

# **Luokitusprosessin kehittäminen 3D-mallin avulla**

OCX-formaatti runkosuunnittelussa

Turun Yliopisto  
Kone- ja materiaalitekniikan laitos  
Konetekniikka  
Diplomityö

Laatija:  
Tomi Myllylä

Ohjaajat:  
Turun Yliopisto, Jussi Kantola  
Deltamarin Oy, Toni Salminen

17.6.2022  
Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu

Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

**Diplomityö**  
**Kone- ja materiaalitekniikan laitos, Teknillinen tiedekunta**  
**Turun Yliopisto**

**Oppiaine:** Konetekniikka

**Tekijä:** Tomi Myllylä

**Otsikko:** Luokitusprosessin kehittäminen 3D-mallin avulla

**Ohjaajat:** Jussi Kantola (Turun Yliopisto), Toni Salminen (Deltamarin Oy)

**Sivumäärä:** 57 sivua

**Päivämäärä:** 17.6.2022

Tässä diplomityössä tavoitteena on selvittää rungon luokitusprosessin kehittämistä 3D-mallia hyödyntämällä. 3D-mallin hyödyntäminen luokitusprosessissa on mahdollista käyttämällä tiedonsiirtoon luotua OCX-formaattia, jonka avulla suunniteluohjelmalla muodostettu 3D-malli voidaan siirtää luokittamisessa käytettyihin ohjelmiin. Formaatti on kehitetty erityisesti vastaamaan laivasuunnittelun tarpeisiin ja työssä nostetaan esille myös sen suurimmat eroavaisuudet muhin tiedonsiirrossa yleisesti käytettyihin standardeihin.

Diplomityö oli osa kolmen yrityksen yhteistä kehitysprojektia. Kehitysprojektin tavoitteena oli yhdistää yritysten osaaminen ja testata mallipohjaisen luokitusprosessin toimivuutta. Tärkeä osa työtä oli havaita ja tunnistaa mahdolliset ongelmat, jotka voivat haitata tai estää OCX-tiedonsiirron ja 3D-mallin hyödyntämisen luokitusprosessissa.

Laivojen luokittaminen on keskeinen osa laivasuunnittelua. Mallipohjaisen luokitusprosessin avulla voidaan vähentää laivasta muodostettavien mallien määrää hyödyntämällä yhtä päämallia läpi eri työprosessien. 3D-mallin hyödyntämisellä luokitusprosessissa voidaan vähentää runkosuunnitteluun käytettyjä tunteja. Ajansäästö saavutetaan vähentämällä päällekkäistä mallinnustyötä.

Työn tarkoituksena oli luoda laajempi käsitys laivojen luokittamisesta ja tiedonsiirrosta eri tietokoneohjelmien välillä. Työn tarkoituksena ei ollut luoda uusia toimintatapoja eikä osallistua suoraan formaatin tai ohjelmien kehitystyöhön.

Työssä tarkasteltiin miten Deltamarin voisi hyödyntää OCX-formaattia omassa toiminnassaan. Deltamarin on kiinnostunut kehittämään osaamistaan ja olemaan mukana uuden luomisessa. Tämän vuoksi yritys oli kiinnostunut osallistumaan tähän kehitysprojektiin. Tuloksista kävi ilmi, että mallipohjainen luokitusprosessin hyödyntämien ei ole vielä mahdollista yrityksen toiminnassa. Löydettyjen ongelmien ja esteiden ratkaisemisen jälkeen, formaatin avulla yritys kykenee potentiaalisesti tehostamaan omaa suunnittelutyötään.

Tulevaisuuden tutkimuksissa on mahdollista perehtyä lisää mallin kommentointiin ja sen jakamiseen jatkokäyttäjille. Lisäksi tulevaisuudessa OCX-formaatin testausta tulisi laajentaa muidenkin suunnittelu- ja luokituslaskentaohjelmien väliseen tiedonsiirtoon.

**Avainsanat:** Mallipohjainen suunnittelu, Tiedonsiirto, Laivasuunnittelu, OCX

# Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>7</b>
1.1	Taustaa	7
1.2	Työn tavoitteet	7
1.3	Rajoitukset	8
1.4	Tutkimuksen metodit ja rakenne	9
<b>2</b>	<b>Kirjallisuuskatsaus</b>	<b>11</b>
2.1	Laivan suunnitteluprosessi	11
2.2	Tiedonsiirto eri ohjelmien välillä	14
2.2.1	Mallipohjainen suunnittelu	16
2.2.2	Yleisesti tiedonsiirrossa käytetyt formaatit	17
2.2.3	XML-formaatti	19
2.2.4	OCX-tiedosto	21
2.3	Laivan luokittaminen	23
2.3.1	Historia	24
2.3.2	Tarpeellisuus	25
2.3.3	Perinteinen luokitusprosessi	27
2.3.4	Uusi luokitusprosessi - ”3D model-based class approval”	29
<b>3</b>	<b>Tapaustutkimus – 3D model-based class approval</b>	<b>33</b>
3.1	Laivan keulan mallintamien	34
3.2	OCX-tiedonsiirto	37
3.2.1	Nauticus Hull – luokituslaskenta	40
3.2.2	Mallin luokittaminen, kommentointi ja hyväksyntä	45
<b>4</b>	<b>Tulokset</b>	<b>48</b>
<b>5</b>	<b>Pohdinta</b>	<b>50</b>
<b>6</b>	<b>Yhteenveto</b>	<b>53</b>
	<b>Lähteet</b>	<b>55</b>

## Kuvat

KUVA 1. LAIVAN SUUNNITTELUSPIRAALI (GALE, 2003)	12
KUVA 2. RUNKOSUUNNITTELUN VAIHEET	14
KUVA 3. ESIMERKKI XML:N RAKENTEESTA	19
KUVA 4. OCX-TIEDOSTON RAKENNE (ASTRUP & CABOS, 2017)	22
KUVA 5. LUOKITUSLAITOKSEN ASEMA	26
KUVA 6. RUNGON PERUSSUUNNITTELUN PROSESSI LUOKITUSMATERIAALIN TUOTTAMISEEN	29
KUVA 7. RUNGON PERUSSUUNNITTELUN MALLIPOHJAINEN LUOKITUSPROSESSI	30
KUVA 8. MALLINNETTU KEULALAIVA - AVEVA E3D	36
KUVA 9. KATKELMA OCX-TIEDOSTOSTA	38
KUVA 10. ONGELMAT GEOMETRIAN SIIRTÄMISESSÄ	39
KUVA 11. KEULALAIVA NAUTICUS HULL -LUOKITUSLASKENTA OHJELMASSA	39
KUVA 12. POIKKILEIKKAUS NAUTICUS HULL - ONGELMA GEOMETRIAN LUKEMISESSA	42
KUVA 13. POIKITTAISEN LAIPION LUOKITUSLASKENTA	43
KUVA 14. POIKKILEIKKAUS KEULAIVASTA - NAUTICUS HULL	44
KUVA 15. 3D-APPROVAL PROSESSI (DNV, 2022)	46

## Kaavat

KAAVA 1. DNV:N MINIMIPAKSUUDEN LASKUKAAVA (DNV, G. L, 2017)	22
---	----

## Käytetyt lyhenteet ja sanasto

CAD	”Computer-aided Design” Tietokoneavusteinen suunnittelu
CIM	” Computer-integrated Manufacturing” Tietokoneintegroitu tuotanto
CAE	” Computer-aided Engineering” Tietokoneavusteinen tekniikka
DNV	” Det Norske Veritas” Norjalainen luokituslaitos
FEM	” Finite Element Method” Elementtimenetelmä
MBD	” Model Based Definition” Mallipohjainen määrittäminen
OCX	”Open Class 3D Exchange” Tiedonsiirtoon suunniteltu avoimen lähdekoodin formaatti
PLM	” Product Lifecycle Management” Tuotteen elinkaaren hallinta
RoRo	”Roll on Roll off” Laivatyyppi pyörillä liikkuvan rahdin kuljettamiseen
XML	” Extensible Markup Language” Standardoitu merkintäkieli

# 1 Johdanto

## 1.1 Taustaa

Laivan rakentaminen on monimutkainen ja laaja prosessi, joka pitää sisällään useita eri osavaiheita. Yksi keskeinen osa-alue laivan rakentamisesta on laivan luokittaminen. Laivan suunnittelussa on jo pitkään ollut yleistä hyödyntää 3D-malleja suunnittelun apuna, mutta laivan luokittaminen on perustunut pitkään 2D-piirustusten lähettämiseen luokituslaitoksille.

Ongelmallista 2D-piirustusten lähettämisessä on ollut se, että laivasta joudutaan tekemään useita malleja eri suunnitteluohjelmilla. Tämä on johtanut siihen, että samaa työtä joudutaan tekemään useaan otteeseen, kun eri malleja on yhtenäistettävä. Lisäksi tämä johtaa siihen, että luokituksessa käytettävä piirustus on irrallaan laivan 3D-mallista. Tämän ongelman ratkaisemiseksi on kehitetty uutta tiedostomuotoa, joka mahdollistaa tiedonsiirron suunnitteluohjelmien ja laivan luokituksissa käytettyjen ohjelmistojen välillä. Työ on tehty toimeksiantona Deltamarin Oy:lle ja referenssiprojektina toimii Kiinassa rakennettava RoRo-alus.

Deltamarin Group on vuonna 1990 Suomessa perustettu meriteknisen alan suunnittelun, konsultoinnin ja rakentamisen tukipalveluita tarjoava yritys. Deltamarin Group muodostuu kolmesta osastosta ja yhdestä yhteisyrityksestä: Deltamarin Oy (Suomi), Deltamarin Sp.z.o.o. (Puola), Deltamarin Co. Ltd (Kiina) ja yhteisyritys Brodoplan d.o.o (Kroatia). Yrityksen pääkonttori sijaitsee Turussa ja muut toimipisteet sijaitsevat Helsingissä, Raumalla, Gdanskissa ja Shanghaissa. Deltamarin Group työllistää tällä hetkellä noin 400 työntekijää eri puolilla Eurooppaa sekä Aasiassa. Deltamarinin emoyhtiö on kiinalainen China Merchants Groupiin kuuluva Wing Hing Ship Investment Ltd 79.57 %:n omistusosuudella talvesta 2019 lähtien. Osakekannasta 20.43 % on pidetty yhtiön työntekijöiden omistuksessa. Janne Uotila on toiminut Deltamarinin toimitusjohtajana vuodesta 2017 lähtien. (Deltamarin intranet, 2022)

## 1.2 Työn tavoitteet

Laivanrakennus on siirtynyt yhä enemmän mallipohjaiseen suunnitteluun. Tämä on johtanut siihen, että laivan luokituksessa käytettyjen 2D-piirustusten käyttö on kannustanut telakoita ja suunnittelusta vastaavia osapuolia käyttämään useita suunnitteluohjelmia tehostaakseen omaa

toimintaansa. Useiden suunnitteluohjelmien välinen tiedonsiirto ei kuitenkaan ole sillä tasolla, jolla täydellinen malli saataisiin siirrettyä eri ohjelmien välillä. Näin ollen samassa suunnitteluprojektissa on usein käytössä useita eri malleja eri suunnitteluohjelmissa. Tämän johdosta on suunniteltu ja kehitetty tehokkaampia tapoja mallien siirtämiseen eri suunnitteluohjelmien välillä. Tässä tutkimuksessa keskitytään yhteen potentiaaliseen tapaan, jolla tiedonsiirron ongelmat voidaan ratkaista. OCX-formaatti on DNV:n kehittämä avoimen lähdekoodin standardi, joka on erityisesti suunniteltu vastaamaan laivanrakennuksen tarpeisiin. Tämän työn tutkimuskysymykset ovat seuraavat.

1. Miten runkosuunnittelua voidaan kehittää OCX-formaatin avulla?
2. Mitä eroa OCX-formaatilla on muihin tiedonsiirrossa yleisesti käytettyihin formaatteihin?

Työn tavoitteena on tutkia, kuinka runkosuunnittelua voidaan kehittää OCX-formaatin avulla. Samalla on tarkoitus tarkastella OCX-formaatin eroavaisuuksia muihin yleisesti tiedonsiirrossa käytettäviin standardeihin ja tutkia, voiko Deltamarin hyödyntää kyseistä formaattia omassa suunnittelutyössään. Runkosuunnittelussa saman mallin hyödyntämien niin luokitusprosessissa kuin rungon detail- ja basic-suunnittelussa vähentäisi mallintamiseen kuluvaa aikaa ja näin ollen mahdollisesti tehostaisi yrityksen toimintaa. Tavoitteena on myös tunnistaa mahdollisia ongelmia formaatin hyödyntämisessä.

### **1.3 Rajoitukset**

Työ rajoittuu tutkimaan luokitusprosessia runkosuunnittelun näkökulmasta. Luokitusprosessi pitää sisällään myös muiden disipliinien dokumentaatioiden hyväksymistä, mutta niitä ei oteta huomioon tässä työssä. Työssä tarkastelun ulkopuolelle jää myös FEM-laskennan osuus rungon suunnitteluprosessista. Tulevaisuudessa OCX-formaatin avulla mallia voidaan hyödyntää myös FEM-laskennassa. Tämä mahdollistaa ajansäästön myös FEM-laskennassa, kun samaa mallia ja sen sisältämää geometriaa voidaan hyödyntää myös FEM-mallin luomisessa. OCX-formaatin käyttö FEM-laskennassa on jätetty tästä tutkimuksesta sivuun sen laajuuden ja ohjelmistojen kehitysasteiden johdosta.

Työssä käytetään AVEVA:n tarjoamaa E3D suunnitteluohjelmaa, jolla luodaan 3D-malli, josta saadaan muodostettua OCX-tiedosto ja tämä tiedosto siirretään DNV:n Nauticus Hull -

luokituslaskentaohjelmaan tarkastettavaksi. Samaa mallia on myös tarkoitus hyödyntää luokituslaitoksen hyväksynnän hakemisessa. Tiedostomuoto on avoimeen lähdekoodiin perustuva, joten sen hyödyntäminen on mahdollista myös muiden suunnitteluohjelmien ja luokituslaitosten kanssa. AVEVA ja DNV valikoituivat työssä käytettävien ohjelmien tarjoajiksi työn toimeksiantajan toiveesta.

#### **1.4 Tutkimuksen metodit ja rakenne**

Tutkimus on laadullinen katsaus luokitusprosessin kehittämiseen. Laivan runkosuunnittelussa mallipohjainen luokitusprosessi on uusi aihealue ja sen hyötyjä ja käyttöä on tutkittu vasta vähän. Tässä tutkimuksessa aihepiirin kirjallisuus on keskeisessä roolissa ja sen avulla tutkimuksessa luodaan laajempi ymmärrys mallipohjaisen luokitusprosessin hyödyistä ja hyödyntämisestä. Työssä käytettävässä aineistossa keskitytään esisijaisesti tutkimusten laatuun eikä niinkään määrään. Aineisto koostuu sekä aihepiirin julkaisuista että luokituslaitosten ja ohjelmistotarjoajien tuottamista materiaaleista. Lisäksi työssä keskeisessä roolissa ovat asiantuntijahaastattelut ja tapaustutkimuksen aikana esiin nousseet omat havainnot aiheesta.

Mallipohjaisesta luokitusprosessista on entuudestaan suoritettu muutamia kokeiluja, mutta prosessin kehitysasteen johdosta se ei ole vielä kaupallisissa projekteissa saavuttanut laajamittaista käyttöä. Tässä työssä suoritetaan tapaustutkimus aiheesta, missä mallipohjaisen luokitusprosessin mahdollistavaa OCX-formaattia käytetään sekä RoRo-laivan keulalaivan luokituslaskentaan että luokittamiseen vaadittavan materiaalin tuottamiseen. Tapaustutkimus valikoitui työssä käytettäväksi metodiksi, koska työssä tutustutaan ja tutkitaan laajaa kokonaisuutta ja kuvataan mallipohjaisen luokittamisen vaiheita. Työn tarkoituksena on selvittää OCX-formaatin hyödyllisyyttä toimeksiantajan toiminnassa, löytää mahdollisia ongelmakohtia ja avata uusia kysymyksiä tulevaisuuden tutkimuksille.

Tutkimuksen ensimmäisessä luvussa esitellään tutkimuksen tavoitteet ja rajoitukset. Sen lisäksi ensimmäisessä luvussa avataan tutkimuksen motiivit. Toisessa luvussa tehdään yleinen katsaus tutkimuksen aihepiirin kirjallisuuteen ja avataan tutkimuksen keskisiä käsitteitä ja aihealueita. Kolmannessa luvussa suoritetaan tapaustutkimus, jossa mallipohjaista luokitusprosessia käytetään RoRo-laivan keulalaivan luokittamiseen. Neljännessä luvussa käsitellään tapaustutkimuksessa saavutettuja tuloksia ja niiden yhteneväisyyttä ennakko-

odotuksiin. Viidennessä luvussa pohditaan tapaustutkimuksessa ilmi käyneiden ongelmien syitä ja esitellään niiden pohjalta mahdollisia tulevaisuuden tutkimusten kohteita.

## 2 Kirjallisuuskatsaus

Laivan suunnittelu ja luokittaminen on laaja kokonaisuus, jonka hahmottamien voi olla epäselvää. Tässä luvussa avataan aihepiirin kannalta keskeiset käsitteet ja tutustutaan niiden historiaan. Samalla on luvussa on tarkoitus kevyesti pohtia ja tarkastella aihepiirin tulevaisuuden mahdollisuuksia. Mallipohjaisen luokitusprosessin ja OCX-formaatin hyötyjen ymmärtämiseksi lukijan tulee ymmärtää laivan suunnittelun ja luokittamisen perusteet. Luvussa tutustutaan ja käsitellään laivojen suunnittelun, luokittamisen ja tiedonsiirron keskeisimpiä osa-alueita.

### 2.1 Laivan suunnitteluprosessi

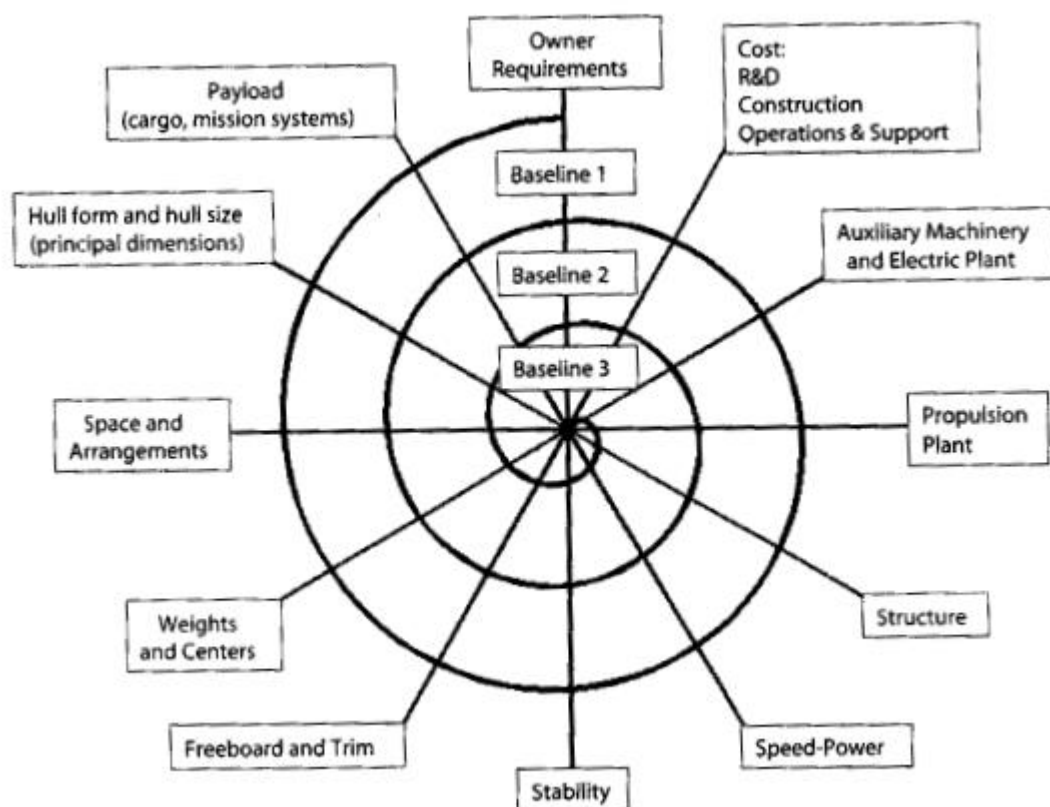
Laivat ovat läpi historian olleet keskeisessä roolissa kuljetuksessa ja kaupankäynnissä. Nykypäinä valtaosa kansainvälisestä kaupasta kuljetetaan laivojen avulla. Kuljetustarpeen kasvu globaalissa ympäristössä on yhdessä energiatehokkuuden kanssa vaatinut laivoilta lisää lastikapasiteettia. Kysyntä suuremmille laivoille on tehnyt laivoista yhä monimutkaisempia kokonaisuuksia, mikä on ajanut alan toimijoita kehittämään omaa toimintaansa. (Hughes, 2010)

Laivan rakentaminen on laaja ja monimutkainen prosessi, joka pitää sisällään useita osa-alueita. Yleisesti laivansuunnittelu on jaettu yleis-, runko-, varustelu-, sähkö-, sisustus-, ja koneistosuunnitteluun. Viimeisempänä osa-alueena mukaan on myös tullut SRTP (Safe Return To Port) -aineiston suunnittelu. Laivan suunnitteluprosessin tunteminen on keskeinen osa laivanrakennusta.

Laivan suunnittelu on iteratiivinen prosessi, joka alkaa karkeilla arvauksilla, mikäli laivasta ei ole olemassa olevaa sisarlaivaa (Kuva 1). Laivalle asetetut vaatimukset niin tilaajan kuin sääntöjen puolesta asettavat rajaehdot parametreille laivan suunnittelutyössä. Laivan suunnitteluprosessi pitää sisällään laajan kirjon erilaisia suunnittelun osa-alueita.

Ensimmäisen suunnittelukierroksen jälkeen osa-alueet voivat olla hyvinkin epätasapainossa tai jopa mahdottomia toteuttaa. Seuraavilla suunnittelukierroksilla tarkentuneiden arvojen perusteilla tehdään muutoksia suunnitteluun. Suunnittelukierroksia jatketaan kunnes lopputulos saavuttaa hyväksyttävän tason. (Gale, 2003)

Iteratiivinen suunnittelutyö on päätöksentekoprosessi, ja jokainen tehty päätös vaikuttaa seuraaviin päätöksiin. Tätä voidaan myös pitää iteratiivisen prosessin heikkoutena. Seuraavat vaiheet ovat aina kytkettyjä edellisiin, joten suurten muutosten tekeminen kesken työn voi olla erittäin hankalaa. Iteratiivista prosessia puoltaa sen sijaan mahdollisuus aloittaa työt ilman täydellisiä lähtötietoja. Suunnittelutyö voidaan näin ollen aloittaa aikaisessa vaiheessa ja täten se lyhentää projektin läpimenoaikaa. Iteratiivinen prosessi antaa mahdollisuuden tarkentaa lähtötietoja prosessin kulkiessa eteenpäin ja tästä syystä johtuen sen sopivuus korkean kompleksisuuden ja suuren riskin projekteille on hyvä. (Gale, 2003)



Kuva 1. Laivan suunnitteluspiraali (Gale, 2003)

Laivan suunnittelua on pidetty pitkään enemmän taiteena kuin tieteenä. Päätökset suunnittelutyössä ovat perustuneet kokemukseen ja virheistä opittuihin tietoihin ja kehitystyö on tapahtunut tällöin pitkän aikavälin tähtäimellä. Luokituslaitokset ovat olleet tässä hyvin keskeisessä roolissa asettamalla minimivaatimuksia laivan rakenteiden ominaisuuksille. Näiden minivaatimusten perusteella laivan rakenteet ja systeemit ovat valikoituneet. Tietokoneiden ja niiden myötä ohjelmistojen nopea kehitys on mahdollistanut uuden lähestymistavan laivan suunnitteluun. (Hughes, 2010)

Tietokoneet ja suunnitteluohjelmistot ovat mahdollistaneet holistisen lähestymisen laivan suunnittelutyöhön, heuristisen sijaan. Heuristiset menetot ovat ongelmanratkaisumenetelmiä, joita ovat esim. erilaiset nyrkkisäännöt ja kokemukseen perustuvat päätökset. Holistiset menetot sen sijaan nojaavat kokonaisvaltaiseen suunnitteluun. Holistisessa lähestymistavassa laivan ominaisuuksien optimointi tapahtuu asettamalla laivalle joukon kriteerejä sen sijaan, että valittaisiin ratkaisu mahdollisista vaihtoehdoista. Asetettujen kriteerien perusteella tietokoneohjelma kykenee laskemaan ja optimoimaan parhaimman mahdollisen ratkaisun perustuen annettuihin parametreihin. (Papanikolaou, 2010)

Tässä työssä keskitytään runkosuunnitteluun, erityisesti rungon luokittamiseen vaadittavan materiaalin tarkasteluun. Runkosuunnittelu on tärkeä osa laivan suunnittelua. Laivan rungon osuus koko laivan kustannuksista on yleisesti noin 20 %. Osuuden suuruus riippuu hyvin pitkälle laivatyyppistä. Joka tapauksessa rungon suunnittelu ja valmistus muodostaa merkittävän osan laivan kokonaiskustannuksista. Runkosuunnittelun tehostamisella ja kehittämisellä voidaan saavuttaa säästöjä niin suunnitteluvaiheessa kuin laivan elinkaaren aikana. Laivan teräsrakenteiden optimoinnilla ollaan pystytty vastaamaan standardirakenteita paremmin laivan käyttötarkoituksen asettamiin vaatimuksiin. Lisäksi teräsrakenteiden ei välttämätön massa on pois laivan lastikapasiteetista, joka vaikuttaa laivan elinkaaren aikana muodostuviin kustannuksiin. (Okumoto, Takeda, Mano & Okada, 2009)

Laivansuunnitteluprosessi voidaan yleisesti jakaa konsepti-, perus-, detail-, ja valmistussuunnitteluun (Kuva 2). Jokainen näistä vaiheista on oma prosessinsa, johon sisältyy omat työvaiheet ja merkkipaalat. Runkosuunnittelu noudattaa näitä samoja vaiheita. Työssä keskitytään tarkastelemaan ainoastaan perussuunnitteluvaihetta, sillä laivan luokittaminen sisältyy kyseiseen vaiheeseen. Rungon perussuunnittelu sisältää runkorakenteiden sijainnin (location), välityksen (spacing), ainevahvuudet (scantlings) ja yleisesti tärkeimmät päärakenteet. Rungon detail-suunnitteluun taas pääsääntöisesti sisältyy osien tarkka geometria, paikallisten rakenteiden ainevahvuudet, viisteet, vahvistukset, läpiviennit, lovet, nestaus (osien sijoittamien raakalevyille), tuotannonohjaus, hitsaustiedot ja tuotannon vaatimat kompensatiot (kutistumien huomioiminen, sekä ylimittojen määrittäminen). (Hughes, 2010)

Laivan rungon luokituslaskenta tehdään usein hyvin varhaisessa vaiheessa projektia. Rungon luokitusprosessi suoritetaan usein perussuunnitteluvaiheessa, jolloin suunnittelutyö aloitetaan luomalla keskilaivasta poikkileikkaus. Poikkileikkauksessa näytetään laivan päärakenteet ja scantlingit (ainevahvuudet). Näiden perusteella voidaan jo aloittaa laivan luokituslaskentaa.



Kuva 2. Runkosuunnittelun vaiheet

Rungon suunnitteluprosessin edetessä suunnitteluohjelmat voivat vaihtua eri vaiheiden välillä. Suunnitteluohjelmien soveltuvuus eri työvaiheisiin vaihtelee ja yksi ohjelma ei välttämättä kykene vastaamaan koko suunnitteluprosessin tarpeisiin. Näin ollen voi olla tehokasta käyttää projektissa useaa suunnitteluohjelmaa. Tiedonsiirtoon ohjelmien välillä on kehitetty standardeja mahdollistamaan työn siirtämisen eri ohjelma-alustalta toiselle, tehostamaan prosessia ja pienentämään virheiden mahdollisuutta. Huomioitavaa on, että mallien siirtäminen joko manuaalisesti tai standardeja hyödyntäen kasvattaa aina inhimilliseen virheen mahdollisuutta. (Astrup & Cabos, 2017)

## 2.2 Tiedonsiirto eri ohjelmien välillä

Tiedonsiirrolla (Data transfer) tarkoitetaan yksinkertaisesti menetelmää, jolla luotua dataa siirretään eri tietokoneohjelmien välillä. Tietokoneavusteinen suunnittelu (CAD) on tuonut mukanaan tarpeen siirtää ja käsitellä luotua mallia eri suunnitteluohjelmien välillä.

Tietokonepohjaisen suunnittelun lisäksi tietokonepohjainen valmistus (CIM) ja tuotteen elinkaaren hallinta (PLM) ovat entisestään lisänneet tarvetta digitaaliselle mallille tuotteesta läpi sen elinkaaren. Usein ohjelmistojen toimittajat erikoistuvat tuotteensa kanssa vastaamaan johonkin tiettyyn osa-alueen tarpeeseen. Tämä erilleen kehittyminen on johtanut siihen, että

useimmissa tapauksissa eri suunnitteluohjelmat välittävät huonosti tietoa toistensa kanssa. (Salonen & Sääsäski, 2005)

Jotta voidaan ymmärtää, miksi tiedonsiirto eri suunnitteluohjelmien välillä ei ole saumatonta, täytyy ensin ymmärtää, mistä malli koostuu. Malli voi olla joko kuvaava tai laskennallinen esitys objektista. Laskennallisuudella tarkoitetaan, että malliin on sisällytetty informaatio koneella luettavaan muotoon. Kuvaavat mallit ovat sen sijaan tarkoitettu ihmisten käytettäväksi ja ne keskittyvät mallin visuaaliseen presentaatioon ennemmin kuin mallin toiminnallisuuden kuvaamiseen. Suunnittelutyössä malliin sisällytetään objektin funktion, muodon ja määritelmän kannalta oleelliset tiedot. Lisättävien tietojen laajuus riippuu hyvin pitkälle mallin käyttötarkoituksesta. (Astrup & Cabos, 2017)

Perinteinen 2D-piirustus on pitkään ollut vakinaistunut tapa näyttää mallin tiedot universaalisti ymmärrettävässä muodossa. 3D-mallin laajamittainen käyttäminen suunnittelutyössä on tuonut mahdollisuuden lisätä malliin informaatiota. Kuten edellä mainittuna, eri ohjelmien erikoistuminen tiettyihin suunnittelun tarpeisiin on edellyttänyt ohjelmilta jonkin asteista yhteensopivuutta. Yhden mallin hyödyntäminen useisiin tarkoituksiin mahdollistaa suunnittelu- ja valmistusmenetelmien automatisoinnin. Automatisoinnilla voidaan saavuttaa huomattavia ajallisia ja rahallisia säästöjä. Säästöt voidaan saavuttaa pienentämällä päällekkäisen työn määrää, tiedonsiirrossa tapahtuvien virheiden määrää, ja tehostamalla tallennustilan käyttöä. (Frechette, Jones & Fischer, 2013)

Tiedon siirtämiseen liittyvät ongelmat ovat olleet jo pitkään tiedossa. Suurimmat ongelmat ovat liittyneet mallin tarkkuuteen. Siirron aikana mallin eheyden ja riittävän tarkkuuden säilyttäminen on tuottanut ongelmia. Tiedonsiirrossa käytetyt algoritmit, jotka tunnistavat ja säilyttävät mallin ominaisuudet, hierarkian, pinta-alan ja tilavuuden yms. ovat olleet haastavia muodostaa. Täten täydellisen ja ”puhtaan” mallin siirtäminen on ollut haasteellista. (Butlin & Stops, 1996)

Perussuunnittelu, luokituspiirustukset, luokituslaskenta ja valmistussuunnittelu ovat erillisiä prosesseja, joiden välillä tieto ei välttämättä siirry automaattisesti. Tiedonsiirto eri suunnitteluohjelmien välillä mahdollistaa saman mallin käytön niin perussuunnittelussa, valmistussuunnittelussa, kuin luokitusprosessissa. Tämä yhteen malliin perustuva suunnittelutapa mahdollistaa tehokkaamman ja aikaa säästävän luokituslaskennan sekä FE-laskennan. Ajansäästö saavutetaan, kun mallin geometriaa ei tarvitsisi luoda tyhjästä vaan mallin geometriaa ja osien määrittämiä voitaisiin käyttää molemmissa suunnitteluohjelmissa

hyödyksi. Tässä työssä keskitytään tarkastelemaan tiedonsiirtoa runkosuunnittelussa käytettyjen mallinnusohjelman ja luokituslaitoksen luokituslaskentaan tarkoitetun ohjelman välillä.

### 2.2.1 Mallipohjainen suunnittelu

Tekniset piirustukset ovat olleet keskeisessä roolissa ihmiskunnan toiminnassa ajanlaskun alusta alkaen. Tyypillisesti paperille tehdyt 2D-kuvaukset objekteista ovat toimineet universaalina kommunikointivälineenä. Suunnittelutyössä yleistyneet 3D-mallit ovat mahdollistaneet uusien toimintatapojen muodostumisen. Kehityksen mukana on tullut mahdollisuus lisätä 3D-malleihin myös tarkkoja mittoja. Geometrinen mittojen ja toleranssien lisääminen malliin on mahdollistanut mallipohjaisen suunnittelun syntymisen.

Mallipohjaisessa määrittelyssä data sisältää 3D-geometrian ja 3D-mitat muodostaen näin kokonaisvaltaisen määritelmän suunniteltavalle tuotteelle. Mallipohjaisen suunnittelun uskotaan olevan seuraava kehitysaskel matkalla irti 2D-kuvista. Mallipohjaisella suunnittelulla voidaan saavuttaa säästöjä tehostamalla suunnitteluvaiheen ajankäyttöä. (Quintana, Rivest, Pellerin, Venne & Kheddouci, 2010)

Malli voi olla abstrakti tai tarkka kuvaus systeemistä. Suunnittelutyössä mallia käytetään usein joko kuvaamaan systeemiä tai laskennalliseen tarkoitukseen. Mallipohjaisessa suunnittelussa sekä mallin laskennallisuus, että kuvaavuus integroidaan yhteen malliin. Jotta mallipohjainen suunnittelu olisi toteutettavissa, täytyy suunnitteluympäristön tarjota työkalut tähän. Lisäksi mallin siirto eri ohjelmien välillä tulisi olla sujuvaa. Laivanrakentamisessa mallipohjaiseen suunnitteluun on panostettu, mutta johtuen alakohtaisten standardien puutteesta se on jäänyt hyvinkin sirpaleiseksi kokonaisuudeksi. Suunnitteluprojektit ovat usein valtavia ja niiden toteuttamiseen tarvitaan useita eri suunnitteluohjelmia vastaamaan suunnittelijoiden tarpeisiin. Eri suunnitteluohjelmien tuottamien materiaalien ja mallien yhdistämien on ollut haastavaa ilman sopivia alakohtaisia standardeja. (Astrup & Cabos, 2017)

Teknisiä piirustuksia on käytetty informaation siirtämiseen erityisesti jatkokäyttäjille (Downstream users). Tyypillisiä jatkokäyttäjiä laivaprojekteissa ovat usein alihankkijat, laitevalmistajat ja itse laivan tilaaja. Tiedonsiirto yleisesti on tehty, koska jatkokäyttäjät tarvitsevat informaatiota oman työnsä tueksi. Huomioitavaa on, että mallista irrotettujen

teknisten piirustusten avulla on ollut mahdollista säädellä jatkokäyttäjille jaettavan informaation määrää. Mallipohjaiseen suunnitteluun soveltuvien suunnitteluohjelmistojen lisäksi olisi hyvä olla jatkokäyttäjille suunnattu kevyempi katseluohjelma. Katseluohjelmalla mahdollistetaan mallin jakaminen jatkokäyttäjille, vaikka heillä ei olisi pääsyä ohjelmaan, jolla malli on suunniteltu. (Quintana ym, 2010)

Standardien muodostaminen ja kehittäminen on tärkeässä roolissa mallipohjaisen määrittelyn kannalta. Standardien avulla voidaan siirtää mallia eri suunnitteluohjelmien ja sidosryhmien välillä. Kuten mainittua, yksi suunnitteluohjelma ei useimmissa tapauksissa pysty vastaamaan suunnittelun tarpeisiin. Sopimalla kansainvälisistä standardeista ja tarjoamalla mallille ohjelmistotuen läpi sen elinkaaren, voitaisiin mahdollistaa mallipohjaisen suunnittelun laajamittainen käyttö. (Astrup & Cabos, 2017)

Astrup ja Quintana molemmat tutkimuksissaan nostavat esiin ilmailu- ja autoteollisuuden olleen pitkään kiinnostunut mallipohjaisesta suunnittelusta ja sen hyödyntämisestä niiden liiketoiminnassa. Astrup ja DNV ovat alkaneet kehittämään mallipohjaisen suunnittelun hyödyntämistä myös laivateollisuudessa ja tämän perusteella DNV on kehittänyt formaattia, joka voisi vastata laivateollisuuden asettamiin tarpeisiin mallipohjaisessa suunnittelussa. Tämä kyseinen formaatti on kehitetty eritoten vastaamaan laivan mallipohjaisen luokittamisen asettamiin vaatimuksiin.

## 2.2.2 Yleisesti tiedonsiirrossa käytetyt formaatit

Mallipohjainen suunnittelu ja tiedonsiirto eri suunnitteluohjelmien välillä on ollut pinnalla ja tiedossa jo useita vuosia. Tiedonsiirtoon eri suunnitteluohjelmien välille on kehitelty standardeja jo useiden vuosikymmenien ajan. Standardit yksinkertaisuudessaan ovat instituutioiden kehittämiä kuvaksia ja määritelmiä, joilla voidaan määrittää, miten jokin asia tai tuote tulisi valmistaa. Standardoidut tiedonsiirtoon kehitetyt formaatit ovat mahdollistaneet prosessien tehostamisen ja paremman yhteensopivuuden ohjelmistojen välillä. Standardit ovat kehittyneet yhdessä tietokoneiden kanssa ja uudet ja päivitetty standardit ovat korvanneet vanhempia. Osa vanhemman luokan standardien tuesta ja päivityksistä on päättynyt jo ennen 2000-luvun alkua (Marjudi ym., 2010).

IGES (Initial Graphics Exchange Specification) on yksi laivateollisuudessa jo pitkään tiedonsiirtoon käytetyistä formaateista. Formaatin historia ylettyy 70-luvun puoleen väliin asti

ja sen käyttö yleistyi 1980-luvulla. IGES on edelleen käytössä, mutta se on alkanut jäämään jälkeen modernin suunnittelun tarpeista. Formaatti sai viimeisen päivityksen vuonna 1996 ja sen jälkeen sen kehitys on pysähtynyt. Yksi suurimmista ongelmista sen käytössä on ollut formaatin puutteellisuus näyttää syvyysgeometriaa. Näin ollen formaattiin ei voida säilyttää esimerkiksi kappaleiden massa- tai tilavuustietoja. Vaikka formaatti on laajassa käytössä edelleen, on se jäämässä kilpailusta modernimpia formaatteja vastaan. (Rander Manufacturing, 2019)

IGES-formaatin heikkouksia ovat myös informaatiomallien puuttuminen. Informaatiomallien puuttuminen tekee tiedoston muokkaamisesta ja manipuloinnista vaikeaa. Virheiden tunnistaminen ja korjaaminen on myös IGES-formaatissa haastavaa. IGES-formaatin puutteellinen tuki informaation sisällyttämiseen malliin heikentää mahdollisuutta käyttää sitä muissa käyttökohteissa kuin suunnittelussa. Puuttuva tuki tuotteen elinkaaren informaatiolle tiedostossa erityisesti hankaloittaa sen käyttöä nykypäivän suunnittelutyössä ja tiedonsiirrossa. (Marjudi ym., 2010).

Toinen kansainvälisesti yleisesti tiedonsiirtoon käytetty formaatti on STEP (Standard for the Exchange of Product Data). STEP-formaatti on ISO-standardeihin (International Organization for Standardization) kuuluva tiedonsiirtoformaatti. Se on suunniteltu integroimaan CAD, CAM ja CIM käyttämät tietojärjestelmät yhteen. STEP-formaatti on laajaa ja se jakautuu eri alakohtaisille ratkaisuille, joita kutsutaan sovellusprotokolliksi. Nämä sovellusprotokollat voivat sisältää geometriatietojen lisäksi toimialalle tyypillisiä toiminnallisia ominaisuuksia. Formaatin hyödyntäminen on keskittynyt USA:n ja EU:n auto- ja ilmailuteollisuuteen. (Salonen & Sääski, 2005)

Osa STEP-formaatin sovellusprotokollista pystyy vastaamaan mallipohjaisen suunnittelun asettamiin tarpeisiin. Laivan luokitusprosessin kompleksisuuden ja yksilöllisyyden johdosta olemassa olevat formaatit eivät pysty kuitenkaan vastaamaan täydellisesti prosessin tarpeisiin. Formaateilla voidaan esittää joko tarkka tai approksimoitu geometria laivasta, mutta geometrian topologian esittämissä olemassa olevilla standardilla ilmenee ongelmia. Laivateollisuudesta on puuttunut standardi, joka olisi riittävän kevyt ja kykenevä esittämään laivan ominaisuudet riittävällä tasolla. Tämän johdosta on muodostunut tarve formaatille, joka pystyy vastaamaan laivan suunnittelun, etenkin laivan luokitusprosessin vaatimuksiin. Tämän johdosta DNV on lähtenyt kehittämään XML pohjaista formaattia, joka soveltuisi erityisesti laivanrakennukseen. (Astrup & Cabos, 2017)

IGES- ja STEP-formaattien lisäksi on monia muita tiedonsiirtoon tarkoitettuja formaatteja. Nämä kaksi formaattia ovat yleisesti laivateollisuudessa ja runkosuunnittelussa käytössä ja ne myös edustavat hyvin muidenkin formaattien rajoituksia. Tämän takia ne valikoituivat tässä luvussa käsiteltäviksi formaateiksi.

### 2.2.3 XML-formaatti

XML on yksinkertainen ja helposti muunnateltavissa oleva merkintäkielien standardi. Lyhenne XML tulee sanoista *Extensible Markup Language*. Se suunniteltiin lähtökohtaisesti tiedon tallentamiseen ja siirtämiseen. Se pohjautuu vanhempaan *Standard Generalized Markup Language*en (SGML) -formaattiin. XML-formaatti on tekstipohjainen ja se on tarkoitettu jäsennellyn informaation esittämiseen. (W3C, 2022)

XML ei ole ohjelmointikieli, vaikka sitä saatetaan sellaiseksikin luulla. Formaatti sopii erityisen hyvin tietojen hakemiseen ja niiden vertailuun. Nimensä mukaisesti XML on laajennettavissa ja käyttäjä voi luoda helposti omat tagit eli tunnisteet. Näiden tunnisteiden alle voidaan säilöä dataa ja erottaa informaatio sen esitysmuodosta. (Heikniemi, 2001)

Rakenteensa johdosta XML-formaatti sopii erityisen hyvin tiedonsiirtoon eri suunnitteluohjelmien välillä. Käyttäjän mahdollisuus valita tiedostoon sisältyvät tiedot, mahdollistaa mallin jakamisen sen jatkokäyttäjille siten, että vain tarvittava määrä informaatiota siirtyy. Kuvassa 3 on yksinkertainen esimerkki XML-kielestä ja sen rakenteesta. Rakenteeltaan merkkauskieli perustuu vahvasti ”parent” ja ”child” -elementtien käyttöön. Nämä elementit ovat hierarkkisesti jäseneltyjä, ja käyttäjä voi lisätä vapaasti tunnisteita tarpeen mukaan.

```
1  <?xml version="1.0"?>
2  <TESTFILE>
3      <NAME>Example</NAME>
4      <STUDENT>Tomi Myllyla</STUDENT>
5      <START_YEAR>2020</START_YEAR>
6      <DEGREE_PROGRAM>Degree Programme in Mechanical Engineering</DEGREE_PROGRAM>
7      <SPECIALISATIONS>Smart Systems</SPECIALISATIONS>
8      <OFFICE>UTU</OFFICE>
9      <LICENSE>id0123456789</LICENSE>
10 </TESTFILE>
```

Kuva 3. Esimerkki XML:n rakenteesta

Tiedoston käsittely on mahdollista myös sen luonnin jälkeen. Käyttäjän on mahdollista muodostaa tiedoston käsittelyyn suunniteltuja malleja. Termillä *malli* tarkoitetaan tässä tapauksessa ainoastaan XML-datatiedostoa. Mallien avulla voidaan määrittää hyväksyttäviä tunnisteita ja sääntöjä, joita XML-tiedosto voi sisältää. Esimerkiksi säännöiksi voidaan määrittää ”string”, ”positiveInteger”, ”date”, ”time” tai ”boolean”. Käyttäjä voi koodata mallin itse tiedostoon tai käyttää siihen soveltuvia ohjelmia. Mallin avulla tietorakenteiden hallinta on helpompaa ja käyttäjän on myös helpompaa tunnistaa virheet tiedostosta, koska tiedoston kirjoittaminen tai lukeminen loppuu koneen kohdatessa virheen. Tämän johdosta samaa tietokantaa voidaan käyttää tehokkaasti eri tarpeisiin rajaamalla ja muotoilemalla siitä haettavat tiedot. Tiedonsiirtoon formaatti soveltuu erityisen hyvin johtuen sen muunneltavuudesta ja suhteellisen yksinkertaisista merkinnöistä. XML-kielessä data on varastoitu binäärimuodon sijasta tekstimuotoon, jolloin tiedoston lukeminen ja virheiden havaitseminen onnistuu ihmissilmälläkin. (Microsoft, 2022)

Useille ohjelmointikielille on tarjolla valmiita kirjastoja, joiden avulla on mahdollista jäsenellä lähtötietoja. Tämä nopeuttaa huomattavasti formaatin käyttöä, sillä sen avulla tiedoston käsittelyssä tarvittavia menetelmiä tai rutiineja ei tarvitse kirjoittaa itse. (Heiknemi, 2001)

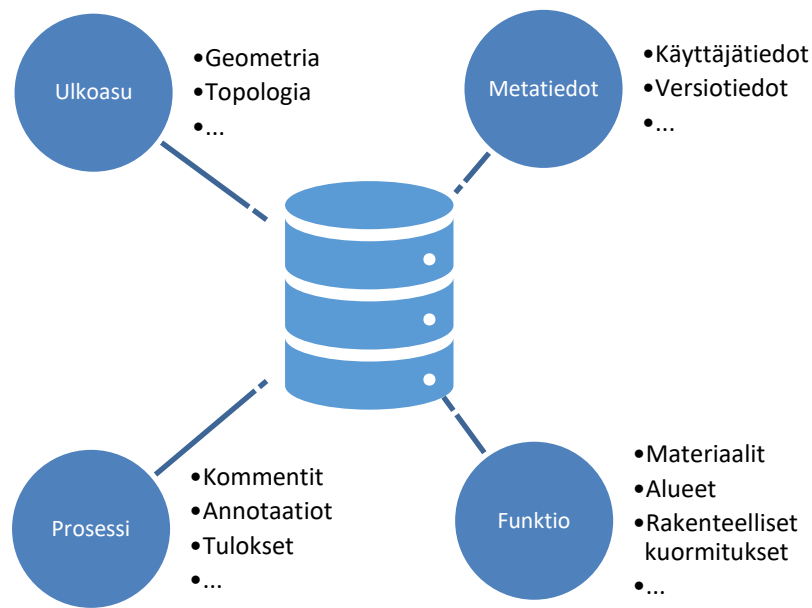
Ominaisuuksiensa johdosta formaatti sopii erittäin hyvin tiedonsiirtoon käytettäväksi. Tietokantaan on mahdollista tallentaa 3D-objektin tai -mallin geometria hyödyntäen pisteitä ja vektoreita. Geometrian lisäksi formaatin alle on helppoa sisällyttää osien funktionaalisia ominaisuuksia. Tiedon säilömistä lisäksi XML-kielen vahvuutena on sen kyky hakea tietoa ja vertailla muutoksia. Koska käyttäjä voi itse määrittää, mitkä osuudet tiedostosta tallennetaan XML-formaatin alle, on formaattiin mahdollista säilyttää sekä mallin laskennallisuus, että kuvaannollisuus.

Muodostettujen mallien avulla XML-kieli mahdollistaa myös datan rajaamisen eri tasoille. Tasojen avulla datasta voidaan jakaa vain ne tiedot, jotka tietoturvasyistä on tarpeellista jakaa. Tämän ominaisuuden avulla tiedostosta tai päämallista on mahdollista luovuttaa jatkokäyttäjille vain se informaatio, joka on tarpeellista. AVEVA:n tuki XML-tiedostojen luomiseen tarjoaa mahdollisuuden käyttää sitä pohjana OCX-tiedonsiirrolle laivan luokittamisessa. (Astrup & Cabos, 2017)

## 2.2.4 OCX-tiedosto

Tietokoneavusteinen suunnittelu on yleistynyt teollisuudessa ja se on luonut tarpeen tehokkaalle tiedonsiirrolle eri suunnitteluohjelmistojen välillä. Ajatus yleisestä ja avoimesta standardista laivasuunnitteluun sai innostuksen ilmailu- ja autoteollisuudesta, joissa vastaavia standardeja on ollut jo käytössä. Yleisesti yksi suunnitteluohjelma ei pysty vastaamaan koko laivan suunnittelutarpeisiin yksin. OCX (Open Class 3D Model Exchange) on XML-merkintäkieleen perustuva avoimen lähdekoodin formaatti, joka on suunniteltu erityisesti vastaamaan laivansuunnittelun tarpeisiin. Formaattiin voidaan sisällyttää mallin informaatio ja visuaalinen representaatio. OCX-tiedostossa paneelit ovat pääkomponentteja, joiden sisälle on kirjoitettu osan tiedot ja ominaisuudet. Paneeleiden lisäksi formaatin sisälle voidaan sisällyttää laivanrakennukseen ominaisia attribuutteja. Kuvassa 4 on esitetty OCX-tiedoston yksinkertaistettu rakenne. Tiedostoon sisältyy kuvaus mallin ulkoasusta, määritetyt metatiedot, luokitusprosessiin vaadittavat attribuutit ja osien funktionaalisia ominaisuuksia. Yhdistämällä kaikki tämä data yhteen tiedostoon, voidaan laivan luokitusprosessissa hyödyntää samaa 3D-mallia kuin laivan perus- ja valmistussuunnittelussa. (Astrup & Cabos, 2017)

Mallipohjainen rungon luokitusprosessi mahdollistaisi yhtenäisemmän prosessin, jossa yhtä ”päämallia” voitaisiin hyödyntää koko laivanrakennusprosessin ajan. Kyseistä mallia voidaan jakaa jatkokäyttäjille tarpeen mukaan. OCX-tiedoston osat sisältävät yksilöllisen tunnisteiden, jolla muutosten seuranta on mahdollista. Tunnisteiden avulla osien kommentointi, hyväksyntä ja vertailu on mahdollista. OCX-formaatti mahdollistaisi myös nopeamman palautteen saamisen luokituslaskennasta. Nopeampi palaute on mahdollista hyödyntämällä OCX-tiedosto luokituslaskentaohjelmaan siirrossa, jolloin mallista voidaan helposti ja nopeasti tarkistaa alueen tai osan kelpoisuus, vaikka alue ei olisi vielä valmis luokitettavaksi.



Kuva 4. OCX-tiedoston rakenne (Astrup & Cabos, 2017)

Luokituslaskennassa on tyypillistä, että käytetään käytännössä toimiviksi testattuihin tuloksiin perustuvia laskukaavoja. Laskukaavoilla voidaan tarkastella, vastaavatko suunnitellut osat ja levyt luokituslaitosten asettamia kriteereitä. Kaavat voivat vaihdella luokituslaitoskohtaisesti ja ne sisältävät usein alue- tai funktiokohtaisia kertoimia. Esimerkiksi DNV:n levyn minimipaksuuden määrittämiseen kehitetty kaava on hyvä esimerkki tästä.

$$t = a + b * L\sqrt{k}$$

Kaava 1. DNV:n minimipaksuuden laskukaava (DNV, G. L, 2017)

Kaavassa 1 on näytettynä kaava, jolla levyn minimipaksuuden tarkistaminen on mahdollista DNV:n asettamien standardien mukaisesti. Kaavassa ( $L$ ) on laivan sääntöpituus, ( $k$ ) on materiaalikerroin, joka määräytyy teräksen myötörajusta ja ( $a$ ) & ( $b$ ) ovat levyn käytön ja sijainnin perusteella määräytyvät kertoimet. Kuten esimerkin kaavasta käy ilmi, luokituslaskennassa on osan funktionaalisella ominaisuudella ja materiaalityypillä keskeinen rooli. Mallin hyödyntämisessä luokituslaskennassa näiden ominaisuuksien täytyy sisältyä tiedonsiirrossa muodostettavaan tiedostoon. OCX-formaattiin pystytään sisällyttämään nämä ja monet muut ominaisuudet, joita tarvitaan laivan luokittamisessa. Tämä on yksi suurimmista

eroista muihin olemassa oleviin tiedonsiirrossa käytettyihin standardeihin. Osien topologian säilyttäminen tiedonsiirron aikana on myös yksi OCX-formaatin vahvuus ja eroavaisuus verrattuna muihin standardeihin.

Huomioitavaa mallipohjaisen luokitusprosessin hyödyntämissä olisi kuinka tieto tultaisiin säilyttämään läpi laivan elinkaaren. Keskimäärin laivan elinkaari on noin 25 vuoden paikkeilla ja nykyisellään laivan tiedot on tallennettu niin digitaaliseen kuin paperiseen muotoon. OCX-tiedostolle tulee taata tuki ja mahdolliset päivitykset koko laivan elinkaaren ajaksi, jotta sitä voitaisiin harkita edes mahdollisena ratkaisuna. Luokituslaitosten tulee myös muuttaa tai kehittää omaa hyväksyntätapaansa. Nykyinen tapa on nojannut pitkälle siihen, että suunnittelutyöstä vastannut organisaatio on rajannut laivan tärkeät rakenteet ja näyttänyt nämä ainoastaan luokituslaitokselle lähetetyissä piirustuksissa. Malliin pohjautuvassa hyväksyntäprosessissa luokituslaitos saa tarkastettavaksi koko laivan 3D-mallin, josta sen tulisi sopia millä tarkkuudella sitä tulisi arvioida. Lisäksi muutosten hallintaa ja hyväksyttäväksi lähetettävän mallin kypsyyttä on tarkasteltava uudelleen. Nyt suunnitteluista vastaavien osapuolien ja luokituslaitoksen täytyisi löytää yhteisymmärrys siitä, missä vaiheessa malli voitaisiin siirtää hyväksyttäväksi. (Astrup & Cabos, 2017)

Elinkaaren läpi kestävän tuen lisäksi tiedoston tulee olla riittävän kevyt. Kevyt tiedosto mahdollistaa sen jaon tehokkaasti ja nopeasti jatkokäyttäjille. Lisäksi tiedostossa tulee ottaa huomioon immateriaalioikeudet, kun tiedostoa jaetaan jatkokäyttäjille. Tästä johtuen tiedostosta tulee pystyä rajaamaan haluttu osuus, jolloin immateriaalioikeudet voidaan säilyttää halutulla osapuolella. (Astrup & Cabos, 2017)

Nykyisiltä yleisesti tiedonsiirrossa käytetyiltä standardeilta puuttuu ominaisuuspohjainen semantiikka, jonka avulla voitaisiin käyttää mallia luokittamiseen. OCX-formaattiin on sisällytetty laivanrakentamiseen ja luokittamiseen vaadittavat ominaisuudet. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi osien topologia sekä spatiaaliset, että loogiset rakenteet alueille ja tankeille. OCX-formaatin kehittämisessä on myös huomioitu mallin kommentoinnin tarpeet. (OCX, 2022)

### **2.3 Laivan luokittaminen**

Laivojen luokittaminen on ainutlaatuinen yksityisten ja julkisten yritysten ylläpitämä maailmanlaajuinen laatua ja standardeja ylläpitävä kokonaisuus. Luokituslaitokset asettavat

niiden luokittamille laivoille minivaatimukset, jotka laivojen tulee täyttää. Laivan luokitus pitää sisällään rungon rakenteiden kestävyuden, koneistojen ja tärkeiden systeemien luotettavuuden tarkastamisen ja hyväksymisen. Tässä työssä keskitytään tarkastelemaan laivojen luokittamista ainoastaan runkosuunnittelun näkökulmasta. (Hormann, 2006)

### 2.3.1 Historia

Laivojen luokittamisella on pitkä historia. Yhtenä luokittamisen alkupisteenä voidaan pitää Lloydsin ensimmäistä *Vihreää kirjaa (1764)*. Kirja sai alkunsa Lloydsin kahvilasta Lontoosta. Lloyds oli alkanut keräämään tietoa kahvilassa asioineilta merimiehiltä sataman laivoista ja niiden lasteista. Alkujaan lista ei sisältänyt paljoa tietoa aluksista, mutta laivojen lastien vakuuttajien kiinnostuttua listasta, sen kattavuus alkoi laajentua. Laivoja ja niiden lasteja vakuuttaneilla yhtiöillä oli vaikeuksia löytää luotettavaa tietoa laivojen merikelpoisuudesta ja niille sattuneista haaksirikoista. Tarve puolueettomaan tietoon laivoista kasvoi entisestään, kun ulkopuolisten vakuuttajien osuus laivojen lastien vakuuttajina kasvoi. Alkujaan oli yleistä, että laivojen omistajat toimivat omien lastiensa vakuuttajina. (Boisson, 1994)

*Vihreä kirja* sisälsi jo ensimmäisiä työkaluja laivojen luokittamiseen. Kirjasta kiinnostuneet lastien vakuuttajat olivat kirjan suurin asiakaskunta. Ajan myötä kirja sisälsi yhä enemmissä määrin tietoa laivoista ja niiden perusteella kehitettyjä kaavoja. Kaavojen avulla kyettiin karkeasti arvioimaan laivojen merikelpoisuutta. Kaavat perustuivat pitkälle käytännössä toimiviksi todennettuihin arvoihin. Ajan saatossa kaavat ovat tarkentuneet ja niiden määrä on kasvanut huomattavasti. Telakat ja laivojen omistajat eivät olleet tyytyväisiä aluksi kirjan julkaisuun, sillä heidän mielestään se sisälsi oleellisia tietoja laivasta kilpailukyvyn kannalta. Historia on näyttänyt, että suurin osa luokituslaitoksista on perustettu joko laivojen vaikuttajien suoran tai epäsuoran vaikutuksen johdosta. (Boison, 1994)

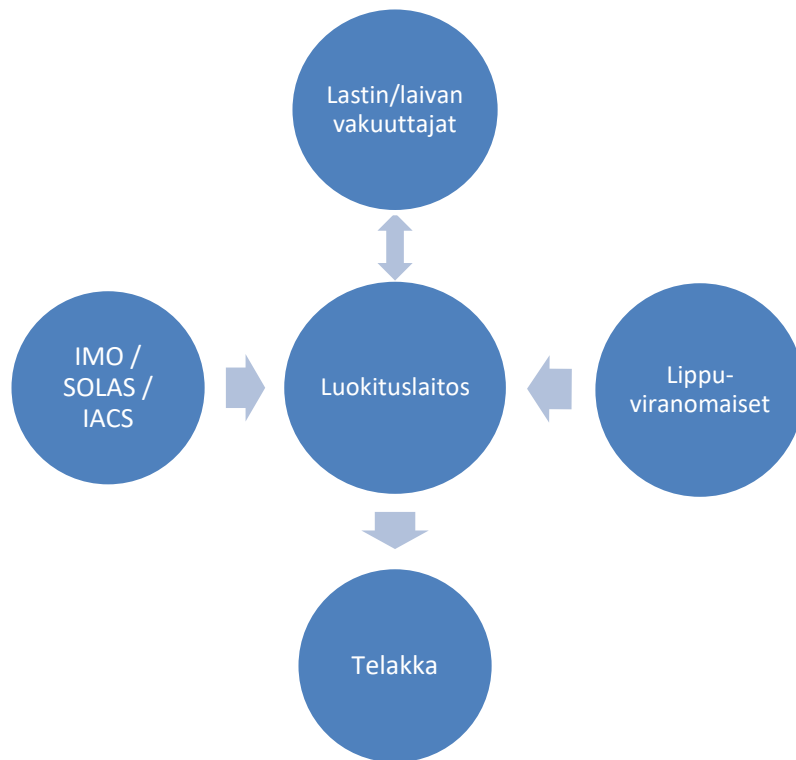
Yleisesti puhuttaessa luokituslaitoksista, tarkoitetaan niitä laitoksia jotka ovat IACS:n (International Association of Classification Societies) jäseniä. IACS on kattojärjestö, joka perustettiin vuonna 1968. Nykypäivänä noin 90 % maailman merillä seilaavasta lastista kulkee IACS:n kuuluvan luokituslaitoksen hyväksynnän alla. (IACS, 2022)

### 2.3.2 Tarpeellisuus

Laivojen luokittamiselle ei ole mitään pakottavaa velvoitetta. Laivojen luokittajat ovat yksityisiä tai julkisia toimijoita, jotka tuovat varmuutta laivan omistajille ja vakuuttajille laivan merikelpoisuudesta. Luokituslaitoksen asettamat säännöt antavat perusteet laivan suunnittelulle. Luokituslaitoksen sääntöjä ei ole optimoitu täydellisen turvallisuuden tai täydellisen materiaalikäytön kannalta. Säännöt on suunniteltu siten, että laiva olisi mahdollista rakentaa ja kustannukset eivät nousisi liian korkeiksi. Tämä on johtanut myös siihen, että luokitettujakin laivoja uppoaa. (Hormann, 2006)

Laivojen luokittaminen on saanut myös osakseen kritiikkiä. Kritiikki on erityisesti kohdistunut syntyvään eturistiriitaan laivan omistajan, telakan ja luokituslaitoksen välillä. Luokituslaitokset kilpailevat toisiaan vastaan niin palvelulla, hinnoilla kuin niiden asettamilla vaatimuksilla. Kilpailutilanteessa luokituslaitoksen voi olla kannattavaa laskea standardejaan, jotta laivan rakentamisesta tulisi edullisempaa laivan tilaajalle. Tämä sotii luokituslaitosten perusideaan ”tehdä laivoista turvallisimpia”. Eturistiriita on tiedostettu ja IACS on yrittänyt ratkaista sen luomalla yhteisiä minivaatimuksia laivan tärkeimmille osille. Tämä toisaalta on entuudestaan voinut heikentää kehitystä luomalla esteitä luontaiselle kehitykselle. (Boisson, 1994)

Luokituslaitokset pyrkivät säädöksillään vastaamaan myös lippuviranomaisten vaatimuksiin ja samalla luokituslaitoksen säädöksiin on myös ehdottomasti vastattava IMO:n asettamiin säädöksiin (Kuva 5). IMO (International Maritime Organization) on kansainvälinen YK:n alaisuudessa toimiva järjestö, jonka päämääränä on kehittää turvallista ja ympäristöystävällistä meriliikennettä (IMO, 2022). Maat, joiden lipun alla laiva seilaa, saattavat asettaa lisäksi omia vaatimuksia laivalle. Useimmissa tapauksissa lippuviranomaisten säädökset täyttyvät luokituslaitosten sääntöjen yhteydessä. Laivojen lastien vakuuttajilla on ollut myös merkittävä rooli kautta historian luokituslaitosten toiminnassa. Lasteja vakuuttavat tahot ovat vaatineet tiettyä tasoa luokituslaitoksilta ja asettaneet luokituslaitoksille oman arvostuksen samalla, kun luokituslaitokset ovat tuottaneet materiaalia lastien vakuuttajien päätöksen tueksi. (Boisson, 1994)



Kuva 5. Luokituslaitoksen asema

Laivan rungon luokitusprosessin voi karkeasti jakaa kahteen eri osa-alueeseen: luokituslaskentaan ja luokituslaitoksen hyväksynnän hakemiseen. Luokituslaskennassa laivasta tehdään luokituslaskentaan soveltuvalla ohjelmalla karkea ja yksinkertaistettu malli, jossa on laivan päärakenteet näytettynä. Lisäksi malliin lisätään alueiden käyttötarkoitukset ja niille ominaiset kuormitukset. Tämän jälkeen ohjelmalla voidaan tarkistaa, täyttävätkö rakenteet luokituslaitoksen asettamat kriteerit. Luokitusohjelmat ovat usein luokituslaitoksien tarjoamia ohjelmistoja, jotka on tehty helpottamaan suunnitteluprosessia. Luokituslaskenta tapahtuu usein suunnittelutoimiston sisällä, eikä siitä lähtökohtaisesti toimiteta dokumentteja luokituslaitokselle. Laivan päärakenteet on lähetettävä hyväksyttäväksi luokituslaitokselle. Rakenteet esitetään usein 2D-piirustuksena ja toimitetaan luokituslaitokselle PDF-muodossa. Luokitettavat rakennepiirustukset tuotetaan perussuunnitteluvaiheen aikana. Rakennepiirustuksissa käytetään usein standardiratkaisuja mahdollisimman paljon, jotta piirustuksista tulisi mahdollisimman kevyitä. (Salminen, 2022)

Luokituslaitosten rooli on muuttunut voimakkaasti viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana. Luokituslaitokset ovat rakentaneet omaa uskottavuuttaan ja yrittäneet estää aikaisemmin tässä luvussa mainitun eturistiriidan vaikutukset asettamiensa standardien

luotettavuudelle (Boisson, 1994). Tulevaisuudessa kehittyvät ohjelmistot pystyvät yhä paremmin vastaamaan laivan luokittamisen asettamiin vaateisiin ja tekemään laivan rungon luokittamiseen tarvittavaa manuaalista työtä (Hulkkonen, Manderbacka & Sugimoto, 2019). Ohjelmistojen kehittyminen viime vuosikymmenen aikana on myös haastanut luokituslaitoksia kehittämään omaa toimintaansa ja vastaamaan paremmin nykyaikaisen laivansuunnittelun tarpeisiin (Hulkkonen, Manderbacka & Sugimoto, 2019).

### 2.3.3 Perinteinen luokitusprosessi

Luokitusprosessista puhuttaessa tarkoitetaan eri työvaiheita, jotka sisältyvä laivan luokittamiseen tarvittavan materiaalin luontiin. Sanalla *perinteinen* tarkoitetaan tässä tutkimuksessa nykyisellään yleisesti käytössä olevaa tapaa luokitaa laivoja. *Uudella* luokitusprosessilla tullaan tarkoittamaan uuden OCX-formaatin mahdollistamaa tehostettua prosessia.

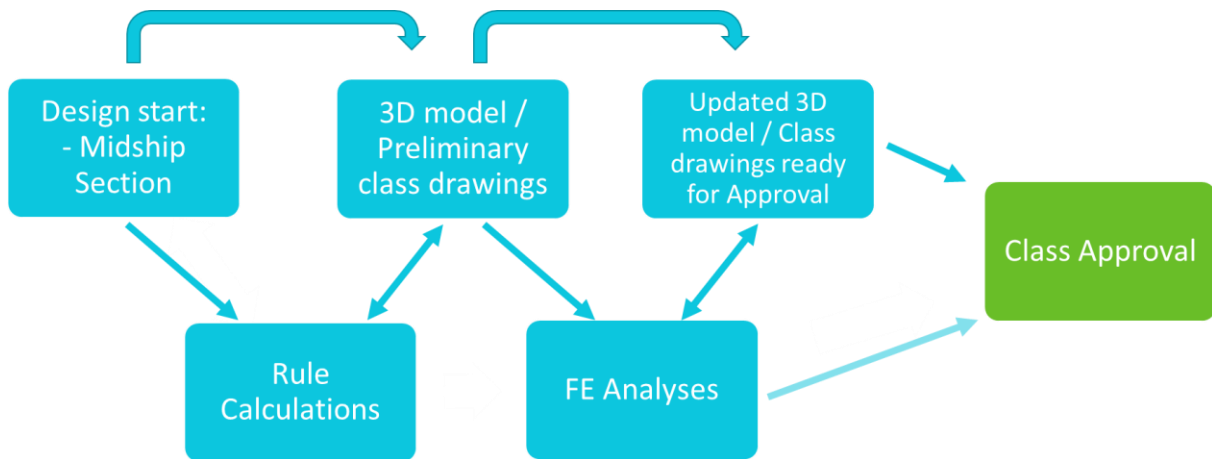
Perinteisesti laivojen luokitusprosessi koostuu monista teknisistä piirustuksista, jotka telakka tai suunnittelutoimisto toimittaa luokituslaitokselle hyväksyttäväksi (DNV-Rules and Standards, 2021). Tässä työssä keskitytään ainoastaan laivan runkopiirustusten luokitusprosessiin. Suunnittelutoimisto tai telakka luo materiaalin, jossa se näyttää laivan rakennekaavion. Rakennekaaviolla tarkoitetaan luokituspiirustuksia, joille haetaan luokituslaitokselta hyväksyntä. Rakennekaavio tehdään tarkoituksella riittävän kevyeksi, jotta tiedot poikkeamista saataisiin mahdollisimman tehokkaasti päivitettyä luokituspiirustuksiin. Luokituspiirustusten päivittäminen voi olla ongelmallista, sillä monet sen jälkeen tehtävät detail-tason runkopiirustukset saattavat näyttää samoja osia, joita luokituspiirustuksissa on näytetty. Tämä johtaa sekä luokituspiirustuksen että detail-piirustuksen päivittämiseen. Useiden piirustusten päivittäminen tekee muutosten seurannasta haastavampaa, kuluttaa enemmän työtunteja ja todennäköisyys inhimillisille virheille kasvaa. (Salminen, 2022)

Luokituslaitos tarkistaa lähetetyt rakennepiirustukset ja selvittää, vastaavatko piirustuksissa olevat rakenteet luokan asettamia säädöksiä ja tämän jälkeen joko lähettää piirustuksen takaisin korjattavaksi tai hyväksyy piirustuksen sellaisenaan. Hyväksynnän jälkeen luokituslaitos lähettää hyväksytyyn piirustuksen leimattuna takaisin suunnittelusta vastanneelle organisaatiolle. (Salminen, 2022)

Ongelmallista tässä tavassa on tiedonvälittyminen eri suunnitteluohjelmien välillä. Laivan 3D-mallin tekeminen on verrattain raskasta ja malliin sisältyy paljon tietoa, jota ei tarvita luokitukseen. Näin ollen on ollut yleistä, että keskilaivan poikkileikkaus ja alustavat luokituskuvat on tehty eri ohjelmalla kuin laivasta tehtävä 3D-malli. Kuvassa 4 on osoitettu rungon luokitusmateriaalin tuottamiseen tarkoitetun työprossin kulku. Prosessi on hyvin riippuvainen luokituslaskennan ja FE-analyysin (Finite Element) tuloksista. Näin ollen muutokset ja tarkennukset johtavat useassa tapauksessa kahden mallin päivittämiseen. (Salminen, 2022)

Kaksi toisistaan irrallista mallia kasvattavat ihmisestä johtuvan virheen mahdollisuutta. Mikäli virhettä ei huomata riittävän ajoissa, se voi siirtyä tuotantoon asti. Tuotantoon asti päätyneet virheet on huomattavan kallis korjattava ja se voi estää jopa laivan luovuttamisen. Näin ollen näiden irrallisten työvaiheiden yhtenäistäminen pienentäisi projektin kokonaisriskejä. (Haji-Kazemi, Arica, Semini, Alfnes, & Andersen, 2015)

Prosessin osavaiheet eivät ole itsenäisiä, vaan ne ovat kytkettyinä aina edellisiin vaiheisiin. Näin ollen ne ovat todennäköisemmin alttiimpia muutoksien tuomille ongelmille. Mikäli luokituslaskentaprosessin jälkeen muutoksia tulee luokituskuviin näkyviin rakenteisiin, tulisi ne hyväksyttää uudelleen luokituslaitoksella. Usein tämän kaltaiset muutokset johtavat siihen, että jokainen prosessissa käytetty malli tulisi päivittää. Tämä työntensiivinen vaihe luo suuren mahdollisuuden inhimilliselle virheelle, jonka seurauksena irralliset mallit poikkeaisivat toisistaan.



Kuva 6. Rungon perussuunnittelun prosessi luokitusmateriaalin tuottamiseen

Aksiomaattisen suunnittelun perusteiden mukaan mitä vähemmän toiminnalliset vaatimukset ovat kytkettyjä toisiinsa sen parempi systeemi on. Tämä monen toisistaan irti kytketyn mallin systeemi tekee prosessin heikoksi muutoksille ja näin ollen sen soveltuvuus tämänkaltaiseen prosessiin on heikko. Itsenäisyysaksioman perusteella systeemi on paras silloin kuin mikään prosessin vaihe ei ole kytkettynä toiseen. (Axiomatic Design, 2022) Yhdistelemällä kuvan 6 vaiheita yhteen, voidaan prosessia kehittää aksiomaattisen suunnittelun perusteiden mukaisesti.

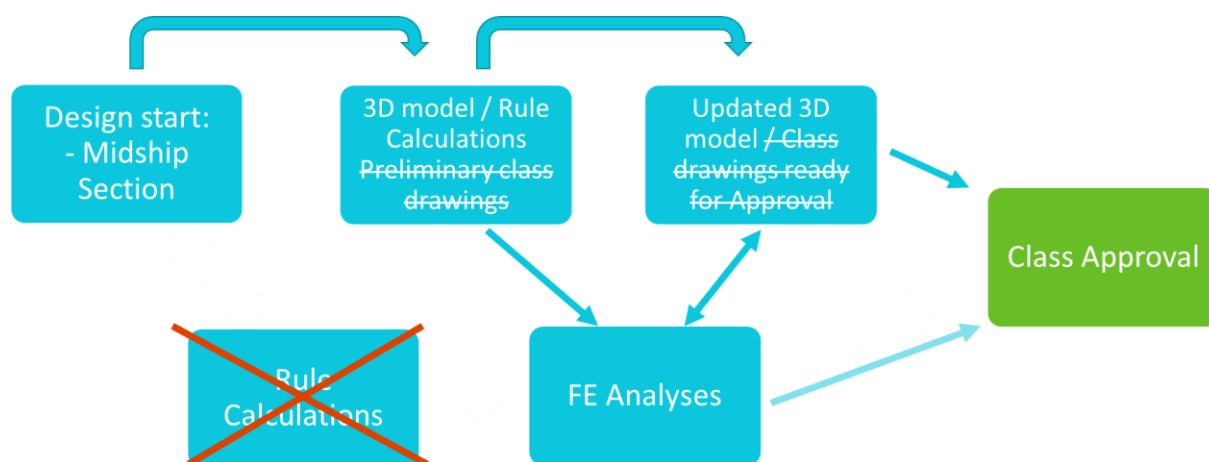
### 2.3.4 Uusi luokitusprosessi - "3D model-based class approval"

Laivansuunnittelu on jo hyvin pitkälle siirtynyt hyödyntämään 3D-malleja suunnittelutyössä. Saman laivan suunnittelussa voidaan käyttää useita eri suunnitteluohjelmia ja niiden yhteensopimattomuus on aiheuttanut monen vaiheen tekemistä useaan otteeseen. Laivan luokittamisessa tämä on näkynyt hyvin selvästi. Luokituslaskennassa käytettävät ohjelmat eivät ole tukeneet suunnittelussa käytettyjä ohjelmistoja, joten laivan geometria ja rakenteet on mallinnettava useaan otteeseen eri ohjelmilla. Tämä päällekkäinen työ on edistänyt tehokkaampien tapojen etsintää. (Astrup & Cabos, 2017)

Astrup ja Cabos esittivät mahdollisuutta mallipohjaiselle luokitusprosessille 2017 ilmestyneessä tutkimuksessaan (Astrup & Cabos, 2017). Tutkimuksessa he etsivät aiheeseen liittyviä ongelmia ja samalla etsivät eri teollisuuden alojen löytämiä ratkaisuja kyseiseen

ongelmaan. He havaitsivat, että auto- ja ilmailuteollisuuden käytössä oli jo pitkään ollut vastaavanlaisia mallipohjaisen suunnittelun tiedonsiirtoon soveltuvia standardeja. Laivateollisuus kuitenkin poikkeaa edellä mainituista teollisuuden aloista siinä määrin, että olemassa olevien standardien hyödyntäminen ei olisi hyödyllistä ja tehokasta. Laivan rungon suunnittelussa käsitellään kooltaan erittäin suuria kokonaisuuksia, ja tärkeiden komponenttien erottelu kokonaisuudesta saattaa olla haastavaa olemassa olevia standardeja hyödyntämällä.

Tämä *uusi luokitusprosessi* alkaisi samasta kohdasta kuin *vanha* käytössä oleva luokitusprosessi. Laivasta luotaisiin alkuun keskilaivan poikkileikkaus, jonka perusteella voitaisiin aloittaa jo 3D-mallin työstäminen (Kuva 7). Tämän jälkeen keskilaivan poikkileikkauksen perusteella, voitaisiin alkaa työstämään 3D-mallia laivasta tai alueesta. Mahdollisuus käyttää samaa 3D-mallia luokituslaskennassa poistaa tarpeen luoda erillinen malli luokituslaskentaan. Saman mallin hyödyntäminen läpi koko luokitusprosessin on mahdollista OCX-formaatin avulla. Tarve ja idea mallipohjaiselle suunnittelulle ja luokittamiselle on ollut alkujaan syynä formaatin luomiselle ja kehittämiseksi.



Kuva 7. Rungon perussuunnittelun mallipohjainen luokitusprosessi

Prosessin kannalta oleellista olisi päästä eroon luokituslaskennan irrallisuudesta ja vähentää ylimääräisten kuvien ja mallien päivittämistä. Rungon luokitusprosessi OCX-formaatin avulla mahdollistaisi saman mallin käyttämisen niin luokituslaskennassa kuin rakennepiirustuksien luokan hyväksynnän hakemisessa. Tällä tavalla voitaisiin poistaa irrallaan oleva luokituslaskentamalli ja hyödyntää 3D-mallia myös tässä työvaiheessa. Vahvuutena tässä

mallipohjaisessa suunnittelussa olisi myös mahdollisuus käyttää samaa 3D-mallia luokitusprosessin jälkeen laivan valmistussuunnittelussa. (Astrup & Cabos, 2017)

Formaatin avulla 3D-malli voitaisiin myös siirtää luokituslaitoksen ylläpitämälle alustalle, jossa työtä kommentoidaan ja hyväksytään. Jotta luokituslaitoksen kommentointi olisi tehokkainta, tulisi suunnitteluohjelman, jolla 3D-malli on tehty, tukea OCX-tiedoston tuomista (import), ja viemistä (export). Tällöin kommenttien siirtäminen luokituslaitoksen hyväksyntään tarkoitettusta ohjelmasta takaisin suunnitteluohjelmaan olisi vaivatonta. Toinen mahdollisuus kommenttien läpikäymiseen ja esittämiseen on käyttää nettipohjaista katseluohjelmaa, joka mahdollistaisi mallin läpikäymisen ilman raskaita 3D-suunnitteluohjelmia. Kommentointi on tehty mahdolliseksi sisällyttämällä tiedostotyyppiin jokaiselle osalle oman yksilöllisen tunnisteiden, jonka avulla kommentit voidaan sitoa tiettyyn osaan. Tunnisteiden avulla kommentoinnit ja muut merkkaukset osissa on mahdollista säilyttää osan tiedoissa läpi siirron. Yhden mallin hyödyntäminen suunnittelutyön aikana selkeyttää ja tehostaa prosessia. (DNV, 2022)

Alkuperäinen idea Astrupin ja Cabosin tutkimuksessa mahdollistaisi myös OCX-tiedoston hyödyntämisen laivan FEM-laskennassa (Astrup & Cabos, 2017). Tällä hetkellä AVEVA E3D -ohjelma ei tue muuta kuin mallin viemistä (export). Mallin tuominen (import) takaisin luokitusohjelmasta suunnitteluohjelmaan ei ole tällä hetkellä mahdollista. Näin ollen DNV:n suunnitelmaa prosessia ei ole vielä mahdollista toteuttaa täysin suunnitellulla tavalla.

Vaikka suunnitteluohjelma ei vielä tue mallin tuomista takaisin, kommentit on mahdollista saada siirrettyä manuaalisesti malliin ja niihin on mahdollista sisällyttää merkintä tapahtuneesta muutoksesta. Näin luokituslaitoksen on helppo havaita mahdolliset muutokset ja päivitykset eri revisioiden välillä. Tämän yksilöllisen tunnisteiden ”unique identifier” avulla muutosten seuranta on mahdollista, vaikka ohjelmisto ei tukisi mallin tuomista takaisin suunnitteluohjelmaan. (OCXwiki, 2022)

Mallien yhtenäistäminen ja standardointi mahdollistaisi digitaalisen kaksosen hyödyntämisen uudella tavalla laivateollisuudessa. Yksi kevyt yhtenäinen malli mahdollistaisi saman mallin hyödyntämisen sen koko elinkaaren aikana. Yksi huolenaihe formaatin hyödyntämisessä on mallin tekijänoikeuksien hallinta. Yhtenäinen formaatti johtaisi siihen, että sama malli olisi luokituslaitoksen, suunnittelusta vastanneen organisaation ja tilaajan hallussa. Mallin hallinnasta ja sen jatkokäytöstä tulisi sopia tarkasti jo ennen suunnittelutyön alkamista. OCX-formaatissa on otettu asia huomioon hyödyntämällä monitasoisia annotaatioita. Tämän

johdosta mallin tieto voidaan jakaa osiin, jotta koko mallikohtaista tuotemäärittystä (MBD) ei tarvitsisi jakaa sidosryhmien ja jatkokäyttäjien kanssa. (Astrup & Cabos, 2017)

### 3 Tapaustutkimus – 3D model-based class approval

Tässä työssä tutkitaan uuden OCX-formaatin hyödyntämistä laivan rungon luokittamisessa. Tarkoituksena on saada laajempi ja kokonaisvaltaisempi käsitys formaatista ja tutkia sen mahdollista hyödyntämistä yrityksen toiminnassa. Lähtökohtana on, että mallipohjaisen luokitusprosessin tulisi tehostaa suunnittelutyötä ja täten mahdollistaa huomattava ajansäästö. Työn tarkoituksena ei ole luoda uusia toimintaohjeita tai suoraan kehittää luokitusprosessia. Työssä tutustutaan aiheeseen ja mahdollisesti avataan uusia hypoteeseja jatkotutkimuksille. Keskeinen osa tutkimusta on myös mahdollisten ongelmien löytäminen ja kartoittaminen. Tapaustutkimuksen avulla on tarkoitus kuvata prosessia ja tehdä samalla havaintoja. Tapaustutkimuksella on mahdollisuus saada kokonaisvaltainen käsitys prosessista, ja sen vuoksi se valikoitui tutkimuksessa käytettäväksi metodiksi. Työssä käytetään AVEVA:n E3D -suunnitteluohjelmaa ja DNV:n luokituslaskentaan soveltuvaa ohjelmaa. Työ on suoritettu toimeksiantona Deltamarinille.

Tapaustutkimuksen projektiksi valikoitui RoRo-laivan keulaosa. Mahdollisuus suorittaa kehitysprojekti rinnakkain kaupallisen projektin kanssa ja otollinen ajankohta vaikuttivat juuri tämän laivanprojektin valikoitumiseen. Mallipohjaisen luokittamisen hyödyntäminen on kehitysasteella niin ohjelmistontarjoajan, luokituslaitoksen kuin suunnittelutoimiston osalta. Näin ollen on erityisen tärkeää löytää ja tunnistaa mahdolliset ongelmakohdat, jotka voisivat estää prosessin ja formaatin käyttöönoton. Samalla projektin osapuolten tulee kehittää omaa toimintaansa vastaamaan paremmin mallipohjaisen luokitusprosessin asettamiin tarpeisiin.

Odotettavana lopputulemana OCX-formaatin hyödyntämisen tulisi tehostaa suunnittelutyötä, vähentää siihen käytettäviä tunteja ja vähentää toisistaan irrallaan olevien mallien määrää. Ajansäästö saavutettaisiin vähentämällä päällekkäistä suunnittelutyötä, mikä on mahdollista hyödyntämällä samaa mallia niin luokitusprosessissa kuin laivan perussuunnittelussa. Kun samaa mallia käytetään niin perussuunnittelussa kuin luokitusprosessissa, ei geometrian ja funktionaalisten ominaisuuksien määrittämistä tarvitse tehdä erikseen molemmissa työvaiheissa. Tulosten validointiin on mahdollista käyttää muita aiheesta löytyviä tutkimuksia ja niiden lopputuloksia. DNV on testannut formaatin hyväksymistä jo NAPA:n ja Etelä-Korealaisen telakan kanssa, ja tuloksista on julkaistu tiedote DNV kotisivuilla (DNV, 2022).

Tapaustutkimus on osa yritysten yhteistä kehitysprojektia (*joint industry project*), johon osallistuivat AVEVA, Deltamarin ja DNV. Yhteisen projektin tarkoituksena on yhdistää

yriytysten asiantuntemus ja kehittää mallipohjaista luokitusprosessia. Yhteisen kehitysprojektin avulla yritykset voivat ymmärtää toisten osapuolten tarpeita paremmin ja kehittää toimintaansa vastaamaan paremmin mallipohjaisen luokitusprosessin vaatimuksiin.

### 3.1 Laivan keulan mallintamien

Työssä keulalaivan mallintamiseen käytetään AVEVA:n E3D suunnitteluohjelmaa. AVEVA on Iso-Britanniassa vuonna 1967 perustettu monikansallinen yritys, joka on keskittynyt tuottamaan palveluita teollisuuden käyttöön. Yrityksen tuottamat ohjelmistot ovat laajasti käytössä laivateollisuudessa. Yritys on tuonut markkinoille viime vuosina uuden E3D-ohjelman, jonka tulisi korvata vanha käytössä oleva AVEVA Marine -ohjelmisto. Uusi ohjelma perustuu hyvin pitkälle mallipohjaiseen suunnitteluun ja siinä keskeisessä roolissa on visuaalinen representaatio suunnittelualueesta. (AVEVA, 2022)

Ohjelman tarjoama tuki OCX-siirrolle mahdollistaa sen käyttämisen mallipohjaiseen luokitusprosessiin (3D model-based class approval). Julkiseen tietoon perustuen ohjelmaa ei ole vielä alkuvuonna 2022 käytetty runkosuunnittelussa mallipohjaiseen luokittamiseen ja ohjelmistoa onkin päivitetty useaan otteeseen kehitysprojektin aikana. Päivityksillä korjattiin ohjelman virheitä ja esteitä sen käyttämisessä mallipohjaisessa luokittamisessa. AVEVA osallistui kehitysprojektiin ja tarjoutui tukemaan projektia ohjelmistopuolelta. Päivityksistä huolimatta ohjelmisto ei kykene vielä tukemaan kaikkia ominaisuuksia, jota tarvitaan luokittamiseen vaadittavan materiaalin tuottamiseen. Näin ollen jonkinasteiset yksinkertaistukset malliin olivat pakollisia. Luokituslaitokselle ilmoitettiin mallinnuksessa ilmenneistä ongelmista ja kehitysprojektin osapuolten kesken sovittiin, että materiaali toimitetaan ja arvioidaan siinä kunnossa, jossa se on.

Mallipohjaisen luokitusprosessin ollessa vasta tulossa käyttöön, ovat myös siihen vaadittavat ohjelmistot vielä kehitysasteella. Projektin aikana niin AVEVA:n E3D kuin DNV:n Nauticus Hull saivat päivityksiä, joilla korjattiin virheitä ja esteitä ohjelmistojen hyödyntämiseen mallipohjaisessa luokitusprosessissa. Tämä kolmen eri osapuolen välinen kehitystyö oli keskeinen osa projektia. Esimerkiksi AVEVA:n tarjoamien päivitysten avulla saatiin referenssikäyrien luontia ja mallissa olevien käyrien kokonaisvaltaista stabiliteettia paremmalle tasolle. Tämä oli yksi ongelmista, joka tuli keulalaivan mallintamisen aikana esille.

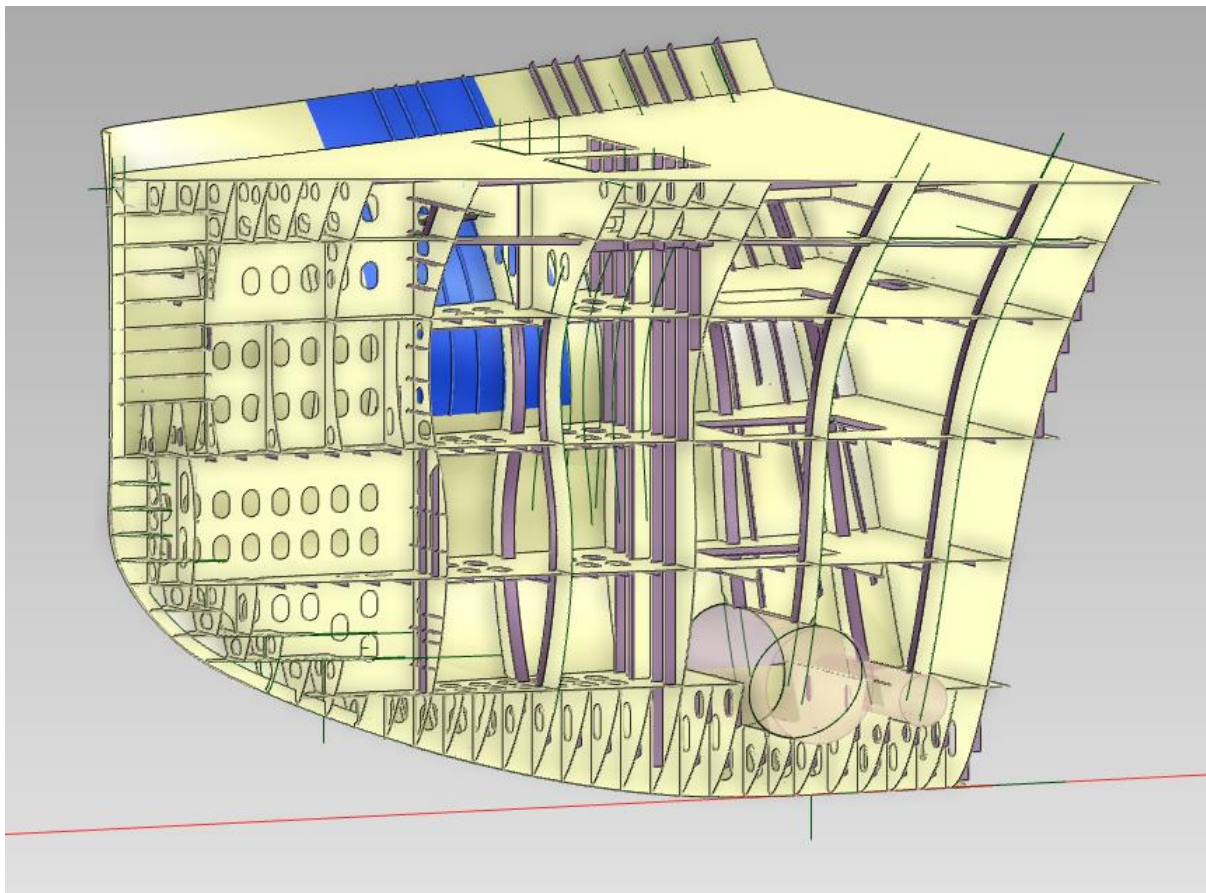
AVEVA E3D Hull Design -ohjelma koostuu kolmesta keskeisestä suunnitteluosiosta. *Common Reference* -suunnitteluosio mahdollistaa pintojen ja tasojen luomisen ja muokkaamisen. Tasoja voidaan käyttää apuna suunnittelutyössä, ja luotuja paneeleita on mahdollista viitata niihin. Tasojen avulla voidaan määrittää tai osoittaa esimerkiksi kansien ja laipioiden sijainteja. Tämän kaltainen suunnittelukäytäntö tekee myöhäisimpien muutosten tekemisestä helpompaa, kun viittaukset on tehty referenssitasoihin. Keulalaivan mallintamisessa kansien ja laidoituksen mallintamiseen on hyödynnetty referenssitasoja.

Toinen suunnitteluosio *Arrangements* on suunniteltu alueiden luontiin ja hallintaan. Alueet voivat olla aloja tai tiloja, joiden avulla voidaan määrittää valittu käyttötarkoitus ja asettaa samalla vaatimuksia sille. Keulalaivan mallintamisessa ei hyödynnetty *Arrangements:in* tarjoamia ominaisuuksia, vaan se tarkoituksenmukaisesti pidettiin tämän projektin ulkopuolella. Tilajärjestelyiden hyödyntämistä olisi hyödyllistä tutkia jatkossa, sillä sen avulla voitaisiin nopeuttaa luokituslaskentaprosessia entisestään tuomalla esimerkiksi tankkien tiedot ja ominaisuudet luokituslaskentaan automaattisesti.

Tärkein ja keskeisin suunnitteluosio ohjelmassa on *Hull Design*. Sen avulla käyttäjä voi luoda paneeleita, saumoja, viisteitä, jäykisteitä, polvioita, laippoja ja muita laivan runkosuunnittelun keskeisiä rakenteita. Paneeleihin on myös mahdollista sisällyttää funktionaalisia ominaisuuksia, jotka on mahdollista säilyttää läpi siirtoprosessin. Tällaisia ominaisuuksia voivat olla luodun paneelin materiaalityyppi ja funktionaalinen kuvaus, jotka ovat erittäin tärkeitä luokituslaskennassa. Paneelin funktionaalisesta kuvaksesta käy ilmi paneelin sijainti ja käyttötarkoitus. Paneelin funktionaaliset ominaisuudet ovat luokituslaskennassa keskeisessä roolissa ja luvussa 2.2.4 mainitun esimerkin mukaan näitä ominaisuuksia tarvitaan esimerkiksi levyjen minimilevynpaksuuden määrittämiseen.

Projektin suunnittelutyön osa-alueeksi valikoitui RoRo-aluksen keulaosa. Keulalaivan mallinnettaisiin rinnakkain uuden ja vanhan AVEVA:n suunnitteluohjelman version välillä. Työ aloitettiin luomalla kannet ja jatkuvat päärakenteet. Mallintamisessa ongelmia tuotti suunnitteluohjelman heikko stabiliteetti ja ohjelman puutteelliset ominaisuudet. Esimerkiksi kehyskaaren rakenteiden läpivientien mallintaminen kansista oli mahdotonta suunnitteluohjelman puutteellisen tuen johdosta. Osa ilmenneistä ongelmista voitiin poistaa ohjelmistopäivityksien avulla, mutta isoimpia ongelmia ei pystytty ratkaisemaan kehitysprojektin asettaman aikaikkunan sisällä. Tämän johdosta mallin oli pakko tehdä yksinkertaistuksia. Kuvassa 8 on näytetty AVEVA E3D -ohjelmalla mallinnettu 3D-malli

keulalaivasta, joka on valmiina OCX-siirtoon. Kuvasta on piilotettu toinen laitalevy selkeyden vuoksi.



Kuva 8. Mallinnettu keulalaiva - AVEVA E3D

Huomioitavaa työssä on, että mallin täytyy sisältää riittävä määrä dataa ennen kuin OCX-siirtoa voidaan suorittaa. Levyjen olisi hyvä sisältää vähintäänkin paneelin funktionaaliset ominaisuudet, joita tarvitaan luokituslaskennassa. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi levyn ja profiilien ainevahvuudet, positio, materiaalityyppi ja vesitiiveys. AVEVA E3D -ohjelmaan on sisällytetty mahdollisuus lisätä samat funktionaaliset määrittäykset, joita DNV käyttää myös omassa luokituslaskentaohjelmassaan. Luokituslaskentaan tarvittavia tietoja on mahdollista lisätä myös jälkikäteen, mutta se heikentää mallipohjaisen määrittäyksen ajatusta yhdestä päämallista, jota hyödynnettäisiin läpi erinäisten prosessien ja laivan elinkaaren. Näin ollen mallin tulee saavuttaa riittävä ja haluttu kypsyyssaste ennen kuin siitä voidaan ajaa OCX-tiedosto. Kypsyyssasteen määrittäminen tulee sopia työn osapuolten kesken ja tarkastella jatkokäyttäjien tarpeita, jotta mallia voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti mallipohjaisen suunnittelun mukaisesti.

Tämän tapaustutkimuksen aikana malliin sisällytettiin vain keulalaivan luokittamiseen vaadittavat tiedot. Tankkien tiedot ja ominaisuudet lisätään vasta luokituslaskentaohjelmassa, ja niiden mahdollista lisäämistä yhteen samaan malliin on mahdollista tutkia tulevaisuudessa.

### 3.2 OCX-tiedonsiirto

Keulalaivan mallintamisen valmistuttua voidaan siirtyä testaamaan mallin siirtoa eri ohjelmien välillä. AVEVA E3D -ohjelmasta löytyy suoraan ominaisuus, jolla valitusta alueesta tai osasta voidaan muodostaa OCX-tiedosto. Muodostettu tiedosto on tekstimuodossa eikä binäärimuodossa ja näin ollen ihmissilmällä helposti tarkistettavissa. Tiedostosta voi myös hakea haluttua osaa hyödyntämällä yksilöllistä tunnistetta. Tunnisteen avulla voidaan myös seurata mahdollisia muutoksia osassa. Luvussa 2.2.4 on esitetty OCX-formaatin ominaisuuksia tarkemmin.

Itse tiedoston luominen on tehty suunnitteluohjelmassa yksinkertaiseksi. Ohjelman ylävalikosta löytyvä *Export OCX* avaa uuden ikkunan AVEVA E3D -ohjelmaan, jossa ohjelma antaa käyttäjälle mahdollisuuden valita halutun paneelin, alueen tai ryhmän, josta OCX-tiedosto muodostetaan. Mikäli mallissa on ongelmia, tiedoston kirjoitus tulisi loppua rikkinäisen osan kohdalle. Näin ollen käyttäjällä on mahdollisuus helposti etsiä ongelman aiheuttanut osa ja yksilöllisen tunnisteen avulla palata korjaamaan osa suunnitteluohjelman puolelle.

OCX-formaatin poikkeavuus olemassa olevista tiedonsiirtostandardeista tekee siitä soveltuvan laivansuunnittelun ja erityisesti laivan luokituslaskentaan. Formaattiin voidaan sisällyttää laivanrakennukselle keskeisiä ominaisuuksia. Sen lisäksi osien välinen topologia on mahdollista säilyttää formaatissa. Kuvassa 9 on lyhyt katkelma OCX-tiedostosta, jossa on osa yhden levyn määrittämisestä. Tiedostosta on helposti havaittavissa ”child” ja ”parent” -relaatiot eri osien välillä. Sen lisäksi esimerkistä voidaan huomata osan yksilöllinen tunnistus (GUIDRef) ja levyn materiaalityypin määrittäminen, mikä on keskinen ja tarvittava informaatio laivan luokituslaskennassa. Yhden levyn määrittämiseen sisältyy useita satoja rivejä tekstiä ja alla oleva esimerkki on vain pieni katkelma koko levyn määrittämiseen vaadittavasta datasta. Esimerkkinä koko keulalaivan 3D-mallista luotu OCX-tiedosto sisälsi hieman alle 700 000 riviä tekstiä.

```

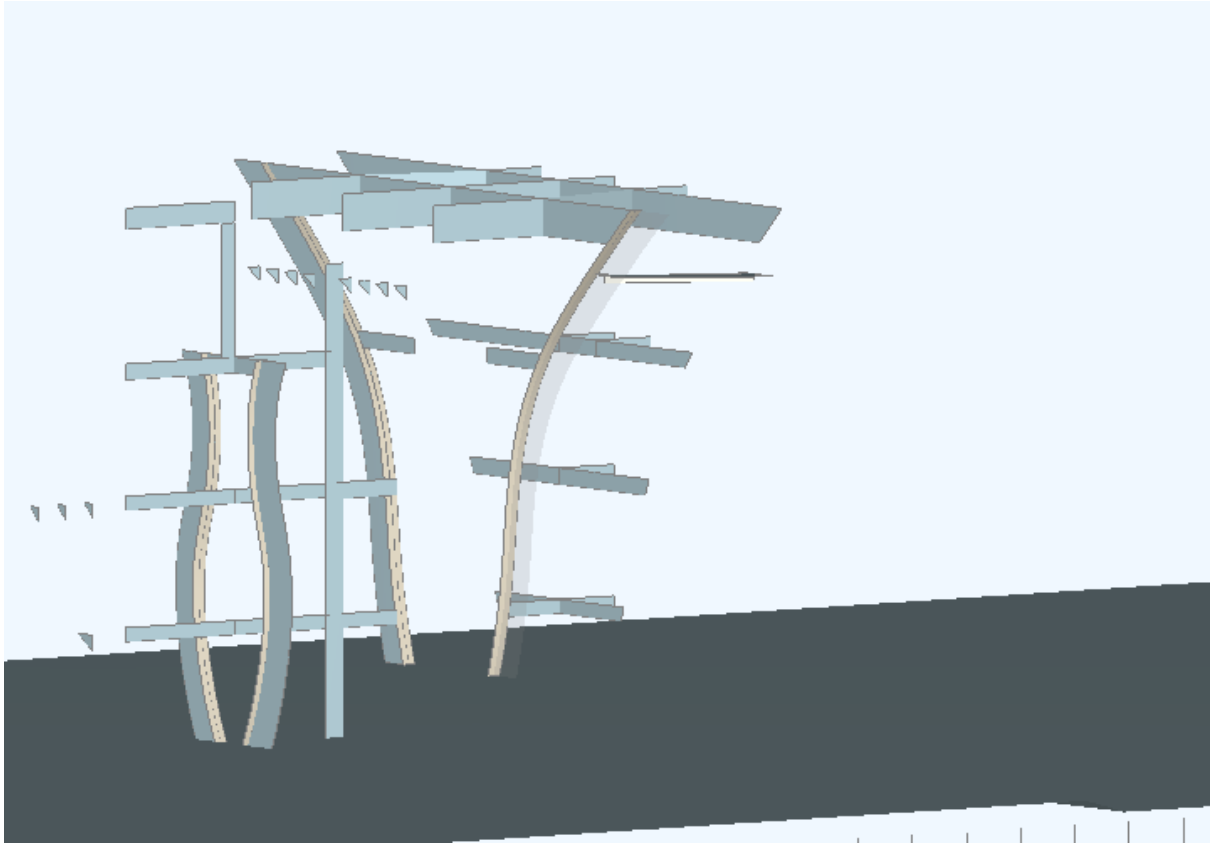
<ocx:Plate id="ID536" ocx:GUIDRef="{4B20CDCC-D8CE-4DDB-B21F-203DCB7A6F32}">
  <ocx:PhysicalProperties>
    <ocx:DryWeight numericvalue="79.181849883551536" unit="u8" />
    <ocx:CenterOfGravity>
      <ocx:X numericvalue="184557.71334325935" unit="u2" />
      <ocx:Y numericvalue="0" unit="u2" />
      <ocx:Z numericvalue="5273.9097809850618" unit="u2" />
    </ocx:CenterOfGravity>
  </ocx:PhysicalProperties>
  <ocx:PlateMaterial ocx:GUIDRef="{46EACF05-A994-423F-8BF9-C78369021ECD}" ocx:refType="ocx:Material">
    <ocx:Thickness numericvalue="15" unit="u2" />
  </ocx:PlateMaterial>
  <ocx:Offset numericvalue="-7.5" unit="u2" />
  <ocx:OuterContour>
    <ocx:Line3D id="ID537">
      <ocx:StartPoint>
        <ocx:X numericvalue="185745" unit="u2" />
        <ocx:Y numericvalue="0" unit="u2" />
        <ocx:Z numericvalue="5130" unit="u2" />
      </ocx:StartPoint>
      <ocx:EndPoint>
        <ocx:X numericvalue="185745" unit="u2" />
        <ocx:Y numericvalue="0" unit="u2" />
        <ocx:Z numericvalue="5430" unit="u2" />
      </ocx:EndPoint>
    </ocx:Line3D>
  </ocx:OuterContour>
</ocx:Plate>

```

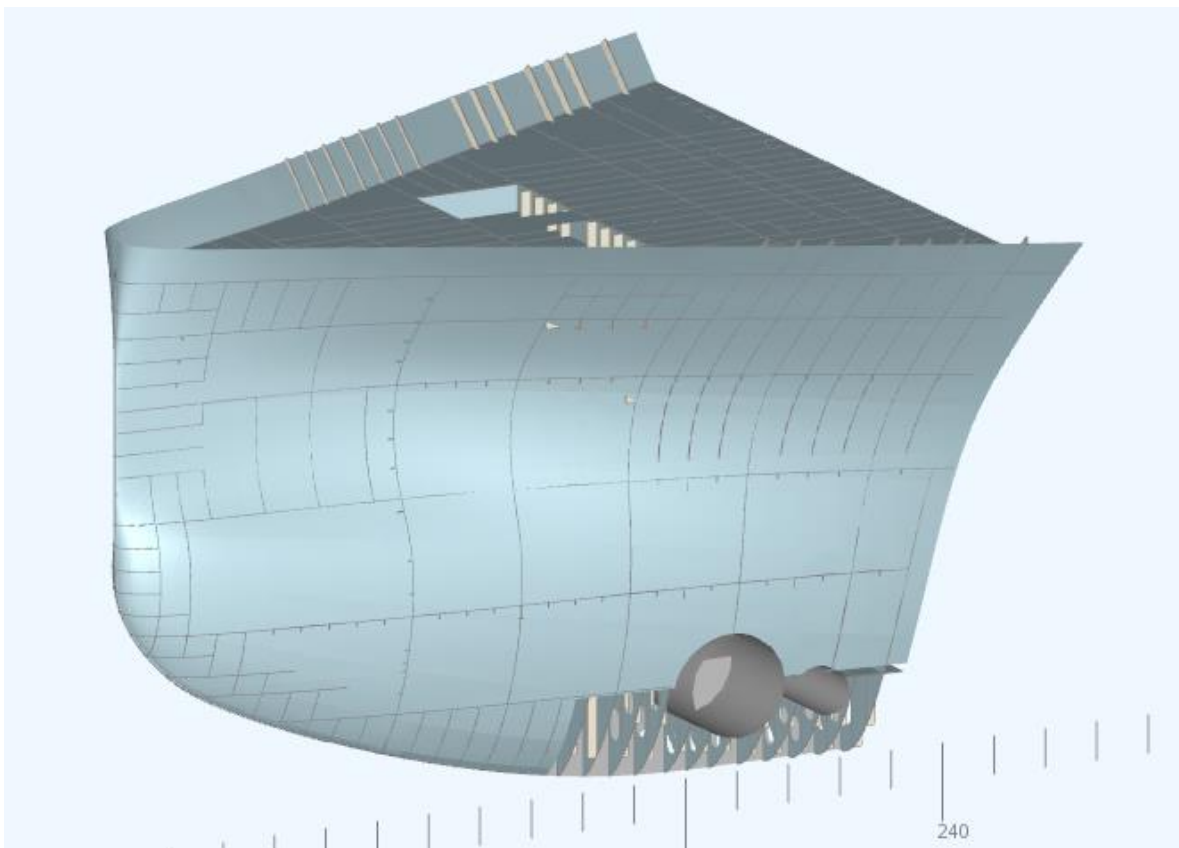
Kuva 9. Katkelma OCX-tiedostosta

Siirto ohjelmien välillä ei sujunut aivan ongelmitta. Suunnitteluohjelman puutteellinen stabiilius aiheutti ongelmia OCX-tiedoston luomisessa ja suunnitteluohjelma kaatui useaan otteeseen tiedoston muodostamisen aikana. Ohjelman kaatuminen johtui pääsääntöisesti virheistä 3D-mallin geometriassa ja paneelien referenssirajojen rikkoutumisista. Ongelmien etsiminen ja korjaaminen oli mahdollista hyödyntäen yksilöllisiä tunnisteita ja XML-formaattien ominaisuutta, jossa tiedoston kirjoittamien keskeytyy sen kohdattua virheen. Näissä tapauksissa ongelmat kyettiin ratkaisemaan etsimällä yksilöllisen tunnisteen avulla osa, joka oli viimeisimpänä mainittu OCX-tiedostossa ja tekemällä siihen tarvittavat korjaukset.

Lisäksi luodun tiedoston lukemisessa oli ongelmia Nauticus Hull -luokituslaskentaohjelmassa (Kuva 10). Suurin osa tiedoston lukemisen ongelmista hävisi DNV:n tarjoaman kehitysversion myötä. Kuvassa 11 on esitetty OCX-tiedostolla siirretty malli Nauticus Hull -luokituslaskentaohjelman kehitysversiossa. Kehitysversiossa ilmeni myös pieniä ongelmia geometrian ja attribuuttien siirrossa. Kuvasta voidaan havaita, että kölin läheisyydessä olevat laita-paneelit eivät ole siirtyneet luokituslaskentaohjelmaan. Tiedonsiirrossa ilmenneiden ongelmien alkuperät tulee selvittää, jotta osapuolten on mahdollista kehittää omaa toimintaa ja käytäntöjään vastaamaan paremmin mallipohjaisen luokitusprosessin tarpeisiin.



Kuva 10. Ongelmat geometrian siirtämisessä



Kuva 11. Keulalaiva Nauticus Hull -Luokituslaskentaohjelmassa

Muutosten seuranta on mahdollista yksilöllisten tunnisteiden avulla. Tunnisteet ovat pysyviä ja niiden avulla tiedoston rakennetta on mahdollista vertailla edellisiin versioihin ja tarkastaa, onko yksilöllisen tunnisteiden alla oleviin tietoihin tullut muutoksia, vai onko koko osa poistettu tunnisteiden kanssa. Kuten luvussa 2.3.1 mainittiin, muutosten hallinta ja niiden seuranta on yksi XML-pohjaisten merkintäkielien ja sillä muodostettujen tiedostojen vahvuuksia ja tästä johtuen se soveltuu tämän kaltaiseen tehtävään hyvin.

Mallintamisen aikana havaittiin mahdollisia ongelmia, jotka olisi hyvä ottaa huomioon ennen kuin mallintamisesta siirrytään luokitusprosessiin. Esimerkiksi osien splittaamisella (isomman paneelin jakaminen kahteen pienempään paneeliin) mallin siirtämisen jälkeen muodostuu kaksi uutta osaa uusilla tunnisteilla, vaikka ainoa todellinen muutos olisi uusi muodostunut sauma paneelien välille. Muutosten seuranta hankaloituu huomattavasti, mikäli osien splittaamista tehdään kesken luokitusprosessin.

Mallin täytyy olla saavuttanut tietty kypsyyssaste, jotta siirto voidaan suorittaa tehokkaasti. Muutoin on vaarana, että mallia joudutaan muokkaamaan läpi eri prosessien. Mallin informaation lisääminen ja muokkaaminen tekee eri työvaiheissa käytettävistä malleista irrallisia ja heikentää tuotteen mallipohjaista määritystä. Haluttu ja vaadittu tarkkuus tulee sopia sidosryhmien välillä ennen projektia, jotta työ etenee jouhevasti. Tutkimuksessa malliin sisällytettiin paneelien funktionaaliset ominaisuudet, materiaalityyppi ja ainevahvuudet. Tilamäärityksien pois jättäminen antoi mahdollisuuden keskittyä tarkemmin mallin luomisen ja siirron haasteisiin. Näin ollen tilajärjestysten lisääminen malliin ja niiden siirron testaaminen jätetään siihen vaiheeseen, kun mallin siirto on muulta osin saatu toimimaan onnistuneesti ja tehokkaasti.

### 3.2.1 Nauticus Hull – luokituslaskenta

Useat luokituslaitokset tarjoavat laivan luokituslaskentaan soveltuvia ohjelmia. Nauticus Hull on DNV:n kehittämä erityisesti laivan rungon luokituslaskentaan ja sääntöjen tarkistamiseen tarkoitettu ohjelma. Ohjelmaan mallinnetaan laivan päärakenteiden geometriat ja niiden ainevahvuudet. Ohjelmaan muodostetaan tämän jälkeen funktionaaliset alueet näiden välille. Funktionaalisia alueita tässä tilanteessa voivat olla esimerkiksi tankit, tilajärjestelyt ja

kansikuormat. Muodostettujen alueiden perusteella ohjelma voi määrittää rakenteiden kuormituksia ja tarkistaa niiden ainevahvuuksien riittävyttä. (DNV-Nauticus Hull, 2022)

Hyödyntäen OCX-formaattia, voidaan laivasta tehtävää 3D-mallia hyödyntää Nauticus Hull -malin muodostamiseen. Tiedosto sisältää mallinnettujen osien geometrian ja osille määritetyt funktionaaliset ominaisuudet, joiden avulla malli voidaan siirtää suunnitteluohjelmasta luokituslaskentaan soveltuvaan ohjelmaan. Ajankäytöllisesti tehokas siirtäminen vaatii, että 3D-mallin täytyy olla saavuttanut tietty kypsyyssaste ennen kuin sitä voidaan alkaa siirtää.

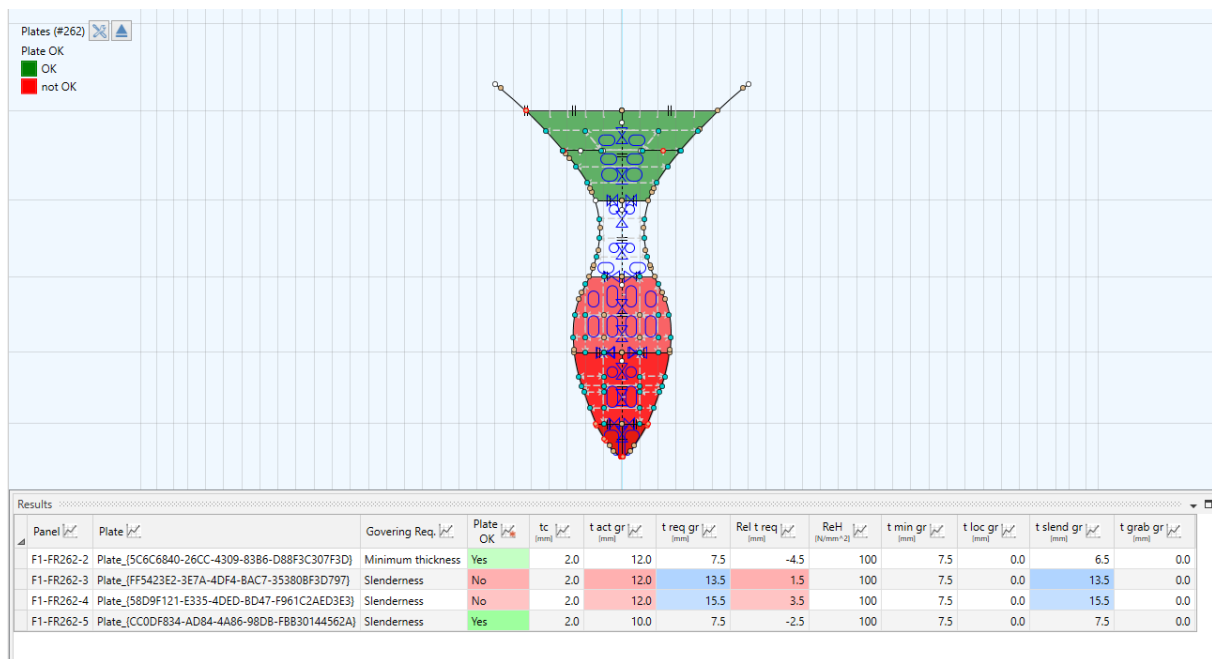
Käytettyjen ohjelmistojen kehityssasteesta johtuen mallin siirto luokituslaskentaohjelmaan ei sujunut täysin ongelmitta. Runkogeometrian siirrossa ilmeni useaan otteeseen ongelmia ja tästä johtuen osa mallin paneeleista ei siirtynyt luokituslaskentaohjelmaan. Kuvassa 12 on esitetty poikkileikkaus laivan keulassa sijaitsevasta laipiosta. Kuvasta voi havaita selvästi ulomman geometrian hajonneen ja tästä johtuen ohjelma ei ole kyennyt luomaan kaikkia levyjä laipioon. Tämän kaltaiset ongelmat pahimmassa tapauksessa estivät koko leikkauksen muodostamisen luokituslaskentaohjelmaan. Ongelmat toistuivat useassa kohtaa keulalaivaa ja tästä johtuen AVEVA:sta siirretyn OCX-tiedoston hyödyntäminen tehokkaasti luokituslaskennassa oli hyvin haastavaa, ellei mahdotonta. Virheiden korjaaminen oli aikaa vievää ja täten heikensi mallipohjaisen luokitusprosessin tärkeintä tavoitetta: ajan säästämistä. Esiintyneet ongelmat on tiedostettu ja ohjelmistojen tarjoajat työskentelevät korjatakseen niitä.



Kuva 12. Poikkileikkaus Nauticus Hull - Ongelma geometrian lukemisessa

Ilman ongelmia geometrian muodostamisessa, luokituslaskenta olisi potentiaalisesti hyvin nopeaa tehdä OCX-tiedoston pohjalta. Tankkien ja alueiden määrittäminen on hyvin nopeaa valmiiden laipioiden, laidan ja kansien pohjalta, ja tulevaisuudessa tankkien ja alueiden tiedot on mahdollista sisällyttää tarvittaessa OCX-tiedoston sisälle. Luokituslaskenta antoi positiivisia viitteitä formaatin potentiaalista. Tämä oli havaittavissa poikkileikkauksista, joissa valtaosa levyistä ja jäykisteistä siirtyi ilman ongelmia ja silloin tarkistaminen onnistui muutamalla napin painalluksella.

Lopputuloksena luotua 3D-mallia hyödyntäen, saadaan luokituslaskenta vaivattomasti suoritettua. Kuvasta 13 voidaan havaita punaisella levyt, joiden minimipaksuus ei täytä luokituslaitoksen asettamia vaatimuksilla. Nämä levyt tulisi korjata suunnitteluohjelman puolella vastaamaan luokituslaitoksen asettamia minimipaksuusvaatimuksia ja tämän jälkeen ajaa 3D-mallista uusi OCX-tiedosto. Kyseisessä leikkauksessa on havaittavissa myös edellä mainitut ongelmat levyjen siirrossa. Yksi neljästä levystä ei ole muodostunut ja täten tämän osan luokituslaskenta ei ole mahdollista. Levy on kuvassa poikkileikkauksen kapeimmassa kohdassa.



Kuva 13. Poikkitaian laipion luokituslaskenta

Poikkilaipioiden luokituslaskemien on suhteellisen uusi ominaisuus luokitusohjelmissa ja näin ollen siinä havaittavat ongelmat voisivat johtua myös sen käyttämisestä. Ongelmat kuitenkin jatkuivat myös välikaarileikkauksien kohdalla ja tämä indikoi ongelmien johtuvan todellakin keulalaivan laidan geometriassa havaituista ongelmista. Näiden manuaalisesti rakennettujen kaarileikkauksien avulla laivan luokituslaskenta on suoritettu vanhan luokitusprosessin mukaisesti. Kuvassa 14 on esitetty keulalaivan kaarileikkaus, josta voidaan havaita saman kaltaiset ongelmat kuin poikkilaipion kohdalla. Muutama kansilevy ei ole säilyttänyt materiaalipaksuuttaan ja kölin lähellä oleva laidoitus ei ole muodostunut. Lisäksi laippojen siirtymisessä ilmeni jatkuvasti ongelmia. Nämä ongelmat estivät mallin suoran

hyödyntämisen luokituslaskentaan ja niiden korjaamiseen kuluva aika olisi heikentänyt huomattavasti suunniteltuja ajansäästöjä.



Kuva 14. Poikkileikkaus keulaivasta - Nauticus Hull

Tulevaisuudessa OCX-formaatin hyödyntäminen tehokkaasti luokituslaskennassa vaatisi tiedonsiirrossa suunnitteluohjelman ja luokituslaskentaohjelman välillä ilmenneiden ongelmien ratkaisua. Myös mallinnuskäytäntöjä tulee kehittää ja päivittää vastaamaan mallipohjaisen luokittamisen asettamiin vaateisiin. Mallinnuskäytäntöjen kehittämisen lisäksi suunnittelusta vastaavan osapuolen on tarkasteltava omaa suunnitteluohjelmistojen kirjastoaan ja tarkastella niiden yhteensopivuutta. Ideaalitulanteessa mallipohjaisessa suunnittelussa olisi käytössä vain yksi päämalli, jota jatkokäyttäjät voisivat hyödyntää. Tämän kaltaisen ratkaisun saavuttaminen voi olla suurissa projekteissa haastavaa, koska suunnitteluohjelmien vahvuudet ovat jakautuneet laivansuunnittelussa eri osa-alueille.

Mallinnuskäytäntöjen kehittäminen keskittyisi tässä tapauksessa tavoiteltavan tarkkuusasteen muutoksiin. Mahdollisuus näyttää vain tärkeimmät ja luokituslaitoksen hyväksyntää

tarvittavat rakenteet 2D-piirustuksissa on mahdollistanut mallin informaation rajaamisen halutulle tasolle. Mallipohjaisessa luokittamisessa hyväksyntäprosessiin toimitetaan koko alueen malli. Tämän johdosta toimitettavan malli voi sisältää myös sellaisia alueita, joita ei 2D-piirustusten muodossa olisi toimitettu. Näiden alueiden huomioiminen tulee sopia luokituslaitoksen kanssa ja muokata mallinnuskäytäntöjä vastaamaan paremmin mallipohjaisen luokitusprosessin tarpeeseen.

Kehitysprojekti suoritettiin samanaikaisesti kaupallisen projektin kanssa ja tämä avasi mahdollisuuden vertailulle uuden ja vanhan luokitustavan välillä. Valitettavasti kehitysprojektin aikana ilmenneiden ongelmien takia kahden eri prosessin vertaileminen toisiinsa oli erittäin haastavaa. Mallintamisessa ja siirrossa ilmenneiden ongelmien ratkaisemisen jälkeen olisi mahdollista tarkastella mallipohjaisesta luokittamisesta saavutettavia ajallisia hyötyjä tarkemmin. Tällä hetkellä siirretyn mallin hyödyntämien luokituslaskennassa ja luokan hyväksynnän hakemisessa piirustuksille ei ole tehokasta.

Vaikka mallin hyödyntäminen tässä hetkessä ei ole tehokasta tai kannattavaa, kehitysprojektin aikana esiin tulleet ongelmat auttavat osapuolia kehittämään omaa toimintaansa vastaamaan mallipohjaisen luokitusprosessin vaatimuksia. Tästä syystä projektia on hyvä jatkaa ja luokituslaskennan jälkeen lähettää mallin luokituslaitoksen hyväksyttäväksi, vaikka mallin virheet ja ongelmat ovat jo entuudestaan tiedossa.

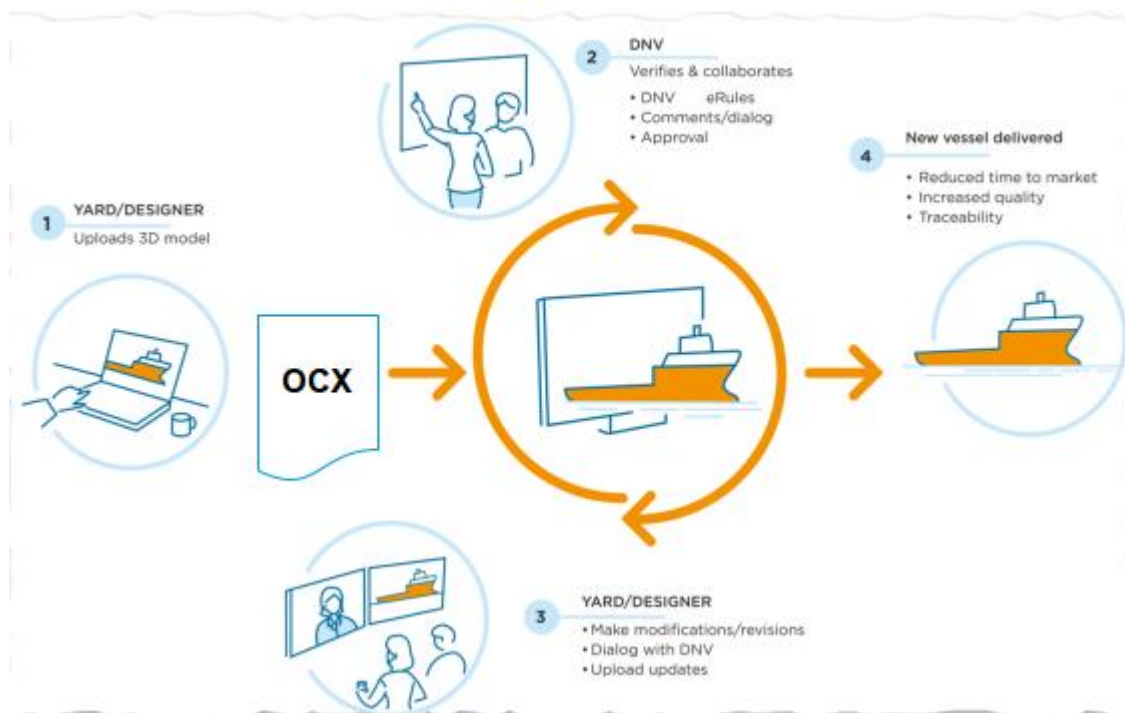
### 3.2.2 Mallin luokittaminen, kommentointi ja hyväksyntä

Kun luokituslaskennan kriteereihin on vastattu, malli voidaan lähettää luokituslaitokselle hyväksyttäväksi. Tässä tapauksessa oli tiedossa jo entuudestaan, että toimitettavassa mallissa on virheitä, jotka tulevat todellisessa tilanteessa johtamaan mallin kommentointiin ja hylkäämiseen. Ohjelmien asettamat rajoitteet ovat kuitenkin kaikkien osapuolten tiedossa ja tarkoituksena olikin ainoastaan testata prosessin ja ohjelmien toimivuutta, jotta niiden mahdolliset käyttöönottoon liittyvät ongelmat voitaisiin tunnistaa.

Mallipohjaisessa luokitusprosessia ideana on, että suunnittelusta vastaava osapuoli toimittaa OCX-tiedoston luokituslaitokselle. Kuvassa 15 on esitetty DNV:n mallipohjaisen luokitusprosessin tavoiteltu kulku. Kuvasta voidaan havaita, että luokituslaitoksen saatua mallin, se tarkistaa ja kommentoi tiedoston sisältämää mallia. Tiedosto palautetaan sen jälkeen suunnittelusta vastanneen osapuolelle. Tarkastetun tiedoston ja kommenttien

läpikäytiin on tarkoitus käyttää verkkopohjaista katseluohjelmaa, jonka avulla eri osapuolten on mahdollista tarkastella mallia ilman kalliita ja raskaita suunnitteluohjelmistoja. DNV on kehittänyt *Sesam Insight* -ohjelman, joka on tarkoitettu juuri mallin visualisointiin ja jakamiseen. Verkkopohjainen katseluohjelma mahdollistaa myös mallin läpikäymisen laivan tilaan kanssa.

## 3D model as design verification



Kuva 15. 3D-Approval prosessi (DNV, 2022)

Yhden kysymyksen prosessista muodostaa muutoksien hallinta ja päivitetyn 3D-mallin revisiointi. Mallipohjaisessa luokitusprosessissa tulisi ottaa huomioon, miten muutokset merkataan piirustuksiin ja miten niitä käsitellään. OCX-tiedostoon on mahdollista sisällyttää tiedot muutoksista yksilöllisen tunnisteiden avulla. Muutosten tarkasteluun ja merkkaukseen täytyy sopia yhteiset universaalit toimintakäytännöt, jotta prosessi säilyy helposti seurattavana. Tarkastettavien alueiden laajuudet ja koot tulee sopia luokituslaitoksen kanssa etukäteen, jotta sujuva luokitusprosessi onnistuisi. Yksi vaihtoehto olisi sopia siirtymäaika, jolloin on mahdollista testata erinäisiä tapoja mallin kommentointiin ja hyväksyntään. Tämän

jälkeen voidaan tarkastella eri toimintatapojen vahvuuksia ja heikkouksia ja tämän perusteella valita niistä yleisesti käyttöön otettava toimintatapa.

2D-piirustusten kanssa päivitettyjen osien revisiointi piirustuksissa on tehty selväksi käyttämällä pilviä osoittamaan eri revisioiden välillä olevia muutoksia. Tämä on ollut universaali tapa osoittaa päivitetyn piirustuksen muuttuneet osat. 3D-mallissa osoitetuille muutoksille tulee myös sopia universaali tapa, joilla mallissa tapahtuvia muutoksia indikoidaan. Muutoin voi olla vaarana, että mallipohjaisen suunnittelun ja luokittamisen on haastavaa saavuttaa yleistä asemaa osana laivan suunnittelua.

Mahdollisuus ja tuki myös sisäisen tarkastuksen järjestämiseen mallipohjaisessa suunnittelussa tulee huomioida. Sisäinen tarkastaminen on perustunut samojen 2D-piirustusten tarkistamiseen, mitä ollaan toimittamassa luokituslaitokselle hyväksyttäväksi. Näiden 2D-piirustusten tarkistamiseen on myös ollut mahdollista hyödyntää olemassa olevaa 3D-mallia. Uuden mallipohjaisen luokitusprosessin myötä sisäinen tarkistus tulee myös suorittaa 3D-malliin. Siksi on tarpeellista kehittää toimintatapoja ja ohjelmia vastaamaan 3D-malliin perustuvaa sisäistä tarkistusta. Sisäisten kommenttien lisäämien mallin määrittämiseen ei ole ideaali tilanne. Sisäiset kommentit tulisi vähintäänkin OCX-siirron aikana erottaa mallista, jotta ne eivät siirtyisi luokituslaitokselle tai tilaajalle.

Tulevaisuudessa mallin kommentointiin, hyväksyntään ja jakamiseen jatkokäyttäjille tulisi järjestää lisää testausta. Lisäksi tulee sopia niin mallin jatkokäyttäjien kuin luokituslaitoksen kanssa universaaleista toimintatavoista, joilla malliin sisällytetyt kommentit ja informaatio siirrettäisiin eteenpäin. Tässä työssä mallin kommentointi jätettiin pienemmälle huomiolle, koska mallintamisessa ja luokituslaskennassa ilmeni ongelmia mallin geometrian siirrossa.

## 4 Tulokset

Kehitysprojektin aikana tutustuttiin mallipohjaisen luokitusprosessin mahdollisuuksiin ja haasteisiin. Tutkimuskysymysten mukaisesti työssä etsittiin vastauksia siihen, miten runkosuunnittelua voitaisiin kehittää mallipohjaisen luokitusprosessin ja OCX-formaatin avulla. Samalla työssä oli tarkoituksena osoittaa mallipohjaisessa luokitusprosessissa käytettävän OCX-formaatin erot muihin yleisesti käytössä oleviin tiedonsiirtoon soveltuviin formaatteihin. Tutkimuksen aikana oli myös tarkoitus löytää mahdolliset ongelmat ja esteet OCX-formaatin hyödyntämisessä runkosuunnittelussa. Uuden mallipohjaisen luokitusprosessin piti oletettavasti tehostaa luokitusprosessin ajankäyttöä ja samalla vähentää päällekkäistä mallinnustyötä.

Työn ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä etsittiin vastausta siihen, voidaanko luokitusprosessia kehittää mallipohjaisen luokittamisen avulla, ja kuinka Deltamarin voisi tulevaisuudessa hyödyntää tätä omassa toiminnassaan. Tapaustutkimuksen aikana selvisi, että mallipohjaisen luokitusprosessin käyttöönotossa on vielä esteitä ja sen ajallisesti tehokas käyttö ei ole vielä mahdollista yrityksen toiminnassa. Tutkimuksessa ilmenneet esteet olivat käytettyjen ohjelmien heikko stabiliteetti, ongelmat mallintamisessa ja mallin siirron aikana ilmenneet ongelmat geometrian siirrossa. Suunnitteluohjelmiston kehitysasteen johdosta tavoiteltu tarkkuus ei toteutunut projektissa ja 3D-malliin jouduttiin tekemään yksinkertaistuksia.

Saadut tulokset eivät tukeneet ennako-oletusta luokitusprosessin kehittämisestä ja tavoitelluista ajansäästöistä. Uuden prosessin tulisi suunnitelmien mukaan vähentää laivan suunnitteluprosessin aikana muodostettavien mallin irrallisuutta ja tehostaa samalla ajankäyttöä, kun mallin geometriaa voitaisiin käyttää eri työvaiheissa. Ilmenneet ongelmat johtivat siihen, että siirrettyyn geometriaan jouduttiin käsin tekemään korjauksia, minkä vuoksi sen ajallisesti tehokas hyödyntäminen oli haastavaa luokittamisessa. Tulosten vertailu vanhan prosessin kanssa on haastavaa johtuen tapaustutkimuksen aikana ilmenneistä ongelmista. Mallin siirrossa ilmenneiden ohjelmistopuolen ongelmien ratkaisun jälkeen voitaisiin vertailla uuden ja vanhan luokitusprosessin ajankäyttöä ja siinä mahdollisesti saavutettavia säästöjä tarkemmin.

Ohjelmistoista johtuvien ongelmien lisäksi tutkimuksen aikana kävi ilmi, että osapuolten tulee kehittää omia työprosessejaan vastaamaan mallipohjaisen luokittamisen tarpeita. Keskeisiä

kehityskohteita ovat mallin kommentointi ja revisiointi, sekä työvaiheiden aikataulutus projekteissa. Nykyinen toimintatapa on pitkälle optimoitu vastaamaan 2D-piirustusten lähettämisen, kommentoinnin ja hyväksynnän tarpeita. Siirrossa ilmenneiden ongelmien ratkaisun jälkeen luokitusprosessin testaaminen tulisi aloittaa laajamittaisemmin.

Luokitettavan aineiston ja materiaalin muokkaaminen vastaamaan mallipohjaisen luokittamisen asettamia mahdollisuuksia ja haasteita on hyvä ottaa tarkastelun kohteeksi.

Työssä etsittiin myös toisen tutkimuskysymyksen mukaisesti OCX-formaatin eroavaisuuksia muihin yleisesti tiedonsiirrossa käytettyihin formaatteihin. Laivateollisuuden alakohtaiset tarpeet ja tuki mallipohjaiselle suunnittelulle olivat suurimmat erot OCX-formaatin ja olemassa olevien formaattien välillä. Nämä edellä mainitut eroavaisuudet johtivat alkujaankin formaatin kehittämiseen. OCX-formaatin kyky säilyttää osien funktionaaliset ominaisuudet ja näiden välinen topologia erottivat sen muista olemassa olevista tiedonsiirrossa yleisesti käytetyistä formaateista. Lisäksi XML-merkintäkielen ominaisuudet tiedonsiirrossa ja käsittelyssä tekivät siitä otollisen valinnan tiedonsiirtoon mallipohjainen luokitusprosessissa.

Kokonaisuudessaan työssä ei saavutettu toivottuja tuloksia vaan tapaustutkimuksessa esiintyneet ongelmat estivät formaatin käytön Deltamarinin suunnittelutyössä.

Tapaustutkimuksessa saadut tulokset kuitenkin luovat pohjan tulevaisuuden tutkimus- ja kehityskohteille. Työn tavoitteena oli lisäksi selvittää mahdollisia esteitä ja ongelmia mallipohjaisen luokittamisen hyödyntämisessä yrityksen toiminnassa. Tähän tutkimuksessa löydettiin useita kohtia, ja näin ollen tutkimusta voidaan pitää hyödyllisenä. Avoimeen lähdekoodiin perustuva formaatti mahdollistaa sen käytön muissakin suunnittelu- ja luokitusympäristöissä. Muiden ohjelmien avulla testaaminen antaisi mahdollisesti selkeämmin viitteitä siitä, onko formaatissa itsessään vielä kehitettävää, vai onko kehitettävää ainoastaan ohjelmistopuolella.

## 5 Pohdinta

Työn aiheena oli tutustua mallipohjaiseen luokitusprosessiin. Aiheesta on etuudestaan kirjoitettu laajemmassa käsityksessä muutamassa eri julkaisussa, mutta AVEVA:n E3D hyödyntämisestä ei ole vielä näyttöä. Työssä kävi ilmi mahdollisia ongelmia mallipohjaisessa luokitusprosessissa. Edellisessä luvussa käsiteltyjen ongelmien ilmenemiseen johtavia syitä on lukuisia. Tapaustutkimuksessa ei pyritty laajoihin yleistyksiin tai tutkimuksen toistettavuuteen, vaan tarjoamaan kuvaus tutkimuskohteesta: mallipohjaisesta luokitusprosessista. Kuvauksen avulla on tarkoitus ymmärtää ja soveltaa aihepiirin tietoa jatkossa paremmin.

Laivateollisuus on suuri teollisuuden ala, joka on kankea kääntymään kehityksen mukana. Tästä esimerkkinä voidaan pitää sitä, että laivateollisuudessa on vielä käytössä useita kymmeniä vuosia vanhoja suunnitteluohjelmistoja. Tuotanto- ja suunnitteluprosessit on kehitetty vastaamaan tarkasti vanhojen ohjelmien asettamia vaateita. Tämän kaltaisten prosessien päivittämien uusiin voi olla kallista ja työlästä. Siksi uusien ohjelmien käyttöönotto on usein hidasta ja haastavaa.

Aikaisemmat tutkimukset ja artikkelit aiheesta ovat antaneet positiivisia viitteitä mallipohjaisen luokitusprosessin potentiaalista (DNV, 2022), (OCX-News, 2022). Aiheesta löytyvät julkaisut ovat kuitenkin tutkimukseen ja formaatin kehitykseen osallistuvien osapuolien tuottamia ja julkaisemia, joten niiden riippumattomuutta ja luotettavuutta ei voi absoluuttisesti tarkistaa. Tässä työssä käytettyjen ohjelmien käytöstä mallipohjaisessa luokitusprosessissa ei kuitenkaan ole testattu etuudestaan. Mallintamisessa ja siirrossa ilmenneiden ongelmien korjaamisen jälkeen on kuitenkin uskottavaa, että kyettäisiin saavuttamaan sama lopputulos kuin muissa aihepiirin julkaisuissa.

Formaatin kehittäminen on osa yritysten yhteistä kehitysprojektia (joint industry project, JIP) ja sen perimmäisenä tarkoituksena on tuoda eri toimialojen asiantuntemus samaan projektiin. DNV on saanut mukaan OCX-formaatin kehittämiseen arvostettuja yrityksiä niin ohjelmistontarjoajilta kuin laivansuunnitteluun erikoistuneista firmoilta (OCX-About, 2022). Sen lisäksi DNV:n selkeä tavoite päästä eroon 2D-piirustuksista ja visio miten tämä hyödyntäisi jokaista osapuolta antaa vankan perusteen uskoa, että kehitystyö tulee jatkumaan formaatin osalta.

Kuten mainittu, saavutetut tulokset eivät vastanneet työn tavoitteita. Tämä johtui enimmäkseen ohjelmistojen kehitystasosta ja siitä, että ne eivät kyenneet tarjoamaan vielä kaikkea tarvittavaa sujuvaan työprosessiin. Tämä työn pohjalta tulevaisuuden kehityskohteet tulisi suunnata ensisijaisesti ohjelmien stabiliteettien testaamiseen. Lisäksi muita tulevaisuuden kehityskohteita olisivat prosessin testaaminen muiden tarjolla olevien ohjelmien kanssa, mallin informaation lisääminen, koko laivan mittakaavassa tehtävä luokittaminen ja saman mallin hyödyntämien usean eri disipliinin toimessa. Kaikkia näitä kehitysmahdollisuuksia yhdistää suunnittelutyön ja mallipohjaisen luokitusprosessin hiominen paremmin yhteensopiviksi.

On tärkeää pohtia, mitä yritys haluaa saavuttaa tämän uuden mallipohjaisen luokitusprosessin käyttöönotolla. Selkeä tavoite ja päämäärä yrityksen toiminnan kehittämiseksi kohti mallipohjaista suunnittelua antaa jokaiselle suunnitteluosastolle selkeän lähtökohdan alkaa kehittämään oman osastonsa toimintaa. Mikäli yritys kokee oman ydintoimintansa kannalta hyödylliseksi olla mukana laivateollisuuden mallipohjaisen suunnittelun ja digitaalisen kaksosen laajamittaisessa hyödyntämisessä tulevaisuudessa, on yrityksen syytä jatkaa kehitystyötä formaatin parissa. Ennen kaikkea on yrityksen kannalta tärkeää pohtia ja selvittää, mitä OCX-formaatin käyttöönotolla halutaan saavuttaa ja miten sitä halutaan käyttää. Muuten voidaan päätyä tilanteeseen, jossa formaatin käyttö ei tue yrityksen toimintaa parhaalla mahdollisella tavalla.

Jos keskitytään ainoastaan runkosuunnittelun kehittämiseen Deltamarin Oy:n toiminnassa, tulee käytettävän suunnitteluohjelman kehittyä sille tasolle, että se kykenee vastaamaan laivan luokittamiseen vaadittavaan tasoon. Lisäksi Deltamarinin puolelta tarvitaan lisää koulutusta ja testausta ohjelmista ja OCX-formaatista. Luokituslaitokselta on toivottavaa saada myös selkeämpää ohjeistusta ja esimerkkejä tavoiteltavasta menettelytavasta laivan mallipohjaiseen luokitusprosessiin.

On myös hyvä pohtia käytettyjen ohjelmien vaikutusta saatuihin lopputuloksiin. Tässä tutkimuksessa käytettyä suunnitteluohjelmaa ei ole hyödynnetty julkisen tiedon perusteella ennen tätä kertaa mallipohjaiseen luokittamiseen. Muilla suunnitteluohjelmilla suoritettujen testaukset ovat antaneet myös positiivisia viitteitä mallipohjaisen luokitusprosessin hyödyntämisestä ja sen potentiaalista, mutta on myös muistettava, että tutkimukset eivät ole riippumattomien osapuolien julkaisemia. Yhtenevä ajatus mallipohjaisen suunnittelun ja

määrityksen hyödyntämisestä myös laivateollisuudessa puoltaa kuitenkin formaatin mahdollista laajempimittaista käyttöä tulevaisuudessa.

Kehitysprojekti suoritettiin rinnakkain perinteisellä luokitustavalla suoritettavan kaupallisen projektin kanssa. Tämä avasi mahdollisuuden hyödyntää ja vertailla näitä kahta rinnakkain etenevää projektia. Valitettavasti jo aikaisessa vaiheessa ilmenneet mallinnusongelmat kehitysprojektissa vaikeuttivat vertailua. Ongelmien takia kaksi projektia kulkeutui eri suuntiin jo aikaisessa vaiheessa työtä, ja molempien projektien tarpeiden huomioiminen kävi yhä vaikeammaksi. Tutkimus ei saavuttanut tavoiteltavia vastauksia, mutta tutkimuksen aikana löydettiin ongelmakohtia, jotka voivat estää formaatin tehokkaan hyödyntämisen projektissa. Esteet ja ongelmat avaavat uusia tutkimussuuntia mallipohjaisessa luokitusprosessissa ja mahdolliset uudet testaukset ongelmien selvittämisen jälkeen ovat aiheellisia.

Kohdatut ongelmat estivät mallipohjaisen luokittamisen hyödyntämisen yrityksen toiminnassa tällä hetkellä, mutta kohdatut ongelmat eivät vaikuttaneet laajoilta tai mahdottomilta korjata. Siksi on syytä uskoa, että kohdattujen ongelmien ratkaisun jälkeen esitetty hypoteesi suunnittelutyön tehostamisesta olisi mahdollinen ja saavutettavissa.

## 6 Yhteenveto

Laivojen luokittaminen on pitkään perustunut 2D-piirustusten lähettämiseen. Piirustukset ovat toimineet universaalina kommunikointivälineenä projektin eri osapuolien välillä. 3D-mallin tuki mallipohjaiselle määrittelylle ja suunnittelulle on avannut mahdollisuuden tallentaa yhteen malliin yhä enemmän informaatiota. Lisätty informaatio 3D-mallissa on tuonut mukanaan mahdollisuuden hyödyntää samaa mallia myös luokitusprosessissa. DNV:n kehittämä OCX-formaatti mahdollistaisi tiedonsiirron luokitukseen suunnattujen ohjelmien ja suunnitteluohjelmien välillä. Tämä avoimeen lähdekoodiin perustuva formaatti on uutta laivateollisuuden markkinoilla ja sitä ei ole testattu vielä laajemmin.

Diplomityön tavoitteena oli tutkia, kuinka runkosuunnittelua voidaan kehittää OCX-formaatin avulla. Samalla työssä oli tarkoitus avata suurimpia eroavaisuuksia olemassa oleviin tiedonsiirrossa käytössä oleviin standardoituihin formaatteihin. Lisäksi työssä keskityttiin tutkimaan mallipohjaisen luokitusprosessin ominaisuuksia ja sen hyödyntämistä Deltamarin Oy:n toiminnassa. Ennakko-oletuksena työssä oli, että mallipohjaisen luokitusprosessin pitäisi vähentää luokitusprosessin kuluvia työtunteja. Ajansäästö toteutuisi vähentämällä päällekkäistä suunnittelutyötä, kun 3D-mallin geometriaa ja mallin määrittämistä voitaisiin hyödyntää myös luokitusprosessissa.

Työssä saavutetut lopputulokset eivät vastanneet asetettuja ennako-oletuksia. OCX-formaatin hyödyntäminen Deltamarinin toiminnassa ei ole vielä mahdollista ohjelmien kehitysasteen johdosta, mutta tapaustutkimuksen aikana esiinnousseiden ongelmien ratkaisun jälkeen mahdollisuus formaatin tuomien etujen hyödyntämiseen vaikuttaa mahdolliselta. Diplomityön yksi tavoitteista oli tutkia ja etsiä mahdollisia esteitä formaatin hyödyntämisessä yrityksen toiminnassa.

Suurimmat eroavaisuudet muihin tiedonsiirrossa yleisesti käytettyihin formaatteihin muodostuivat OCX-formaatin kyvystä sisällyttää sekä mallin elinkaarena aikana tarvittava informaatio että mallin tarkka geometria tiedostoon. Sen lisäksi OCX-formaatti pystyy vastaamaan muita tiedonsiirron formaatteja paremmin laivateollisuuden ja laivan luokittamiseen vaadittavan informaation siirtämiseen.

Työn tavoitteisiin ei päästy tutkimuksen aikana ja siksi tutkimustyötä on hyvä jatkaa myös tulevaisuudessa. Kun työtä aloitettiin, oli tiedossa, että prosessi ja siinä käytettävät ohjelmat ovat vielä kehitysasteella. Ohjelmien käytettävyys ja stabiilitteetti eivät vielä vastanneet tasoa,

jolla niiden käyttö olisi kilpailukykyistä olemassa olevan prosessin haastamiseen. Laivan keulan haastava geometria tuotti ongelmia niin suunnittelun kuin OCX-siirron aikana. Ongelmia ei pystytty ratkaisemaan työn aikana ja siksi mallipohjaisen luokittamisen ja 2D-piirustuksiin perustuvan luokittamisen vertaaminen ei onnistunut toivotulla tavalla.

Aihetta tulisi tulevaisuudessa tutkia lisää sen potentiaalin ja mahdollisen sujuvan käytön saavuttamiseksi. Työssä esiin nousseiden ongelmien ratkaisemisen jälkeen tulevaisuuden tutkimukset olisi hyvä suunnata 3D-mallin kommentointiin ja sen jakamiseen mahdollisille jatkokäyttäjille.

Diplomityön tulokset jättivät useita kysymyksiä ilman vastausta, ja tutkimuksen tulosten validointi on myös erittäin haastavaa. Mallipohjaisen luokitusprosessin ja suunnitteluohjelman saavutettua riittävä kehitysaste sen käyttämiselle kaupallisessa projektissa, voitaisiin mallipohjaisen ja 2D-piirustuksiin perustuvaa luokitusprosessia tutkia tilastollisesti. Näin ollen mahdollisesta ajankäytön tehostamisesta saataisiin todisteita tukemaan väitettä.

## Lähteet

Astrup, O. C., & Cabos, C. (2017). A Model Based Approval Process for Basic Hull Design. In International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (Vol. 2017, pp. 26-28).

AVEVA. (3.5.2022). AVEVA E3D Design. <https://www.aveva.com/en/products/e3d-design/>

Axiomatic Design. (15.6.2022). About axiomatic design.  
<https://www.axiomaticdesign.org/about-axiomatic-design>

Boisson, P. (1994). Classification societies and safety at sea: Back to basics to prepare for the future. *Marine Policy*, 18(5), 363-377.

Butlin, G., & Stops, C. (1996). CAD data repair. In Proceedings of the 5th International Meshing Roundtable (pp. 7-12).

Deltamarin intranet. (13.4.2022). Tietoa Deltamarinista.

DNV. (5.1.2022). Paving the way for 3D model-based class approval.  
<https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Paving-the-way-for-3D-model-based-class-approval.html>

DNV. (2021). Rules for Classification: Ships. In Part 3: Hull, Chapter 1: General Principles, Section 5.

DnV, G. L. (2017). Rules for classification: Ships. In Part 3: Hull, Chapter 6: Hull local scantling, Section 3.

DNV-Nauticus Hull. (3.5.2022). Ship structural analysis and design -Nauticus Hull.  
<https://www.dnv.com/services/ship-structural-analysis-and-design-nauticus-hull-1061>

- Frechette, S. P., Jones, A. T., & Fischer, B. R. (2013). Strategy for testing conformance to geometric dimensioning & tolerancing standards. *Procedia CIRP*, 10, 211-215.
- Gale, P. A. (2003). The ship design process. Chapter, 5, 5-1.
- Haji-Kazemi, S., Arica, E., Semini, M., Alfnes, E., & Andersen, B. (2015). Detecting early warning signs of delays in shipbuilding projects. In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* (pp. 215-222). Springer, Cham.
- Heikniemi. (19.2.2001). Mikä on XML? <http://www.heikniemi.fi/kirj/moxml.html>
- Hormann, H. (2006). Classification societies. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 5(1), 5-16.
- Hughes, O. F. (2010). Ship structural analysis and design. Published by: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, SNAMNE, New Jersey, ISBN: 978-0-939773-78-3.
- Hulkkonen, T., Manderbacka, T., & Sugimoto, K. (2019). Digital twin for monitoring remaining fatigue life of critical hull structures. In *18th Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries (COMPIT2019)* (pp. 25-27).
- IACS. (7.4.2022). International Association of Classification Societies. <https://iacs.org.uk/>
- IMO. (7.4.2022). IMO, Frequently Asked Questions. <https://www.imo.org/en/About/Pages/FAQs.aspx>
- Microsoft. (27.4.2022) XML:n perusteet. <https://support.microsoft.com/fi-fi/office/xml-n-perusteet-a87d234d-4c2e-4409-9cbc-45e4eb857d44>
- Marjudi, S., Amran, M. M., Abdullah, K. A., Widyarto, S., Majid, N. A., & Sulaiman, R. (2010, February). A Review and Comparison of IGES and STEP. In *Proceedings Of World Academy Of Science, Engineering And Technology* (Vol. 62, pp. 1013-1017).

OCX. (3.5.2022). What distinguishes the OCX standard from other shipbuilding standards?

<https://3docx.org/what-distinguishes-the-ocx-standard-from-other-shipbuilding-standars>

OCX – News. (18.1.2022). BV, NAPA to facilitate uses of 3D model in class approval process, [https://3docx.org/news/news-detail-view?tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\\_news\\_pi1%5Bnews%5D=31&cHash=802e21f5e1fa23fd121f73c256c69e57](https://3docx.org/news/news-detail-view?tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Bnews%5D=31&cHash=802e21f5e1fa23fd121f73c256c69e57)

OCX – About (3.5.2022). The consortium. <https://3docx.org/about>

OCXwiki – The OCX Format (15.6.2022).

<https://www.ocxwiki.astrup.info/doku.php?id=start>

Okumoto, Y., Takeda, Y., Mano, M., & Okada, T. (2009). Design of ship hull structures: a practical guide for engineers. Springer Science & Business Media.

Papanikolaou, A. (2010). Holistic ship design optimization. *Computer-Aided Design*, 42(11), 1028-1044.

Quintana, V., Rivest, L., Pellerin, R., Venne, F., & Kheddouci, F. (2010). Will Model-based Definition replace engineering drawings throughout the product lifecycle? A global perspective from aerospace industry. *Computers in industry*, 61(5), 497-508.

Rander Manufacturing. (16.9.2019). IGES vs. STEP

<https://randrmanufacturing.com/blog/iges-vs-step/>

Salminen, T (15.6.2022). Henkilökohtainen tiedonanto

Salonen, T., & Sääsäki, J. (2005). Tuotetietostandardien käyttö tuotannossa. Espoo: VTT.

W3C. (13.4.2022). XML Essentials. <https://www.w3.org/standards/xml/core>