosessin alkuvaiheessa ja huonoja konsepteja voitaisiin karsia pois mahdollisimman aikaisessa vaiheessa projektia.



KUVA 3. Tuotekonseptien määrä verrattuna tuotekehitykseen käytettyyn aikaan front-end loading / Stage-Gate-prosessissa (Cooper 2001, 12)

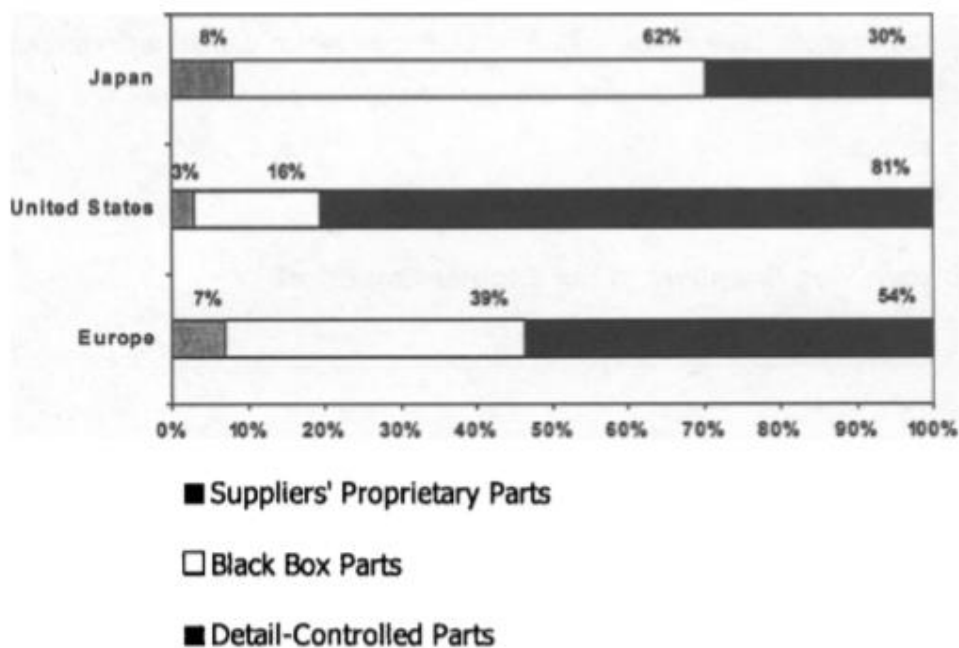
Kuvasta 4 voidaan todeta, että mitä pidemmällä projektissa ollaan, sitä hankalampaa ja kalliimpaa on tehdä muutoksia suunniteltuun rakenteeseen. Tämän vuoksi front-end loading -suunnittelu ja sitä tukeva Stage-Gate-prosessi ovat tärkeitä, jotta yritys pystyy toteuttamaan kilpailukykyistä tuotekehitystä. Valitettavan usein prosessin alkuvaihe ja konseptointi tapahtuu vain tuotekehitysorganisaation sisällä, jolloin prototyypivaiheeseen mentäessä jo kertaalleen suunniteltu rakenne joudutaan suurelta osin suunnittelemaan uudelleen, jotta lopullinen tuote tyydyttää kaikki organisaation toiminnot.



*KUVA 4. Tuotekehitysprojektin edetessä epävarmuustekijät vähenevät, mutta muutosten kustannukset kasvavat sekä vaikutusmahdollisuudet heikenevät (Puurtinen 2014, 6, Kuismanen, Innotiimi Oy 2011 mukaan)*

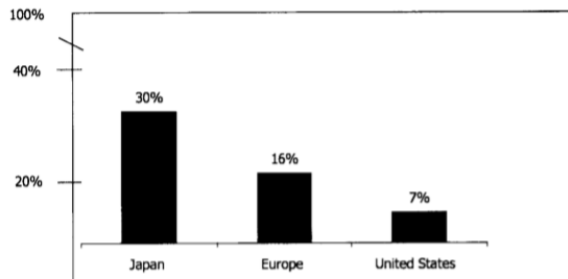
Yksi tapa lisätä front-end loading -suunnittelua on tehdä yhteistyötä komponenttitoimittajien kanssa jo mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ja käyttää heidän tietotaitojaan sekä resursseja osajärjestelmien kehityksessä. Näin erilaisia osajärjestelmiä ja tuotekonsepteja saadaan enemmän, joista voidaan valita tuoteprojektiin parhaiten sopivat kokonaisuudet. Erityisesti japanilainen autoteollisuus nojaa vahvasti komponenttitoimittajien tuotekehitykseen ja osasuunnitteluun. Keskimääräisesti japanilaisen autovalmistajan tuotteesta, noin 70 % tuotteen sisältämistä osista on suoraan komponenttitoimittajan suunnittelemaa. (Sörensen 2006, 85–86.)

Kuvassa 5 harmaa palkki vasemmalla kertoo suoraan toimittajan niin kutsutut katalogiosat, keskellä valkoinen palkki "Black box parts" tarkoittaa autovalmistajan itse määrittämiä osia ja musta palkki oikealla tarkoittaa autovalmistajan itse suunnittelema osia (Sörensen 2006, 86). Niin kutsutut "Black box" osat ovat komponentteja joiden toiminnallisuuden, esimerkiksi suorituskyvyn, painon tai ulkomitat autonvalmistaja on määrittänyt, mutta jättää kokonaan komponenttitoimittajan vastuulle kyseisten osien teknisen toteutuksen ja suunnittelun (Sobek – Ward – Liker 1999, 78). Voidaan huomata, että japanilaisten autovalmistajien käyttämistä komponenteista 70 % prosenttia on komponenttitoimittajan suunnittelemaa ja vain 30 % osista on itse autovalmistajan suunnittelemaa (Sörensen 2006, 86). Verrattuna yhdysvaltalaisten autonvalmistajien 81 % itse suunnittelemaan osuuteen, on ero suunnittelu filosofioiden välillä valtava.



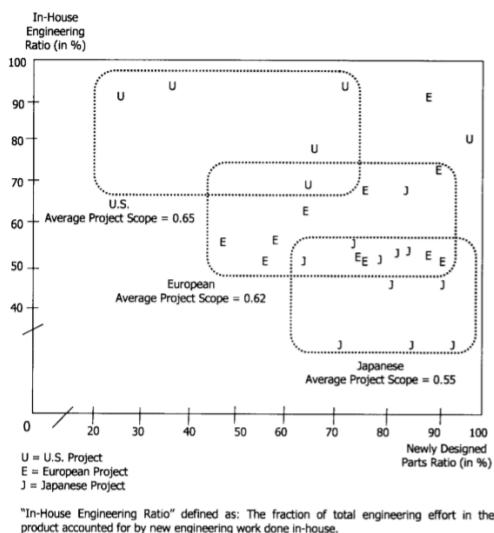
*KUVA 5. Japanilaisten, yhdysvaltalaisten sekä eurooppalaisten autovalmistajien suunnittelun osuus verrattuna komponenttitoimittajien osuuteen (Sörensen 2006, 86)*

Itse tuotteen kehityskaareen komponenttitoimittajat osallistuvat japanilaisten valmistajien prosesseissa noin 30 %:n osuudella. Eurooppalaisilla ja yhdysvaltalaisilla autonvalmistajilla komponenttitoimittajien osuus kehitysprosessissa kokonaisuutena on huomattavasti pienempi. (Kuva 6.)



*KUVA 6. Autoteollisuuden lopputuotteen koko tuotekehityskaaren komponenttitoimittajien osuus Japanissa, Euroopassa ja Yhdysvalloissa (Sørensen 2006, 85)*

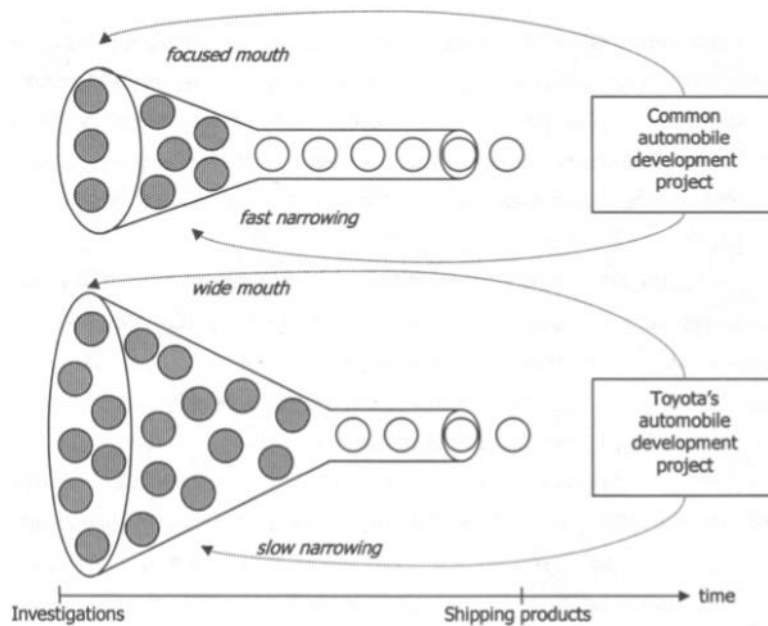
Komponenttitoimittajien tekemä työ näkyy parhaiten uusien osien määrässä. Japanilaiset autovalmistajat käyttävät uudessa tuotteessa noin 60–100 % uusia osia, kun taas yrityksen omaan tuotekehitykseen vahvasti nojaavien yhdysvaltalaisien ajoneuvovalmistajien uusissa tuotteissa uusia komponentteja on noin 20–75 %. (Kuva 7.)



*KUVA 7. Yhdysvaltalaisien, eurooppalaisten ja japanilaisten autovalmistajien tuotteiden sisältämä uusien osien prosentuaalisen osuuden vertailu valmistajien itse suunnittelemien osien määrään (Sørensen 2006, 87)*

Komponenttivalmistajien mukaan tuleminen osaksi tuotteen kehitystä näkyy myös siinä, miten front-end loading -prosessin suppiloa lähdetään pienentämään ja missä vaiheessa tuotteen lopullinen layout on lukossa. Esimerkiksi yhdysvaltalaisella autonvalmistajalla Chryslerillä uuden tuotteen layout ja osajärjestelmien komponenttivalmistajat on valittu, kun konseptimalli on valittu ja konseptia lähdetään kehittämään prototyypiksi.

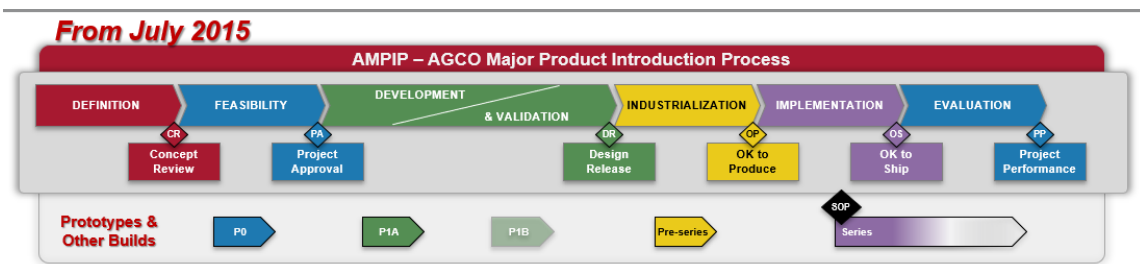
Huomattavaa on, että konseptivaiheessa Toyota käy erilaisia konsepteja läpi keskimäärin noin kaksikymmentä konseptia per tuoteprojekti, kun vastaava luku Chryslerillä on keskimäärin kymmenen konseptia (Sörensen 2006, 75). Toyota myös vie konsepteja prototyypivaiheeseen enemmän kuin yhden layoutin sisältävän prototyypin. Näin tuotteen lopullista layoutia lähdetään muodostamaan vasta prototyypin kautta (Sobek ym. 1999, 75). Toyotalla saattaa olla vielä prototyypivaiheessa lähes kymmenen erilaista vaihtoehtoa ajoneuvon layoutista ja osajärjestelmien sijoittelusta. (Sörensen 2006, 75.)



KUVA 8. Front-end loading -prosessin suppilo aikajanalla, yleinen autoteollisuuden prosessi verrattuna Toyotan prosessiin (Sörensen 2006, 76)

Toyota ei käytä kaikkien osajärjestelmien tuotekehityksessä yhtä pitkää kehitysaikaa ja monen layoutin ylläpitoa, vaan kartoittaa mahdollisuuksien, riskien ja kustannusten kautta uusien osajärjestelmien kehittämiseen käytettävien resurssien määrää. Toyota pyrkii etsimään osajärjestelmiä, jotka tuovat tuotteelle ja asiakkaalle eniten arvoa suhteessa tarvittavaan työmäärään. Esimerkiksi voimansiirtojen osalta edetään suhteellisen nopeasti, koska kustannukset useiden eri voimansiirto layoutien ja vaihtoehtojen yhtäaikaisessa kehittämisessä ovat liian suuria (Sörensen 2006, 84). Vaihdekepin layoutia ei muutettu vuosiin, koska sen ei nähty tuovan lisäarvoa tuotteelle. Pakoputkistojen kehittämisessä Toyota etenee hitaammin, koska ne ovat halpoja sekä suhteellisen riskittömiä osajärjestelmiä kehittää. Parhaimmillaan alihankkija oli tehnyt 50 erilaista pakoputkiston prototyyppiä, koska Toyotalla osajärjestelmän pääsuunnittelija oli halunnut tietää jokaisen eri tyyppisen pakoputkiston hyvät ja huonot puolet. (Sobek ym. 1999, 75.)

Valtralla käytettävä AGCO:n AMPIP-tuotekehitysprosessi (kuva 9) on sovellutus Stage-Gate-prosessin periaatteista. AMPIP muistuttaa huomattavasti Chryslerin tapaa, jossa tuotteen layout ja komponenttivalmistajat on valittu konseptivaiheessa. AMPIP-prosessissa, Project Approval -portissa tuotteen konsepti ja sen layout jäädytetään yhteen layoutiin, jonka pohjalta lähdetään tekemään ensimmäisiä, täysin toiminnollisia prototyyppejä. (AMPIP. 2015.)



KUVA 9. AGCO:n AMPIP tuotekehitysprosessi (AMPIP. 2015.)

Japanilainen autoteollisuuden tuotekehitysprosessi on myös huomattavasti lyhyempi verrattuna yhdysvaltalaisiin tai eurooppalaisiin verrokkeihin, keskiarvo läpimenoaika japanilaisella valmistajalla on noin kolme ja puoli vuotta, kun yhdysvaltalaisilla ja eurooppalaisilla se on noin viisi vuotta (Sörensen 2006, 70). AMPIP-prosessissa tuotteen kehitykselle on määritelty kolmesta neljään vuotta, jonka aikana idea tulisi tuotteistua lopputuotteeksi. (AMPIP. 2015.)

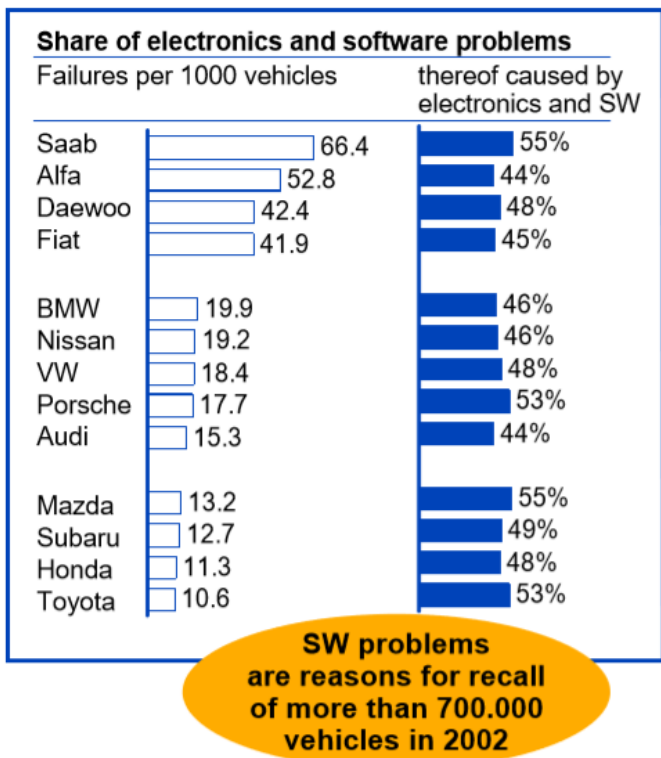
Prototyyppien ja esisarjan valmistusmäärästä voidaan todeta, että autonvalmistajat valmistavat keskimäärin saman verran prototyyppisiä, mutta esisarjan tuotantomäärässä on huima ero. Tämä kertoo sitä, että keskimäärin japanilaisen valmistajan prototyyppi on kypsyydeltään parempi ja sillä pystytään todentamaan paremmin niin suunnittelun toiminnallisuus kuin myös organisaation toimintojen valmius sarjatuotantoon. (Taulukko 1.) (Sörensen 2006, 71.)

*TAULUKKO 1. Prototyyppien ja esisarjan ajoneuvojen lukumäärä (Sörensen 2006, 71)*

	Japani	USA	Eurooppa	
			Volyymivalmistaja	Premiumvalmistaja
Prototyyppiä	38	34	37	54
Esisarja	53	129	109	205

Valtralla tyypillinen prototyyppien ja esisarjan valmistusmäärän välinen ero noin 1:2, tarkoittaen että yhtä prototyyppiä kohden valmistetaan kaksi esisarjan konna. Tästä voidaan päätellä, että Valtralla prototyyppien kypsyyden on ollut suhteellisen hyvä. Kypsyyden on myös voinut todeta seuraamalla fyysisten prototyyppien ja esisarjan traktorien rakentamista. Parhaimmillaan tuotantolinjalla rakennettavat ensimmäisen prototyyppivaiheen traktorit ovat läpäisseet tuotantolinjan tuotannon vaiheajan mukaisesti ja ovat liikkuneet omin voimin pois tuotantolinjan päästä. Samoin myös organisaation muut toiminnot ovat pystyneet toteamaan jo ensimmäisen vaiheen prototyyppien avulla huomattavan määrän kyseisten toimintojen tekemistä koskettavia asioita.

Yleisesti uudessa tuotteessa nähdään erittäin isona riskinä tuotteen suuri uutuusarvo, jolla tarkoitetaan käytännössä uusien osien prosentuaalista määrää, koska uusi osia ei ole testattu sarjatuotteen tasolla. Kuitenkin tutkimukset osoittavat, että japanilaisten autovalmistajien tuotteet ovat luotettavuustilastojen kärjessä vuodesta toiseen. McKinseyn suorittaman tutkimuksen mukaan japanilaisten valmistajien tuotteissa on keskimääräisesti vähiten vikoja, ja että ohjelmistovikojen sekä elektronisten komponenttien vikaantumisen osuus on suhteellisen sama kaikkien valmistajien välillä (kuva 10).



*KUVA 10. Vuoden 2002 luotettavuustilastoa merkeittäin (McKinsey. 2002)*

Voidaan summata, että japanilainen autonvalmistaja pystyy keskimäärin tekemään lyhyemmällä tuotekehitysprosessilla enemmän tutkimusta uuden tuotteen mahdollisuuksista ja layouteista. Samalla myös lopputuloksena saamaan kypsempiä lopputuotteita, joiden uutuusarvo on suurempi kuin eurooppalaisilla tai yhdysvaltalaisilla kilpailijoilla.

## 4 TUOTTEEN MÄÄRITYS

Tuotteen määrittäminen on Stage-Gate-prosessissa tärkeimmässä asemassa ensimmäisen sekä toisen kehitysvaiheen ja hyväksyntäportin aikana. Tuotehallinta ja markkinointi ovat yrityksessä niitä toimijoita, joilta vaatimukset tuoteprojektin uudelle lopputuotteelle tulevat. Näiden toimijoiden tehtävänä on määrittää, millaista toiminnallisuutta markkinat haluavat tuotteelta, toisin sanoen millainen uusi tuote yrityksen pitäisi seuraavaksi lanseerata. Kyseiset toimijat yleensä myös säätelevät aikataulurajoitteen tuoteprojektille joko kilpailutilanteellisista tai lainsäädännöllisistä syistä. Esimerkiksi ajoneuvopuolella muutaman vuoden välein uusiutuvat päästövaatimukset ovat yksi merkittävimmistä markkinoiden vaatimuksista, jotka ajavat uusien tuotteiden kehitystä ja asettavat aikataulurajoituksen tuoteprojektille.

On tärkeää määrittää heti projektin alkuvaiheessa tarkasti mitä lopputuote sisältää. Tuotteen määrittämisessä käytetään pohjalla oman yrityksen vanhoja tuotteita, sekä kilpailijoiden vastaavia tuotteita. Uuteen tuotteeseen tuodaan monesti uusia varusteita, ominaisuuksia, muotoilua tai muuta vastaavaa, millä pyritään erottamaan kilpailijoista sekä parantamaan oman tuotteen kilpailukykyä. Yleensä uuden tuotteen määrittäminen suuren päätöksen osalta hyvin, mutta tarkemmalla detaljitasolla määrittelyä ei ole tehty tarpeeksi tarkasti. Toisaalta liian tarkkaa määrittelyä ei tulisi tehdä, koska konseptimallien tarkoitus on nimenomaan suunnitella ja katselmoida erilaisia toteutuksia pyydetylle tuotteelle.

Tuotteen määrittämisessä on tärkeää muistaa erotella asiakkaan toiminnallisuuspyynnöt teknisistä toiminnoista ja niiden toteutuksista. Jos nämä menevät sekaisin, lopputulos ei välttämättä ole sitä mitä on haluttu. Esimerkiksi asiakkaan toiminnallisuuspyyntö on nähdä kellon aika mittaristossa. Suunnittelija suunnittelee mittaristoon kellon, jonka pystyy napeista asettamaan oikeaan aikaan. Todellisuudessa pyyntö on, että asiakas haluaa nähdä kellon ajan, jolloin parempi tekninen toteutus kellolle olisi mahdollisesti ollutkin radiotaajuuksien kautta haettava kellonaika, joka näytetään mittaristossa. (Weber 2009, 80.)

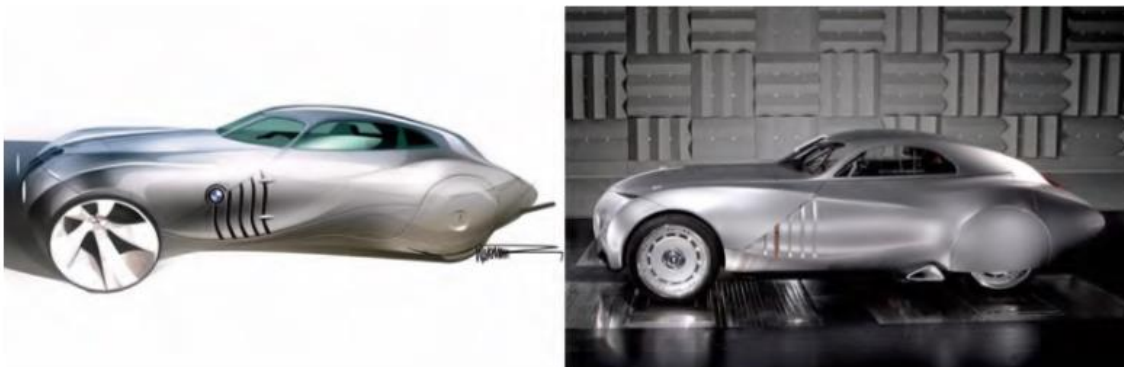
## 5 KONSEPTOINTI

Konseptisuunnittelu on uuden tuotteen suunnittelun ensimmäinen vaihe, kun ideoita lähdetään kehittämään tuotteeksi. Tarve uudelle tuotteelle tulee ideasta, markkinoiden vaatimuksesta, lakimuutoksista tai muista markkinoihin liittyvästä vaatimuksesta. Konseptisuunnittelua tehdään, kun ollaan Stage-Gate-toimintamallin prosessissa liiketoimintamallin rakentamisessa. Konseptien kautta haetaan selvitystä sille, onko ideoiden pohjalta rakennettavissa kannattavaa tuotetta.

### 5.1 Konseptien suunnittelu

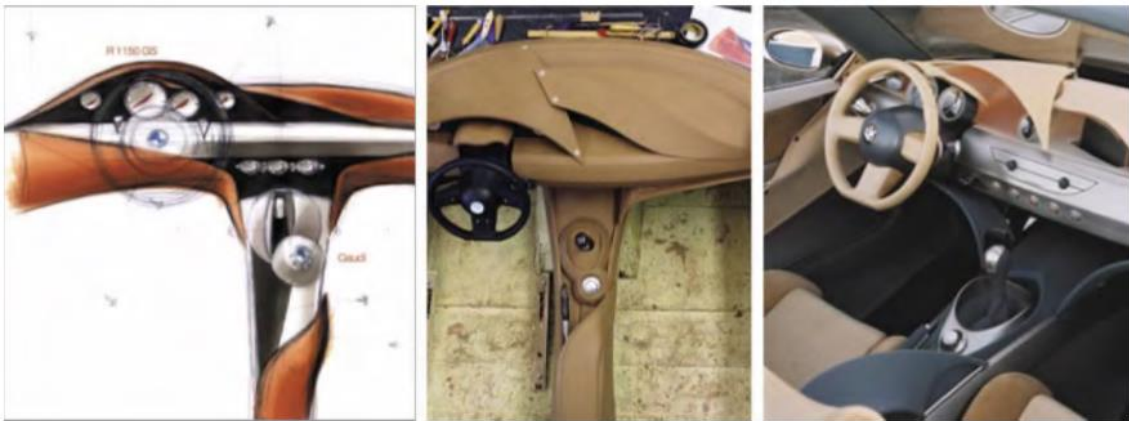
Hyvin haarukoitujen ideoiden pohjalta on helpompi ja nopeampi lähteä suunnittelemaan konseptimallia ja sen layoutia. Konseptisuunnittelussa tarkoitus on palloilla ja leikitellä ideoilla, innovoida uusia ratkaisuja, joista lopulta rakentuu uusi tuote. Konseptimalleja olisi hyvä suunnitella muutama erilainen, eikä vain tyytyä tiettyyn, yrityksessä aiemmin tehtyyn ratkaisuun. Konseptimallien tarkoitus on olla tutkielmia, joiden kautta tarkistellaan uusia teknologioita ja muotoilua, niiden valmiutta sekä mahdollisuuksia tuotteistamiseen uudessa tuotteessa.

Yleisesti konseptointi aloitetaan muotoilun kautta. Piirretty 2D-sketsi ulkomuodosta on monesti ensimmäinen askel uuden tuotteen konseptissa (kuva 11). Samoin myös ajoneuvon sisätiloja pyritään alkuun konseptoimaan 2D-sketseillä. Muotoilukonsepti viedään monesti 2D-sketsistä suoraan fyysiseksi malliksi, esimerkiksi savesta tai puusta tehtynä.



*KUVA 11. Piirretty 2D-sketsi sekä ajettava konseptimalli (Weber 2009, 129)*

Muotoilukonseptin kautta pyritään hahmottamaan mittasuhteita, muotoilun toimivuutta sekä erityisesti sisätilojen kohdalla ergonomiaa ja kuljettajan ympäristöä (kuva 12). Muotoilukonseptien kautta pyritään myös kuulemaan asiakkaiden palautetta ja mielipiteitä uudesta designista sekä sen toimivuudesta. Kun fyysisen mock-up mallin muotoilu on valmis, skannataan pinnat 3D-malliksi ja siirretään CAD-ympäristöön, jossa muodot jalostetaan lopullisiksi osiksi tuotantotekniikoiden ehdoilla. (Weber 2009, 129–134.)



*KUVA 12. Auton sisätilojen konseptisuunnittelun vaiheita (Weber 2009, 132)*

## **5.2 Konseptien katselmointi ja valinta**

Kun konseptimallit on suunniteltu, aloitetaan niiden katselmointi. Katselmointien tarkoitus on saada palautetta eri konseptien toteutuksista mahdollisimman laajasti yrityksen eri toimijoilta. Erilaisia konseptimalleja olisi syytä katselmoida kaikkien yrityksen eri toimijoiden kesken, esimerkiksi tuotannon näkökulma saattaa olla hyvinkin erilainen verrattuna markkinoinnin tai kustannuslaskennan näkökulmaan.

Konseptikatselmointien jälkeen on aika valita konseptit, joka viedään prototyyppiä. Malleista pyritään valitsemaan se konsepti, joka on paras kompromissi kaikkien eri toimintojen osalta. Monesti suurimmat rajoittavat tekijät ovat aikataulu ja budjetti. Yleisesti organisaation eri toiminnot haarukoivat konseptimallien sisältöä erilaisten valintamatriisien kautta, jotta ymmärretään eri konseptien vahvuudet sekä heikkoudet. Valintamatriisien kautta kartoitetaan miten hyvin konsepti täyttää toiminnon sille asetetun toiminnallisuuden, tai muun vastaavan tärkeän kriteerin. (Sobek ym. 1999, 76–77.)

## 6 PROTOTYYPPIVAIHE

### 6.1 Protovaiheiden määrä ja niiden määrittely

Stage-Gate-tuotekehitysprosessissa prototyyppivaiheiden määritykseen on organisaatioilla oma prosessinsa. Stage-Gate-tuotekehitysprosessissa prototyyppivaihe on neljännessä ja viidennessä kehitysvaiheessa. Monesti ajatellaan, että prototyyppi tehdään pelkästään teknologian ja suunnittelun todennusta varten. Lähes aina prototyyppillä halutaan kuitenkin testata teknologian lisäksi organisaation muiden toimintojen valmiutta ja kypsyyttä sarjatuotantoon. Näitä ovat muun muassa tuotannon valmius valmistaa suunniteltua rakennetta tuotantolinjalla, alihankintaketjun testaus sekä laadun että prosessien osalta tai jälkimarkkinoinnin kyvykkyyttä tukea lopputuotetta.

Prosessi määrittelee, millaisella kypsyydellä mikäkin prototyyppivaihe on suoritettava, minkälainen toiminnallisuus kunkin vaiheen prototyyppillä on oltava, sekä millaisella prosessilla ja työkaluilla prototyyppi tehdään. Esimerkiksi alkuvaiheen prototyypit voidaan tehdä tuotantolinjan ulkopuolella, prototyyppi työkaluin tehtyjä komponentteja käyttäen, kun taas loppuvaiheen prototyypit tehdään hyvin usein sarjavalmistaisesti tehdyillä komponenteilla, tuotantolinjan vaiheiden ja vaiheajan mukaisesti. Prosessi myös määrittelee, miten ja missä vaiheessa prototyyppien suunniteltu rakenne todennetaan, sekä miten paljon testausta minkäkin vaiheen prototyypit tarvitsevat, ennen kuin voidaan siirtyä seuraavaan prototyyppivaiheeseen.

Konseptin hyväksymisen jälkeen aloitetaan konseptimallin vieminen prototyyppiksi ja lopulta sarjavalmistaiseksi tuotteeksi. Monesti uuden tuotteen kehityksessä pyritään ottamaan käyttöön mahdollisimman paljon uusia ominaisuuksia ja teknologioita. Kun konseptia lähdetään viemään prototyyppiasteelle, on oltava ymmärrys prototyyppien käyttämien teknologioiden valmiudesta sekä teknologioiden testatarpeesta. Teknologian valmiuden ja testatarpeiden kautta pystytään määrittämään, montako prototyyppivaihetta tarvitaan ennen lopullista sarjatuotetta.

## **Esimerkkejä eri konsepti- ja prototyypivaiheista**

**P0 - Proof of concept**, niin kutsuttu muuli. Yleisesti tehdään jo konseptivaiheessa. Tarkoitus on testata uuden teknologian tai teknologiakokonaisuuksien toimivuutta, uutta muotoilua tai vastaavaa. Kypsyysaste matala, tapauskohtaisesti päätetään eteneekö edes teknologian todentamiseen saakka.

**P1 - Ensimmäinen prototyyppiaste.** Uuden tuotteen ensimmäinen prototyyppi. Kypsyys suunnitellun rakenteen osalta suhteellisen korkea. Kokoonpanoon käytetyt osat prototyyppi menetelmin tehty ja hankittu. Tavoitteena on testata suunniteltu rakenne mahdollisimman pitkälle. Oltava saatavilla vähintään 100 % tuoterakenne.

**P2 - Toinen prototyyppiaste.** Kypsyys erittäin korkea, lähellä sarjatuotetta. Lähes kaikki osat sarjatuotantomenetelmin tehty, hankinta tehty osittain tuotantoprosessien mukaisesti. Prototyyppi rakennettu tuotantolinjan menetelmin, tuotannon henkilöiden toimesta. Saatavilla 150 % tuoterakenne.

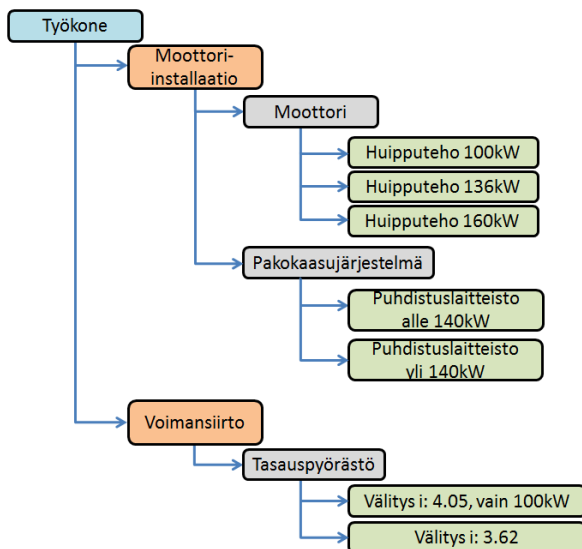
**P3 - Kypsyys sarjatuotantotuotteen tasoinen.** Tuotannon prosessien testausta, sekä valmistuksen että hankintaketjun osalta. Käytännössä esisarja, tuotteen oltava tarpeeksi laadukas myytäväksi asiakkaalle.

Konsepti- ja prototyypivaiheiden määrä voi vaihdella myös saman prosessin sisällä. Yleisesti prototyypivaiheita on kahdesta kolmeen ennen sarjatuotannon aloitusta. Jos katsotaan, että prototyypin sisältämä uusi teknologia saadaan todennettua sarjatuotteeksi suhteellisen riskittömästi, voidaan prototyypivaiheita vähentää. Isoissa tuoteprojekteissa, joissa on monta uutta teknologiakokonaisuutta mukana, olisi hyvä miettiä, tulisiko tuoteprojekti jakaa erillisiksi teknologiaprojekteiksi. Monesti erilaisten teknologiakokonaisuuksien tuotekehityksen tahti ei ole yhdenmukainen, jolloin myytävä sarjatuote ei ole valmis suunnitellussa aikataulussa. Tämä usein tietää yritykselle merkittäviä tappioita, koska suunnitellun tuotteen on tarkoitus korvata yrityksen edeltävä, jo vanhentunut tuote markkinoilta.

## 6.2 Suunnittelu

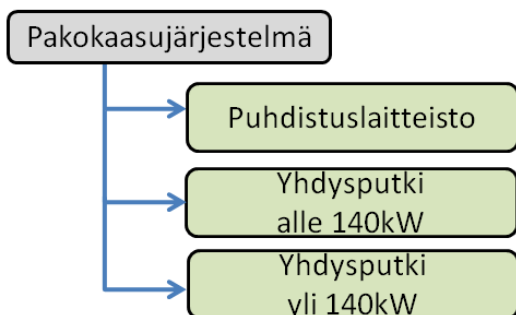
Lähtötiedot, konseptikatselmointien pohjalta saatu palaute sekä suunnitteluvaiheen prosessin määrittelemä maturiteetti antavat pohjan, josta uutta tuotetta lähdetään suunnittelemaan. Näiden perusteella tuotteelle lähdetään suunnittelemaan tuoterakennetta. Tuoterakenteesta puhutaan yleisesti lyhenteellä EBOM, Engineering Bill Of Materials. Monesti suunniteltu tuote on niin sanotusti konfiguroitava ja modulaarinen, eli sama tuote sisältää erilaisia variaatioita ja varusteita. Tämän vuoksi modulaarisessa EBOM:ssa tuoterakenne jaetaan eri toimintojen ja osa-alueiden mukaisiin alikokoonpanoihin, joiden alta erilaiset variaatiot voidaan valita. Näin saman tuoterakenteen sisällä on monta erilaista konfiguroitavaa alikokoonpanoa, joista lopullinen tuote ja yksilön tuoterakenne muodostuvat. (Kääriäinen – Savolainen – Taramaa – Leppälä 2000, 30.)

Tavoite modulaarisessa EBOM:ssa on, että rakenne on jaoteltu siten, että variaatioita voidaan tarvittaessa lisätä, poistaa tai muuttaa. Tarkoitus on, ettei muutos vaikuta muiden osa-alueiden alla oleviin moduulivariaatioihin, tai sen vaikutus muihin osa-alueisiin on mahdollisimman pieni. Esimerkiksi jos kuvan 13 tuoterakenteen tuotteeseen halutaan lisätä moottoritehot 90 kW ja 145 kW, voidaan rakenne päivittää tehojen osalta ilman, että muiden osa-alueiden moduuleja tarvitsee muuttaa.



KUVA 13. EBOM-jaottelun esimerkki, kuvassa vihreät suorakulmiot valittavia moduuleita ja niiden sääntöjä

Modulaarisessa tuoterakenteessa periaatteena on, että sama osa samassa positiiossa samalla toiminnallisuudella tulisi olla rakenteessa vain kerran, ja tätä periaatetta tulisi noudattaa mahdollisimman tarkasti. Jos esimerkiksi kuvan 13 tuotteessa pakokaasun puhdistusjärjestelmä olisi suurelta osin yhtenäinen kaikkien moottoritehojen välillä, mutta erilainen turboahdin muuttaisi moottorin ja pakokaasulaitteiston rajapintaa, olisi pakokaasujärjestelmän tuoterakenne jaettava kuvan 14 mukaisesti, jotta modulaarisen tuoterakenteen periaate täyttyy.



*KUVA 14. Modulaarisen tuoterakenteen osa-alueen esimerkki*

Tuotteen elinkaaren ylläpidon kannalta on tärkeää, että modulaarisen tuoterakenteen periaate täyttyy mahdollisimman pitkälle. Esimerkiksi kuvan 13 ja 14 välisen tuoterakenteen välillä, jos pakokaasun puhdistuslaitteistoon tulee päivitys, joka vaikuttaa vain puhdistuslaitteistoon, tulisi kuvan 13 rakenteessa päivittää kahta moduulia, kun kuvan 14 rakenteessa päivitystä tarvitsee vain yksi moduuli. Varsinkin tuotteen osa-alueilla, missä moduuleita on monta ja niiden funktiot ovat hyvin lähellä toisiaan, saattaa toinen moduuli päivitettävä uuteen, mutta inhimillisen unohduksen seurauksena toinen moduuli ei olekaan päivittynyt uusilla osilla.

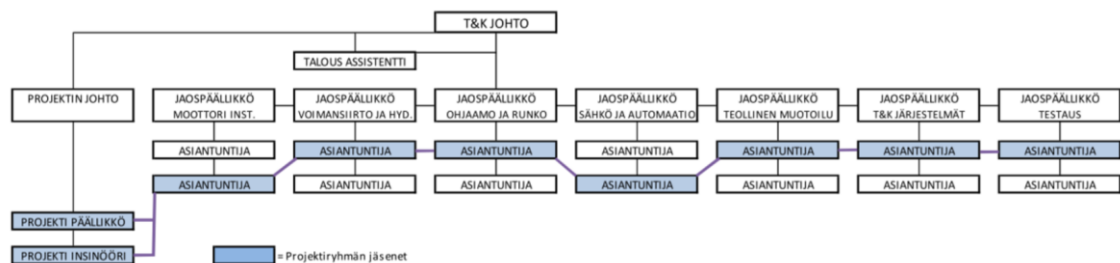
EBOM:sta puhuttaessa ovat monesti käytössä termit 100 % EBOM ja 150 % EBOM. 100 % EBOM tarkoittaa yhden tuoteyksilön varuste/moduulilistaa, joista yksilö koostuu. 150 % EBOM puhuttaessa tarkoitetaan kokonaisen tuotteen tuoterakennetta/moduulilistaa, joista yksilöt voidaan koostaa. Kuva 13 esittää 150 % EBOM-rakennetta, josta jokaisen osa-alueen alta valitaan kullekin tuoteyksilölle valitut moduulit. 150 % EBOM sisältää moduulilistan lisäksi niin kutsutut säännöt, joissa määritellään moduulien välinen hierarkia, toisin sanoen mitkä moduulit ovat keskenään valittavissa. Esimerkiksi kuvan 13 tuoterakenteessa, 160 kW:n

moottori voidaan valita vain yli 140 kW pakokaasujärjestelmän ja i:3.62 tasauspyörästön välityksen kanssa.

Jos tuotteen määrittäminen ei ole kunnossa vaan muuttuu suunnittelun aikana, johtaa se lähes aina suunnittelun myöhästymiseen. On erittäin tärkeää, että modulaarisen tuotteen kohdalla tuotteen lähtötietojen määrittely on jäässä, ennen kuin suunnittelu alkaa. Tällöin tuotteen tuoterakenne ja varustelista voidaan suunnitella mahdollisimman pitkälle jo heti suunnittelun alkumetreillä.

Yleisesti suuremmissa tuotekehitysorganisaatioissa suunnittelua hoitavat useat eri suunnitteluryhmät. Esimerkiksi Valtralla jokaiselle traktorin osa-alueelle on oma teknologiajajoksensa, joiden vastuulla on kulloinkin työn alla olevaan projektiin kehittää oman alueensa teknologioita, joita tuotteen määrittämisessä vaaditaan.

Valtralla on moniprojektitilanne, tarkoittaen että tuotekehitysprojekteja on yhtä aikaa useita. Näin ollen jaoksien asiantuntijat ja suunnittelijat eivät suoraan ole yhdessä projektissa kiinni, vaan suunnittelua suoritetaan eri jaoksissa eri aikoina riippuen jaosten resurssien määrästä sekä projektien aikatauluista. Koska eri varustevaluotiot monesti vaativat erilaisia tilanvarauksia, tulee lähtötietojen olla 150 % EBOM:a suunnitellessa lukossa. Muutoin vaarana on, jos yhdelle alueelle tulee jälkikäteen uusi variaatio, muuttaa se pahimmassa tapauksessa kaikkien muiden saman alueen kokonaisuuksien layoutin uusiksi. Jos muutosta vaativan osakokonaisuuden vastuullinen teknologiajajos on jo työstämässä toista projektia, saattaa resurssien saaminen olla hankalaa muutosta vaativan kokonaisuuksien korjaamiseen. (Puurtinen 2014, 38.)



KUVA 15. Valtran tuotekehityksen matriisiorganisaation kaavio (Puurtinen 2014, 37)

### 6.3 Jakelu

Kun uusi prototyyppi on suunniteltu ja on aika julkaista suunniteltu rakenne, puhutaan EBOM-jakelusta. Koska hyvin usein suunnitellaan konfiguroitava tuote, jaetaan niin kutsuttu 150 % EBOM. Organisaation tuotekehitysprosessin tulisi määritellä, millaisella sisällöllä mikäkin jakelu kuuluisi tehdä, esimerkiksi ensimmäinen prototyyppijakelu voidaan jakaa suppeammalla konfiguroinnilla kuin lopullinen sarjatuote.

Yleisesti EBOM-rakenne on osana PLM-järjestelmää, Product Lifetime Management, eli tuotteen elinkaaren hallintajärjestelmää, kun taas MBOM-rakenne on osana ERP-järjestelmää. PLM-järjestelmään, esimerkiksi Windchillin tallennettu EBOM-tuoterakenne toimii selkärankana toiminnanohjausjärjestelmälle, esimerkiksi SAP:lle. Toiminnanohjausjärjestelmässä EBOM-rakennetta vastaan luodaan MBOM-rakenne, Manufacturing Bill Of Materials, tuotannon osalista. Jakelussa suunniteltu rakenne siirretään PLM-järjestelmästä ERP-järjestelmään, jonka kautta hoidetaan yleisesti koko yrityksen tuotannon ohjausta, ostoprosessia sekä muita organisaation toimintoja, jotka pitävät organisaation toiminnassa. Jakelun jälkeen esimerkiksi tuotteessa käytettävien osien revisiointi hankaloituu huomattavasti, koska monesti ERP-järjestelmään siirryttyä osille on luotu tarve, ja ostoprosessi kyseisille osille on jo menossa.

MBOM-rakenteessa tuotteen EBOM-tuoterakenne jaetaan uudelleen tuotantolaitoksen asennusjärjestyksen mukaan, jolloin eri osa-alueiden sisällä olevien komponenttien sijoittelu saattaa poiketa hyvinkin suuresti EBOM-rakenteesta. MBOM-rakenteen perusteella toiminnanohjausjärjestelmä ylläpitää tuotannon varastoa, ja tekee tarpeet osille oikeaan aikaan ja oikeaan asennuspaikkaan. Jos tuoterakenteessa on virhe, esimerkiksi EBOM sekä samalla MBOM sisältävät vanhan että uuden osan eri alikokoonpanoissa, on luvassa ongelmia. Pahimmassa tapauksessa toiminnanohjausjärjestelmä pitää molempia osia varastossa ja käyttää vanhoja sekä uusia osia sekaisin, riippuen EBOM:in määriteltyjen variaatioiden kautta, jolloin osa tuotetuista tuotteista ei vastaa uutta rakennetta. EBOM ja MBOM eivät voi myöskään olla sama asia, koska MBOM-rakenne on tuotantolaitoksesta riippuvainen. Jos tuotetta tuotetaan monessa tuotantolaitoksessa, olisi tuotantolinjojen vastattava täydellisesti toisiaan.

## 6.4 Fyysinen koesarja

Kun virtuaalisesti suunniteltu rakennetta aletaan siirtämään fyysiseksi prototyypiksi, on se monesti tuotekehitysprojektin näkyvin ja odotetuin osuus. Tässä vaiheessa yleensä tapahtuu suurin osa muiden kuin tuotekehityksen toimintojen, organisaation tuotekehitysprosessin määrittelemistä tuotteen kypsyyden testauksesta. Normaali prosessi fyysisen rakennuksen aikana on, että prototyyppi valmistetaan ja kokoonpannaan tuotannon menetelmillä, suunniteltujen osien laatu tarkastetaan osatasolla sekä jälkimarkkinointi tutustuu tuotteeseen ja sen rakenteeseen.

Fyysisen koesarjan aikana dokumentoidaan prototyypin rakentaminen mahdollisimman tarkasti, jotta seuraavalla suunnittelukierroksella pystytään palaamaan fyysisen prototyypin sarjatuotannollisiin ongelmiin. Ongelmia saattaa ilmetä esimerkiksi tuotantolinjan prosessien, suunnitellun rakenteen todennuksen kannalta vääränlaisten osien, osien yhteensopivuuden tai muun vastaavan kanssa. Nämä niin kutsutut suunnittelu- ja laatu poikkeamat ovat erittäin tärkeitä kerätä ylös, ja viedä eteenpäin kyseisestä osa-alueesta vastaavan toiminnon tietoisuuteen.

Puurtinen (2014, 35) listaa esimerkkejä poikkeamista:

1. Osan dokumentaatio on virheellinen, minkä vuoksi osan valmistus ei onnistu suunnitelluin menetelmin.
2. Virheitä piirustuksissa tai dokumentaatiossa, jolloin pyydetty kokonaisuus ei ole kokoonpantavissa.
3. Puutteellinen toleranssihallinta osissa ja kokoonpanoissa.
4. Suunnitteluvirhe, jolloin osat tai kokoonpanot eivät käy paikoilleen.

## 6.5 Suunnittelun validointi

Kun prototyyppi on rakennettu ja viety rakentamisen aikaisten prosessien läpi, alkaa suunnitellun rakenteen todennus eli validointi, jota kutsutaan myös nimellä DVP-testaus. DVP-testausprosessissa kartoitetaan tuotteen designin isoimmat riskit ja pyritään ymmärtämään kokonaisuudet, joilla on vaikutusta tuotteen toiminnallisuuteen, turvallisuuteen tai luotettavuuteen. Kartoituksen jälkeen suunnitellaan testit, joilla pyritään todentamaan kartoitetut riskit ja niiden vakavuudet.

Ajoneuvoteollisuudessa esimerkiksi tärkeä DVP-testauskokonaisuus on moottorijäähdyttäjän jäähdytystehon mittaus ja todennus. DVP-testausprosessissa tietyille kokonaisuuksille on organisaatioilla yleensä olemassa tietyt suorituskyvyn raja-arvot, jotka tulee ylittää, jotta testaus on hyväksytysti läpäisty. Raja-arvot yleensä tulevat joko laskennallisesti, tai ovat todennettu edellisten tuotekehitysprojektien testauksessa toimiviksi. Esimerkiksi moottorin jäähdyttäjän DVP-testaussuunnitelmaan on määrätty testauksen olosuhteet, muun muassa vallitseva ympäristön lämpötila, kuormitustilanne sekä testin pituus.

Testaus sisältää prototyypin testausta sekä laboratorio-olosuhteissa että kentällä vaihtelevissa olosuhteissa. Tarkoitus on etsiä viat, niiden juurisyyt ja pyrkiä ratkaisemaan ongelmat ennen kuin tuote siirtyy sarjatuotantovaiheeseen. Samalla osalla testeistä on tarkoitus myös selvittää suunnitellun rakenteen rajoitteet, ja testata niin kauan kunnes jotain hajoaa. Näin testauksen kautta halutaan ymmärtää, kuinka suuri riski suunnitellun rakenteen pettämiseen on asiakkaan käytössä. Ideaalitilanne olisi, että DVP-suunnitelma olisi valmiina mahdollisimman aikaisessa tuotteen kehitysvaiheessa, jotta ymmärretään miten paljon tuotteen testaamiseen kuluu aikaa. Esimerkiksi jokin uusi teknologia saattaa vaatia monta tuhatta tuntia testausta, ennen kuin se voidaan turvallisesti päästää markkinoille asiakkaalle asti.

Modulaarisen tuotteen kohdalla on tärkeää, että validointi tehdään monella yksilöllä, joissa on erilainen varustelu. Näin suunnittelun laatu saadaan varmennettua mahdollisimman laajasti eri varustevariaatioilla. Varsinkin uusien teknologioiden kohdalla on hyvin tarkkaan määriteltävä testaussuunnitelma ja ymmärrettävä, millaisia riskejä kyseinen teknologia sisältää.

## 7 VIRTUAALISEN SUUNNITTELUN LAADUN PARANNUS

Yleinen tahto olisi, että protosarjojen määrä saataisiin vähennettyä mahdollisimman pieneksi. Näin voitaisiin säästää huomattava määrä aikaa ja rahaa, kun uusi tuote saataisiin sarjatuotteeksi mahdollisimman nopeasti. Tähän pyritään entistä tehokkaammalla virtuaalisella suunnittelulla. Nykyinen Valtralla käytettävä AM-PIP tuotekehitysprosessi ohjeistaa, että protosarjojen ja esisarjan välinen aika olisi yhteensä noin 24 kuukautta. Nykyisellään tästä ajasta yhteensä noin 12 kuukautta on komponenttien toimituksen odottamista, kun prototyypisarjoja on useampi.

Jos protovaiheiden määrää saataisiin vähennettyä edes yhdellä, pelkästään komponenttien odottelun kautta projektin läpimenoajasta poistuisi neljästä viiteen kuukautta. Tässä kappaleessa käydään läpi keinoja, joilla pyritään todentamaan suunnittelun laatua virtuaalisen todellisuuden kautta.

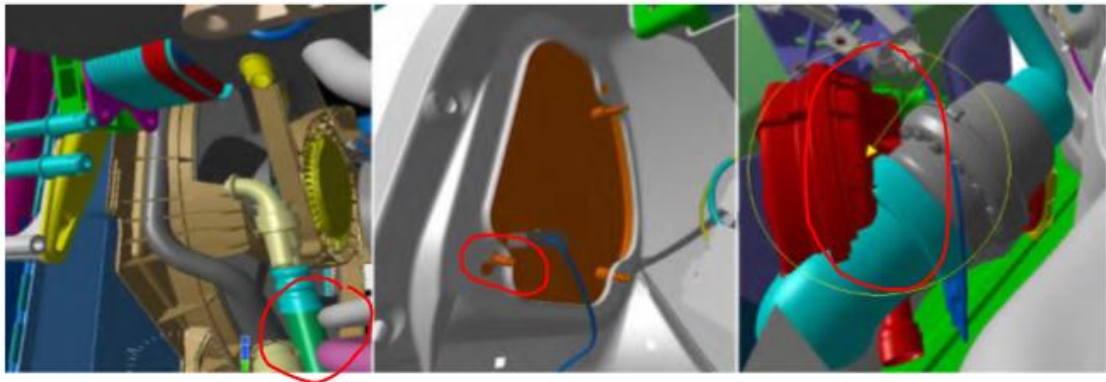
### 7.1 Törmäystarkastelu

Konfiguroitavassa tuotteessa törmätään lähes aina tilanteeseen, jossa eri suunnitteluryhmien moduulit/varustevaihtoehdot ovat fyysisesti lähellä toisiaan, sekä eri moduuleita voi olla samassa tilanvarauksessa useita. Tällöin on tärkeää, että saman alueen jokaisen moduulin tilanvaraukset tarkistetaan ristiin keskenään, eli tehdään niin kutsuttu törmäystarkastelu. Törmäystarkastelua tehdään tuotteen suunnittelun yhteydessä, ja on yksi erittäin tärkeä osa tuotteen virtuaalista suunnitteluprosessia. Törmäystarkastelussa tarkistetaan eri moduulien sisältämien osien väliset törmäykset sekä välykset.

Esimerkiksi traktorin täydessä tuoterakenteessa saattaa olla lähemmäs 1500 erilaista moduulia, ja muun muassa hydraulikkajärjestelmän moduuleita saattaa olla yli sata kappaletta. Yhdessä traktoriyksilössä on yhteensä noin 300 moduulia, joista hydraulikkaa on noin kymmenestä kahteenkymmentä moduulia. Monesti päällekkäisten moduulien toiminnot ja komponentit eivät paljoa eroa toisistaan, mutta vaativat erilaisen tilavarauksen.

Kun moduuleita on paljon, ja suunnittelijoita sekä suunnitteluryhmiä on useita, saattaa joidenkin moduulien välinen törmäystarkastelu jäädä tekemättä. Tällöin korostuu tuotteen määrittelyn tärkeys, jolloin tuoterakenteen säännöt eri moduulien kesken ovat selvillä. Näin pystytään määrittelemään minkäkin moduulin tilanvaraus ja toisensa pois sulkevat varustevariaatiot, jolloin on selvää mitkä moduulit tarvitsevat keskinäistä törmäystarkastelua.

Kuvassa 16 esitetään erilaisia törmäyksiä ja niiden kriittisyyttä. Vasemman puoleisessa letkut hankaavat toisiinsa, joka on suhteellisen pieni haitta. Keskimmissä reikien paikoitus on virheellinen, tämä on helppo korjata, mutta tehtävä ennen jakelua. Oikealla törmäys on erittäin iso ja tämä vaatii uudelleensuunnittelua. (Weber 2009, 48-49.)



*KUVA 16. Esimerkki törmäystarkastelusta ja sen tuloksista (Weber 2009, 48)*

Yleisesti jokainen CAD-ohjelmisto osaa ilmoittaa törmäyksistä automaattisesti, mutta välyksien määrittämisessä tarvitaan suunnittelijan kokemusta ja tietotaitoa. Ajoneuvoteollisuudessa, tuotteessa käytettyjen osien materiaalit ja valmistustekniikat vaihtelevat valuraudasta hitsattuihin kokoonpanoihin ja ruiskupuristemuoviin, ja tuotteen käyttöympäristön ollessa erittäin vaihteleva, suunnittelijalla on oltava vankka kokemus, jotta varsinkin pitkien toleranssiketjujen päässä olevat osat eivät törmää muihin komponentteihin.

Koska törmäystarkastelu on automaattinen, eikä sille ole selvää ohjeistusta varsinkaan välysten osalta, suunnittelija yleensä turtuu siihen eikä ota törmäystarkastelua kovinkaan vakavasti. Yleinen asenne on, että suunnitellussa törmäyksiä tulee aina kun osan design muuttuu. Tämän takia on syytä huolehtia designin

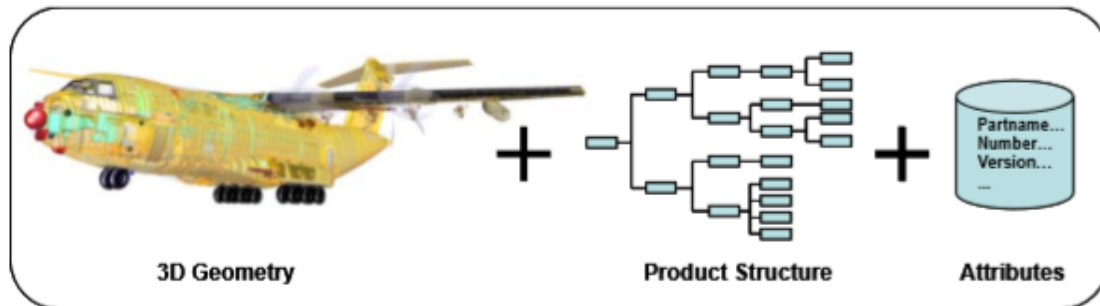
jäädyttyä, että viimeisimpien versioiden törmäykset ja välykset on tarkastettu, jotta ne ovat hyväksyttävällä tasolla. Törmäystarkastelu on välttämätön osa yhtäaikaista kokonaisen ajoneuvon suunnittelua. (Weber 2009, 48.)

## 7.2 3D-katselmoinnit

Kun tuotteen suunnittelu alkaa olla siinä vaiheessa, että 3D-malleista pystytään katselmoimaan kokonaista tuotetta, aloitetaan suunnitellun rakenteen katselmointi eri toimijoiden kesken. Katselmointia suoritetaan yleisesti tuotteen kehitysvaiheessa, pienempiä kokonaisuuksia katselmoidaan viikoittain ja suurempia, kokonaisen tuotteen katselmoiteja suunnitteluvaiheen loppupuolella ennen jake-  
lua.

Pienemmillä viikkokatselmoineilla yleisesti tarkoitetaan tietyn osa-alueen layoutin katselmointia. Esimerkiksi työkoneen kehitysvaiheessa hydraulikkajärjestelmän layoutia ja sen asennettavuutta saatetaan katselmoida viikoittain viikkopala-verissa, yhdessä layout-suunnittelijan ja organisaation muiden toimintojen kanssa, kuten tuotannon ja jälkimarkkinoinnin edustajan kanssa. Suurempia katselmoiteja järjestetään erilaisten 3D-kokonaisuuksien ympärille, joita kutsutaan nimellä DMU, Digital Mock-Up.

Yleisesti DMU on 100 % tuoterakenteen omaava yksilö, tai modulaarisen tuotteen kanssa DMU-yksilöitä on monia. Tärkeää on, että DMU:t noudattavat suunnittelun asettamia, moduulien välisiä konfiguraatiosääntöjä, jotta DMU:n rakenne vastaa mahdollisimman täydellisesti varsinaista fyysistä tuotetta. Täyden 100 % tuoterakenteen omaavista yksilöistä saadaan hyvä käsitys siitä, mitä tuote kokonaisuudessaan sisältää, mikä tuotteen eri moduuleissa varioituu ja mitä organisaation toimintojen tulee ottaa huomioon uudessa tuotteessa (kuva 17). On tärkeää, että käytössä on tehokkaat katselmointiohjelmit, joilla pystytään katselmoimaan tarvittaessa kokonaista tuotetta ja sen layoutia. Samoin katselmoidaan yleisesti myös tuoterakennetta ja eri moduulien välisiä sääntöjä.



KUVA 17. 100 % tuoterakenteen omaavan DMU-mallin sisältö (Dolezal 2008, 5)

DMU-mallia katselmoidaan eri näkökulmista riippuen katselmoijan asemasta organisaatiossa. Tuotannon henkilöt katselmoivat uutta tuotetta tuotantolinjan MBOM rakenteen mukaisesti niin kutsutusti DFMA-ajattelun kautta, ja yrittävät etsiä mahdollisia rakenteita, jotka estävät tehokkaan sarjatuotannon tuotantolinjalla tuotteen suunnitellulla volyyymilla. Joillakin yrityksillä on esimerkiksi koko tuotantolinja mallinnettuna 3D-malliksi, jonka läpi prototyyppi voidaan viedä. Näin pyritään tarkistamaan erilaisten tuotantolinjan työkalujen vaatimat tilanvaraukset, erilaiset asennusjärjestykset ja muut asennuksen kannalta kriittiset tekijät.

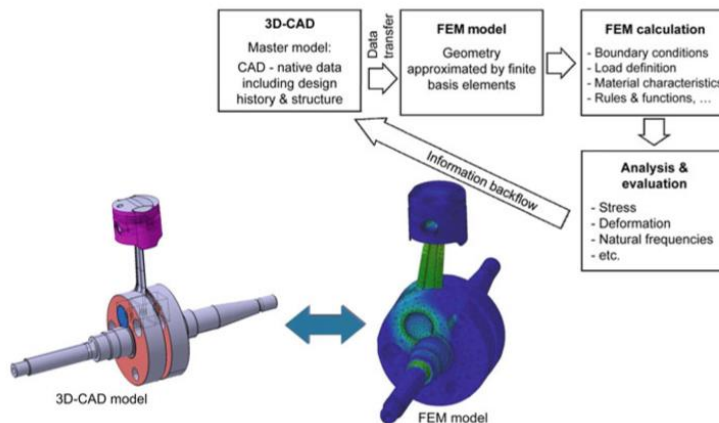
Jälkimarkkinointi ja huoltopalvelut taas yleisesti ottaen haluavat aloittaa kokonaisuudesta yksilöstä ja pala kerrallaan purkaa rakennetta ymmärtääkseen, minkälaista tukea tuote tulee tarvitsemaan elinkaarensa aikana. Esimerkiksi Valtralla, huoltopalvelut ovat yleisesti kiinnostuneita moottorin moniurahihnan tai venttiilivälyksien säädöstä, ja pyrkivät katselmoimaan näiden huoltotoimenpiteitä 3D-mallien kautta.

### 7.3 Simulointi

Simulointi on nykyisin erittäin tärkeä osa suunnittelutyötä varsinkin prototyyppias- teelle siirryttäessä. Konseptivaiheessa mahdollisesti tehtyjen, alustavien simu- laatioiden pohjalta lähdetään määrittelemään, mitkä osa-alueet tarvitsevat eri- tyistä huomiota ja välisimulointeja suunnittelun tueksi. Suunnittelun edetessä voi- daan myös määritellä, mitkä osa-alueet voidaan validoida pelkästään tietoko- neella suoritetun simulaation avulla, ilman erillistä fyysisen mallin testausta. Näin toimitaan monesti esimerkiksi, kun joidenkin osien perusrakenne on sama ja nii- den suunnittelu voidaan todentaa pelkästään yhdellä fyysisellä prototyyppillä.

### 7.3.1 FEM, Finite Element Method

Kappaleen tai kokoonpanon lujuus- sekä lämpötekni- sien ominaisuuksien simu- lointia kutsutaan nimellä FEM, Finite Element Analysis. FEA-laskenta on numee- rinen ratkaisumenetelmä, jossa käytetään elementtimenetelmällä suoritettua las- kentaa. FEA-laskennassa kappale kuvataan elementtiverkolla, joka koostuu ti- lanteen mukaan eri muotoisista geometrisista elementeistä, esimerkiksi kolmi- oista tai kuutioista. Kappaleelle määritellään reunaehdot, maksimirasitukset, ra- situksen suunnat sekä materiaalien ominaisuudet. (Vertex, linkki Vertex FEA.) FEM-simulaation tuloksista voidaan päätellä, minne ja minkä suuruisina rasituk- set kohdistuvat sekä miten erilaisella kappaleen geometrialla voidaan vaikuttaa rasituksen määrään ja jakautumiseen kappaleen sisällä (kuva 18).



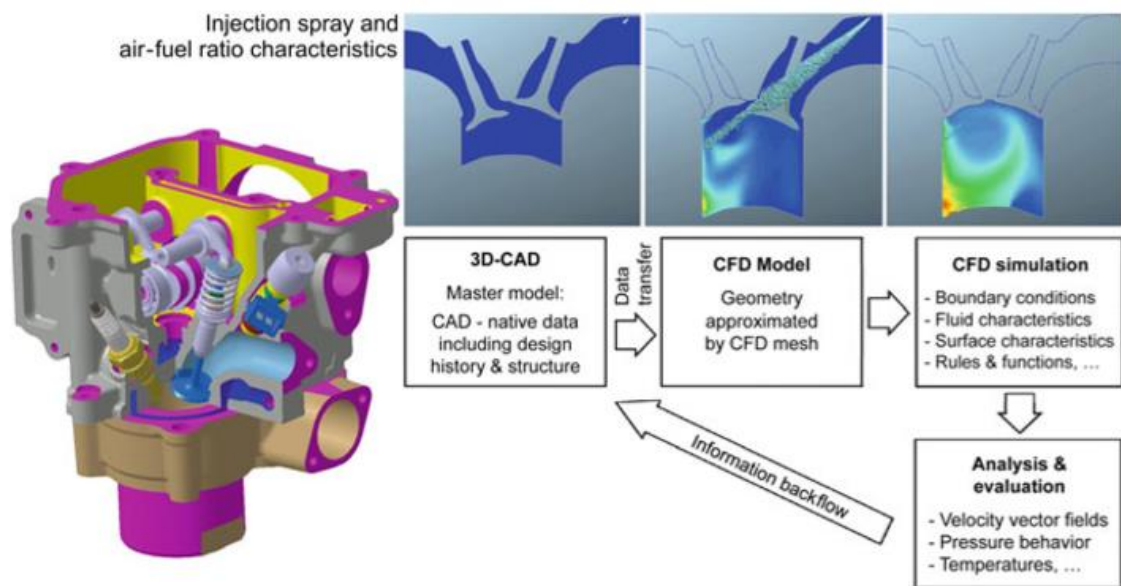
KUVA 18. Yksisylinterisen moottorin FEM-simulaatio (Hirz – Dietrich – Gfrerrer – Lang, 2013. 37)

Koneteknisessä suunnittelussa monesti esimerkiksi erilaisien, samalla geometrialla varustettujen valuosien lujuustekniset ominaisuudet testataan yhdellä fyysisellä osalla. Tietokonesimulointien pohjalta voidaan määrittellä, mikä versio on lujuusteknisesti heikoin ja käyttää sitä fyysisessä testauksessa.

### 7.3.2 CFD, Computational Fluid Dynamics

CFD-simuloinnilla tutkitaan kaasujen ja nesteiden virtausta suunnittelussa rakenteessa (kuva 19). FEM-laskennan tapaan laskenta tapahtuu verkotuksen kautta, jolloin suunnittelijan on osattava antaa reunaehdot, jotta laskenta olisi edes jossain määrin realistinen. Seuraavassa on esimerkkejä CFD-simulaation käytöstä:

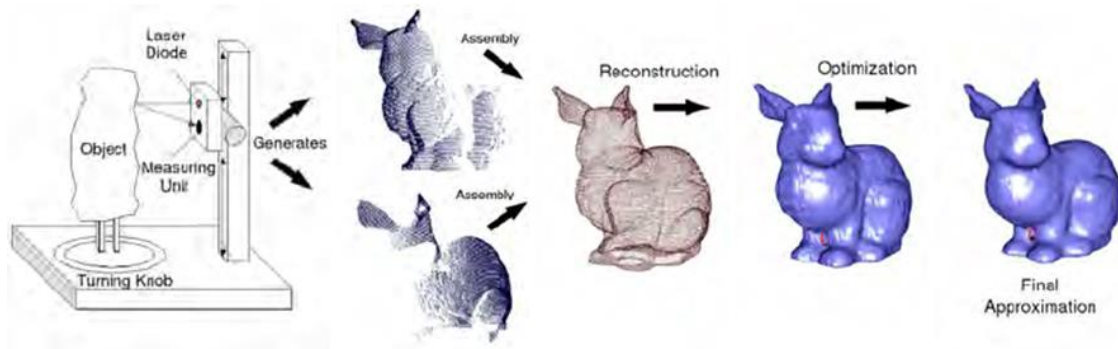
- ajoneuvon aerodynamiikan tutkiminen ja parantaminen
- polttomoottorin kaasunvaihtoprosessin tutkiminen
- jäähdytysnesteen kierto moottorin vesikanavissa.



KUVA 19. Moottorin sylinterikannen CFD-simulaatio polttoaineen sekoittumisesta ilmaan imusarjasuihkutteisessa moottorissa (Hirz ym. 2013, 38)

## 7.4 3D skannaus

Yleisesti ajoneuvoissa on käytössä erilaisia materiaaleja ja valmistusmenetelmiä valuraudasta rotaatiovalulla tehtyihin muoviosiin. Tällöin on erittäin tärkeää varmistaa prototyyppijä tehdessä osien mitoitus, koska toleranssit ovat suhteellisen suuria käytössä olevaan tilaan. Monesti kyseiset osat ovat isoja kokoonpanoja tai kompleksisia rakenteita kaksois- tai kolmoiskaarevilla pinnoilla, on niiden mittaaminen perinteisin menetelmin hankalaa. Yhtenä uutena innovaationa alalle on tullut niin kutsuttu 3D-skannaus, jolla pystytään skannaamaan fyysinen osa ja skannerin ohjelmisto rakentaa skannauksesta 3D-mallin. 3D-skannauksessa skanneria kuljetetaan kappaleen ympäri ja jokaisesta skannauksesta muodostetaan pistepilvi (kuva 20). Kun kappale on skannattu jokaisesta tarvittavasta kuvakulmasta, kappaleesta muodostetaan 3D-pistepilvi, jonka perusteella pisteistä voidaan luoda pintamalli. Näin mallia pystytään vertaamaan suunniteltuun rakenteeseen, jolloin mahdolliset toleranssiheitot pystytään saamaan jo protovaiheessa kiinni.



KUVA 20. 3D-skannauksen prosessi (Keller 2012, 118)

Valitettavan usein prototyyppiosien kohdalla asenne on, että ne ovat vain prototyyppiin tehtäviä yksittäisiä osia. Juuri prototyyppiosien kuitenkin tulisi olla niitä, jotka ovat juuri oikeassa toleranssissa ja suunnitellun rakenteen mukaisia. Prototyyppillä tehtävän suunnittelun todennuksen osalta tämä on erityisen tärkeää, pahimmillaan vääränlainen osa saattaa vaarantaa koko suunnittelun todennusprosessin, näin tehden näin koko prototyypin turhaksi. Valtralla käytetään 3D-skannausta, kun joku isompi kokoonpano, esimerkiksi pakoputkisto ei istu paikoilleen. Tämä skannaus tehdään kuitenkin vasta prototyypin rakentamisen jälkeen, jolloin prototyyppi on jouduttu rakentamaan suunnittelusta poikkeavalla osalla.

## 8 POHDINTA

Opinnäytetyön päätarkoituksena oli tutkia, miten lopputuotteen laatua voitaisiin parantaa virtuaalisen suunnittelun kautta. Yksi tavoite työlle oli myös, että siitä saadaan ylätason käsitys tuotekehitysprojektista ja sen vaiheista. Pohdinnassa käydään läpi, millaisia huomioita työtä tehdessä syntyi ja millaisia muutoksia prosesseihin voitaisiin harkita, jotta virtuaalisen suunnittelun laatua voitaisiin parantaa.

### 8.1 Törmäystarkastelun prosessi

Päivittäisessä työssä huomio kiinnittyi usein tilanteisiin, joissa eri moduulien väliset välykset olivat huomattavan pieniä ja moduulit myös törmäilivät toisiinsa. Selvittäessäni juurisyytä törmäyksille ja olemattomille välyksille, törmäsin usein tilanteeseen, jossa suunnittelija oli joko unohtanut katselmoida kaikki alueen moduulit tai ei ollut tietoinen kaikista saman alueen moduuleista. Välillä törmättiin myös tilanteisiin, että suunnittelijan tietokoneen teho ei riittänyt kokonaisten moduulikonaisuuksien yhtäaikaiseen katselmointiin.

Valtralla on käytössä Creo Parametric -3D-CAD-ohjelmisto, jolla 3D-mallin rakenne suunnitellaan. Creo Parametric ei itsessään sisällä niin kutsuttua viewer-ominaisuutta, jossa ohjelmisto luo kevyemmän 3D-mallin katselmointia varten. Näin isojen kokoonpanojen, esimerkiksi täydellisen 100 % EBOM yksilörakenteen omaavien 3D-mallien katselmointi ei onnistu Creo Parametric -ohjelmassa. Tämän vuoksi suuren kokoonpanojen katselmointiin käytetään erillistä Creo View -ohjelmistoa.

Creo Parametric ja Creo View eivät käytä samoja tiedostoformaatteja, minkä vuoksi natiivista Creo Parametric -ohjelmiston 3D-mallin master datasta joudutaan muodostamaan erillinen tiedosto, jota katselmoidaan Creo View -ohjelmistolla. Creo View'n käyttämä 3D-malli on erillinen tiedosto, joka ei ole luomisen jälkeen yhteydessä PDM-järjestelmän 3D-rakenteen master dataan. Tämä väli-vaihe aiheuttaa viivästystä suunnittelun ja suurien kokonaisuuksien katselmointien välillä, ja monesti tilanne on, että ympäristö on jo ehtinyt muuttua, kun katselmointia suoritetaan suurilla kokoonpanoilla. Muun muassa kilpaileva 3D-CAD-

ohjelmisto CATIA sisältää niin kutsutun viewer-ominaisuuden, jolloin kokonaista tuotetta voidaan katselmoida suoraan CATIAN käyttöliittymän sisällä. 3D-malli pystytään päivittämään CATIAN käyttöliittymän sisällä suoraan PDM-järjestelmästä, ilman tarvetta muodostaa erillisiä tiedostoja, jotka eivät ole suoraan yhteydessä PDM-järjestelmän master dataan.

Creo Parametric -ohjelmistosta puuttuu samoin moduulien väliseen törmäystarkasteluun soveltuva työkalu, jonka vuoksi törmäystarkastelu tehdään myös Creo View -ohjelmistolla. Tämä johtaa siihen, että myös törmäystarkastelu on hankalaa, koska master datasta luotu Creo View -malli on jo ehtinyt vanhentua suunnittelun edetessä lähes päivittäin. Suunnittelijan ajankäytön kannalta on ongelmallista, ettei törmäystarkastelu onnistu natiivilla 3D-CAD-ohjelmistolla, minkä vuoksi usein törmäystarkastelu on tehty huolimattomasti tai ei ollenkaan.

Creo View -ohjelmistosta voidaan ajaa törmäystarkasteluraportti, joka ei vaadi 3D-mallin avaamista, mutta sen sisältämä data ei ole kovin informatiivista, eikä sen kautta saada käsitystä, olivatko tarkastellut törmäykset kuinka vakavia. Törmäystarkastelun tuloksia varten joudutaan avaamaan Creo View 3D-malli ja sieltä käsin tutkimaan, ovatko törmäykset kuinka vakavia tai onko välystä moduulien välillä riittävästi. Koska törmäystarkastelu on erittäin tärkeässä osassa kokonaisen ajoneuvon suunnittelua, olisi syytä sille luoda jonkun tyyppinen prosessi. Tällä hetkellä törmäystarkastelu on jäänyt vahvasti projektiryhmän harjoille, jonka vuoksi tarkastelu ei ole kovinkaan dynaamista.

Ehdotukseni olisi, että törmäystarkastelulle luodaan Excel-poikkeamalista. Lista kertoisi törmäystarkasteltavan Creo View -mallin, mallin pahimmat törmäykset, vastuullisen suunnittelijan sekä sisältäisi kommenttikentän, johon tarvittaessa voidaan täydentää lisätietoja, esimerkiksi kommentti tehdyistä muutoksista. Varsinkin teknologiajaksien välisissä hankalissa rajapinnoissa poikkeamalista saattaisi olla toimiva työkalu, koska nykyisellään tämän kaltaisissa tilanteissa tieto kulkee lähinnä sähköpostin välityksellä, eikä aina tavoita kaikkia tuoteprojektissa osallisena olevia henkilöitä. Idea poikkeamalistassa on, että lista olisi julkinen, esimerkiksi verkkolevyllä tai PDM-järjestelmässä. Listaa voisivat täydentää kaikki NPI-projektissa 3D-mallien kanssa työskentelevät henkilöt. Listan kautta viesti

välittyisi kaikille projektissa mukana oleville henkilöille, ja näin voitaisiin varmistua, että tieto tavoittaa varmasti kaikki oikeat henkilöt.

## **8.2 Omien vahvuuksien kartoittaminen**

Opinnäytetyötä tehdessäni huomio kiinnittyi japanilaisten autonvalmistajien tapaan keskittyä muutamaaan, yritykselle vahvaan osaamisen osa-alueeseen. Toyota on kartoittanut moottorit ja elektroniikan vahvuuksikseen, siirtäen oman suunnittelunsa pääpainon näille alueille, ja luottaen komponenttitoimittajien insinööriosaamiseen muiden ajoneuvon osa-alueiden suunnitteluratkaisuissa. (Sörensen 2006, 102.)

Luonnollisesti Valtralla tai muilla työkonevalmistajilla ei ole samoja resursseja ja verkostoja komponenttitoimittajiin, kuin maailman suurimmilla autonvalmistajilla on käytössään. Kuitenkin verrattaessa eri autonvalmistajien prosesseja toisiinsa, erot prosesseissa ovat huomattavia, vaikka resurssien määrä on suhteellisen sama autonvalmistajien välillä. Toyotan tapa tehdä prototyyppejä erilaisilla layouteilla on mielenkiintoinen. Nykyinen Valtran ja AGCO-konsernin käyttämä AMPIP-tuotekehitysprosessi on tyypillinen amerikkalainen sovellutus Stage-Gate-prosessista, jossa tuotteen layout määritellään jo konseptivaiheessa mahdollisimman tarkasti, kun taas Toyotalla layout jäädytetään vasta viimeisessä mahdollisessa vaiheessa prototyypivaiheen aikana. Voisi ajatella, että usean layoutin yhtäaikainen testaaminen pitkittää tuotekehitysprosessin läpivientiaikaa, mutta Toyotan tuotekehitysprosessin keskimääräinen läpimenoaika on noin kolmasosan lyhyempi kuin Chryslerin.

Tutkimusta kannattaisi jatkaa kartoittamalla, miten laajasti Valtralla nykyään käytetään komponenttitoimittajien suunnittelemaa osajärjestelmiä. Lisäksi voitaisiin selvittää mitkä osajärjestelmät ovat selvästi omaa vahvuusaluetta sekä pohtia, miten yhteistyötä kannattaisi jatkaa. Tutkimuksen avulla voitaisiin myös selvittää, olisiko usean eri layoutin prototyypivaihe kannattava Valtran kannalta ja millaisia sekä Valtran että komponenttitoimittajan resursseja se vaatisi. Autoteollisuudesta tämän kaltaisesta prosessista on hyviä kokemuksia, mutta toisaalta autoteollisuuden tuotekehityresurssit ovat huomattavasti suurempia kuin työkoneollisuudessa.

### 8.3 Muiden toimintojen osallistuminen

Opinnäytetyön suurimpana huomiona tahtoisin nostaa muiden toimintojen osallistumisen tärkeyden tuotteen suunnitteluvaiheessa. Tuotekehitystoimintojen sisäinen 3D-osaaminen on nykyisellään Valtralla hyvin vahvaa, enkä näe, että tuotekehitystoimintojen sisältä löytyisi suuria keinoja parantaa virtuaalisen suunnittelun laatua nykyisestään. Valtralla pidetään vahvasti kiinni siitä, että tuotetun 3D-rakenteen laatu on hyvin korkealla tasolla, eikä 3D-rakenteesta yleisesti löydy isoja paikoitusvirheitä, törmäyksiä tai muuta selkeää laatua heikentävää virhettä.

Olisi tärkeää, että 3D-osaamista löytyisi myös tuotekehitys toimintojen ulkopuolelta ja eri toiminnot tekisivät aktiivisemmin töitä 3D-mallien kanssa. Nykyisellään on totuttu liikaa tuotekehityksen vetämiin katselmoiteihin, joihin toimintojen edustajat tulevat mielellään mukaan, mutta he eivät ole juurikaan valmistautuneet katselmoiteihin. Viikoittainen katselmointi yhdessä eri toimintojen kanssa, joihin osallistujat tulisivat valmistautuneena, auttaisi parantamaan suunnittelun laatua. Eri toimintojen henkilöt katselmoivat tuotetta eri näkökulmasta, ja yleisesti suunnittelijaa auttaa, kun eri toimintojen henkilöt kertovat suunnitellun rakenteen esittämät haasteet oman toimintonsa kannalta.

Monesti tuotteen jakelu uhkaa myöhästyä, koska suuret, layoutia muuttavat pyynnit eri organisaation toimijoilta tulevat suhteellisen myöhäisessä vaiheessa suunnitteluprosessia. Kun 3D-mallia katselmoitaisiin aktiivisesti myös tuotekehitystoimintojen ulkopuolella, saataisiin huono layout kiinni jo suunnitteluvaiheen alkupäässä ja välttyttäisiin suurilta layout muutoksilta suunnitteluvaiheen loppupäässä. Varsinkin tuotannolliset ongelmat, esimerkiksi ongelmat asennusjärjestyksessä, tulevat tällä hetkellä liian myöhään ilmi. Kun suunnittelua aletaan korjata tiukalla aikataululla suunnitteluvaiheen loppupäässä, yleensä törmätään heikentyneeseen 3D-rakenteen laatuun, esimerkiksi paikoitusvirheisiin tai liian tiukoihin välyksiin joidenkin moduulien välillä.

Hyödyllinen jatkotutkimus aiheesta olisi kehittää selkeä selkäranka eri katselmoineille. Katselmoiteja järjestetään nykyisellään suhteellisen usein, mutta jokaisella projektilla on hieman omanlaisensa katselmoitikäytännöt, eivätkä orga-

nisaatioiden eri toimintojen vastuut ole aivan täysin selvillä. Kun vastuut ja käytännöt olisivat läpi projektien selvillä, olisi myös eri toimintojen helpompi sitoutua NPI-projekteihin mukaan ja ymmärtää projektien vaatima työkuorma. Nykyisellä tahdilla, jolla uusia mallisarjoja tehdään Valtralla, olisi tarpeellista resursoida lisää ihmisiä työskentelemään muihin organisaation toimintoihin NPI-projektien pariin. Toimintamalli, jossa esimerkiksi samat tuotannonkehitysosaston henkilöt hoitavat niin sarjatuotteet kuin NPI-projektit, on osoittautunut toimivaksi ratkaisuksi. Tämän hetkiselällä tuotantomäärällä ja työkuormalla NPI-projektit ovat kuitenkin rasite muun työn päälle, ja eri osastojen pienistä myöhästelyistä tulee NPI-projektin loppupäässä suhteettoman suuri myöhästymisen.

## LÄHTEET

Agcocorp. Saatavissa: <https://www.agcocorp.com/>. Hakupäivä 21.1.2019.

Agcocorp – Asset Bank & Document Centre. Saatavissa: <https://assets.agcocorp.com/asset-bank/>. Hakupäivä 21.1.2019.

AMPIP. 2015. Sisäinen materiaali. AGCO.

Cooper, Robert 2001. Winning at New Products. Accelerating the process from Idea to Launch. 3. painos. Perseus Publishing.

Cooper, Robert 2008. Perspective: The Stage-Gate Idea-to-Launch Process - Update, What's New and NexGen Systems. Stage-Gate International. Saatavissa: [https://www.stage-gate.net/downloads/wp/wp\\_30.pdf](https://www.stage-gate.net/downloads/wp/wp_30.pdf). Hakupäivä 14.11.2018.

Cooper, Robert 2014. What's Next? After Stage-Gate. Progressive companies are developing a new generation of idea-to-launch processes. Stage-Gate International. Saatavissa: [https://www.stage-gate.net/downloads/wp/wp\\_52.pdf](https://www.stage-gate.net/downloads/wp/wp_52.pdf). Hakupäivä 17.12.2018.

Dolezal, Walter Richard 2008. Success Factors for Digital Mock-ups (DMU) in complex Aerospace Product Development. Opinnäytetyö. München: Technische Universität München. Saatavissa: <https://d-nb.info/989190668/34>. Hakupäivä 25.10.2018.

Fortune 500. Saatavissa <http://fortune.com/fortune500/>. Hakupäivä 10.1.2019.

Hirz, Mario – Dietrich, Wilhelm – Gfrerrer, Anton – Lang, Johann 2013. Integrated Computer-Aided Design in Automotive Development. Heidelberg: Springer-Verlag GmbH.

Keller, Patric 2012. Surface Reconstruction from Unorganized 3D Point Clouds. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/221927286\\_Surface\\_Reconstruction\\_from\\_Unorganized\\_3D\\_Point\\_Clouds](https://www.researchgate.net/publication/221927286_Surface_Reconstruction_from_Unorganized_3D_Point_Clouds). Hakupäivä 20.1.2019.

Kääriäinen, Jukka – Savolainen, Pekka, – Taramaa, Jorma – Leppälä, Kari 2000. Product Data Management (PDM). Design, exchange and integration viewpoints. Espoo: Technical Research Centre of Finland, VTT

Product Development in the Automotive Industry: Strategies to Circumvent the Complexity Challenge. 2002. McKinsey & Company.

Puurtinen, Anssi 2014. Tuotekehitysprojektin suunnitteluvaiheen yhtäaikainen aloittaminen. Opinnäytetyö. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Teknologiaosaamisen johtaminen.

Sobek, Durward – Ward, Allen – Liker, Jeffrey 1999. Toyota's Principles of Set-Based Concurrent Engineering. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/248139929\\_Toyota's\\_Principles\\_of\\_Set-Based\\_Concurrent\\_Engineering](https://www.researchgate.net/publication/248139929_Toyota's_Principles_of_Set-Based_Concurrent_Engineering). Hakupäivä 15.1.2019.

Sörensen, Daniel 2006. The Automotive Development Process - A Real Options Analysis. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag | GWV Fachverlage GmbH.

Valtra. Saatavissa <http://www.valtra.fi>. Hakupäivä 5.1.2019.

Vertex FEA. Saatavissa: <https://kb.vertex.fi/g42017fi/tutustu-tarkemmin/vertex-fea/perustietoa-lujuuslaskennasta/fea-laskennan-teoriaa>. Hakupäivä 2.1.2019.

Weber, Julian 2009. Automotive Development Processes - Processes for Successful Customer Oriented Vehicle Development. Heidelberg: Springer-Verlag GmbH.