

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Laivatekniikka

2013

Juha Aaltonen

# CATIA V6 -OHJELMAN KÄYTETTÄVYYDEN ARVIONTI STANDARDIBULKKERIN RUNGON PERUSSUUNNITTELUSSA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Laivatekniikka

Kesäkuu 2013 | Sivumäärä 50

Ohjaajat: Yliopettaja, Prof. Pentti Häkkinen, Ins. Matti Tammero

Juha Aaltonen

# CATIA V6 -OHJELMAN KÄYTETTÄVYYDEN ARVIONTI STANDARDIBULKKERIN RUNGON PERUSSUUNNITTELUSSA

Tässä opinnäytetyössä selvitetään CATIA V6 -ohjelmiston soveltuvuutta laivan rungon konsepti- ja perussuunnitteluun Deltamarin Oy:ssä.

CATIA-ohjelmistoa käytetään lukuisilla eri toimialoilla, ja se on perusta ohjelmistovalmistaja Dassault Systèmesin tuotteen elinkaaren hallintaa keskittyneille ohjelmistoille. Parhaimmillaan ohjelmisto käsittää tuotteen koko suunnitteluprosessin.

Työssä irtolastialuksen kolmesta keskimmäisestä lastiruumasta luodaan CATIA:lla parametrinen malli. Siinä käsitellään CATIA V6 -työskentelyn peruseriaatteet ja esitellään samalla yksinkertainen ohjeistus parametrisen laivamallin luomisesta. Myös luokituskuvien tuottamista käsitellään.

CATIA V6 -työskentelyä verrataan Deltamarinella nykyään käytössä olevaan Aveva Marine -ohjelmaan. Lisäksi luodaan katsaus tulevaan ja pohditaan 3D-suunnittelun mahdollisuuksia ja tulevia kehityssuuntia.

Työn aikana esiin tuli lukuisia ongelmakohtia. Näiden perusteella jouduttiin toteamaan, että tällaisenaan ohjelma ei Deltamarin Oy:ssä sovellu tuottavaan runkosuunnitteluun. Deltamarin ei toistaiseksi siirry ohjelman laajempaan käyttöön vaan jää odottamaan ohjelman uusia kehitysversioita. Havaitut ongelmat on saatettu tiedoksi ohjelmistovalmistajalle, ja ne otetaan huomioon sitä kehitettäessä.

ASIASANAT:

laivanrakennus, Deltamarin, CATIA, 3D-suunnittelu, mallintaminen, parametrisointi

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering | Naval Architecture

June 2013 | Total number of pages 50

Instructors : Pentti Häkkinen, Prof., Principal Lecturer, Matti Tammero, B. Sc.

Juha Aaltonen

## EVALUATION OF THE CATIA V6 PROGRAM IN THE BASIC DESIGN PHASE OF A STANDARD BULK CARRIER

The aim of this Bachelor's thesis was to determine if the CATIA V6 program can be used as the main design tool in the basic design phase of the standard bulk carrier in Deltamarin Oy.

CATIA program can be applied to a wide variety of industries and it is the corner stone of the product lifecycle management solutions provided by the software house Dassault Systèmes. It supports all stages of product development.

In this study, a parametric model was created from the three midmost cargo holds of the bulk carrier. The basic working procedures of CATIA V6 were discussed. A simple instruction manual about the creation of the parametric model of the ship was presented. An extraction of the basic drawings were also discussed.

Working with CATIA V6 was compared with Aveva Marine program which is currently in use at Deltamarin. A glance to the future was made and the possibilities and future development of 3D design were discussed.

A number of issues arose during this study. Because of this, a conclusion that the program is not suitable for productive hull design in Deltamarin, had to be made. At this stage, Deltamarin will not make the transition to the extensive use of the program. Instead further development versions of the program will be expected. All issues have been delivered to the program manufacturer and they will be considered when developing the software.

KEYWORDS:

ship building, Deltamarin, CATIA, 3D design, modeling, parameterization

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 CATIA-OHJELMISTO</b>	<b>10</b>
2.1 Dassault Systèmes	10
2.2 Ohjelmiston yleispiirteitä	11
2.3 Versiointi	13
2.4 CATIA laivanrakennuksessa	14
2.5 CATIA Deltamarinilla	15
<b>3 MUUT OHJELMISTOT</b>	<b>17</b>
3.1 Yleistä	17
3.2 Aveva Marine	18
3.3 Nupas-Cadmatic	19
3.4 Smart Marine	19
3.5 Napa	20
3.6 Foran	20
<b>4 CATIA V6 -TYÖSKENTELYN PERUSPERIAATTEET</b>	<b>21</b>
4.1 Project Resource Management	21
4.2 Structure Functional Design	22
4.3 Generative Drafting	23
4.4 Generative View Styles	23
<b>5 LAIVAMALLIN LUOMINEN</b>	<b>25</b>
5.1 Yleistä	25
5.2 Resurssien luonti ja toiminnan testaus	25
5.2.1 Referenssitaset	26
5.2.2 Profiilit ja materiaalitulokset	27
5.2.3 Aukot	28
5.2.4 Läpiviennit	29
5.2.5 Polviot	30
5.3 Perusmallinnus	31

<b>6 LAIVAMALLIN PARAMETRISOINTI</b>	<b>32</b>
6.1 Parametrinen toimintamalli	32
6.2 Parametrisen mallin luominen	33
<b>7 KUVIEN TUOTTAMINEN</b>	<b>38</b>
7.1 Taustaa	38
7.2 Kuvien tuottaminen CATIA V6:ssa	39
<b>8 CATIA V6 VERRATTUNA AVEVA MARINEEN</b>	<b>41</b>
<b>9 TULEVAISUUDEN NÄKYMIÄ</b>	<b>44</b>
9.1 Yleistä	44
9.2 Pilvipalvelut	46
9.3 CATIA-ohjelmisto	47
<b>10 JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>49</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>50</b>

# KUVAT

Kuva 1. Yleisnäkyä CATIA V5 -versiosta.	13
Kuva 2. Rakenteellisten resurssien lisäämisen valintaikkuna.	21
Kuva 3. Tasojen luonti luonnosviivojen avulla.	26
Kuva 4. Latta-profiilin profiilipoikkileikkausaiho.	27
Kuva 5. Bulbi-profiilin yksinkertaistettu ja todellinen poikkileikkaus.	27
Kuva 6. Erilaisia kulmakoloja.	28
Kuva 7. Aukkojen puutteita.	29
Kuva 8. Profiililäpivienti.	29
Kuva 9. Itse tehty polviotyyppi.	30
Kuva 10. Creation of a Design Table -valintaikkuna.	34
Kuva 11. Parameters-valikko piirrepuussa.	34
Kuva 12. Taulukon lähteen valintaikkuna.	35
Kuva 13. Kansionäkymä Windowsista.	35
Kuva 14. Taulukon sarakkeiden ja parametrien automaattinen yhdistäminen.	35
Kuva 15. Taulukkoon liitettävä levy valittuna piirrepuussa.	36
Kuva 16. Design Table -valintaikkuna.	36
Kuva 17. Save in ENOVIA V5 VPM -valintaikkuna.	37
Kuva 18. Liitettävä taulukko.	37
Kuva 19. Laivan pitkittäisleikkauksesta puuttuva profiili.	39
Kuva 20. Logical View -toiminnolla otettu leikkaus.	40
Kuva 21. Front View -toiminnolla otettu leikkaus.	40
Kuva 22. Yleisnäkyä Tribon M3 -versiosta.	41
Kuva 23. Valmistustietojen esittäminen 3D-työkuvassa.	45

## KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

Bulkkeri	Irtolastialus, Bulk Carrier.
CATIA	Computer-aided Three-dimensional Interactive Application.
Offshore	Avomerellä sijaitseva tai toimiva.
CAD	Computer-aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu.
PLM	Product Lifecycle Management, tuotteen elinkaaren hallinta.
CATI	Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive.
CAM	Computer-aided manufacturing, tietokoneavusteinen valmistus.
FEM	Finite Element Method.
PDMS	Plant Design Management System.
NAPA	Naval Architectural Package.
LVI	Lämmitys-, vesijohto- ja ilmanvaihtotekniikka.
S RTP	Safe Return to Port, turvallinen satamaan paluu. Sääntökokonaisuus aluksen turvallisesta operoinnista eri vauriotilanteissa.
CFD	Computational Fluid Dynamics.
VBA	Visual Basic for Application.

# 1 JOHDANTO

Deltamarin OY on Raisiossa pääkonttoriaan pitävä meriteknisten rakenteiden suunnitteluun ja niihin liittyviin konsultointitoimintoihin erikoistunut yhtiö. Sillä on Suomessa myös toimistot Helsingissä ja Raumalla. Ulkomaalaisten tytäryhtiöidensä ansiosta sen toiminta ulottuu kaikkialle maailmaan. Niiden kautta se on myös vahvasti läsnä Kiinan ja Aasian alueen valtavilla laivanrakennusmarkkinoilla ja Brasilian alati kasvavilla offshore-liiketoiminnan markkinoilla. Singaporen pörssiin listattu AVIC International Maritime Holdings Limited omistaa Deltamarinin osake-enemmistön, jonka lisäksi omistajaryhmään kuuluu joukko yrityksen työntekijöitä. Deltamarin työllistää tytäryhtiöineen noin 400 ihmistä maailmanlaajuisesti, joista 250 Suomessa. (Deltamarin 2013.)

Tietokoneita on jo pitkään käytetty helpottamaan laskentaa ja suunnittelua. Kehitys sai alkunsa jo 1960-luvulla lentokone- ja autoteollisuuden piirissä. Kehitys jatkui 1970-luvulla kun tietokoneet kehittyivät ja halpenivat. 1980-luvun alusta alkaen CAD-ohjelmat alkoivat yhä useammin korvata käsipiirtoa. Tänä päivänä kaikki suunnittelu, niin laivanrakennuksessa kuin koneenrakennuksessa yleensäkin, tapahtuu tietokoneavusteisesti. Aluksi CAD-suunnittelu oli pelkästään 2D-suunnittelua, jolla pyrittiin ennen kaikkea helpottamaan muutosten tekemistä. Tästä siirryttiin melko nopeasti 3D-rautalankamallien kautta 3D-kappale- ja pintamalleihin. Nykyään malleista pyritään yhä useammin rakentamaan parametrisia, ja näin yhä edelleen helpottamaan muutosten hallintaa.

Laivanrakennuksessa 2D-mallinnuksella on edelleen tärkeä osa ja AutoCAD-tyyppisiä suunnitteluohjelmia käytetään yleisesti. Runkosuunnittelussa Aveva Marine -ohjelmalla on perinteisesti ollut vahva asema. Kyseisellä ohjelmalla mallinnus tapahtuu 2D-ympäristössä erilaisia komentoja syöttäen. Näillä syötteillä pystytään kuitenkin muodostamaan laivasta kattava 3D-malli, jota



voidaan tarvittaessa erikseen tarkastella. Tästä virtuaalisesta mallista tuotetaan valmistuksessa tarvittavat piirustukset ja muu tuotantoaineisto.

Deltamarin on aina pyrkinyt kulkemaan kehityksen eturintamassa. Jo vuonna 1986 yrityksen työntekijät olivat tekemässä ensimmäistä 3D-mallia laivan konehuoneesta ja putkistosta. Ensimmäinen 3D-malli koko laivasta tehtiin vuonna 1994. Lisäksi Deltamarinilla on viime vuosina kehitetty omaa B.Delta-aluskonseptia. Aluksesta on olemassa muun muassa irtolastialus ja tankkilaiva vaihtoehdot. (Deltamarin 2013.)

Näistä lähtökohdista on tullut tarve yksinkertaistaa ja virtaviivaistaa nykyistä suunnitteluohjelmistorakennetta. Nykyisellään laivamalli on pahimmillaan jouduttu rakentamaan moneen kertaan, kun runko- ja varustussuunnittelu sekä lujuuslaskenta ovat kukin vaatineet omat mallinsa. Suunnittelussa on myös haluttu siirtyä kohti suoraa 3D-mallinnusta ja mallin monipuolisempaa parametrisointia.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää CATIA V6 -ohjelmiston soveltuvuus laivan rungon konsepti ja perussuunnitteluun Deltamarin Oy:ssä. Soveltuvuustarkastelun yhteydessä on tarkoitus määrittää CATIA:lla parametrinen malli irtolastialuksen kolmesta keskimmäisestä lastiruumasta. Parametrisuus tarkoittaa tässä yhteydessä sitä, että mallista luodaan Excel-taulukko, jossa ruumien levyrakenteiden materiaalipaksuudet määritetään. Materiaalin muuttaminen tässä taulukossa päivittää myös mallin vastaavasti. Tästä mallista tullaan ottamaan erilaisia leikkauksia luokituskuvapohjiksi ja tutkimaan ovatko ne riittävällä tasolla, jotta ohjelma voidaan ottaa laajempaan käyttöön. Myös mahdollisten puutteiden löytäminen auttaa Deltamarinia kattavan kokonaisarvioinnin tekemisessä ja antaa Deltamarinille mahdollisuuden pyrkiä vaikuttamaan ohjelmiston valmistajaan Dassault Systemsiin puutteiden korjaamiseksi. Itse mallinnettavien rakenteiden suunnittelu rajataan opinnäytetyön ulkopuolelle.

Erinäisistä ongelmista johtuen CATIA V6:en käyttöönotto lykkääntyi aiotusta. Tämän takia erityisesti laivamallin parametrisointiin liittyvät kokeilut on

pääasiassa tehty eräänlaisella siirtymävaiheen versiolla CATIA V5R21:llä. Suurin osa varsinaisesta mallinnuksesta ja luokituskuvien luontiin liittyvistä kokeiluista on kuitenkin tehty CATIA V6:lla. Kaiken kaikkiaan ajanjaksolla, jolla opinnäytetyötä on tehty, on Deltamarinilla toteutettu kolme erillistä CATIA-testausjaksoa, joissa tämän työn tekijä on ollut mukana. Näistä kaksi viimeistä CATIA V6:lla. Ne kaikki ovat ainakin välillisesti vaikuttaneet työn lopulliseen ulkoasuun. Ajallisesti opinnäytetyö sijoittuu alkuvuoteen 2013 Deltamarinin CATIA V6 -ohjelmiston käyttöönottoprosessissa.

Tämä opinnäytetyön on osittain jatkoa Timo Tavalan aiemmin tekemälle opinnäytetyölle ”Rungon 3D luokitussuunnittelun työnkuvaukset Deltamarin Oy:ssä”. Kyseisessä opinnäytetyössä esiteltiin CATIA-mallinnuksen peruseriaatteet, sekä perehdyttiin laivamallin parametrisointiin ennen kaikkea erilaisten materiaalikataloginen käytön kannalta. Tällöin tavoitteena oli, että samanmuotoisista osista tehdään vain yksi parametrisoitu malli, jota sitten voidaan helposti käyttää kaikkiin samanmuotoisiin, mutta erikokoisiin osiin. Nyt tarkoituksena olisi lisätä parametrisointia edelleen ja pyrkiä myös laivan primääristen rakenne-elementtien materiaalipaksuuksien parametrisointiin.

Työtä varten haastatellaan CATIA-suunnittelun osalta Matti Tammeroa ja Tribon-suunnittelun osalta Mikko Elost. Näiden kokeneiden suunnittelijoiden mielipiteet ovat suureksi avuksi.

## 2 CATIA-OHJELMISTO

### 2.1 Dassault Systèmes

Dassault Systèmes on yksi 3D-suunnitteluohjelmistojen pioneereista. Se kehittää ja markkinoi 3D-suunnitteluun ja tuotteen elinkaaren hallintaan tarkoitettuja ratkaisuja. Näiden niin kutsuttujen PLM -ohjelmistokokonaisuuksien avulla pyritään hallitsemaan kaikki tuotteeseen liittyvät tiedot ja suunnitteluprosessit aina tuotteen konseptisuunnittelusta käyttöön ja huoltoon asti. Dassault Systèmesin tuoteportfolioon kuuluvat muun muassa virtuaaliseen tuotesuunnitteluun tarkoitettu CATIA, 3D-mekaniikkasuunnitteluun tarkoitettu SolidWorks, virtuaaliseen tuotannon suunnitteluun tarkoitettu DELMIA, virtuaaliseen testaukseen ja simulointiin tarkoitettu SIMULIA, eri osapuolien ja sidosryhmien online-yhteistyön mahdollistava tietokantapalvelu ENOVIA ja 3D-suunnitelmien havainnolliseen ja todenmukaiseen esittämiseen tarkoitettu 3DVIA. (Dassault Systèmes 2013; 3ds 2013a.)

Dassault Systèmes on Groupe Industriel Marcel Dassault tytäryhtiö. Se perustettiin vuonna 1981, mutta yrityksen juuret juontavat vuoteen 1977. Lentokonevalmistaja Avions Marcel Dassaultilla työskennelleen 15 hengen insinööriin alkuperäisenä tavoitteena oli kehittää tietokoneavusteinen 3D-suunnitteluohjelmisto CATIA, jota silloin kutsuttiin nimellä CATI, lentokonesuunnittelua helpottamaan. Insinöörit kuitenkin jalostivat ideaa pidemmälle, ja vuonna 1981 ohjelmiston kehittäminen päätettiin eriyttää erilliseksi yhtiöksi. Uudella yhtiöllä ei ollut juurikaan kokemusta tuotteensa markkinoinnista, ja niinpä IBM:n kanssa tehtiin molemmille osapuolille erittäin kannattavaksi osoittautunut markkinointisopimus CATIA-tuotteesta 50/50-voitonjaolla. IBM:n ohjauksessa CATIA:n maine kasvoi myös lentokoneteollisuuden ulkopuolella ja erityisesti jotkut autonvalmistajat kiinnostuivat tuotteesta. Hyväksi havaittua markkinointitapaa laajennettiin vähitellen muille teollisuuden aloille, kuten kulutustavarakauppaan sekä

koneen- ja laivanrakennukseen. Jatkuvan kehityksen, uusien tuotteiden, yrityskauppojen ja yhteistyöverkoston kautta Dassault Systèmes ajautui vähitellen yhä etäämmälle alkuperäisestä ydinliiketoiminnastaan 3D CAD/CAM-suunnitteluohjelmien kehittäjänä. Niinpä 2000-luvun alussa tehtiin strateginen päätös toimialan laajentamisesta koko tuotteen elinkaaren hallintaan keskittyvien ratkaisujen suunnitteluun ja kehittämiseen. (Dassault Systèmes 2013; 3ds 2013b.)

## 2.2 Ohjelmiston yleispiirteitä

CATIA on Dassault Systèmesin tuotteen elinkaaren hallintaa keskittyneiden ohjelmistojen perusta. CATIA:aa käytetään lukuisilla eri toimialoilla, lentokonepuolustus-, auto- ja teollisuuskoneteollisuudesta korkean teknologian aloihin, laivanrakennukseen, laitossuunnitteluun, arkkitehtuuriin ja rakentamiseen, prosessi- voimalaitos- ja petrokemianteollisuuteen, pakkausteollisuuteen, kulutushyödyketeollisuuteen, biotieteisiin, sekä palvelualoihin. Tänä päivänä CATIA:lla suunnitellaan kaikkea lentokoneista koruihin ja vaatteisiin. Se käsittää koko tuotteen suunnitteluprosessin konseptisuunnittelusta, perus- ja valmistussuunnittelun kautta aina valmiisiin tuotteisiin asti. Laajimmallaan ohjelmalla voidaan jäljitellä ympäristön ja tuotteiden toimintaa kattavilla virtuaalisilla simuloinneilla. Näin ollen se mahdollistaa eri suunnitteluosastojen saumattoman yhteistyön. CATIA-ohjelmiston merkittävimmät kilpailijat ovat Creo Elements/Pro, NX, Autodesk Inventor ja Cadmatic.

Käyttöliittymältään CATIA on Windows-tyyppinen ja ikoneihin pohjautuva. Sen vahvuutena voidaan pitää ydin algoritmeja ja pitkälle vietyä parametrisointia. Malliin voidaan luoda myös erilaisia mallintamisen reunaehtoja erilaisten sääntöjen ja lakien avulla. CATIA on piirrepohjainen, eli mallia muokkaavat arvot tallennetaan tietokantaan. Lisäksi ohjelmisto on modulaarinen; kuhunkin työasemaan voidaan rakentaa eri ominaisuuksia valitsemalla halutut moduulit, joihin eri tehtäviin tarkoitetut toiminnot on ryhmitelty. CATIA:ssa näitä moduuleita kutsutaan nimellä *workbenches*. Toiminnot on ryhmitelty kolmeen

pääryhmään. Pinta- ja muotomallinnus (*Shape*), koneenrakennus (*Mechanical*) ja laitesuunnittelu (*Systems*). Näiden lisäksi on vielä kokonaisuudet muun muassa erilaisille säännöille (*Knowledgeware*) ja simuloinneille (*Simulation*). Kukin pääryhmä jakautuu edelleen lukuisiin eri moduuleihin, jotka puolestaan käsittävät aina täydellisen työpöydän räätälöityine ikoneineen.

Pinta- ja muotomallinnus tarjoaa työkaluja pintamallinnukseen ja ratkaisuja monimutkaisten muotojen luomiseen, muokkaamiseen ja arviointiin. Yksi sen eniten käytetyistä moduuleista on *Generative Shape Design* -moduuli.

Koneenrakennus pääryhmän yleisimmät moduulit ovat piirteitä määrittävät tasopiirroukset (*Sketcher*), osan perus- eli solid-mallinnus (*Part Design*), kokoonpanot (*Assembly Design*), piirustukset (*Generative Drafting*), ja erityisesti laivan runkosuunnitteluun räätälöidyt (*Structure Functional Design* ja *Structure Detail Design*).

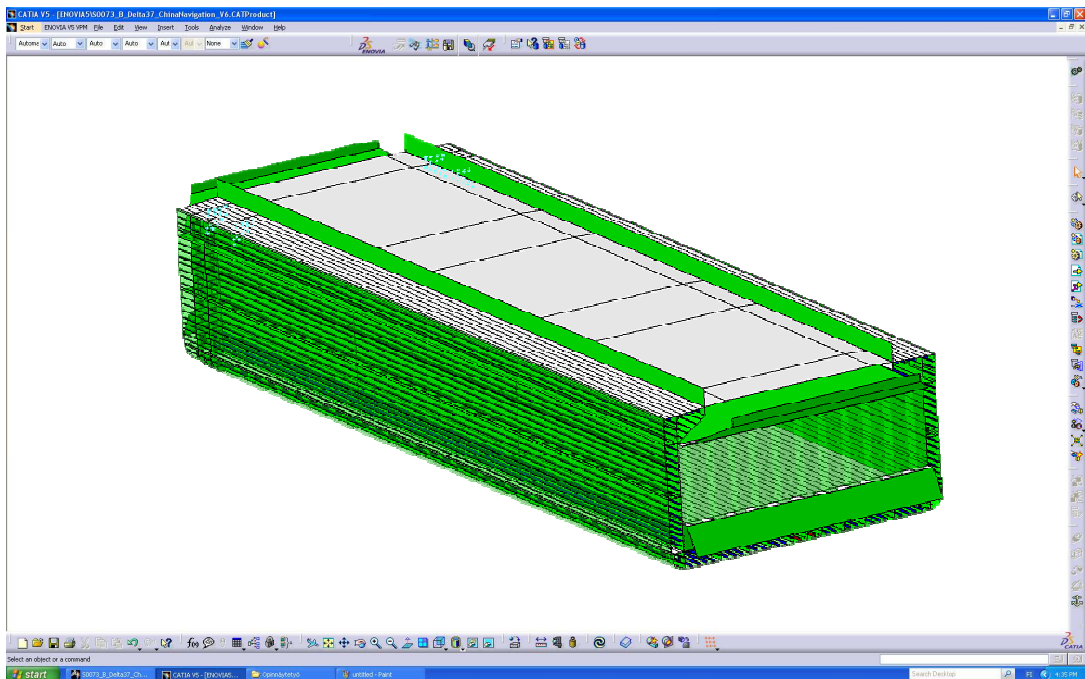
Laitesuunnittelu osioon kuuluu elektroniikka ja sähkö sekä erilaisten hajautettujen systeemien kuten neste- ja LVI-systeemien suunnitteluun räätälöityjä moduuleja. (CATIA 2013; 3ds 2013c.)

CATIA-ohjelma ei varmastikaan ole helpoimmin opittavissa oleva 3D-suunnitteluohjelma. Kokemattomalle käyttäjälle sen rakenne ei ole kovinkaan intuitiivinen. Valtavat määrät toimintoja antavat lähes rajattomat mahdollisuudet, mutta lisäävät monimutkaisuutta ja opetteluun tarvetta. Esimerkiksi sen käyttö on hankalaa Dassault Systemésin SolidWorks-ohjelmaan verrattuna. SolidWorks on malliesimerkki ohjelmasta, jonka peruskäytön kuka tahansa oppii hyvinkin lyhyessä ajassa.

## 2.3 Versiointi

### CATIA V5

CATIA V5 on ollut markkinoilla vuodesta 1998 alkaen. Tuolloin muutos oli huomattava, ja ohjelmisto lähes uudelleenkirjoitettiin V4-versioon verrattuna. CATIA V5 -versio oli ensimmäinen puhtaasti 3D-mallinnukseen perustuva versio, kun V4 oli vielä suurelta osin 2D-piirtämiseen perustuva. V5-versio oli ensimmäinen täysin Windows-yhteensopiva versio, vaikka UNIX-alustallekin oli oma versionsa. Myös parametrisuus esiteltiin uutena ominaisuutena CATIA V5 -version myötä. Kuvassa 1 on esitetty yleisnäkymä CATIA V5 -versiosta ja sillä mallinnetusta irtolastialuksen keskialueesta.



Kuva 1. Yleisnäkymä CATIA V5 -versiosta.

### CATIA V6

Nykyinen versio CATIA V6 julkaistiin kesäkuussa 2008. Vaikka ohjelmistopalvelimet voivatkin vielä toimia sekä UNIX- että Windows-ympäristössä, käyttö päätetasolla Windows on ainoa tuettu käyttöjärjestelmä.

Tässä versiossa edellytyksiä eri osastojen väliseen yhteistyöhön on pyritty kehittämään edelleen. Myös perinteisesti suunnittelun ulkopuolella rajatuille osastoille, kuten myynti ja markkinointi, on pyritty luomaan edellytyksiä vaikuttaa suunnitteluun. Tuotteiden fyysisestä määrittelystä ja digitaalisista malleista on siirrytty toiminnallisiin malleihin jotka ottavat huomioon kaikki tuotteen kehittämiseen vaikuttavat vaatimukset. V6-versiossa eri moduulien toiminnallisuutta on kehitetty ja mahdollisuuksia suoraan 3D-mallinnukseen parannettu. Yhtenä esimerkkinä uusista ominaisuuksista voidaan mainita luonnospirustusten suoran käyttämisen mallinnuksessa mahdollistava *Natural Sketch* -moduuli.

Pääversioiden lisäksi ohjelmasta tulee noin puolen vuoden välein uusia toimintoja sisältäviä revisioita, esimerkiksi viimeisin V6-versio; CATIA V6R2013X julkaistiin vuoden 2012 marraskuussa. (CATIA 2013; 3ds 2013a.)

## 2.4 CATIA laivanrakennuksessa

Meyer Werftillä on ollut CATIA V4 ensisijaisena suunnitteluohjelmistona jo 1990-luvulta lähtien. Se on integroinut ohjelman saumattomasti omaan laivatuotantonsa. Samalla se on modernisoinut perinteistä laivanrakennustapaa ja perustaa toimintansa entistä enemmän erilaisten työkuviin ja -piirustusten sijaan laivan 3D-malliin. Nyt se on yhdessä IBM:n ja Dassault Systémsin kanssa ottamassa käyttöön CATIA V6-ohjelmistoa.

General Dynamics Electric Boat Corp. otti CATIA V4:n käyttöön pääasialliseksi 3D-suunnitteluohjelmistokseen 1990-luvun alkupuolella Virginia-luokan sukellusveneiden suunnittelun yhteydessä. Koko U.S. Navy teki päätöksen siirtyä CATIA V5-ohjelmistoon 1990-luvun lopulla.

Newport News Shipbuilding on käyttänyt CATIA:aa 2000-luvun alkupuolelta alkaen suunnitellessaan Gerald R. Ford -luokan lentotukialuksia US Navy:lle. Yhdessä suunnittelu ja konsultointitoimisto AITAC:in kanssa se on kehittänyt CATIA-prosesseja ja räätälöinyt lisäosia CATIA:n runkosuunnittelu moduuleihin. Kehityskohteita ovat olleet muun muassa solid-mallinnuksen käyttö

valmistussuunnittelussa, profiilien pääteviisteet sekä levy- ja profiiliosien piirustusten automaattinen tuottaminen.

Myös kiinalainen konttilaivoja, ruoppaajia, öljytankkereita ja irtolastialuksia rakentava Guangzhou Wenchong Shipyard valitsi CATIA- ja ENOVIA-ohjelmistot parantaakseen suunnittelu- ja valmistusprosessiensa tehokkuutta. CATIA-ohjelmiston avulla telakka on pystynyt luopumaan fyysisistä 3D-malleista ja siirtynyt täysin virtuaalisiin 3D-malleihin. Se käyttää CATIA:aa myös putkistosuunnitteluun.

Näiden lisäksi CATIA:aa käytetään lukuisilla pienemmillä telakoilla ja meriteknisen alan suunnittelutoimistoilla. (CATIA 2013; AITAC 2013; 3ds 2013d.)

## 2.5 CATIA Deltamarinilla

Deltamarin on käyttänyt CATIA-ohjelmaa aina 1990-luvulta alkaen. Ensimmäiset projektit CATIA V3:lla tehtiin jo vuonna 1994. CATIA V4 -versioon siirryttiin vuonna 1996 ja CATIA V5 -versioon vuonna 2001. Viime vuonna aloitettiin siirtyminen uusimpaan CATIA V6 -versioon. Vuosien aikana CATIA:lla on toteutettu mitä erilaisimpia projekteja. Pääasiassa ohjelmaa on käytetty erilaisissa visualisointimalleissa sekä varustelu- ja komentositasuunnittelussa. Viime vuosina ohjelmaa on ajettu sisään myös konseptisuunnittelun puolella. 3D-työskentely jo projektin alusta alkaen on iso etu jos geometria on monimutkaista tai jos laitteiston sijoittelua pitää optimoida. Mahdolliset häiriöt havaitaan välittömästi ja projektin kannattavuus kyetään arvioimaan ennen kuin laivasopimusta on edes allekirjoitettu.

Lopullinen päämäärä Deltamarinilla on ottaa CATIA kaikkien osastojen yhteiskäyttöön. Yhtenäistämällä suunnitteluprosessia pyritään entistä parempaan laatuun ja suunnittelun nopeuteen. Tänä päivänä tuhlataan paljon aikaa, kun yhdessä projektissa käytetään eri ohjelmia ja ylläpidetään lukuisia malleja. Suunnitteluprosessin virtaviivaistamiselle on siis todellinen tilaus. Parhaimmillaan CATIA tarjoaa 3D-datan kaikkien osastojen käyttöön, mukaan lukien perinteisesti suunnittelun ulkopuolelle rajattavat markkinointi- ja



hankintaosastot. 3D-visualisoinnilla projekti on helppo esitellä asiakkaille. Tämän voidaan katsoa olevan myös hyvä kilpailuvaltti voimakkaasti kilpailluilla markkinoilla. Yksi mielenkiintoinen, 3D-visualisoinnin valtavan potentiaalinen esiintuva esimerkki vuodelta 2011 oli projekti, jossa Dassault Systèmesin 3DVIA-ohjelmalla toteutettiin asiakkaalle koulutuspaketti SRTP-sääntöjen vaikutuksesta aluksen operointiin eri vauriotilanteissa. Koulutuspaketin keskiössä on ohjelma, joka visualisoi laivan 3D-mallista kulloisenkin vauriotapahtuman ja opastaa vaurion rajoittamiseen kulloinkin tarvittavat toimenpiteet.

Deltamarinin pyrkimyksenä on olla edelläkävijä uusien suunnitteluprosessien käyttöönotossa. Pitkällä tähtäimellä on nähtävissä, että vahvasti työvoimaintensiivinen ja sinänsä suhteellisen yksinkertainen Valmistussuunnittelu (*Detail Design*) siirtyy halvemman kustannustason maihin. Sen sijaan pitkää kokemusta ja vahvaa ammattitaitoa vaativissa konsepti- ja perussuunnittelu (*Concept – and Basic Design*) toiminnoissa kyetään näkymissä olevassa tulevaisuudessa vielä olemaan kilpailukykyisiä. Tämä kuitenkin vaatii koko organisaatiolta joustavuutta ja kykyä nopeaan muutokseen. Tehdyn linjaratkaisun mukaan CATIA voisi olla suunnittelutyökaluna yksi ratkaisu tähän ongelmaan.

## 3 MUUT OHJELMISTOT

### 3.1 Yleistä

Koneenrakennus on maailmalla erittäin merkittävä toimiala ja tämän takia sen tarpeisiin on räätälöity hyvin paljon erilaisia suunnitteluohjelmia. On olemassa kehittyneitä ohjelmistoja koneensuunnitteluun, kehittyneitä laite, prosessi ja putkistosuunnitteluohjelmia, kehittyneitä pintamallinnusohjelmia, ja joukko erilaisia tuotteen elinkaaren hallintaan kehitettyjä ohjelmia. Näistä ohjelmista on myös lähes poikkeuksetta hyvät liittymäpinnat rakennetarkasteluihin ja tuotantoon. Kyseiset toiminnot voivat sisältyä riittävällä laajuudella perusohjelmistoon tai ne ovat helposti hoidettavissa erillisillä CAM- ja FEM-ohjelmilla.

Nämä ohjelmat eivät kuitenkaan sovi erityisen hyvin laivanrakennuksen tarpeisiin. Ne ovat laivanrakennuksen tarpeisiin usein liian spesifisiä ja kattavat usein vain yksittäisten osastojen, kuten putkistosuunnittelun, tarpeet. Eri suunnitteluohjelmat ovat lisäksi vain harvoin keskenään täysin yhteensopivia. Seurauksena ovat moninkertainen mallinnus ja ristiriidat eri rajapinnoissa.

Laivamalli on kooltaan iso. Siihen liittyy topologisuusvaatimus, eli vaatimus siitä että eri rakenteet liittyvät loogisesti toisiinsa, ja tarve tuottaa monipuolista tuotantoaineistoa. Loppujen lopuksi maailmassa on melko vähän raskasta suunnittelutyötä tekeviä telakoita tai suunnittelutoimistoja. Näistä syistä johtuen suuret ohjelmistovalmistajat eivät ehkä ole olleet erityisen kiinnostuneita kehittämään laivanrakennukseen soveltuvia ohjelmia. Monet nykyään käytössä olevat ohjelmat ovatkin saaneet alkunsa telakoiden omista kehitysprojekteista.

### 3.2 Aveva Marine

Aveva Marine on saanut alkunsa ruotsalaisen Kockums-telakan kehitysprojektina jo 1960-luvulla. Tuolloin nimellä Steerbear tunnettu ohjelma oli yksi ensimmäisistä laivan runkosuunnittelun ATK-pohjaisista järjestelmistä. Steerbearin ensimmäistä versiota voidaan luonnehtia puhtaaksi CAM-järjestelmäksi, jossa painopisteenä oli tuotannonohjaus. Kuitenkin jo 70-luvulla ohjelmistolla voitiin tehdä teräs- ja putkistosuunnittelua. Myöhemmin perustettiin erillinen yhtiö Kockum Computer Systems (KCS), jolle ohjelmiston kehitys eriytettiin. Samalla ohjelmiston nimi muuttui Triboniksi. Ohjelmistokokonaisuus laajeni ja graafinen vuorovaikutteisuus tuli yhä keskeisempään osaan. Yritysjärjestelyjen myötä yhtiön nimi muuttui edelleen muotoon Tribon Solutions. Itsenäisenä ohjelmistotalona tämän yrityksen viimeiseksi tuotteeksi jäi Tribon M3 -ohjelma. Se oli jo lähes koko laivanrakennusprosessin kattava ohjelmistokokonaisuus ja esimerkiksi sen runkosuunnitteluun keskittyntä osiota Tribon Hull käytetään edelleen muun muassa Deltamarinilla. Myös ohjelman varustussuunnittelu osiota on käytetty paljon. Vuonna 2004 Brittiläinen Aveva yhtiö osti Tribon Solutionsin. Laivanrakennukseen räätälöidyt ohjelmistot keskitettiin uudessa yhtiössä Aveva Marine -tuoteperheen alle. Avevankin juuret juontavat aivan tietokoneavusteisen suunnittelun alkulähteille vuoteen 1967, jolloin Britannian hallitus perusti tutkimusinstituutin nimeltä Computer-Aided Design Centre edistääkseen tietotekniikan käyttöönottoa maan teollisuudessa. Vuosien mittaan sen päätuotteeksi nousi erityisesti laitossuunnitteluun kehitetty PDMS-ohjelma. Nykyään se on osa Aveva PDMS -tuoteperhettä.

Aveva Marinen viimeisin versio on versio 12.1. Runkomallinnus tässä versiossa (Aveva Hull) on edelleen hyvin pitkälle Tribon-pohjainen, joskin interaktiivisen mallinnuksen osuutta on lisätty. Uutena ominaisuutena Aveva Marine -ohjelmaan on hiljakkoin esitelty myös FEM-laskentaan tukeva laajennus. Sen sijaan muun muassa varustus- putkisto ja sähkösuunnittelu pohjautuvat enemmän PDMS-ohjelmaan. Jo nyt myös teräspuolella on PDMS-pohjainen 3D-katselutila, jolla ei kuitenkaan voi tehdä varsinaista mallinnusta. Integraation voidaan ennustaa jatkossa syvenevän. Avevan tuoteperhe onkin nykyisellään

erittäin kattava eikä olekaan ihme, että Aveva Marine on yksi nykyään maailmalla eniten käytetyistä laivansuunnitteluohjelmistoista. (Aveva 2013a; Aveva 2013b, Räisänen 2000, 38-9.)

### 3.3 Nupas-Cadmatic

Cadmatic syntyi 1980-luvulla Elomatic Oy:n sisäisenä kehitysprojektina. Tavoitteena oli päästä kansainvälisesti kilpailuille laitossuunnittelumarkkinoille ja tietokoneavusteisen 3D-suunnitteluohjelman nähtiin vastaavan tähän tarpeeseen. Myöhemmin Cadmatic alkoi toimia omalla nimellään. Nupas-Cadmatic on Elomaticin ja hollantilaisen Numeriek Centrum Groningenin yhteistyössä laivasuunnitteluun kehittävä ohjelmisto. Numeriek Centrum Groningeniltä löytyy vahvaa osaamista laivan rungon ja teräsosien suunnittelusta, kun taas Cadmaticin vahvuudet löytyvät laivan koneisto-putkisto- ja varustussuunnittelun saralta. Yhdessä laajennusosineen ne muodostavat koko laivanrakennusprosessin kattavan ohjelmistokokonaisuuden. Ohjelma on Aveva Marinen tapaan topologinen ja lisäksi sääntöpohjainen. Sääntöpohjaisuus tarkoittaa sitä, että eri rakenteiden koot määräytyvät suoraan käytettävän luokituslaitoksen sääntöjen perusteella. (Nupas-Cadmatic 2013.)

### 3.4 Smart Marine

Smart Marine on Yhdysvaltalaisen Intergraph yhtiön meriteknisten rakenteiden suunnitteluun kehittämä ohjelmisto. Yhtiö on perustettu jo vuonna 1969 nimellä M&S Computing ja se on yksi interaktiivista tietokonegrafiikkaa hyödyntävien ohjelmistojen kehittelyn pioneereista. Aveva Marinen tapaan Smart Marine on koko laivanrakennusprosessin kattava ohjelmistokokonaisuus ja sitä käytetään laajalti myös offshore-teollisuudessa. Yhdessä integroidussa ympäristössä on koko tuotteen elinkaaren hallintaan tarvittavat toiminnallisuudet. Smart Marine mahdollistaa suunnitteluosastojen rajat ylittävän yhteistyön kaikille yhteisessä mallissa. Sen käyttöliittymä on datakeskeinen ja sääntöpohjainen. (Intergraph 2013.)

### 3.5 Napa

NAPA-ohjelman juuret juontavat Wärtsilän Helsingin telakalle, jossa sen kehitys aloitettiin jo 1970-luvulla. Itsenäisenä yrityksenä NAPA on toiminut vuodesta 1989. Sen suurimmat vahvuudet ovat laivanrakennusprosessin alkupäässä ja ennen kaikkea konseptisuunnittelussa. Sillä voidaan muun muassa määrittää aluksen runkomuoto, suorittaa hydrostaattika- ja vakavuuslaskuja, määrittää erilaisia lastitilanteita ja tarkastella aluksen käyttäytymistä ja ohjailtavuutta merenkäynnissä. Tämän rinnalla NAPA:ssa on erillinen osionsa alusprojektin alkuvaiheen terässuunnitteluun (NAPA Steel). Se ei kuitenkaan kata koko laivanrakennusprosessia samalla tavoin kuin edellä mainitut ohjelmat. (Napa 2013.)

### 3.6 Foran

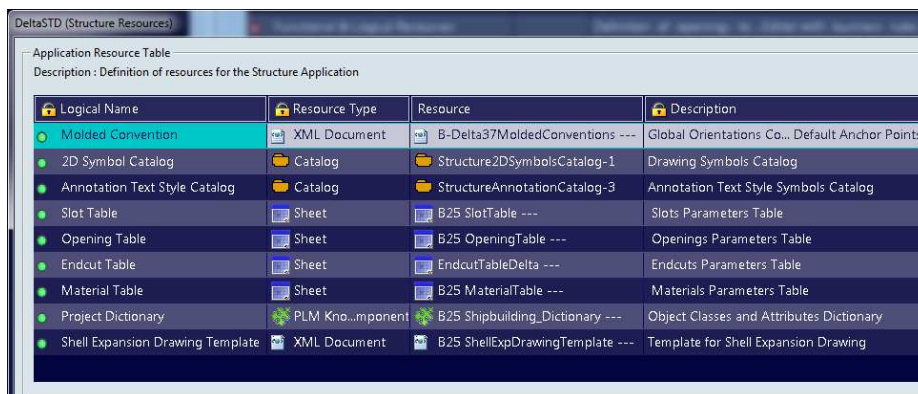
Foran on espanjalaisen insinööri- ja teknologiayhtiö Senerin laivasuunnitteluohjelmisto. Sekin kattaa koko laivansuunnitteluprosessin ja kaikki suunnitteluosastot. Forania käytetään niin laivastoalusten, kaupallisten alusten kuin offshore-teollisuuden projekteissa. (FORAN System 2013.)

Terästuotantoa lukuun ottamatta muilla suunnitteluosastoilla ohjelmistojen kirjo on hyvin laaja. Sellaiset CATIA:n kanssa kilpailevat ohjelmat, kuten Creo Elements/Pro, NX ja Autodesk Inventor eivät kuitenkaan laivanrakennusmarkkinoilla ole kovinkaan merkittäviä tekijöitä. Rhinoceros 3D (Rhino) sopii paremmin venekokoluokan projekteihin. Vaikka yleisesti pyritäänkin 3D-mallintamiseen, joissain tapauksissa joudutaan edelleen tekemään 2D-mallinnusta, jossa perinteisellä AutoCadilla on edelleen merkittävä asema.

## 4 CATIA V6 -TYÖSKENTELYN PERUSPERIAATTEET

### 4.1 Project Resource Management

CATIA V6:ssa työskentely perustuu erilaisiin resursseihin. Kun uusi projekti aloitetaan, on sille määritettävä tarvittavat resurssit. Tämä tapahtuu *Project Resource Management* -moduulissa (PRM). Runkosuunnittelun kannalta olennaisimpia resursseja ovat geometriaresurssit (*Common Geometry References*) ja rakenteelliset resurssit (*Structural Resources*) (Kuva 2). Geometria resursseja ovat muun muassa runkopinta ja referenssitasot. Rakenteellisia resursseja puolestaan ovat muun muassa materiaalitaulukot, aukot, läpiviennit ja pääteviisteet. Kaikkien näiden resurssien on oltava määritellyt ja tallennetut ENOVIA-tietokantapalveluun ennen varsinaisen mallinnuksen aloittamista. Resurssien räätälöiminen organisaation tarpeisiin on varsin haasteellinen ja aikaa vievä prosessi. Tosin jos räätälöinti on tehty kertaalleen huolellisesti, voidaan näitä resursseja käyttää organisaation kaikissa projekteissa.









Logical Name	Resource Type	Resource	Description
Molded Convention	XML Document	B-Delta37MoldedConventions ---	Global Orientations Co... Default Anchor Points)
2D Symbol Catalog	Catalog	Structure2DSymbolsCatalog-1	Drawing Symbols Catalog
Annotation Text Style Catalog	Catalog	StructureAnnotationCatalog-3	Annotation Text Style Symbols Catalog
Slot Table	Sheet	B25 SlotTable ---	Slots Parameters Table
Opening Table	Sheet	B25 OpeningTable ---	Openings Parameters Table
Endcut Table	Sheet	EndcutTableDelta ---	Endcuts Parameters Table
Material Table	Sheet	B25 MaterialTable ---	Materials Parameters Table
Project Dictionary	PLM Kno...rponent	B25 Shipbuilding_Dictionary ---	Object Classes and Attributes Dictionary
Shell Expansion Drawing Template	XML Document	B25 ShellExpDrawingTemplate ---	Template for Shell Expansion Drawing

Kuva 2. Rakenteellisten resurssien lisäämisen valintaikkuna.

## 4.2 Structure Functional Design

*Structure Functional Design* -moduuli (SFD) on pääasiallinen moduuli laivan rungon perussuunnitteluun. Toinen laivanrakennukseen optimoitu moduuli on *Structure Detail Design* (SDD), jonka perusominaisuudet ovat samat. Tämän lisäksi tässä moduulissa on joitakin linkkejä valmistukseen. Tätä opinnäytetyötä tehdessä on käytetty ainoastaan SFD-moduulia. Kyseinen moduuli esiteltiin CATIA V6:ssa ensikertaa versiossa CATIA V6R2012X, joka julkaistiin kesällä 2012. Loppuvuodesta esiteltiin uusi versio CATIA V6R2013, joka toi mukanaan joitakin parannuksia. Tämän opinnäytetyön tiedot perustuvat tähän versioon. Dassault Systèmes on panostanut viime aikoina laivanrakennukseen suhteellisen voimakkaasti, ja jo nyt tiedetään että tulevat versiot tulevat tuomaan lisäparannuksia.

SFD:stä löytyy toiminnot kaikkien tärkeimpien laivanrakennuksessa tarvittavien rakenne-elementtien mallintamiseen. Seuraavassa avataan hieman merkittävämpiä toimintoja.

 <i>Panel</i>	Käytetään kaikkien primääristen levyrakenteiden kuten rungon, kansien ja laipoiden tekoon.
 <i>Parametric Panel</i>	Käytetään pienten rakenne-elementtien kuten polvioiden tekoon.
 <i>Stiffener</i>	Tyypillisimmät jäykisteprofiilit.
 <i>Slot</i>	Läpiviennit.
 <i>EndCut</i>	Päätteet ja pääteviisteet.
 <i>Opening</i>	Aukot.

SFD-moduuli on täysin yhteensopiva muun muassa *Generative Shape Design* -moduulin (GSD) kanssa, josta voidaan tuoda esimerkiksi monimutkaisempia pintoja.

### 4.3 Generative Drafting

*Generative Drafting* on CATIA:ssa pääasiallinen moduuli työkuviin tuottamiseen. Moduulista löytyy toiminnot mitoituksen, erilaisten piirustussymbolien ja levynpaksuustietojen kaltaisten tekstien lisäämiseen. Tässä moduulissa mallista otetut leikkaukset asetetaan oikeassa mittakaavassa standardikokoisista piirustuskehyksistä muodostetuille kuvapohjille. Leikkausten otossa mallista ja kuvien luonnissa käytetään niin kutsuttua *Generative View Styles* -filosofiaa (GVS), josta tarkemmin seuraavassa.

### 4.4 Generative View Styles

Laivanrakennuksen työkuviin käytetään perinteisesti yksinkertaistettua esitystapaa erilaisille rakenteille. Esimerkiksi jäykisteprofiilit esitetään kuvissa joko pistekatkoviivalla tai katkoviivalla, riippuen siitä, kummalla puolella levyä rakenne on. Jos levyrakenteet risteävät, esitetään kuvan tasoon nähden kohtisuora rakenne katsomissuunnan puoleisen rakenteen osalta leveällä yhtenäisellä viivalla. Levyn takana olevan rakenne esitetään joko leveällä katkoviivalla tai rautatieviivalla, jos kyseinen rakenne on vesitiivis. Lisäksi tyypillisesti vain mallinkantin puoleinen viiva piirretään näkyviin ja materiaalin puolisuus esitetään erillisellä symbolilla.

CATIA:ssa 3D-muodon muuttamista 2D-viivoiksi kutsutaan *Graphical Replacementiksi*. Tätä prosessia hallitaan GVS-filosofian avulla. Sen taustalla on XML-tiedosto, joka määrittää erilaisten rakenteiden esitystavan ja käytettävät viivatyypit. Kun CATIA-mallista otetaan leikkauksia, on kullekin kuvannolle valittava haluttu GVS-tyyli. Tämä ominaisuus mahdollistaa periaatteessa lukemattomia erilaisia yhdistelmiä, ja antaa eri organisaatioille ja osastoille mahdollisuuden räätälöidä tuotetut kuvat juuri omiin tarkoituksiinsa sopiviksi. Näitä esitystapoja räätälöidään mainittujen xml-tiedostojen avulla. Versioon V6R2012X asti näiden esitystapojen räätälöinti piti tehdä kyseisiä XML-tiedostoja muokkaamalla, joka osoittautui erittäin hankalaksi. Versiossa



V6R2013 esiteltiin uusi *GVS-editor*, joka hieman helpotti esitystapojen räätälöintiä.

Varsinaiseen leikkausten ottamiseen CATIA:ssa on lukuisia eri mahdollisuuksia, joista seuraavassa esitellään muutama yleisin.



#### *Front View*

Mallista valitaan jokin tasopinta tai projektiotaso johon koko malli projisoidaan. Projisoitavan mallin syvyyttä voidaan jälkepäin rajata *3D Clipping* työkalulla.



#### *Logical View*

Aluksi valitaan sama työkalu kuin edellä. Tämän jälkeen mallin piirrepuusta valitaan haluttu osa. Seuraavaksi valitaan mikä tahansa osan kanssa yhdensuuntainen taso. Ohjelma luo osasta ja kaikista siihen loogisesti liittyvistä osista 2D-kuvan.



#### *Offset Section Cut*

Jo luodusta 2D-kuvasta voidaan osoittaa leikkaustaso. Malli projisoidaan tähän tasoon. Myös tässä tapauksessa projisoitavan mallin syvyyttä voidaan jälkepäin rajata.

## 5 LAIVAMALLIN LUOMINEN

### 5.1 Yleistä

Kuten jo aiemmin johdannossa todettiin, erinäisistä ongelmista johtuen CATIA V6 -version käyttöönotto lykkäytyi aiotusta. Tämän takia tehtiinkin päätös kokeilla ensin laivamallin parametrisointia versiossa CATIA V5R21. Kyseisen version toiminta ja sen laivan runkosuunnitteluun liittyvät rajoitteet tunnettiin hyvin. Siksi päätettiin valita mallinnettavaksi alueeksi irtolastialuksen suhteellisesti helpoin kolmen keskimmäisen lastiruuman alue. Sen sijaan CATIA V6 -version osalta päätettiin mallinnettavaksi alueeksi valita laivan muotoalueella sijaitseva keulimmainen lastiruuma, jotta mallinnusprosessista saataisiin mahdollisimman kattava kokonaiskuva. Seuraavassa käydään läpi tämä mallinnusprosessi tarvittavien resurssien luonnista asti aloittaen. Laivamallin parametrisointi käsitellään jäljempänä omana erillisenä kohtanaan (ks. luku 6).

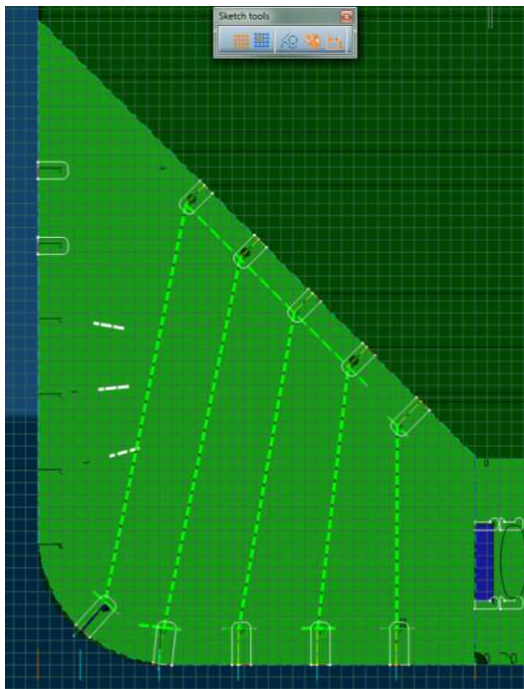
### 5.2 Resurssien luonti ja toiminnan testaus

Koska tämä oli ensimmäinen kerta kun CATIA V6 -ohjelmaa käytetään Deltamarinilla, yrityksen tarpeisiin räätälöityjä resursseja ei ollut saatavilla. CATIA V5:stä voitiin kopioida tiettyjä resursseja, mutta version runkosuunnitteluun liittyvistä rajoitteista johtuen, niissäkin oli tiettyä vajavaisuutta. V6-versiossa on myös sellaisia resursseja, joita V5:ssä ei ollut. Lisäksi ohjelman valmistajan tarjoamat malliresurssit osoittautuivat suppeiksi ja osittain epäsopiviksi.

### 5.2.1 Referenssitaset

CATIA:ssa mallinnettavat objektit sijoitetaan haluttuun paikkaan referenssitasoja (*Reference Planes*) hyödyntäen. Perinteisesti näitä tasoja on määritelty vain kolme; yksi kansille (*Decks*), yksi pitkittäissuuntaisille rakenteille (*Long*) ja yksi kaarille (*Frames*). Tämän lisäksi on määritelty keskilaiva (*Midship*) ja keskiviiva (*Centerline*). Referenssitasojen määrittämiseen käytetään XML-tiedostoa. Mikään ei kuitenkaan estä määrittämästä useampia toisiaan vastaan kohtisuorassa olevia tasoja. Näin ollen voidaan määrittää omat tasonsa vaikkapa pääkannen jäykisteille.

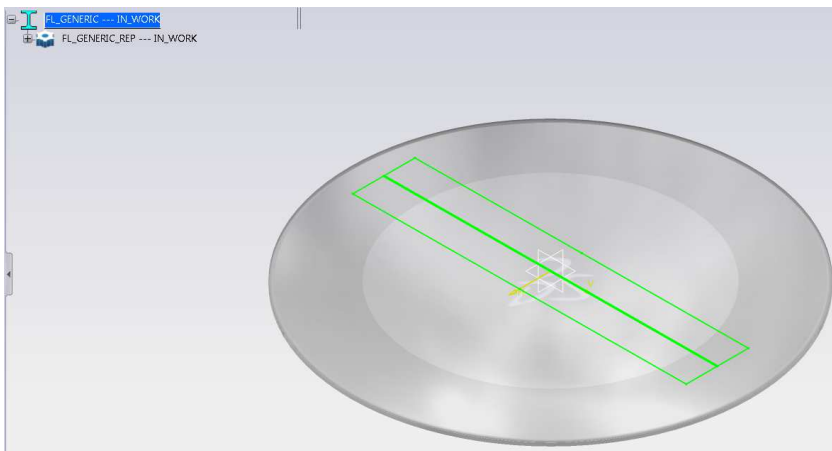
Tämän opinnäytetyön yhteydessä referenssitasoja tehtiin tavallista enemmän. Siitä ei kuitenkaan havaittu olevan suurempaa hyötyä. Yksi syy tähän on se, että CATIA V6:ssa on uusi ominaisuus, joka mahdollistaa luonnosviivojen (*Sketch Lines*) suuntaisten tasojen helpon luonnin (Kuva 3). Referenssitaset määräävään XML-tiedostoon kokeiltiin myös lisätä vinoja tasoja siinä kuitenkaan onnistumatta. Uutta entistä helpommin käytettävää tasojenluontityökalua on lupailtu seuraaviin versioihin.



Kuva 3. Tasojen luonti luonnosviivojen avulla.

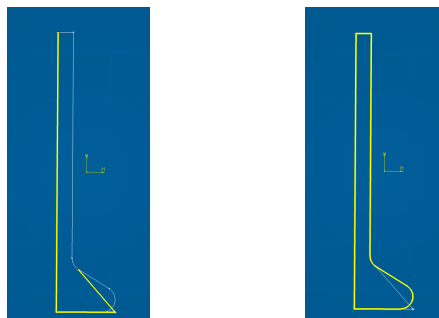
## 5.2.2 Profiilit ja materiaalitaulukot

Käytettävät profiilit luodaan CATIA:ssa profiilipoikkileikkauksia pursottamalla. Eri profiilikoot voidaan luoda ohjelmaan joko yksitellen tai ryhmänä ohjelman valmistajan tarjoamista profiilipoikkileikkausaihioista (Kuva 4) ja niihin liitetystä taulukoiduista profiilikotiedoista. Luontiprosessiin ei tässä yhteydessä syvennytä tarkemmin. Koska eräitä profiilikokoja puuttui CATIA V5:stä tuoduista resursseista, profiilien luontia kuitenkin kokeiltiin ja se todettiin toimivaksi.



Kuva 4. Latta-profiilin profiilipoikkileikkausaihio.

Ohjelmiston valmistaja käyttää profiilipoikkileikkauksista eräänlaista yksinkertaistettua esitystapaa. Se olisi haluttu muuttaa todellista poikkileikkausta vastaavaksi, mutta tästä jouduttiin luopumaan, koska muutetut poikkileikkaukset aiheuttivat tiettyjä ongelmia kuvia luotaessa. Kuva 5 havainnollistaa tilannetta.



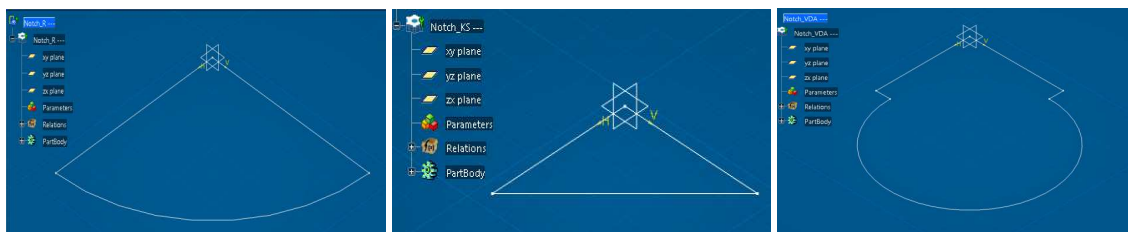
Kuva 5. Bulbi-profiilin yksinkertaistettu ja todellinen poikkileikkaus.

Materiaalien aineenvahvuudet ja laadut määrittävään materiaalitaulukoon (*Material Table*) tehtiin lisäyksiä, jotka toimivat odotetusti.

### 5.2.3 Aukot

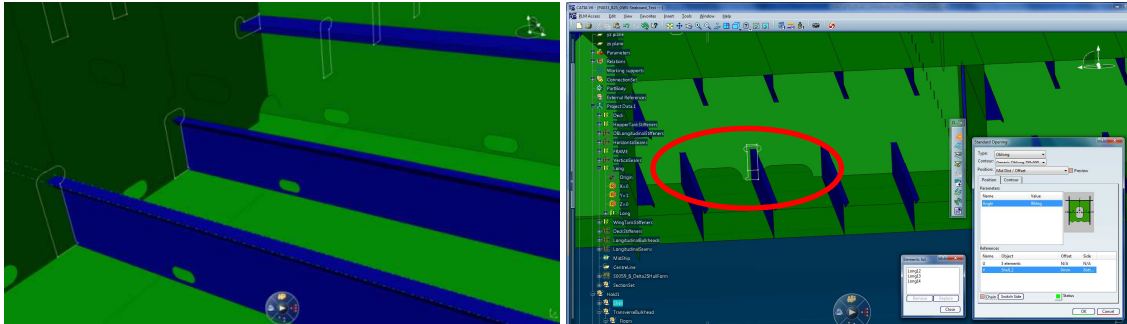
CATIA:ssa aukkoja voidaan tehdä kolmella eri tavalla. Standardi-aukot (*Standard Opening*) tehdään valmiiksi luoduista muodoista, jotka on liitetty aukkokoot määräävään taulukkoon (*Opening Table*). Aukkoja voidaan tehdä myös joka kerta erikseen piirrettävien luonnosten (*Sketched Opening*) ja esimerkiksi *Generative Shape Design* -moduulissa luotujen 3D-objektien (*3D Object*) pohjalta.

CATIA:sta ei ainakaan toistaiseksi löydy erikseen toimintoa pienten aukkojen kuten valumisaukkojen ja kulmakolojen tekoon. Niinpä näiden luontia varten päätettiin tehdä uusia muotoja (Kuva 6), jotta kyseiset aukot voitaisiin lisätä käyttäen *Standard Opening* -toimintoa. Myös taulukko päivitettiin vastaavasti. Vaikka tämä toimintatapa saatiinkin toimimaan, se osoittautui työlääksi. Kaikki aukot oli nimittäin lisättävä erikseen. Pienten aukkojen osalta tultiinkin sellaiseen lopputulokseen, etteivät ne tällaisenaan sovellu tehokkaaseen työskentelyyn ja parannuksia tarvitaan.



Kuva 6. Erilaisia kulmakoloja.

Aukoissa havaittiin muitakin puutteita (Kuva 7). Esimerkiksi valumisaukkojen luonnissa profiileihin oli ongelmia. Pohjatukkien aukkoja ei puolestaan onnistuttu viittaamaan runkopintaan eikä tarvittavaa eromittaa kyetty asettamaan. Vinot rajat aiheuttivat myös yleisesti ongelmia aukkojen sijoittelussa.

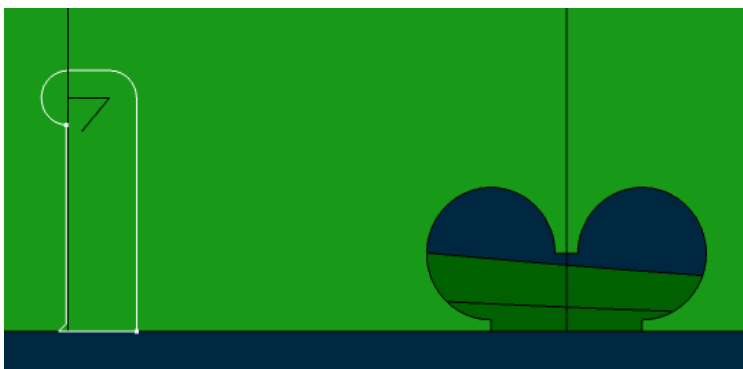


Kuva 7. Aukkojen puutteita.

Aukkojen ongelmien osalta oltiin myös aktiivisesti yhteydessä Dassault Systémesiin. Tällä yhteistyöllä saatiinkin aikaan joitakin parannuksia ja lupauksia toiminnallisuuksien korjaamisesta seuraavissa versioissa.

#### 5.2.4 Läpiviennit

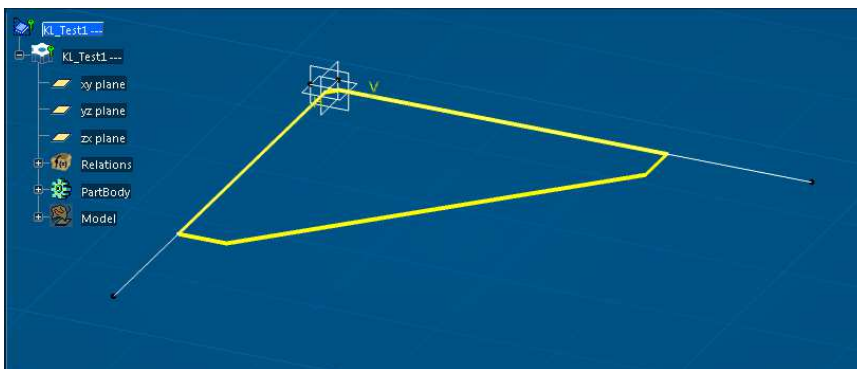
CATIA V5:ssä läpiviennit näkyvät mallissa ainoastaan neliösymbolina. V6-versiossa tähän on tullut parannus, ja läpiviennit esitetään todellisen geometriansa mukaisina kurveina (Kuva 8). Tämän työn yhteydessä luotiin muutama Deltamarinin standardien mukainen läpivienti, joiden luonti ja malliin lisääminen toimivat odotetusti. Myös läpivientien luontia ohjaava taulukko (*Slot Table*) päivitettiin. Läpivienteihin ei kuitenkaan voi vielä asettaa lainkaan kauluslevyjä. Korjaus tähän on tulossa versioon V6R2013X.



Kuva 8. Profiililäpivienti.

### 5.2.5 Polviot

Polvioiden osalta ohjelman valmistaja tarjoaa ainoastaan muutamia malliesimerkkejä, joten tarvittavat polviotyypit on tehtävä itse (Kuva 9). Näiden tekoon käytettiin paljon aikaa. Uuden polviotyypin luominen osoittautui erittäin hankalaksi. Polvion määrittävä luonnos (*Sketch*) on tehtävä tiukkojen ohjeiden mukaan, jotta polvio käyttäytyisi odotetusti, kun se lisätään malliin. Luonnoksen tekoon saatiin Dassault Systèmesiltä yksityiskohtaiset ohjeet. Näistä huolimatta ongelmia esiintyi. Kun luotua polviota yritettiin lisätä malliin, se saattoi esimerkiksi asettua laipion väärälle puolelle. Polvioiden lisäämiseen käytettävässä *Parametric Panel* -työkalussa on kuitenkin peilaus mahdollisuus tällaisten tapausten varalle. Monesti se ei kuitenkaan ottanut toimiakseen, ja selvää syytä ei kyetty löytämään. Erityiseksi ongelmaksi muodostuivat myös kulmapyöritykset. Kulmapyöritys saattoi nimittäin näyttää vielä luonnosvaiheessa hyvältä, mutta kuin polvio lisättiin malliin, pyörähti pyöritys väärään ympyränneljännekseen. Polvioiden rajaaminen tiettyihin rakenteisiin oli lisäksi välillä mahdotonta ja polviot muotoalueella eivät toimineet. Näiden ongelmien valossa lopputulos siitä, että toiminnallisuus ei ole riittävä, olikin ilmeinen.



Kuva 9. Itse tehty polviotyyppi.

Polvioidenkin osalta oltiin aktiivisesti yhteydessä Dassault Systèmesiin. Parannuksia saatiinkin aikaan. Toiminnallisuuksien korjaamista lupailtiin seuraaviin versioihin. Versioon V6R2014x luvattiin ominaisuutta, jossa polviot voitaisiin luoda profiilien luonnin yhteydessä.

### 5.3 Perusmallinnus

Perusrakenne-elementtien, kuten laipioiden ja kansien, mallinnus sekä näiden jäykistäminen onnistuu suuremmista ongelmista. Ainoastaan jotkin monirajaiset rakenteet saattavat aiheuttaa pieniä ongelmia. Näissä tapauksissa nimittäin rajojen valitsemisjärjestyksellä on merkitystä.

CATIA V5:ssä mallin peilausominaisuus puuttui, joten malli jouduttiin rakentamaan sekä P-, että S-puolelle erikseen. Tämä oli erittäin työlästä erityisesti muotoalueilla. CATIA V6:ssa mallin peilaamiseen ja kopioimiseen on uusi työkalu (*Advanced Copy*). Varsinkaan peilaus ei kuitenkaan toimi avain täysin ongelmitta. Peilaus keskiviivan yli onnistuu hyvin jos peilattava rakenne on viitattu referenssitason viivasta. Tällöin ohjelma osaa korvata P-puolen referenssitason vastaavalla referenssitasolla S-puolelta. Jos peilattava rakenne on viitattu vaikkapa *Generative Shape Design* -moduulissa luotuun 3D-pintaan, tilanne on mutkikkaampi. Tällöin peilattavan rakenteen rajoja pitäisi voida muuttaa. *Advanced Copy* -työkalussa on tähän kyllä olemassa valinta (*Reroute Analysis*), mutta se ei useimmissa tapauksissa toimi oikein. Versioon V6R2014X on tähän asiaan tulossa korjaus.

Dassault Systemés on tehnyt valinnan, että SFD-moduulissa laivamalli rakentuu äärettömän ohuista pinnoista. Pinnat kyllä sisältävät levyn materiaalitiedot laatuluokkineen ja paksuuskineen, mutta materiaalipaksuudet eivät fyysisesti näy mallissa. Tämä tietenkin keventää laivamallia, joten mallinnus on sujuvampaa, mutta toisaalta rakenne-elementtien liitoskohtien hallinta vaikeutuu kun liitoksen oikeellisuudesta ei saada visuaalista varmuutta.

Ohjelma on myös varsin epävakaa ja kaatuu liian helposti. Lisäksi mallin palauttaminen (*Restore Previous Session*) ei versiossa V6R2013 jostain syystä toiminut. Näistä syistä mallinnuksesta tuleekin ajoittain varsin tuskallista. On kuitenkin odotettavaa, että nämä puutteet korjataan varsin nopeasti.



## 6 LAIVAMALLIN PARAMETRISOINTI

### 6.1 Parametrinen toimintamalli

Parametrisen toimintamallin ajatuksena on helpottaa ja nopeuttaa laivamallin rakentamista. Laivan luokitusprosessin aikana erilaisia rakenteellisia muutoksia tulee valtava määrä. Luokitusprosessin edetessä laivamallista tuotetut alustavat luokituskuvat lähtevät vuorotellen sekä telakan, varustamon, että luokituslaitoksen hyväksyttäväksi. Nämä esittävät kukin erilaisia toiveita ja vaatimuksia kyseisten kuvien suhteen, jotka suunnittelusta vastaava suunnittelutoimisto tai telakka vie laivamalliin. Laivamallista tuotetaan uudet luokituskuvat ja ne lähetetään uudelle kierrokselle eri osapuolille. On hyvinkin mahdollista, että ennen kuin kaikkia osapuolia tyydyttävät ratkaisut on löydetty, on tämä prosessi ollut vietävä läpi useita kertoja.


Kasvanut ympäristötietoisuus, varustamojen pyrkimys tuottojen maksimoimiseen ja kohonneet polttoaineen hinnat ovat osaltaan luoneet suunnittelijoille painetta pyrkiä yhä kevyempiin rakenneratkaisuihin ja parempiin runkomuotoihin. Kun laivan kevytpainon suhteellinen osuus verrattuna laivan kantavuuteen pienenee, on tämä samalla myös ympäristöteko. Lisäksi tietokoneiden laskentatehon nopea kasvaminen on mahdollistanut sekä laivan runkomuodon optimointiin tarkoitettujen CFD-ohjelmistojen, että laivan runkomateriaalien optimointiin tarkoitettujen FEM-ohjelmistojen nopean kehityksen. Toisaalta luokituslaitosten yhteistyöelimen IACS:n ponnistelujen tuloksena 1. huhtikuuta 2006 voimaan astuneet CSR-säännöt ovat merkittävästi lisänneet laivan luokitukseen tarvittavien laskelmien määrää (IACS 2013). Samaan aikaan sijoittajat vaativat yhä suurempaa tuottoa sijoituksilleen ja mahdollisimman lyhyt toimitusaika on suuri kilpailuvaltti. Eri suunnitteluvaiheiden päällekkäisyys onkin nykyään enemmän sääntö kuin poikkeus. Tässä yhtälössä tuottavuuden kasvattamisen ja muutostenhallinnan rooli korostuu.

Parametrisyyden lisääminen on yksi keino vastata tähän haasteeseen. Parametrisoinnilla tavoitellaan helposti muokattavia ja uudelleen käytettäviä malleja. Tässä opinnäytetyössä parametrisyyttä on lähestytty erityisesti runkomateriaalien optimoinnin kannalta. Kun runkomateriaaleja optimoidaan FEM-laskennan avulla, erilaisia levynpaksuuksia tulee kymmenittäin, eikä esimerkiksi kahta materiaalipaksuudeltaan identtistä kaarta tahdo löytyä. Lisäksi FEM-analyysille on tyypillistä, ettei kaikkea tietoa saada kerralla, vaan analyysin edetessä materiaalipaksuudet tarkentuvat.

CATIA-ohjelmisto mahdollistaa Excel-taulukoista löytyvän datan liittämisen mallin eri parametrien lähtödataksi. Excel-taulukossa aluksen rakenteiden levynpaksuuden muokkaus on helppoa. Materiaalien muokkaaminen tässä taulukossa päivittää myös mallin vastaavasti. Seuraavassa kuvataan, miten Excel-taulukko liitetään malliin.

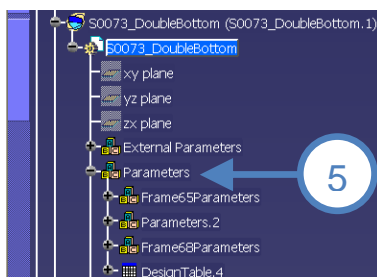
## 6.2 Parametrisen mallin luominen

Seuraavassa esitettävä ohjeistus on CATIA V5:stä. CATIA V6:ssa taulukon liittäminen etenee pääpiirteittäin samalla tavalla, vaikkakin jotkin valintadialogit ovat hieman erinäköisiä. Alla oleva ohjeistus ei kata taulukoiden päivittämistä. Taulukoiden liittamisestä malliin on toteutettu myös erillinen englanninkielinen ohjeistus, jossa taulukoiden päivittäminenkin käsitellään.

- 1) Valitaan SFD-moduulissa ruudun alalaidasta *Knowledge*-työkalupalkista löytyvä *Design Table* -työkalu.  *Creation of a Design Table* -valintaikkuna aukeaa.
- 2) Nimetään taulukko.
- 3) Valitaan *Create a design table from a pre-existing file* -vaihtoehto.
- 4) Valitaan *Vertical*-asettelu.
- 5) Oletuksena taulukot kiinnitetään piirrepuuhun *Relations*-valikon alle. Asiakirjan hallinta saattaa kuitenkin olla helpompaa, jos taulukot sijoittaa erikseen luodun *Parameters*-valikon alle. Aktivoi *Destination*-kenttä ja valitse tämän jälkeen piirrepuusta *Parameters*-valikko.
- 6) Valitaan *OK*.

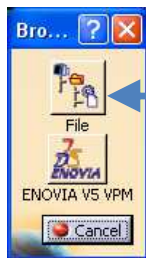


Kuva 10. Creation of a Design Table -valintaikkuna.

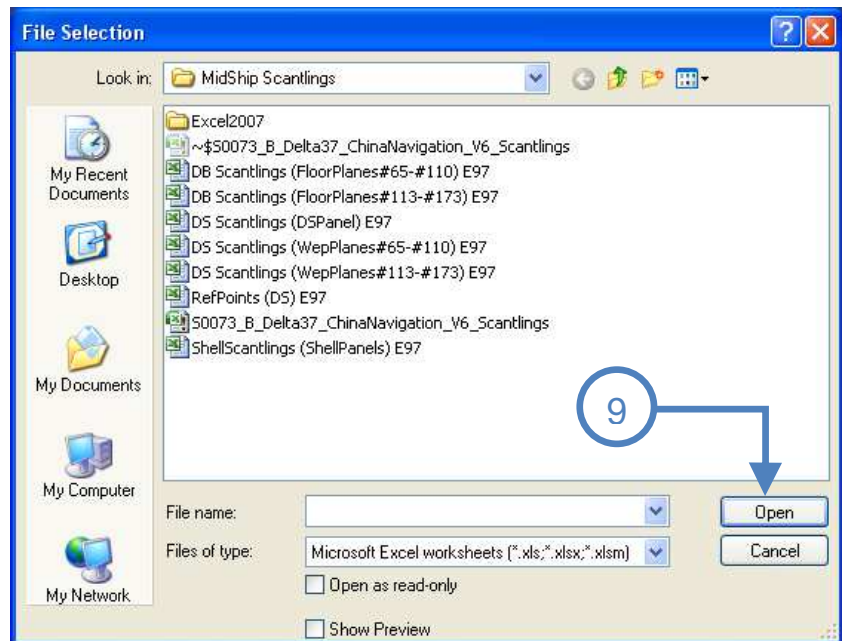


Kuva 11. Parameters-valikko piirrepuussa.

- 7) Ohjelma kysyy mistä lähteestä taulukko liitetään. Valitaan *File* vaihtoehto.
- 8) Siirrytään oikeaan kansioon ja valitaan haluttu tiedosto.
- 9) Valitaan *Open*.

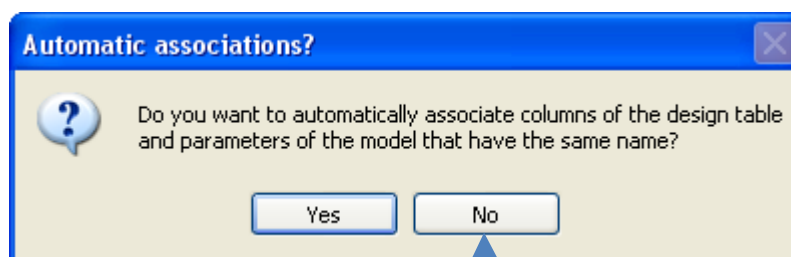


Kuva 12.  
Taulukon lähteen  
valintaikkuna.



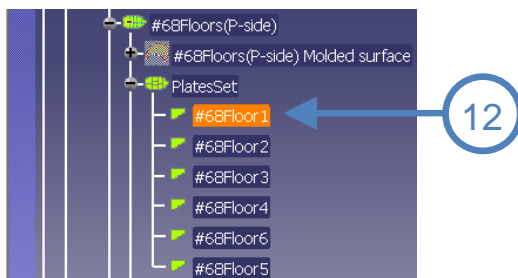
Kuva 13. Kansionäkymä Windowsista.

- 10) Ohjelma kysyy halutaanko taulukon sarakkeet ja mallin parametrit yhdistää automaattisesti. Valitaan *No*.

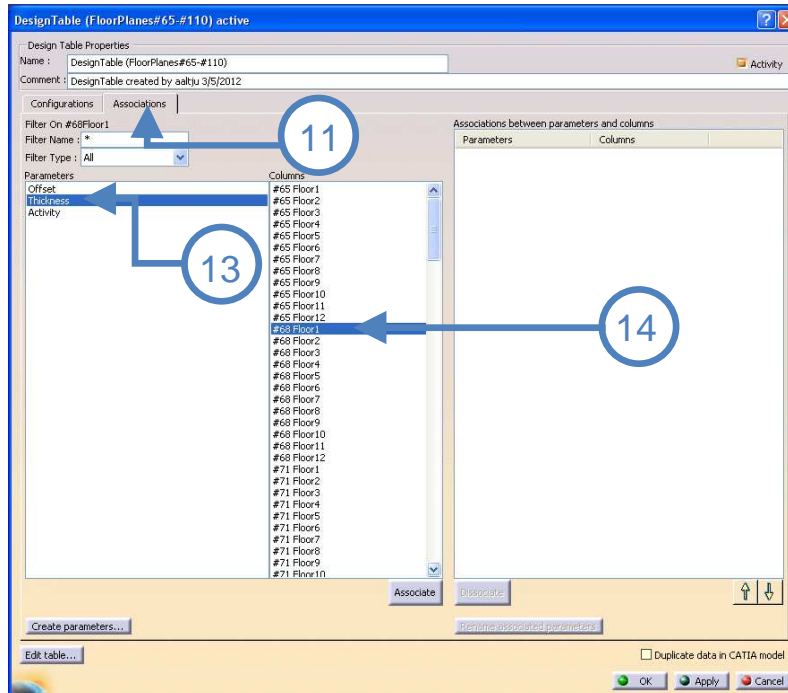


Kuva 14. Taulukon sarakkeiden  
ja parametrien automaattinen  
yhdistäminen.


- 11) *Design Table* -valintaikkuna aukeaa. Valitaan *Associations* välilehti.
- 12) Valitaan piirrepuusta ensimmäinen taulukkoon liitettävä levy.
- 13) Levyillä on kolme parametrissa arvoa; *Offset*, *Thickness*, ja *Activity*, jotka on esitetty *Design Table* -valintaikkunan vasemmanpuoleisessa sarakkeessa. Valitaan *Thickness*.
- 14) Valitaan vastaava levy *Design Table* -valintaikkunan keskimmäisestä sarakkeesta.
- 15) Toistetaan kohdat 12-14 kunnes kaikki levyt on valittu.
- 16) Valitaan lopuksi *OK*.



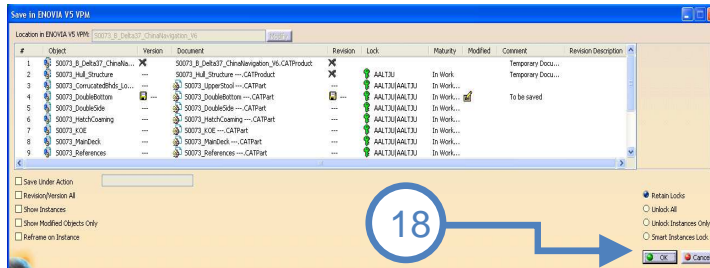
Kuva 15. Taulukkoon liitettävä levy valittuna piirrepuussa.



Kuva 16. Design Table -valintaikkuna.

17) Valitse ruudun yläaidasta *ENOVIA V5 VPM* -työkalupalkista löytyvä *Save Data* -työkalu.  *Save in ENOVIA V5 VPM* -valintaikkuna aukeaa.

18) Valitse OK.



Kuva 17. *Save in ENOVIA V5 VPM* -valintaikkuna.

Huom.! Ongelmien välttämiseksi Excel-taulukko kannattaa laatia xls-muodossa (Excel 97-2003 Workbook).

Parametrien nimet ja oikeat mittayksiköt on esitettävä liitettävän taulukon ensimmäisellä rivillä ja varsinaiset materiaalipaksuustiedot toisella rivillä.

	A	B	C	D	E
1	#65 Floor1 (mm)	#65 Floor2 (mm)	#65 Floor3 (mm)	#65 Floor4 (mm)	#65 Floor5 (mm)
2		12	16	16	16
3					
4					
5					

Kuva 18. Liitettävä taulukko.

Taulukoiden käyttö levynpaksuuksien määrittämiseen osoittautui toimivaksi. Havaitut ongelmat liittyivät lähinnä taulukon päivittämiseen, ja niistä voitiin päästä eroon toimintatapoja kehittämällä.

Levynpaksuuksien parametrisoinnin ohella tehtiin myös parametrisointikokeiluja referenssipisteillä. Tässä ideana oli, että Excel-taulukkoon syötetyistä tiedoista luodaan eräänlainen pistejoukko. Näitä pisteitä voitaisiin sitten käyttää apuna esimerkiksi aukkojen sijoittelussa. Tässä olisi myös hyödynnetty CATIA:sta löytyvää *Power Copy* -toimintoa. Tällainen toimintamalli on kuitenkin hieman menettänyt merkitystään CATIA V6:ssa parantuneiden kopiointi- ja peilausominaisuuksien ansiosta.

## 7 KUVIEN TUOTTAMINEN

Kuvien tuottamiseen käytettävän *Generative Drafting* -moduulin yleiset ominaisuudet, *Graphical Replacement* ja GVS-filosofia sekä leikkausten ottamisen periaatteet on käsitelty jo edellä (ks. luku 4). Tässä yhteydessä kuvien tuottamista käsitellään tehtyjen kokeilujen perusteella ja hieman konkreettisemmalla tasolla.

### 7.1 Taustaa

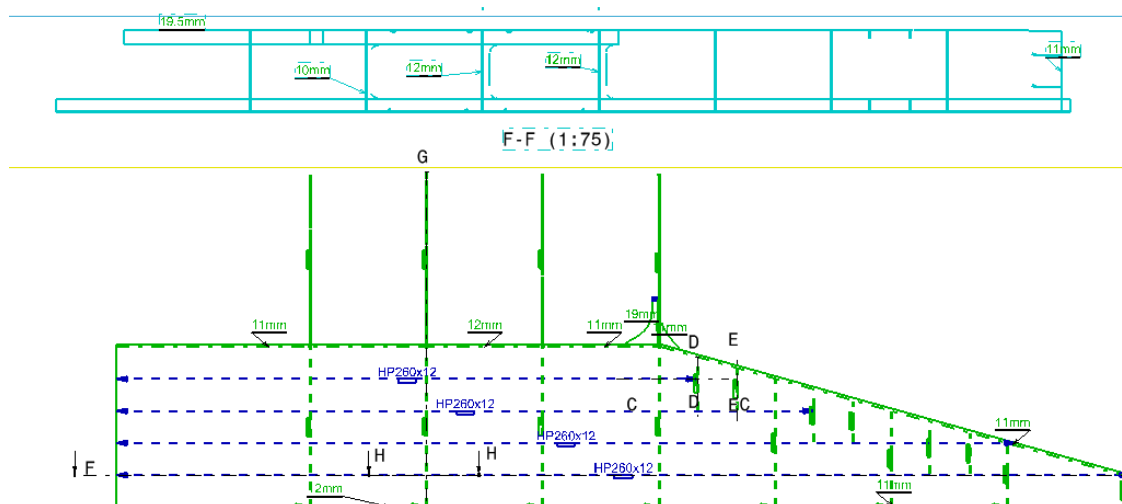
Kuten edellä luvussa 2.5 todettiin, CATIA V5:tä on käytetty Deltamarinilla jo vuodesta 2001 lähtien. Laivanrakennukseen suunnitellut SFD- ja SDD-moduulit ovat sisältyneet V5-versioon muutaman viimeisimmän ohjelmistorevision ajan. Niinpä niitäkin on jo aikanaan ehditty Deltamarinilla kokeilla. Kuten todettua, mallinnuksessa on ollut tiettyjä rajoitteita, mutta niihin on yleensä löydetty vähintään välttävä väliaikaisratkaisu. Sen sijaan lopulliseksi esteeksi ohjelman käyttämiseen runkosuunnittelussa on osoittautunut kuvien tuottaminen.

Tuotetuista kuvista ei yrityksistä huolimatta ole saatu halutunlaisia, sillä *Graphical Replacement* ei ole toiminut odotetusti. Esimerkiksi jäykisteprofiilien, kuten bulbi-, latta-, T- ja L-profiilit, kanssa on ollut paljon ongelmia ja joitakin rakenteita ei ole saatu ollenkaan näkyviin. Esimerkiksi bulbiprofiilia sivultapäin katsottaessa, siitä on puuttunut bulbin paksunnosta osoittava viiva. Tämä on vaikeuttanut profiilien tunnistamista. Lisäksi profiilin törmätessä rakenteeseen on leikkauskuviosta aina tullut kohtisuora, eikä tarvittavaa vinoutta ole saatu näkyviin. Profiilien päiden viisteet eivät myöskään ole näkyneet oikein ja läpivientiaukot ovat näkyneet kuvissa vain symboleina. V5-versiossa leikkausten ottaminen mallista ja tuotettujen kuvien päivittäminen on ollut erittäin hidasta ja kuvien ottamismenetelmissä on ollut tiettyjä epä johdonmukaisuuksia. Sen sijaan erilaisten viitemerkintöjen, kuten mitoituksen, piirustussymbolien ja tekstien lisääminen on toiminut.

## 7.2 Kuvien tuottaminen CATIA V6:ssa

CATIA V6:ssa leikkausten ottaminen ja päivittäminen on nopeutunut huomattavasti. Ohjelmistovalmistaja suosittelee leikkausten ottamista pääasiassa *Logical View* -toiminnolla jonka taustalla oleva ohjelmistokoodi on kirjoitettu uudelleen. Lisäksi tässä versiossa läpiviennit esitetään kuvissa todellisen geometriansa mukaisina kurveina.

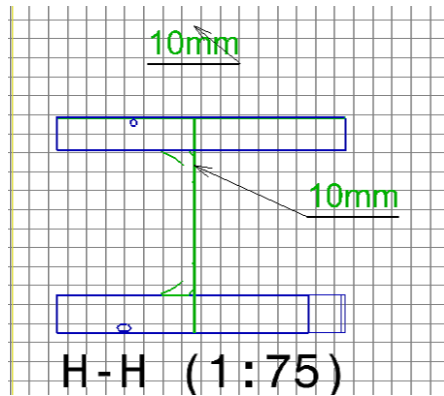
Näistä parannuksista huolimatta kokeiluissa kävi pian selväksi, ettei tilanne kuvien tuottamisen osalta ole oleellisesti parantunut V5-versioon verrattuna. Jotkut rakenteet puuttuivat edelleen tiettytyyppisistä leikkauksista. Tässä yhtenä vaikuttavana taustatekijänä on CATIA:lle luonteenomainen tarkkuuspyrkimys. Koska CATIA:n historia pohjautuu lentokone-teollisuuteen ja vaativaan pintamallinnukseen on tarkkuudelle ollut suuri tilaus. Suuri tarkkuus on laivanrakennuksessa kuitenkin usein enemmänkin haitta, kuin hyöty. Esimerkiksi jos laivan pohjalevyn pitkittäinen jäykisteprofiili kaartuu muotoalueella, jää osa profiilista usein näkymättä (Kuva 19). Tämä siksi, että profiili ja mallia leikkaava pinta eivät ole täysin yhtenevät. Jäykisteprofiilien oikeanlaisesta esittämisyylistäkään, bulbiprofiilin paksunnosta osoittavine viivoineen ja oikeanlaisine viisteineen, ei saatu täyttä varmuutta.



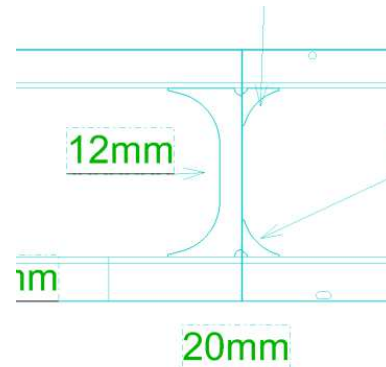
Kuva 19. Laivan pitkittäisleikkauksesta puuttuva profiili.



*Logical View* -toiminnolla otetuissa leikkauksissa eivät polviot näkyneet oikein. Ainoa tapa tuottaa kuva, jossa polviot näkyivät, oli ottaa *3D Clipping* -työkalulla rajoitettu *Front View* -leikkaus. Tällä tavoin tuotetussa kuvassa saattoi kuitenkin olla mukana myös ei haluttua geometriaa. Polvio-ongelmaan lupailtiin pikaista korjausta. Kuvissa 20 ja 21 on esitetty samat polviot. Kuva 20 on tehty *Logical View* -toiminnolla ja kuva 21 *Front View* -toiminnolla.



Kuva 20. *Logical View* -toiminnolla otettu leikkaus.



Kuva 21. *Front View* -toiminnolla otettu leikkaus.

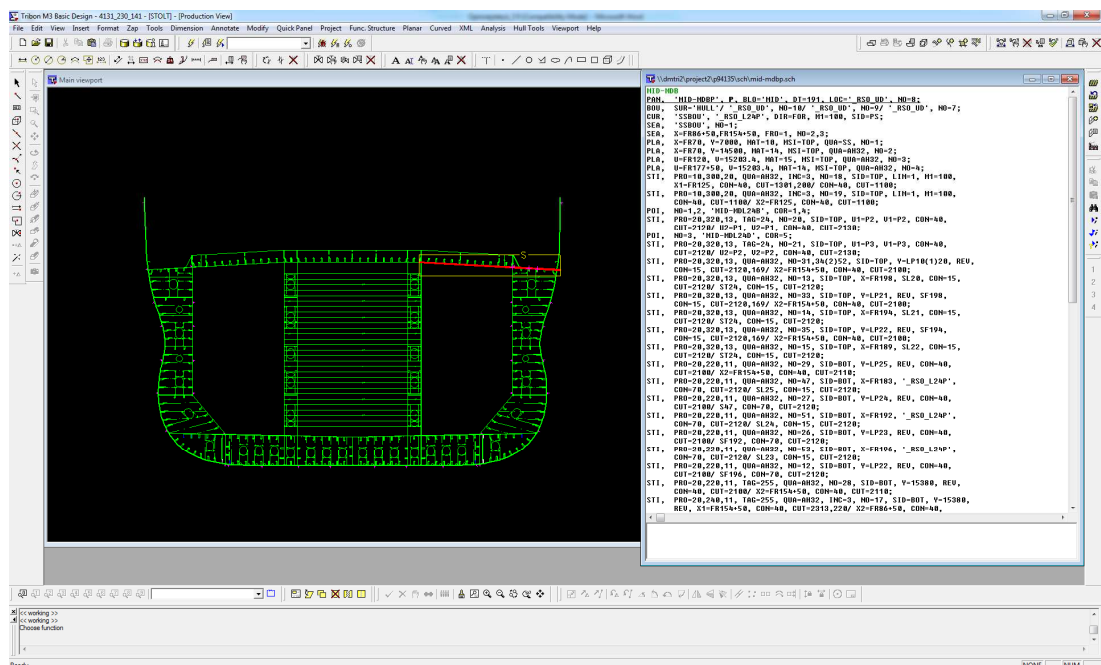
Jos puolestaan mallista otettiin leikkauksia *Offset Section Cut* -toiminnolla, leikkauksen katsomissuunnan vaihtaminen ei aina onnistunut vaan aiheutti virhesanomien.

Lukuisista ongelmista johtuen erilaisia GVS-tyylejä ei vielä oikein edes päästy kokeilemaan. Lisäksi oli epäselvyyttä, mitä ohjelmiston valmistajan valmiiksi tarjoamista GVS-tyyleistä olisi pitänyt käyttää pohjana, haluttaessa luoda omiin toimintatapoihin soveltuva tyyli. Oikea tyyli olisi ilmeisesti ollut hieman epäloogisesti *Structure\_CivilEngineering* käytetyn *Structure\_ShipBuildingin* sijaan.

Yhteenvetona voidaan todeta, että vaikka jotkin kuvien tuottamiseen liittyvät toiminnot ovatkin parantuneet CATIA V5:een verrattuna, eivät ne ainakaan vielä versiossa CATIA V6R2013 ole riittävällä tasolla.

## 8 CATIA V6 VERRATTUNA AVEVA MARINEEN

Aveva Marinea ja sitä edeltänyttä Tribon-ohjelmaa on jo pitkään käytetty laivanrakennuksessa. Nämä perinteet ovat yhä edelleen ohjelman valttikortteja. Kaikkien laivanrakennukseen käytettävien komponenttien tekoon on olemassa pitkälle kehitetyt ja hyväksi havaitut toimintatavat. Kaikki tarvittavat profiilityypit, kulmakolot, polviot ja viisteet löytyvät ohjelmasta. Kuten edellä on esitetty, CATIA V6:ssa kyseisissä komponenteissa on edelleen tiettyjä puutteita. Kuvassa 22 on esitetty yleisnäkymä Tribon M3 -versiosta.



Kuva 22. Yleisnäkymä Tribon M3 -versiosta.

CATIA:sta poiketen, Aveva Marine on edelleen viimekädessä koodipohjainen. Mallinnus niin kutsutuissa *Schemoissa* erilaisia komentoja syöttäen on edelleen tehokas tapa laivamallin rakentamiseen. Kaikki ohjelmalla luodut paneelit saavat oman *Schemansa*, joissa kaikki tämän paneelin ominaisuudet ja siihen liittyvät komponentit on esitetty omilla riveillään. Toimintatavan etuna on nopea muokattavuus ja samanlaisten rakenteiden helppo kopioitavuus. Koska kyseiset tiedostot ovat käytännössä pelkkiä tekstitiedostoja, ne on tarvittaessa myös helppo ottaa johonkin ulkoiseen ohjelmaan muokattaviksi. Muokkauksen jälkeen

tiedostot voidaan tuoda takaisin ohjelmaan ja niiden tiedot generoida suoraan mallin geometriaksi. Tällä toimintatavalla myös mallin tiedostokoko pysyy hyvin pienenä. Ongelmana toimintamallissa on vähäinen konkretia. Varsinkin aloittelevien suunnittelijoiden on vaikea tietää oikeat komennot ja tarvittavat lauserakenteet halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Tämän takia Interaktiivisen mallinnuksen osuutta on uusien Aveva Marine -versioden myötä kokoajan pyritty kasvattamaan. Interaktiivisessa-mallinnuksessa paneelin ja sen komponenttien luontia ohjataan erilaisten, Windows-ympäristöstä tutujen, ikkunoiden avulla. Nykyään mallinnuksen Aveva Marinella voidaan arvioida tapahtuvan noin 60 prosenttisesti interaktiivisesti. Sen sijaan CATIA:ssa mallinnus on 100 prosenttisesti interaktiivista.

Sekä Aveva Marinessa että CATIA V6:ssa osien sijoittaminen malliin oikealle paikalleen perustuu lähtökohtaisesti referenssipintoihin. Luodut rakenteet rajataan kyseisiin pintoihin, toisiinsa tai erikseen luotuihin kurveihin. Myös suora rajaaminen koordinaattiarvoilla onnistuu kummassakin ohjelmassa, mutta tämä ei ole suositeltava toimintamalli, sillä se vaikeuttaa mallin päivittämistä.

Mallinnus Aveva Marinessa tapahtuu aina 2D-ympäristössä. Mallista otetaan leikkaus siitä kohdasta mihin rakenne halutaan sijoittaa. Tämä on yleensä jokin tasopinta. Tämän jälkeen luodaan haluttu paneeli joko interaktiivisesti tai suoraan *Schemassa*. Jos paneeli on rakennettu oikein, nähdään se otetussa leikkauksessa. Virtuaalinen kolmiulotteinen laivamalli rakentuu kuitenkin koko ajan taustalla, ja rakennetta voidaan jälkeinpäin tarkastella myös erillisessä 3D-ympäristössä. Halutut kokonaisuudet lisätään eräänlaisesta piirrepuusta ja osia voidaan leikata tai piilottaa tarpeen mukaan. Tässä ympäristössä ei kuitenkaan voida suorittaa minkäänlaista mallinnusta. CATIA:ssa luodut paneelit nähdään 3D-mallissa koko ajan ja jo luomisprosessin aikana.

Aveva Marinen 2D-leikkauksissa laivamalli esitetään laivanrakennuksessa tyypillisessä yksinkertaistetussa muodossa. Sen sijaan 3D-mallissa rakenteet näkyvät todellisina. CATIA V6:den SFD-moduuliin verrattuna Avevan malli on tässä mielessä realistisempi. Siinä muun muassa näkyvät materiaalipaksuudet

ja profiilien viisteet. Mallissa liikkuminen on kuitenkin Aveva Marinessa jonkin verran CATIA:aa vaikeampaa.

Tribon-ohjelman heikkoutena oli aikanaan monien paneelien tai tiettyjen toistuvien rakenteiden muokkaaminen yhtä aikaa. Aveva Marinessa tämä ongelma on korjattu, esittelemällä uusia ominaisuuksia ja laajentamalla vanhojen käytettävyyttä. CATIA:ssa tällaista monien paneelien yhtäaikaisen muokkaamisen mahdollistavaa ominaisuutta ei ole. Toisaalta kyseisessä ohjelmassa on mahdollisuus paneelien parametrisointiin, kuten edellä on esitetty (ks. luku 6).

Aveva Marinessa ei ole erillistä ympäristöä kuvien luontiin, vaan kuvat luodaan samassa ympäristössä missä mallinnuskin tehdään. Tähän voidaan tuoda kuvakehykset ja lisätä tarvittavat viitemerkinnät, kuten osanumerot, levynpaksuudet, profiilien kokotiedot, mitoitukset, piirustussymbolit ja tekstit. Viitemerkintöjen lisääminen toimii kummassakin ohjelmassa kutakuinkin yhtä hyvin. Avevassa kuvat rakentuvat eräänlaisista osakuvista, *Sub Pictureista*, jotka mahdollistavat kuvapohjien helpon kopioimisen.

Kumpaankin ohjelmaan voidaan tuoda aineistoa konseptisuunnittelussa käytetystä Napa-ohjelmasta. Tuotantoaineisto ja liittymäpinnat tuotantoon ovat Aveva Marinessa jonkin verran CATIA:aa paremmat.

Molemmissa ohjelmissa on siis vahvuutensa ja rajoitteensa. Oman kokemukseni mukaan Aveva Marine on tällä hetkellä mallinnuspuolella hieman monipuolisempi. Vaikka toimintamalli on nykymittapuun mukaan vanhahtava, on se toimiva. Arviointia tosin vääristää se, ettei CATIA V6 -ympäristöön vielä ole lisätty kaikkia laivanrakennuksessa käytettäviä komponentteja. Suunnittelu on kuitenkin kaiken kaikkiaan mielestäni Aveva Marinessa hieman CATIA:aa sujuvampaa. Kuvien tuottamisessa vertailu on jokseenkin turhaa, sillä kuten todettua, CATIA:sta ei halutunlaisia kuvia vielä saada. Voidaan kuitenkin todeta, ettei Aveva Marinessakaan kuvien tuottaminen ole erityisen edistynyttä.

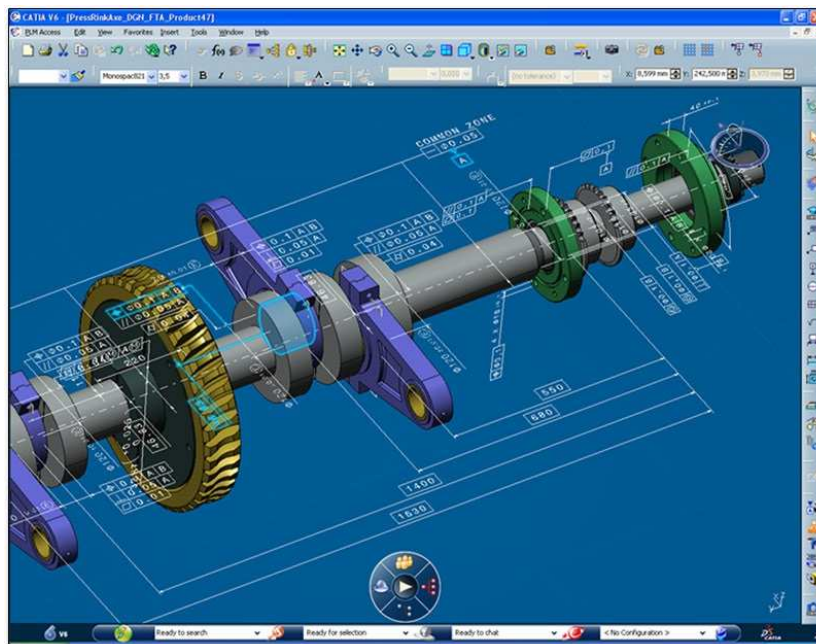
## 9 TULEVAISUUDEN NÄKYMIÄ

### 9.1 Yleistä

Mielestäni 3D-mallinnuksen tarjoamia mahdollisuuksia ei nykyisellään täysin hyödynnetä. Laivamallin rakentamiseen käytetään nykyisellään valtavasti aikaa, mutta tätä mallia ei varsinaisen laivan rakennusprosessin aikana käytetä missään. Moniin laivanrakennuksen vaiheisiin sisältyy paljon tulkitsemista. Aluksi suunnittelijat tulkitsevat laivasopimuksen yhteydessä laadittua laivaerittelyä sekä erilaisia rakennustapastandardeja ja pyrkivät luomaan virtuaalisen laivamallin. Laivan täydellisestä virtuaalisesta mallista tuotetaan tarvittavat työkuvat, joissa rakenteille käytetään yksinkertaistettua esitystapaa. Nämä työkuvat lähetään telakan, varustamon ja luokituslaitoksen edustajille, jotka kukuin tulkitsevat niitä hieman omalla tavallaan. Työkuvien hyväksyttämisen jälkeen vielä tuotannon työntekijä tulkitsee kuvia omalla tavallaan. Laivanrakennusprosessin tavoitteena pitäisi olla mahdollisimman hyvä laiva, eivätkä pitkälle vakiintuneet piirustukset. Virtuaalisen laivamallin monipuolisempi hyödyntäminen myös rakennusprosessin muissa vaiheissa voisi merkittävästi vähentää tulkinnan tarvetta.

Tietotekniikan nopea kehitys avaa kokoajan uusia mahdollisuuksia. Lisäksi laitteiden hinnat ovat nopeasti halventuneet. Tuotannon työpisteiden varustaminen tietokoneilla tai työntekijän henkilökohtainen taulutietokone, eivät enää ole täysin poissuljettuja vaihtoehtoja. Näillä toimenpiteillä voitaisiin tarvittavien 2D-työkuvien määrää ainakin vähentää. Se miten laivan rakentamiseen tarvittavat tiedot, kuten mittatiedot ja osanumerot, saataisiin nopeasti 3D-kuvista, vaatisi varmasti työtä. Teknisesti tämän ei pitäisi kuitenkaan olla mahdotonta. Kuvassa 23 on esitetty esimerkki tuotteesta, jonka valmistustiedot löytyvät suoraan sen 3D-työkuvasta. Täydellinen luopuminen 2D-työkuvista nopealla aikataululla ei missään nimessä ole realistista. Monien

asioiden hahmottaminen on yksinkertaisesti helpompaa A0-kokoisesta paperikuvasta kuin esimerkiksi tietokoneen näyttöpäätteeltä.



Kuva 23. Valmistustietojen esittäminen 3D-työkuvassa.

On helppo ennustaa, että siirtyä tietotekniikan laajamittaisempaan käyttöön myös tuotannon puolella tulee tapahtumaan. Se koska tekniikka, ja ennen kaikkea asenteet vahvasti perinteisiin nojautuvalla ja suhteellisen konservatiivisella alalla ovat oikeat, on paljon vaikeampi kysymys. Kysymys on myös pitkälti siitä, mitä asiakkaat haluavat. Jos asiakkaalla ei ole halua uudistaa toimintatapaansa, ei suunnittelutoimistolla ole paljonkaan vaihtoehtoja. Myös muut sidosryhmät, kuten luokituslaitokset, asettavat aina omat tiukat vaatimuksensa. Ajatuksen tasolla on kuitenkin mielenkiintoista pohtia, voisiko suunnittelutoimistolla olla aktiivisempi rooli uusien käytäntöjen sisäänajossa. Entä voisiko vaikkapa jonkinlainen strateginen kumppanuus jonkin telakan kanssa olla hedelmällinen ja parantaa molempien kilpailukykyä?

Näitä kysymyksiä pitäisi pohtia koko organisaation tasolla, eikä uusiin menetelmiin siirtymistä tule tehdä köykäisin perustein. On kuitenkin huomattava, että asiakastelakoilla vaakakupissa painavat myös tuotannon tarpeet. Telakan tuotantolaitteiden ja tuotantolinjojen muuttaminen uuden tuotannonohjausohjelmiston kanssa yhteensopiviksi, on aina erittäin pitkä,

monimutkainen ja aikaa vievä prosessi. Lisäksi kaikilla telakoilla on aina myös hieman toisistaan poikkeavat valmistustavat sekä erilainen tuotantolaitteisto. Tämä asettaakin yksittäisen suunnittelutoimiston hankalaan asemaan. Käytännössä tuotannonohjausohjelmistojen yksilöinti täytyisi nimittäin tehdä kaikille asiakastelakoille erikseen.

## 9.2 Pilvipalvelut

Pilvipalvelut ovat mielenkiintoinen, uusia mahdollisuuksia avaava, kehityssuunta tietotekniikan saralla. Pilvipalveluilla tarkoitetaan internetin yli tarjottavia tietoteknisiä palveluita. Palvelut voivat olla luonteeltaan kaikkea mahdollista tallennustilasta erilaisiin ohjelmistoihin asti. Erilaisia verkkotallennustiloja on jo nykyään tarjolla yllin kyllin. Esimerkkinä voidaan mainita vaikkapa Microsoftin Skydrive-palvelu, tiedostojen synkronoinnin useiden laitteiden välillä mahdollistaa Dropbox-sovellus, ja valokuvien jakamisen verkossa mahdollistava Instagram-sovellus. Sen sijaan verkon yli tarjottavia ohjelmistoja on toistaiseksi melko vähän. Käyttäjän näkökulmasta nämä ovat houkuttelevia, sillä palvelut ovat heti saatavilla ja niiden teho skaalautuu tarpeen mukaan. Pilvipalvelut mahdollistavat asetelman, jossa loppukäyttäjän ei tarvitse enää ottaa kantaa käyttöjärjestelmään, selaimeen taikka käyttämänsä päätelaitteen tyyppiin. Pilvisovellukset toimivat samalla tavalla kaikilla alustoilla. Suunnitteluohjelmistojen puolella muun muassa Dassault Sestèmesin SolidWorks-ohjelma on kulkenut kehityksen eturintamassa. Siitä ollaan ensi vuonna julkaisemassa pilvisovelluksena toimiva versio. Onkin mielenkiintoista nähdä, minkälaisen vastaanoton tämä markkinoilla saa. Pilvipalveluiden ongelmana ovat vielä tällä hetkellä erilaiset tieturvaan liittyvät kysymykset, sekä niiden tietoliikenneyhteyksille asettamat suuret vaatimukset. (Pilvilaskenta 2013.)

### 9.3 CATIA-ohjelmisto

Koska CATIA:ssa on edelleen ongelmia mallinnuksen ja kuvien tuottamisen kaltaisissa perustoiminnoissa, sen todellista potentiaalia ei mielestäni ole vielä täysin ymmärretty. CATIA mahdollistaa muun muassa mallinnusprosessin erilaiset automatisoinnit. Yksinkertaisimmillaan tämä voisi olla esimerkiksi *Power Copy* -toiminnolla suoritettavaa rakenne-elementtien kopioimista. *Knowledgeware*-moduulista löytyvien työkalujen avulla sekä mallinnus että kuvien tuottaminen voitaisiin viedä aivan uudelle tasolle. Moduulin kattavien työkalujen lisäksi CATIA:aan voidaan ohjelmoida omia makroja ja se tukee muun muassa C++- ja VBA-ohjelmointikieliä. Kuten tiedetään, laivanrakennus perustuu vahvasti sekä luokituslaitosten että eri viranomaistahojen asettamiin sääntöihin. *Knowledgeware*-moduulin työkaluilla nämä säännöt voitaisiin tuoda aktiivisesti ohjaamaan suunnittelua. Voitaisiin esimerkiksi luoda sääntöjä, jotka estäisivät käyttäjää luomasta rakenteita, joiden materiaalipaksuus ei täytä luokituslaitosten edellyttämiä minimipaksuuksia. Rakenteiden korroosiolisät voitaisiin määrittää niiden tiettyjen ominaisuuksien, kuten nimen perusteella. Ohjelma voisi myös esimerkiksi estää aukkojen sijoittamisen luokituslaitosten säännöissä kielletyille alueille. Aivan poissuljettu ei ole ajatus siitäkään, että ohjelma voisi automaattisesti lisätä esimerkiksi kahden jäykkääjän kohtisuorassa liitoksessa tarvittavat laipan jatkot tai lisätä oikean kokoiset polviot jäykisteprofiiliin tietojen perusteella.

3DVIA-ohjelmalla erilaisten visualisointien mahdollisuudet ovat lähes rajattomat. CATIA:n FEM-työkalua ollaan myös tuomassa laivanrakennukseen ja sen käytettävyydestä laivamalliin olisi myös hyvä saada jonkinlaista tuntumaa. Yksi CATIA:n mahdollisista kilpailijoista erottava tekijä on juuri sen kokonaisvaltaisuus.

Tällaisen ympäristön rakentamisessa olisi kuitenkin valtava työ. Se ei myöskään kuulu varsinaisesti suunnittelutoimiston ydinosaa alueeseen. Yksi vaihtoehto voisi olla pelkästään ohjelmistokehitykseen keskittyvien työntekijöiden palkkaaminen. Sujuvamman suunnitteluprosessin myötä koituvat kustannukset



voitaisiin uskoakseni kattaa varsin nopeasti. Esimerkiksi erillisen FEM-mallin rakentaminen ja päivittäminen sitoo nykyisellään yhden henkilön koko projektin ajaksi. Jos moninkertaisesta mallinnuksesta päästäisiin eroon, hänen työpanoksensa voitaisiin hyödyntää tehokkaammin mallinnuksen sijaan varsinaisen FEM-analyysin tekemiseen.

Strategisten tavoitteluiden asettelu on viimekädessä yhtiön johdon vastuulla. Mielestäni olisi kuitenkin hyvä pohtia myös erilaisten yhteistyökuvioiden mahdollisuutta. AITAC:in kaltaisilla CATIA-ohjelman räätälöintiin keskittyneillä yrityksillä olisi varmasti paljon annettavaa erityisesti ohjelmointiosaamisen saralla. Tällaisessa yhteistyössä laivanrakentajien rooli olisi lähinnä aivoriihi-tyyppinen ideoiminen ja varsinainen toteutus olisi yhteistyöyrityksen vastuulla.

Vaikka kilpailevia ohjelmia ei olekaan montaa, ainakin kolme varteenotettavaa vaihtoehtoa kuitenkin löytyy. Kyseiset ohjelmat ovat Aveva Marine, Smart Marine ja Nupas-Cadmatic. Niillä kaikilla on jo vakiintunut asema, sekä pitkä kokemus laivanrakennusalasta. Näistä sekä Aveva Marinea, että Cadmaticia käytetään jo nyt Deltamarinilla. Ohjelmistojen kaikkia mahdollisuuksia ei kuitenkaan ole selvitetty. Niitä käytetään vain tietyillä osastoilla, eikä ole tehty kattavaa selvitystä siitä, olisiko niistä kaikkien osastojen yhteiseksi suunnittelutyökaluksi. Mielestäni olisi myös kokonaisedun mukaista käydä vaihtoehdot tarkemmin läpi. Tätä varten voitaisiin vaikkapa nimetä jonkinlainen testaustiimi. He pystyisivät näin ollen parhaiten vertaamaan eri ohjelmia keskenään, ja tekemään objektiivisen arvion niiden ominaisuuksista. Myös ohjelmistotalolta saatavan teknisen tuen tulisi painaa vaakakupissa, sillä uuden ohjelman käyttöönottovaiheessa tarvitaan monipuolista koulutusta. Mielestäni pitäisikin päästä tilanteeseen, jossa eri ohjelmistovalmistajat kilpailisivat keskenään Deltamarinille myytävistä ohjelmistolisensseistä.

## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tällaisenaan CATIA V6 -ohjelma ei sovellu laivan rungon tuottavaan konsepti- ja perussuunnitteluun Deltamarin Oy:ssä. Eriasteisia ongelmia on edelleen liian paljon.

Mallinnuksessa olevat ongelmat voitaisiin kenties kiertää vaihtoehtoisilla mallinnusmenetelmillä. Tämäkään ei tosin ole tuottava ratkaisu, sillä näin toimien mallinnus hidastuu huomattavasti. Kuvien tuottamiseen liittyvät ongelmat kuitenkin viime kädessä pakottavat Deltamarinin lykkäämään ohjelman käyttöönottoa.

Perinteiset 2D-työkuvat ovat edelleen monien Deltamarinin asiakkaiden vaatimus. Tilanne on tässä mielessä vähän erilainen kuin esimerkiksi joillain telakoilla, sillä Deltamarinilla on lukuisia eri asiakkaita, joilla jokaisella on aina hieman erilaiset toiveensa. Mitään kovin radikaalia uudista kuvien sisällössä ja esitystavassa ei suunnittelutoimisto voi tehdä, vaan tietystä perusrakenteesta on pidettävä kiinni. Dassault Sestèmes on edelleen varsin tuore tekijä laivasuunnitteluohjelmistojen markkinoilla. Tästä syystä yhtiön ymmärrys laivanrakennuksen erityispiirteistä on edelleen hieman puutteellinen. Tosin tämä tilanne on nopeasti muuttumassa, sillä yhtiö on vastikään avannut uuden laivarakennusalan tutkimus ja tuotekehitysyksikön Etelä-Korean Daeguun. Kuvien tuottamiseen liittyvät haasteet on yhtiössä epäilemättä jo tunnistettu ja niiden korjaamiseksi tullaan tekemään tarvittavat toimenpiteet.

Deltamarin on asettanut CATIA testaukseen jo tähän mennessä merkittäviä kehityspanoksia. Silti voidaan arvioida, että CATIA V6 -ympäristön saattaminen riittävälle tasolle vaatii vielä kuukausien työn.

Deltamarin jääkin odottamaan ohjelman uusia kehitysversioita ja varaa itselleen mahdollisuuden arvioida ohjelman käytettävyyttä myöhemmin uudelleen. Näillä näkymin realistinen ohjelman käyttöönotto tapahtuu aikaisintaan vuoden 2014 ensimmäisellä neljänneksellä, jos yllä esitetyt puutteet korjataan.

## LÄHTEET

AITAC 2013. CATIA Customizations for Newport News. Viitattu 2.5.2013  
<http://aitac.nl/plm-solutions-and-consultancy/references/NNS-CVN78>.

Aveva 2013a. Software for Marine Engineering and Design. Viitattu 20.5.2013  
[http://www.aveva.com/en/Products\\_and\\_Services/AVEVA\\_for\\_Marine/AVEVA\\_Marine.aspx](http://www.aveva.com/en/Products_and_Services/AVEVA_for_Marine/AVEVA_Marine.aspx).

Aveva 2013b. Wikipedia. Viitattu 20.5.2013  
<http://en.wikipedia.org/wiki/AVEVA#History>.

CATIA 2013. Wikipedia. Viitattu 2.5.2013  
<http://en.wikipedia.org/wiki/CATIA>.

Dassault Systemés 2013. Wikipedia. Viitattu 30.4.2013  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Dassault\\_Systemes](http://en.wikipedia.org/wiki/Dassault_Systemes).

Deltamarin 2013. Deltamarin in depth. Viitattu 29.4.2013  
<http://www.deltamarin.com/company/in-depth/6>.

FORAN System 2013. Wikipedia. Viitattu 20.5.2013  
[http://en.wikipedia.org/wiki/FORAN\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/FORAN_System).

IACS 2013. Publications, Common Structural Rules. Viitattu 6.5.2013  
<http://www.iacs.org.uk/publications/CommonRulePublications.aspx?pageid=4&sectionid=2>.

Intergraph 2013. SmartMarine 3D. Viitattu 20.5.2013  
<http://www.intergraph.com/products/ppm/sm3d/default.aspx>.

Napa 2013. Product & Services. Viitattu 20.5.2013  
<http://www.napa.fi/Products-Services>.

Nupas-Cadmatic 2013. Hull Design and Engineering. Viitattu 20.5.2013  
<http://www.nupas-cadmatic.com/ship-design-modules/hull-design-and-engineering>.

Pilvilaskenta 2013. Wikipedia. Viitattu 23.5.2013  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Pilvipalvelu>.

Räisänen, P. 2000. Laivatekniikka. 2. painos. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino.

3ds 2013a. 3D Design & Engineering Best in Class Software Products. Viitattu 30.4.2013  
<http://www.3ds.com/products/>.

3ds 2013b. Company. Viitattu 30.4.2013  
<http://www.3ds.com/company/>.

3ds 2013c. Products, CATIA. Viitattu 2.5.2013  
<http://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS/CATIA/PDF/CATIAAbd.pdf>.

3ds 2013d. Guangzhou Wenchong Shipyard. Viitattu 2.5.2013  
<http://www.3ds.com/fileadmin/COMPANY/CUSTOMER-STORIES/PDF/Guangzhou-Wenchong-Shipyard-flyer-English-low-res.pdf>.