

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

*Joona Lehtoranta*

**HISSEISSÄ KÄYTETTÄVÄN KULMAKORIN  
TUOTEKEHITYS JA TUOTTEISTAMINEN**

Tarkastajat: Professori Aki Mikkola

TkT Kimmo Kerkkänen

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

Joona Lehtoranta

### **Hisseissä käytettävän kulmakorin tuotekehitys ja tuotteistaminen**

Diplomityö

2014

112 lehteä, 55 kuvaa, 4 taulukkoa and 2 liitettä

Tarkastajat: Professori Aki Mikkola

TkT Kimmo Kerkkänen

Hakusanat: hissikori, parametrisuus, tuotemalli, tuotearkkitehtuuri, CAD-mallinnus, tuotteistaminen, massakustomointi

Diplomityö käsittelee hisseissä erikoistapauksessa käytettävän kulmakorin suunnittelua ja tuotteistamista. Työ suoritetaan KONE Oyj:lle. Diplomityössä luotiin kulmakorille modulaarinen tuotearkkitehtuuri ja määritettiin korin toimitusprosessi. Työn tavoitteena oli saavuttaa 48,12% asiakkaiden mahdollisista vaatimuksista ja vähentää suunnitteluun kuluva aikaa aikaisemmasta 24 tunnista neljään tuntiin. Työn tavoite saavutettiin kokeneen tapauskohtaisten kulmakorien suunnittelijan kommenttien perusteella. 48,12% asiakasvaatimuksista sisällytettiin tuotemalliin konfigurointimahdollisuuksina.

Työn alussa on esitelty tuotesuunnittelua, laadun hallintaa, parametrissa mallinnusta, massakustomointia ja tuotetiedon hallintaa. Sen jälkeen on käsitelty kulmakorin tuotteistamisen kannalta kaikki tärkeimmät muuttujat. Tämän jälkeen kulmakorin tuotemalli suunnitellaan ja mallinnetaan systemaattisesti ylhäältä-alas –mallinnustapaa käyttäen ja luodaan osille ja kokoonpanoille valmistuskuvat. Päättyökaluna työssä käytettiin Pro/ENGINEER-ohjelmistoa. Tällä mallinnettiin parametrinen tuotemalli ja rakenteiden lujoustarkastelussa käytettiin ohjelmistoa Ansys.

Työn tavoite saavutettiin analysoimalla massakustomoinnin perusteiden olennaisimmat osat ja seuraamalla analyttistä ja systemaattista tuotekehitysprosessia. Laatu painottaen tuotearkkitehtuuri validoitiin suorittamalla rajoitettu tuotanto, joka sisälsi kolme tuotemallilla konfiguroitua kulmakoria. Yksi koreista testikasattiin Hyvinkään tehtaalla.

## ABSTRACT

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

Joona Lehtoranta

Product development and productise of corner cabin used in elevators

Masters' thesis

2014

112 pages, 55 figures, 2 appendices and 4 tables

Supervisors: Professor Aki Mikkola

Sc.D Kimmo Kerkkänen

Keywords: elevator cabin, parametricity, product model, product architecture, CAD-modelling, productise, mass customisation

This thesis is about designing and productise of a special corner cabin used in elevators. Thesis is done for KONE corporation. Modular product architecture was created and delivery process determined for the corner cabin in the thesis. Goal of this thesis was to achieve 48,12 % of the possible customer requirements and reduce design time from previous 24 hours to four hours. The goal of this thesis was achieved by the comments of experienced corner cabin designer. 48,12 % customer requirements were included in the product model as configuration possibilities.

In the beginning of thesis, there are presented product designing, quality management, parametric modelling, mass customization and product data management. Then all the key variables of productizing the corner cabin are presented. After this product model of corner cabin is designed and modeled systematically using top-down –modelling approach and component and assembly drawings for manufacturing are created. Main tool used in thesis was Pro/ENGINEER. This program was used to model parametric product model and Ansys-program was used in structural strength analysis.

The goal of this thesis was achieved by analyzing the most essential subjects of mass customization and following analytical and systematic product development process. Emphasis on the quality, the product architecture was validated with limited production consisting of three corner cabins configured with the product model. One of the cabins was assembled at Hyvinkää factory.

## ALKUSANAT

Työ aloitettiin Laotsen sanoin: ”Tuhannenkin kilometrin matka alkaa yhdestä askeleesta.” Mutta päämäärä saavutettiin lopultakin. Haluaisin kiittää kaikkia työhön osallistuneita tai työstä kärsineitä henkilöitä: aiheen antajaa ja omaa esimiestäni Marko Viljasta erittäin mielenkiintoisesta aiheesta, työn ohjaajaa Antti Kouhiala kokemuksen ja osaamisen jakamisesta, Hyvinkään tehtaan tuotannon työntekijöitä palautteen antamisesta, Kimmo Kerkkämästä ja Aki Mikkolaa esimerkillisestä ja jämäkästä työn ohjauksesta ja perhettäni tuesta. Tuhannenkin kilometrin matka tuntuu sutjakalta hyvin tukevilla kengillä.

Järvenpäässä 2.11.2014

Joona Lehtoranta

## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Työn tavoitteet, rajausta ja rakenne.....	2
1.2	KONE Oyj yrityksenä.....	3
2	KÄYTETYT MENETELMÄT .....	4
2.1	Kirjallisuuskatsaus .....	5
2.1.1	Massakustomoitavuus .....	6
2.1.2	Laadun hallinta .....	10
2.1.3	Tuotekehitys ja -suunnittelu .....	12
2.1.4	Tuotetiedon hallinta .....	20
2.1.5	CAD-suunnittelu.....	21
2.1.6	Parametrinen mallinnus.....	23
2.2	Innovatiivisuus.....	33
2.3	Tuotteistaminen .....	34
2.4	Hissikorin suunnitteluprosessi.....	36
2.5	Hissistandardit .....	38
2.6	Mallinnusmenetelmät.....	38
2.6.1	Luuranko-mallinnus .....	40
2.6.2	Modulointi .....	40
2.6.3	Parametrisointi .....	41
2.6.4	Suhteet ja ehdot.....	41
2.6.5	Ohjelmointi.....	42
2.7	Käytetyt ohjelmat.....	42
2.7.1	Pro/ENGINEER WildFire 4.0 .....	42
2.7.2	VariPDM .....	43
2.7.3	WindChill .....	43

2.7.4	Ansys.....	43
3	TULOKSET .....	45
3.1	Tuotteistamisen esitiedot.....	45
3.2	Tuotekehityksen esitiedot.....	48
3.3	Abstraktisuunnittelu .....	50
3.4	Konseptisuunnittelu .....	59
3.5	Yksityiskohtainen suunnittelu .....	72
3.5.1	Lattia.....	73
3.5.2	Kynnykset.....	79
3.5.3	Seinät.....	80
3.5.4	Katto.....	87
3.5.5	Katon reunakaiteet .....	89
3.5.6	Kulmakorin sisustus .....	90
3.5.7	Mallin konfigurointitarkastelu.....	92
3.6	Piirustukset .....	94
3.7	Tuotemallin tarkastus.....	97
3.8	Kulmakorimallin tuotteistaminen .....	98
3.8.1	Tilausohje .....	98
3.8.2	Suunnitteluohje ja tuotemallin tukityökalut .....	99
3.9	Tuotteen validointi.....	100
4	TULOSTEN TARKASTELU .....	103
4.1	Tuotemalli .....	105
4.2	Tuotteistaminen .....	106
4.3	Jatkokehitysmahdollisuudet .....	108
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	110

## SYMBOLILUETTELO JA LYHENTEET

BOM	Bill of material	Osaluettelo
CA	Corrective action	Korjaava toimenpide
CAD	Computer aided design	Tietokoneavusteinen suunnittelu
CAE	Computer aided engineering	Tietokoneavusteinen suunnittelu
COP	Car operating panel	Korin ohjauspaneeli
COQ	Cost of quality	Laadun kustannus
CSG	Constructive solid geometry	Rakentava kiinteä geometria
DFA	Design for assembly	Suunnittelu kokoonpanon kannalta
DFC	Design for customer	Suunnittelu asiakkaan kannalta
DFM	Design for manufacturing	Suunnittelu valmistuksen kannalta
DFP	Design for processes	Suunnittelu prosessien kannalta
FEM	Finite element method	Elementtimenetelmä
FMEA	Failure mode and effect analysis	Virhetila- ja vaikutusanalyysi
HCE	Hyvinkää custom engineering	Hyvinkään erikoissuunnittelu
KBE	Knowledge based engineering	Tietopohjainen suunnittelu
NPD	New product development	Uuden tuotteen kehitys
PDM	Product data management	Tuotetiedon hallinta
PFBM	Parametric feature based modeling	Piirre-parametrinen -mallinnus
PLM	Product lifecycle management	Tuotteen elinkaaren hallinta
QFD	Quality function deployment	Toiminnallisen laadun käyttöönotto
ROI	Return on investment	Sijoituksen tuotto
VOC	Voice of customer	Asiakkaan ääni
VOE	Voice of engineer	Suunnittelijan ääni
VR	Virtual reality	Virtuaalitodellisuus

## 1 JOHDANTO

Tässä diplomityössä suunnitellaan ja tuotteistetaan kulmakori. Työ suoritetaan KONE Oyj:lle ja KONE Oyj:n valvonnan alaisena tuotekehityksenä KONE Oyj:n DECO-osastolle. DECO-osastolla suoritetaan tapauskohtaista erikoiskorien suunnittelua. Käyttäjän näkökulmasta hissikori on hissien oleellinen osa, koska hissiä käyttäessä käyttäjä näkee vain hissikorin sisäpuolen. Rakennus, hissikuilu ja hissien käyttötarkoitus asettavat vaatimukset hissikorin suunnittelulle. Hissien kuilu määrää hissikorin ulkomitat. Hissikorin lujuusvaatimuksiin vaikuttavat käyttötarkoitus ja suurin sallittu kantomäärä. Hissijä on eri tarkoituksiin. Perinteisen hissimallin lisäksi on mm. näköala-, tavara- ja kulmahissejä.

Kulmakori nimitys tulee siitä, että kahdella hissikorin vierekkäisellä seinämällä on ovet. Kulmakorille ominaista on myös suorakulmaisuudesta poikkeava muoto, mikä johtuu korin kehyksen asettamisesta normaalista poikkeavaan asentoon hissikuiluun. Suurimmassa osassa kulmakoreista kaksi nurkkausta on viistetty, mutta korit saattavat myös olla esimerkiksi suorakulmaisia. Kuvassa 1 on hissikori, jossa kehys on sijoitettu normaalisti.



**Kuva 1.** KONE Oyj:n hissikori.

### 1.1 Työn tavoitteet, rajaus ja rakenne

Diplomityö on kulmakorin tuotekehitys- ja tuotteistamisprojekti. Tuotteen tavoitteena on sisältää 48,12% mahdollisista asiakasvaatimuksista. Tuote tulee integroida KONE Oyj:n PLM- (Product Life Management) eli tuotteen elinkaaren hallintajärjestelmään. Tuotteistamisen tavoitteena on massakustomoitavan tuotteen toimitusprosessien harmonisointi, määrittäminen ja hallinnointi. Diplomityön tuloksena asiakkaalla on mahdollisuus tilata kulmakori asiakasvaatimusten mukaan tuotteena KONE Oyj:ltä. Konkreettisesti diplomityön tavoitteena on myös nopeuttaa kulmakorin suunnittelutyötä nykyisestä 24 tunnista neljään tuntiin. Tavoitteena on suunnittelutyön nopeuttamisen lisäksi tehostaa kulmakorien tuottavuutta vähentämällä suunnittelu- ja valmistusvirheitä, selkeyttämällä tarjous- ja myyntiprosessia, luomalla parametrisoituvat hissikoriin liittyvät

piirustukset, tuomalla 3D- eli kolmiulotteisen mallin visuaaliset hyödyt, helpottamalla kulmakorien spesiaalisuunnittelua ja linearisoimalla tuotteen toimitusprosessia ja koko elinkaarta. Parametrisoitu 3D-malli antaa myös paljon mahdollisuuksia jatkokehitykselle.

Diplomityön teoriaosuus käsittelee massakustomointia, tuotekehitystä ja parametrista mallintamista. Työn tulokset-osuudessa tarkastellaan suunnittelu- ja mallinnustyötä ja kulmakorin tuotteistamista. Tulokset-osioon kuuluu myös dokumentaation luonti. Tulosten tarkastelu –osiossa analysoidaan aikaansaatuja tuotteita ja sen tuotteistamisen onnistumista. Siinä arvioidaan myös tuotteen jatkokehitysmahdollisuuksia. Yhteenveto-osiossa kerrataan diplomityössä tehdyt saavutukset.

## 1.2 KONE Oyj yrityksenä

KONE Oyj on suomalainen yritys ja se kuuluu alansa johtaviin yrityksiin. KONE Oyj valmistaa hissejä, liukuportaita ja automaattioivia sekä tarjoaa ratkaisuja niiden huoltoon ja modernisointiin. KONE Oyj:n asiakkaisiin kuuluvat rakennusurakoitsijat, rakennusten omistajat, kiinteistönhallintayhtiöt ja kiinteistöjen kehittämiseen keskittyvät toimijat. KONE Oyj:n markkinoiden pääsegmentit ovat asuintalot, hotellit, toimisto- ja liikekiinteistöt, infrastruktuurit ja sairaalat. Muita segmenttejä ovat myös vapaa-ajan keskuskeskukset, koulutuskeskukset, teollisuuskiinteistöt ja laivat. KONE:lla on yli 1000 toimipaikkaa, kahdeksan tuotantolaitosta ja seitsemän tutkimus- ja tuotekehityskeskusta globaalisti. KONE:n B-sarjan osake noteerataan NASDAQ OMX Helsinki Oy:ssä ja KONE:n liikevaihto vuonna 2012 oli 6,3 miljardia euroa ja henkilöstömäärä noin 40 000. (KONE, 2014.)

Hyvinkäällä KONE:lla on tuotantoyksikkö, joka vastaa pääosin erikoishissien valmistuksesta. Hyvinkäällä on tuotekehitysyksikkö, jossa toteutetaan suurimpia projekteja. KONE Hyvinkäällä toteutetaan myös erikoissuunnittelua. Tämä diplomityö suoritetaan KONE Hyvinkään DECO-osastolle, joka vastaa hissien dekoraation erikoissuunnittelusta. DECO-osasto jaetaan kolmeen osaan: kori-, ovi- ja signalisaatiosuunnitteluun. Kulmakorit ovat suunniteltu asiakaskohtaisena suunnitteluna DECO-osastossa tähän asti. (KONE, 2014.)

## 2 KÄYTETYT MENETELMÄT

Tässä diplomityön osiossa tutkitaan massakustomointia, tuotekehityksen yleistä teoriaa, ja ongelmia ja menetelmiä, mitä voidaan käyttää diplomityön ongelmien ratkaisussa. Tämän diplomityön tuotekehitystyö pohjautuu mekaaniseen tuotesuunnitteluun ja massakustomoitavuuteen, joilla saavutetaan tuotearkkitehtuuri markkinoiden vaatimuksille. Tuotekehityksen fundamentaalisen rakenteen määrittää KONE Oyj. Siihen kuuluu muun muassa: suunnittelu- ja mallinnusfilosofia, ja valmistuskriteerit. Tätä rakennetta seurataan hisseihin liittyviin standardien ja regulaatioiden avulla, mitkä KONE Oyj tarjoaa diplomityön tekemiseen. EN 81-1:ssä esitetään hisseihin liittyvät standardit. Tuotekehityslähestymistavan valinta perustuu pääosin KONE Oyj:n aikaisempiin tuotekehitysprosesseihin. Menetelmien vertailu ja parhaimman menetelmän valinta on kuitenkin rationaalista jokaisessa kehitysprojektin vaiheessa.

Perinteiseen tuotekehitysprojektiin voi kuulua: markkinoiden tutkiminen ja analysoiminen, konseptointi ja ideointi, tuotteen yksityiskohtainen suunnittelu, prototyypin valmistaminen ja testaus, ja markkinatutkimus. Tuotesuunnittelun vaiheet voidaan vielä jakaa useampaan osaan. Tässä tuotekehitysprojektissa alustavana tietona tiedetään kulmakorien menekki, kysyntä ja markkinat.

Hyvässä tuotekehitysprojektissa suoritetaan tarkka ja analysoitu konseptointi. Pitkälle viedystä konseptoinnista on helppoa jatkaa yksityiskohtaiseen suunnitteluun. Yksityiskohtainen suunnittelu voi olla esimerkiksi komponenttien 3D-mallintamista ja kokoonpanoa. Tällä hetkellä jokainen kulmakori suunnitellaan erillisenä suunnittelutyönä. Korit suunnitellaan ja visioidaan 2D:nä eli kaksiulotteisena. 2D-suunnittelupiirustukset ovat hyvin standardoituja ja ne perustuvat enimmäkseen insinöörikieleen. Ei-insinöörihenkilöillä saattaa olla vaikea hahmottaa 2D-piirustuksia ja olla vaikeuksia teknisen piirustuksen lukemisessa. 3D-visualisointi saattaa helpottaa myyntihenkilöstön ja asiakkaan hahmottamista jo tarjousvaiheessa, ja 3D-suunnittelu vähentää suunnitteluvirheitä. Parametrisoitu mallinnus myös vähentää tapauskohtaisia huomiovirheitä.

Aikaisemmat kulmakoriprojektit ovat olleet asiakasorientoitunutta suunnittelua. Niissä suunnittelu on keskittynyt tapauskohtaisesti asiakkaan tarpeisiin eli hissikuilun asettamiin vaatimuksiin ja käyttötarkoitukseen. Tässä diplomityössä yhdistetään asiakasorientoitunutta suunnittelua tuoteorientoituneeseen suunnitteluun tuotteen laajalla muokattavuudella. Laaja muokattavuus mahdollistetaan menetelmillä, jotka sisältävät muun muassa ohjelmointia ja monimutkaista mallinnusta. Lisäksi on koko suunnitteluprosessin ajan muistettava, että tuotteen täytyy toimia moitteettomasti KONE Oyj:n PLM-järjestelmän kanssa. Nämä kaksi seikkaa tekevät suunnittelusta myös prosessorientoituneen.

Tuotesuunnittelu perustuu mekaaniseen suunnitteluun. Kulmakori on dynaaminen rakenne, mutta sitä tullaan tarkastelemaan pääasiassa kinemaattisesti. Kulmakoria liikuttavilla voimilla ei ole suurta merkitystä tuotesuunnitteluun, mutta ne on huomioitava lujuuslaskuissa. Kulmakorin mekaanisessa suunnittelussa painotetaan turvallisuutta, luotettavuutta, käytettävyyttä, valmistettavuutta, funktionaalisuutta, huollettavuutta ja kilpailukykyä. Suunnittelu tulee seuraamaan DFC- (Design For Customer), DFP- (Design For Processes), DFM- (Design For Manufacturing) ja DFA (Design For Assembly)-periaatteita eli suunnittelua asiakkaan, prosessien, valmistettavuuden ja kokoonpanon näkökannalta.

Suunnittelu- ja tuotteistamisprosessi pohjautuu ajatukseen, että tuotteesta tulee vastaamaan myöhemmin eri henkilö kuin diplomityön tekijä. Tuotteen käytön ja jatkokehityksen on oltava tehokasta ja helppoa, ja diplomityön tekijästä riippumatonta koko tuotearkkitehtuurin elinkaaren aikana. Tämän diplomityön tuotteistamisprosessin pääohjelmistot ovat: Pro/ENGINEER, VariPDM ja WindChill. Seuraavaksi diplomityössä esitellään kirjallisuuskatsaus diplomityöhön liittyvistä aiheista ja ongelmista.

## 2.1 Kirjallisuuskatsaus

Tämän diplomityön teorian ja aikaisempien tutkimuksien etsimisessä ja analysoinnissa käytetään systemaattista kirjallisuuskatsausta. Systemaattinen kirjallisuuskatsaus on prosessi, jonka avulla määritetään työhön sopiva kirjallisuus. Sillä analysoidaan kirjallisuuden relevanttisuutta diplomityön aiheeseen. Aiheen relevanttisuuden lisäksi

valintakriteerinä on esimerkiksi kirjallisuuden ajantasaisuus. Tässä työssä systemaattinen kirjallisuuskatsauksen valintaprosessi toteutetaan viidellä askeleella:

- 1) Haku suoritetaan aihepiireittäin usealla hakuohjelmalla.
- 2) Päällekkäisyydet poistetaan.
- 3) Otsikon ja hakukoneiston esittämän relevanttisuuden avulla poistetaan.
- 4) Tiivistelmän lukemisen perusteella poistetaan.
- 5) Koko artikkelin lukemisen perusteella poistetaan.

Kirjallisuuskatsauksessa käytetään diplomityöhön liittyviä aihepiirejä. Aihepiirit painottuvat massakustomoitavuuteen, tuotekehitykseen ja 3D-mallinnukseen. Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen käyttämisen perusteella todetaan, että toisessa vaiheessa kirjallisuus suppenee noin 15 %, kolmannessa vaiheessa 90 %, neljännessä vaiheessa 55 % ja viidennessä vaiheessa 65 %. Seuraamalla systemaattista kirjallisuuskatsausta löydetään relevanttisimmat artikkelit, jotka vastaavat yleensä vain noin 1 % koko hakutuloksesta. Tämän diplomityön kirjallisuuskatsaus tarkastelee tutkimuksia massakustomoitavuudesta, laadun hallinnasta, tuotesuunnittelusta, tuotetiedon hallinnasta, CAD- (Computer Aided Design) eli tietokoneavusteisesta suunnittelusta ja parametrisesta mallintamisesta.

### 2.1.1 Massakustomoitavuus

Massakustomoitavuudessa yhdistetään massatuotanto ja käsityö. Sillä pyritään tarjoamaan asiakkaille räätälöityjä ja yksilöllisiä tuotteita lähes massatuotannon tehokkuudella. Massakustomoinnin implementoinnin tarve riippuu pääosin tuotteesta ja yritysstrategiasta. (Blecker & Abdelkafi, 2006, s. 1.)

Tärkeimmät ajurit massakustomoinnille ovat: kysyntä kustomoiduille tuotteille, markkinoiden turbulenssi, toimitusketjun valmius ja organisaation tietopohjaisuus. Tärkein tekijä massakustomoinnin tarpeelle on kysyntä. Massakustomointia tarvitaan vain, jos asiakkaiden tarpeet ovat yksilöllisiä. VOC (Voice of Customer) eli asiakkaan äänen kuunteleminen ja asiakastyytyväisyyskysely ovat esimerkkitaapoja tuotteen massakustomoitavuuden kysynnän kartoittamisessa. (Blecker & Abdelkafi, 2006, s. 4-6.)

Markkinoiden turbulenssille tarkoitetaan rauhattomuutta, joka saattaa aiheuttaa muutoksia kilpailussa ja asiakkaiden tyytymättömyyttä nykyisiin tuotevariaatioihin. Myös kilpailijan uusi tuote laajemmalla tarjonnalla voi luoda markkinoille rauhattomuutta ja uudet asiakkaiden vaatimukset. Jotta yritys pystyy pitämään kilpailukykyensä, saattaa se tarvita massakustomoitavan tuotearkkitehtuurin, jolla saavutetaan asiakkaiden uudet vaatimukset ja odotukset. (Blecker & Abdelkafi, 2006, s. 5.)

Toimitusketjun valmius massakustomoinnille on ehdoton vaatimus. Etenkin, kun yritykset ovat vähentämässä vertikaalista integraatiota tuotteiden toimituksessa. Kun toimitukset tai osa toimituksista tulee ulkopuolelta, voidaan keskittyä yrityksen pääosaamisalueisiin paremmin. Ennen massakustomoinnin implementointia on varmistettava, että toimittajat pystyvät valmistamaan tuotteet mahdollisimman hyvin ilman tuotannon katkoksia. Toimittajan kanssa on luotava yhteisymmärrys massakustomoinnin tuomista prosessimuutoksista ja tuotannon toimenpiteistä häiriöiden ilmentyessä. (Blecker & Abdelkafi, 2006, s. 5-6.)

Tieto- eli informaatiopohjaisessa yrityksessä informaationkulku läpi toimitusprosessin on nopeata. Nopeata informaationkulkua vaaditaan, jotta asiakkaan haluama tuotevariantti voidaan toteuttaa tehokkaasti ja laadukkaasti. Joustavan organisaatorakenteen hallinta onnistuu tehokkaalla kommunikoinnilla ja tiedonjaolla. (Blecker & Abdelkafi, 2006, s. 6.)

Blecker & Abdelkafi esittävät massakustomoinnille kuusi alaprosessia: tuotekehitys, vuorovaikuttaminen, hankinta, tuotanto, logistiikka ja informaatioprosessi. Tuote voi saavuttaa menestyksen massakustomoitavuudessa vain, jos tuote suunnitellaan asiakasräätälöitäväksi. Tuotekehityksen tarkoitus massakustomoitavuudessa on luoda tuotearkkitehtuuri, joka ottaa huomioon asiakkaiden yksilölliset tarpeet ja vaatimukset, ja pystyy toteuttamaan niistä tuotevariaation. Yksi tapa luoda tuotearkkitehtuuri on kasata se konfiguroitavista moduuleista. Moduloinnilla saavutetaan tuotearkkitehtuurin laajuus sekä samalla yksinkertaisuus ja varianttien korvautuvuus. Moduulit on kuitenkin helposti kopioitavissa kilpailijoiden toimesta. Moduloinnin lisäksi on esimerkiksi kommonaalinen kustomointitapa eli yhtenäinen massakustomointitapa. Kommonaalisisessa tavassa samaa komponenttia käytetään useasti tuotevariantin ja tuoteperheiden sisällä. Lisäksi on

platformitapa eli koroketapa. Platformitavassa yhden platformin eli korokkeen ympärille luodaan tuotteen komponentit ja osat. (Blecker & Abdelkafi, 2006, s. 7-13.)

Vuorovaikutusprosessin tarkoitus on määrittää markkinat, joille tuotearkkitehtuuri sopii. Massatuotannossa asiakkailla on passiivinen rooli, mutta massakustomoinnissa on aktiivisesti kuunneltava asiakkaiden toiveita ja tarpeita. Vuorovaikutusprosessi asiakkaan ja yrityksen välillä voidaan toteuttaa esimerkiksi internetissä, jossa asiakas voi konfiguroida itselleen haluamansa tuotevariantin. (Blecker & Abdelkafi, 2006, s. 8-9.)

Massakustomoitavan tuotteen hankintaprosessin haasteellisuus on tuotteiden monimutkaisuudessa. Yrityksen hankintaryhmä vastaa yleensä komponenttien ja materiaalien toimittajien valinnasta ja tuotannon ulkoistamisesta alihankkijoille. Tuotannosta vastaa yhä enemmän alihankkijat. Alihankkijoiden kautta on mahdollista saada tarvittavat kilpailuedut ja kustannusvähennykset. Hankintaryhmän arvo on prosessissa korkealla, koska tuotteen tuotot riippuvat katteista. Modulointi edesauttaa mahdollisuuksia tilata osa tuotteesta alihankkijalta. On helppoa tilata yksi kokonainen tuotteen osakokoonpano valmiina yrityksen ulkopuolelta. Modulointi myös yksinkertaistaa hankintaprosessia. (Blecker & Abdelkafi, 2006, s. 9-10.)

Massakustomoinnin implementoinnin onnistuminen vaatii tuotteen rajoissa joustavan ja ketterän tuotantomahdollisuuden. Tuotantotiloista on esimerkiksi ergonomian rajoissa löydyttävä järjestelmällisesti työkalut ja bulkkikomponentit tuotannon eri vaiheisiin. Massakustomoitava tuotearkkitehtuuri voi sisältää esimerkiksi useita eri materiaaleja ja eri materiaalien menekki saattaa olla vaikea määrittää. Tämä tuo haasteita tuotannon materiaalivirran hallinnalle. Materiaalien varastoinneille on oltava omat lähestymistavat, koska materiaaleilla voi olla hyvin erilaiset kysynät. Tuotanto määrittää rajat massakustomoinnille. Vain, jos tuotearkkitehtuurin kaikki tuotevariantit voidaan valmistaa, tuotteen tuotteistaminen kannattaa. (Blecker & Abdelkafi, 2006, s. 10-11.)

Logistiikassa on otettava huomioon tuotantoon tarvittavien materiaalien ja komponenttien kuljetus, varastointi ja konsolidointi, ja lopputuotteen paketointi ja kuljetus asiakkaille. Logistiikka kohtaa monia haasteita massakustomoinnissa. Esimerkiksi moduloidun tuotearkkitehtuurin moduulit voidaan valmistaa eri valmistajilla tai eri tehtaissa. Tuotteen

yksi komponentti voi myös olla harvinaislaatuisempi ja sen toimittaminen voi olla hitaampaa. Jos yhden moduulin toimitus keskeytyy tai hidastuu, koko tuotteen toimitus hidastuu. (Blecker & Abdelkafi, 2006, s. 11-12.)

Informaatioalaprosessi pyrkii integroimaan tuotteen kustomoinnin pääaktiviteetit yhteen ja mahdollistamaan sujuvan informaatiovirran pääaktiviteettien välillä. Informaatioprosessilla tutkitaan aktiviteettien vuorovaikutusta ja sopivuutta tuotteen toimituksen kokonaiskuvaan. Toimitusprosessin eri vaiheiden rajapinnat on otettava huomioon. (Blecker & Abdelkafi, 2006, s. 13.)

Blecker & Abdelkafi esittävät massakustomoinnin kahdeksi päähaasteeksi sisäisen ja ulkoisen haasteen. Sisäinen haaste ilmenee yrityksen sisällä tuotearkkitehtuurin monimuotoisuuden aiheuttamana prosessien monimutkaisuutena. Ulkoinen haaste näkyy asiakkaiden epätietoisuutena tuotearkkitehtuurin mahdollisuuksista. Etenkin asiakkaan kustomointivaihe saattaa olla epäsystemaattinen ja asiakasta kohtaan informaatiollisesti puutteellinen. Tämä voi aiheuttaa asiakkaassa hermostuneisuutta tuotetta kohtaan. Tämän takia myynti- ja markkinointityökalujen on oltava selkeitä, lineaarisia ja asiakasystävällisiä. Esimerkiksi asiakkaille kohdistetut tuotekonfiguraattorit on oltava selkeästi ohjeistetut. (Blecker & Abdelkafi, 2006, s. 14-16.)

Tuotearkkitehtuuri saattaa vaikuttaa monimutkaiselta ihmisille, koska ihmisellä on rajallinen tiedon prosessointikapasiteetti ja ihminen ei aina tiedä täydellisesti tarpeitaan. Tämä johtaa usein tuotevarianttiin, joka ei ole individuaalille se optimaalisin. Vaikka vika ei ole yrityksen, vääränlainen tuote aiheuttaa asiakastyytymättömyyttä. Etenkin kalliimmissa ja monimutkaisemmissa tuotteissa on oltava asiakkaan kanssa vuorovaikutuksessa toimitusprosessissa useasti ja todennettava asiakkaan tyytyväisyys tuotteeseen ennen sen toimitusta. Muutokset tuotteeseen ennen toimitusta harvemmin aiheuttavat tyytymättömyyttä asiakkaissa. (Blecker & Abdelkafi, 2006, s. 15.)

Tuotevarianttien runsaus vaikuttaa negatiivisesti yrityksen operaatioihin lisäämällä kuluja ja hidastamalla toimitusketjun nopeutta. Yrityksellä on oltava työkalut ja valmiudet ottamaan vastaan tilauksia kaikista mahdollisista tuotevarianteista. Wildemann (1995) esittää tutkimuksessaan, että tuplaamalla tuotevarianttien määrä joustavassa

tuotantoyksikössä, yhden tuotteen kulut kasvavat 10 prosenttia. Suorat haasteet liittyvät osien ja prosessien laajuuteen, inventaarion tilavuuteen, materiaalien käsittelyyn ja tuotannon ajoittamiseen. Epäsuorat haasteet liittyvät laatuun, kustannuksiin ja luotettavuuteen. Toimitusketjun haasteiden lisäksi on otettava huomioon jakeluverkoston haasteet. (Blecker & Abdelkafi, 2006, s. 16.)

Tämän diplomityön tärkein massakustomointiprosessin osuus on tuotteen suunnittelu, koska tuote tulee pääosin osaksi valmista toimitusketjua. Sen takia kirjallisuuskatsauksessa painotetaan tuotesuunnittelua ja mallinnusta. Valmista toimitusprosessia tuote ei kuitenkaan tule sisältämään. Laatu on työn tärkeimpiä kriteerejä ja syitä diplomityölle, sillä suurin osa tähän astisista tapauskohtaisesti suunnitelluista kulmakoreista on sisältänyt virheitä. Kulmakorin tuotteistamisella pyritään poistamaan suunnittelussa muodostuvat virheet.

### 2.1.2 Laadun hallinta

Nykyajan ylikilpailuhenkisillä ja informaatiovallankumouksellisilla kansainvälisillä markkinoilla jatkuvan menestymisen ylläpitäminen ei ole itsestään selvyys. "Jatkuva parantaminen" on jokaisella menestystä haluavalla yrityksellä huomiossa tai ainakin pitäisi olla pärjätäkseen markkinoiden turbulenssissa. Yrityksen toimitusvarmuus on hyvin tärkeä peruste asiakkaan ja markkinoiden luottamuksen saavuttamiseen. Selvät, linearisoidut ja laadukkaat prosessit mahdollistavat toimitusvarmuuden saavuttamisen. Prosesseilla tarkoitetaan loogisesti yhteenkuuluvia erillisiä elementtejä, joiden avulla saavutetaan tavoitettu lopputulos. Toiminnallisen laadun kannalta organisaation prosessien määrittäminen on suositeltavaa. (Aartsengel & Kurtoglu 2013, s. 1.)

Laatutoimintaperiaatteita ovat esimerkiksi niin kutsuttu "Lean" ja "Six sigma". Näiden toimintaperiaatteiden tarkoituksena saavuttaa tuotanto, jossa haluttu lopputuote valmistetaan oikein ensimmäisellä kerralla käyttäen mahdollisimman vähän resursseja, tuotteen valmistavuus on mahdollisimman nopeata ja sen adaptoituvuus muuttuviin asiakas- ja markkinatarpeisiin on mahdollisimman kattavaa. (Aartsengel & Kurtoglu 2013, s. 2.)

Laadun kustannukset (Cost of Quality) eli CoQ voidaan jakaa: ennaltaehkäiseviin, arvioiviin ja virheiden aiheuttamiin kustannuksiin. Ennaltaehkäisevillä kustannuksilla pyritään vähentämään arviointien ja virheiden kustannuksia. Ennaltaehkäisevät kustannukset vaativat sijoittamista "jatkuvaan parantamiseen". Tällä tavoin kaikkia kustannuksia voidaan vähentää. Arviointikustannukset koostuvat virheiden mahdollisuuksien arvioinneista. Yllä mainitut laatutoimintaperiaatteet merkitsevät massakustomoitavassa tuotteessa sitä, että tuotearkkitehtuuri ei aiheuta valmistusvirheitä, tuote on aina valmistettavissa lyhyellä aikavälillä, tuotearkkitehtuuri kattaa huomattavan määrän asiakkaiden vaatimuksia ja arkkitehtuurin päivittäminen jälkeenpäin käy helposti. Tällaisessa tapauksessa laadun kustannukset ovat minimissä. Jotta tämänkaltaiseen toiminnallisuuteen päästäisiin, on prosessien ja työkalujen oltava toimivat. (Aartsengel & Kurtoglu 2013, s. 13-15.)

Massakustomoitavan tuotteen suunnitteluprosessissa asiakasvaatimusten realisoiminen tuotespesifikaatioiksi on mahdollista QFD-menetelmän (Quality Function Deployment) eli toiminnallisen laadun käyttöönotto –tekniikan avulla. QFD-tekniikkaa käytetään yleisesti esimerkiksi suunnitteluprosessin konseptivaiheessa, jotta tuote saavuttaa toiminnallisuuden, joka ottaa huomioon optimaalisesti vaatimukset ja markkinoiden tarpeet. QFD-tekniikka voidaan jakaa kahdeksaan vaiheeseen:

1. Asiakkaiden tunnistaminen.
2. Asiakkaiden vaatimusten määrittäminen.
3. Vaatimusten suhteellinen tärkeys.
4. Kilpailijoiden tunnistaminen.
5. Suunnitteluspesifikaatioiden määrittäminen asiakkaiden vaatimusten perusteella.
6. Asiakasvaatimusten implementointi tuotesuunnitteluun.
7. Suunnitteluspesifikaatioiden tavoitteet ja tärkeys.
8. Suunnitteluspesifikaatioiden relaatioiden tunnistaminen. (David G. Ullman 2010, s.151-166.)

Asiakkaiden tunnistamisessa on otettava huomioon ulkoiset ja sisäiset asiakkaat. Tuotearkkitehtuurin suunnittelussa sisäisiä asiakkaita ovat muun muassa valmistus ja myynti. Tuotearkkitehtuurin on otettava huomioon tuotteen toiminnallisuus ennen loppuasiakkaalle päätymistä. Loppuasiakkaat ovat niin kutsuttuja ulkoisia asiakkaita.

Ulkoiset asiakkaat käyttävät tuotetta. Molempien asiakkaiden huomioiminen on tärkeää. Ulkoiset asiakkaat vaativat tuotteelta optimaalista laatua, kun taas sisäiset vaativat tuotteen laadukasta prosessointia. Prosessointi sisältää kaikki vaiheet tuotteen spesifikoinnista asiakkaalle luovuttamiseen. Esimerkiksi valmistushenkilöstö vaatii laadukkaita dokumentteja valmistusta varten. (David G. Ullman 2010, s.151-156.)

Kaikkia vaatimuksia ei ole mahdollista tai kannattavaa ottaa suunnittelussa huomioon. Tämän takia vaatimuksille asetetaan suhteellinen tärkeys. Suhteellisten tärkeyksien avulla tavoitellaan tietoa siitä, että kuinka paljon kannattaa sijoittaa mihinkäkin vaatimukseen. Kilpailijoiden tuotteiden tunnistaminen on kannattavaa, sillä pyritään suunnittelemaan tuote joka on laadultaan parempi kuin kilpailijoiden ja silti kustannustehokas. Kilpailijoiden tuoteprosesseja on vaikea määrittää, mutta tuotteen analysointi on yleensä mahdollista. (David G. Ullman 2010, s.151-159.)

Viidennessä vaiheessa suunnitteluspesifikaatiot määritetään asiakkaan vaatimusten mukaan. VOC muutetaan VOE:ksi (Voice Of Engineer) eli suunnittelijan ääneksi. Tässä vaiheessa määritetään tuotteen tärkeimmät parametrit. Seuraavassa vaiheessa tutkitaan kuinka asiakasvaatimukset implementoidaan tuotesuunnitteluun. Suunnitteluspesifikaatioiden tärkeydellä tarkoitetaan, että esimerkiksi osa parametreista on ajavia eli pääparametreja ja osa ajautuvia. Relaatioden tunnistamisessa spesifikaatioille eli parametreille määritetään mahdolliset yhteydet, joiden avulla tuotearkkitehtuurin toiminnallisuus yksinkertaistuu ja automatisoituu. (David G. Ullman 2010, s.151-166.)

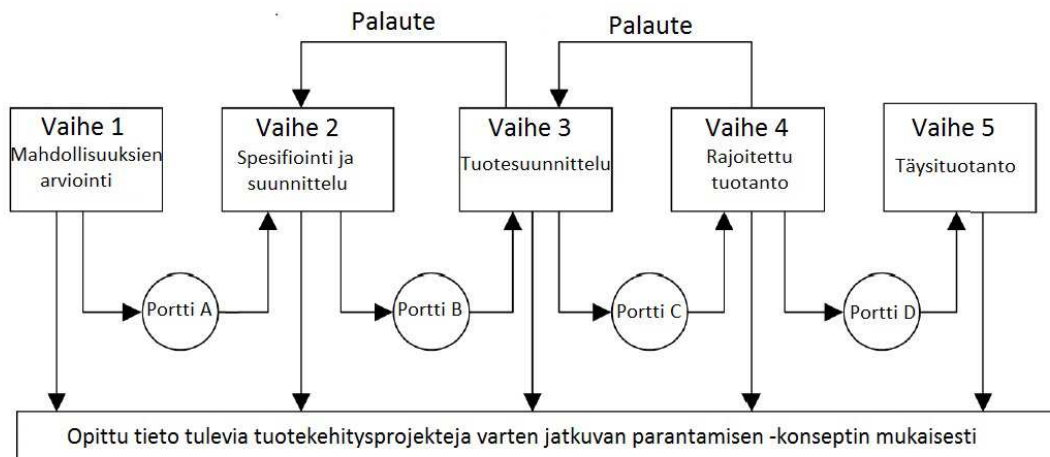
FMEA-tekniikka eli virhetila ja –vaikutus analyysiä (Failure modes and effects analysis) voidaan käyttää suunnitteluprosessin aikaisen laadun varmistamiseen ja virheanalyysi-seurantaan. FMEA-tekniikalla tunnistetaan potentiaaliset virheen ilmentymismuodot tuotteessa, häiriöiden vaikutukset, varmistetaan tuotteen laatu ja määrittää näitten kriittisyyden tuotteen toiminnallisesta näkökulmasta. Suunnittelussa FMEA tarjoaa perustietoa luotettavuuden ennustamisessa. (Teoh & Case 2004, s.253.)

### 2.1.3 Tuotekehitys ja -suunnittelu

Tuotekehitys ja –suunnittelu vastaavat tarkoitukseltaan lähes toisiaan. Kuitenkin tuotekehitys ja –suunnittelu voidaan erottaa toisistaan prosessin kannalta.

Tuotekehitysprosessi on yleensä laajempi, jossa suunnittelun lisäksi on ennen suunnittelua ja jälkeen suunnittelun prosessivaiheita. Täten tuotesuunnitteluprosessi voi olla tuotekehityksen yksi vaihe, joka on yleensä tuotekehitysprosessin keskellä.

Laadun kannalta tuotekehityksen valindointivaihe on oleellinen. Yleensä tuotekehitysprojekti on lineaarinen ja validointivaihe on prototyyppi- eli testausvaiheen jälkeen. Kean C. Aw (2004) esittää NPD- (New Product Development) eli uuden tuotteen suunnittelu –prosessin tavalla, joka ottaa laadun optimoimisen ja jatkuvan parantamisen huomioon integroimalla suunnittelu-, valmistus- ja laatu ja luotettavuus –aktiviteetit yhteen. Tämän kaltaisen suunnitteluprosessin käyttö on tehokasta esimerkiksi massakustomoitavan tuotteen, joka menee suoraan valmistukseen, kanssa. Kuvassa 2 on esitetty prosessin toimintaperiaate. (Kean C. Aw 2004, s. 520.)



**Kuva 2.** Prosessikaavio tuotekehitykseen (Kean C. Aw 2004, s. 520).

Kuvasta 2 näkyy, että jokaisessa vaiheessa kerätään opittua tietoa tulevia tuotekehitysprojekteja ja jatkuvaa parantamista varten. NPD-prosessi on jaettu viiteen vaiheeseen ja jokaisen vaiheen jälkeen kuljetaan porttien läpi, missä suoritetaan vaiheen validointi. Ensimmäisessä vaiheessa määritetään aloitetaanko uuden tuotteen kehitys. Toisessa vaiheessa aloitetaan tuotteen spesifikaatioiden määrittely, tehdään projektisuunnitelma ja määritetään projektibudjetti. Kolmannessa vaiheessa suoritetaan tuotteen suunnittelu. Neljännessä vaiheessa suoritetaan rajoitettu tuotanto ja viidennessä täysi tuotanto. Prosessikaaviossa ei ole erikseen esitetty validointivaihetta, vaan validointi

suoritetaan kolmannen ja neljännen vaiheen aikana. Todellisuudessa monimutkaisen tuotearkkitehtuurin käyttöönotossa vielä viidennessä vaiheessa suoritetaan tuotteen validointia. (Kean C. Aw 2004, s. 520-521.)

Mekaniikkasuunnittelu on tuotesuunnitteluna ratkaisujen löytämistä teknisiin ongelmiin. Mekaniikkasuunnittelun tutkimuksista saadaan työkaluja suunnittelutiedon rationaaliseen analysointiin. Mekaniikkasuunnittelu onkin kehittynyt viime aikoina huomattavasti parametrisoidun suunnittelun yleistyessä, ja suunnitteluohjelmistojen ja ihmisen ajattelumaailman rajapinnan ohentuessa. Eri tuotteen elinkaareen liittyvien ohjelmistojen synkronoinnilla ja integroinnilla on saavutettu tuotteen rationaalinen kehityskulku, mikä vastaa jo läheisesti insinöörin abstraktia tuotekehitystyötä. Chandrasegaran et al. (2011) esittävätkin, että insinööriajattelun eli -järkeilyn runko saadaan teknisen suunnittelun teleologisista tutkimuksista. (Chandrasegaran et al. 2011, s. 219.)

Hsu ja Woon (1995) määrittävät mekaanisten tuotteiden suunnitteluprosessin iteratiiviseksi ja monimutkaiseksi päätösten teko –prosessiksi. Se yleensä alkaa tarpeen tunnistamisella, etenee optimaalisen ratkaisun etsimisellä ongelmaan ja päättyy yksityiskohtaisella tuotteen suunnittelulla. Hsu ja Woon (1995) mukaan tuotesuunnittelu voidaan jakaa kolmeen osaan: tuotteen abstraktiseen määrittämiseen, idea- eli konseptisuunnitteluun ja yksityiskohtaiseen suunnitteluun. Abstraktisessa vaiheessa kerätään tuotteeseen liittyvää informaatiota ja informaatiota analysoidaan kriittisesti. Tässä vaiheessa tuotetta ei kuitenkaan käsitellä yksityiskohtaisemmin. Abstraktisessa vaiheessa määritetään muun muassa tuotteen toiminta, laatu, luotettavuus, turvallisuus ja elinkaari. Toisessa vaiheessa tutkitaan ja analysoidaan toteutusta niin, että abstraktisen suunnittelun arvot muutetaan tuotevisualisoinniksi. Viimeisessä vaiheessa voidaan tehdä vielä viimeiset yksityiskohtaisemmat päätökset dimensioihin, järjestelyihin ja muotoihin ja toteutetaan niiden mukaan yksityiskohtainen suunnittelu. Huonosti toteutettu konseptisuunnittelu harvoin johtaa hyvään yksityiskohtaiseen suunnitteluun. Tuotekehityksen tarkka ja järjestelmällinen suunnittelu on tärkeää, koska jopa 75 % tuotteen kustannuksista tulee suunnitteluvaiheesta. (Hsu & Woon 1995, s. 377.)

Scheidl ja Winkler (2010) tutkivat tuotekehitystä ja esittävät hyväksi tuotteen konseptiksi kaksi määritelmää:

- 1) Nopea ja halpa jatkokehitys tuotteelle, joka vastaa funktionaalisia vaatimuksia ja täyttää rajaehdot. Tämä saavutetaan, jos suunnittelusykli pystytään pitämään vähäisinä ja yksityiskohtainen suunnittelu ei ratkaisevasti tarjoa vähempää kuin mitä konseptimallit lupaavat.
- 2) Halpa ja luotettava tuotanto, ja osoittaa potentiaalia helpolle ja luotettavalle tuotemuokkauksille tulevaisuudessa. Muokkaukset voivat olla pakollisia uutta parempaa teknologiaa implementoitaessa tai markkinoiden vaatiessa uusia ominaisuuksia. (Scheidl ja Winkler 2010, s. 843.)

Chen et al. (2011) jakavat kuvan 3 mukaisesti tuotesuunnittelun viiteen vaiheeseen. Chen et al. (2011) myös painottavat, että suunnitteluvaiheet eivät aina etene järjestelmällisesti näiden viiden vaiheen mukaan. Tuotesuunnittelu on usein iteratiivista, rekursiivista ja epäjärjestelmällisen syklistä. Tämän takia näillä viidellä vaiheella ei ole tarkkaa järjestystä. (Chen et al. 2011, s. 1035.)



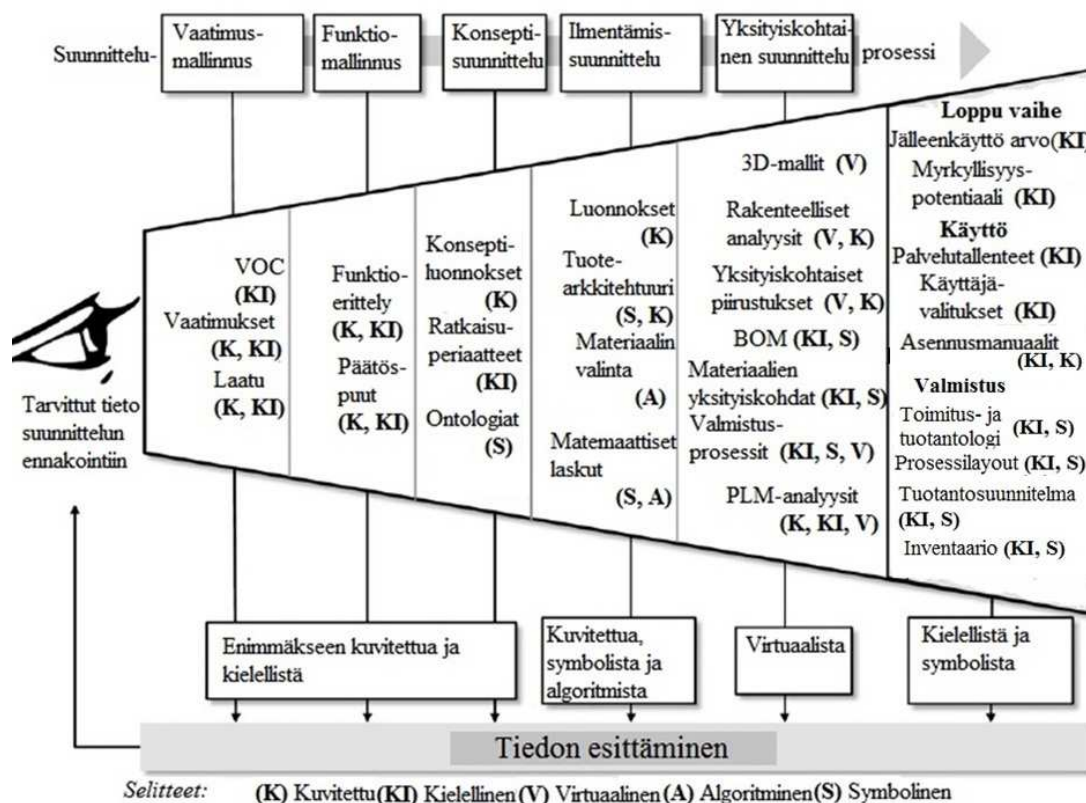
**Kuva 3.** Tuotesuunnittelun vaiheet (Chen et al. 2011, s. 1035).

Chandrasegaran et al. (2011) tutkivat tietopohjaista suunnittelua eli KBE:ta (Knowledge Based Engineering). KBE:n avulla voidaan esimerkiksi automatisoida tuotearkkitehtuureita lisäämällä älyä tuotemallin konfiguroitiin. Tietoa tuotesuunnittelussa voidaan lisätä informaation analysoinnilla. Informaatiota organisaatiossa saadaan havainnoista, laskennallisista tuloksista ja faktuaalisista suureista. Tämän informaation opiskelulla ja analysoinnilla saadaan tärkeitä tietoa tuotesuunnitteluun. Taulukossa 1 on esitelty tuotesuunnittelun muuttujien jaottelua KBE:n kannalta. (Chandrasegaran et al. 2011, s. 219.)

*Taulukko 1. Tuotesuunnittelun jaottelua KBE:n kannalta.*

Kuvitettu	Symbolinen	Kielellinen	Virtuaalinen	Algoritminen
Luonnokset	Päätöstaulut	Asiakasvaatimukset	CAD-mallit	Matemaattiset yhtälöt
Yksityiskohtaiset piirustukset	Tuotesäännökset	Suunnittelu-säännökset	CAE-simuloinnit	Parametrisointi
Taulukot	Vuokaaviot	Analogit	VR-simuloinnit	Rajoiteratkaisijat
Valokuvat	FMEA-diagrammit	Asiakaspalautteet	Virtuaaliset prototyypit	Tietokone algoritmit
CAD-mallikuvat	Kokoonpanopuut	Verbaalinen kommunikointi	Animaatiot	Suunnittelu-ohjaajat
	Kalanruoto-kaaviot		Multimediat	
	Ontologiat			

Tiedon analysointi, hankinta ja esittäminen ovat tuotesuunnittelun pääperustaa. Kuvassa 4 KBE:ta on jaoteltu tuotesuunnittelun vaiheiden mukaan. Tuotesuunnittelun vaiheet eroavat hieman Chen et al. (2011) tuotesuunnittelun vaiheista, mutta pääidea on samanlainen. (Chandrasegaran et al. 2011, s. 219.)

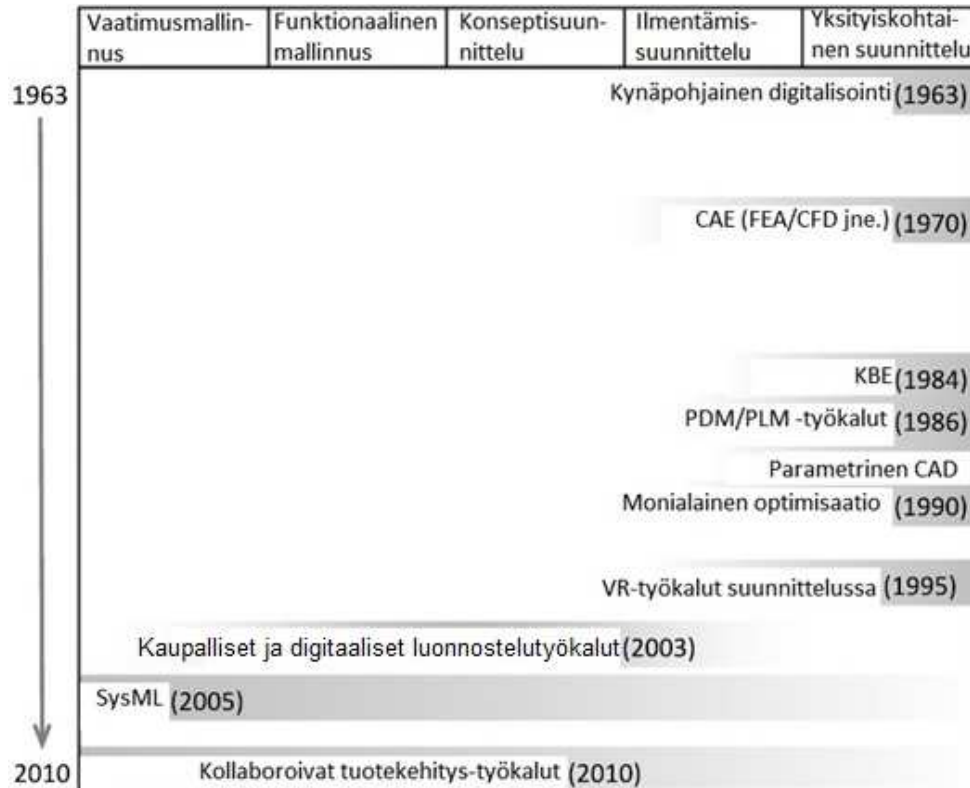


**Kuva 4.** Tiedon esittäminen tuotesuunnittelussa (Chandrasegaran S. K. et al. 2011, s. 214).

Aleixos et al. (2001) esittävät tuotetiedon laadun kolmen rakenteellisuuden avulla: morfologisen, syntaktisen ja semanttisen/pragmaattisen. Morfologia tarkoittaa muoto-oppia ja tuotesuunnittelussa morfologinen laatu viittaa CAD-mallin geometriseen ja topologiseen korrektisuuteen. Syntaktinen laatu viittaa asianmukaisten mallinnusregulaatioiden käyttöön. Semanttisella ja pragmaattisella laadulla viitataan CAD-mallien uudelleenkäyttö- ja modifiointikykyyn. Pääasiassa semanttinen/pragmaattinen laatu on läheisesti sidoksissa suunnitteluaikeisiin ja konseptisuunnitteluun. Organisaatioissa nämä laadut pyritään ottamaan huomioon esimerkiksi standardein. (Aleixos et al. 2001, s. 97-98.)

Tuotesuunnittelun kehittyessä myös suunnitteluohjelmistojen kehitys oli nopeata. Suunnittelutyökalujen rooli tuli tärkeämmäksi, koska huomattiin, että suunnittelu, informaation ja tiedon käsittely suunnitteluohjelmissa oli huomattavasti tehokkaampaa. Ennen tietokone-aikakautta mekaaninen tuotesuunnittelu suoritettiin pääosin paperille ja piirustuksia säilytettiin esimerkiksi kansioissa, ja kuljetettiin postissa eteenpäin. Tietokone- eli IT- eli informaatio-teknologia –aikakauden alkaessa myös tuotesuunnittelua aloitettiin

suorittamaan tietokoneilla. Kuvassa 5 on esitetty tietokoneavusteisen tuotesuunnittelun kehityskulkua.



**Kuva 5.** Tietokoneavusteisen tuotesuunnittelun kehitys (Chandrasegaran S. K. et al. 2011, s.214).

1970-luvun alussa CAD-suunnittelu yleistyi ja pikkuhiljaa lähes kaikki tuotesuunnittelu suoritettiin tietokoneavusteisesti. Tiedon hankinta, esittäminen ja jakaminen kasvoivat räjähdysmäisesti. 2D-piirustukset väistyivät CAD-työkalujen kehittyessä edelleen 3D-malleiksi. Organisaatioiden oli säilytettävä kaikki organisaation sisään tuleva tieto ja sisältä tuleva tieto. Tietopohjaisen suunnittelun kehittyminen johti lopulta PDM-järjestelmiin ja myöhemmin PLM-järjestelmiin. PDM-järjestelmillä pystyttiin säilyttämään tuotteeseen liittyvää tietoa ja tieto oli helposti jaettavissa organisaation sisällä. PLM-järjestelmillä pyrittiin systematisoimaan tuotteen elinkaari mahdollisimman hyvin. (Chandrasegaran et al. 2011, s. 219.)

#### 2.1.4 Tuotetiedon hallinta

Tuotteen elinkaaren hallinta käsittää kaiken tuotteen synnystä tuotteen lopulliseen hävittämiseen. Jokainen tuotteen elinkaaren vaihe on sidoksissa toisiinsa. Virhe yhdessä elinkaaren vaiheessa yleensä vaikuttaa elinkaaren toisiin vaiheisiin. Tämän takia tehokkaimmassa tuotteistamisessa otetaan huomioon kaikkien vaiheiden kaikki mahdolliset muuttujat. Tuotekehittäjän on mahdotonta tunnistaa jokainen tuotteen elinkaaren muuttuja, mutta hyvä tuotekehittäjä pyrkii ottamaan huomioon mahdollisimman hyvin tuotteen elinkaaren jokaisen vaiheen. Kareinen & Pötry (2010) esittävät tuotteen elinkaaren vaiheiksi seuraavat, mutta painottavat myös, että vaiheita voi myös olla muita (Kareinen & Pötry 2010, s. 9):

- 1) Ideointi.
- 2) Tuotekehitys ja –suunnittelu.
- 3) Tuotteistaminen sekä tuotannollistaminen.
- 4) Markkinointi.
- 5) Myynti.
- 6) Valmistaminen ja hankinnat
- 7) Toimittaminen
- 8) Palvelutoiminta, kunnossapito ja peruskorjaukset.
- 9) Purkaminen.
- 10) Uudelleenvalmistus.
- 11) Kierrätys.
- 12) Tuotteen hävittäminen. (Kareinen & Pötry 2010, s. 9)

Tuotetiedon hallinta toimii osana tuotteen elinkaaren hallintaa. Tuotetiedon hallinnalla ohjataan kaikkea tuotteeseen liittyvää tietoa. Tuotetiedon hallinnan voidaan ajatella sisältävän kaiken tuotteeseen liittyvän konkretian, esimerkiksi suunnittelupiirustukset, 3D-mallit jne. PLM-järjestelmillä ohjataan tuotteen elinkaarta. Organisaation PLM-järjestelmästä löytyy tuotteen elinkaareen liittyvä informaatio, joka on organisaation sisällä saatavilla. PLM-järjestelmä yhdistää organisaation eri osia ja sen avulla saadaan sulava tuotteen eri prosesseihin ja vaiheisiin liittyvä kommunikointi. Muita PLM-järjestelmän funktioita ovat: asiakastarpeiden hallinta, materiaalien hallinta, muutoksien hallinta, tietojärjestelmien hallinta ja tuotteen portfolion hallinta. (Kareinen & Pötry 2010, s. 17-18.)

PDM-järjestelmä on käytännössä vain osa organisaation PLM-järjestelmää. Nykyisin PDM-järjestelmät ovat laajuntuneet eri ohjelmistojen synkronoinnin avulla ja ohjelmien helpolla integroinnilla toisiinsa. Nykyään PDM-ohjelmistot eivät ole enää pelkästään tuotetiedon hallintaa vaan niillä voidaan myös auttaa tuotteiden ohjaamista. Suunnitteluohjelmistot ja PDM-ohjelmistot tukevat toisiaan ja esimerkiksi PDM-ohjelmistoihin voidaan syöttää asiakkaan vaatimukset tuotteesta ja ohjelmasta ajettavalla tiedolla voidaan generoida CAD-ohjelmiston 3D-mallia, joka jälleen tulostaa valmistus- ja kokoonpanopiirustukset. Tuotekehittäjällä on useita työkaluja tuotesuunnitteluun ja hyvä tuotekehittäjä osaakin käyttää näitä työkaluja erillään ja yhdistettynä toisiinsa. (Kareinen & Pötry 2010, s. 11.)

#### 2.1.5 CAD-suunnittelu

CAD-suunnittelun alkuvaiheessa organisaatiot pyrkivät toteuttamaan kaiken tuotteeseen liittyvän toiminnan organisaation sisällä. Tuotteen elinkaaren hallinta pyrittiin pitämään mahdollisimman tiukasti omissa käsissä. Se helpotti koordinoitua, mutta aiheutti vertikaalisia ongelmia, sillä monimutkaisen tuotteen kehittäminen vaati usean eri alan asiantuntijoita. Tästä syystä insinöörien ulkoistaminen lisääntyi.

Tietokoneavusteiseen tuotekehitykseen on monia eri ohjelmistoja, mutta pääsääntöisesti eri valmistajien vastaavat ohjelmistot ovat toiminnoiltaan ja käyttöliittymiltään hyvin samankaltaisia. Chandrasegaran et al. (2011) mainitsevat neljä merkittävintä CAD/CAE/PLM –valmistajaa: Autodesk, Dassault Systemes, PTC ja Siemens PLM. Niillä on (2011) suurimmat markkinaosuudet. Näiden valmistajien ohjelmistot ja kehitys on esitetty taulukossa 2. (Chandrasegaran et al. 2011, s. 220.)

Taulukko 2. Neljän suurimman CAD/CAE/PLM-valmistajan ohjelmistojen kehitys. (Chandrasegaran et al. 2011, s. 220.)

Vuosiluku	Autodesk	Dassault Systemes	PTC	Siemens PLM
	<b>Tuote</b>	<b>Tuote</b>	<b>Tuote</b>	<b>Tuote</b>
	<b>AutoCAD</b>	<b>CATIA</b>	<b>Pro/ENGINEER</b>	<b>Unigraphics</b>
1997		<b>SolidWorks</b>	<b>Pro/Mechanica</b>	
1998		<b>Enovia</b>	<b>Windchill</b>	<b>Solid Edge</b>
1999	<b>Inventor</b>			<b>Knowledge Fusion</b>
2000	<b>Navisworks</b>	<b>Delmia</b>		
2001			<b>Winchill Project link</b>	<b>NX I-DEAS</b>
2002	<b>Vault</b>	<b>Knowledgeware</b>		<b>Teamcenter</b>
2003	<b>AutoCAD Electrical</b>			
2004			<b>InterComm Expert</b>	
2005	<b>Autodesk Intent</b>	<b>Simulia</b>		<b>Tecnomatix</b>
2006			<b>Mathcad</b>	<b>Teamcenter Env. Compliance</b>
2007				
2008	<b>Inventor Simulation</b>	<b>Circuitworks</b>	<b>Insight</b>	
2009	<b>Sketchbook Pro</b>			<b>NX PCB Exchange</b>
2010	<b>Eco Materials Adviser</b>	<b>SustainabilityXpress</b>	<b>Insight Env. Compliance</b>	
2011		<b>CATIA Natural Sketch</b>		
Selitteet:	<b>CAD</b>	<b>CAE</b>	<b>PDM/PLM</b>	<b>Ohjelmointi</b>
	<b>Ekologinen suunnittelu</b>	<b>Luonnostelu</b>		

PTC eli Parametric Technology Corporation esitteli parametrisoitua suunnittelua jo vuonna 1987. PFBM:ää eli piirre-pohjaista parametrissa mallinnus-tekniikkaa ennen mallinnus perustui CSG:en (Constructive Solid Geometry) eli rakentavaan kappaleen geometria –tekniikkaan tai B-REP:iin eli rajaviivan esitys –tekniikkaan. Parametrissa suunnittelua ennen CAD-ohjelmistoilla mallintaminen perustuivat näihin kahteen tekniikkaan. CSG ja B-REP olivat tehottomia tuotesuunnittelumenetelmiä, sillä niiden semanttinen taso oli hyvin alhainen ja suunnitteluaikeet eivät säilyneet. PFBM mullistikin

CAD-alaa suuresti, koska siinä parametrien, dimensioiden, piirteiden ja suhteiden avulla päästiin lähemmäksi tuote- ja suunnitteluautomatisointia ja tuotesuunnittelusta tuli tehokkaampaa. (Reddy & Rao 2013, s. 2001-2002.)

Tohtori Samuel P. Geisberg loi PFBM:n 1980-luvun puolivälissä PTC:llä. Pro/ENGINEER-ohjelmisto oli ensimmäinen PFBM:ään perustuva CAD-ohjelma. Chandrasegaran et al. (2011) mukaan Samuel P. Geisbergin konsepti PFBM:stä olikin viimevuosien tärkein innovaatio CAD-teollisuudessa PLM-järjestelmän kehittämisen lisäksi. Chandrasegaran et al. (2011) eivät ole merkinneet kuvaan 5 parametrille CAD-suunnittelulle vuosilukua, koska he eivät todennäköisesti ole olleet varmoja vuosiluvusta. Parametrille CAD-suunnittelun alkamisajankohdaksi voidaan todeta ensimmäisen PTC:n kaupallisen parametrin mallinnusohjelman esittelyajankohta. Pro/ENGINEER oli ensimmäinen menestynyt PFBM:ään perustuva kaupallinen suunnitteluohjelma. (Chandrasegaran et al. 2011, s. 219.)

#### 2.1.6 Parametrinen mallinnus

Parametrinen mallinnus on yleensä ylhäältä-alas –mallinnusta. Ylhäältä-alas –mallinnuksessa aloitetaan ylimmästä kokoonpanosta ja edetään alikokoonpanojen jälkeen viimeiseksi komponentteihin. Mekaanisessa suunnittelussa yleistä on myös alhaalta-ylös –mallinnus, jossa aloitetaan komponenteista ja edetään alikokoonpanojen jälkeen viimeiseksi pääkokoonpanoon. Tätä mallinnustekniikkaa käytetään esimerkiksi ainutkertaisesta suunnittelutapauksesta. Alhaalta-ylös –mallinnus on systemaattinen yksityiskohtainen suunnitteluprosessi. Siinä konseptisuunnitteluun saatetaan käyttää vähemmän aikaa. Tuotesuunnittelijat, jotka käyttävät alhaalta-ylös –tekniikkaa voivat aloittaa yksityiskohtaisen mallinnuksen, vaikka täydellistä konseptia tuotteesta ei ole ja esimerkiksi tuotteen toiminnalliset piirteet eivät ole täysin tiedossa. Aleixos et al. (2001) kategorisoivat alhaalta-ylös mallinnuksen piirrepohjaiseen –mallinnukseen. Alhaalta-ylös –mallinnus on piirrepohjaista –mallinnusta, koska tällaisiin malleihin voidaan lisätä piirrepohjaista toiminallisuutta, mutta malleja ei voida luoda piirteet lähteeltä. Ylhäältä-alas –mallinnuksen he kategorisoivat rajoitepohjaiseen mallinnukseen. (Aleixos et al. 2001, s. 99.)

Ylhäältä-alas –mallinnus vaatii yleensä tarkat tiedot tuotteesta ja sen piirteistä. Ylhäältä-alas –mallinnetut tuotteet ovat helposti muokattavissa ja konfiguroitavissa. Ne ovat tehokkaampia tuotteita asiakasräätälöintimahdollisuuksiensa takia. Tuotesuunnittelussa, joka käyttää tätä tekniikkaa, seuraa tarkasti kuvan 3 prosessia. Etenkin konseptointiin on käytettävä aikaa, että tuotteen lähtöarvot ovat tarkasti tiedossa jo ennen yksityiskohtaisen suunnittelun aloittamista.

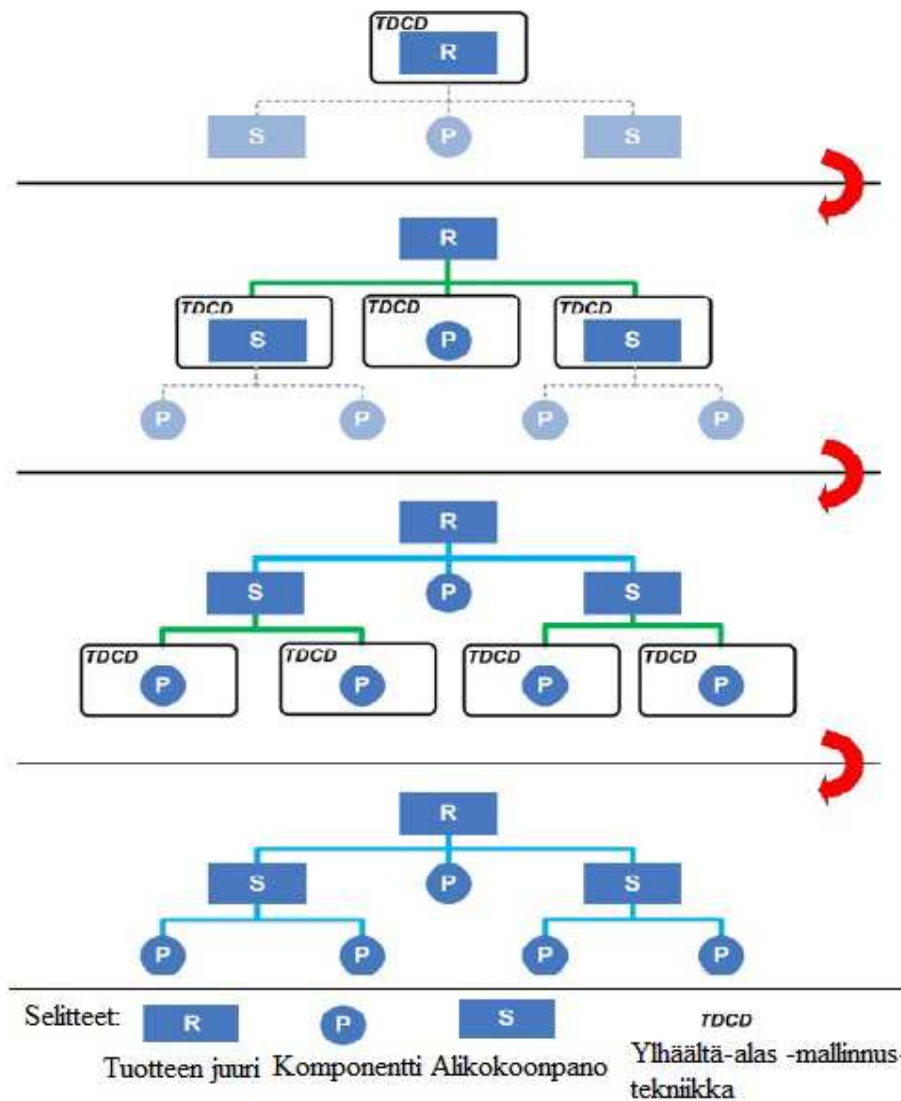
Alhaalta-ylös –mallinnusta käytetään paljon esimerkiksi tapauskohtaisessa suunnittelussa. Tapauskohtaisessa suunnittelussa voidaan joutua suunnittelemaan samaa tuotetta aina uudelleen pienten modifikaatioiden takia. Se vie paljon suunnitteluresursseja, energiaa ja aikaa, koska jokainen tapaus on suunniteltava erikseen ilman erityisiä lähtöapuja. Tapauskohtaisessa suunnittelussa voidaan käyttää vanhoja malleja hyväksi, mutta suunnittelu vaatii aina ainakin yhden insinöörin työtä. Aleixos et al. (2001) mukaisella rajoitepohjaisella –mallinnuksella voidaan säästää suunnitteluresursseja paljon. Kerran riittävän laajuisesti suunniteltu räätälöitävä tuote ei tarvitse erillistä suunnittelutyötä joka kerta erikseen. (Aleixos et al. 2001, s. 99.)

Asiakasräätälöitävä parametrisoitu-mallinnus vaatii kuitenkin paljon asiantuntevuutta monesta eri näkökulmasta. Suunnittelijan on ymmärrettävä mallinnusohjelman toiminnot lähtökohtaisesti hyvin. Monimutkainen parametrisoitu mallinnus vaatii yleensä paljon ohjelmointia. Ohjelmoinnin avulla korvataan ylimääräinen suunnittelutyö, koska ohjelma generoi mallin koodin ja makrojen avulla. Suunnittelijan on myös ymmärrettävä asiakasvaatimukset eli mahdolliset mallin konfiguraatiot. Markkinat määrittävät kuinka paljon tuotetta pitää olla mahdollista räätälöidä. Räätälöitävä tuote vaatii myös paljon insinöörityötä, sillä esimerkiksi lujuuslaskuja on tehtävä vastaavaa tapauskohtaista suunnittelua enemmän.

Ylhäältä-alas –mallinnuksessa luodaan ensin tuotteen juuri eli ylin taso ja tuote jaetaan useisiin alikokoonpanoihin. Näiden tasojen informaatio syötetään vaatimusten mukaisesti. Kokoonpanot, alikokoonpanot ja komponentit muodostavat kokoonpano-puun, joka isoissa tuotteissa on monimutkainen. Tuotteen vaatimusten mukaan alikokoonpanot jaetaan alikokoonpanoihin ja tätä jatketaan kunnes saavutetaan vaatimusten mukainen alikokoonpano -taso. Tasot päivittyvät tai päivitetään kokoonpano-puuhun. Kuvassa 6

esitetään kokoonpano-rakenteen kehitystä. Chen et al. (2011) mainitsevat ylhäältä-alas – mallinnukselle esiehdoksi:

- Tiedot yleispiirteistä.
- Tuotteen perustoiminnallisuus.
- Muoto luuranko-geometrialle. (Chen et al. 2011, s.1035).



**Kuva 6.** Kokoonpanorakenteen kehitys ylhäältä alas. (Chen et al. 2011, s. 1036.)

Demoly et al. (2010) selittävät mekaanisen tuotteeseen liittyvät käsitteet mallinnuksen ja valmistuksen suhteen. Tuote on objekti, joka suunnitellaan ja valmistetaan. Se on CAD-informaatorakenteen ylin taso ja se implementoidaan PDM-järjestelmään ja CAD-

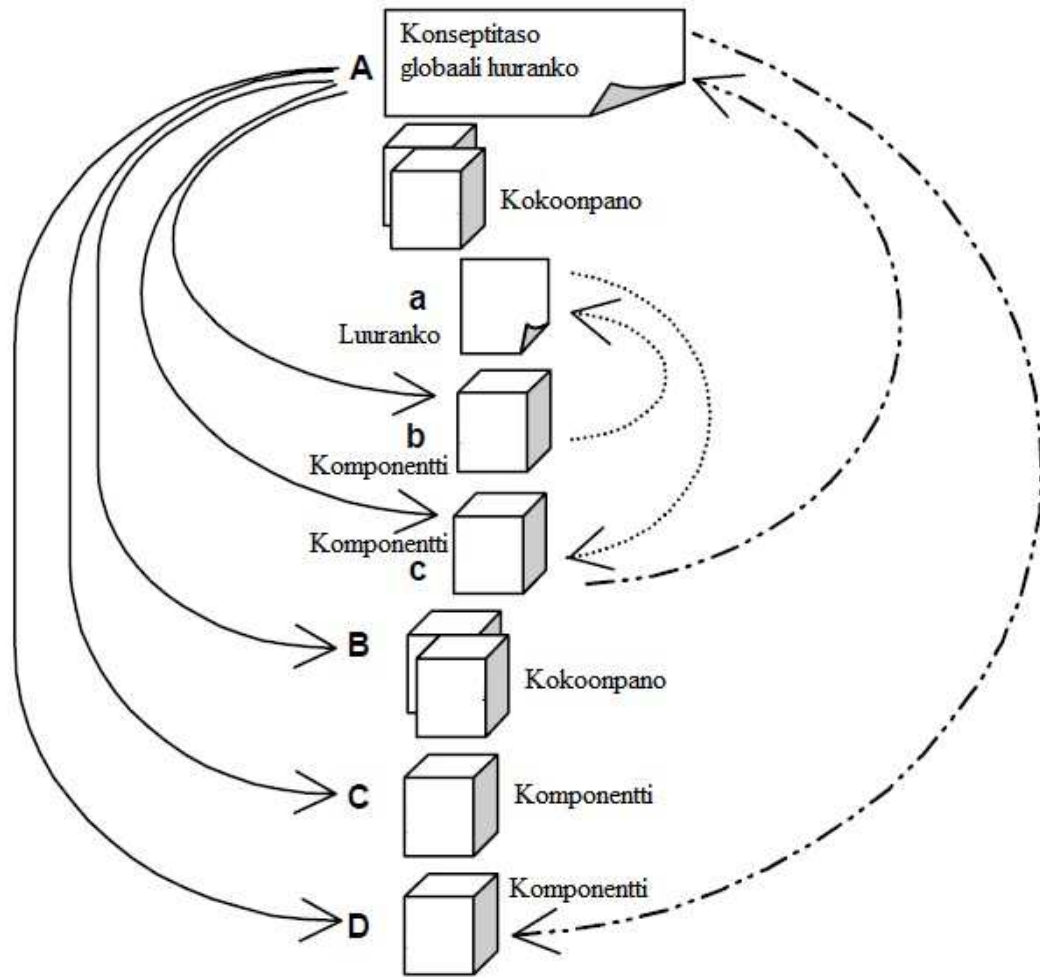
ohjelmaan. Valmistusnäkökulmasta se on lopullinen kokoonpantu tuote. Alikokoonpano on tuotteen komponenteista koostuva osa tuotetta. Sillä voi olla useita tasoja kokoonpanopuussa ylä- ja alapuolella. Komponentti on tuotteen osa, mikä on osa kokoonpanoa ja asetettu kokoonpano -tasolle. (Demoly et al. 2010, s. 1659.)

Ylhäältä-alas –mallinnuksessa ylin taso on yleensä suurpiirteinen geometria tuotteesta. Tehokkaaseen ylhäältä-alas –mallinnukseen kuuluu luuranko-geometrioiden käyttö etenkin parametrisessa mallinnuksessa. Luuranko-geometria on konsepti tuotteesta, mikä voidaan määrittää ennen tarkkoja tuotteen dimensioita. Osa CAD-ohjelmistoista tarjoaa mahdollisuuden luoda luuranko-geometrioita. On kannattavaa käyttää ohjelmiston tarjoamaa luuranko-mallia, mutta on myös mahdollista luoda oma malli-referenssi, jota voidaan käyttää luurankona. Seuraavaksi on selitetty joitain käsitteitä liittyen luuranko-mallinnukseen:

- *Funktiot* ovat parametreja, joilla säilytetään ja jaetaan kvantitaavista tietoa komponenttien välillä.
- Komponenttien *käyttäytyminen* määritetään funktioilla.
- *Suhde* voi olla esimerkiksi eri luurankojen välinen suhde tai esimerkiksi dimensioiden välinen suhde. Jos kaksi dimensiota on toisiinsa suhteessa, niin toista muuttaessa myös toinen muuttuu. Suhteiden käyttö luuranko-mallinnuksessa on yleistä.
- *Muotoluuranko* on karkea komponentin muoto.
- *Layout-luuranko* esittää fundamentaalisen layoutin kokoonpanosta. Kokoonpanon layout koostuu monista funktionaalisista komponenteista liitettynä toisiinsa kinemaattisilla suhteilla.
- *Piirre* on yleinen abstrakti luokka kaikille tuotteen piirteille. Jokainen piirre sisältää geometrasta tietoa ja materiaalitietoa.
- *Rajoite* voi olla parametrinen rajoite tai geometrinen rajoite. Sillä rajoitetaan komponentin haluttua muuttujaa.
- *Kokoonpano-rajapinta* sisältää moni-tasoista informaatiota kokoonpano-suhteista, missä on yhdistettynä kaksi tai useampi komponentti.
- *Luuranko-rajapinta* määrittää kaksi implementaatio-tasoa kokoonpano-rajapinnalle. (Chen et al. 2011, s. 1035-1039.)

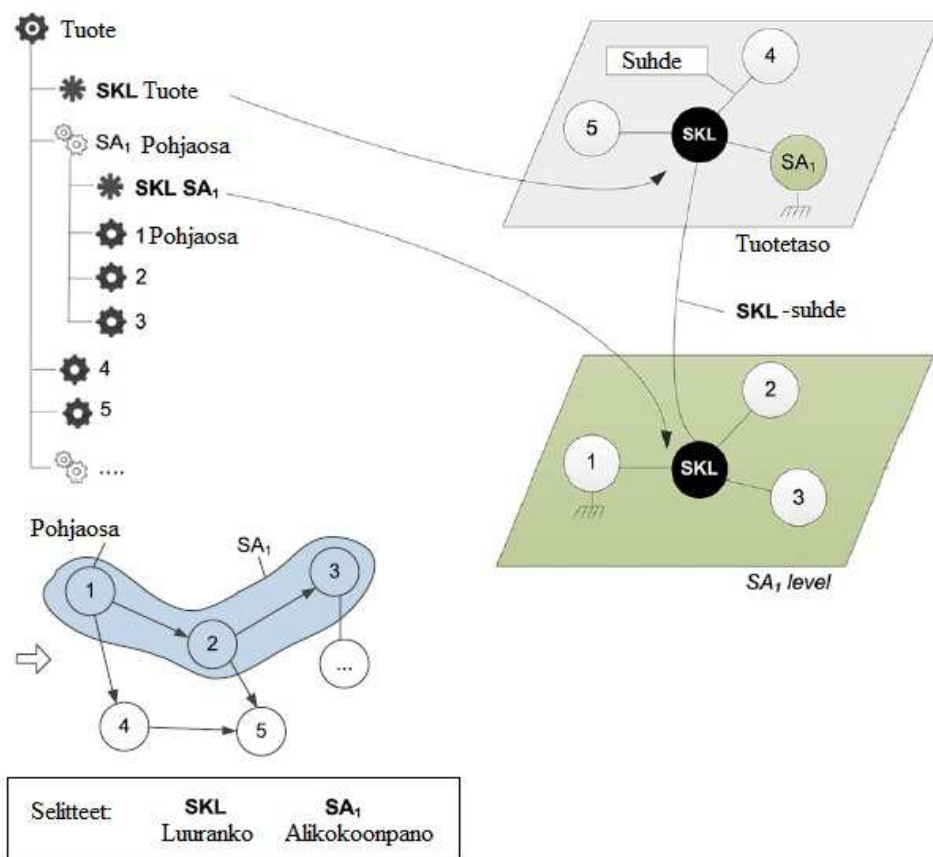
Demoly et al. (2010) ovat huomanneet, että luuranko-mallinnus on saanut paljon huomiota akateemisesti ja teollisesti. Yritykset ovat huomanneet luuranko-mallinnuksen hyödyt ja sen käyttö teollisuudessa lisääntyy koko ajan. Luuranko-mallit tuovat hyötyjä myös alhaalta-ylös –mallinnukseen, mutta ne vaativat aina ylhäältä-alas –mallinnuksen mukaisen näkökulman sisällyttääkseen tiedot kokoonpanoista. Tämän takia luuranko-mallinnusta käytetään vain ylhäältä-alas –mallinnuksessa. (Demoly et al. 2010, s.1656.)

Luuranko-malli tarjoaa suoran emo-jälkeläis (parent-child) –suhteiden ohjausmahdollisuuden komponenttien piirteille tai komponenttien ja alikokoonpanojen välille. Luuranko-mallin ominaisuuksilla voidaan tarkasti määritellä komponenttien tilaa koskevat sovitukset, komponenttien väliset rajapinnat, komponenttien geometriset rajoitteet, komponenttien dimensiot ja komponenttien kinematiikka. Komponentit voivat olla tässä tapauksessa esimerkiksi tuotteen alikokoonpanoja. Kuvassa 7 on esitetty esimerkki perinteisestä yksinkertaisesta ylhäältä-alas –mallista, jossa käytetään luuranko-mallinnusta. (Mun et al. 2008, s. 643.)



**Kuva 7.** Perinteinen ylhäältä-alas -mallinnus (Aleixos et al. 2003, s. 106).

Kokoonpano-luuranko määritetään jokaiselle kokoonpano-tasolle erikseen. Jokaisella kokoonpano-tasolla luurangolla mahdollistetaan kokoonpano-suhteiden keskittäminen ja alempien tasojen ohjaus. Tällä mahdollistetaan suhteiden organisointi ja suhdeinformaation eteneminen ylhäältä-alas -tavalla. Kuvassa 8 esitetään esimerkki kokoonpano-luurankojen allokoinnista. (Demoly et al. 2010, s. 1659.)



**Kuva 8.** Kokoonpano-luurankojen allokointia (Demoly et al. 2010, s. 1658-1659).

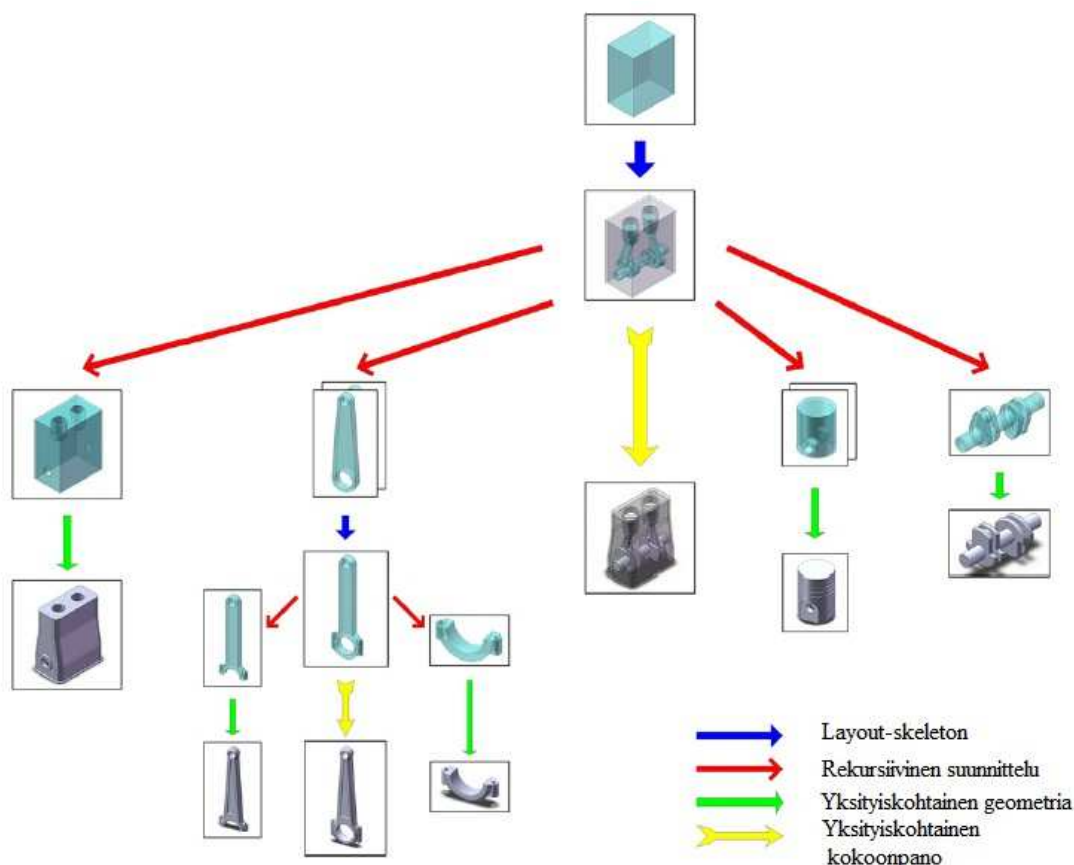
Aleixos et al. (2003) antavat kahdeksan vinkkiä konsepti-mallinnus –vaiheeseen, mitkä voidaan yhdistää hyvin luuranko-mallinnus -vaiheeseen:

- 1) Referenssidata sisällytetään aina mallin piirteisiin. Kun kaikki referointi liittyy luuranko-malliin, niin vältetään päällekkäisiltä geometrioilta.
- 2) Referenssidata tulee jäsenellä eri tasoille. Esimerkiksi yksi rakennetaso on määritetty referenssipiirteisiin ja toinen geometrisiin piirteisiin.
- 3) Referenssipiirteet referoidaan globaaliin koordinaattisysteemiin. Tämä helpottaa kokoonpanoa.
- 4) Uusien piirteiden luonnissa tulee valita oikea referenssi. Globaalit referenssipiirteet ovat aina referoitu geometrisiin piirteisiin.
- 5) Monimutkaisten muotojen luonnissa on käytettävä referenssikäyriä ja –pintoja. Esimerkiksi monimutkaisten pinnan parametrit eivät katoa, vaikka malli kaatuisi.

- 6) On oltava tarkka valittaessa erilaisia piirteitä mallille. Myöhemmät muutokset niihin saattavat altistaa mallin kaatumisille.
- 7) Mallin viimeistelyoperaatiot kannattaa määrittää fundamentaalisen mallipuun loppuun. Esimerkiksi kappaleiden pyöristykset lisätään viimeisenä.
- 8) Fundamentaalin rakenne kannattaa pitää mahdollisimman riippumaattomana. Kannattaa aloittaa yksinkertaisten fundamentaalisten rakenteiden luonnista, minkä jälkeen hiljalleen lisätä monimutkaisuutta. (Aleixos et al. 2003, s. 114.)

Luuranko-malli on tehokas tapa esittää suhteet ja toiminnalliset rajapinnat tuotteen osille. Luuranko-mallinnuksen ja perinteisen CAD-kokoonpano –mallinnuksen merkittävin ero tulee siitä, että rajoitteet on määritetty luuranko-mallissa luurangon ja komponentin välille. Perinteisessä CAD-mallissa rajoitteet ovat komponenttien välillä. Kuvassa 9 on moottorin luuranko-mallinnuksen pääideat. Demoly et al. (2010) esittävät kuusi luurangon ominaisuutta, joilla voidaan asettaa mallin osien välille rajoitteita:

- 1) Piste, joka kuvaa jäykän asennon ja sen avulla voidaan asettaa tasot ja koordinaattisysteemit.
- 2) Linja, jonka avulla voidaan asettaa rajoite kahden komponentin avulla ja se tarjoaa vapausasteen rotaatiolle, translaatiolle tai molemmille.
- 3) Taso, joka tarjoaa rajoitteen kahdelle komponentille tai rajapinnan komponentin translaatiolle.
- 4) Koordinaattisysteemi, joka kuvaa kokoonpanovaiheelle orientaation ja samalla määrittää monen luurangon orientaationsuunnan.
- 5) Rajoite, joka kuvaa rajoitteet muiden ominaisuuksien välillä.
- 6) Parametri, joka kuvaa relevantit parametrit tuote kokoonpanolle ja dimensionaaliset parametrit assosioituna rajoitteille luurankojen välillä. (Demoly et al. 2010, s. 1659.)



**Kuva 9.** Esimerkki ylhäältä-alas -luurankomallinnuksesta (Chen et al. 2010).

Chen et al. (2011) jakavat parametrisen ylhäältä-alas -tuotesuunnittelun kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa abstraktissa suunnittelussa määritetään funktiot, ideat ja konseptit. Yleisfunktio jaetaan osafunktioihin funktio- ja suunnittelurakennetta varten. Abstraktilla suunnittelulla pyritään saamaan aikaan tuotekonsepti. Toisessa vaiheessa abstraktin suunnittelun tuloksesta luodaan luuranko malli, mikä sisältää tietoa muodosta ja tilasta. Kokoonpano jaetaan alikokoonpanoihin ja kartoitetaan suunnittelukonseptiin. Sen jälkeen alikokoonpanojen muotoluurangot generoidaan kokoonpanon muotoluurangolla. Luurankomuotojen rajapinnat määritetään alikomponenttien välillä ja liitetään vastaavat muotoluurangot yhteen. Muotoluurankojen keskinäiset asemat määritetään kinemaattisilla rajoitteilla, jotka on sisällytetty luurankojen rajapintaan. Luurankomallin tulos on 3D-layout, jossa on määritetty kokoonpanon elementit ja niiden väliset kinemaattiset käyttäytymistavat. Kolmannessa vaiheessa kuvan 9 mukainen ylhäältä-alas -mallinnus suoritetaan jokaiselle tuotteen alikomponentille erikseen. (Chen et al. 2011, s.1036.)

Pro/ENGINEER-ohjelmistoympäristö on erikoistunut parametriseen ylhäältä-alas -mallinnukseen luurankomoduuleja käyttäen. Suurin osa tässä kirjallisuuskatsauksessa tutkittavista artikkeleista tutkivatkin ylhäältä-alas -mallinnusta käyttäen Pro/ENGINEER -ohjelmistoa. Pro/ENGINEER-ohjelmistossa luuranko-mallinnus määritetään:

*”Luuranko-mallit määrittelevät suunnittelueikeyden eli -konseptin ja tuoterakenteen. Luurangot mahdollistavat suunnittelijan jakamaan tärkeitä suunnitteluinformaatiota alisysteemistä tai kokoonpanosta toiseen. Tämä tärkeä suunnitteluinformaatio on jokogeometrian päämääritelmät tai kopioitu geometria jostain muusta suunnittelusta. Kaikki muutokset luurankoon muuttavat myös sen komponentteja. Ylimmän tason luurangon käyttö mahdollistaa seuraavien informaatioiden ohjauksen:*

- *Tuoterakenne.*
- *Komponenttien välisten rajapintojen paikoitus.*
- *3D-tilat.*
- *Liitännät ja mekanismit.”* (Pro/ENGINEER-ohjelmisto.)

Monet yritykset vaihtavat suunnitellun tuotteen parametriseksi malliksi. Mermoz et al. (2011) tutkivat parametrisen implementoinnin hyötyjä ja haittoja. He huomaavat jo pelkän konseptisuunnitelman parametrisoinnilla merkittävän positiivisen eron suunnitteluajassa. He kuitenkin mainitsevat, että tässä suunnitteluprojektissa tarvitaan usein suunnitteluarkkitehdin apua. (Mermoz et al. 2011, s. 201). Aleixos et al. (2003) mainitsevat, että ylhäältä-alas -mallin implementointi on hyvin hankalaa. Etenkin CAD-ohjelmien käyttö suunnitteluaikeiden määrittämisessä on heidän mielestään haastavaa. (Aleixos et al. 2003, s. 114.) Deitz (1997) mainitsee, että vaihtaessaan toisesta CAD-ohjelmasta Pro/ENGINEER:n parametriseen suunnitteluun paine-astioiden suunnittelussa suunnittelu-aika väheni 20 tunnista kolmeen tuntiin (Deitz 1997, s. 92).

Suurien ja monimutkaisten tuotteiden parametrinen suunnittelu on erittäin työlästä. Monimutkaisten tuotteiden parametrisesta luurankomallinnuksesta ei juuri löydy tutkimuksia, koska yritykset pitävät tuotteensa poissa kilpailijoilta. Suurien asiakasrätälöitävien mallien arvo saattaa olla erittäin korkea. Hissikorien parametrisoidusta suunnittelusta aikaisempia tutkimuksia ei löydy. Voidaan olettaa, että

vain suurimmat hissiyritykset tekevät parametrisoituja malleja hissikoreista ja tiedot niistä pysyvät yrityksen sisällä.

## 2.2 Innovatiivisuus

KONE Oyj kuuluu Suomen innovatiivisimpiin yrityksiin. KONE Oyj on ainut suomalainen yritys, joka pääsi maailmanlaajuiselle Forbesin innovatiivisimpien yritysten listalle vuonna 2013 sijalle 37. Innovaatiot vaativat innovatiivisen ilmapiirin. Innovatiivisen ilmapiirin saavuttaminen on tärkeätä tehokkaan tuotekehityksen kannalta. Innovatiiviseen ilmapiiriin kuuluu uuden oppimisen tukeminen, avoimuus uusille ideoille ja riskin hyväksyminen. Sitoutuminen tuotekehitykselle tulee näkyä koko yrityksessä. Yksilöiden yhteistoimin yritys kulkee kohti tavoitetta ja uusia innovaatioita.

KONE Oyj on eräänlaisessa murrosvaiheessa, sillä vaikka KONE Oy ei ole suurin hissitoimittaja, sen markkinaosuuksien kasvu etenkin suurissa projekteissa on nopeinta. Jotta kasvu pysyy nopeana, on KONE Oy:n jatkettava innovatiivisena yrityksenä. KONE Oyj:n hissien on oltava laadukkaampia, ekologisempia ja visuaalisesti näyttävämpiä kuin kilpailijoiden ja silti hinnaltaan kilpailukykyisiä. Tuotteiden on sisältävä ominaisuuksia, jotka erottavat ne kilpailijoistaan. Tärkeätä on voittaa etenkin suuria projekteja, jotka tuovat yritykselle näkyvyyttä. Ennätyskorkeita rakennuksia rakennetaan lähes vuosittain ja pilvenpiirtäjät rikkovat jo rajoja. Kaikki korkeat rakennukset vaativat hissillä tällä hetkellä. Hissin on myös oltava laadukas ja luotettava, jotta sen toimintakyky säilyy riittävän hyvänä pitkissä kuljetusmatkoissakin.

Cooper ja Kleinschmidt tutkivat tuotekehityksen onnistumisen ajureita ja havaitsivat, että tärkein ajuri on tuote, jolla on kilpailuetu. Toiseksi tärkein on markkinoiden ja tuotteen esitietojen ymmärrys. Kolmanneksi tärkein on teknologinen synergia tuotekehityksen ja tuotannon välillä. (Cooper & Kleinschmidt 1990, s.4.)

Laadukas tuotteen pohja on visuaalisessa ja mekaanisessa suunnittelussa. Tuote on oltava suunniteltavissa, jotta se voidaan tarjota asiakkaille. Vielä parempi, jos tuote on valmiiksi suunniteltu eli esimerkiksi parametrinen malli. Tuotteen menestystä voidaan mitata ROI:n (Return On Investment) eli sijoituksen tuoton avulla. ROI mittaa paljon tuottoa tulee sijoitukseen nähden. Sijoitus tarkoittaa esimerkiksi rahamäärää, joka on käytetty tuotteen

suunnitteluun, mallintamiseen ja tuotteistamiseen. Tuotteen myyntihinnasta vähennetään kaikki toimitusprosessiin kuuluneet kulut. Kuluja toimituksella on kiinteitä ja muuttuvia. Kiinteät kulut ovat jokaisen tuotevariantin toimituksessa samat ja muuttuvat kulut vaihtelevat tuotevariantein. Näiden absoluuttinen määrittäminen on lähes mahdotonta, mutta suuntaa antavat määrät voidaan laskea. Tästä saadaan yhden myydyn tuotteen voitto. Kun voitot ylittävät tuotteen suunnitteluun, mallintamiseen, tuotteistamiseen markkinointiin yms. kuluneet varat, tuote alkaa tuottaa yritykselle absoluuttista voittoa. Niin kauan kuin jokainen myyty yksittäinen tuote tuottaa voittoa, tuotearkkitehtuuri jatkaa yritykselleen arvon lisäämistä. Menestys jatkuu kunnes tuote ei tuota enää voittoa. Tällaisessa tilanteessa tuote tulee päivittää tai poistaa markkinoilta, jotta tuote ei vain laske yrityksen arvoa. Näin ei kuitenkaan joka tapauksessa ole, sillä markkinaosuuksien nosto häviötä tuottavalla tuotteella saattaa kuitenkin nostaa yrityksen arvoa pitkällä aikavälillä.

### 2.3 Tuotteistaminen

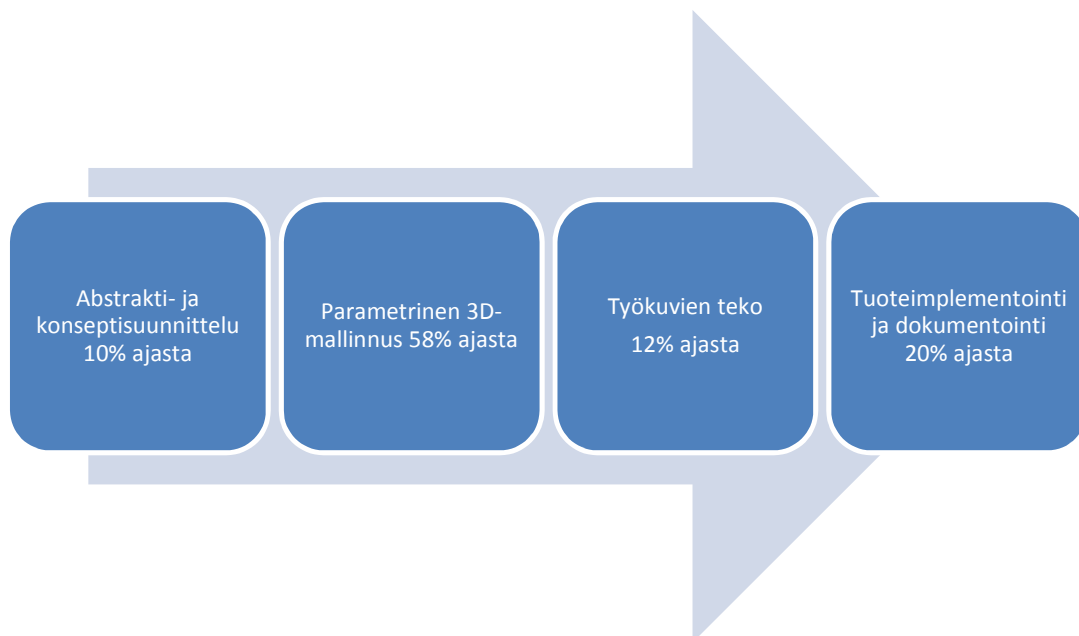
Tässä diplomityössä tuotteistamisella tarkoitetaan tuotteen implementointia osaksi toimitusketjua määrittämällä kulmakorille toimitusprosessi. Tuotteen tuotteistamisessa käytetään massakustomoitavuuden periaatteita, jotka on esitetty luvussa 2.1.1. Kulmakorituotteen tulee sisältää 48,12 % asiakkaan mahdollisista vaatimuksista. Tämä tarkoittaa, että noin 48 % tilatuista kulmakoreista menee suoraan tuotemallia konfiguroimalla tuotantoon ja loput vaativat erikoissuunnittelua. Tuote ei siten ole täydellinen diplomityön valmistuttua ja varaa jää jatkokehitykselle.

Standardituote vaatii kuitenkin aina tuotteen vaatimusten mukaisen määrittämisen, joka toteutetaan tuotemallin generoinnilla. Generointiin kuuluu myös kokoonpano- ja valmistuskuvien tapauskohtainen päivittäminen. Lisäksi tuotteesta on oltava saatavissa tarjous- ja hyväksyntäkuvat. Tehokas tuotemalli vaatii sulavan ja synergisen toiminnon CAD-ohjelmiston ja PDM-järjestelmän välillä.

Tuotteen standardisointiin vaikuttaa sen räätälöitävyys. Tuotteen räätälöitävyys määritetään standardointiasteen mukaisesti. Standardointiaste määrittää kuinka paljon tuotteesta standardoidaan. Täysin standardisoituja tuotteita ovat muun muassa kulutushyödykkeet, joita asiakas voi ostaa suoraan myymälästä. Toisen asteen standardisoinnilla saavutetaan tuote, joka perustuu modulointiin, mutta jonka konfigurointi

on vähäistä. Tällaisessa tuotteessa jokainen osa on standardiosa. Tällaisia ovat esimerkiksi itse räätälöidyt tietokoneet. Kolmannen asteen standardoitu tuote sisältää vakiokomponentteja sekä räätälöityjä komponentteja. Pääosassa ovat kuitenkin vakiokomponentit eivätkä varioituvat osat. Neljännen asteen standardoitu tuote on täysin räätälöitävissä. Tuote kuitenkin voi sisältää vakiokomponentteja. Tämän diplomityön tuote standardisoidaan neljännen asteen mukaisesti. Tuotteen pääosassa ovat varioituvat moduulit, jotka sisältävät vakiokomponentteja kuten ruuveja, pultteja yms.

Diplomityön tavoitteeksi määritettiin suunnittelutyön tuottavuuden parantaminen 24 tunnista neljään tuntiin. Tämä tarkoittaa sitä, että nykyisin KONE Oyj:llä suunnitellaan kulmakorit keskimäärin 24 tunnissa. Jos uuden tuotemallin avulla suunnittelu-aika vähenee neljään tuntiin on diplomityön tavoite täytetty ja voidaan todeta, että tuotteistaminen on ollut tehokasta. Tuotteistaminen on läheisessä toiminnassa tuotesuunnittelun kanssa koko suunnitteluprosessin ajan. Jokaisessa suunnitteluvaiheessa on huomioitava toimivuus tuotteistamisprosessin kanssa. Arvio ajan käytöstä tuotesuunnitteluprojektissa esitetään kuvassa 10.



**Kuva 10.** Tuotekehitysprojekti pelkistettynä.

Prosessi ei tule olemaan yhtä mustavalkoinen ja suoraviivainen kuin kuvassa 10. Abstraktisen suunnittelun ajankäytöksi on merkitty vain 10 %. Tämä vaihe on kuitenkin hyvin tärkeä, sillä ilman onnistunutta konseptointia koko 3D-mallinnuksen systemaattisuus kärsii. 3D-mallinnus vie huomattavasti enemmän aikaa kuin muut vaiheet. Parametrisessä mallinnuksessa etenkin tuotemallin parametrien ohjelmointi vaatii aikaa, tarkkuutta ja testailua.

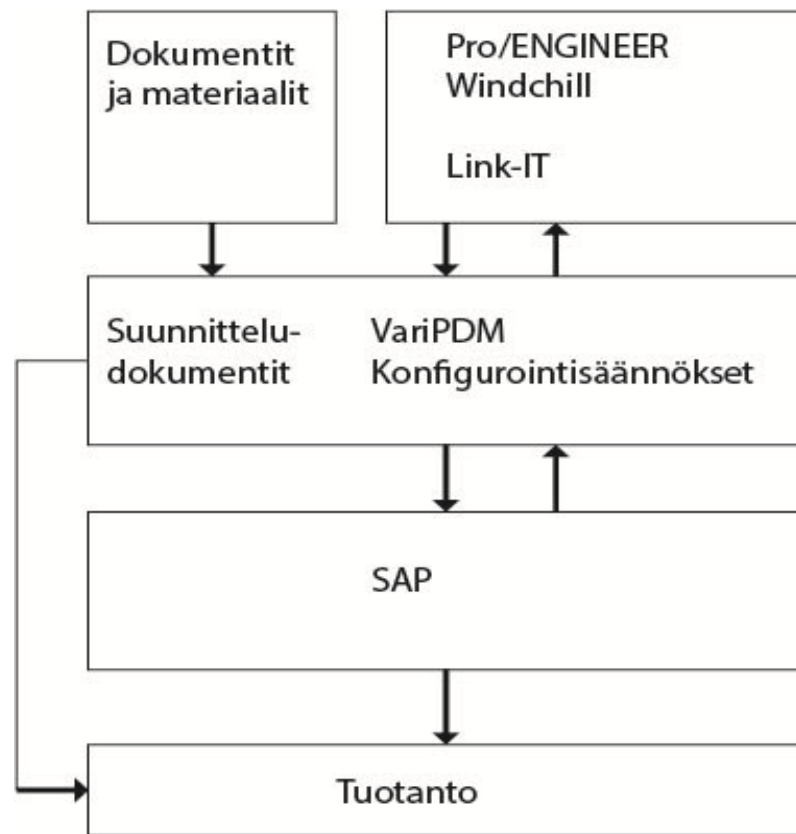
#### 2.4 Hissikorin suunnitteluprosessi

Hyvinkään tuotantoyksikkö on erikoistunut erikoishissien valmistamiseen. Erikoishissejä suunnitellaan esimerkiksi DECO-osastolla. DECO-osasto on osa HCE:tä (Hyvinkää Custom Engineering). HCE kuuluu SOF:in (Supply Operations Finland) ja SOF KSU:n (Kone Supply Units). DECO osastoon kuuluvat hissikorit, signalisaatiot ja ovet. Signalisaatiosuunnitteluun kuuluu hissikorin sisäinen ohjauslaitteisto, tasolaitteisto ja määränpäälaitteisto. Hissikorin sisällä olevaa ohjauslaitteisto kutsutaan COP:ksi (Car operation panel) eli korin ohjauspaneeli. COP:lla ohjataan hissien liikkeitä korin sisältä. COP:iin kuuluu kerros-, avaus- ja sulkunappuloiden lisäksi esimerkiksi hälytysnappula. Hissikorissa voi olla myös infonäyttö, joka näyttää esimerkiksi reaaliaikaista kerrostietoa ja mainoksia. Infonäyttö voi toimia internet-yhteydellä tai ilman. Signalisaatiolaitteiden ja ovien suunnittelu ei kuulu diplomityön rajaukseen.

Hissikorin suunnitteluprosessille lähtökohta saadaan tilauksesta. Eri tilauksille on eri toimitusyksiköt: MP (Major Projects), KSS (Kone Supply Services) ja SSE (Modernization). MP vastaa suurista projekteista, KSS uusista projekteista ja SSE modernisoinnista. Tilaus tulee frontline-yksikköön eli etulinjassa olevaan myyntiyhtiöön. Tilauksen yhteydessä tai ennen asiakkaalle voidaan tarjota tai asiakas voi vaatia tarjouskuvia, jotka saattavat vaatia suunnittelua. Frontline yksikkö muodostaa CST-tiedoston, josta löytyy hissiä koskevat päätiedot. CST-tiedosto ohjataan layout-tiimille eli kuilun pohjapiirroksia tekeväälle tiimille. Pohjapiirroksen määrittämisen kanssa samaan aikaan voidaan asiakkaalle myös tehdä eri komponenttialueiden hyväksyntäkuvat. Kuilun pohjapiirroksen jälkeen tilaus eritellään ja jaetaan komponentteihin. Erittely jakaa myydyin tuotteen yksiköihin ja esimerkiksi määrittää vaatiiko jokin tuotteen osa lisäsuunnittelua. Komponentit, jotka vaativat lisäsuunnittelua, ohjataan esimerkiksi DECO-tiimille. Komponentit, jotka eivät tarvitse lisäsuunnittelua, tilataan standardikomponentteina.

Kun suunnittelu on suoritettu, suunnittelun "output" eli lähtötiedot ohjataan BOM- (Bill of Material) eli osaluetteloiden määrittämis-osastoon. BOM-vaiheen jälkeen komponentit menevät osto-osastolle, jossa suoritetaan komponenttien tilaukset. Tilaus menee tuotantoon eri yksiköihin. Esimerkiksi lattia tilataan Hyvinkään tehtaalta.

Suunnitteluprosessin työkaluihin kuuluu VariPDM, CAD-ohjelmisto, Windchill ja SAP. CAD-ohjelmistolla suoritetaan tuotteen konkreettinen suunnittelu. VariPDM:ssä ohjataan ja säilytetään tuote- ja prosessi-informaatiota. WindChill:ssä säilytetään CAD-dataa. SAP toimii tuotannon ohjausjärjestelmänä ja siten koko suunnitteluprosessin ohjausjärjestelmänä. SAP:n käyttö ei kuitenkaan sisälly diplomityön rajoihin. Kohdassa 2.7 esitellään diplomityöhön liittyviä ohjelmia. Kuvassa 11 havainnoidaan suunnitteluprosessin kulkua ja ohjelmien integrointia.



**Kuva 11.** KONE Oyj:n suunnitteluprosessi.

## 2.5 Hissistandardit

Yleinen eurooppalainen hissidirektiivi 95/16/EC kattaa hissien suunnittelun, asennuksen ja markkinoinnin. Kuvassa 12 on esitetty direktiivin 95/16/EC alle harmonisoidut standardit. Päästandardi, jota tässä työssä seurataan, on EN81-1. Se sisältää eurooppalaiset regulaatiot liittyen sähköllä toimiviin hisseihin. EN81-70, EN81-71, EN81-72 ja EN81-73 on kuitenkin myös otettava huomioon. Nämä standardit voivat lisätä lisäominaisuuksia hissiin, joita voidaan ohjata parametreilla. EN81-71 esittää vandaalikestovaatimukset. Toisen kategorian vandaalikestosuojatun hissien seinä ja lattia materiaalien on oltava korroosion kestävä materiaalia kuten AISI 316:ta. EN81-72 vaatii esimerkiksi aina tikkaat hissikorin sisälle ja 0,5 m x 0,7 m kokoisen kattoluukun. EN81-70 asettaa vaatimukset esimerkiksi COP:n paikoitukselle. Kulmakorissa COP:n paikoitus niin, että EN81-70:n määräykset katetaan, on haastavaa. COP:ta on oltava tällöin kaksi. Direktiivin 95/16/EC seuraaminen on olennaista jokaisessa suunnittelun vaiheessa, sillä standardien huomiotta jättäminen saattaa aiheuttaa toistuvan laatuvirheen.

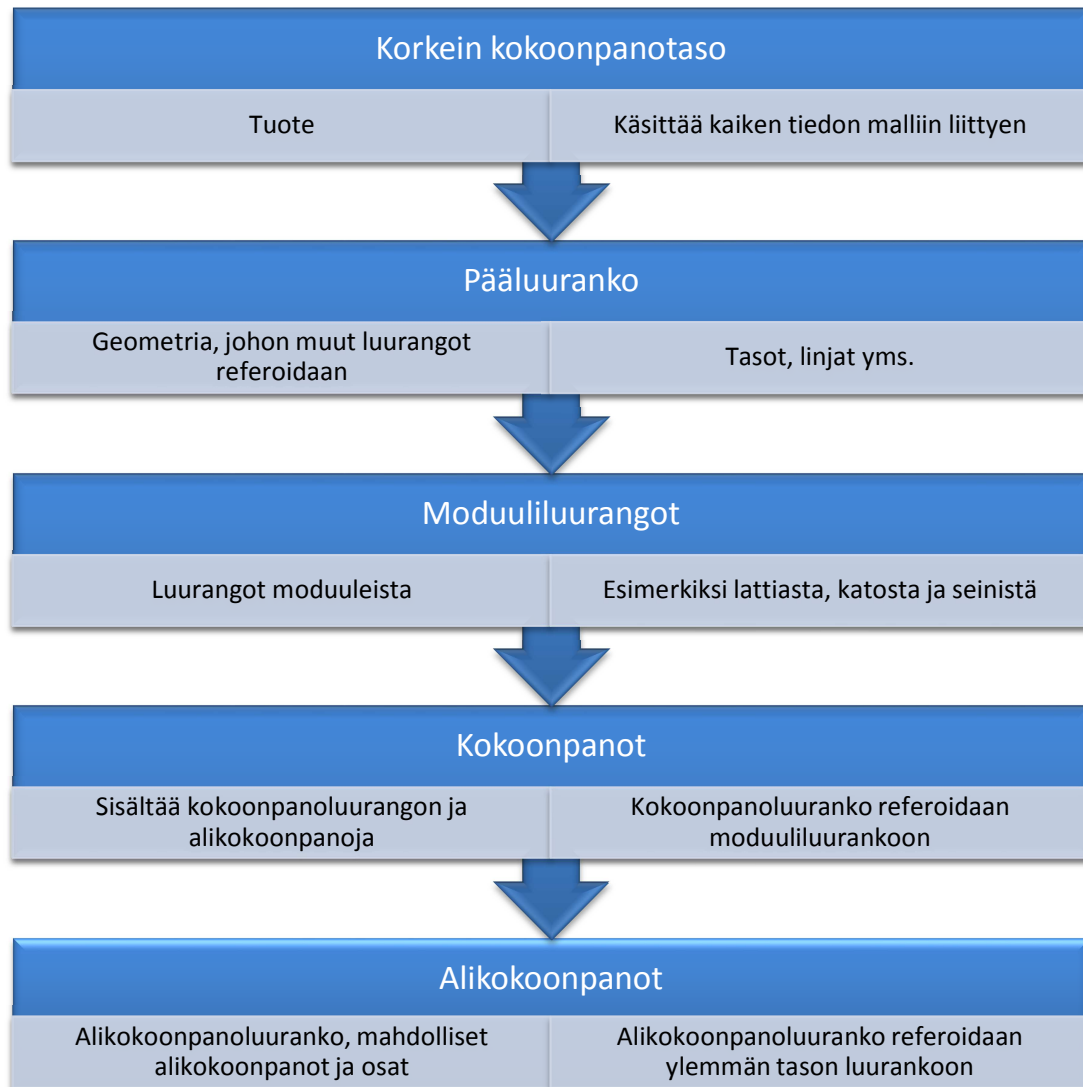


**Kuva 12.** Hissistandardit.

## 2.6 Mallinnusmenetelmät

Mallinnusmenetelmät perustuvat ajatukseen, että hissikorimalli on helposti muokattavissa, helposti integroitavissa KONE Oyj:n PDM-järjestelmään, mallilla on optimaalisen pitkä käyttöikä ja hyvä jatkokehittävyys. Mallin on myös oltava helposti omaksuttavissa ja seurattava KONE Oyj:n asettamia vaatimuksia. Diplomityössä käytetään ylhäältä-alas – mallinnustekniikkaa Pro/ENGINEER:n luuranko-malleja hyväksikäyttäen. Tällä mahdollistetaan parametrinen mallinnus. Kuvassa 13 esitetään yleiskuva mallinnusprosessista. Jokainen taso käsittää erikseen informaatiota liittyen suhteisiin,

parametreihin ja ohjelmointiin. Ylin tuotetaso kuitenkin sisältää määrävän päätiedon ja ylimmällä tuotetasolla suoritetaan mallin generointi. Jos malli toimii, niin silloin tapauskohtaisesti ei tarvitse modifioida alempia kokoonpanotasoja.



**Kuva 13.** Diplomityön mallinnusprosessi.

Suunnittelun alkuvaiheessa on vaikeata määrittää alikokoonpanojen lopullista määrää. Tämän takia ylhäältä-alas –tekniikka sopii hyvin monimutkaisen tuotteen suunnitteluun. Tuotesuunnittelun konseptivaihe on ensimmäinen mallinnusvaihe. Kuvan 13 ylin taso perustuu konseptoinnin hahmottamiseen ja mallintamiseen. Konseptointivaiheessa käytetään vain luuranko-malleja. Konseptointivaiheen jälkeen aloitetaan yksityiskohtainen

suunnittelu, missä käytetään myös luuranko-malleja. Jokainen tuotteen taso saattaa sisältää suuren määrän tietoa. Tieto muodostuu esimerkiksi luurangoista, yksityiskohtaisista mallinnuksista, suhteista, rajoitteista, parametreista ja ohjelmoinnista.

### 2.6.1 Luuranko-mallinnus

Luuranko-mallinnus perustuu ajatukseen, että kappaleet eivät ole referenssissä toisiinsa, vaan osat referoituvat luurankoihin. Näin minimoidaan geometrioiden päällekkäisyydet ja mallinnusvirheet. Referointi tapahtuu aina, kun mahdollista, ylemmän tason vakaaseen tasoon, luurankoon tai koordinaattipisteeseen. Luurankoja muokkaamalla voidaan muokata kappaleita ja kokoonpanoja ja niiden parametreja. Luurankomalli on yleensä suurpiirteinen geometria, mihin on liitetty osia ja kokoonpanoja. Luurankomalli sisältää yleistä informaatiota, jota kappaleet käyttävät.

Referointi tehdään ensisijaisesti luurankoon määritettyyn koordinaattipisteeseen. Jos tämä ei ole käytännöllistä tai mahdollista, referointi voidaan tehdä luurangon tasorajoitteeseen tai akselirajoitteeseen. Jos edelliset vaihtoehdot eivät ole mahdollisia tai käytännöllisiä, voidaan kiinnitys suorittaa luurangon geometriaan. Tällaisessa tapauksessa on oltava tarkka, että luurangon geometria on pysyvä ja se ei kriittisesti muutu.

### 2.6.2 Modulointi

Yksinkertaistettuna moduloinnilla tarkoitetaan sitä, että tuotemallin pääkokoonpanoista muodostetaan moduuleja. Moduulit ovat yhteyksissä toisiinsa luurankojen avulla ja pääluurankoon. Modulointi selkeyttää tuotemallin rakennetta ja sillä pyritään järjestelmälliseen rakenteeseen, jonka konfigurointi on yksinkertaista. On tärkeää muodostaa vain vähän moduuleja päätasolle. Näin vähennetään syvälle rakenteeseen syntyvät virheet ja ongelmat ja niiden paikoittaminen on helpompaa. Esimerkiksi hissikorissa päätason moduuleja ovat seinät, lattia ja katto. Tuotemallin onnistunut modulointi auttaa pitämään mallin kontrollissa. Kontrolloitu tuotemalli parantaa asiakastyytyväisyyttä, sillä tuotteen toimittaminen aikataulussa on varmempaa. Moduulit koostuvat esimerkiksi kokoonpano-luurangoista, alikokoonpanoista, komponenteista ja mallinnukseen käytettävistä geometrisista rajoitteista.

### 2.6.3 Parametrisointi

Parametrisoinnilla tarkoitetaan sitä, että tietystä mallin attribuutista luodaan parametri, joka on helposti muokattavissa. Attribuutti voi olla esimerkiksi hissikorin korkeus. Kun hissikorin korkeudesta on muodostettu parametri, sitä voidaan muokata asettamalla arvo. Parametrisointi on perusta tuotteistamiselle.

Tuotemallin tilausta varten luodaan tilausohje, jossa esitetään kaikki tuotemallia ohjaavat parametrit. Kun tilausohjeeseen on täytetty tarvittavat parametrien arvot, tuotemalliin voidaan syöttää arvot parametreille manuaalisesti tai niin sanotun XML-tiedoston avulla. XML-tiedosta kerrotaan enemmän kohdassa 2.7.2. Tuotteen parametrit on muodostettava ja nimettävä niin, että tuotteistamisprosessissa käytettävät ohjelmistot ovat toisiinsa nähden synergiassa. Asiakkaan vaatimuksilla hissikoriin liittyvät arvot ajetaan PDM-järjestelmään, josta tulostetaan xml-koodi, joka syötetään Pro/ENGINEER-ohjelmistoon. Jotta ohjelmat ymmärtävät toisiaan, ovat parametrien nimet oltava samanlaiset. Parametrien nimeämisen on myös seurattava KONE Oyj:n standardeja.

### 2.6.4 Suhteet ja ehdot

Suhteilla ja ehdoilla määritetään tuotemallin funktionaalisuus. Suhteet ja ehdot ovat makroja, jotka ohjaavat mallia. Makro on tietokone-ohjelmointiin liittyvä toimenpide, joka ohjaa ohjelman toimintaa määritetyllä tavalla.

Tuotemallin jokainen taso sisältää suhde- ja ehto-informaatiota. Tämä informaatio on erittäin oleellista mallin toimivuudelle. Informaation käyttöä ja etenemistä kommentoidaan, jotta mallin funktionaalinen ymmärtäminen helpottuu. Mallin ohjelmoinnin on oltava helposti luettavissa. Suhteilla ohjataan mallin käyttäytymistä luomalla riippuvaisuuksia ominaisuuksien välille. Niillä voidaan esimerkiksi liittää kaksi dimensiota toisiinsa, milloin toista dimensiota muuttamalla myös toinen dimensio muuttuu. Tämä mahdollistaa sen, että pääparametrien määrä voidaan pitää vähäisenä. Liittämällä dimensio suhteen avulla parametrisoituun päädimensioon ohjataan päädimension avulla myös tätä dimensiota.

Keskinäisillä suhteilla tehostetaan tuotemallin toimintaa, mutta keskinäisten suhteiden määrittämisessä on oltava tarkka. Kun luodaan funktio kahden ominaisuuden keskinäiselle

suhteelle, on molempien funktioiden oltava läsnä funktiota toteutettaessa. Jos toinen ominaisuus puuttuu, funktion suorittaminen ei onnistu ja pahimmassa tapauksessa tuotemalli ja ohjelma sammuvat. Ongelman etsiminen syvältä tuotemallista voi viedä aikaa.

Ehtojen avulla ohjelmoidaan mallia käyttäytymään tietyissä tapauksissa asetettujen määritteiden mukaisesti esimerkiksi peittämällä tarpeeton osa mallia ja tuomalla esiin tärkeä osa. Peittäminen eli Suppressointi on tärkeä ominaisuus monimutkaisessa ylhäältä-alas -mallinnuksessa. Monipuoliset mallit sisältävät erittäin paljon informaatiota ja osa mallista peitetään parametrien mukaan. Jos- eli IF-komennon käyttö on hyvin yleistä mallin käyttäytymistä määritettäessä. Suhteiden ja ehtojen avulla tuotteen mallista saadaan automatisoidumpi ja yksinkertaisempi käyttää. Pro/ENGINEER- ohjelmistossa suhteet määritetään erillisessä relations-valikossa tai sisällytetään ohjelmointiin.

#### 2.6.5 Ohjelmointi

Relations-valikon lisäksi Pro/ENGINEER:stä löytyy erikseen Pro/PROGRAM-valikko. Tässä valikossa määritetään mallin ohjelmointi. Relations-valikko on osana Pro/PROGRAM:a. Pro/PROGRAM luo CLS-tiedoston, jota voi muokata esimerkiksi Windowsin Notepadilla. Pro/PROGRAM:ssa ohjelmoidaan malli toimimaan makrojen avulla.

### 2.7 Käytetyt ohjelmat

Diplomityössä käytetään KONE Oyj:n resursseja. KONE Oyj tarjoaa diplomityön tekemiseen ohjelmistot. On myös käytännöllisempää käyttää KONE Oyj:n ohjelmia, välttääkseen prosessissa syntyvät ongelmat. Pääohjelmat, joita työssä tullaan käyttämään, ovat: Pro/ENGINEER WildFire 4.0, VariPDM ja WindChill. Ohjelmia käyttäessä on otettava aina huomioon niiden yhteensopivuus ja synkronoitavuus. Mallinnusprosessi tulee viemään eniten aikaa ja mallinnusprosessin aikana tulee huomioida tarkasti myös muut diplomityössä käytettävät ohjelmat

#### 2.7.1 Pro/ENGINEER WildFire 4.0

Pro/ENGINEER WildFire 4.0 on PTC:n eli Parametric Technology Corporation:in vuonna 2001 julkaisema CAD-ohjelmisto, mitä käytetään tässä diplomityössä

pääsuunnitteluohjelmana. WildFire erikoistuu parametriseen ja ylhäältä-alas –mallintamiseen ja sen takia sopii hyvin massaräätälöivän tuotteen suunnitteluun. WildFire:ssä parametrinen ylhäältä-alas –mallinnus suoritetaan helposti ohjelmasta löytyvillä luurankokomponentteina. Luurangot toimivat referensseinä tuotteelle, tuotteen ominaisuuksille, alikokoonpanoille yms. WildFire:ssä tuotteelle asetetut parametrit toimivat synergisesti PDM-järjestelmän kanssa. Parametrit nimetään ja asetetaan sallitut parametrien arvot. WildFire on suunniteltu toimivaksi useimpien PDM-järjestelmien kanssa ja on helposti integroitavissa KONE Oyj:n PLM-järjestelmään.

### 2.7.2 VariPDM

VariPDM-ohjelmisto erikoistuu asiakasräätälöitävien tuotteiden ohjaamiseen ja hallintaan parametrein. VariPDM-järjestelmän tuotteiden parametrejä ohjataan XML-tiedostojen avulla. WildFire 4.0 tukee XML-tiedostoja. VariPDM-ohjelmaan määritetään asiakkaan vaatimat parametrien eli attribuuttien arvot. VariPDM-ohjelmasta tulostetaan XML-tiedosto, jonka avulla mallinnus-ohjelmalla luotu malli generoidaan. Wildfire 4.0 ja VariPDM ovat integroitu Link-IT –työkalun avulla. Link-IT -työkalu on itsenäinen lisäosa Pro/ENGINEER-ohjelmistoon, jonka avulla PDM-järjestelmä ja mallinnusohjelmisto integroidaan yhteentoimivaksi.

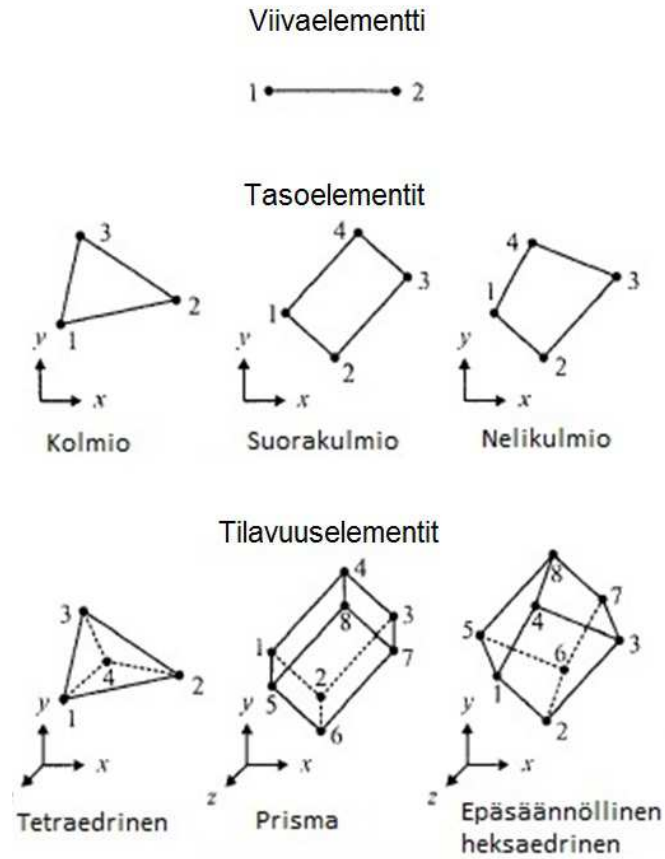
### 2.7.3 WindChill

WindChill on PTC:n julkaisema PDM-järjestelmä. WildFire ja WindChill ovat saman valmistajan ohjelmistoja ja niiden toiminta on synkronoitavissa. WindChill:iä käytetään suunnittelumallien verkko-pohjaiseen hallintaan. WindChill hoitaa tässä työssä vain mallien hallintaa ja sitä voidaan käyttää suunnitelmien säilyttämiseen.

### 2.7.4 Ansys

Ansys –ohjelmistoa käytetään korin rakenteiden lujuustarkasteluun. Ansys-ohjelmisto soveltuu FEM- (Finite Element Method) eli elementtimenetelmä –analyysiin. Ansys-ohjelmistossa käytetään rakenteellista tarkastelua ja etenkin staattisen kestävyuden analysointia. FEM-analyysi pohjautuu ajatukseen, että tarkasteltava rakenne koostuu elementeistä ja solmuista. FEM jakaa ongelman rajalliseen määrään ongelmia. Solmut ovat elementtien kiinnityspisteitä. Elementtien määrä vaikuttaa lujuustarkastelun tarkkuuteen, mutta suuri määrä elementtejä saattaa aiheuttaa myös ongelmia. Myös elementtien laatu

vaikuttaa lopputulokseen, sillä elementtejä on erilaisia. Kuvassa 14 on esitetty elementtityypit.



**Kuva 14.** Elementtityypit (Erdogan & Ibrahim, 2006, s. 4).

### 3 TULOKSET

Tässä diplomityön osuudessa suoritetaan kulmakorin kehitys. Tuotekehitys painottuu hyvin vahvasti suunnitteluun ja myös tuotteistamiseen. Kulmakori kehitetään modulaariseksi tuotearkkitehtuuriksi. Otsikon 2.1.1 alla on esitetty menetelmiä massakustomointiprosessiin liittyen. Näiden avulla tutkitaan tuotearkkitehtuurin implementointiin liittyvät inputit eli esitiedot ja rajoitteet. Tämän jälkeen modulaarisen tuotearkkitehtuurin suunnittelu ja mallinnus suoritetaan systemaattisesti vaiheittain. Tuotekehitysprosessi perustuu kuvassa 2 olevaan Kean C. Aw:n (2004) esittämään prosessikaavioon.

#### 3.1 Tuotteistamisen esitiedot

Kohdassa 2.1.1 on esitetty ajurit massakustomoitavalle tuotteelle ja alaprosessit, jotka ovat keskeisiä massakustomoitavan tuotteen tuotteistamisprojektin onnistumisessa. Ajureita ovat kysyntä massakustomoitavalle tuotteelle, markkinoiden turbulenssi, toimitusketjun valmius ja tietopohjainen organisaatio. Kulmakorien kysyntä on ollut vakaassa kasvussa eikä markkinoilla näy hidastumisen merkkejä, sillä etenkin Kiinassa rakentaminen on edelleen kasvussa. Kulmakorit ovat myös lähes jokainen toisistaan erilaisia ja asiakkailta on aina yksilölliset vaatimukset.

Markkinoiden turbulenssi näkyy asiakkaiden vaatimusten koventumisena ja kärjistyneenä kilpailuna. Kokoajan kilpaillaan korkeimpien rakennusten tittleistä ja rakentaminen ylöspäin on jatkuva trendi. Korkeammat rakennukset vaativat myös hisseiltä paljon.

KONE Oyj:llä on myös aikaisempia modulaarisia tuotearkkitehtuureja, joita on onnistuneesti toimittanut. Toimitusketjulla on siten valmiudet uudelle tuotearkkitehtuurille. Tiedonkulku toimitusprosessien välissä on myös todistettu toimivaksi edellisten tuotteiden toimituksia seuraamalla.

Kohdan 2.1.1 alaprosessit määritetään tähän diplomityöhön sopiviksi: tuotekehitys, myynti ja markkinointi, hankinta, tuotanto, logistiikka ja implementointi. Tuotekehitys on monimutkaisin ja eniten aikaa vievä prosessi. Tuotekehitys on enimmäkseen

tuotesuunnitteluprojekti, koska aikaisempia kulmakoreja on tehty tapauskohtaisena suunnitteluna. Tulokset-osio käsittelee suurimmaksi osin kulmakorin suunnitteluprosessia.

Monipuolisesta tuotearkkitehtuurista ei ole hyötyä, jos asiakkaille ei markkinoida ja myydä heidän halujen mukaisia tuotteita. KONE Oyj:ltä löytyy myynti- ja markkinointityökaluja, joilla asiakkaille esitetään hissikorien visuaaliset ja funktionaaliset vaihtoehdot. Esimerkiksi materiaalit ja valaisintyypit löytyvät myyntityökaluista. Myös katalogeja tuotetiedoista löytyy. Kulmakorin myynnissä ja markkinoinnissa voidaan käyttää jo olemassa olevia myynti- ja markkinointityökaluja. Valmiista tuotearkkitehtuurista luodaan tilausohje, joka määrittää rajat tuotevarianteille. Tilausohje on myös työkalu myynnille tuotearkkitehtuurin tuntemiseen. Kuvassa 15 on KONE Oyj:n käyttämän visuaalisen myyntityökalun hissikorin esimerkki.



**Kuva 15.** Esimerkki myyntityökalun visualisoidusta hissikorista.

Kuvassa 15 sivuseinillä on kullanvärisiksi värjättyä harjattua ruostumatonta terästä. Takaseinällä on tummennettua lasia. Sisäkattona on kullanvärisiksi pinnoitettua

peilikiiltävää terästä, jonka ympärillä valaisimina led-valot. Myös käsikaide on kullanväriseksi pinnoitettu.

Tulevaan tuotearkkitehtuuriin ei sisälly juurikaan erikoisia osia ja pyritään kommonaalisuuteen eri tuoteperheiden yhteisiin osiin. Tuotearkkitehtuuri pyrkii käyttämään mahdollisimman paljon jo olemassa olevia ratkaisuja, materiaaleja ja komponentteja. Kulmakorin monimutkainen ja spesiaali rakenne vaatii kuitenkin suurimmaksi osaksi konfiguroitavia osia. Hankintaryhmän toimintaa helpottaa myös tuotearkkitehtuurin modulaarisuus. Tuotteen moduulien hallinta onnistuu yksinkertaisemmin kuin kokonaisen tuotteen. KONE Oyj:llä on kokemusta aiemmista modulaarisista hissikorituotteista. Hankintaryhmällä on valmiudet uuteen korituotteeseen.

KONE Oyj:n Hyvinkään yksikkö vastaa erikoiskorien valmistuksesta. Yksikössä on valmistettu aikaisemmin massakustomoitavia koreja. Tutkimalla tuotannon valmistuspisteet voidaan todeta, että tuotannolla on täysi valmius myös uudelle kulmakorituotteelle. Etenkin alkuun diplomityönkannalta on hyvä valmistaa työn kulmakoreja vain Hyvinkään yksikössä. Tämän avulla voidaan heti havaita ongelmakohtat ja virheet, ja iteroiden pyrkiä virheettömään tuotantoon. Tuotearkkitehtuurin suunnitteluvirheet on hyvä poistaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, ettei virheistä muodostu toistuvia. Hyvinkään yksikössä suunnittelutoimisto ja tuotanto ovat saman katon alla, joten interaktiivisuus tuotannon ja suunnittelun välillä on olennaista. Työn kannalta on myös käytännöllistä, että yksi henkilö vastaa ensin kulmakorien konfiguroinneista. Kun tuotemalli on todettu toimivaksi, voidaan tuotteen suunnittelu ja konfigurointi delegoida eteenpäin.

Logistisesta näkökulmasta kulmakori ei eroa juurikaan muista hissikoreista. Kulmakori voidaan kuljettaa rahtina kuten muutkin hissikorit. Kulmakorissa ei myöskään ole komponentteja, joiden toimitus olisi haastavaa. Myös moduulit voidaan valmistaa helposti eri yksiköissä ja toimittaa yhteen yksikköön koottavaksi.

Implementoinnissa koko toimitusprosessin alaprosessien rajapintojen välistä yhteyttä linearisoidaan ja yhtiön sisäistä tuotteeseen liittyvää vuorovaikuttamista helpotetaan. Implementoinnin avulla pyritään poistamaan prosessien epäselvyyksistä johtuvat

tuotevariantin toimituksen keskeytykset tai hidastukset. Koska kulmakorista luodaan oma tuote, muuttuu sen toimituskanava hieman erilaiseksi. Prosessien on oltava sulavia ja prosessien välinen toiminta sulavaa. Ensinnäkin myynnin on tiedostettava uusi tuote. Kun tuote on myyty, on FL:n osattava ohjata tuote suunniteltavaksi SOF:iin. Hissi ohjataan FL:stä layoutin-suunnitteluun. Layout-suunnittelun on tiedettävä olemassa olevasta tuotearkkitehtuurista ja sen rajoista, jotta kuilumekaniikka ja korin kehys voidaan suunnitella tuotearkkitehtuurin mukaisesti. Layout-suunnittelun jälkeen erittelyn on tunnistettava kori kulmakorituotteeksi. Erittely osaa tämän jälkeen ohjata vaatimukset suunniteltavaksi tai konfiguroitavaksi oikeaan paikkaan eli DECO-osastolle. DECO-osastolla suunniteltu tai konfiguroitu tuote ohjataan tuotantoon. Implementoinnin osalta ongelmia ei ole. Tuote on vain saatava toimitusprosessin osapuolien tietoisuuteen.

### 3.2 Tuotekehityksen esitiedot

KONE:n Hyvinkään tuotekehitysyksikössä suoritetaan vakiotarjonnassa olevien hissikorien tuotekehitystyö. Kulmakorit suunnitellaan tällä hetkellä erikoissuunnitteluna. Kulmakorien jatkuva kysyntä lisää kannattavuutta kulmakorin tuotekehitykselle. Uusi kulmakori on tuotekehitysprojekti, joka ei pyri kopioimaan vanhaa c-suunnittelun kulmakoria, vaan tuotekehitysprojektissa tutkitaan kulmakorin mahdollisuuksia innovaativiselta kannalta. 3D-mallinnus helpottaa tuotekehitysprojektia, sillä 3D-mallintaminen mahdollistaa hyvän havainnollistamisen ja visuaalisen näkökulman, joka on lähempänä lopullista tuotetta kuin 2D-piirtämisessä. Kulmakorin tuotekehitystyön jälkeen kulmakori on autonominen tuote eikä ole enää sidoksissa muihin hissikoreihin kuten ennen. Kulmakorilla on myös oma erillinen jatkokehitystyö.

Työssä painotetaan laatua, koska jokainen aiempi kulmakori on sisältänyt laadullisia virheitä ja täten ylimääräisiä kustannuksia. Myös korin asettaminen kuiluun on aiheuttanut ongelmia etenkin tasapainotuksen suhteen. Korin asettamisen suunnittelusta vastaa Layout-osasto. Layout-osaston kanssa tehdään yhteistyötä heidän suunnitteluohjeiden suhteen. Layout-suunnittelusta johtuvia virheitä on sattunut kulmakorien suhteen myös huomattavasti enemmän suhteessa tavallisiin koreihin. Layout-suunnittelusta johtuvat virheet johtavat myös yleensä asennuspalautteeseen, jonka kustannukset ovat suuremmat kuin tuotannon keskeytyksen. Tämän takia layout-suunnittelusta johtuvat virheet on saatava minimiin. Layout-suunnittelussa määritetään korin tasapainotus. Esimerkiksi korin

tasapainotuksessa on tullut ongelmia, sillä useasti kehys ei ole kulkenut korin kulmien läpi. Tästä aiheutuu niin sanottu liukumäki-efekti eli korin toinen kulma on alempana kuin toinen. Myös kehyksen johteille aiheutuu suuret jännitteet tästä johtuen.

Laadun kannalta järkevää on käyttää kuvassa 2 esitettyä tuotekehitysprosessia, vaikka vaiheet yksi ja kaksi eivät ole niin oleellisia tässä työssä. Jokaisesta vaiheesta kerätään informaatiota tulevaisuuden projekteja ja "jatkovaa parantamista" varten. Prosessivaihe yksi koostuu diplomityön aloituksesta. Eli kun työn aloituksesta ja resursseista sovittiin suoritettiin vaihe yksi. Toisessa vaiheessa suoritettiin budjetointi eli määrä mikä diplomityönsuorittajalle maksetaan ja projektisuunnitelma. Projektisuunnitelma ja aikataulut sovittiin yhdessä työn tarkastajien ja työnantajan kanssa.

Kolmannessa vaiheessa suoritetaan tuotteen suunnittelu. Kolmannesta vaiheesta annetaan palautetta toiseen vaiheeseen. Suunnittelun päävaiheet ovat abstrakti-, konsepti-, ja yksityiskohtainen suunnittelu. Ylhäältä-alas –mallinnustekniikka on hyvin soveltuva tämänkaltaisen modulaarisen tuotearkkitehtuurin suunnitteluprosessiin. Abstraktisen suunnittelun –vaiheessa määritetään suurin osa tuotteen funktioista, konfiguraatitiedoista ja rajoitteista. Abstraktisuunnittelu on enimmäkseen tuotteeseen liittyvän informaation keräämistä ja kasaamista. Tätä informaatiota tullaan hyödyntämään myöhemmässä vaiheessa. Konseptisuunnittelussa on tärkeitä tutkia kuinka abstraktisen suunnittelun vaiheessa kerättyä informaatiota voidaan muuttaa dataksi. Konseptointivaiheessa tuotemallille muodostetaan myös geneerinen geometria. Abstraktin toiminnallisuuden rajoitteiden muuttaminen CAD-dataksi suoritetaan konseptointivaiheessa ja yksityiskohtaisessa suunnittelussa lopullinen toiminnallisuus muutetaan dataksi. Yksityiskohtaisessa suunnittelussa suunnitellaan ja mallinnetaan kulmakorin komponentit. Suunnitteluvaihe koostuu täten kolmesta osasta. Suunnitteluvaiheen konseptisuunnittelusta annetaan palautetta abstraktivaiheeseen ja yksityiskohtaisesta suunnittelusta konseptivaiheeseen.

Validointia suoritetaan jo kolmannessa vaiheessa, mutta neljäs prosessin vaihe koostuu päävalidoinnista. Tässä vaiheessa suoritetaan rajoitettu tuotanto tuotteista, jotka menevät asiakkaille. Osasta tuotteista suoritetaan prototyyppi ennen tuotteen asennusta. Kaikki palaute ohjataan takaisin suunnittelijalle, joka muokkaa tuotemallia tarvittaessa. Tässä

työssä on vain yksi suunnittelija eli diplomityön tekijä, joka vastaa koko validointiprosessista. Ihanteellisessa viidennessä vaiheessa suunnittelu automatisoitaisiin täysin. Tällöin kaikki kulmakorit konfiguroitaisiin CAD-robotilla, joka tulostaisi kuvat valmistusta varten. Kulmakorit ovat kuitenkin lähes mielivaltaisia muodoiltaan, joten täydellistä suunnittelun automatisointia ei voida saavuttaa. Tässä tapauksessa tuotemalli annetaan kaikkien korisuunnittelijoiden käyttöön. Edelleen validointia suoritetaan viidennessä vaiheessa. Kulmakorien pääsuunnittelija omistaa emomallin, jota päivitetään tarpeen vaatiessa. Tuotemallista löydetty virheet ilmoitetaan virheilmoitus-dokumenttiin.

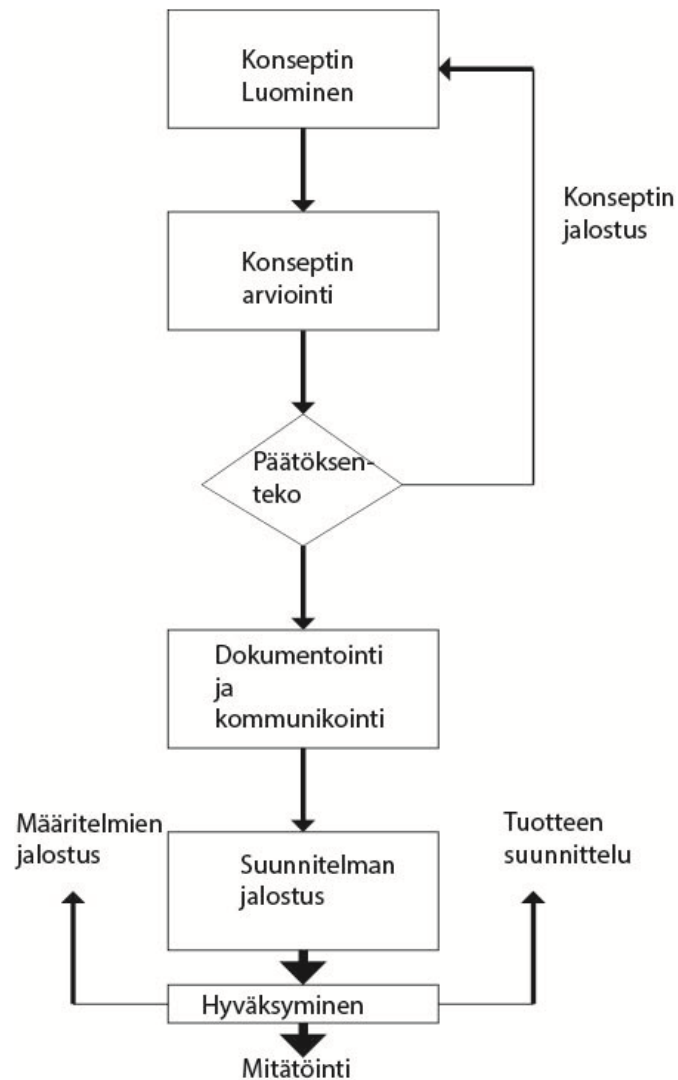
Tässä työssä FMEA:lla suoritetaan moduulipohjainen virheanalysointi suunnitteluprosessin aikana. Jokaisesta moduulista määritetään riskialteimmat ominaisuudet jo abstrakti- ja konseptivaiheessa. Tunnistettaessa kriittisimmät kohdat jo aikaisemmassa vaiheessa voidaan ratkaisut implementoida helposti yksityiskohtaisessa suunnittelussa. Kuvassa 16 esitetään matriisi virheanalyysia varten, minkä avulla määritetään potentiaaliset häiriötekijät. Häiriötekijöiden analysoinnissa käytetään RPN:iä eli riski prioriteetti numeroita arvioimaan häiriötekijän vakavuutta ja vaikutusta tuotesuunnitteluun. RPN muodostuu esimerkiksi kriittisyystasosta ja muodostumismahdollisuudesta suunnittelussa.

Component	Subcomponent	Part / Subpart	Functions, Features and requirements	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Potential Effect(s) of Failure on Elevator Level	Sev	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	P r o b	Current design control, Prevention / Detection	D e t	R P N	Recommended Action(s)	Responsibility & Target Completion Date
-----------	--------------	----------------	--------------------------------------	---------------------------	--------------------------------	--------------------------------------------------	-----	---------------------------------------------	---------	------------------------------------------------	-------	-------	-----------------------	-----------------------------------------

**Kuva 16.** FMEA-analyysiä häiriötekijöiden tunnistamiseksi.

### 3.3 Abstraktisuunnittelu

Modulaarisen tuotearkkitehtuurin abstraktisuunnittelu on pääosin tiedonkeruuprosessi. Abstraktisuunnittelussa käytetään muistiinpanoja. Informaatiota kerätään aiemmista hissikoriprojekteista, standardeista, suunnittelijoilta ja esimerkiksi markkinoita analysoimalla. David G. Ullman esittää konseptoinnin vaiheet kuvan 17 mukaisesti, mutta tämä kuva kuvaa enemmän abstraktointia tässä diplomityössä.



**Kuva 17.** Abstraktisuunnittelun vaiheet. (David G. Ullman, 2010, s. 146.)

Diplomityön rajauksessa on määritelty tuotemallin kattavuus. Tuotemallin tulee kattaa 48,12 % asiakkaiden mahdollisista vaatimuksista. 48,12% muodostuu luvuista 88% ja 60%. 60 % kulmakoreista on kahdesta kulmasta viistettyjä. Tuotemallin tulee myös sisältää 88 % asiakkaiden mahdollisista vaatimuksista. Kulmakorin muoto rajoittuu 60 %:iin, mutta tulevaisuutta ajatellen tuotemallin on joskus sisällettävä jopa 95 % mahdollisista muotovaatimuksista. Konseptisuunnittelussa on täten otettava huomioon jatkokehityksen helppous. Abstrakti- ja konseptisuunnittelussa käytetään FMEA-tekniikkaa virheiden havainnollistamiseen ja QFD-menetelmää, joka on määritetty osiossa 2.1.2.

Hissikorin suunnittelussa otetaan huomioon kuilun ja asiakkaan asettamat vaatimukset, käyttötarkoitus ja muiden osastojen määrittämät ominaisuudet. Hissikoriin on oltava implementoitavissa hissien signalisaatio ja ovet erillisenä suunnitteluna. Myös kuilumekaniikka on otettava huomioon. Hissikorien suunnittelussa seurataan aina hyvin tarkasti kansainvälisiä standardeja. Hissikorien suunnittelu aloitetaan asiakkaalle lähetettävistä tarjouskuvista. Tarjouskuvan jälkeen voidaan vielä lähettää asiakkaalle hyväksyntäkuva, jonka perusteella aloitetaan hissikorin suunnittelutyö.

Hissikuilu määrittää hissikorin ulkomitat ja muodon. On otettava huomioon, että hissikorin ympärille tulee kehys, jonka avulla hissikori kulkee tasaisesti kuilussa johtimia pitkin. Asiakkaan asettamat vaatimukset luovat hissikorille sen yksilöllisyyden. Asiakas voi määrittää muun muassa näkyvien osien materiaaleja ja paikoituksia. Asiakas päättää esimerkiksi käsikaiteen tai peilin paikan ja materiaalin ja sisäseinien materiaalin.

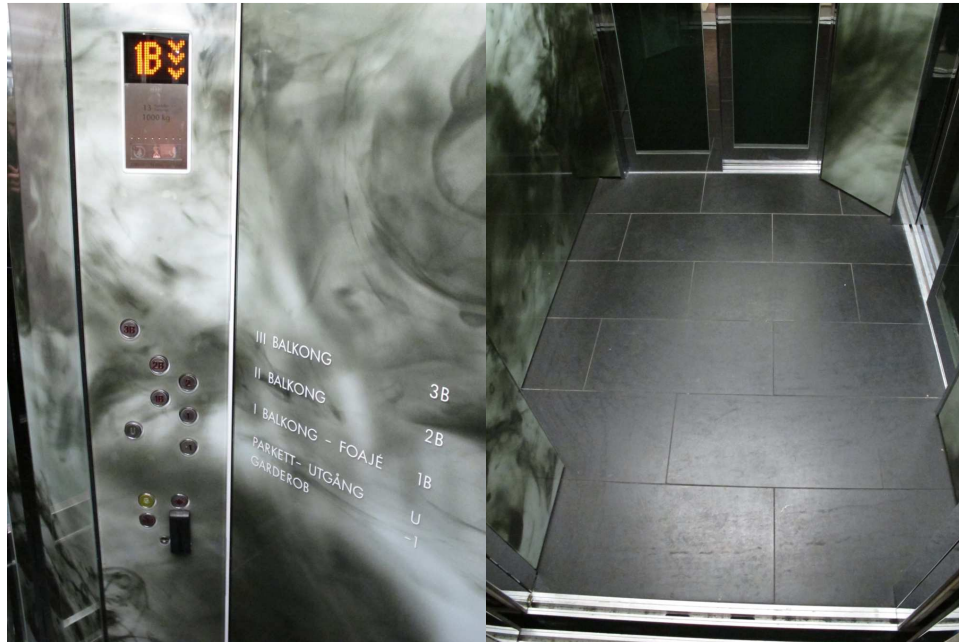
Käyttötarkoitus asettaa muun muassa lujuusvaatimuksia. Tässä diplomityössä suunnitellaan vain henkilöliikenne käyttöön tarkoitettua hissiä. Käyttötarkoitukseen sisältyy myös suurin sallittu kuorma ja henkilömäärä. Suurin sallittu kuorma vaikuttaa esimerkiksi hissikorin lattian vahvuuteen. Hissikorin eri osat tullaan suunnittelemaan yksitellen moduuleina. Hissikorin suunnittelussa käytetään 2.1-kohdan näkökulmia. KONE Oyj:n standardoituja osa- ja kokoonpanosuunnitelmia käytetään hyödyksi.

Hissikori muodostuu niin sanotusta raakakorista ja sisustuksesta. Raakakori suunnitellaan ensimmäisenä, jonka jälkeen lisätään lisäosat. Raakakori muodostuu pääasiassa seinistä, lattiasta, katosta ja korin katolla olevista kaiteista. Raakakorin materiaalivalinnat perustuvat kustannuksiin, visuaalisuuteen, valmistettavuuteen, saatavuuteen ja lujuusvaatimuksiin. Hissien käyttäjille näkyvissä osissa panostetaan visuaalisuuteen. Näkyvät osat ovat asiakkaan vaatimusten mukaiset. Käyttäjille näkymättömissä osissa panostetaan kustannuksiin. Saatavuus on osana kustannuksia. Korin osalla, joka ei ole näkyvissä eikä joudu kantamaan suuria kuormia, on alhaiset vaatimukset. Kustannussyistä voidaan käyttää halpaa materiaalia, joka on helposti saatavilla. Esimerkiksi katon levyt voidaan valmistaa sähkösinkitetystä teräksestä. Useasti katto kuitenkin maalataan, jos hissien kuiluun on näköyhteys. Tarraajat kiinnitetään katon c-kiskoihin, mutta suurimmat kuormat kohdistuvat lattiaan. Lattian materiaalien valinnassa panostetaan

lujuusvaatimuksiin ja valmistettavuuteen. Lattian osat hitsataan toisiinsa kiinni ja materiaalina käytetään yleisesti rakenneterästä. Lattia on aiheuttanut kulmakoreissa aikaisemmin eniten ongelmia. Seinäpaneelit voivat olla piilossa tai näkyvissä. Piilossa ollessa niiden päälle voidaan laittaa esimerkiksi laminaattia. Tällöin seinäpaneelit ovat halpaa materiaalia. Näkyvissä ollessa seinäpaneelilla on tarkat visuaaliset vaatimukset. Seinäpaneelien lujuusvaatimuksia parannetaan vahvisteilla etenkin estämään paneelin lommahdus.

Lisäosia korissa ovat muun muassa sisäkatto, joka sisältää valaistuksen, käsikaiteet ja tuoli. Lisäosat ovat valmiiksi suunniteltu ja mallinnettu, mutta niiden implementoiminen kulmakoriin voi olla hankalaa. Esimerkiksi sisäkatto on neliskulmainen. Sisäkatot ovat myös yleensä joko keskeltä aukeavia tai toisesta reunasta aukeava. Kulmakorissa on yleensä kaksi reunaa viistettynä, jolloin keskeltä aukeavaa tai reunasta aukeavaa sisäkattoa ei voida käyttää. Tällaisessa tapauksessa voidaan käyttää sisäkattoa, joka on neliskulmainen, mutta ei ylety korin reunoihin asti viistetyillä seinillä. Toinen mahdollisuus on suunnitella molemmista reunoista aukeava sisäkatto, jossa on keskellä saranat. Tällöin sisäkatto pääsee normaalisti aukeamaan. Standardit määrittävät yleisiä vaatimuksia hisseille. Euroopassa, Amerikassa ja Aasiassa on osittain omat standardit. On myös maakohtaisia lakeja ja standardeja.

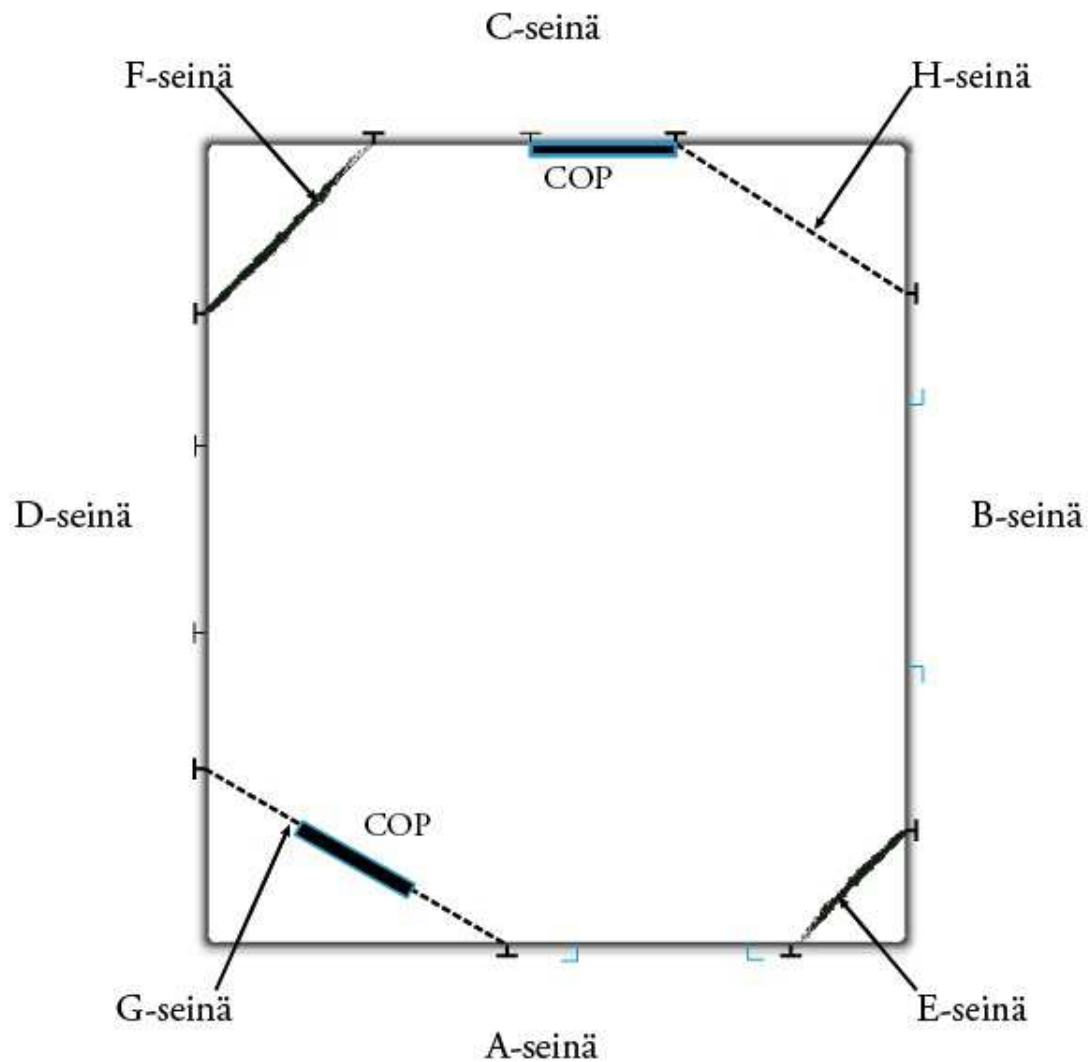
Vaikka kulmakorien ääritapaukset eivät sisälly diplomityön rajaukseen, on hyvä selvittää minkälaisia kulmakorien ääritapauksia on aikaisemmin ollut. Yksi erikoisimmista hissiratkaisuista löytyy Helsingistä, Svenska Teatern:sta. Svenska Teatern on ruotsinkielisiä näytelmiä esittävä teatteri. Teatterissa on yksi kolmiovinen kulmakori, jossa on taiteilijan visio korin dekoraationa. Korisuunnittelija on suunnitellut kuvasta asiakkaan vaatimuksien mukaan seinädekoraation hissikoriin. Kuvassa 18 näkyy kyseisen hissien seinädekoraatio ja COP.



**Kuva 18.** Svenska Teatern:ssa olevan hissien lattia, seinädekoratio ja COP.

Kuvassa 18 näkyy lasidekoratio, jossa on taiteilijan suunnittelema taustakuva. Dekoraatio on korin seinäpaneelien päällä. Lasidekoratiokomponenttien välissä ei ole mitään. Kuvassa 18 näkyy myös tämän hissien lattia ja korin muoto. Kuvasta näkyy, että hississä on kolme ovea ja toinen kulmaviistoksista ei ole täysin korin nurkassa. Näistä johtuen kyseinen hissi ei sisältyisi diplomityön rajaukseen. Hissien tarkastelu paikan päällä toi kuitenkin konkreettista kuvaa kulmakorista ja ideoita tuotearkkitehtuurin monipuolistamiseen.

Kulmakorin parametrisuuden suurimmat haasteet ovat todennäköisesti muotojen huomioon ottamisessa mallin ohjelmointia tehtäessä. Normaalin hissikorin suunnittelussa ei tarvitse ottaa huomioon muotodiversioita, jolloin pelkästään päädimensioparametreilla voidaan ajaa korimallin geometrioita. Abstraktisen suunnittelun apuna käytetään Adobe Illustrator CS6 –ohjelmistoa. Kuvassa 19 on esitetty kulmakorin muotokonsepti.



**Kuva 19.** Kulmakorin muotokonsepti.

Korin seinämät on nimetty A-, B-, C- ja D-seiniksi. Kulmakorissa on perinteisestä hissikorista poiketen seinäpaneelit myös viistetyillä nurkilla. Nämä seinät on nimetty E-, F-, G- ja H-seiniksi. Kulmakorin tuotemalliin lisätään aina seinäpaneelit joko E- ja F-seinämille tai G- ja H-seinämille. Tämä tarkoittaa, että hissien kehys tulisi kulkemaan aina kulmien läpi. Diplomityössä on kerrottu aiemmin esimerkiksi sivulla 54, että viistämällä aina kaksi kulmaa saavutetaan 60 % toimitetuista kulmakoreista. Tämä on työn tavoite, mutta myös aikaisemmin toimitettujen kulmakorien laadullinen riskitekijä. 40 % aikaisemmin toimitetuista hisseistä on sisältänyt suuren laadullisen riskin. Tuotearkkitehtuurin rajoittamisella kahteen muotoon säästetään korin

tasapainotusongelmilta ja varmennetaan kulmakorien laatu. Tämä vaatii yhteistyötä layout-osaston kanssa ja palaverien järjestämistä.

Kulmakorissa on pääsääntöisesti kaksi ovea ja ovet sijoitetaan aina A- ja B-seinille. Erikoistapauksissa ovi on vain A-seinämällä, mutta tällaiset tapaukset eivät sisälly diplomityön rajaukseen. Aivan erityistapauksissa ovi voi olla myös kolmella seinällä. Diplomityön rajauksen mukaan seinäviisteitä on aina kaksi ja ne ovat vastakkaisissa nurkissa. Päämuototyyppellä mallilla tulee siten olla kaksi. Kulmakorin päämuotoa ohjataan tyyppiparametrin mukaan. Diplomityön tuotemalli sisältää kaksi eri tyyppiä, jolloin ensimmäisessä tyyppissä malli sisältää E- ja F-seinät ja toisessa tyyppissä G- ja H-seinät. Jatkokehityksenä mallille voidaan luoda lisää tyyppisiä kuten viiste vain yhdessä kulmassa yms.

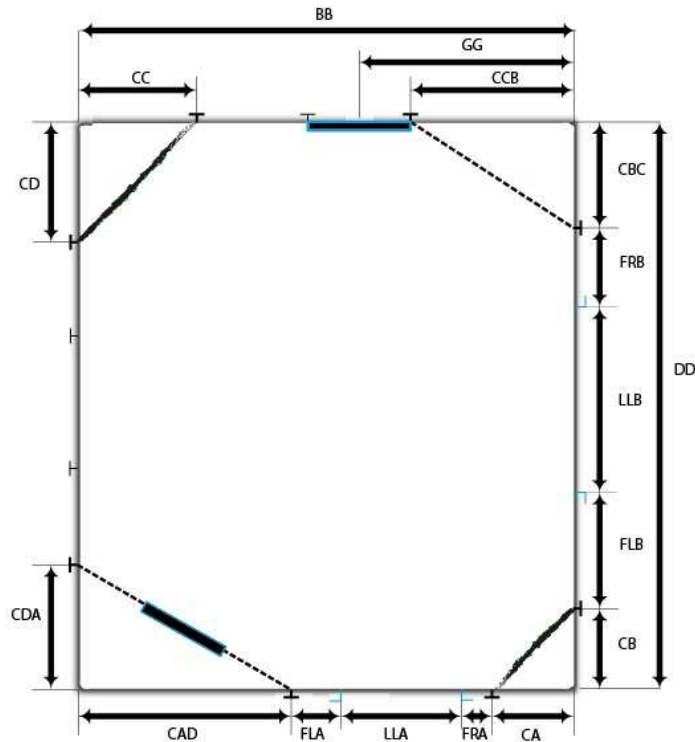
Kuvasta 19 huomataan, että COP (Car operating panel) eli hissien ohjaus paneeli on asetettu kahdelle seinämälle. Tuotemalliin määritetään COP:n positioparametri, jonka avulla ohjataan COP:n paikkaa korissa. Samaan aikaan korissa voi olla kaksi COP:ta eli positioparametrit ovat ensimmäiselle ja toiselle COP:lle erikseen. COP:n paikka korissa voi olla C-, D-, E-, F-, G- tai H-seinällä. Kun COP on viisteseinällä, sen tarkkaa paikkaa on hankalaa määrittää parametrein, joten silloin COP on keskellä seinää tai koko seinän levyinen. COP:n paikoituksessa tulee ottaa huomioon etenkin EN81-70 standardi.

Tuotemallin on toimittava siten, että tilauksen oleelliset parametrit määritetään tuotemalliin ja malli generoituu näiden perusteella. Koreissa on yleiset päädimensiot, jotka joko parametrisoidaan tai määritetään ohjautuvaksi suhteiden avulla. Päädimensioita ovat muun muassa korin leveys, syvyys ja korkeus. Taulukossa 3 on esitetty tarkemmin päädimensiot.

Taulukko 3. Päädimensiot.

Lyhenne	Selite	Huomioitavaa
AA	Johtimen ala- ja yläosan kiinnityksien etäisyys	AK+324
AK	Korin korkeus	CH+SS+H
BB	Korin leveys	
CH	Sisätilan korkeus	
DD	Korin syvyys	
FL	Etuseinämän oven vasemmanpuoleisen seinämän leveys	
FR	Etuseinämän oven oikeanpuoleisen seinämän leveys	
GG	COP-moduulin keskikohdan etäisyys	
H	Sisäkaton paksuus	
HH	Oven korkeus	
HK	Balustraadin korkeus	
LL	Oven avausleveys	
LP	Seinämän dekoraatiopaneelin paksuus	
MM	Käsikaiteen korkeus	
NE	Varvassuojan korkeus	
Q	Maksimi kantokuorma	
SS	Lattian päällysteen paksuus	
TN	Peilin korkeus	

Viisteseinien kulmat määräytyvät seinien nurkkaleikkauksien leveyksistä. Nurkkaleikkauksille määritetään parametrit. Kuvassa 20 on havainnointu tuotemallin päädimensioita.



**Kuva 20.** Tuotemallin horisontaalisten päädimensioiden lyhenteet.

Osa dimensioista kuvassa 20 on uusia, mitä ei vakiotarjonnan tuotteissa ole. Näiden parametrisoinnissa on oltava tarkka, että päällekkäisyyksiä ei synny jo olemassa olevien parametrien kanssa.

Parametreja määritettäessä on otettava huomioon KONE:n sisäinen kansainvälinen parametrusointitapa. KONE:lla parametrit on harmonisoitu PDM-, SAP- ja CAD-järjestelmään. Vakiotarjontaan kuuluvien tuotteiden hallintatiedot on määritetty SAP-järjestelmään. Vakiotarjonnasta poikkeava tuote vaatii SAP-tietoihin erikoismerkintöjä, joista suunnittelija tunnistaa erikoistoimenpiteet. Pääsääntöisesti näitä parametreja tulee käyttää myös mallinnettaessa. Uusia parametreja luotaessa parametri voidaan luoda PDM- ja CAD-järjestelmään, jolloin tuotemallia ohjataan manuaalisesti CAD-järjestelmässä. SAP-järjestelmässä pyritään pitämään vain vakiotarjontaan kuuluvien tuotteiden parametrit.

Parametrityyppinä KONE:n järjestelmässä on viittä erilaista: materiaali-, tyyppi-, määrä-, dimensionaali-, väri- ja positioparametreja. Pro/ENGINEER-ohjelmisto sisältää kolme

erilaista parametrityyppiä: kokonaisluku-, reaalityyppi- ja merkkijonoparametreja. KONE:n järjestelmästä määrä- ja dimensionaaliparametrit ovat kokonaislukuparametreja Pro/ENGINEER:ssä. Materiaali-, tyyppi-, väri- ja positioparametrit ovat merkkijonoparametreja. Koneen järjestelmään parametrit lyhennetään MAT-, TYP-, QTY-, DIM-, COL- ja POS-alkuisiksi parametreiksi. Esimerkiksi etuseinämän A materiaali parametri on MAT\_CAR\_FRONT\_WALL\_A.

Tulevia dekoraatiotiimin tuotekehitys- ja tuotteistamisprojekteja varten diplomityötä tehdessä on huomattu, että suunnittelun ja tuotearkkitehtuurin tarvittavien esitietojen määrittämistä kannattaa varata resursseja ja aikaa. Kehitysprojektia varten alkupalaveri kannattaa pitää niin kutsuttuna aivoriihenä, jossa suunnittelijat voiva esittää ideoitaan. Suoraan konseptointiin tai yksityiskohtaiseen suunnitteluun ryhdyttäessä saattaa suunnitteluprojektista tulla monimutkaisen epälineaarinen. 2 otsikon alla on kaikki olennaiset diplomityöhön liittyvät aihealueet, joita voidaan hyödyntää myös tulevissa projekteissa.

Kulmakori vaatii huomattavan määrän parametreja, joita ei löydy vakiotarjonnasta. Ensisijaisesti on kannattavaa luoda synergia parametrien välille PDM- ja CAD-järjestelmään käyttäen KONE:en parametrisointipolitiikkaa. Jatkossa on mahdollista siirtää tuote vakiotarjontaan ja KONE:en tuotekehitysyksikön vastuulle, jolloin parametrit harmonisoitaisiin myös SAP-järjestelmään.

Konseptisuunnittelussa mahdollistetaan tässä osiossa määritetyn abstraktin datan muuttaminen CAD-muotoon. Konseptisuunnittelussa tulee ottaa huomioon jo esimerkiksi käsikaiteen valinta ja paikoitus, peilin paikoitus ja hissidekoraatio. Esimerkiksi käsikaide sijoitetaan ovettomille seinille eli käsikaiteelle tullaan luomaan rajoitteet ja ehdot. Hissikorin näkyvät seinät voivat olla esimerkiksi ruostumatonta terästä tai seinillä voi olla erillinen dekoraatio.

### 3.4 Konseptisuunnittelu

Konseptisuunnittelussa hyödynnetään abstraktin suunnittelun vaiheessa kerättyä informaatiota. Kerätty informaatio luodaan CAD-datan pohjaksi. Koska tuotemallista on tarkoitus tulla kansainvälinen, on mallinnus- ja suunnittelukielenä käytettävä englantia.

Konseptisuunnittelu aloitetaan luomalla kokoonpano, joka on tuotteen pääkokoonpano ja tuotemallin ylin taso. Uusille komponenteille määritetään juokseva numerosarja KONE:en PDM-järjestelmästä. Ylhäältä-alas –mallinnusmenetelmää käyttäen pienin numerotunnista on päätasolla eli ylimmällä tasolla. Tuotemallin ylin taso sisältää kaikki mallin ohjaamiseen tarvittavat tuotetiedot parametreina, koska tuotemallia konfiguroidaan pääsääntöisesti ylimmältä tasolta, jolloin tuotemallia joudutaan päivittämään vain kerran. Päätasolla täten määritetään kaikki tarvittavat parametrit ja harmonisoidaan toiminta VariPDM:n kanssa lisäämällä parametrit myös Link-IT -lisäosaan. Tämän jälkeen Link-IT -lisäosaa konfiguroimalla jokainen päätason alempi taso saa päätasoa vastaavan konfiguraation. Kuvassa 21 on osa parametreista, jotka on määritetty Link-IT –lisäosaan. Samat parametrit löytyvät myös Pro/ENGINEER:n sisäisestä parametrikirjastosta.

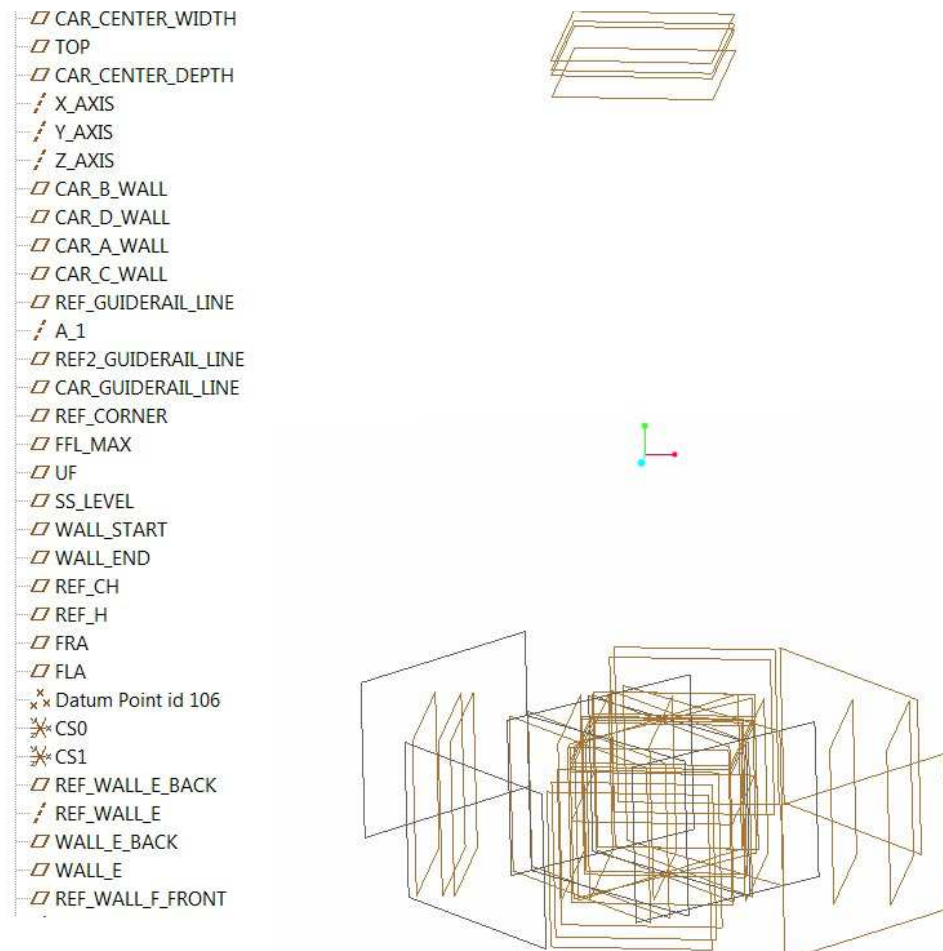
DIM_CAR_SHELL_DEPTH_DD	1500	int
DIM_CAR_CEILING_H	70	int
DIM_CAR_FLOORING_RESERVE_SS	17	int
DIM_CAR_FLOOR_THICKNESS_UF	163	int
DIM_CAR_FRONT_WALL_FL	50	int
DIM_CAR_FRONT_WALL_FL_A	120	int
DIM_CAR_FRONT_WALL_FL_C	250	int
DIM_CAR_FRONT_WALL_FR	50	int
DIM_CAR_FRONT_WALL_FR_A	300	int
DIM_CAR_FRONT_WALL_FR_C	250	int
DIM_CAR_SHELL_WIDTH_BB	1500	int
DIM_CAR_HEIGHT_CH	2200	int
DIM_CDO_HH_A	2100	int
COL_CAR_FLOORING	SF32	str
DIM_CAR_FRONT_WALL_DEPTH_A	35	int
IM_CAR_GUIDE_TO_FRONT_WALL_R	785	int
DIM_CAR_HANDRAIL_CX_LENGTH_HM	0	int
DIM_CAR_HANDRAIL_D1_LENGTH_HM	0	int
DIM_CAR_HANDRAIL_D2_LENGTH_HM	0	int
DIM_CAR_HANDRAIL_DX_LENGTH_HM	0	int
DIM_CAR_HANDRAIL_HEIGHT_MM	0	int
DIM_CAR_PHOTOCELL_UK_1_A	0	int
DIM_CAR_PHOTOCELL_UK_2_A	0	int
DIM_CAR_SKIRTING_HEIGHT_HS	75	int
DIM_CAR_WALL_DECORATION_LP	0	int
DIM_CAR_WALL_MATERIAL_THICKN	1	real
DIM_CDO_LL_A	900	int
DIM_COP_GG_1	466	int
DIM_COP_GG_2	466	int

**Kuva 21.** Parametreja Link-IT –lisäosassa.

Abstraktisuunnittelu –vaiheessa todettiin, että tuote vaatii kaksi mallikonseptia. Mallikonseptin valinnalle luotiin parametri TYP\_CAR\_ADJ\_MODEL, jonka avulla

määritetään mihin korin kulmiin viisteet tulevat. Diplomityön rajoissa tarvitaan vain kaksi eri mallia. Ensimmäisessä viisteet ovat A- ja B-seinän välissä ja C- ja D-seinän välissä. Toisessa viisteet ovat B- ja C-seinän välissä ja D- ja A-seinän välissä.

Tuotteen päädimensioiden rajoitteista vastaa luurankorunko eli pääluuranko ja se on tuotemallin ensimmäinen komponentti. Pääluuranko perustuu kuviin 19 ja 20. Pääluurankoon tullaan referoimaan muut luurangot. Pääluuranko sisältää vain tasorajoitteita ja koordinaatorajoitteita. Pääluuranko ohjaa pääsääntöisesti koko tuotemallia ja sen kaikkia osia. Moduuliluurankojen paikoitus suoritetaan pääluurangon avulla. Pro/ENGINEER-ohjelmistossa pääluurangolle määritetään pääparametrit, joilla myöhemmin voidaan ohjata mallia. Pääluurangolla on kolme päätasoa: ylätaso, syvyyden keskitaso ja leveyden keskitaso. Näiden kolmen tason avulla luodaan loput pääluurangon rajoitetasoista. Kuvassa 22 on esitetty osa pääluurangon rajoitteista. Kuvasta 22 näkyy myös mallipuu, joka seuraa mallinnuksen vaiheita. Osa rajoitteista on vain referenssejä toisille rajoitteille.



**Kuva 22.** Pääluurangon rajoitteita.

Pääluurangon rajoitetasoja ohjataan pääasiassa päädimensioiden parametrien avulla. Esimerkiksi A-seinämän rajoitetason etäisyys syvyyden keskitasosta on  $DD/2$ . DD on lyhenne kuvassa 21 näkyvästä parametrusta DIM\_CAR\_SHELL\_DEPTH\_DD. Lyhenteiden käyttö nopeuttaa suhteiden ja ehtojen määrittämistä. A seinämän etäisyydelle on täten luotu suhde DD-mittaan. Tällä tavoin seinämää A, kuten myös seinämää C, ohjataan parametrisoidulla DD arvolla. Pääluurangon lähes kaikki rajoitetasot määritetään riippuvaisiksi joihinkin pääparametreihin paitsi päätasot. Päätasot ovat kiinni koordinaatiston origossa. Pääluurangon origo on samalla koko tuotemallin origo. Origin paikoitus mahdollistaa tuotevariantin gravitaatiokeskipisteen määrittämisen.

Moduuliluurangot kiinnitetään pääluurangon tasoihin vastaavista moduuliluurangon tasoista. Moduuliluurangot sisältävät tarvittavat rajoitetasot, moduulien ohjaukseen

tarvittavan informaation ja päädimensioihin perustuvan parametrisoitavan geometrian. Moduuliluurankojen geometria on suurpiirteinen geometria tuotteen osasta. Moduuliluurangot sisältävät paljon suhteiden avulla muokkautuvaa geometriaa, koska dimensionaalisten parametrien määrä on pidettävä mahdollisimman vähäisenä ja KONE:en standardien mukaisena. Moduuliluurangot sisältävät ja ohjaavat myös paljon informaatiota liittyen muihin kuin dimensionaalisiin suureisiin. Moduuliluurangoissa otetaan huomioon myös tyyppeihin, määriin ja paikoituksiin liittyvät parametrit. Kokoonpanojen informaatio referoidaan myöhemmässä vaiheessa moduuliluurankoon. Tämän takia lähes kaikki mahdolliset ominaisuudet otetaan huomioon jo moduuliluurankovaiheessa. Jokaiseen moduuliluurankoon määritetään erikseen tarvittavat ja käytettävät parametrit ja suhteet.

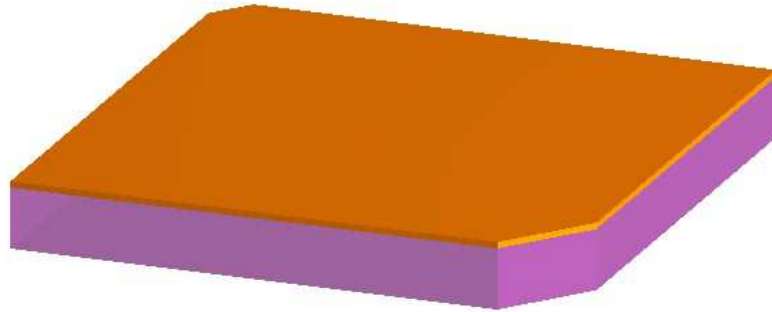
Luurangot sisältävät suurimman osan tuotemallin konfigurointi-informaatiosta. Luurankojen ohjaukseen tarvittavat parametrit lisätään Link-IT –lisäosaan, jolloin luurankoja voidaan ohjata itsenäisesti tai päätason kautta. Jokainen osa ja kokoonpano on referoitu luurankoihin ja ne saavat funktionaalista informaatiota luurankomalleilta. On tarkoitus, että osat eivät ole autonomisesti ohjautuvia, vaan ne saavat kaiken tiedon luurangoista tai ovat standardeja. Kaikki tuotteen komponenttien varioituva informaatio muodostuu luurangoissa tai kokoonpanoissa. Näin vältetään komponenttien keskinäisten suhteiden aiheuttamilta häiriöiltä. Standardimitat eli mitat, jotka eivät muutu, voidaan määrittää itse komponenteissa. Pääluurangon määrittämisen jälkeen on hyvä suorittaa FMEA-tarkastelu mahdollisille ongelmakohtille. Tällöin ennaltaehkäistään riskitekijät. Kuvassa 23 on FMEA-tarkastelu.

Component	Subcomponent	Part / Subpart	Functions, Features and requirements	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Potential Effect(s) of Failure on Elevator Level	Severity	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	Probability	Current design control. Prevention / Detection	Det	RPN	Recommended Action(s)
Car	Floor	Drawing		Not enough welding markings	Bad welding or production stop	Fails testing	5	Incorrect drawing	4	Double check and testing	4	80	Re-check drawing
Car	Floor	Assembly	Enough beams on floor	Wrong amount of beams	Production stop	New order	5	Not enough beams	2	Check model patterns	2	20	Re-check patterns
Car	Floor	Door wall panel fixing		Fixing to the door wall panels not possible	Bad fixing	Extra fixing needed	3	Incorrect macro	3	Check model macros	2	18	Re-check macros
Car	Floor	Floor	Floor heavyness	Wrong floor Q category	Floor not strong enough	Fails testing	9	Floor breaks	1	Re-check floor instance	2	18	Re-check floor instances
Car	Walls	Panels		Wrong decoration fixing component		Decoration cannot be fixed to wall panel	2		4		2	16	Re-check fixings
Car	Walls	Panels		Wall panels don't fit to railing	Railing component in floor must be redone	Manufacturing gets delayed	4		2		4	32	Re-check floor railing
Car	Roof	Trap door	Trap door on roof panel	Trap door in line with sling	Trap door doesn't function	Roof must be redone	5	Incorrect generation of the model	3	Check model functionality with trap door	2	30	Re-check trap door functionality with model
Car	Roof	Door wall panel		Door wall panel too long	Door wall panel not strong enough	Fails testing	5	BB or DD dimension too high	2	Add extra panel if BB or DD dimension too high	2	20	Update model requirements

**Kuva 23.** FMEA-tarkastelu kulmakorille.

Moduulivaihe aloitetaan mallintamalla lattiasta moduuliluuranko. Lattialuuranko mallinnetaan suorakulmaiseksi BB- ja DD-dimensioiden mukaan. Kulma parametrisoidaan. Geometriasta poistetaan viisteet nurkista ja viisteiden dimensiot parametrisoidaan. Viisteitä ohjataan tyyppiparametrin mukaan. Lattian geometria on kuvan 20 mukainen. Kulmaleikkauksille määritetään parametrien lyhenteet CA, CB, CC, CD, CCB, CBC, CAD ja CDA kuten kuvassa 20. Näitä parametreja ei käytetä vakiotarjonnassa, joten uudet parametrit nimetään DIM\_CAR\_CORNER\_CUT -tyylillä. Esimerkiksi CA on DIM\_CAR\_CORNER\_CUT\_AB. Lyhenne ja parametri eivät voi vastata täysin toisiaan, koska silloin tulisi päällekkäisyyksiä.

Lattiarakenteen korkeus määritetään päädimensiolla UF. Lattian päälle tulee lattiadekoraatio, jonka korkeuden määrittää dimensio SS. Kuvassa 24 on lattiarakenteen ja lattiadekoraation moduuliluurangot. Lattiarakenne ja –pinnoite kiinnitetään pääluurangon päätasoihin moduuliluurankojen vastaavista tasoista.



**Kuva 24.** Lattiarakenteen ja –pinnoitteen luurangot.

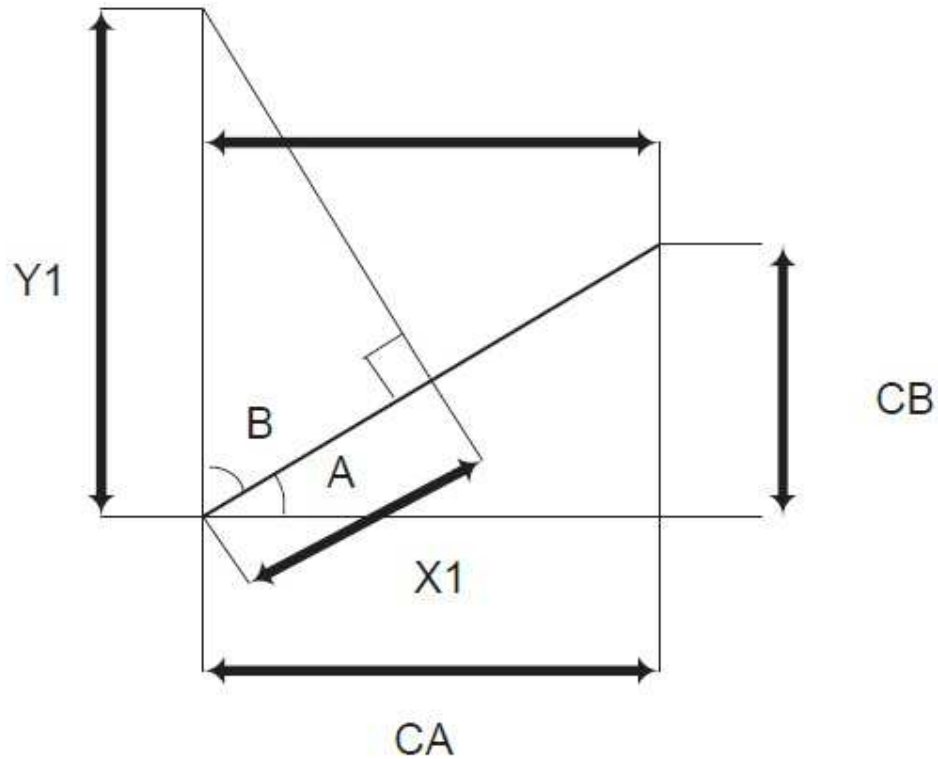
Sivuseiniin BB- ja DD-dimensioiden suhteen keskelle määritetään koordinaattipisteet rajoitteiksi, joihin lattian reunakomponentit voidaan jälkeinpäin liittää. Lattian reunakomponenttien kiinnityksen on tärkeää olla erittäin vakaa, sillä reunakomponenttien mitat muodostuvat useammasta parametrasta.

Viisteen komponenteille luodaan rajoitetaso niin, että komponenttien paikoitus on aina oikeassa kulmassa. Rajoitetaso referoidaan kahden akselin kulkemaan kahden akselin kautta. Ennen akseleita asetetaan pisterajoitteet lattian ylärajoitetasoon. Ylärajoitetaso on lattian pinnan mukainen taso. Ensimmäisen pisterajoitteen määrittämisessä käytetään yhtälöitä 1 ja 2.

$$X = CA/2 \quad (1)$$

$$Y = CB/2 \quad (2)$$

Yhtälössä 1  $X$  kuvaa pisterajoitteen etäisyyttä B-seinästä ja yhtälössä 2  $Y$  A-seinästä. Akselin referensseinä käytetään pistekoordinaattia ja ylätasorajoitetta. Akseli on normaali suhteessa ylätasorajoitteeseen. Kuvassa 25 on esitetty toisen pisterajoitteen paikoitus parametrien avulla.



**Kuva 25.** Kulmakomponenttien paikoitusta.

Kuvassa 25  $X1$  määritetään yhtälön 3, A-kulma yhtälön 4, B-kulma yhtälön 5 ja  $Y1$  yhtälön 6 mukaan. Toinen pistekoordinaatti paikoitetaan  $CA$  -mitan päähän B-seinästä ja  $Y1$  -mitan päähän A-seinästä. Akseli referoidaan pisterajoitteeseen ja ylätasorajoitteeseen.

$$X1 = \frac{\sqrt{(CB^2 + CA^2)}}{2} \quad (3)$$

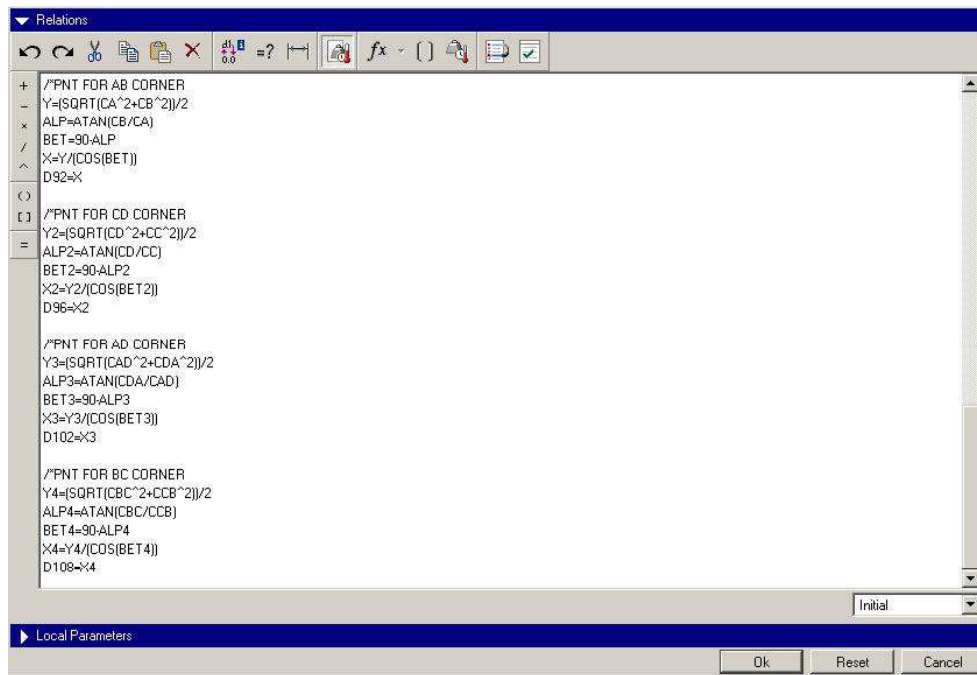
$$A = \text{atan}\left(\frac{CB}{CA}\right) \quad (4)$$

$$B = 90 - A \quad (5)$$

$$Y1 = X1 / \cos(B) \quad (6)$$

Vastaavaa tapaa käytetään muidenkin kuin lattian viistekomponenttien kiinnittämiseen mallissa. Kuvassa 26 esitetään edellä olevien kaavojen muuttaminen makromuotoon

Pro/ENGINEER-ohjelmistolla. Makrot sijoitetaan Pro/ENGINEER-ohjelmiston relations-valikossa, jonka kautta mallin ehtoja ohjataan.



**Kuva 26.** Pro/ENGINEER -ohjelmistolla muodostettu makro.

Korin kehys ei aina ole suorakulmaisesti korin viisteitä kohtaan. Korin kehysten kulma on siten parametrisoitava. Katolla ja lattian alla on c-kiskot, joihin kehysten tarraimet kiinnitetään. C-kiskojen on oltava aina suorakulmassa kehukseen nähden. Kehyksen linja mallinnetaan lattiaan tasona ja kehysten kulma parametrisoidaan. Kehyksen paikoituksessa on oltava tarkka, sillä rakennuksen kuilussa, johon hissikori tulee, ei ole paljoa ylimääräistä tilaa. Kehyksen paikoituksessa vastaa KONE:lla layout-tiimi. Kulmakorin kehityksen aikana on sovittu yhtenäisestä tavasta paikoittaa kehys kori- ja layout-tiimin välillä. Kehyksen paikoitukselle korin suhteen määritettiin kaksi parametria: etäisyys etuseinästä, jolloin kehysten keskikohta läpäisee korin syvyyden keskitason ja kehysten kulma eli RR ja RA parametrijohenteet. RR ja RA voidaan määrittää tuotemallin ylimmällä tasolla.

Lattiageometrioiden jälkeen suunnitellaan ja mallinnetaan seinät. Diplomityön rajauksen mukaan seinät mallinnetaan C- ja D-seinille. Seinämien korkeus on sidoksissa korin CH-

dimensioon. Luurankojen syvyys on vakio ja se määrittää taivutetun seinäpaneelin paksuuden. Seinien leveys määrittyy BB- tai DD-dimensiosta riippuen onko seinämä A-seinältä katsottuna syvyys- vai leveysuunnassa. Seinän leveydestä vähennetään nurkkaviiste korin tyyppin mukaan. Seinämoduuleille määritetään konseptointivaiheessa rajoiteinformaatiota perustuen lopulliseen tuotteeseen. Lopulliset seinämät koostuvat paneeleista. Jokaiselle mahdolliselle seinäpaneelille luodaan koordinaatiopiste, johon seinäpaneeli paikoitetaan. Koordinaatiopisteitä tulee useita sillä seinäpaneelien paikoitukseen vaikuttavat muun muassa COP, seinän leveys ja seinädekoraatio. Seinäpaneelien rajoitteiden lisäksi muun muassa peilille ja käsikaiteelle määritetään rajoitteet dimensioille ja paikoitukselle.

Vaikka COP:n suunnittelu ei kuulu tämän diplomityön rajaukseen, COP:n paikoituksen huomioiminen kuuluu. Molempiin seiniin määritetään tasot, jotka ohjaavat COP:n paikkaa. COP:ta on pääsääntöisesti kolmen mallisia: upotettuja, keskipitkiä ja pintamalleja. Upotettu malli vaatii takapellin. Keskipitkä ja pintamalli kiinnitetään useimmiten suoraan seinäpaneeliin. A, B, C tai D seinämien luuranko kiinnitetään BB- tai DD-mitan mukaisesta keskikohdasta päälluurangon päätasoon.

Seinämät E ja F suunnitellaan ja mallinnetaan eri tavalla. E ja F seinämien moduuliluurankojen syvyys on vakio ja korkeus on rajoitettu kuten A, B, C ja D seinämillä. E ja F seinämien leveys rajoittuu yhtälön 1 mukaan. E ja F seinämille määritetään rajoitteet seinäpaneelille ja COP:lle.

Lähes kaikki tuotekonfigurointiin tarvittava informaatio sisällytetään luurankoihin. Jokaisen paneelin jokainen toimintaa ja geometriaa ohjaava funktio määritetään luurankoihin. Yksityiskohtaisessa suunnittelussa seinäpaneeli saa ohjaavan tiedon suoraan luurangosta. Myös esimerkiksi materiaalin valintaan perustuva parametri määritetään luurankoon. Yksittäinen paneeli saa tiedon materiaalista ja edelleen paneelin valmistuskuvaan liitetään teksti, joka seuraa materiaaliparametria ja ilmoittaa valmistuskuvassa paneelin materiaalin.

Seinäluurankojen jälkeen suunnitellaan ja mallinnetaan sisäkaton luurankomoduuli. Sisäkaton luuranko on hyvin samanlainen kuin lattian. Sisäkaton korkeuden kuitenkin

määrittää parametri H. Muut päädimensiot määräytyvät lattialuurankojen tavoin. Sisäkaton alaosa kiinnitetään pääluurangon CH-dimensioon perustuvaan rajoitetasoon. Sisäkaton moduuliluurangon yläpuolelle tulee katon moduuliluuranko. Katon korkeus on vakio ja muut dimensiot vastaavat sisäkaton dimensioita. Katto kiinnitetään pääluurankoon rajoitetasoon, joka on H-mitan verran korkeammalla kuin sisäkaton rajoitetaso.

Ovimoduulit mallinnetaan A- B- ja D-seinille. Kolmiovisen kulmakorin suunnittelu ei kuulu diplomityön rajoihin, mutta jatkokehitystä varten on kannattavaa luoda rajoitteet luurangon avulla D-ovelle. Oviseinämän leveys perustuu seinämien tavoin BB- ja DD-mittoihin, joista on poistettu viistekulman mitta. Oviseinämän mitat määrittyvät kuvan 20 mukaisesti. Eri oviseinämien FL, LL ja FR mitat on oltava erikseen määritettävissä, koska ovet voivat olla eri paikalla seinämällä ja erikokoisia. Tämän takia on määritettävä uudet dimensiot LLA, LLB, LLD, FRA, FLA, FRB, FLB, FRD ja FLD. Näillä parametreille voidaan vapaasti määrittää eri seinämien ovien paikoitus ja mitat. Oviseinämien luurangot kiinnitetään pääluurankoon kuin seinämien luurangot. Oviseinämiä kiinnitetään hieman alemmas kuin normaali seinämä, koska ne kiinnitetään lattiaan ruuvein.

Oviseinämien luurankojen suunnittelun jälkeen suunnitellaan luuranko balustraadille. Balustradi on viimeinen tarvittava luuranko. Balustradi on kattokaide, joka pystytetään hissikorin katolle. Balustraadille mallinnetaan luuranko kuten katolle, mutta siihen lisätään c-kiskojen geometria, joihin balustraadi kiinnitetään. Tosiasiassa balustraadin moduuliluuranko ei kuvaa balustraadia itseään, vaan pelkästään kiinnityspaikkoja. Kulmakorissa balustraadi tulee katolle seinien, joilla ei ole ovea, suuntaisesti. C-kiskot, jotka balustraadin moduuliluurankoon mallinnetaan kuvaavat katon c-kiskoja. Lisäksi luurangot käsikaiteiden rajoitteille lisätään malliin.

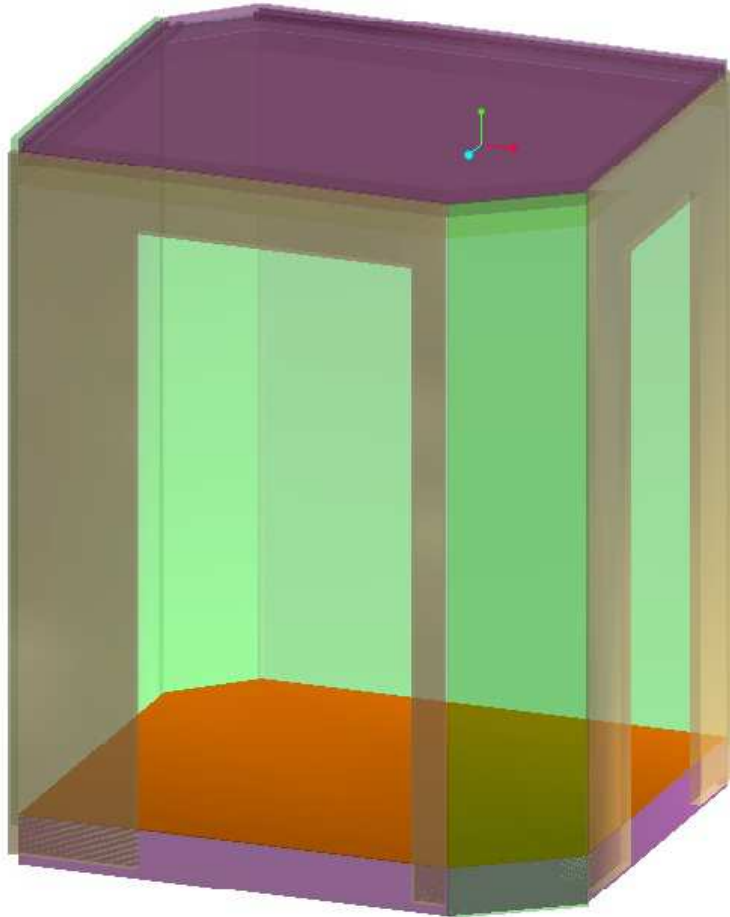
VariPDM ja Pro/ENGINEER integraation avulla tuotemallin funktionaalinen ajo voidaan suorittaa Link-IT -työkalun kautta. Tuotekehityksessä on tärkeitä koestaa ja testata suunnitelmaa ajoittain välttääkseen kasautuvat ongelmat. Alkuvaiheessa on myös helpompi poistaa virheitä ja ongelmia. Pidemmälle viedyssä tuotekehityksessä funktiot ja ominaisuudet referoituvat toisiinsa ja ongelmien selvittäminen hankaloituu. Ylhäältä-alas – tuotesuunnittelulla vähennetään vastaavien referenssiongelmiä syntymistä, mutta mallin

konfigurointi tässä vaiheessa on järkevää. Kuvassa 27 on konseptivaiheen tuotemallipuu ja luurankomalli.



**Kuva 27.** Konseptivaiheen luurankomalli ja mallipuu.

Konseptisuunnittelun viimeinen vaihe on testata parametrisoitavuuden toimivuus. Malliin konfiguroidaan uudet parametrien arvot ja generoidaan malli uudestaan. Tästä huomataan, että suhteet ovat vastaavanlaiset eri tasoilla ja tuotetason tiedot vastaavat pääluurangon ja moduuliluurankojen vastaavia tietoja. Kuvassa 28 on samasta suunnasta kuvattu malli kuin kuvassa 27, mutta eri arvoilla generoitu. Konfigurointi on onnistunut, sillä kiinnityspisteet pysyvät paikoillaan ja dimensiot muuttuvat.



**Kuva 28.** Eri arvoilla generoitu malli.

Konseptivaiheesta on jälleen kerätty opittua tietoa tulevaisuutta varten. Konseptivaiheessa kannattaa määrittää referenssirajoitteita, joihin osat ja kokoonpanot kiinnitetään, mahdollisimman paljon. Myös referenssirajoitteena kannattaa käyttää koordinaatistojärjestelmiä. Tällöin osan oma koordinaatistojärjestelmä voidaan kiinnittää luurankon koordinaatistojärjestelmään. Etenkin näin monimutkaisessa konstruktiossa on kannattavaa tehdä mahdollisimman useille kokoonpanoille luurankomallit, että referenssit ovat helposti hallittavissa. Luurankokokoonpanoa ohjelmoitaessa on myös kannattavaa testata konfiguraatioita.

### 3.5 Yksityiskohtainen suunnittelu

Yksityiskohtainen suunnittelun pohjaksi moduloidaan kori. Modulointi suoritetaan tuotannon näkökulmasta. Tuotearkkitehtuurin päätaso moduloidaan raakakoriksi ja sisustukseksi. Raakakorin moduuleja ovat seinät, lattia, katon reunakaide ja katto. Sisustuksen moduuleja ovat sisäkatto, peili ja käsikaiteet. Moduuleista luodaan kokoonpanotasot. Tuotemallin kokoonpanotasot perustuvat korin modulointiin.

QFD-menetelmään pohjautuen yksityiskohtainen suunnittelu perustuu pääsääntöisesti DFM:än ja DFA:an. DFP ja DFC on otettava myös huomioon, mutta niiden pääpaino on ollut jo konseptisuunnittelussa. DFA:n ja DFM:n apuna käytetään haastatteluja ja tehdaskäynnejä. Tehdaskäynneillä nähdään hyvin ongelmakohtat ja vaikeudet, jotka muodostuvat valmistuksessa ja kokoonpanossa.

Kaikille uusille osille ja kokoonpanoille luodaan KONE Oyj:n materiaalinumero, joka identifioi materiaalin PDM-järjestelmään. Kulmakori sisältää vähän vakio-osia, joten lähes jokainen osa saa uuden materiaalinumeron. Kuvassa 27 näkyy päätason numero, joka on uuden kulmakorituotteen tunniste. Jokainen uusi taso päätason alle numeroidaan, jolloin tuotteen rakennekin saadaan tallennettua PDM-järjestelmään. Päätaso sisältää kaksi kokoonpanoa: raakakorin ja sisustuksen. Yksityiskohtainen suunnittelu aloitetaan raakakorista ja lattiasta. Komponenteille määritetään oikeat materiaaliparametrit, jolloin komponenttien tiheydet ja massat ovat oikeita. Kun kaikki massat ovat oikein, tuotteelle voidaan määrittää kokonaismassa ja gravitaatiokeskipiste. Tämä nopeuttaa toimitusprosessia, sillä aikaisemmin layout-osasto on joutunut laskemaan arvioiden kokonaismassan ja gravitaatiokeskipisteen.

Haastattelujen perusteella voidaan todeta, että eniten ongelmia on ollut kulmakorien lattioiden kanssa. Viistettyjen kulmien takia lattian järeitä osia on jouduttu useasti paljon jälkikäsittelemään kuten sahaamaan ja hiomaan. Tapauskohtaisessa suunnittelussa valmistuskuvat ovat myös usein informaatiovajaita, joka on vaikeuttanut hitsausta ja kokoonpanoa. Lattian suunnittelussa paneudutaan DFA:an ja DFM:än, mutta keskeisin painopiste on lattian lujuudessa.

### 3.5.1 Lattia

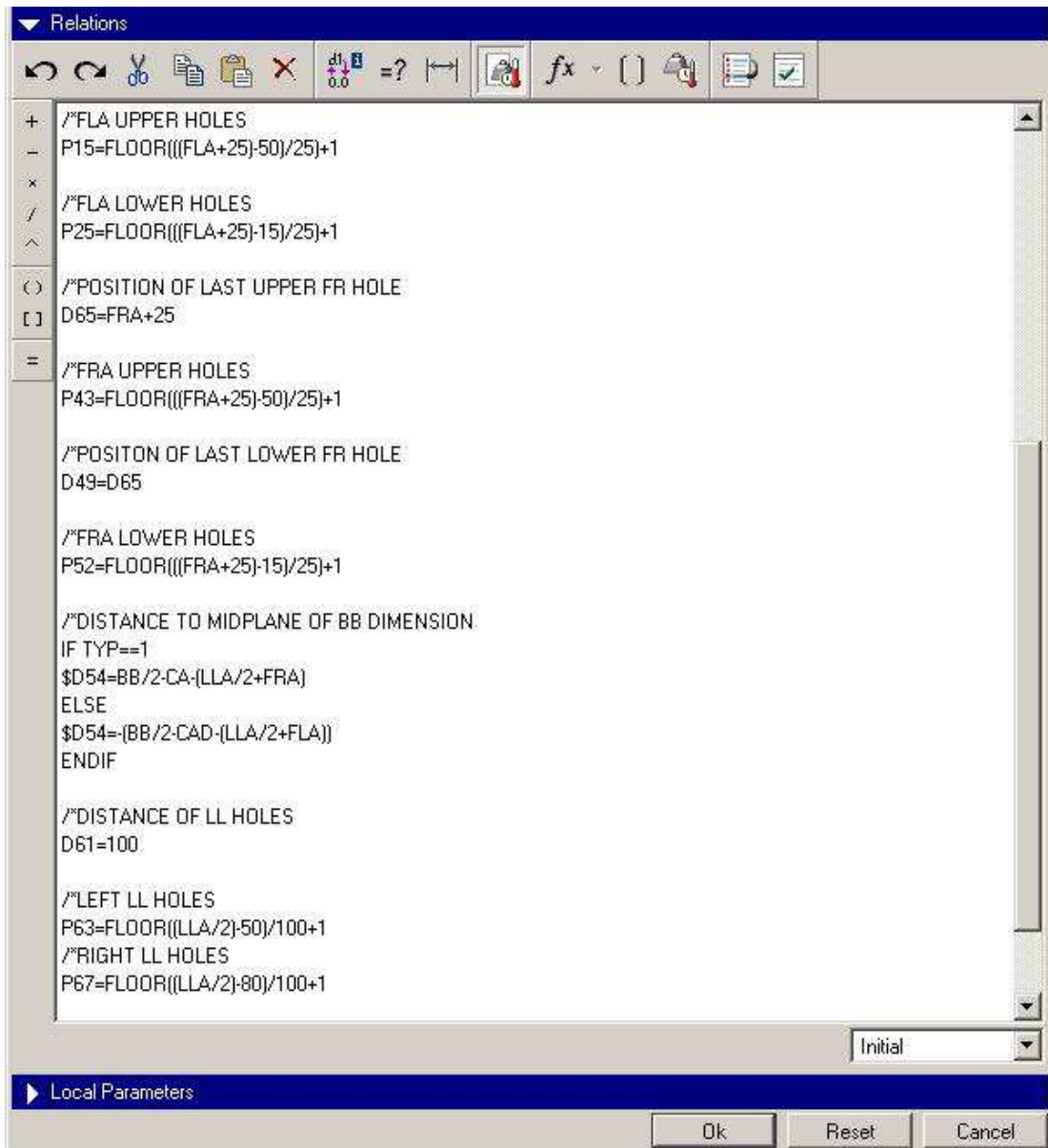
Kulmakorille mallinnetaan kahden kantokuorman lattiat. Lattiat perustuvat vanhasta lattiarakenteesta modifioituun ratkaisuun. Kevyempi lattia on alle 1600 kilon henkilökuormille ja painavampi 1600-2500 kilon henkilökuormille. Yleensä lattia on S235JRG2 rakenneterästä ja lattian osat ovat hitsattu kiinni toisiinsa. Lujempia materiaaleja voidaan myös käyttää. Lattioille ja niiden variaatioille suoritetaan lujuuslaskut ANSYS-ohjelmistolla. Lattia koostuu lattialevystä, kannattavista profiileista, seinäpaneelirailoista, reunalevyistä, c-kiskoista ja päällyslevyistä. Päällyslevyiksi tulee vaneri ja lattiadekoraatio. Myös tulisuojalety voidaan lisätä vaneri- ja lattiadekoraatiolevyn väliin.

Lattialevyn geometria määräytyy luurankomallista ja levyn paksuus on 3mm. Reunalevyt mallinnetaan siten, että ne voidaan kiinnittää omasta koordinaattipisteestä luurankomoduulin koordinaattipisteeseen. Ovia varten mallinnetaan reunapaneelit, joissa on ovaalirei'itys. A-puolen lattian ovipaneeli on esitetty kuvassa 29.



**Kuva 29.** A-puolen lattian ovipaneeli.

Rei'itys paneeliin makrotetaan Pro/ENGINEER:n relations-valikossa. Vasemman puolen tiheät ovaalireiät seuraavat FLA-parametria ja vastaavasti oikeanpuolen FRA-parametria. Loitommalla toisistaan olevat reiät seuraavat LLA-mittaa ja sen paikoitusta. Kuvassa 30 on esitetty kommentein makro rei'ille.



**Kuva 30.** Makrot lattian ovipaneelin rei'ille.

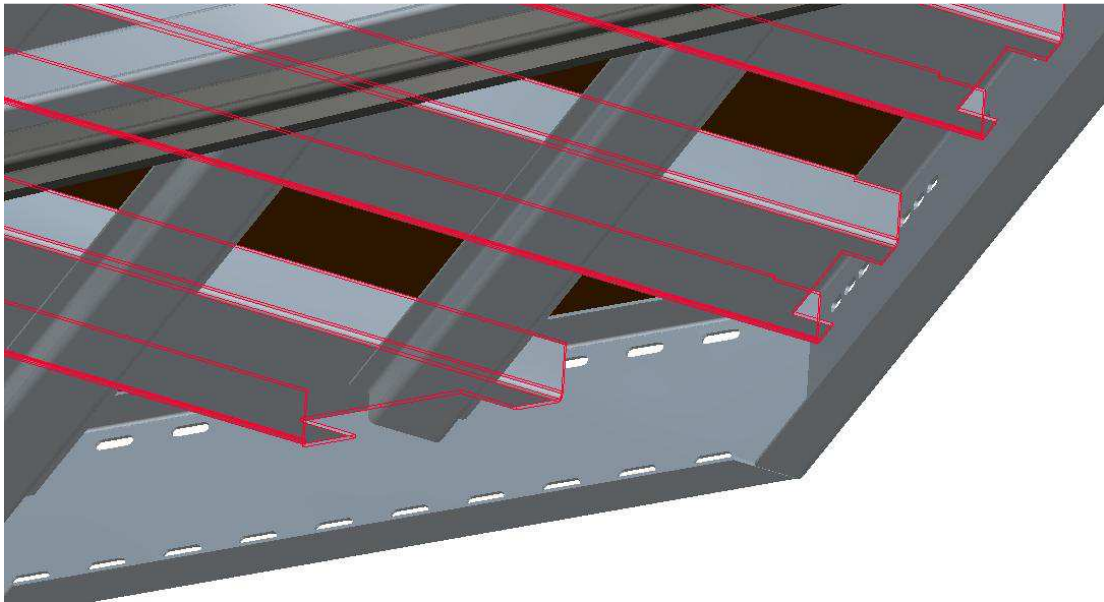
FLOOR-komento pyöristää alaspäin ja CEIL-vastaavasti ylöspäin. Dimensioiden edessä on D-kirjain ja kaavojen edessä on P-kirjain. \$-merkki dimension edessä tarkoittaa, että tulos voi olla myös negatiivinen.

Rakenneprofiilien paksuus riippuu tarvittavasta kantokuormasta. Niiden määrä riippuu BB- ja DD-dimensioista. Lattialevyyn hitsataan U-profiilit, joiden päälle hitsataan hattuprofiilit.

U-profiilien määrä ja paikoitus riippuu DD-dimensiosta. Niiden määrälle ja paikoitukselle luodaan makrot.

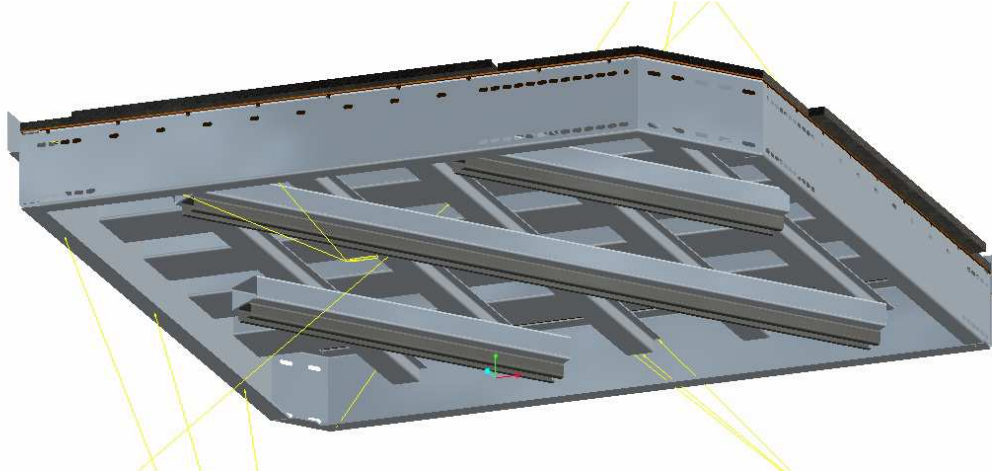
Lattian UF-mitta on lattialevystä c-kiskoon. Seinämäreunoilla asetetaan lattiaan railolevyt, joihin seinämät asettuvat. Seinämärailot sijoittuvat kulmakorin tyyppin mukaan, kuten myös kiinnityslevyt, joihin oviseinämän paneelit kiinnitetään. Lattialevyn päälle tulee lattiapinnoite. Lattiapinnoitteen paksuutta ohjaa parametri SS. Lattiapinnoite koostuu vanerista, tulisuojelevystä ja lattiadekoraatiosta. Asiakas päättää lattiadekoraation ja se voi olla esimerkiksi kumia, graniittia tai laminaattia.

C-kiskot hitsataan kotelopalkkien päälle ja kotelopalkit hattuprofiilien päälle. Kotelopalkki referoidaan mallissa lattialuurangon parametrisoituun vertikaalisuuntaiseen tasorajoitteeseen. Tasorajoitteen kulma on parametrisoitu ja sillä ohjataan c-kiskojen kulmaa. Yhteensä c-kiskoja tulee kolme. C-kiskojen ja kotelopalkkien mitat riippuvat BB-, DD-mitoista ja kehyksen kulmasta. Lattian U-profiilien toiseen päähän joudutaan tekemään kuvan 31 mukaiset leikkaukset, jotta on mahdollista kiinnittää ovi- ja viisteseinämät.



**Kuva 31.** Lattian U-profiilien leikkaukset.

Hitsausmääritelmät lisätään lattiamalliin annotaatioina eli selitteinä. Annotaatiot seuraavat mallin konfiguraatiota ja näkyvät lattian hitsauskuvassa. Kuvassa 32 on lattiarakenne. Keltaiset viivat kuvassa ovat annotaatioita.



**Kuva 32.** Lattiarakenne.

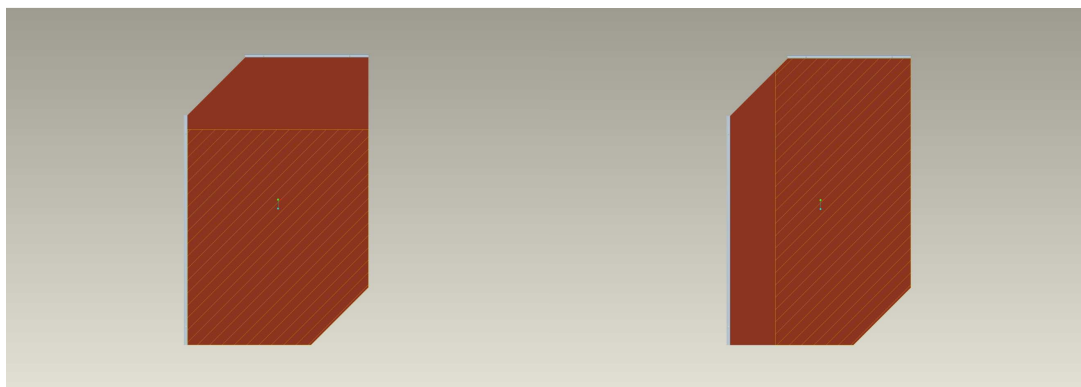
Lattian toiminta tarkistetaan generoimalla malli eri parametrein. Näin pyritään estämään kasautuvat mallin virheilmoitukset. Vastaavanlainen tarkastelu suoritetaan jokaiselle modulille. Kuvassa 33 on lattia, joka on generoitu uusilla arvoilla.



**Kuva 33.** Lattian parametrien toiminnan tarkistus.

Lattian lujuustarkastelussa käytetään standardia EN81-1. Lujuustarkastelun varmuuskertoimena käytetään arvoa 2 kuormitustapauksissa ja 1,33 impaktitapauksessa. Lattiapinnoitetta ei oteta mukaan vaan se määritellään erillisenä kuormana lattialevyn päällä. Lattiapinnoitteen painona käytetään korkeinta sallittua painoa  $78\text{kg/m}^2$ , joka voi olla esimerkiksi marmorilattian paino. Seinien ja katon massana käytetään  $150\text{kg/m}$ , joka muodostuu osittain lattian reunarailoon ja ovien kiinnityslevyihin.  $2500\text{ kg:n}$  kantokuorman lattiassa käytetään  $2500\text{ kg:n}$  kuormitusta ja  $1600\text{ kg:n}$  kantokuorman lattiassa käytetään  $1600\text{ kg:n}$  kuormitusta. (SFS-EN 81-1, 1998, s. 150-160.)

Lujuustarkastelussa lattialle suoritetaan kolme erilaista pääkuormitustapaus. Kuorma jaetaan EN81-1 mukaisesti eri puolille koria kolme neljäsosaan alasta. Kuvassa 33 on esimerkki kuormitusala. Symmetrisyyden ja lattiarakenteen mukaan tarkastelu suoritetaan vain kuvan 33 vasemmalle tapaukselle, koska täten taivutuskuorma jakautuu enemmän hattuprofiileille kuin u-palkeille. U-palkit kestävät huomattavasti enemmän taivutusta kuin hattuprofiilit. Ensimmäisessä kuormitustapauksessa kuorma jaetaan kuvan 34 vasemman tapauksen mukaisesti. (SFS-EN 81-1, 1998, s. 160.)



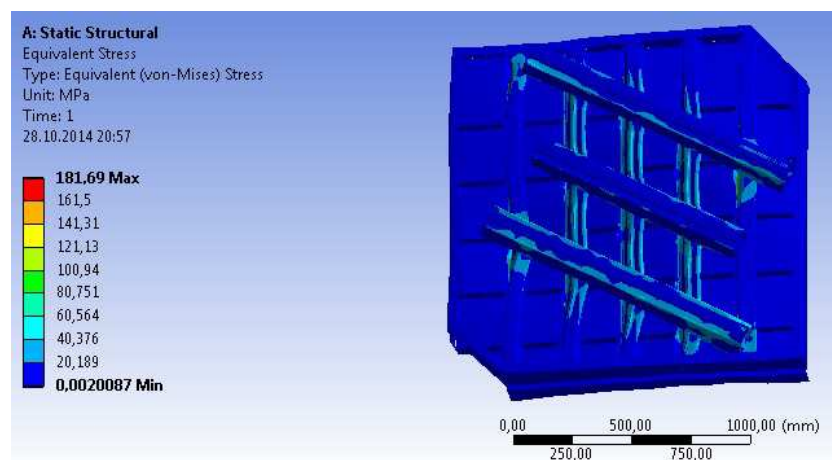
**Kuva 34.** Ensimmäinen kuormitustapaus

Toisessa kuormitustapauksessa tarkastellaan lattian iskua kuilun pohjalla olevaan vaimentimeen EN81-1 mukaisesti. Tässä tapauksessa käytetään kolminkertaista painoa verrattuna kantokuormaan. Kolmannessa tapauksessa tarkastellaan kynnyksen kantavuutta asettamalla 60 % kantokuormasta kynnykselle. (SFS-EN 81-1, 1998, s. 150-160.)

ANSYS ohjelmistolla lattian c-kiskoihin mallinnetaan yhteensä 36 joustaa, joiden jokaisen jäykkyys on 73 N/mm. Ohjelmistolla käydään jokainen kuormitustapaus läpi ja analysoidaan tuloksia. Erikoisissa tapauksissa on tarkoitus tehdä uudet lujuuslaskut tarvittaessa.

Geometria Ansys-ohjelmistoon tuodaan Pro/ENGINEER-ohjelmistosta. Tiedostomuotona käytetään iges-muotoa. Elementtityypin Ansys-ohjelmisto määrittää itsenäisesti. Ansys luo tasoelementtejä, jotka ovat kolmio- ja nelikulmio-tyyppisiä. Kolmioelementit eivät täydellisesti sovi levykappaleiden tarkkaan lujuustarkasteluun. Tarkempaa tarkastelua voidaan vaatia, jos lujuustarkastelussa huomataan virheitä tai ongelmia, tai lujuus on lähellä kriittistä. Tällöin voidaan käyttää esimerkiksi tilavuuselementtejä.

Liitteessä 1 esitetään lattian lujuuslaskut. Lujuuslaskut ovat tehty englannin kielellä, koska kaikki KONE:lle tehtävä tekninen informaatio on tehtävä englannin kielellä. Asetettuja lujuusvaatimuksia ei alitettu diplomityön rajoissa, mutta lisäksi Q 2500 kg lattiaa testattiin 4000 kg kuormalla. Kuvassa 35 on esimerkki lattian lujuustarkastelusta. Lattia on kulmakorin ykköstyypin mukainen ja kuorma sijoitetaan etupuolelle. Tapauksessa tarkastellaan impaktikestävyyttä eli kuorma on kolminkertainen eli tässä tapauksessa 7500 kg. Kuvan Von-Mises -jännitystasot ovat huomattavasti alle 175 Mpa. Jännityspiikit ovat paikallisia ja terävissä kulmissa, minkä takia ne voidaan jättää huomiotta.



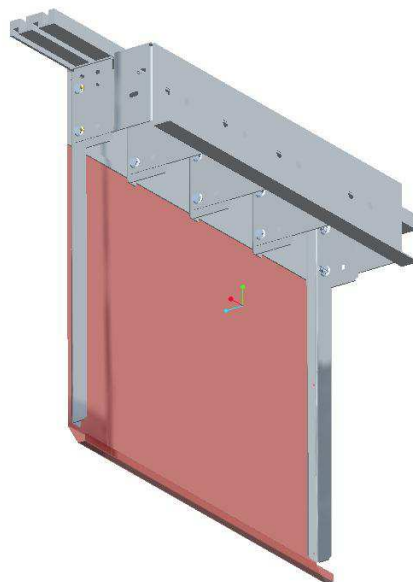
**Kuva 35.** Lattian lujuustarkastelun tulokset.

### 3.5.2 Kynnykset

Kynnykset oviaukkoihin suunnitellaan erikseen. Ne ovat kuitenkin lattiakokoonpanossa. Kynnykset eivät vaadi uutta suunnittelua ja voidaan käyttää olemassa olevaa kynnystarjontaa kulmakoreissa.

Kynnykset hitsataan oviaukkojen kohdalle lattiaan kiinni. Ovisuunnittelun mukana tulevat ovioperaattorit, jotka kiinnitetään hissikoriin. Ovioperaattorit ohjaavat ovien toimintaa. Tasoille tulee operaattoreille vastamekanismit, jotka ohjaavat taso-ovien aukeamista. Korin saapuessa tasolle ovioperaattori lukittautuu kiinni tason vastamekanismiin, jolloin tason ja korin ovet aukeavat samanaikaisesti.

Kynnys on tason ja korin välissä. Kynnykseen kuuluu railoprofiili, johon korin ovet sijoitetaan. Kynnys koostuu kokoonpanosta, joka hitsataan kiinni korin lattiaan ja vastakokoonpanosta, joka kiinnitetään pulteilla ensimmäiseen kokoonpanoon. Ovaalireikien avulla kynnyksen syvyys on säädettävissä. Kynnyksiä mallinnetaan kaksi, joista toinen tulee A-puolelle ja toinen B-puolelle. A-puolen kynnyksen leveys on riippuvainen dimensiosta LLA ja B-puolen dimensiosta LLB. Kuvassa 36 on esitetty kynnys.



**Kuva 36.** Korin kynnys.

Kynnys muokkautuu korin kantokuorman ja ovityypin mukaan. Kantokuormat jaetaan kolmeen eri kategoriaan. Ensimmäiseen kategoriaan kuuluu alle 2500 kg, seuraavaan alle 3500 kg ja kolmanteen alle 6000 kg. Mitä suurempi kantokuorma on, sitä lujempi rakenne on kyseessä. Suurissa kuormissa muun muassa kuvan 36 vastakkaisia liitoskappaleita on enemmän kuin pienissä kuormissa. Kulmakorin tuotemalli rajataan kuitenkin vain alle 2500 kg koreihin, jolloin suuremman kantokuorman kynnyksiä ei tarvitse ottaa vielä huomioon.

Ovityyppejä on neljä erilaista. Ovi saattaa olla teleskooppisesti toimiva eli liukuovi, joka koostuu useammasta komponentista. Ovet voivat aueta keskeltä tai sivuilta. Kynnykseen pultein kiinnitettävä alumiiniprofiili on ovia varten ja sen muoto riippuu ovityypistä. Esimerkiksi ovityyppi, joka ei toimi teleskooppisesti vaatii yhden railon kynnyksen alumiiniprofiiliin. Ovityyppi, joka on sivulta aukeava ja koostuu kolmesta teleskooppiovesta, vaatii alumiiniprofiilin, jossa on kolme railoa.

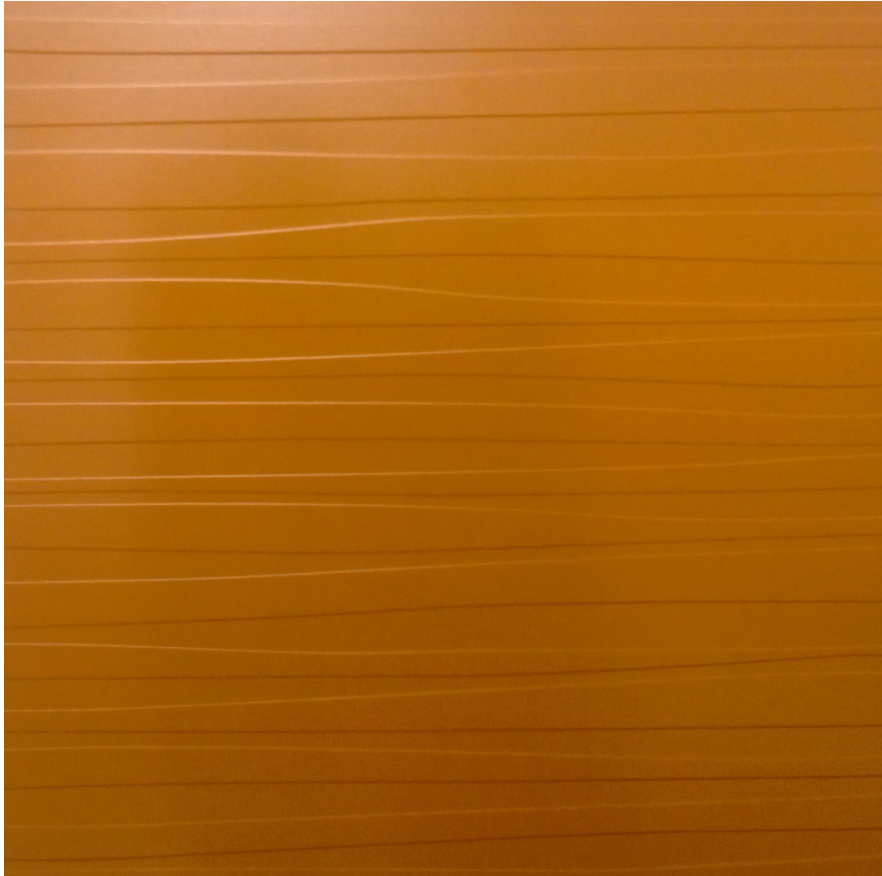
### 3.5.3 Seinät

Seinien suunnittelussa painotetaan DFA:ta ja DFM:ää unohtamatta kuitenkin esimerkiksi lujuudellisia ja visuaalisia ominaisuuksia. Seinämien suunnittelu ja mallintaminen on 3D-mallintamisen haasteellisin vaihe. Seinämät C ja D sijoitetaan lattiassa oleviin railoihin. Viisteseinämät E, F, G ja H kiinnitetään ruuvein lattian reunakomponentteihin. Seinämillä voi olla todella monta erilaista paneelivariaatiota. Esimerkiksi COP:n paikoituksesta ja tyypistä johtuen joudutaan määrittämään paljon suhteita ja ehtoja.

Seinäkokoonpanoon pohjaksi liitetään luurankomoduulit. Seinämät ja oviseinämät mallinnetaan yksitellen alikokoonpanoiksi. Alikokoonpanoissa on vastaavat luurankomoduulit, jolloin alikokoonpanon liittäminen ylempään on helppo suorittaa luurangoista. Jokaisella seinällä mallinnetaan sekä seinämä että oviseinämä. Seiniä ohjataan ehdoilla, jotka riippuvat kulmakorin muodosta. Seinästä peitetään kulmakorin tyypin mukaan joko seinämä tai oviseinämä. Seinillä on myös paljon dekoraatiota ja lisävarusteita kuten peilejä, lasia, laminaattia, käsikaiteita, puskurisuoja jne. Seinämä koostuu seinäpaneeleista, joiden määrää ja ominaisuuksia ohjataan ehdoilla, ja vahvisteista. Tuotemalli määritetään niin, että COP:ta hississä voi olla samaan aikaan kaksi. COP voidaan sijoittaa C- tai D-seinämälle tai viisteseinämille.

Seinäpaneelien materiaalin valinta parametrisoidaan. Jos seinämälle tulee dekoraatio, seinäpaneelit ovat halvempaa sinkitettyä terästä. Ilman dekoraatiota seinämällä, seinäpaneeli voi olla esimerkiksi harjattua AISI441 ruostumatonta terästä. Materiaalin valinta parametrisoidaan jokaiselle seinämälle erikseen, jolloin seinät voivat olla esimerkiksi yhdistelmiä eri materiaaleista. KONE Oyj on standardoinut koreilleen useita materiaalinimikkeitä. KONE Oyj:n muotoilutiimi on suunnitellut koriin paneelimateriaalit visuaalisesti näyttäväiksi. Materiaaliparametriksi asetetaan KONE Oyj:n asettama materiaalikoodi, joka näkyy valmistuskuvissa tuotemallin konfiguroinnin jälkeen. Tilausohjeessa esitetään materiaalikoodit ja niille selitteet. Vahvisteet paneeleille ovat sinkitettyä terästä. Vahvisteilla estetään seinäpaneelien lommahdus ja nurjahdus.

Jokaiselle seinämälle on luurankovaiheessa määritetty parametri, jonka avulla seinämälle voidaan määrittää dekoraatiomateriaali. Dekoraatiomateriaaleille löytyy parametri ,materiaalikoodi ja selitteet tilausohjeesta, joka luodaan myöhemmin, kuten seinäpaneeleillekin. Kuvassa 37 on esitetty KONE Oyj:n seinädekoraatiomateriaali, joka on tilattavissa koriin.



**Kuva 37.** KONE Oyj:n seinädekoraatiomateriaali.

Seinämän suunnittelu aloitetaan yksittäisen paneelin suunnittelusta. Paneelin referenssinä käytetään vakiotarjontaan kuuluvan korin seinäpaneelia. Paneelin on oltava helposti kiinnitettävissä toisiin paneeleihin. Paneelin toiminnallinen vuorovaikutus suhteessa muihin osiin ja kokoonpanoihin on oltava DFA:n kannalta optimaalinen. Paneeleissa kiinnitetään huomiota myös DFM:ään, sillä paneelit on oltava helposti valmistettavissa KONE Oyj:n omilla levytyökoneilla. Yksittäisen paneelin mitoitus perustuu tilattavissa oleviin levymittoihin ja levytyökoneen maksimaalisiin työstömittoihin. Paneeli on vakiona 1 mm ohut, joten sen lommahdus estetään ja jäykkyyttä parannetaan vahvisteilla. Paneeleja tulee seinämille joko kaksi tai kolme riippuen seinämän leveydestä. Paneelien määrään vaikuttaa kuitenkin myös mahdollisesti COP.

Korin seinäpaneelille ei tarvitse suorittaa lujustarkastelua, koska tuotemalli käyttää uuden tarjonnan mukaisia seinäpaneeleja. Näille paneelille on jo suoritettu

lujuustarkastelut. Kulmakorin paneelien kestävyys pysyy myös jokaisessa kulmakorin konfiguraatiotapauksessa parempana kuin vakiotarjonnan paneelit, koska missään variaatiomahdollisuudessa seinäpaneelien koko ei ole suurempi kuin vakiotarjonnalle asetettu maksimaalinen koko.

Seinäpaneelija mallinnetaan yhteensä 14 kappaletta yhdelle seinämälle. Seinäpaneelien pohjana käytetään uusimman korimallin seinäpaneelija ja ne modifioidaan kulmakoriin sopivaksi. Seinäpaneelien lisäksi seinämille mallinnetaan dekoraatiot, niiden kiinnityskomponentit, jalkalistat ja COP:ta varten takapellit. Seinäpaneelien toiminnallinen ja geometrinen informaatio määritetään seinämäluurangossa. Paneelit kiinnitetään seinämäluurankoon koordinaatiopisteisiin. Toisen tyyppin kulmakorin C- ja D-seinämien kiinnityksessä käytetään avainreikää, jolloin D-seinämän pujottaminen lattiaan ja kiinnittäminen C-seinämään onnistuu helposti.

Jalkalista tulee korien C- ja D-seinämille hieman lattiatason yläpuolelle. Jalkalistan korkeus parametrisoidaan ja se asennetaan seinäpaneelin eteen ilmastointiaukkojen kohdalle. Jalkalistan yläpuolelle paneelien päälle mallinnetaan dekoraatiopaneelit. Dekoraatiopaneelit ovat leveydeltään neljä millimetriä pienempiä kuin seinäpaneelit. Dekoraatiopaneelit kiinnitetään alumiiniprofiilien avulla paneelin eteen. Alumiiniprofiilit kiinnitetään seinäpaneelien väliin. Dekoraatiopaneelit lisäksi liimataan kiinni seinäpaneelin. Kuvassa 37 on tietyin parametrein generoitu seinämä, jossa näkyy dekoraatiopaneelit ja niiden kiinnityskomponentit. Kuvassa 38 on myös viisteseinämä, jonka keskellä on COP-rajapinta.

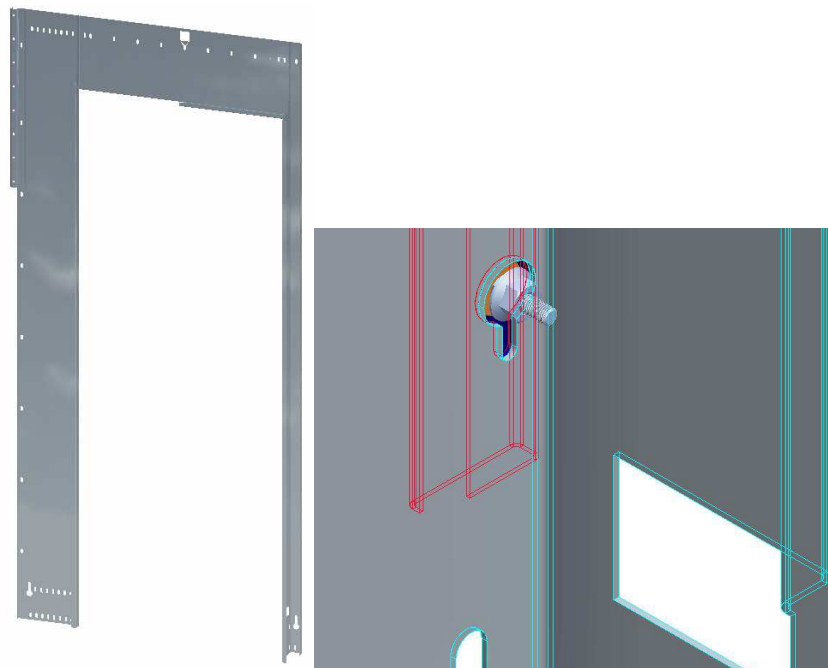


**Kuva 38.** Kulmakorin D- ja E-seinämä.

COP:n paikoitukselle on seinämällä kolme mahdollisuutta: joko ensimmäisen paneelin kohdalla, viimeisen paneelin kohdalla tai keskellä. Kuvassa 37 COP on ensimmäisen paneelin kohdalla. COP:n dimensionaaliseksi paikoitukselle ei ole rajoitteita, vaan mitta on vapaa. EN 81-70 määrittää kuitenkin, että COP:n nappien tulee olla minimissään 400 mm seinämästä. Vakioasetuksena täten COP:t ovat 466 mm seinämästä. COP:n lisäksi seinämälle voidaan liittää infonäyttö. Infonäytön paikoitus on myös vapaavalintainen. Dekoraation kiinnityksen reunakomponentit muuttuvat kulmakorin tyyppin mukaan. Dekoraation kiinnityskomponentit ovat standardoituja alumiiniprofiileja. Kulmakoria varten suunnitellaan standardi alumiiniprofiili viistekulmia varten, jotka ovat 45 asteen kulmassa. Jos viistekulma on erisuuri kuin 45 astetta, alumiiniprofiili voidaan valmistaa standardiosia käyttäen hitsaamalla TIG-hitsauksella tai pulssi-MIG –hitsauksella. Syöttölankana käytetään silloin AISi-lankaa ja kaasuna argonia. Tapauskohtaisesti kiinnityskomponentti voi olla myös muuta materiaalia kuin alumiinia.

Seinämien E ja F paneelit eroavat muiden seinämien paneeleista reunataivutuksien takia. Seinien E ja F paneelien reunataivutuksien kulmat riippuvat viisteiden kulmista. E- ja F-seinille mallinnetaan kaksi paneelia. Paneelit kiinnitetään lattiaan kiinni ruuvein. Viisteseinämille voidaan sijoittaa COP vain keskelle viisteseinämää. Jos COP on täyspitkä, niin viisteseinämä koostuu kahdesta paneelista. Muulloin viisteseinämä koostuu yhdestä paneelista.

Seinämien suunnittelun jälkeen suunnitellaan oviseinämät. Oviseinämät suunnitellaan myös jokaiselle seinälle. Oviseinämä koostuu pääosin oviaukosta, sivupaneeleista, vahvisteista ja oviaukon yläpaneelistä. Oviseinämille lisätään mahdollisuus myös dekoraatioon. Oviseinämä suunnitellaan ovityyppien mukaan. Oviseinämän komponentit riippuvat ovityypistä, joita on neljää erilaista. Ovityyppejä on esitelty luvussa 3.2.2. Ovet voivat myös aueta vasemmalta, oikealta tai keskeltä. Oviseinämän kaikki mahdolliset komponentit mallinnetaan ja niitä ohjataan ovityypin ja dimensioiden mukaan. Kuvassa 39 vasemmalla puolella on yksittäinen oviseinämä, joka aukeaa vasemmalle päin.

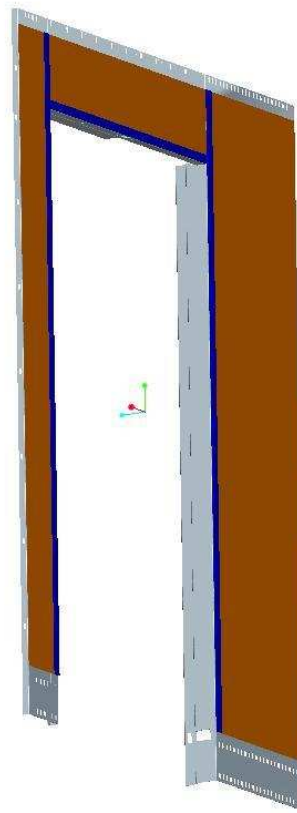


**Kuva 39.** Valmis oviseinämä.

Dekoraation suunnittelu oviseinämille on haasteellista, koska ei voida käyttää samoja kiinnityskomponentteja kuin C- ja D-seinämillä. Dekoraation kiinnityskomponentiksi

suunnitellaan visuaalisesti hyvän näköinen komponentti. Kuvassa 39 oikealla puolella on dekoraation kiinnityskomponentti oviseinämällä. Profiili näkyy punaisina ääri viivoina kuvassa.

Dekoraation kiinnityskomponentti kiinnitetään korista sisältäpäin katsottuna oviseinäpaneelin takapuolelta. Kiinnitysprofiilissa ja oviseinämäpaneelissa on molemmissa avainreikä. Oviseinäpaneeli seuraa parametria, joka määrittää dekoraation oviseinämälle. Makro lisää tarpeen mukaan kuvan 39 mukaiset rei'itykset. Lukkoruuvi pujotetaan reikään ja kiinnitetään lukkomutterilla. Kuvassa 40 näkyy koko oviseinämän dekoraatio.



**Kuva 40.** Oviseinämän dekoraatio.

Kun jokaiselle seinälle on mallinnettu sekä tavallinen seinämä että oviseinä, seinämät kiinnitetään seinämoduuliin luurangoista. Seinäkoonpano kiinnitetään päätason

luurankoon ja konfiguroidaan virheiden etsintää varten. Kuvassa 41 on esitetty seinäkokoontapano.



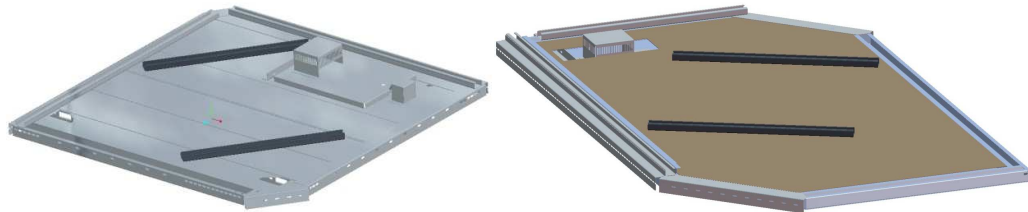
**Kuva 41.** Kulmakorin seinät.

#### 3.5.4 Katto

Kattorakenteista mallinnetaan kaksi eri mallia. Toinen malli koostuu toisiinsa kiinnitettävistä taivutetuista paneeleista ja toinen kattolevyistä, joiden välissä on vahvisteita. Kattojen osat hitsataan kiinni toisiinsa. Katot suunnitellaan kustannustehokkaiksi, joissa on paljon vakio-osia. Katon suunnittelussa painotetaan DFM:ää. Jos kuuluu nähdään, niin silloin katto voidaan esimerkiksi maalata. Materiaalina käytetään rakenneterästä.

Ensimmäinen kattotyyppi on modifioitu vakiotarjonnan katosta kulmakorille sopivaksi. Paneeli, johon oviseinäjä kiinnitetään, on konfiguroitava komponentti. B-seinälle lisätään katon reunalle ylimääräinen paneeli, johon oviseinäjä kiinnitetään. C-kiskot, joihin tarraimet kiinnittyvät, on suunniteltava katolle niin, että esimerkiksi tuulettimen paikoitus onnistuu. c-kiskot voidaan hitsata suoraan paneelien päälle. Katossa on valinta tuulettimelle ja hätäovelle.

Tuuletinmalleja on useita ja niitä voi olla enemmän kuin yksi. Kattoluukku sijoitetaan c-seinän lähetyville ja sen paikka riippuu kulmakorin tyypistä. C-kiskojen kulma parametrisoidaan kuten lattiassa. Seinämät kiinnitetään katossa oleviin railoihin. Kuvassa 42 vasemmalla puolella on esitetty ensimmäisen tyypin kattorakenne ja oikealla toisen tyypin kattorakenne. Vasemman puoleisessa katossa näkyy hätäovi, johon on kiinnitetty tuuletin.



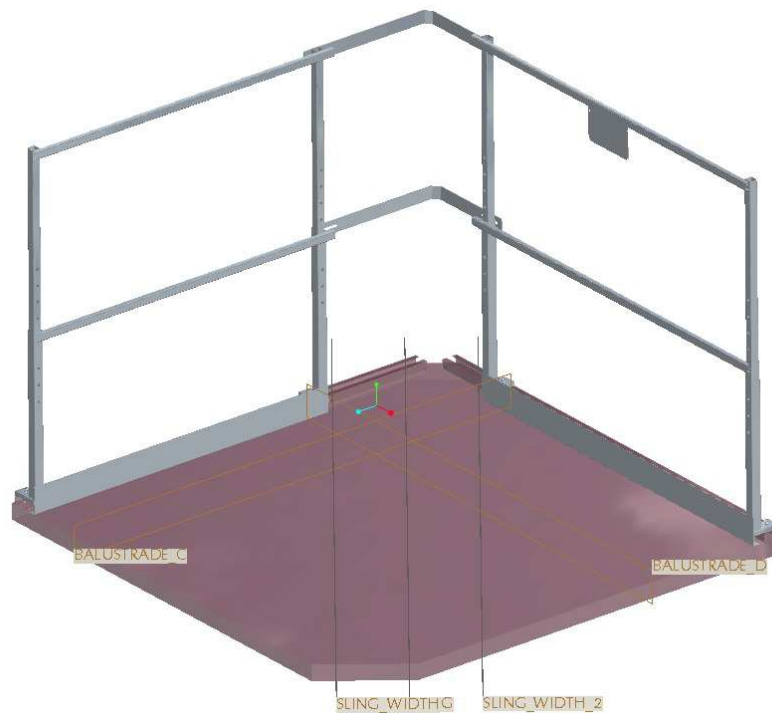
**Kuva 42.** Kattorakenne.

Toinen kattorakenne on täysin kulmakorille alusta asti suunniteltu kattorakenne. Kattorakenne koostuu levystä, jonka päälle on vahvisteita, ja vahvisteiden päälle olevasta kävelypelistä. C-kiskot hitsataan vahvisteiden päälle, joten kävelypelistä tulee olla kolo C-kiskoille. Kolo myös helpottaa hitsaajien c-kiskojen paikoittamista. Kattomalleista voidaan luoda prototyypit ja vertailla niiden kustannustehokkuutta ja asennuksen onnistumista. Ensimmäisen tyypin katto on vakiotarjonnasta modifioitu rakenne, jolle on tehty jo lujuustarkastelut. Toisen tyypin katon kävelypellille samoilla tukiväleillä on myös tehty lujuustarkastelut.

### 3.5.5 Katon reunakaiteet

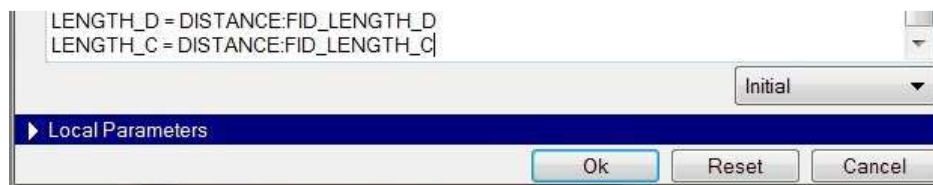
EN 81-1 mukaisesti hissien katolla on oltava reunakaiteet. Reunakaiteen tulee koostua käsikaiteesta, 0,1 metrisestä varvassuojasta ja reunakaiteen korkeuden puolella välissä olevasta lisäkaiteesta. Reunakaiteen tulee olla yli 1,1 m korkea ja reunakaiteen etäisyys kaikista kuilun seinällä olevista kappaleista on oltava yli 0,1 m. Kulmakorissa reunakaide sijoitetaan vain seinämien suuntaisille reunoille ja vertikaalisuunnassa se toimii teleskooppimaisesti. Reunakaide ohjautuu päädimensioiden DD, BB, HK, kulmaviisteparametrien ja tyyppiparametrin mukaan. (SFS-EN 81-1, 1998, s. 52.)

Lattian tavoin katon reunakaiteet ovat kulmakorissa kriittisen tarkastelun alaisena ja ne ovat aiheuttaneet ongelmia etenkin asennuksessa. Korin kehyksen paikoitus ja tyyppi vaikuttavat kattokaiteiden muotoon. Kehys kulkee pääsääntöisesti kulmakorissa kulmasta kulmaan. Jotta reunakaiteen komponentit ovat oikean mittaisia ja oikein paikoitettuja, on kehyksen oltava oikean paksuinen ja oikein paikoitettu. Kehyksen tyyppin valinnalle määritetään parametri. Kuvassa 43 ovat katon reunakaiteet.



**Kuva 43.** Katon reunakaiteet.

Kuvassa 43 näkyy kehyksen keskitaso ja ulkoreunat tasoina. Tasojen paikoitus riippuu parametreista TYP\_CAR\_SLING, DIM\_CAR\_GUIDE\_TO\_FRONT\_WALL\_RR ja DIM\_CAR\_SLING\_ANGLE. Kehyksen ulkomittoja vastaavien tasojen avulla luodaan kaksi tasoa: "BALUSTRADE\_C" ja "BALUSTRADE\_D". Nämä tasot kuvaavat rajoitteita yksittäisille reunakaiteille. Tasojen etäisyys etuseinästä parametrisoidaan: ensiksi etäisyydestä piirteistään, jonka jälkeen mittapiirre parametrisoidaan ehtoikkunassa komennolla kuvan 44 mukaan. Kun mittapiirre on parametrisoitu, voidaan sitä käyttää vapaasti katon reunakaiteiden osissa ja kokoonpanoissa.



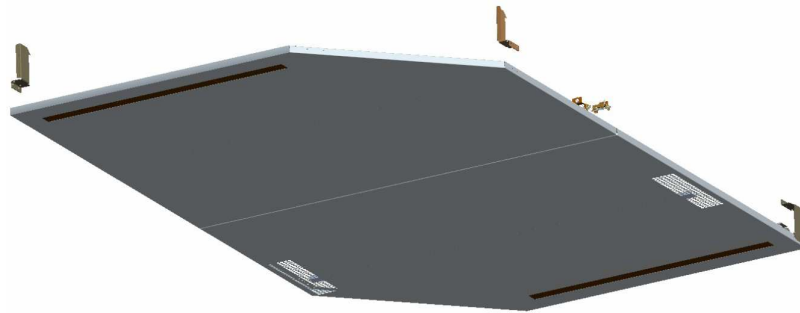
**Kuva 44.** Mittapiirteen parametrisointi.

### 3.5.6 Kulmakorin sisustus

Tuotteen päätasolle luodaan kokoonpano korin sisustukselle. Valmistuksen näkökulmasta käytännöllisempää olisi, jos sisustus olisi raakakorin rakenteen sisällä. Tällöin esimerkiksi seinämäpiirustuksessa näkyisi käsikaide ja sen paikoitus. Sisustuksen sisällyttäminen raakakoriin monimutkistaa kuitenkin tuotehallintaa huomattavasti, joten raakakori ja sisustukset pidetään eri kokonaisuuksina. Tämä ei kuitenkaan aiheuta valmistukseen suurempia ongelmia, koska esimerkiksi seinäpiirustuksiin määritetään reiät käsikaiteen kiinnitystä varten.

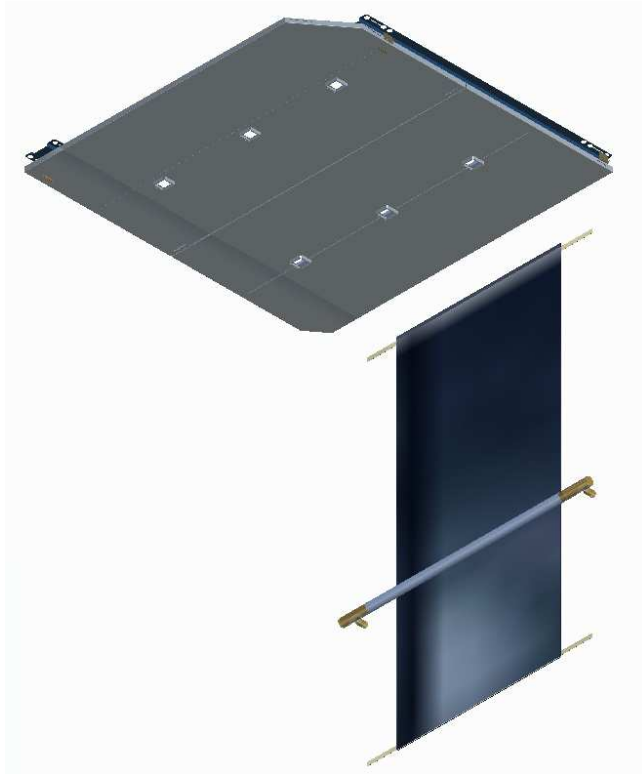
Kulmakoriin mallinnetaan peili, käsikaiteet ja sisäkatto, jossa on valaisimet. Sisäkattoja mallinnetaan neljä eri mallia, jotka ovat KONE:n vakiotarjonnassa. Yksi sisäkatoista on loisteputkilla ja kolme ovat LED-valoilla. Vakiotarjonnassa sisäkatot ovat aukaistavissa niin, että saranat ovat päädyissä. Kulmakorin sisäkatot suunnitellaan niin, että saranat ovat keskellä. Keskeltä aukeava sisäkatto helpottaa huollettavuutta ja helpottaa hätäoven käyttöä. Sisäkatto koostuu kahdesta paneelista. Aikaisemmin tekniikkaa, jossa saranat ovat keskellä, ei ole käytetty, vaan sisäkatto on asetettu vain suorakulmaiselle tilalle ja kulmaviistereunamiin on lisätty paneelit. Uudella tekniikalla voidaan tarjota KONE:n uusimpia sisäkattoja niiden tekniikkaa ja visuaalisuutta suuremmin muuttamatta.

Sisäkatto koostuu konfiguroitavista osista, mutta ainoat tapauskohtaisesti valmistettavat osat sisäkatoissa ovat paneelit. Loput komponentit ovat vakiokomponentteja, jotka eivät tarvitse tapauskohtaisia valmistuskuvia, vaan kuvat löytyvät jo PDM-järjestelmästä. Sisäkattojen suunnittelu on pääosin DFC:tä ja DFA:ta. Kuvassa 45 on sisäkatto, jossa on loisteputket paneelien päädissä.



**Kuva 45.** Sisävalaisin, jossa on loisteputket paneelien päissä.

Suoraan vakiotarjonnan käsikaiteita ei voida käyttää kulmakorin tuotemallissa, koska seinämät ovat normaalista poikkeavia. Visuaalisesti järkevintä olisi luoda mallit, jotka kulkevat korin seinämien ympäri. Tämä tapa eroaa kuitenkin niin paljon vakiotarjonnasta, että myös tuotteen hinta nousisi huomattavasti. Käytännöllisintä on luoda provisiot käsikaiteille C- ja D-seinämille. Käsikaiteet lainataan vakiotarjonnasta ja niitä tulee yhteensä kahdeksan erilaista. Käsikaide voi tulla COP:n molemmin puolin, mutta ei COP:n kohdalle. Käsikaiteita voi olla täten enintään neljä samaan aikaan. Kuvassa 46 on valmis sisustuksen kokoonpano.



**Kuva 46.** Esimerkki sisustuksen kokoonpanosta.

Kulmakorin tuotemalliin mallinnetaan avuksi kehys. Kehys ei kuulu korisuunnittelijan suunniteltavaksi ja se tilataan toista reittiä. Kehys on kuitenkin hyvä olla mallissa rajapintatarkastelun apuna. Kulmakorissa joudutaan asentamaan kehys poikkeavasti hissikuilun ja viisteseinämien mukaan, koska korissa on vierekkäisillä seinämillä ovet. Normaalisti kehys olisi B- ja D-seinien mukaisesti. Kehys mallinnetaan parametriseksi seuraamaan korin mittoja.

### 3.5.7 Mallin konfigurointitarkastelu

Kun tuotemallin kaikki moduulit on mallinnettu, parametrit määritetty ja suhteet asetettu, konfiguroidaan mallia. LEAN-periaatteen mukaisesti diplomityössä pyritään virheettömään kulmakorien massatuotantoon. Mallin tulee olla niin luotettava, että kulmakorin suunnittelijat tai generoijat voivat täysin luottaa generoidun mallin ja asiakkaan toivoman hissikorin identtisyyteen. Tämän takia konfigurointivaihe on laadun kannalta erittäin tärkeä. Konfigurointi tapahtuu generoimalla mallia mahdollisimman useilla parametrien arvoilla. Tavoitteena on saada aikaan mahdollisimman vakaa

tuotemalli. Kuvassa 47 on valmis raakakori tietyin tuoteparametrein. Konfigurointitarkastelu suoritetaan yhdessä korisuunnittelijoiden kanssa. Viimeistään tässä vaiheessa puuttuvat parametrit tulevat tietoon. Diplomityön rajauksen sisältä puuttuvat parametrit on helppo määrittää tuotemalliin myös jälkeenpäin ylhäältä-alas –mallinnuksen ansiosta.



**Kuva 47.** Valmis kulmakori.

Kuvassa 48 on uusilla parametriarvoilla konfiguroitu tuotemalli ja siihen mallinnettu kehys. Kulmakorin konfigurointitarkastelussa havaittujen virheilmoitusten mukaiset tuotekomplikaatiot poistetaan ennen rajoitettua tuotantoa.



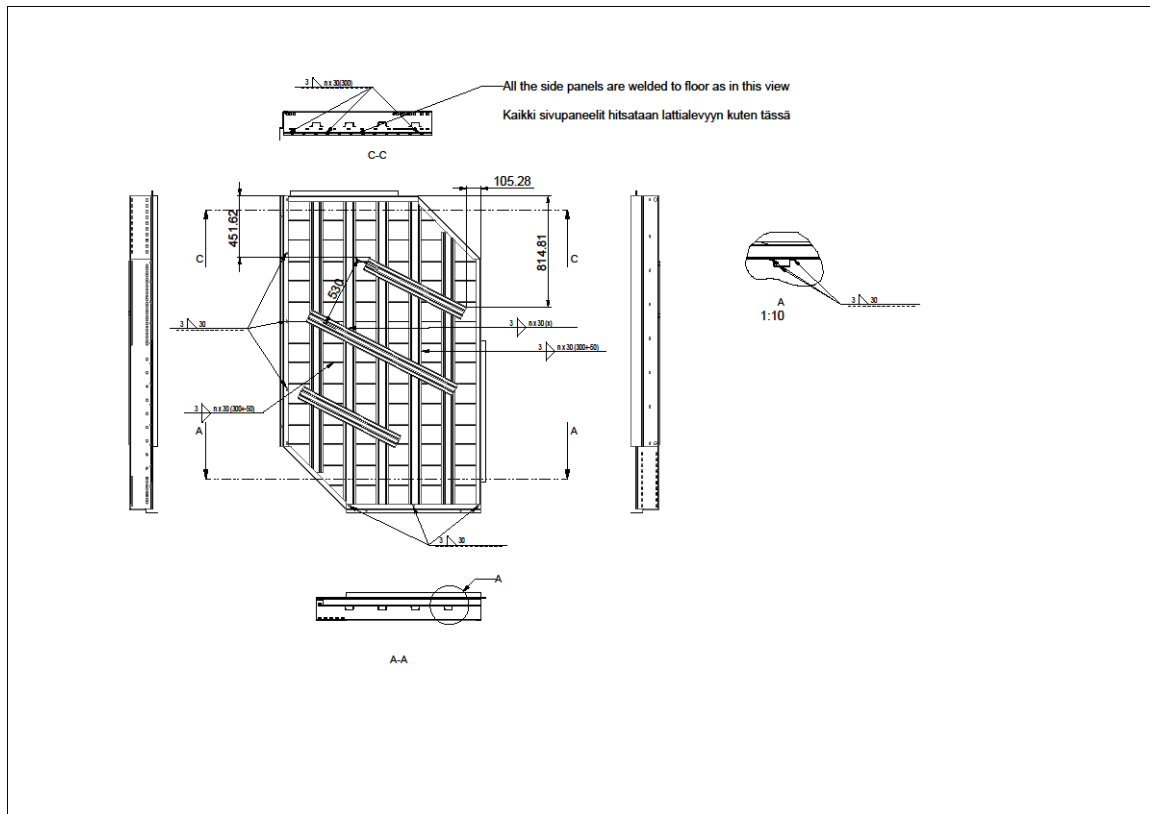
**Kuva 48.** Kulmakori kehyksen kanssa.

### 3.6 Piirustukset

Ylhäältä-alas –mallinnustavan ansiosta piirustuksien ja jatkokehityksen teko jälkeenpäin on helppoa. Jokaiselle tuotteen kokoonpanolle ja komponentille on löydettävä piirustukset. Standardiosien kuvat tallennetaan VariPDM:än. Nämä kuvat eivät ole muokattavissa. Konfiguroitaville osille luodaan parametriset kuvat, jotka generoituvat päivitetyn tuotemallin mukaan. Kun malli on generoitu uusilla arvoilla, konfiguroitavien osien ja

kokoonpanojen piirustukset voidaan päivittää Link IT –työkalulla. Tämän jälkeen kuvat voidaan julkaista PDM-järjestelmään.

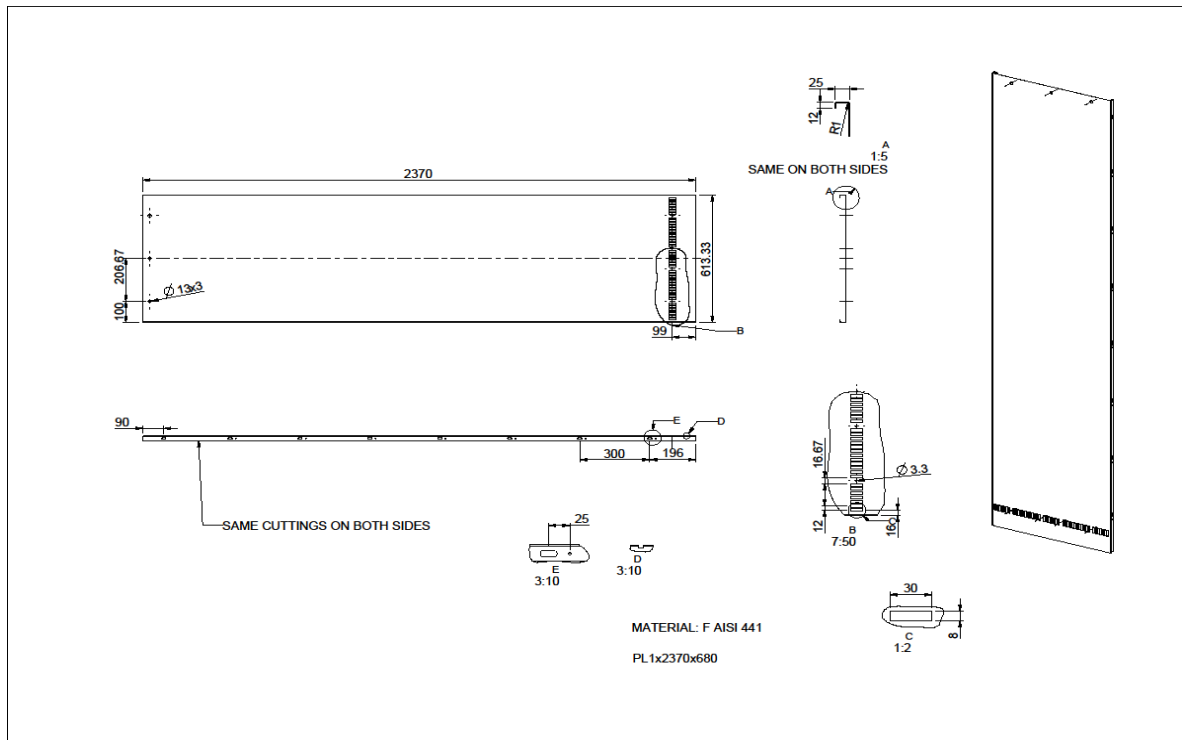
Päätason kokoonpanokuvassa määritetään raakakori ja lisäosat kuten käsikaide. Raakakorin pääkokoonpanokuvassa on projektiot tarvittavista suunnista ja alikokoonpanokuvien nimet osaluettelona. Pääkokoonpanon alikokoonpanoja ovat lattiat, seinät ja katot. Kokoonpanokuvaan tulee lisätä 3D-kuva havainnollistamaan kokoonpanoa. Alikokoonpanokuvan lisäksi lattiasta luodaan hitsauskuva. Hitsauskuva sisältää kaikki tarvittavat merkinnät ja ohjeet hitsauksen toteuttamiseen. Vain standardisoituja merkintöjä ja symboleita tulee käyttää. Hitsauskuvaan lisätään vain tarvittavat dimensiot, koska kokoonpanokuvasta näkyy kaikki mahdolliset dimensiot. Lattian hitsauksen kanssa on useasti aikaisemmin ollut ongelmia tuotannossa, minkä takia hitsauskuvaan pyritään yksinkertaistettuun, mutta informatiiviseen kuvaan. Kuvassa 49 on esitetty lattian hitsauskuva. Asiakkaalle lähetettäviä hyväksyntäkuvia varten luodaan piirustus pohja pääkokoonpanosta. Hyväksyntäkuvaan tulee projektiot eri suunnista ja materiaalien ja yksityiskohtien esittely.



**Kuva 49.** Lattian hitsauskuva.

Komponenttitason piirustuksissa on oltava tarkka, että kaikki valmistukseen tarvittavat mitat merkitään. Komponenttitason piirustuksissa on huomioitava tarkasti toleranssit ja jokaisessa piirustuksessa on viitattava ainakin yleisiin toleransseihin. Levymetallikomponenteista luodaan niin sanotun tasaisen tilan piirustukset, jotka esittävät levymetallin taivuttamattomassa tilassa. Näiden kuvien avulla levytyökoneilla toteutetaan leikkaukset. Komponenttitason piirustuksiin merkitään suurin osa mitoista, mutta jos joku mitta on jäänyt merkitsemättä, näkee valmistaja sen tasaisen tilan piirustuksesta. Taivutettavista komponenteista on hyvin tärkeä löytyä taivutusmitat, joiden avulla levytyökone ohjelmoidaan taivuttamaan.

Piirustuksiin ei luoda minkäänlaista itsenäistä geometriaa. Kaikki geometriaan liittyvä funktionaalisuus on oltava 3D-mallissa. Piirustuksiin lisätään merkinnät esimerkiksi materiaaliin ja kappaleen päämittoihin. Tällaiset merkinnät päivittyvät mallin konfiguroinnin jälkeen päivitetessä piirustuksia. 3D-mallin puolella merkinnöille luodaan ehdot. Kuvassa 50 on esimerkki osan valmistuspiirustuksesta



**Kuva 50.** Seinäpaneelin valmistuspiirustus.

Piirustuksiin sisällytetään vain yksinkertaista ohjelmointia kuten, että komponentin jokin näkymä tulee piirustukseen vain tietyssä tapauksessa tai, että hiontasuunta ilmoitetaan vain hiottaviin materiaali pintoihin. Link-IT työkalun avulla helpotetaan valmistuskuvien tilauskohtaista päivittämistä ja kuvien tulostamista kovalevyille ja PDM:än. Link-IT työkalun avulla voidaan suoraan päivittää kaikki tuotemallin valmistuskuvat ja tulostaa kovalevyille tai PDM:än. Makrot Link-IT työkaluun on luotu aikaisemmin. Ilman vastaavanlaista ominaisuutta jokainen kuva tulisi avata ja päivittää erikseen ja sen jälkeen vielä tulostaa manuaalisesti.

### 3.7 Tuotemallin tarkastus

Monimutkaisen ja laajan suunnittelun outputin eli valmistettavan tuotteen laadun varmistus on tässä tapauksessa resurssija ja aikaa vievä tehtävä. Monimutkaisen ja laajan tuotemallin outputin varmistaminen on yleensä pitkä prosessi. Tässä tapauksessa ensimmäinen prosessin vaihe on tuotteen rakenteen korrektisuuden tarkastaminen. Tämä vaihe suoritetaan yhdessä yrityksen kokeneimman kulmakorien suunnittelijan kanssa. Toinen prosessin vaihe on tuotemallin konfigurointitarkastelu. Konfigurointitarkastelun voi

suunnittelija suorittaa itse. Tässä voidaan käyttää esimerkiksi FMEA-työkalua apuna. Konfigurointitarkastelulla varmistetaan, että suunnittelun "output" sisältää aina oikeat osat oikealla geometrialla. Prosessin kolmannessa vaiheessa tarkastetaan, että jokainen tuotemallin komponentti tai taso sisältää tarvittavat valmistuskuvat ja, että kuvat sisältävät kaiken valmistukseen tarvittavan informaation. Tässä vaiheessa toinen henkilö suorittaa tarkastuksen. Koska tuotteen toimitusprosessi tulee kulkemaan edelleen erikoissuunnittelun kautta, tuote tarkastetaan joka kerta myös tapauskohtaisesti.

### 3.8 Kulmakorimallin tuotteistaminen

Tuotteistamisessa olennaista on omistaa tuote, joka on valmistettavissa. Tehokasta on omistaa standardoitu tuote tai tuote, joka on lähes täysin standardoitu. Toinen olennainen asia on luoda asiakkaalle mahdollisuus tilata tuote. Diplomityön aiemmissa vaiheissa on luotu tuote, joka on helposti asiakaskohtaisesti tilattavissa ja konfiguroitavissa, koska malli on parametrisoitu. Toimitusprosessi tuotteelle on alkuun lähes erikoiskorien toimituksen mukainen. Toimitusprosessi linearisoituu kuitenkin huomattavasti laajan tuotearkkitehtuurin ja sen ympärille koottujen apuvälineiden ansiosta.

Layout-osaston kanssa on sovittu yhteisistä toimenpiteistä ja palavereista kulmakorien suhteen. Layout-osasto on aloittanut tekemään omaa suunnitteluohjetta, johon sisällytetään diplomityössä huomattavat parannusehdotukset. MP-osaston kanssa on myös sovittu tapaaminen, jos he ovat valmiita sijoittamaan budjetistaan kulmakorien kehitykseen.

VariPDM:än määritetään parametrit, joilla tuotemallia ohjataan ja parametreille rajat. Kun tilaus saadaan, tilausohjeen avulla määritetään parametrien arvot. Tilauksen yhteydessä luodaan XML-tiedosto. XML-tiedosto voidaan tämän jälkeen syöttää Pro/ENGINEER – ohjelmistoon, jolloin tuotemalli generoituu oikeilla parametreilla.

#### 3.8.1 Tilausohje

Tilausohje koostuu parametreista, joilla ohjataan kulmakorin tuotemallia, parametrien rajoista ja niiden selityksistä. Tilausohje on työkalu listing- ja myyntiosastolle, mutta myös mahdollisuuden tilata korin suoraan parametrien välityksellä. Tällöin asiakas saa itse päättää korin pohjapiirustuksen. Muuten yleensä layout-osaston jäsen määrittää ääri viivat korille. Kun tilaus on saatu ja tilausohje täytetty tilauksen vaatimusten mukaan, tilauksesta

luodaan XML-tiedosto ja tilaus päivitetään SAP-järjestelmään. Suunnittelija löytää tilauksen SAP-järjestelmästä ja tilauksen tiedot. Tilauksen tietojen ja XML-tiedoston avulla suunnittelija konfiguroi tuotemallin ja tulostaa valmistuskuvat. Kuvassa 51 on esitetty esimerkki tilausohjeesta. Kuvassa on valinnat seinien dekoraatiomateriaaleille. Taulukkoon kirjoitetaan materiaali-ID, jonka avulla tunnistetaan dekoraatiomateriaali. ”0” valitaan, jos seinämille ei tule dekoraatio.

769  
770  
771  
772  
773  
774  
775  
776  
777  
778  
779  
780  
781  
782  
783  
784  
785  
786  
787

**CAR WALL DECORATION:**

0 0, No decoration

4.1 **MAT\_CAR\_WALL\_A\_DECO**   
(Car Decoration material A wall)

4.2 **MAT\_CAR\_WALL\_B\_DECO**   
(Car Decoration material B wall)

4.3 **MAT\_CAR\_WALL\_C\_DECO**   
(Car Decoration material C wall)

4.4 **MAT\_CAR\_WALL\_D\_DECO**   
(Car Decoration material D wall)

Page 12

ID	Material type	Marketing name	Technical description	List
L219	Real wood laminate	Oak	Real wood laminate Oak ALPI 10095 fin. Soft	LL2
L220	Real wood laminate	Walnut	Real wood laminate Walnut ALPI 10089 fin. S	LL2
L221	Real wood laminate	Wenge	Real wood laminate Wenge ALPI 10087 fin. S	LL2
L222	Real wood laminate	Black Oak	Real wood laminate Black Oak ALPI 10083 fir	LL2
L223	Real wood laminate	Wild Wenge	Real wood laminate Wild Wenge ALPI 10085	LL2

**Kuva 51.** Tilausohje, jossa näkyy valinnat seinien dekoraatiomateriaaleille.

Kulmakori voidaan myös tilata perinteisesti standardikorin prosessin kautta. Tällöin tieto korin geometriasta saadaan layout-suunnittelijalta ja kori ohjataan erikoiskorien suunnitteluosastolle. Tämän jälkeen korista voidaan tehdä esimerkiksi hyväksyntäkuvat asiakkaalle.

### 3.8.2 Suunnitteluohje ja tuotemallin tukityökalut

Suunnitteluohje luodaan selventämään tuotemallin ominaisuuksia ja toiminnallisuutta. Suunnitteluohje on työkalu suunnittelijoille, jotka käyttävät kulmakorin tuotemallia. Suunnitteluohje määrittää kulmakorin tuotemallin rajat ja toiminnallisuuden. Suunnitteluohjeen avulla suunnittelijat osaavat konfiguroida mallia. Ohjeessa kerrotaan myös kuinka malli soveltuu erikoissuunnitteluun.

Suunnitteluohjeen lisäksi luodaan Excel:llä työkalu, jolla voidaan ainakin alkuun päivittää XML-tiedosto, koska XML-tiedostot eivät tunnista vielä uusia parametreja.

Suunnittelijoille luodaan XML-tiedosto vakiotarjontaan kuuluvan korin mukaan, mistä puuttuu osa kulmakorin konfigurointiin tarvittavista parametreista. Kuvassa 52 on XML-työkalu. Siihen syötetään arvot ja tällöin saadaan koodi, joka syötetään XML-tiedostoon. Tämän jälkeen XML-tiedosto voidaan syöttää tuotemalliin.

1 ADJACENT CAR XML UPDATE TOOL			
2			
3			
4	TYP_CAR_ADJ_MODEL	1	SALES ORDER 350019134
5	DIM_CAR_SLING_ANGLE	52	ITEM LINE 100
6	DIM_CAR_CORNER_CUT_AB	181	
7	DIM_CAR_CORNER_CUT_BA	231	
8	DIM_CAR_CORNER_CUT_BC	333	
9	DIM_CAR_CORNER_CUT_CB	300	
10	DIM_CAR_CORNER_CUT_CD	82	
11	DIM_CAR_CORNER_CUT_DC	104	
12	DIM_CAR_CORNER_CUT_DA	777	
13	DIM_CAR_CORNER_CUT_AD	888	
14	DIM_CAR_FRONT_WALL_DEPTH_B	35	
15	DIM_CAR_FRONT_WALL_FLB	250	
16	DIM_CAR_FRONT_WALL_FRB	120	
17	DIM_CDO_LL_B	900	
18	MAT_CAR_FRONT_WALL_B	K	
19	TYP_CDO_INTERFACE_B	AMDC2R	
20	MAT_CAR_WALL_E	K	
21	MAT_CAR_WALL_F	K	
22	MAT_CAR_WALL_G	3	
23	MAT_CAR_WALL_H	4	
24	TYP_CAR_KS0957_PROVISION_B	0	
25	TYP_CDO_SAFETY_DEVICE_B	0	
26	POS_CAR_CDL_B	0	
27	TYP_CDL_PRODUCT_B	0	
28	DIM_CDO_HH_B	2100	

**Kuva 52.** XML-työkalu.

### 3.9 Tuotteen validointi

Validointivaihe on CoQ:n ja LEAN-toiminnan kannalta tärkeä. Panostamalla ennaltaehkäisevään laadun parantamiseen päästään lähemmäksi tilannetta, jossa suunnittelu- tai prosessivirheitä ei muodostu lainkaan. Tuotteen validoimiseksi suoritetaan rajoitettu tuotanto eli toimitetaan kolme kulmakoria. Näissä tapauksissa tilausprosessi on ollut vakiotarjontakorista tehdyn erikoiskorin mukainen. Validoinnissa tutkitaan asennusta ja kokoonpanoa, mutta myös koko toimitusprosessin toimivuutta. Ensimmäisessä koreista asiakkaalle on tarjottu koria, jossa seinäpaneelit on jaoteltu tiheämpään. Kuvassa 53 näkyy ensimmäinen kori. Toisessa korissa ei lisäsuunnittelua juurikaan ole. Tästä korista tehdään

testikasaus KONE:n Hyvinkään tehtaalla. Kolmas kori on kolmiovinen, joka vaatii hieman enemmän lisäsuunnittelua. Kolmiovisen korin suunnittelussa nähdään kuinka malli toimii monimutkaisessa projektissa, joka vaatii lisäsuunnittelua.



**Kuva 53.** Asiakkaalle toimitettava kulmakori

Ensimmäinen kori vaati enemmän lisäsuunnittelua ja hieman funktioiden hiomista, mutta toinen kori meni suunnittelusta läpi jo rutiinilla. Sivulla 13 olevan prosessikaavion mukaisesti projekteissa löydetty virheet tai parannusehdotukset lisättiin emomalliin. Emomallia päivitetään aina tarvittaessa. Projektikohtaisesti malli kopioidaan aina emomallista riippumattomaksi. Kolmiovisessä korissa jouduttiin poistamaan ja lisäämään osia ja kokoonpanoja. Mallin referenssit on myös rakennettu siten, että malli toimii edelleen täydellisesti, vaikka mallista poistaa osia. Kolmiovinen kori oli haastava, koska ovet vaadittiin A-, C- ja D-seinille. Malli on kuitenkin rakennettu siten, että ovet tulevat aina A- ja B-seinille. Malli konfiguroitiin siten, että ovet tulevat A-, B- ja D-seinille. Kuviin tällöin valehdeltiin ovet A-, C- ja D-seinille. Tällaisissa tapauksissa mallia

konfiguroidessa on koria helppo kierittää tarpeen vaatiessa ja korin viistettävien kulmien paikoitusta voidaan vaihtaa.

Kehitysprosessin mukaisesti tuotannosta ja toimitusprosessin eri osista saatu palaute implementoidaan tuotteeseen. Korin testikasauksessa huomattiin, että kynnyksen alumiiniprofiilille tehty reikä etuseinän paneeleihin, oli väärin paikoitettu. Reiän paikka korjattiin toimitettaviin koreihin ja emomalli päivitettiin tämän osalta. Myös korin kulmaviistepaneelit olivat taivutettu 90 asteen kulmaan, vaikka kulma on aina eri. Virheestä suoritettiin CA (Corrective Action) eli korjaava toimenpide ja löydettiin juurisyy suunnittelun jälkeisistä toimitusprosesseista. Suunnittelun jälkeisessä BOM- eli osaluettelointivaiheessa ei ole selkeästi ilmoitettu ohjelmointiin, että kyseessä on kulmakori. Ohjelmoijat ohjelmoivat levytyökoneita. Kuviin on määritetty taivutuskulma oikein, mutta ohjelmoija oli ohjelmoinut paneelit kuin tavalliset seinäpaneelit. Korjaavana toimenpiteenä sovittiin BOM-osaston kanssa, että he merkitsevät selvästi kyseessä olevan kulmakori ja merkitsevät kulmapaneelien materiaalinumerot kansilehteen, jonka ohjelmoijat lukevat.

Lattian hitsauksesta kiiteltiin osien sopivuutta toisiinsa nähden, mutta myös huomattiin, että lattian kulmaviistepalojen suunnittelua voidaan parantaa. Kulmapalojen taivutuskulmiin lisättiin helpotukset, jolloin palat on kiinnitettävissä ilman hiomista. Lattian hitsauksessa huomattiin, että jostain syystä kynnykset eivät saavu hitsaukseen. Tuotemallin lattian kokoonpanon osaluettelossa ja PDM-järjestelmän tuotteen rakenteessa on kuitenkin kynnykset. Juurisyys oli BOM-vaiheessa. Korjaavana toimenpiteenä sovittiin, että kynnykset merkitään aina erikseen BOM-osaston tekemään osaluetteloon. Tällöin ohjelmoijat erottavat kynnykset paremmin.

#### 4 TULOSTEN TARKASTELU

Kulmakorien suunnitteluun käytetyksi ajaksi ennen diplomityötä määritettiin keskimäärin 24 tuntia. Diplomityön konkreettiseksi tavoitteeksi määritettiin suunnittelutyöhön käytettävän ajan vähentäminen 24 tunnista neljään tuntiin. Diplomityössä luodun tuotemallin avulla suunnittelu voidaan suorittaa mahdollisesti jopa kahdessa tunnissa. Voidaan sanoa korisuunnittelijoiden haastattelun kautta, että keskimäärin tuotemallilla päästään alle neljän tunnin suunnitteluun. Diplomityön rajaukseksi todettiin, että tuotemalli tulee sisältää 48,12 % asiakkaiden vaatimuksista. Kokeneen kulmakorien suunnittelijan kommenttien avulla voidaan todeta, että diplomityön tuotemalli sisältää 48,12 % asiakkaiden vaatimuksista.

KONE Oyj:n kannalta merkitsevimmät tekijät ovat aika, raha ja laatu. Kokenut kulmakorien suunnittelija on todennut, että jokainen suunniteltu kulmakori vaatii valmistukselta erikoistoimenpiteitä ja 95 % kulmakoreista sisältää suunnitteluvirheitä. Tämä varmistettiin myös tuotannon kommentein. Noin 75 % kulmakoreista aiheuttaa tuotannon keskeytyksiä. Tuotannon keskeytyksistä tulisi ilmoittaa aina suunnitteluun. Tuotannon keskeytyksiä kuuluisi tulla enemmänkin, mutta osa virheistä korjataan suoraan tuotannossa ilman ilmoitusta.

Tuotannosta saatujen tietojen perusteella voidaan laskea arvio tuotannon keskeytyksien aiheuttamista lisäkustannuksista. 100 tuotannon keskeytystä aiheutti 30000€:n lisäkustannukset, joihin on laskettu lisäsuunnittelusta aiheutuvat kustannukset, tuotannon työ ja materiaalikustannukset. Suunnittelutyön tuntiarvoksi määritetään 45 euroa. Yksi tuotannon keskeytys siten aiheuttaa noin 300€:n lisäkustannukset yhtiölle. Kulmakorien suunnitteluun käytetyn ajan vähentäminen 24 tunnista neljään tuntiin vähentää suunnitteluun kuluvia kustannuksia 900€.

Koska tuotesuunnittelu ja tuotteistaminen suoritettiin diplomityönä ja yhden henkilön toimesta, rahallinen sijoitus ei ollut yhtiötasolla merkittävä. Diplomityössä ei myöskään käytetty muiden työntekijöiden aikaa merkittävästi, joten se ei vaikuttanut tuotekehitykseen sijoittamiseen.

Laadullisesti ja visuaalisesti tuotearkkitehtuuri tuo myös markkinoille KONE:n uusinta innovatiivisuutta. Esimerkiksi aiemmin ei ole kulmakoreissa käytetty KONE:n uutta valaisimien tarjontaa. Diplomityö tuo markkinoille valaisinmallit, jotka ovat KONE:n uusinta visuaalista suunnittelua. Sisäkatot, joissa valaisimet ovat kiinni, ovat myös reunoista aukeavat, jolloin huollettavuus ei kärsi ja katossa olevan hätäoven käyttö on helppoa. Uuden tuotearkkitehtuurin seinädekoraationa voidaan myös käyttää uusimpia visuaalisia ulkonäköjä. Laadun näkökulmasta tuotearkkitehtuuri tuo kulmakorien toimitukselle selkeämmän prosessin, joka esimerkiksi helpottaa myynnin ja erittelyn työtä. Tuotearkkitehtuurin myötä myynnin ei tarvitse tapauskohtaisesti käydä läpi rajoja minkälainen kulmakori voidaan tarjota. Erittely tietää suoraan, että kyseessä on kulmakori. Kun erittelystä ohjataan tiedot suunnitteluun, työ myös allokoidaan henkilölle, joka työn osaa tehdä. Tämäkin vaihe selkeytyy, sillä ainakin aluksi jokainen kulmakori ohjataan tietylle henkilölle. Suunnittelulaatu tulee myös paranemaan merkittävästi, sillä kolmiulotteisesti voidaan havaita virheet helpommin kuin kaksiulotteisesti.

Tuotearkkitehtuurin implementoinnin tuotto suhteessa vanhoihin toimintatapoihin on järkevää laskea neljän vuoden päähän. Voidaan todeta, että neljän vuoden päästä toimitetaan tässä diplomityössä luodun tuotemallin avulla 95 % kulmakoreista. Tällä hetkellä kulmakoreja menee noin 40 vuodessa. Määrän odotetaan kasvavan 10 % vuodessa pelkällä lineaarisella kasvulla, joten neljän vuoden päästä kulmakoreja menee noin 58 vuodessa. Myös tarjonnan laajentumisella ja päivityksellä on vaikutusta kulmakorien menekkiin, joten menekki voi olla huomattavasti suurempikin kuin 58 kulmakoria vuodessa. Uudella tuotearkkitehtuurilla on myös paremmat mahdollisuudet voittaa tarjouskilpailuja. Markkinoiden kasvun hidastumisellekaan ei ole vielä merkkejä.

Jos otetaan huomioon vain lineaarinen kasvu, kulmakoreja menee neljän vuoden päästä 58. Uudella tuotemallilla tullaan vähentämään tuotannon keskeytyksiä huomattavasti. Realistisesti voidaan todeta, että neljän vuoden päästä tuotannon keskeytyksiä tulee enää alle 15 %:sta koreista. Tavoitteena on kuitenkin nollaprosentti. Taulukossa 4 on uuden tuotearkkitehtuurin implementoinnin suora vuodentuotto suhteessa vanhaan tapaan neljän vuoden kuluttua. Taulukon laskussa ei ole laskettu muun muassa katteiden kasvua, prosessikulun nopeutumista ja kysynnän markkinoita kovempaa kasvua. Kulmakoreja odotetaan suunniteltavan 55 kappaletta uudella tuotemallilla neljän vuoden kuluttua.

*Taulukko 4. Tuotearkkitehtuurin yhden vuoden tuotto-odotukset neljän vuoden kuluttua.*

Suunnittelutyön vähentäminen	49500€
Tuotannon keskeytyksien vähentäminen	9900€
Kokonaistuotto	59400€

Kokonaistuotoksi saadaan 59400€. Tuotearkkitehtuuri mahdollistaa kuitenkin variaatioita, jotka tulisivat huomattavan kalliiksi tapauskohtaisella suunnittelulla. Näin voidaan edelleen laskea myyntihintaa ja samalla nostaa katteita. Näin edelleen hissikohtainen tuotto kasvaa ja menekki tulee myyntihinnan laskulla todennäköisimmin kasvamaan,

Kohdassa 2.2 on esitetty tuotteen absoluuttinen tuotto, joka voidaan määrittää vasta myöhemmin. Tähän lasketaan tuotteeseen investoidut rahat ja yksittäisten tuotevarianttien tuotto. Absoluuttisen tuoton perusteella voidaan selvittää tuotearkkitehtuurin menestys.

#### 4.1 Tuotemalli

Tuotemalli onnistuttiin luomaan konfiguroitavaksi suunnitteluautomaatiksi, jonka avulla kulmakorin valmistukseen vaadittavat piirustukset voidaan suoraan ladata tuotemallista PDM-järjestelmään. Kokenutta kulmakorien suunnitteluja haastattelemalla voitiin myös todeta, että diplomityössä tavoitteeksi asetettu 48,12 % asiakkaiden vaatimuksista onnistuttiin sisällyttämään. Tuotemalli sisältää myös uutta innovaatiota, kuten reunoista aukeavat viistetyt valaisimet ja seinädekoratiopaneelit kaikilla korin seinämällä. Tuotemalli sisältää myös kaksi eri kattomallia, käsikaiteet ja mallin korin kehyksestä havainnollistamaan kehyksen ja c-kiskojen paikoittamista. Tuotteen validoinnin kautta löydetty virheet päivitettiin emomalliin. Todennäköisesti tuotemallin haastavin osio oli c-kiskojen paikoittaminen ja mitoitus. Sillä c-kiskojen paikoituksessa ja mitoituksessa on otettava huomioon katon mitat, kulmaviisteet, kehyksen kulma, tuulettimet ja hätäluukku. Tuotemallin komponenteille on määritetty materiaaliparametrit, joiden avulla voidaan määrittää koko tuotteen massa Pro/ENGINEER-ohjelmistosta. Myös gravitaatiokeskipisteen paikoitus onnistuu. Aikaisemmin layout-osasto on joutunut määrittämään nämä arvot arvioiden. Uudella tuotemallilla täten nopeutetaan prosessia ja saadaan tarkemmat arvot ja vähennetään laaturiskejä, joita voi syntyä väärin lasketusta

kokonaismassasta ja gravitaatiopisteestä. Esimerkiksi moottorin tehokkuus määritetään kokonaismassan mukaan.

Konfiguroituvat valmistuspiirustukset on onnistuttu luomaan niin, että kuvia ei tarvitsi manuaalisesti päivittää. Näissä piirustuksissa on valmiiksi valmistukseen tarvittavat tiedot ja mitat. Myös hyväksyntäkuvapohja on luotu, jotta asiakkaalta voidaan varmistaa, että tuotevariantti sisältää oikeat ominaisuudet. Hyväksyntäkuvassa on muun muassa seinien materiaalit, sisäkattotyyppi ja lattian materiaali.

Mallinnus on suoritettu ottaen huomioon mallin helpon muokkauksen, jälkikäsitteilyn ja erikoissuunnittelun. Osien referenssit on määritetty Pro/ENGINEER:ssä ehto-valikon kautta, jolloin osien kopioiminen ja uudelleen reitittäminen käy helposti. Osien uudet arvot on myös helppo määrittää ehto-valikossa. Osat saavat informaatiossa luurankomalleista ja tämän informaation muokkaaminen on tehty helpoksi. Sen voi päivittää suoraan osaan tai luurankomalliin.

Diplomityötä aloitettaessa visiona oli lisätä tuotemalli PDM-järjestelmään eli WindChill:in kaikkien käytettäväksi. Järkevämpää on kuitenkin säilyttää alkuun tuotemalli kovalevyversiona ja Hyvinkään suunnitteluosaston käytettävissä, kunnes tuotemallia on useammin testattu ja todettu tarpeeksi vakaaksi. Kun tuotemallia on testailtu niin kauan, että virheitä ei juuri muodostu, voi mallin ladata WindChill:n ja suunnittelutyötä allokoida useammalle osastolle.

#### 4.2 Tuotteistaminen

Parametrein ohjautuva modulaarinen tuotemalli mahdollistaa sulavan massakustomoitavuuteen perustuvan tuotearkkitehtuurin. Vaikka tuotemalli sisältää vain 48,12 % mahdollisista asiakasvaatimuksista suhteessa aikaisempiin toimituksiin, voidaan diplomityön arkkitehtuurin tuotteistamisella päästä huomattavasti korkeampiin lukuihin. Sillä aikaisemmin toimitetut kulmakorit ovat sisältäneet paljon riskitekijöitä. Kompressoimalla kulmakorien tarjontaa vältytään riskitekijöiltä paremmin. Layout-osaston kanssa on sovittu, että aina kun mahdollista, layout-piirustukseen asetetaan kehys kulkemaan korin kulmien läpi. Aikaisemmin on myös tehty koreja, joissa on muun muassa monikulmaisesti viistettyjä nurkkia, koska layout-osastolle on ollut ymmärrys, että aina

käytetään 45 asteen kulmia. Uusi tuotearkkitehtuuri mahdollistaa helposti myös muiden kulma-asteiden käytön. Näillä toimenpiteillä kulmakorin tuotearkkitehtuurilla voidaan suoraan toimittaa lähes 90 % kulmakoreista.

Tuotteistamisen ja uuden tuotemallin avulla nopeutetaan ja linearisoidaan koko toimitusprosessia. Myynti- ja tarjousprosessi nopeutuvat, mutta muutosta ei voida tarkkaan laskea. Layout-, massalaskenta-, hyväksyntä-, kehys-rajapinta- ja valmistuskuvavaiheiden ajan käytön muutokset voidaan kuitenkin laskea. Kuvassa 54 on prosessivaiheiden ajanmuutokset uuden tuotteen avulla.



**Kuva 54.** Prosessivaiheiden ajan muutokset.

Kuvasta 54 voidaan huomata, että vaiheisiin, joihin ennen kului 44 tuntia, kuluu nyt 10 tuntia. Nämä vaiheet ovat vain vaiheita, joiden ajan muutokset voidaan tarkemmin laskea. Taulukossa 4 on laskettu vain valmistuskuvavaiheen ajan muutoksen vaikutukset kustannuksiin, koska valmistuskuvavaiheen nopeuttaminen oli diplomityön konkreettinen tavoite.

Aloitettaessa työtä visiona oli luoda jo diplomityön rajoissa asiakkaalle suora mahdollisuus tilata kulmakoreja. Kulmakorien monimutkaisista variointimahdollisuuksista johtuen validointi kuitenkin vie edelleen diplomityön jälkeenkin aikaa ennen kuin tuotteelle tehtyä tilausohjetta voidaan täydellisesti hyödyntää. Tarjousosastolle on ilmoitettu uudesta tuotteesta ja sen tilausohjeesta. Tarjousosasto ottaa mielellään tilausohjeen käyttöön ja pyrkivät markkinoimaan sitä myös edelleen KONE:n sisäisille myyntiyhtiöille. Sitä ennen tilausprosessi on enimmäkseen samanlainen kuin erikoiskoreilla, mutta tilausohje on apuna. Tilausohjetta voidaan käyttää esimerkiksi myös myyntiyökaluna tai layout- ja listing-osaston apuna.

MP-osasto on yhteydessä FL:än niin, että FL tietää minkälaisesta ja missä rajoissa toimivasta tuotearkkitehtuurista on kyse. Tuotantoon on kommunikoitu ja he tietävät uudesta tuotteesta ja sen prosessimuutoksista. Validoinnin ohessa BOM-osastolle ilmoitettiin uudesta tuotteesta ja prosessimuutostarpeista. BOM-osaston jälkeisestä vaiheesta eli komponenttien tilaukseen laittamisessa huomattiin että, kun suunnittelija tekee muutoksen tuotteeseen ja ilmoittaa siitä tuotannon ja tilaajien yhteiseen sähköpostiin, tilaajan toimenpiteet eivät näy enää suunnittelijalle. Tästä sovittiin, että aina myös suunnittelijalle tulee tieto, kun uudet osat on tilattu. Näin suunnittelija pystyy seurata paremmin tuotteen valmistumista.

#### 4.3 Jatkokehitysmahdollisuudet

Tuotearkkitehtuurilla on suunniteltu diplomityön aikana jo kolme hissiä. Tuotteen jatkuvan parantamisen kannalta on tärkeää seurata tuotteen valmistusta ja saada palautetta. Jos tuotearkkitehtuurissa on tarvetta erilaisille muotovarianteille, voidaan tuotemalliin sisällyttää erilaisia muototyyppisiä. Tarjontaan on myös kannattavaa lisätä kaikki sisustuskomponentit. Jos tuotevarianteille, joissa on horisontaaliset seinäpaneelit tai seinäpaneelin tilalla halutaan lasi, on kysyntää, voidaan myös nämä ominaisuudet lisätä

tuotemalliin. Voi myös olla tarvetta lisätä uusia muotoja kulmakoriin, vaikka tätä ei suositella. Sillä, kun kehys kulkee kulmien läpi, niin tasapainotusongelmilta säästytään. Esimerkiksi kori, jossa kehys ei mene molempien viistekulmien läpi, vaan vain toisen. Tällainen tapaus on mahdollinen, jos korin DD-mitta on suuri ja kehyksestä tulisi liian suuri, jos se kulkisi molempien viisteiden kautta.

Tuotteesta on myös kannattavaa keskustella KONE Oyj:n tuotekehitysyksikön kanssa, jos he haluavat siirtää kulmakorin vakiotarjontaan. Tällöin voitaisiin edelleen linearisoida toimitusprosessia, vähentää edelleen kustannuksia ja laskea tuotteen hintaa. Yhdelläkään kilpailijalla ei ole tällä hetkellä vakiotarjonnassa kulmakoreja.

MP-osaston kanssa on sovittu jatkokehityksestä ja he sijoittavat budjetistaan kulmakorin jatkokehitykseen. Jatkokehityksessä on tarkoitus lisätä sisustuksen tarjontaa ja lisätä tarjontaan EN81-72- eli palomieshissimahdollisuus. Tällöin koriin lisätään tikkaat palomiesten käytettäväksi. Tikkaat voidaan lisätä sisäkaton sisään, sillä sisäkaton paneelit ovat reunoista aukeavat.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Diplomityössä käsiteltiin hisseissä käytettävän kulmakorin tuotekehitystä ja tuotteistamista. Inputtina eli esitietoina työlle annettiin tavoitteiksi laskea kulmakorien suunnittelutyötä 24 tunnista neljään tuntiin ja sisällyttää tuotearkkitehtuuriin 48,12 % asiakkaiden mahdollisista vaatimuksista. Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin kokeneen asiakaskohtaisien kulmakorien suunnittelijan kommenttien perusteella. Diplomityön tekijän omana tavoitteena oli myös siirtää tuotemalli KONE:n PDM-järjestelmään, mutta työssä ajateltiin järkevämmäksi pitää tuote kovalevymallina vielä jatkuvan parantamisen mukaisesti. Outputtina eli lopputuloksena diplomityöstä saatiin toimiva tuotemalli, joka on validoitu ja sisältää 48,12 % asiakasvaatimuksista konfiguraatiomahdollisuuksina, kaikki valmistus- ja kokoonpanokuvat, kulmakori-tuotemallin käyttö- ja suunnitteluohjeet, tilausohjeet, kulmakorin lujuuslaskennat, Excel-työkalun, jolla päivittää XML-tiedosto kulmakorin tuotemallia varten, työkalun, jolla laskea tarkkaan korin kokonaismassa ja gravitaatiokeskipiste, parannetun yhteistyön layout-osaston kanssa kulmakorien suhteen ja kehitystyön aloittamisen kulmakorien layout-suunnittelun ohjeelle, prosessiesimerkin laatua painottavalle tuotekehitykselle ja tuotteen validoinnille, ja validoidun kulmakorin toimitusprosessin erikoiskorina. Työssä tavoitteena oli myös luoda asiakkaille mahdollisuus tilata suoraan haluamansa korityyppi haluamallaan valinnoilla. Tähän luotiin mahdollisuus laatimalla tilausohje. Koska kuilu asettaa kulmakorille erittäin tarkat vaatimukset, on ainakin aluksi parempi käyttää tilausohjetta esimerkiksi myynnin työkaluna. Jälkeenpäin on esimerkiksi mahdollisuus laatia asiakkaille suunnattu tilauskaavake, joka sisältäisi parametrit yksinkertaisemmassa muodossa.

Lopputulokseen päästiin analysoimalla massakustomoinnin perusteita, tuotekehitystä, parametrilla mallintamista ja vanhoja suunniteltuja asiakaskohtaisia kulmakoreja ja uusia korituotteita. Lopputuloksena syntyi tuote, joka ammentaa vanhaa ja uutta. Lattiana korissa on vanha hitsattava rakenne modifioituna. Sisäkatot ovat uutta tarjontaa, joita ei ole aikaisemmin käytetty kulmakoreissa. Kattomahdollisuuksia suunniteltiin kaksi, joista toinen validoitiin. Validoitu kattorakenne on yksin kulmakoreille suunniteltu rakenne. Tuotteen seinäpaneelien divisiointi tapahtuu uusien tuotteiden mukaisesti. Horisontaalisesti kasattuja vaakapaneeleita tuotemalliin ei lisätty. Korin sisustus sisältää suurimman osan

nykytarjonnassa olevista käsikaiteista, peilin ja useamman valaisinmallin. Läpikulkevaa käsikaidetta, mikä kulkee yhtenä kappaleena korin seinämien pituudella, ei suunniteltu. Vastaavanlainen voidaan kuitenkin tulevaisuudessa kehittää, jos sille on selvää kysyntää.

Tuotemalli perustuu modulaariseen ja kommonaaliseen parametriseen ylhäältä-alas – mallinnusperiaatteeseen. Korin eri osat kuten lattia ja katto ovat omat moduulinsa, jolloin eri moduulien tilaaminen eri yksiköistä on yksinkertaista. Kommonaalisuuteen perustuen tuote käyttää vakio-osia, kun on mahdollista. Kulmakori on kuitenkin erittäin spesiaali verrattuna vakiotarjontaan, joten vakio-osien määrä jää vähäiseksi. Tuotemallia on helppo jälkeinpäin päivittää ja sen avulla on myös helppo suorittaa erikoissuunnittelua.

Kulmakorin kehityksessä käytetään laatua painottavaa systemaattista tuotekehitysprosessia. Tämä soveltuu hyvin monimutkaisten tuotearkkitehtuurien kehittelyyn. Prosessin mukaisesti tuotemalli ja tuotteen toimitusprosessi validoitiin toimittamalla kolme kulmakoria diplomityössä kehitetyllä tuotteella. Tuotemallista suoritettiin onnistunut rajoitettu tuotanto ja kuvassa 55 on diplomityön tuotemallilla suunniteltu kulmakori, joka on kasattu KONE:n Hyvinkään tehtaalla.



**Kuva 55.** Testikasattu kulmakori.

Toimitusprosessien sisällä löytyneistä ongelmista suoritettiin CA eli korjaava toimenpide. Uudesta tuotteesta on ilmoitettu toimitusprosessin eri osapuolille: layout-, listing-, BOM, tarjonta- ja MP-osastolle. MP-osaston kanssa on sovittu jatkokehityksestä. Jopa Kiinassa asti on oltu kiinnostuneita uudesta tuotemallista.

## LÄHTEET

Aartsengel, Aristide van & Kurtoglu, Selahattin. Handbook on Continuous Improvement Transformation. S. 643. ISBN 978-3-642-35900-2. DOI 10.1007/978-3-642-35901-9.

Aleixos, N. & Company, B. & Conter, M. 2003. Integrated modeling with top-down approach in subsidiary industries. *Computers in Industry* 53 (2004). S. 97-116. doi:10.1016/S0166-3615(03)00122-2.

Blecker, Thorsten & Abdelkafi, Nizar. Mass Customization: State-of-the-art and Challenges. *Mass Customization: Challenges and Solutions* (2006). S. 1-26. ISBN-10: 0-387-32222-1.

Chandrasegaran. S. K. et al. 2011. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. *Computer-Aided Design* 45 (2013). S. 204-228. doi:10.1016/j.cad.2012.08.006.

Chen, Xiang et al. 2011. Multi-level assembly model for top-down design of mechanical products. *Computer-Aided Design* 44 (2012). S. 1033-1048. doi: 10.1016/j.cad.2010.12.008.

Cooper, R. G. Kleinschmidt, E. J. 1990. *New products: The Key Factors in Success*. 52 s. ISBN: 9781613112311.

David G. Ullman. 2010. *The Mechanical Design Process*. S. 433. ISBN 978-007-126796-0

Deitz, Dan. Automated pressure-vessel design. *Mechanical Engineering* 97. Issue 11. S. 92. ISSN: 00256501.

Demoly, Frédéric et al. 2010. Geometric skeleton computation enabling concurrent product engineering and assembly sequence planning. *Computer-Aided Design* 43 (2011). S. 1654-1673. doi:10.1016/j.cad.2011.09.006.

Madenci, Erdogan & Guven, Ibrahim. 2006. The finite element method and applications in engineering using Ansys. S. 686. e-ISBN-10: 0-387-28290-4.

Hsu, Wynne & Woon, Irene M. Y. 1995 Current research in the conceptual design of mechanical products. *Computer-Aided Design*, Vol. 30 (1998). S. 377-389. PII: S0010-4485(97)001012

Kareinen, Juha & Pötry, Jyri. 2010. Tuotteen elinkaaren hallinnan palvelukonsepti. 48 s. ISBN 978-951-604-115-8. ISSN 1797-3856.

Kean, C. Aw. Integrating quality and reliability assessment into product development process. 2004. *International Journal of Quality & Reliability Management* vol. 22 No. 5, 2005. S. 518-530. DOI 10.1108/02656710510598410.

KONE. Yhtiö. [KONE:n www-sivuilla]. Päivitetty 2014. [Viitattu 1.11.2014]. Saatavissa <http://www.kone.com/fi/yhtio/>

Mermoz, E & Linares, J. M. & Bernard, A. 2011. Benefits and limitations of parametric design implementation in helicopter gearbox design phase. *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 60 (2011). S. 199-202. doi:10.1016/j.cirp.2011.03.095.

Mun, Duhwan & Hwang, Jinsang & Han, Soonhung. 2008. Protection of intellectual property based on a skeleton model in product design collaboration. *Computer-Aided Design* 41 (2009). S. 641-648. doi:10.1016/j.cad.2009.04.007.

Reddy, Gantla Shashidabar & Rao, N. A. Nageswar. 2013. Modeling and analysis of diesel engine piston. *International eJournal of Mathematics and Engineering* 206 (2013). S. 1994 – 2027. ISSN 0976 – 1411.

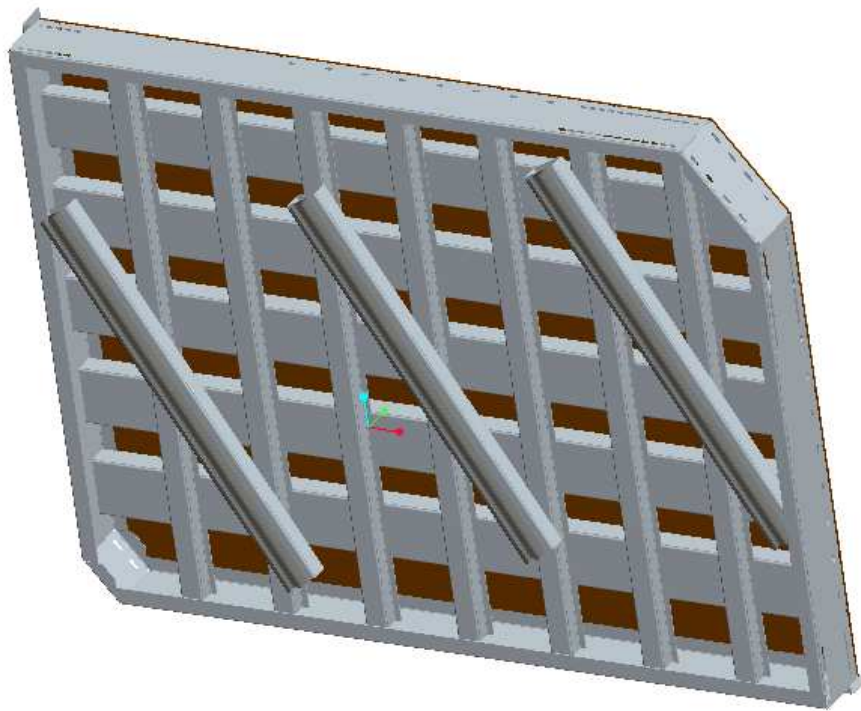
SFS-EN 81-1. Safety rules for the construction and installation of lifts. Part 1: Electric lifts. 1998. 208 s.

Scheidl, R & Winkler, B. 2010. Model relations between conceptual and detail design.  
Mechatronics 20 (2010). S. 842-849.

## 1 INTRODUCTION

Purpose of this document is to present floor strength calculations of a new adjacent car product. Floor structure is modified old MCD welded structure. Analysis is conducted through finite element method using Ansys software. Unit system used in the analysis and report is SI (N, mm, kg) if not otherwise stated.

## 2 APPLICATION DATA



**Figure 1.** Example of adjacent car floor.

Figure 1 shows the example of the adjacent car floor. Calculations were conducted for dimensions  $1000(\text{BB}) \times 1000(\text{DD}) - 2350(\text{BB}) \times 3850(\text{DD})$ . Different dimensions didn't significantly affect results due to floor adaptability to change of dimensions.

LIITE 1 2/9  
LATTIAN LUJUUSLASKUT KONE Oyj:lle

Materials: S235

Impact factors:

Normal use	1,2
Buffer stop	3,0
Sill load	1,2

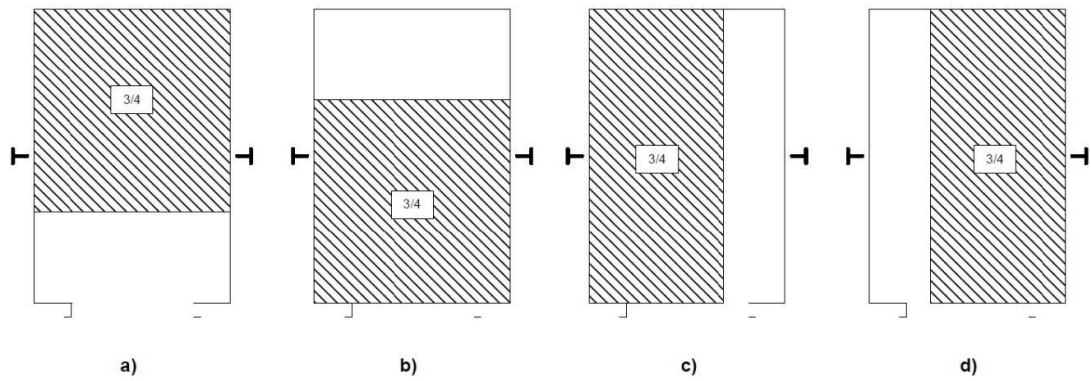
Safety factors:

Normal use	2,0
Buffer stop	1,33
Sill load	2,0

Loads:

Rated load	Q=2500 kg & 4000 kg
Weight of flooring	78 kg/m <sup>2</sup>
Weight of walls	150kg/m

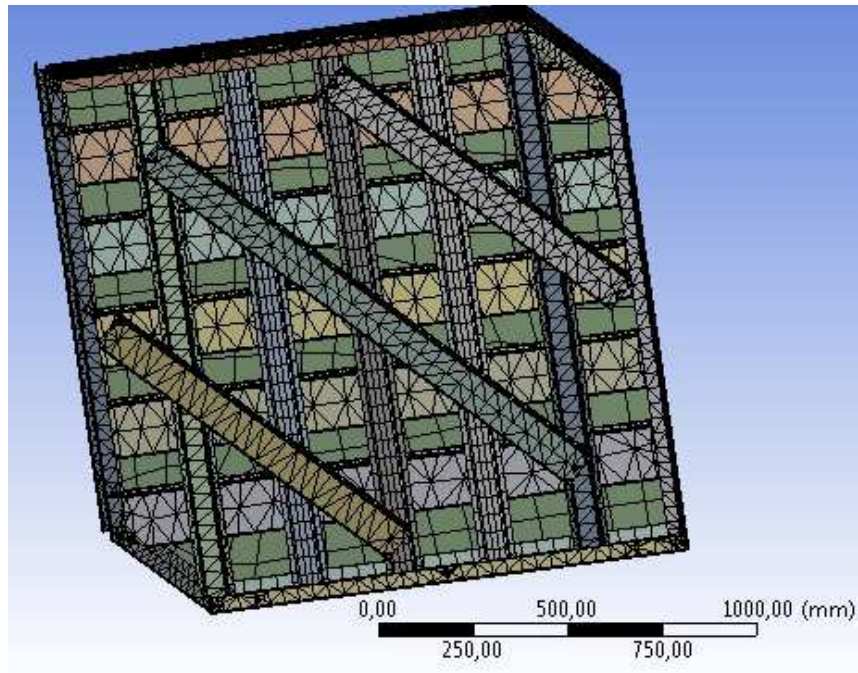
Strength of the 2500 Q floor structure is calculated with two weights since the floor used in adjacent car is designed with high safety factor. Because of that floor should pass strength calculations with 2500 kg easily. Weight in strength calculations is distributed according to EN81-1 appendix G 7.1.1 which is shown in figure 2. Symmetry and the fact that wall sides has stronger structure, eliminate load cases a and c. C case can be also ignored because used u-beams endure more bending than used hat profiles. In sill loading case, force is only on a side for the same reason.



**Figure 2.** Load cases.

### **3 FINITE ELEMENT MODEL**

Floor is modelled with Pro/ENGINEER and exported to Ansys. All components are modelled as tetra or square elements. Flooring is not modelled. Contact between surfaces is automatically constrained using Ansys. Mesh is shown in figure 3.



**Figure 3.** Mesh and connections of glasses.

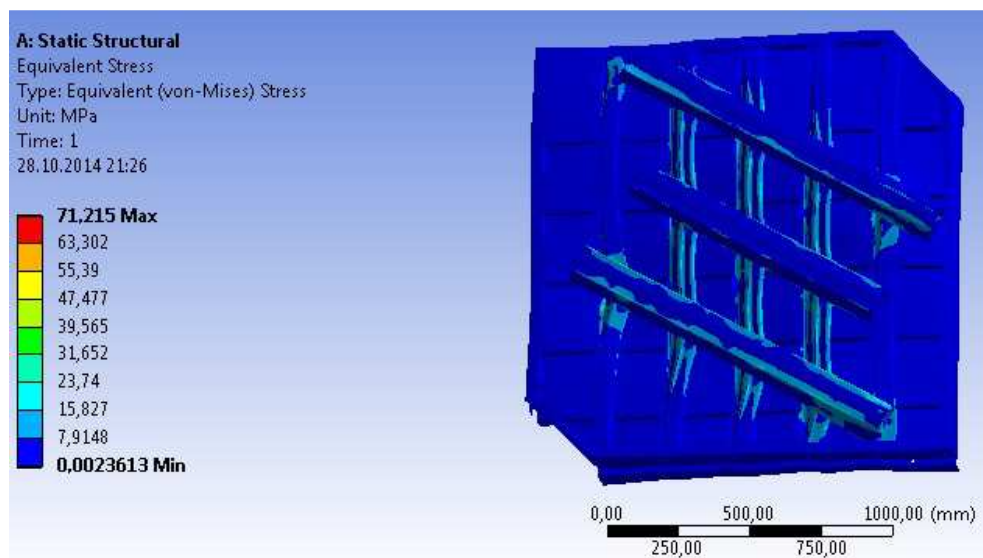
Tetra elements are not the most accurate in sheet parts, but they give sufficient information and are for fast calculation. If accuracy of the analysis is questionable, further calculations with other element models can be done.

## 4 RESULTS

All load cases are analysed with Ansys analysis results -tool. Stress levels are presented for the cases. Floor dimensions used in the results are 1500(DD)x1500(BB).

### 4.1 First load case

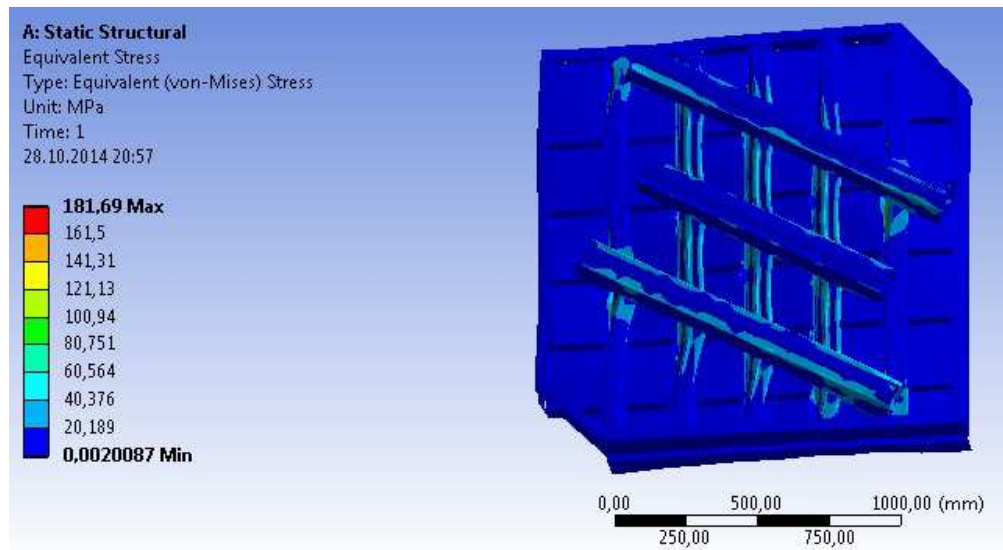
In the first load case weight 2500 kg is used for normal use of elevator. Stress levels can be seen in figure 4. They are all moderate and safety factor is well over 2,0.



**Figure 4.** First load case stress analysis.

### 4.2 Second load case

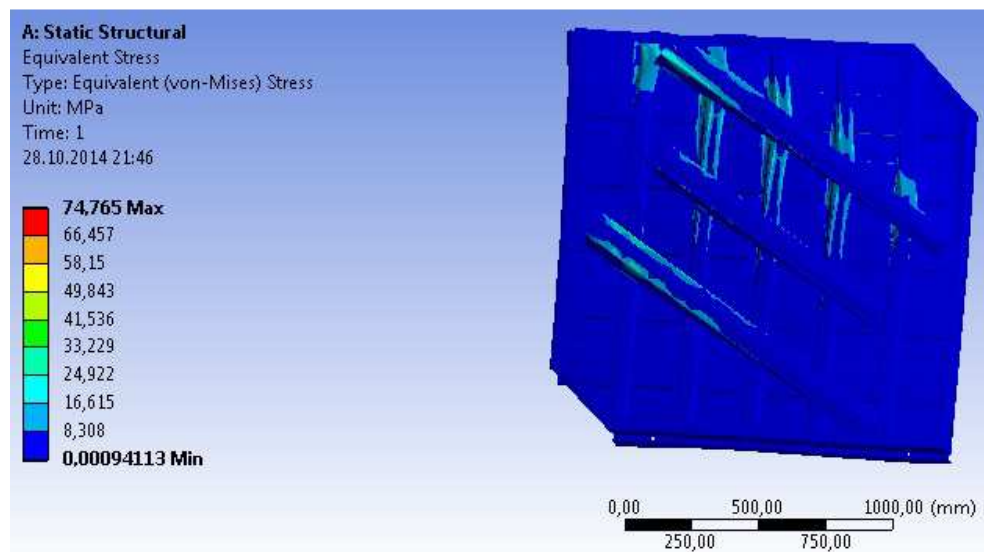
In the second load case weight 2500 kg is used for buffer stop. Stress levels can be seen in figure 5. They are moderate and safety factor is well over 1,33. Stress peaks are local and on sharp edges so they can be ignored.



**Figure 5.** Second load case stress analysis.

#### 4.3 Third load case

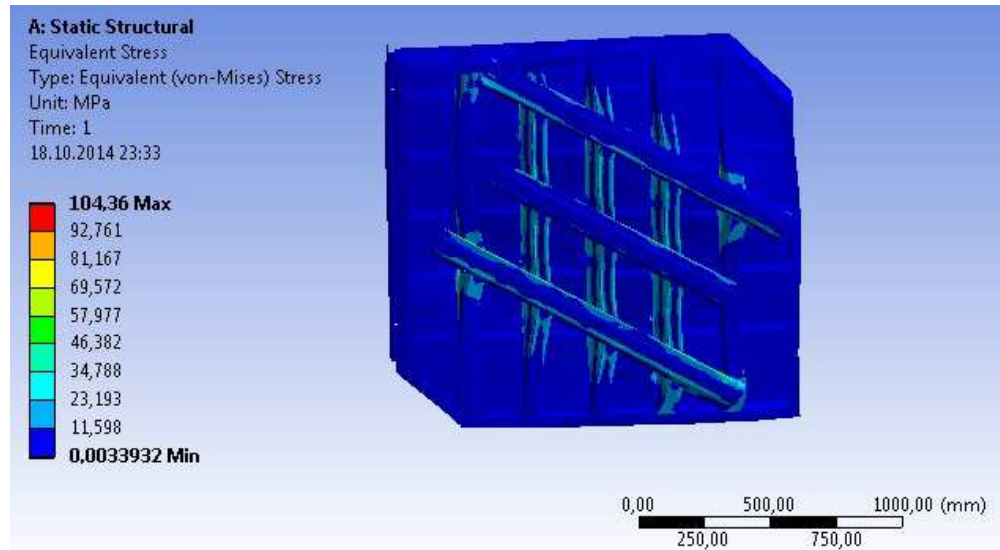
In the third load case weight 2500 kg is on sill. Stress levels can be seen in figure 6. They are moderate and safety factor is well over 2,0.



**Figure 6.** Third load case stress analysis.

#### 4.4 Fourth load case

In the fourth load case weight 4000 kg is used for normal use of elevator. Stress levels can be seen in figure 7. Stress levels are all moderate and safety factor is well over 2,0.



**Figure 7.** Fourth load case stress analysis.

#### 4.5 Fifth load case

In the fifth load case weight 4000 kg is used for buffer stop. Stress levels can be seen in figure 8. Stress levels are moderate and safety factor is over 1,33. Stress peaks are local and on sharp edges, so they can be ignored.

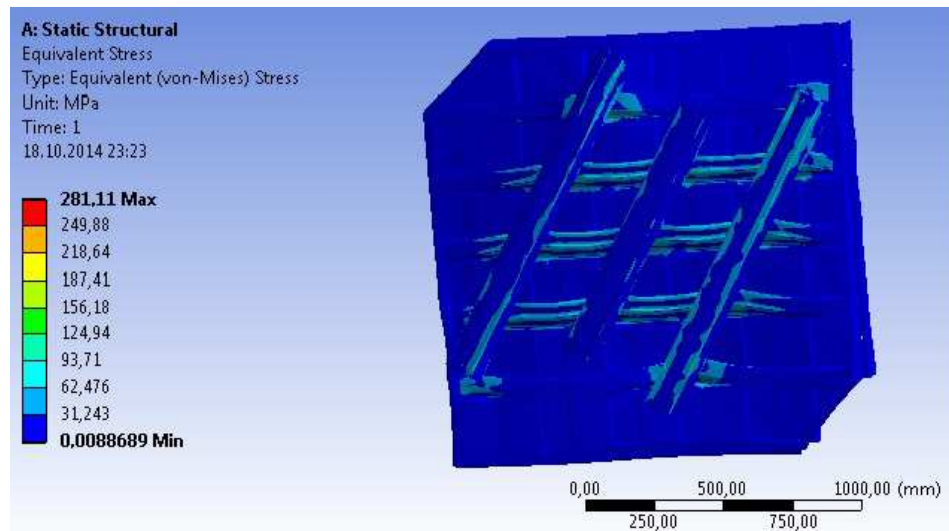


Figure 8. Fifth load case stress analysis.

#### 4.6 Sixth load case

In the sixth load case weight 4000 kg is used on sill. Stress levels can be seen in figure 9. Hat profile safety factor is just under 2,0, so the structure shall be strengthened.

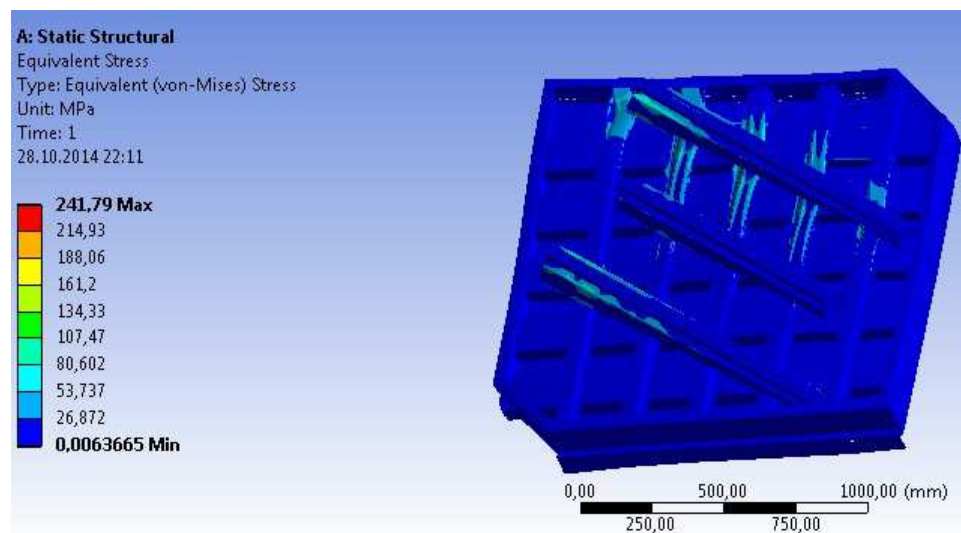
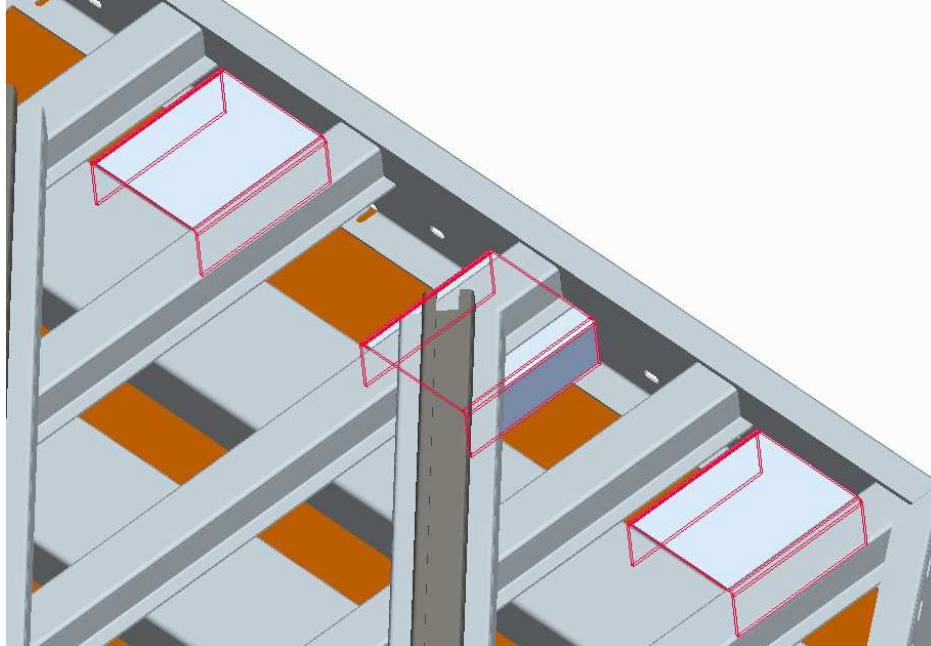


Figure 9. Sixth load case stress analysis.

In figure 6, u-beams are added on a-side to strengthen a-side sill. Two beam parts is enough as well. This strengthening should be used every time Q 4000 kg is used.



**Figure 10.** Added supports.

## 5 CONCLUSIONS

Adjacent car floor structure endures Q 2500 kg with high safety factor. Main reason for high safety factor is that there are three c-railings supporting the floor. Same structure can be used for 4000 kg load if support parts are added as shown in figure 6.

## 1 SCOPE

This document describes features and usage of the adjacent car 3D-model. Main purpose of this document is to show how the product works in the boundaries of the semi-standard features. C-process work can be done to modify the model. This document also describes the purpose of new semi-standard solution.

**NOTE** generally adjacent car has same limitations as global MCD car. See **SO-06.02.015**. Safety codes EN81:1998 must be followed.

## 2 INTRODUCTION

Adjacent car is a car that has doors on A- and B-side. Sling doesn't go straight through B- and D-side. Sling usually goes through corners. Layout engineer decides how sling is adjusted to the car. New adjacent car product has been created for better hold on the complex shape of the car and linearization of the whole supply process.



**Figure 1.** Example of the adjacent car model.

### **3 LIMITATIONS IN IMPLEMENTATION**

Currently there are only two exterior shapes of adjacent car in the 3D-model and the first you can see in figure 1. The second type has bevelled corners in opposite corners. In semi-standard solution there is always two corners bevelled. Currently semi-standard solution has only handrail, one mirror and ceiling as accessories. Ceilings CL88, CL94, CL97 and CL98 are included in the model. CL 95 and 104 are also included but not fully functional. Handrails included in the model are: 31, 61, 62, 63, 64, 65, 71 and 94. Rated load Q is limited to 2500kg and higher rated loads must be checked case by case. When DD or BB is more than 2300mm, check the car carefully. Semi-standard solution has currently only VPO walls and no glass walls. Some solutions for three door adjacent car has been made, but three door adjacent car is not yet completed.

#### **3.1 A-Process**

Adjacent car doesn't currently have A-process.

#### **3.2 C-Process**

Adjacent car has currently only C-process and it goes through (Visual) MCD C-process engineering. Car has mostly C-process parts. Manual modifications can be done to all parts that are configurable parts. References in parts have been done considering C-process. Parts can be easily copied and also modified through Relations-window. Drawings can be published through Link-IT-> Publish documents-> Order publish, same as with VMCD model.

#### 4 DESCRIPTION OF THE SOLUTION

Configuration, usage and features of adjacent car 3D-model are described in this section. Currently adjacent car supply process goes through same channel as MCD car and VMCD .xml-file can be driven to adjacent car model. Adjacent car has the same configuration parameters as MCD car but it has also new parameters that currently have to be set manually to Drive-IT or XML. New parameters are shown in figure 2.

DIM_CAR_SLING_ANGLE	27	int
TYP_CAR_ADJ_MODEL	1	str
DIM_CAR_CORNER_CUT_AB	460	int
DIM_CAR_CORNER_CUT_BA	460	int
DIM_CAR_CORNER_CUT_BC	460	int
DIM_CAR_CORNER_CUT_CB	460	int
DIM_CAR_CORNER_CUT_CD	460	int
DIM_CAR_CORNER_CUT_DC	460	int
DIM_CAR_CORNER_CUT_DA	460	int
DIM_CAR_CORNER_CUT_AD	460	str
DIM_CAR_FRONT_WALL_DEPTH_B	35	int
DIM_CAR_FRONT_WALL_FLB	600	int
DIM_CAR_FRONT_WALL_FRB	200	int
MAT_CAR_FRONT_WALL_B	F	str
MAT_CAR_WALL_A_DECO	0	str
TYP_CAR_KSO957_PROVISION_B	0	str
DIM_CDO_LL_B	1000	str
DIM_CDO_HH_B	2000	int
MAT_CAR_WALL_E	F	str
MAT_CAR_WALL_F	F	str
MAT_CAR_WALL_G	F	str
MAT_CAR_WALL_H	F	str
MAT_CAR_WALL_E_DECO	0	str
MAT_CAR_WALL_F_DECO	0	str
MAT_CAR_WALL_G_DECO	0	str
MAT_CAR_WALL_H_DECO	0	str
TYP_CDO_INTERFACE_B	0	str
TYP_CDO_SAFETY_DEVICE_B	0	str
POS_CAR_CDL_B	0	str
TYP_CDL_PRODUCT_B	0	str

**Figure 2.** New parameters in adjacent car.

DIM\_CAR\_SLING\_ANGLE is the angle in which sling goes through car center depth plane. RR dimension is the width from A-wall in which sling goes through car center depth plane.

LIITE 2 4/7  
TUOTEMALLIN SUUNNITTELUOHJEET KONE Oyj:lle

TYP\_CAR\_ADJ\_MODEL defines shape of the adjacent car. Value “1” puts bevelled corner between A- and B-wall and C- and D-wall. “2” puts bevelled corner between A- and D-wall and C- and B-wall.

DIM\_CAR\_CORNER\_CUT\_AB is dimension of the corner cut on A-wall next to B-wall.

DIM\_CAR\_CORNER\_CUT\_BA is dimension of the corner cut on B-wall next to A-wall.

DIM\_CAR\_CORNER\_CUT\_BC is dimension of the corner cut on B-wall next to C-wall.

DIM\_CAR\_CORNER\_CUT\_CB is dimension of the corner cut on C-wall next to B-wall.

DIM\_CAR\_CORNER\_CUT\_CD is dimension of the corner cut on C-wall next to D-wall.

DIM\_CAR\_CORNER\_CUT\_DC is dimension of the corner cut on D-wall next to C-wall.

DIM\_CAR\_CORNER\_CUT\_DA is dimension of the corner cut on D-wall next to A-wall.

DIM\_CAR\_CORNER\_CUT\_AD is dimension of the corner cut on A-wall next to D-wall.

DIM\_CAR\_FRONT\_WALL\_DEPTH\_B is depth of front wall B.

DIM\_CAR\_FRONT\_WALL\_FLB is width of left wall on front wall B.

DIM\_CAR\_FRONT\_WALL\_FRB is width of right wall on front wall B.

MAT\_CAR\_FRONT\_WALL\_B is material of the front wall B.

MAT\_CAR\_WALL\_A\_DECO defines decoration material on front wall A (!NOTE not yet tested).

TYP\_CAR\_KSO957\_PROVISION\_B defines if there is a provision for KSO957 on front wall B.

DIM\_CDO\_LL\_B is door opening width on front wall B.

DIM\_CDO\_HH\_B is door height on front wall B.

MAT\_CAR\_WALL\_E defines material for wall E.

MAT\_CAR\_WALL\_F defines material for wall F.

MAT\_CAR\_WALL\_G defines material for wall G.

MAT\_CAR\_WALL\_H defines material for wall H.

MAT\_CAR\_WALL\_E\_DECO defines decoration material on wall E.

MAT\_CAR\_WALL\_F\_DECO defines decoration material on wall F.

MAT\_CAR\_WALL\_G\_DECO defines decoration material on wall G.

MAT\_CAR\_WALL\_H\_DECO defines decoration material on wall H.

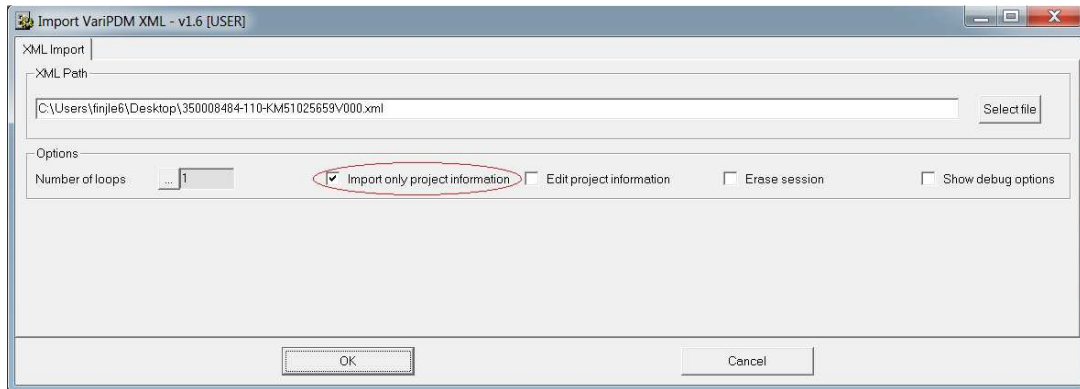
TYP\_CDO\_INTERFACE\_B defines door type interface for front wall B.

TYP\_CDO\_SAFETY\_DEVICE\_B defines door safety device on front wall B.

POS\_CAR\_CDL\_B defines position for cdl on front wall B.

TYP\_CDL\_PRODUCT\_B defines cdl product on front wall B.

One way to drive the model is to first drive only project information from .xml file as in figure 3 and after that configure the whole model manually. When creating approval drawing, use this method.



**Figure 3.** Importing only project information from .xml-file.

Fastest way is to modify .xml-file for adjacent car usage and add all the new parameters there. For this you can download ADJ\_CAR\_XMLTOOL from PDM or write new parameters manually. There are instructions how to update XML-file included in the ADJ\_CAR\_XMLTOOL -file. One another way for configuring model is to first drive adjacent car parameters through Link-IT “Drive documents” and after that import .xml.

Adjacent car model consists of assembly levels. Top / main assembly level includes raw car, sling and accessories. Sling in this model is only for illustration, not for production.

#### 4.1 Top level

Through top level you can configure the whole model from Link-IT->Drive documents. Also you can drive MCD .xml-file and after that set extra parameters shown in picture 2. Under top level there is raw car, accessories and sling. Using Drive-IT on raw car assembly is faster than using it on top assembly level.

**!NOTE** On top level you can check that sling is in 90 degree angle to c-railings.

## 4.2 Raw car

Raw car consists currently of vertical walls, floor, master roof and mcd roof. Both roofs can be used but currently only master roof has been validated. Driving XML-file from this assembly level is most efficient.

### 4.2.1 Vertical walls

Vertical walls –assembly includes walls for C, D, E, F, G and H sides and front walls for A and B sides. Available COP positions are D1, Dx, D2, C1, CX, C2, E1, F1, G1 and H1. Decoration laminates can be set to C and D wall. When setting laminates to E, F, G and H wall change fixing components for laminates on interface of bevelled corner wall and C or D wall. Laminates on front walls haven't been validated so check their compatibility case by case. DIM\_CAR\_WALL\_MATERIAL\_THICKN defines wall material thickness. When CH is 2300mm or over, use 1.5mm thickness. Use 1.5 mm also in vandal protected cars. Skirting is always on C, D, E, F, G and H walls. For front wall depths 35, 55 and 75 mm are available.

**!NOTE** dimension of COP is always measured from the end of the wall.

**!NOTE** always check if there are stiffening accessories in front walls and their compatibility with the model.

### 4.2.2 Floor

Floor used in the model is old mcd floor with modifications. UF is 163 for rated loads 0-1600 kg and UF 183 is for >1600 and =<2500 kg.

### 4.2.3 Roof

There are 2 different roof types which can be driven with parameter TYP\_CAR\_ROOF. Value 1 is for mcd roof and value 2 is for master roof. Only master roof has been validated.

**!NOTE** Check placing of fans and trap door.

#### 4.2.4 Balustrade

Balustrades are on the sides, which don't have doors. Balustrade lengths and corner components are programmed to follow sling direction and size, but still check compatibility with sling.

#### 4.3 Accessories

Each accessory has its own assembly. There are assemblies for C- and D-wall handrails individually. Currently semi-standard solution has only handrails, one mirror and ceiling as accessories. Ceilings CL88, CL94, CL97 and CL98 are included in the model. CL 95 and 104 are also included but not fully functional. Handrails included in the model are: 31, 61, 62, 63, 64, 65, 71 and 94.

### **5 RECOMMENDED MATERIALS**

Primary material in floor is S235JRG2 and in roof is Z zinc coated steel.

### **6 MANUFACTURING, ASSEMBLY AND MAINTENANCE RELATED ISSUES**

Manufacturing, assembly and maintenance follow MCD car principals.