

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Meritekniikka

2022

Oskari Kirjavainen

PCTC-aluksen laidoituksen suunnittelu

– Laivan runkosuunnittelu



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikka | Meritekniikka

2022 | 65

Ohjaajat: Jaakko Rinne (Deltamarin Oy), Toni Salminen (Deltamarin Oy), Lauri Kosomaa (Turku AMK)

Oskari Kirjavainen

PCTC-aluksen laidoituksen suunnittelu

- Laivan runkosuunnittelu

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia ohjeistus uusille ja kokemattomille Deltamarin Oy:n laidoitussuunnittelijoille. Työssä kerrotaan mitä suunnittelijan pitää ottaa perussuunniteluvaiheessa huomioon PCTC-aluksen laidoituksen suunnittelussa ja laidoituksen suunnittelussa ylipäätään. Työssä käsitellään myös, millaista hyvä laidoitussuunnittelu on. Opinnäytetyössä käsitellään sekä PCTC-alusta, että ro-ro-alusta laivatyyppeinä, koska alukset kuuluvat samaan kategoriaan.

Työ suoritettiin Deltamarin Oy:n toimeksiantona, koska yrityksessä suunnitellaan pitkästä ajasta PCTC-alusta, ja siihen liittyen tarvittiin ohjeet uusille laidoitussuunnittelijoille.

Asiasanat:

Laidoitus, Laita, Laivanrakennus, PCTC-alus

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical and Production Engineering | Naval Architecture and Marine Engineering

2022 | 65

Instructors: Jaakko Rinne (Deltamarin Ltd), Toni Salminen (Deltamarin Ltd), Lauri Kosomaa (Turku University of Applied Sciences)

Oskari Kirjavainen

Curved Shell Design of a PCTC carrier

- Hull Design of the ship

The purpose of this thesis was to provide information about curved shell design for new and inexperienced ship designers who have recently started working for Deltamarin Ltd. on curved shell design. This thesis tells the new designer what should be considered in curved shell design in the basic design phase. Also, the tested and proved to be reliable ways of curved shell designing were handled. Both PCTC and Roll on – roll off vessels are presented, because they belong to the same category, and that helps understand what kind of a vessel the PCTC carrier is. This thesis was commissioned by Deltamarin Ltd.

In this thesis the role of the classification society to curved shell design, and the rules of the Finnish Transport Safety Agency are explained, as well as how these rules affect the curved shell design. Also, the effect of the ice classification is presented. Short instructions about using the AVEVA Marine Curved Hull program were made to help understand the actual design job better.

Keywords:

Shell Plating, Shell, Shipbuilding, PCTC vessel

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	8
1 Johdanto	10
1.1 Opinnäytetyön tavoitteet	10
1.2 Deltamarin Oy	11
2 PCTC-alus	12
2.1 PCTC-alus laivatyyppinä	13
2.2 Ro/ro-alus	13
3 Laidoitus	15
3.1 Perusteet	15
3.2 Kaarijärjestelmät	16
3.3 Poikittaislaipiot	18
3.3.1 Peräsinsoppilaipio	18
3.3.2 Konehuoneen keulalaipio (perälaivakonehuone)	18
3.3.3 Yhteentörmäyslaipio	19
3.4 Jääluokat	19
3.5 Jääluokkasyväys	20
3.6 Jääkaaret	20
3.7 Jäävyöalueet	22
3.7.1 Keula-alue	24
3.7.2 Keski-laiva-alue	24
3.7.3 Peräalue	24
3.8 Muut vahvistettavat osa-alueet	26
3.9 Levyn paksuus jäävyöhykkeessä	27
3.10 Yleistä kaarituksesta	29
3.10.1 Kaarten liittäminen kantaviin rakenteisiin	29
3.10.2 Kaarten tuenta epävakauden ja erityisesti kaatumisen varalta	29
3.11 Keula	30
3.12 Perä	31

4 PCTC-aluksen laidoituksen suunnittelussa huomioitavia asioita	32
4.1 Laivan portit ja rampit	34
4.2 Laitasuojaus	35
4.3 Klyysi ja klyysiputki	37
4.4 Rakenteellinen korroosiosuojelu	38
4.5 Pallekölit	39
4.6 Aukot laidoituksessa	40
5 Laidoituksen suunnittelu	41
6 Mallinnusohjelmistot	43
7 Saumoitus	44
7.1 Esimerkki saumojen luonnista AVEVA Marinella	45
7.2 Esimerkki saumojen nimeämisestä	48
8 Laitalevyt	49
8.1 Esimerkki laitalevyjen luonnista AVEVA Marinella	50
8.2 Laitalevyjen nimeäminen	51
9 Esimerkki laitaprofiilien luonnista AVEVA Marinella.	53
9.1 Profiilin nimeäminen	56
9.1.1 Poikittaiset profiilit (Transversals)	56
9.1.2 Pitkittäiset profiilit (Longitudinals)	57
9.2 Laitaprofiilien katkaisu	57
10 Levityskuva laidoituksesta	60
11 Yhteenveto	63
Lähteet	64

Kuvat

Kuva 1. Esimerkkikuva PCTC-aluksesta (Höegh Autoliners 2022b).	12
Kuva 2. Esimerkkikuva ro/ro-aluksesta (Pixabay.com 2022).	14
Kuva 3. Jääluokan syväysmerkinnät (DNV 2021).	23
Kuva 4. Jäävyöalueet ja niiden mitoitus.	23
Kuva 5. Rungon jäävahvistetut alueet (Trafi 2021).	27
Kuva 6. Pitkittäis- ja poikittaiskaarituksen vertailu (Peltola 2013).	28
Kuva 7. Esimerkkejä asianmukaisista keuloista (Trafi 2021).	30
Kuva 8. Esimerkkikuva vesitiiviistä laipiosta.	33
Kuva 9. Valuma-aukot ja esimerkki ei vesitiiviistä laipiosta.	34
Kuva 10. Sivuportti / -ramppi ja laitasuojat.	34
Kuva 11. Laivan peräramppi.	35
Kuva 12. Laitasuojan sisärakenteet.	36
Kuva 13. Klyysi ja klyysiputki.	37
Kuva 14. Klyysien paikat keulassa.	38
Kuva 15. Kuvakaappaus laidoituksesta.	52
Kuva 16. Poikkileikkaus bulbiraudasta.	56
Kuva 17. Laidoitus profiilien katkaisun jälkeen.	59
Kuva 18. Laidoituksen levityskuva, keskilaivan alue, S-puoli.	60
Kuva 19. Tarkempi kuva laidoituksen levityskuvasta.	61
Kuva 20. Esimerkki profiilien merkitsemisestä piirustukseen.	61
Kuva 21. Esimerkki laidoituksen levityskuvasta.	62

Kuviot

Kuvio 1. Create Seam/Butt.	45
Kuvio 2. Type of Shell Curve.	46
Kuvio 3. Type of Plane.	46

Kuvio 4. Principal Plane.	47
Kuvio 5. Seam or Butt.	47
Kuvio 6. Number of Plates to Develop.	50
Kuvio 7. Create Shell Plate.	51
Kuvio 8. Create shell profile.	53
Kuvio 9. Type of Shell Curve.	54
Kuvio 10. Principal Plane.	54
Kuvio 11. Shell Profile.	55
Kuvio 12. Splitting Object.	58

Taulukot

Taulukko 1. Kylmään ilmastoon liittyvä lisäluokkamerkintä (DNV 2021).	21
Taulukko 2. Jään paksuus (DNV 2021; Trafi 2021).	25
Taulukko 3. Laidoituksen (laitalevyjen) jäävahvistuksen (jäävyöhykkeen) ulottuvuus pystysuunnassa (DNV 2021; Trafi 2021).	25
Taulukko 4. Kaarten jäävahvistuksen pystysuora ulottuvuus (DNV 2021; Trafi 2021).	25
Taulukko 5. Korroosiolisä (Räisänen 2000, 29–5).	39

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

AVEVA Marine	Suunnitteluohjelmisto
BL	Perusviiva (Base Line)
BV	Luokituslaitos Bureau Veritas
C _B	Aluksen uppouman täyteläisyyskerroin (Block Coefficient)
CEU	Kuljetuskapasiteetti (Car Equivalent Unit)
CL	Keskiviiva (Center Line)
DNV	Luokituslaitos Det Norske Veritas
Jäykiste	Kannessa, laipiossa tai jäykkääjässä oleva profiili (Stiffener)
Jäykkääjä	Kansissa tai laipioissa oleva jäykkääjä, joka voi myös kannattaa jäykisteitä (Girder)
Jääkaari	Laitakaarien välissä laidoituslevyssä sijaitseva profiili (Intermediate frame)
Kehyskaari	Laivan poikittainen tukirakenne kannessa tai laipiossa (Web frame)
Klyysi	Vaijerin, köyden tai kettingin läpivientisilmäke tai ohjain laivan partaassa
Laitalongi	Laidoituslevyssä oleva pituussuuntainen profiili (Longitudinal frame)
Kaari	Laidoituslevyssä oleva poikittaissuuntainen profiili (Transversal frame)
Laitakaari	Laidoituslevyssä oleva pituus- tai poikittaissuuntainen profiili (Sill profile)
Laipio	Laivan vertikaalisuunnassa oleva pitkittäinen tai poikittainen rakenne (Bulkhead)

LCB	Aluksen vedenalaisen tilavuuden keskipisteen etäisyys peräperpendikkelistä (Longitudinal Centre of Buoyancy)
LIWL	Alempi jäävesiviiva (Lower Ice Water Line)
Notsi	Lovi, lovistus (Notch)
Palle	Aluksen pohja- ja sivulaidoituksen välissä oleva kaareva osa
Parras	Aluksen kannen yläpuolinen laita; kyljen jatke, reelinki
PCTC	Autonkuljetusalus (Pure Car and Truck Carrier)
Ro/ro	Autolautta (Roll on – roll off)
Polvio	Vahvikerauta, joka tulee rakenteiden risteyskohtaan (Bracket)
UIWL	Ylempi jäävesiviiva (Upper Ice Water Line)
Valoventtiili	Pyöreä tai ovaalin mallinen aukko, jonka koko saa olla enintään 0,16 m ² (Side scuttle)

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä PCTC-alukseen ja laivan laidoitukseen siinä määrin, että työstä selviäisi, mikä on PCTC-alus ja mitä laidoitus tarkoittaa, mistä laidoitus koostuu ja mitä asioita pitää ottaa huomioon laidoitusta suunniteltaessa, sekä mitkä asiat täytyy huomioida PCTC-aluksen laidoituksen suunnittelussa. Opinnäytetyö tehtiin Deltamarinin Turun toimiston runko-osaston toimeksiantona, koska osastolla huomattiin, että PCTC-aluksen laidoituksen suunnitteluun tarvitaan ohjeet. Ohjeiden tavoitteena on, että kokematon laidoitussuunnittelija saa käsityksen siitä, mitkä tekijät vaikuttavat laidoituksen suunnitteluun ja mitä lisävaatimuksia tietty alustyyppi asettaa laidoituksen suunnitteluun.

Työssä tutkitaan aluksi laidoituksen peruskäsitteitä ja sen suunnitteluun vaikuttavia asioita, sekä luokituslaitoksen vaikutusta laidoituksen suunnitteluun ja myös jääkaarien vaikutusta laidoituksen suunnitteluun. Työssä käsitellään myös perän ja keulan alueilla huomioitavat asiat laidoitusta suunniteltaessa. Tämän jälkeen tutkitaan, minkälaista on hyvä laidoituksen suunnittelu ja minkälaiset suunnittelutavat ovat toimivia. Työssä kerrotaan myös lyhyesti, miten laidoitustyötä tehdään AVEVA Marinen Curved Hull -ohjelmalla.

Työssä käsitellään myös PCTC-alusta alustyyppinä ja samalla perehdytään lyhyesti myös Ro/ro-alukseen, koska alustyyppit kuuluvat periaatteessa samaan kategoriaan. Alustyyppien käsittelyssä tutkitaan alusten ominaispiirteiden vaikutusta laidoituksen suunnitteluun. Keskeisimmin laidoituksen suunnitteluun näissä alustyypeissä vaikuttavat laidassa olevat rampit ja portit, joiden kautta alusten lastaaminen ja purkaminen tapahtuvat.

1.2 Deltamarin Oy

Deltamarin Group on vuonna 1990 perustettu meriteknisen alan suunnittelu-, konsultointi- ja rakentamisen tukipalveluja tarjoava yritys, jonka pääkonttori sijaitsee Turussa. Referenssejä on jo vuodesta 1984. Yrityksellä on Suomessa Turun lisäksi kaksi sivukonttoria Helsingissä ja Raumalla, Puolassa Gdanskissa ja Kiinassa Shanghaissa. Lisäksi Deltamarin Group:iin kuuluu yhteisyritys Brodoplan d.o.o. (Kroatia). (Deltamarin intranet 2022.)

Deltamarinin emoyhtiö on China Merchant Groupiin kuuluva singaporelainen Wing Hing Ship Investment Ltd (aiemmalta nimeltään AVIC International Maritime Holdings Limited), joka omistaa yrityksestä 79,57 %. Loput 20,43 % on yrityksen johdon omistaman DM Holding Oy:n hallinnassa. (Deltamarin intranet 2022.)

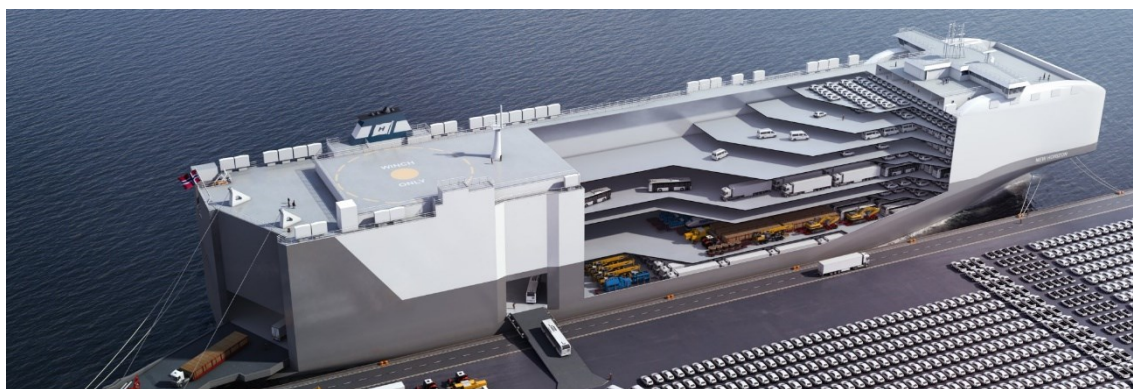
Yritys työllistää noin 400 työntekijää eri puolilla Eurooppaa ja Aasiaa. Vuonna 2018 Suomen toimipisteissä työskenteli 236 henkilöä, eli valtaosa kaikista yrityksen työntekijöistä. (Deltamarin intranet 2022.)

Deltamarinin toimitusjohtajana on vuodesta 2017 lähtien toiminut Janne Uotila. Konsernin liikevaihto oli 42,6 miljoonaa euroa vuonna 2019. Suurimmat kustannuserät ovat henkilöstön palkat, toimitilojen vuokrat ja muut niihin liittyvät kulut, työvälineet kuten tietokoneet ja serverit sekä muut ohjelmistot ja matkakulut. (Deltamarin intranet 2022.)

2 PCTC-alus

PCTC-alus, eli Pure Car and Truck Carrier on kaikenlaisten ajoneuvojen, kuten henkilöautojen ja kuorma-autojen, sekä maatalouskoneiden ja raskaiden rakennuskoneiden kuljettamiseen tarkoitettu eräänlainen ro/ro-alus (roll on – roll off). Tyypillisesti PCTC-aluksessa on kaksi porttia / ramppia, joiden kautta lastaus ja purku tapahtuvat. Portit voivat sijaita perässä, sivulla tai keulassa ja ne on sijoitettu siten, että lastaaminen ja purkaminen sujuvat mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti. Pyörillä liikkuvia lasteja varten aluksen sisällä on myös kiinteitä ramppeja, liikuteltavia ramppeja ja nostotasoja, joita pitkin lastin voi ajaa eri kansille. Aluksen autokansien korkeutta voidaan säätää. (Logistics Glossary 2022; Marine Insight 2019; Martide Seafarer Blog 2022a; Wärtsilä 2022a.)

Kuvassa 1 nähdään havainnekuva siitä, miltä PCTC-alus näyttää ja mitä sen sisältä löytyy. Kuvassa näkyy kansirakennuksen hyvin kulmikas ja laatikkomainen muoto ja tämän lisäksi nähdään selvästi, miten aluksen lastaus ja purkaminen tapahtuvat aluksen omien porttien ja ramppien kautta. Kuvasta nähdään myös, että autokannet ovat useassa eri tasossa.



Kuva 1. Esimerkkikuva PCTC-aluksesta (Höegh Autoliners 2022b).

2.1 PCTC-alus laivatyyppinä

PCTC-aluksen kansirakennus on tyypillisesti erittäin laatikkomainen, usein koko laivan pituinen ja levyinen. Tämän ansiosta aluksen kuljetuskapasiteetti saadaan mahdollisimman suureksi. PCTC-alukset ovat noin 165–200 metriä pitkiä, noin 28–38 metriä leveitä ja niiden syväys on noin 9–11 metriä. PCTC-alukset ovat usein hyvin korkeita ja niissä on tyypillisesti 10–13 kantta. Alusten suuri tuulipinta-ala voi aiheuttaa kurssilta ajautumista kovassa tuulella. (Martide Seafarer Blog 2022a; Marvest 2022; Nautic Expo 2022; Wärtsilä 2022b.)

Suunniteltu matkanopeus PCTC-aluksella on yleensä noin 16 solmua ja huippunopeus voi olla jopa noin 23 solmua. Miehistön jäseniä on keskimäärin 20. Tällä hetkellä suurimpien PCTC-alusten kuljetuskapasiteetti on noin 8500 CEU (Car Equivalent Units), mutta Höegh Autoliners:n uusien Aurora-luokan alusten kapasiteetti tulee olemaan 9100 CEU, ollen kategoriassaan maailman suurin. (Höegh Autoliners 2022a; Martide Seafarer Blog 2022a; Nautic Expo 2022.)

2.2 Ro/ro-alus

Vaikka tämän opinnäytetyön aiheena onkin PCTC-alus, on hyvä käsitellä myös lyhyesti ro/ro-alusta, koska PCTC-alus kuuluu samaan kategoriaan. Ro/ro-aluksen nimi on lyhenne termistä roll on – roll off, kuvaten tapaa, jolla laivan lastaus tapahtuu. Lasti ”rullataan” eli ajetaan alukseen sisälle ja sieltä ulos aluksen omia ramppeja pitkin, joten lastaamiseen ei tarvita erillisiä nostureita. Laivoissa ei myöskään tyypillisesti ole lastausta varten lainkaan omia nostureita.

Ramppien hyöty on se, että lastaus ja purkaminen on nopeampaa, kuin nostureiden avulla tapahtuva lastaus ja purku. Suurimmassa osassa ro/ro-aluksista ramppi sijaitsee laivan perässä. Joissakin aluksissa rammit voivat sijaita myös keulassa tai laivan kyljessä. Päälastauslaite on peräramppi, myös

sivuilla (yleensä vain toisella, vieläpä oikealla sivulla) ja keulassa käytetään joskus portteja ja rampeja. Ramppi voi olla vesitiivis, toimien samalla porttina, tai voi olla erillinen vesitiivis lastiportti. Peräramppi on saranoitu laivan pääkanteen ja sitä käytetään joko vaijereiden tai hydraulisyntereiden avulla. Rampin tulee olla mieluiten riittävän leveä kaksisuuntaiseen liikenteeseen, minimileveytenä noin 9 m. (Alanko 2007a, III-20–21; Marine Insight 2019; Martide Seafarerer Blog 2022b.)

Kuvassa 2 nähdään, että ro/ro-alus ei ole läheskään niin kulmikas ja laatikkomainen, kuin PCTC-alus. Kansirakennus on myös matalampi kuin PCTC-aluksessa ja keulan muoto on laivamaisempi.



Kuva 2. Esimerkkikuva ro/ro-aluksesta (Pixabay.com 2022).

3 Laidoitus

3.1 Perusteet

Laidoitus tarkoittaa laivan, veneen tai muun aluksen vedenpitävää ulkokuorta, joka liittyy alhaalla köliin ja ylhäällä laivan pääkanteen. Isommissa aluksissa laidoitus muodostuu sivu- ja pohjalaidoituksesta, joiden välissä on palle. Palle tarkoittaa veden alla olevaalaivan rungon kaarevaa osaa sivu- ja pohjalaidoituksen välissä (Merriam-Webster 2022).

Laivan laidoitus muodostuu toisiinsa hitsatuista teräslevyistä, jotka kiinnittyvät kehys- ja laitakaariin. Keulassa ja perässä levyt liittyvät rankoihin. Jäissä operoivan aluksen laidoitus on tehty jäävyöhykkeeksi kutsutulla laidoituksen alueella rakenteeltaan muita kohtia vahvemmaksi.

Laidoituksen suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä ovat laivan koko, rungon muoto ja käyttöolosuhteet. Ensimmäinen asia suunnittelussa on koota tarvittava lähtöaineisto. Näistä keskeisimpänä on hankkia lähtötietopiirustukset, joista tärkeimpiä ovat (Järvenpää 2019,1–12):

- Laivan laidoitus / Shell Expansion
- Lohkokaavio
- Pääkaari / Midship Section
- Tankkikaavio
- Ankkurointi- ja kiinnitys
- Ohjauspotkuri
- Ikkunat ja aukot
- Laitaovet
- Nopeusloki ja kaikuluotain
- Merivesikaivot
- Muut muotoalueen perussuunnittelupiirustukset

Laiva jaetaan perinteisesti rakenteiden mitoituksessa hierarkiatasoihin. Tämä auttaa rakenteiden jakamisen osiin, jolloin jokaista osaa voidaan tarkastella

erikseen. Laivan rakenneosat luokitellaan primäärisiin, sekundaarisiin ja tertiäärisiin lujuuselementteihin. (Räisänen 2000, 29–6.)

Primääriset lujuuselementit tarkoittavat seuraavia (Räisänen 2000, 29–6):

- Pohjalaidoitus (bottom platings)
- Sivulaidoitus (side shell)
- Kannet (decks)
- Poikittaiset laipiot (transversal bulkheads)
- Pitkittäiset laipiot (longitudinal bulkheads)

Sekundaarisia lujuuselementtejä ovat (Räisänen 2000, 29–6):

- Kaaret ja jäykisteet, eli pitkittäis-, poikittais-, pysty- tai vaakajäykisteet.
- Jäykkääjät, eli pitkittäis-, poikittais-, pysty- tai vaakajäykkääjät.

Sekundaarisia lujuuselementtejä tarvitaan, koska primääriset elementit eivät pysty yksin kantamaan laivapalkkiin kohdistuvia kuormia. Sekundaariset lujuuselementit siirtävät kuormien aiheuttamia rasituksia eteenpäin.

Tertiäärisillä lujuuselementeillä tarkoitetaan sekundaarisilla lujuuselementeillä jäykistettäviä levyjä. (Räisänen 2000 29–7.)

Laivan kolme eri lujuuselementtiä kantavat ulkoisten kuormien aiheuttamat voimat seuraavassa järjestyksessä (Räisänen 2000, 29–7):

- Levy kantaa kuorman (esim. hydrostaattinen paine)
- Kaari tukee levyä
- Jäykkääjä tukee kaarta

3.2 Kaarijärjestelmät

Laitakaarien kulkuun ja suunnitteluun vaikuttaa merkittävästi aluksessa käytettävä kaarijärjestelmä. Kaarijärjestelmän tekemiseen on kolme menetelmää (Räisänen 2000 29–8):

- Pitkittäinen kaarijärjestelmä (longitudinal framing)
- Poikittainen kaarijärjestelmä (transversal framing)
- Sekakaarijärjestelmä, jossa kansissa ja pohjassa on pitkittäinen kaaritus ja laidassa poikittainen.

Laivan runko jäykistetään poikittaisilla ja / tai pitkittäisillä kaarilla. Yleensä poikittaista kaarijärjestelmää käytetään kaikissa laivoissa keula- ja perälaivan alueella. Pienissä laivoissa käytetään poikittaista kaaria myös laivan keskialueella kyljissä, mutta suuremmissa laivoissa käytetään pitkittäisiä kaaria tai sekakaaritusta keskilaivan alueella. Tyypillisesti kansissa käytetään pääsääntöisesti pitkittäistä kaarijärjestelmää. Pienissä aluksissa kaariväli on tyypillisesti 600–700 mm, keskikokoisissa noin 800 mm ja suurissa aluksissa 900–1000 mm. Toisinaan sekä keskikokoisissa, että suurissa aluksissa käytetään perän ja keulan alueella tiheämpää kaariväliä, esimerkiksi 600 mm, ja keskilaivan alueella 800 mm. (Alanko 2007b, VII-4.)

Luokituslaitos Bureau Veritasin (BV) säännöissä standardikaarivälille on seuraava kaava: $E_0 = 0,72 \times (L/100)^{1/4}$ (Alanko 2007b, VII-4.)

Det Norske Veritasin (DNV) säännöissä vastaava kaava on: $ss = 0,48 + 0,002 L$ (Alanko 2007b, VII-4.)

Näistä saatuja arvoja ei ole pakko noudattaa, vaan nämä ovat hyviä ohjeita. Yleensä kaarivälinä on järkevää käyttää jotakin sopivaa tasalukua, 600, 650, 700, 750, jne. Jotta voidaan välttää turhia suunnitteluvirheitä, kannattaa valita kaariväliksi ennemmin 700 mm kuin esimerkiksi 698 mm. (Alanko 2007b, VII-4.)

Tavallisten kaarien lisäksi tarvitaan kehyskaaria, joiden kautta kuormat siirtyvät levykentästä kansiin ja laipioihin. Kehyskaarten väli on suhteellisen vapaasti valittavissa. Tyypillisesti kehyskaari sijoitetaan joka kolmannelle tai joka neljännelle kaarelle laivatyyppistä riippumatta. (Alanko 2007b, VII-4.)

Kaaret numeroidaan aloittaen perästä. Tyypillisesti nollakaari on tarkalleen peräperpendikkelin (AP) kohdalla. Joillakin telakoilla tästä säännöstä poiketaan, eikä nollakaarta haluta AP:n kohdalle, koska peräsinakseli on tässä kohdassa.

Keulaperpendikkelin ei ole pakko olla rakennekaaren kohdalla.

Peräperpendikkelin perän puolella kaarinumerot ovat negatiivisia. (Alanko 2007b, VII-4.)

Aineenvahvuuden puolisuus vaihtuu yleisesti 0,5 L tuntumassa ja on vapaasti valittavissa missä vaihtuu. Tästä rajasta peräänpäin materiaalisuunnat ovat keulaan päin ja vastaavasti tästä rajasta keulaan päin materiaalisuunnat ovat perään päin.

3.3 Poikittaislaipiot

Poikittaislaipioiden tulee sijaita täsmälleen kaarien kohdalla. Tärkeimmät poikittaislaipiot ovat (Alanko 2007b, VII-4):

- Peräsoppilaipio
- Konehuoneen keulalaipio
- Keulasoppi- eli yhteentörmäyslaipio

3.3.1 Peräsinsoppilaipio

Peräsinsoppilaipion etäisyys peräperpendikkelistä valitaan sellaiseksi, että perärangan ja laipion väliin jää riittävästi kaaria antamaan tarvittava lujuus teräsrakenteille. Tyypillisesti laipio on välillä $(0,04-0,07) \times L$ peräperpendikkelistä, pienemmällä aluksilla suhteessa kauempana. (Alanko 2007b, VII-4)

3.3.2 Konehuoneen keulalaipio (perälaivakonehuone)

Tässä laipiossa laivan runkomuoto, konetehto ja pääkoneen pituus vaikuttavat laipion sijaintiin. Konetehon suurenemisen myötä myös konehuoneen pituus kasvaa. Jos uppouman täyteläisyys on pieni ja LCB keulan puolella, lyhyessä konehuoneessa ei ole riittävästi tilaa kaksoispohjassa pääkoneen sivuille.

Yleensä laipio sijaitsee välillä $(0,15-0,30) \times L$ peräperpendikkelistä, pienillä aluksilla suhteessa kauempana. (Alanko 2007b, VII-4)

3.3.3 Yhteentörmäyslaipio

Luokituslaitosten säännöissä on tarkkaan määrätty keulasoppilaipion paikka. Matkustaja-alukset poisluettuna sen tulee sijaita vähintään etäisyydellä 0,05 Lr tai 10 m keulan referenssipisteestä (R.P.), sen mukaan kumpi on pienempi arvo. Se saa sijaita korkeintaan 0,08 Lr referenssipisteestä.

Lr on 96 % vesiviivasta, joka on 85 % korkeudella sivukorkeudesta, tai etäisyys peräsinvarren keskiöön keularangan etureunasta, mikäli tämä etäisyys on suurempi. (Alanko 2007b, VII-4)

3.4 Jääluokat

Alusten jääluokista ja jäänmurtaja-avustuksesta annetun lain (1121/2005) 3 §:n mukaan alukset kuuluvat jääluokkiin seuraavasti (Trafi 2021):

- jääluokkaan 1A Super alus, jonka rakenne, konetehto ja muut ominaisuudet ovat sellaisia, että se pystyy kulkemaan vaikeissa jääolosuhteissa pääsääntöisesti ilman jäänmurtajan avustusta;
- jääluokkaan 1A alus, jonka rakenne, konetehto ja muut ominaisuudet ovat sellaisia, että se pystyy kulkemaan vaikeissa jääolosuhteissa tarpeen mukaan jäänmurtajan avustamana;
- jääluokkaan 1B alus, jonka rakenne, konetehto ja muut ominaisuudet ovat sellaisia, että se pystyy kulkemaan keskivaikeissa jääolosuhteissa tarpeen mukaan jäänmurtajan avustamana;
- jääluokkaan 1C alus, jonka rakenne, konetehto ja muut ominaisuudet ovat sellaisia, että se pystyy kulkemaan helpoissa jääolosuhteissa tarpeen mukaan jäänmurtajan avustamana;
- jääluokkaan II alus, joka on teräsrunkoinen ja rakenteeltaan avomerikelpoinen ja joka siitä huolimatta, että alusta ei ole vahvistettu

jäissä kulkua varten, pystyy kuitenkin omalla kuljetuskoneistolla kulkemaan erittäin helppoissa jääolosuhteissa;

- jääluokkaan III alus, joka ei kuulu 1–5 kohdassa tarkoitettuun jääluokkaan.

3.5 Jääluokkasyväys

Alukselle määritellään perän, keskilaivan ja keulan alueella pienin ja suurin sallittu jääluokkasyväys. Yleisesti kesälastivesiviiva on suurin sallittu syväys, ja pienin sallittu syväys on painolastivesiviiva. Potkurin tulee olla kokonaan vedenpinnan alla ja mahdollisuuksien mukaan myös kokonaan jään alla, kun määritetään painolastivesiviivaa. (Räisänen 2000, 29–47.)

Ylempi jäävesiviiva (UIWL) on niiden ylimpien vesiviivojen korkeimpien pisteiden yläreuna, jolla aluksen on tarkoitus kulkea jäissä. Viiva voi olla murtoviiva. (Trafi 2021.)

Alempi jäävesiviiva (LIWL) on niiden alimpien vesiviivojen alimpien pisteiden alareuna, jolla aluksen on tarkoitus kulkea jäissä. Viiva voi olla murtoviiva. (Trafi 2021.)

3.6 Jääkaaret

Jääkaaret voivat olla poikittaisia tai pitkittäisiä. Suositeltavampaa on kuitenkin käyttää poikittaista kaaritusta, sillä tässä tapauksessa jääkuorma jakaantuu useammalle lujuselementille. Tämän lisäksi jääluokissa 1A Super ja 1A keulan ja keskilaivan alueilla, sekä jääluokissa 1B ja 1C keulan alueella on seuraavia vaatimuksia (Räisänen 2000, 29–49):

- Kaaret, jotka eivät ole laidoitusta vastaan kohtisuorassa, pitää tukea kaatumista vastaan polvioilla, välituilla, jäykkääjillä tai muilla vastaavilla rakenteilla siten, että rakenteiden mitat eivät mielellään ylittäisi 1300 mm:iä.

- Kaaret tulee hitsata laidoitukseen jatkuvalla kaksipuolisella hitsillä. Lovistukset ovat sallittuja vain saumojen kohdalla.
- Kaaren paksuuden tulee olla vähintään 9 mm ja laidoituksen paksuudesta vähintään puolet.

Jos alus liikkuu jäissä, aluksella tulisi olla jääluokitus, eli rungon ja laidoituksen pitäisi olla jäävahvistettu. Jääluokkaan vaikuttaa myös aluksen konetehto, mutta sitä ei käsitellä tässä työssä enempää. Esimerkkeinä jäisistä operointialueista mainittakoon Itämeren pohjoisosa sekä antarktinen ja arktinen merialue. Jääluokitukseen vaikuttaa jään paksuus ja jääpeitteen laatu muutenkin, esimerkiksi onko jää monivuotista. (Trafi 2021)

Taulukko 1. Kylmään ilmastoon liittyvä lisäluokkamerkintä (DNV 2021).

Luokka	Tarkoitus	Käyttö
1A*F	Paksussa jäässä Itämerellä operoivat alukset, joilla on suuri konetehto.	Itämerellä jäissä operoivat alukset, jotka on rakennettu aluetta koskevien sääntöjen mukaan. Jään paksuus 1,0 m.
1A*	Jään valtaamissa vesissä navigoivat alukset.	Itämerellä jäissä operoivat alukset, jotka on rakennettu aluetta koskevien sääntöjen mukaan. Jään paksuus 1,0 m.
1A	Jään valtaamissa vesissä navigoivat alukset.	Itämerellä jäissä operoivat alukset, jotka on rakennettu aluetta koskevien sääntöjen

		mukaan. Jään paksuus 0,8 m.
1B	Jään valtaamissa vesissä navigoivat alukset.	Itämerellä jäissä operoivat alukset, jotka on rakennettu aluetta koskevien sääntöjen mukaan. Jään paksuus 0,6 m.
1C	Jään valtaamissa vesissä navigoivat alukset.	Itämerellä jäissä operoivat alukset, jotka on rakennettu aluetta koskevien sääntöjen mukaan. Jään paksuus 0,4 m.

3.7 Jäävyöalueet

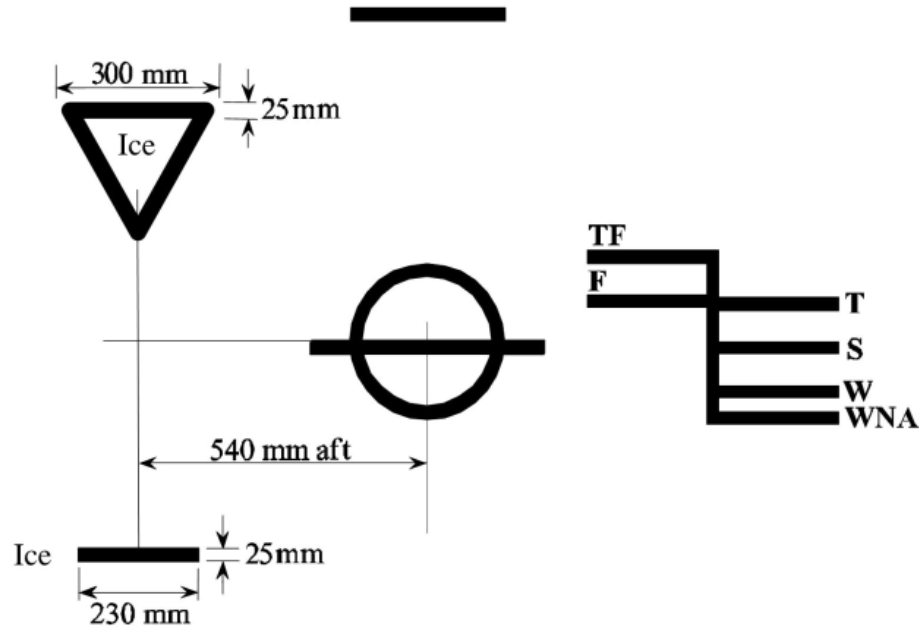
Jäävyöalueen laajuus määrittyy UIWL:n ja LIWL:n mukaan. Luokituslaitoksen (DNV) sääntöjen mukaan pystysuunnassa jäävyöalueen levytys ylittää UIWL:n 0,4 m ja alittaa LIWL:n 0,5 m, ja kaaritus ylittää UIWL:n 0,62 m ja alittaa LIWL:n 1,0 m. Itämerellä operoivalla aluksella UIWL on yleisesti ottaen sama kuin makean veden vesilinja kesällä. (DNV 2021; Trafi 2021.)

Kuvassa 3 näkyy jääluokan syväysmerkinnät luokituslaitoksen (DNV) sääntöjen mukaan. Merkit on maalattu laivan kylkeen. Kirjaimet tarkoittavat toiminta- aluetta. Viivat näyttävät syvyysrajan, johon asti aluksen voi upottaa.

Syväysmerkinnät ylhäältä alaspäin tarkoittavat seuraavaa:

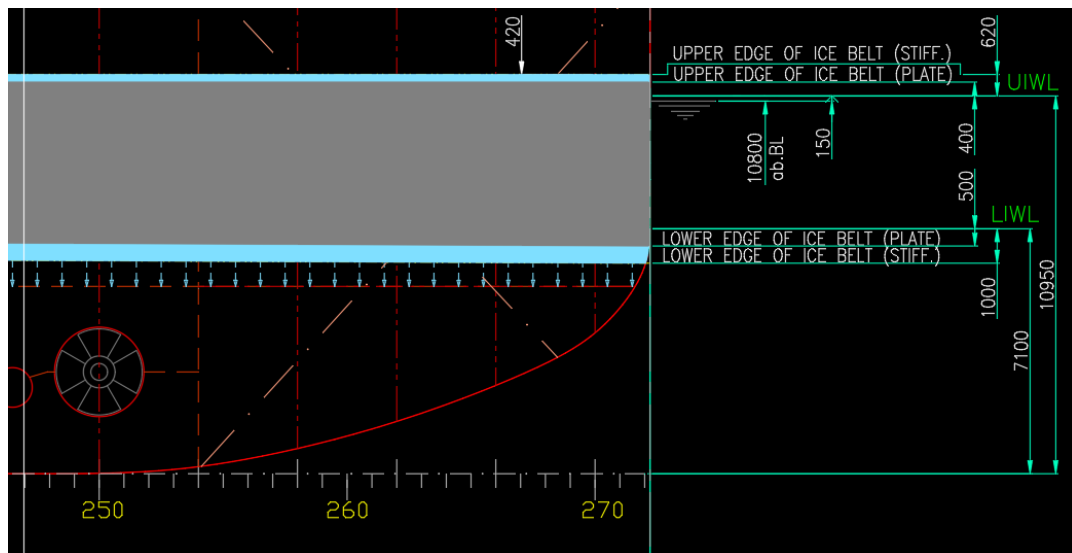
- TF = Tropical Fresh Water, trooppinen makea vesi
- F = Fresh Water, makea vesi
- T = Tropical, trooppinen vesi
- S = Summer, syväys kesällä

- W = Winter, syväys talvella
- WNA = Winter North Atlantic, syväys Pohjois-Atlantilla talvella



Kuva 3. Jääluokan syväysmerkinnät (DNV 2021).

Kuvassa 4 näkyy kuvakaappaus laivan keulasta. Piirustuksessa näytetään laivan jäävyöalueet ja niiden mitoitus.



Kuva 4. Jäävyöalueet ja niiden mitoitus.

3.7.1 Keula-alue

Alue ulottuu keulasta perään päin keula-alueen takarajaan. Takaraja sijaitsee etäisyydellä $0,04 * L$ perään päin sellaisesta takarajan kanssa yhdensuuntaisesta viivasta, jonka peräpuolella aluksen vesiviivat ovat yhdensuuntaiset keskilinjan kanssa. Jääluokissa 1A Super ja 1A rajaviivan ylityksen ei tarvitse olla suurempi kuin 6 metriä ja jääluokissa 1B ja 1C ylityksen ei tarvitse olla suurempi kuin 5 metriä. (DNV 2021; Trafi 2021.)

3.7.2 Keskilaiva-alue

Alue ulottuu keula-alueen takarajasta keskilaiva-alueen takarajaan. Keskilaiva-alueen takaraja sijaitsee etäisyydellä $0,04 * L$ perään päin sellaisesta takarajan kanssa yhdensuuntaisesta viivasta, jonka keulapuolella aluksen vesiviivat ovat yhdensuuntaiset keskilinjan kanssa. Jääluokissa 1A Super ja 1A rajaviivan ylityksen ei tarvitse olla suurempi kuin 6 metriä ja jääluokissa 1B ja 1C ylityksen ei tarvitse olla suurempi kuin 5 metriä. (DNV 2021; Trafi 2021.)

3.7.3 Peräalue

Alue on keskilaiva-alueen takarajasta perään ulottuva osa.

Pituutena L käytetään luokituslaitoksen käyttämää pituutta. (DNV 2021; Trafi 2021.)

Jäävahvistetun aluksen oletetaan liikennöivän avomerellä tasaisessa jäässä, jonka paksuus ei ylitä arvoa h_i . Sen alueen, joka todellisuudessa on milloin tahansa jääpaineen vaikutuksen alaisena, mitoitusjääkuormituskorkeuden (h) on kuitenkin oletettu olevan ainoastaan osa jään paksuudesta. $h_i:n$ ja $h:n$ arvot on annettu taulukossa 2. (DNV 2021; Trafi 2021.)

Taulukko 2. Jään paksuus (DNV 2021; Trafi 2021).

Jääluokka	h_i [m]	h [m]
1A Super	1,0	0,35
1A	0,8	0,30
1B	0,6	0,25
1C	0,4	0,22

Laitalevyt ja -kaaret on jäävyöhykkeiden alueella vahvistettava kestämään jään aiheuttama kuormitus. Laitalevyjen ja -kaarien mitoituskaavat löytyvät luokituslaitoksen säännöistä. Jäävahvisteisten laitalevyjen ja -kaarien pystysuora ulottuvuus on esitetty taulukoissa 3 ja 4. (DNV 2021; Trafi 2021.)

Taulukko 3. Laidoituksen (laitalevyjen) jäävahvistuksen (jäävyöhykkeen) ulottuvuus pystysuunnassa (DNV 2021; Trafi 2021).

Jääluokka	Rungon alue	UIWL:n yläpuolella [m]	LIWL:n alapuolella [m]
1A Super	Keula	0,60	1,20
	Keskilaiva		1,00
	Perä		0,90
1A	Keula	0,50	0,90
	Keskilaiva		0,75
	Perä		0,70
1B ja 1C	Keula	0,40	0,70
	Keskilaiva		0,60
	Perä		0,60

Taulukko 4. Kaarten jäävahvistuksen pystysuora ulottuvuus (DNV 2021; Trafi 2021).

Jääluokka	Rungon alue	UIWL:n yläpuolella [m]	LIWL:n alapuolella [m]
-----------	-------------	------------------------	------------------------

1A Super	Keula	1,2	Kaksoispohjan kanteen asti tai pohjatukkien yläreunan alapuolelle
	Keskilaiva		2,0
	Perä		1,6
1A, 1B ja 1C	Keula	1,0	1,6
	Keskilaiva		1,3
	Perä		1,0

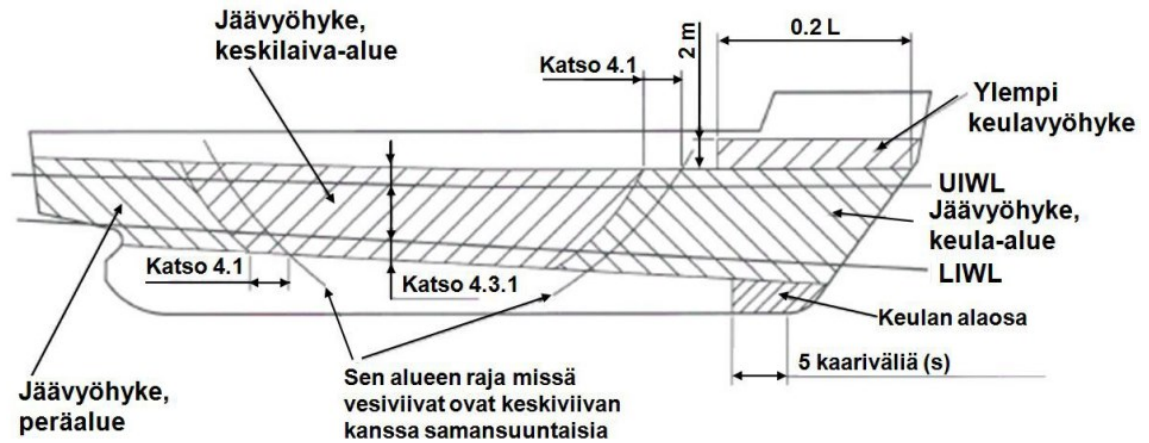
3.8 Muut vahvistettavat osa-alueet

Keulan alaosa: Jääluokan 1A Super aluksissa laidoitus on jäävahvistettava jäävyöhykkeen alapuolella keulasta sellaiseen kohtaan, joka on viisi pääkaariväliä perään päin pisteestä, jossa keulaprofiili yhtyy köliiviivaan, samalla tavalla kuin keulan alue. (DNV 2021; Trafi 2021.)

Ylempi keulavyöhyke: Jääluokkien 1A Super ja 1A aluksissa, joiden avovesinopeus on suurempi tai yhtä suuri kuin 18 solmua, laidoitus on jäävahvistettava jäävyöhykkeen ylärajasta 2 metriä ylöspäin sekä kaulerangasta vähintään etäisyydelle 0,2 L keulapystysuorasta perään päin samalla tavalla kuin keskilaivan alue. Vastaava vahvistus keulaosassa on suositeltava myös alukselle, jolla on pienempi matkanopeus, kun esimerkiksi mallikokeiden perusteella on ilmeistä, että aluksella tulee olemaan korkea keula-aalto. (DNV 2021; Trafi 2021.)

Jäävyöhykkeessä ei saa olla valoventtiilejä. Jos sääkansi missä tahansa aluksen osassa sijaitsee jäävyöhykkeen ylärajan alapuolella (esimerkiksi syvennyksen kohdalla puolikantisessa aluksessa), partaan lujuuden on oltava vähintään sama kuin jäävyöhykkeen laidoituksen lujuus. Myös tyhjennysaukkojen on täytettävä tämä vaatimus. (DNV 2021; Trafi 2021.)

Kuvassa 5 näytetään laivan rungon jäävahvistetut alueet.



Kuva 5. Rungon jäävahvistetut alueet (Trafi 2021).

3.9 Levyn paksuus jäävyöhykkeessä

Poikittaiskaarijärjestelmässä laidoituslevyjen paksuus määritetään seuraavalla kaavalla:

$$t = 667s \sqrt{\frac{f_1 p_{pl}}{\sigma_y}} + t_c \text{ [mm]},$$

ja pitkittäiskaarijärjestelmässä laidoituslevyjen paksuus määritetään seuraavalla kaavalla:

$$t = 667s \sqrt{\frac{p}{f_2 \sigma_y}} + t_c \text{ [mm]},$$

joissa

s on kaariväli [m]

$p_{pl} = 0,75p$ [Mpa], jossa p on jääpaine

$$f_1 = 1,3 - \frac{4,2}{(h/s+1,8)^2}, \text{ enintään } 1,0,$$

$$f_2 = \begin{cases} 0,6 + \frac{0,4}{h/s}, & \text{kun } h/s \leq 1 \\ 1,4 - 0,4(h/s), & \text{kun } 1 \leq h/s \leq 1,8, \end{cases}$$

joissa h on mitoitusjäakuormituskorkeus

σ_y on materiaalin myötöraja [N/mm²], jolle käytetään seuraavia arvoja:

$\sigma_y = 235$ N/mm² normaalilujuuksiselle rakenneteräkselle

$\sigma_y = 315$ N/mm² tai suurempi suurilujuuksiselle rakenneteräkselle

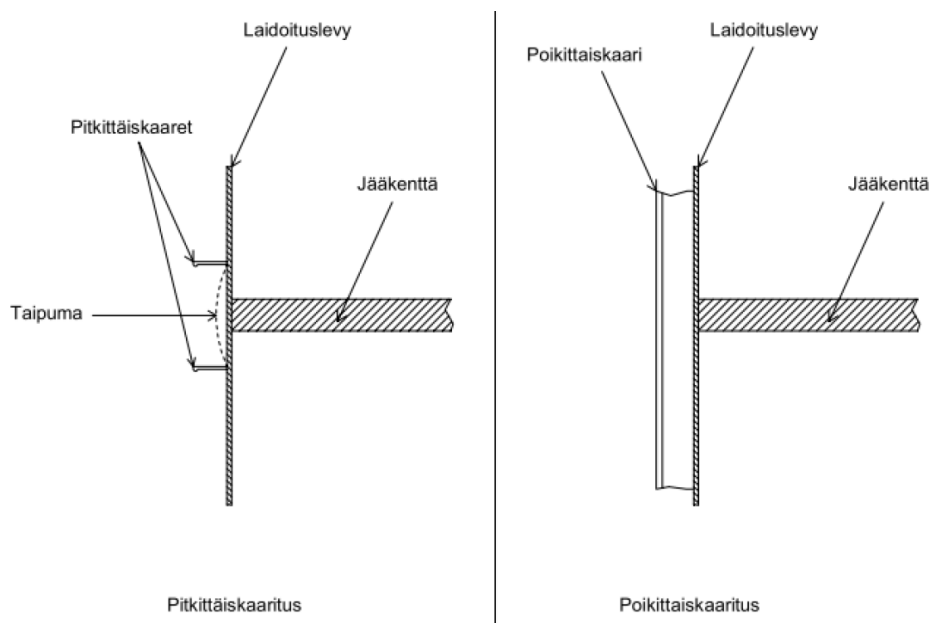
Jos käytetään teräslaatuja, joiden myötörajat eroavat yllä olevista, nämä

voidaan korvata todellisilla arvoilla, jos luokituslaitos sen hyväksyy.

t_c on kulumis- ja korroosiolisä [mm]; t_c on normaalisti 2 mm. Jos käytetään ja ylläpidetään erikoispinnoitetta, jonka tiedetään kokemuksen perusteella kestävän jään aiheuttaman kulumisen, voidaan hyväksyä pienempiä arvoja. (DNV 2021; Trafi 2021.)

Jäävahvistaminen tarkoittaa sitä, että jäävahvistettavien alueiden sisäpuolelle lisätään jääkaaria normaalien kaarien väliin, sekä laidoituslevyn paksuuden laskentaa erillisillä jääluokkakaavioilla. Jääkaarista puhuttaessa voidaan puhua myös välikaarista. Jäävahvistus voi olla pitkittäinen tai poikittainen.

Asennustapana poikittainen vahvistus on suositeltavampi, koska jääkuormituksen jakautuminen laidoitukseen on silloin tasaisempi. Jos jäävyöhykealueilla käytetään pitkittäiskaaritusta, erityisesti keulassa, vaarana on jään osuminen vahvistamattomaan levykenttään, toisin sanoen kaarituksen keskelle. Käytännössä jäävahvistusta tehtäessä, keulan ja perän alueelle on jo valittu poikittainen kaaritus. Tyypillisesti jääkaaret pyritään sijoittamaan siten, että ne tulevat likimain kohtisuoraan laitalevyä vasten, jotta koko profiilin poikkileikkaus ottaisi jääpaineen vastaan mahdollisimman tehokkaasti. (Peltola 2013.)



Kuva 6. Pitkittäis- ja poikittäiskaarituksen vertailu (Peltola 2013).

Jos vaaditaan ylempi keulavyöhyke, on kaarten jäävahvistusten ulotuttava vähintään vyöhykkeen yläreunaan.

Jos jäävahvistus ulottuu kannen, tankin ylä- tai alapinnan laidoituksen tai kaksoispohjan kannen yli enintään 250 mm, voi jäävahvistus päättyä kanteen, tankin ylä- tai alapinnan laidoitukseen tai kaksoispohjan kanteen. (DNV 2021; Trafi 2021.)

3.10 Yleistä kaarituksesta

3.10.1 Kaarten liittäminen kantaviin rakenteisiin

Jäävahvistetulla alueella kaikkien kaarten on oltava efektiivisesti kiinnitettyinä kaikkiin kantaviin rakenteisiin. Pitkittäiskaaren on oltava kiinnitettynä kaikkiin kantaviin kehyskaariin ja laipioihin polvioilla. Jos poikittäiskaari päättyy jäykkääjään tai kanteen, on kaari liitettävä rakenteisiin polvioin tai vastaavin rakentein. Jos kaari läpäisee kantavan rakenteen, on kaaren uumalevy yhdistettävä rakenteeseen molemmin puolin joko suoraan hitsaamalla, kauluslevyllä tai tukikappaleella. (DNV 2021; Trafi 2021.)

3.10.2 Kaarten tuenta epävakauden ja erityisesti kaatumisen varalta

Kaaret on kiinnitettävä laidoitukseen jatkuvalla kaksipuolisella hitsillä. Lovistusta ei sallita muualla kuin laidoituksen hitsisaumojen kohdalla.

Kaaren uuman paksuuden on oltava vähintään suurin arvo seuraavasta:

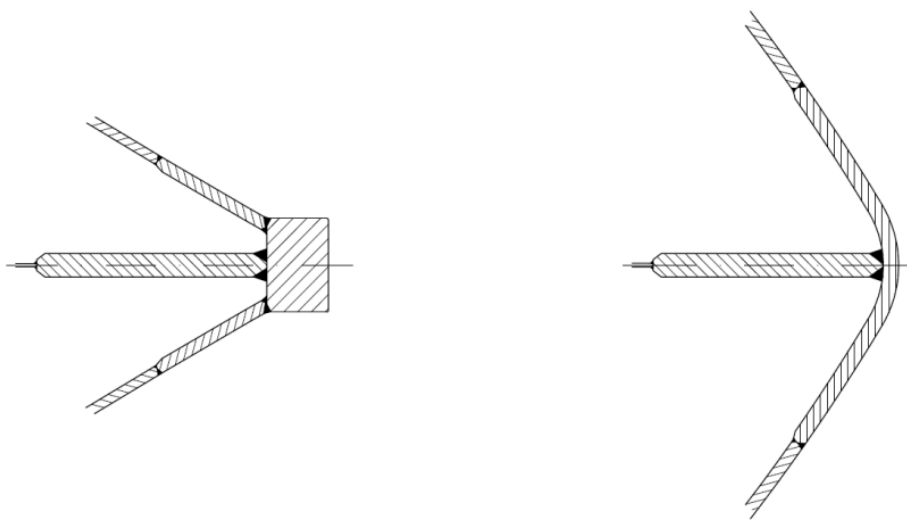
- $\frac{h_w \sqrt{\sigma_y}}{C}$, h_w on uuman korkeus ja $C = 805$ muotojäykisteille ja $C = 282$ lattajäykisteille;
- puolet levyn paksuudesta ilman korroosiolisää, $t - t_c$. Kaarten uuman vähimmäispaksuuden laskentaa varten on tarvittava levyn paksuus laskettava kappaleen 3.7 mukaisesti käyttäen myötörajaa σ_y ;
- 9 mm.

Kun kaaren paikalla on kansi, tankin ylä- tai alapinnan laidoitus, kaksoispohjan kansi tai laipio, on sen levyn paksuuden oltava yllä esitetyn mukainen viereisten kaarien korkeudelle asti. Tällöin laskelmissa on käytettävä kannen, tankin ylä- tai alapinnan laidoituksen, kaksoispohjan kannen tai laipion materiaalien ominaisuuksia ja viereisten kaarien korkeutta h_w , ja vakion C on oltava 805. (DNV 2021; Trafi 2021.)

Epäsymmetriset kaaret ja kaaret, jotka eivät ole kohtisuorassa levyä vastaan (kaaren uuma vähemmän kuin 90 astetta levyä vastaan), on tuettava kaatumista vastaan polvioilla, välijäykkäjäillä, jäykkäjäillä tai vastaavilla tuilla, joiden välinen etäisyys on korkeintaan 1300 mm. Kaarissa, joiden jänneväli on enintään 4 m, kaatumista ehkäisevät tuet on lisättävä kaikille alueille jääluokassa 1A Super, keulan ja keskilaivan alueelle jääluokassa 1A ja keulan alueelle jääluokassa 1B ja 1C. Suoria laskentatapoja voidaan soveltaa osoittamaan vaihoehtoisilla järjestelyillä aikaansaattua vastaavaa tukea. (DNV 2021; Trafi 2021.)

3.11 Keula

Keularanka valmistetaan valssatusta, valetusta tai taotusta teräksestä tai taivutetuista teräslevyistä kuvan 7 mukaisesti.



Kuva 7. Esimerkkejä asianmukaisista keuloista (Trafi 2021).

Keularanka sekä edellä kuvattu tylpän keulan osa on tuettava pohjatukeilla tai polvioilla, jotka ovat korkeintaan 0,6 metrin päässä toisistaan ja joiden paksuus on vähintään puolet levyn paksuudesta. Keularangan vahvistuksen on ulotuttava kölistä kohtaan, joka on 0,75 metriä UIWL:n yläpuolella, tai – jos aluksessa on oltava ylempi keulavyöhyke (katso kohta 3.7.3) – tämän vyöhykkeen ylärajaan asti. (DNV 2021; Trafi 2021.)

3.12 Perä

Uusien propulsiojärjestelmien käyttöönotto ruoripotkurilaitteineen, jotka mahdollistavat paremman ohjailtavuuden, johtaa kasvaviin jääkuormituksiin aluksen takaosassa ja peräpäässä. Tämä seikka on huomioitava takaosan ja perän rakenteiden suunnittelussa. (DNV 2021; Trafi 2021.)

Potkurin lapojen kärkien erittäin suurien kuormitusten välttämiseksi potkurin/potkurien ja rungon (peräranka mukaan lukien) välitys ei saa olla pienempi kuin h_i (katso kohta 3.7.3). (DNV 2021; Trafi 2021.)

Aluksissa, joissa on kaksi tai kolme potkuria, laidoituksen ja kaarten jäävahvistuksen on ulotuttava kaksoispohjan kanteen 1,5 metriä sivupotkureiden perä- ja keulapuolella. (DNV 2021; Trafi 2021.)

Sivupotkureiden akselijohdot ja akselihylsät on normaalisti sijoitettava akseliulokkeiden sisään. Jos erillisiä akselitukia käytetään, niiden lujuus ja kiinnitys runkoon on suunniteltava sellaisiksi, että riittävä lujuus saavutetaan. (DNV 2021; Trafi 2021.)

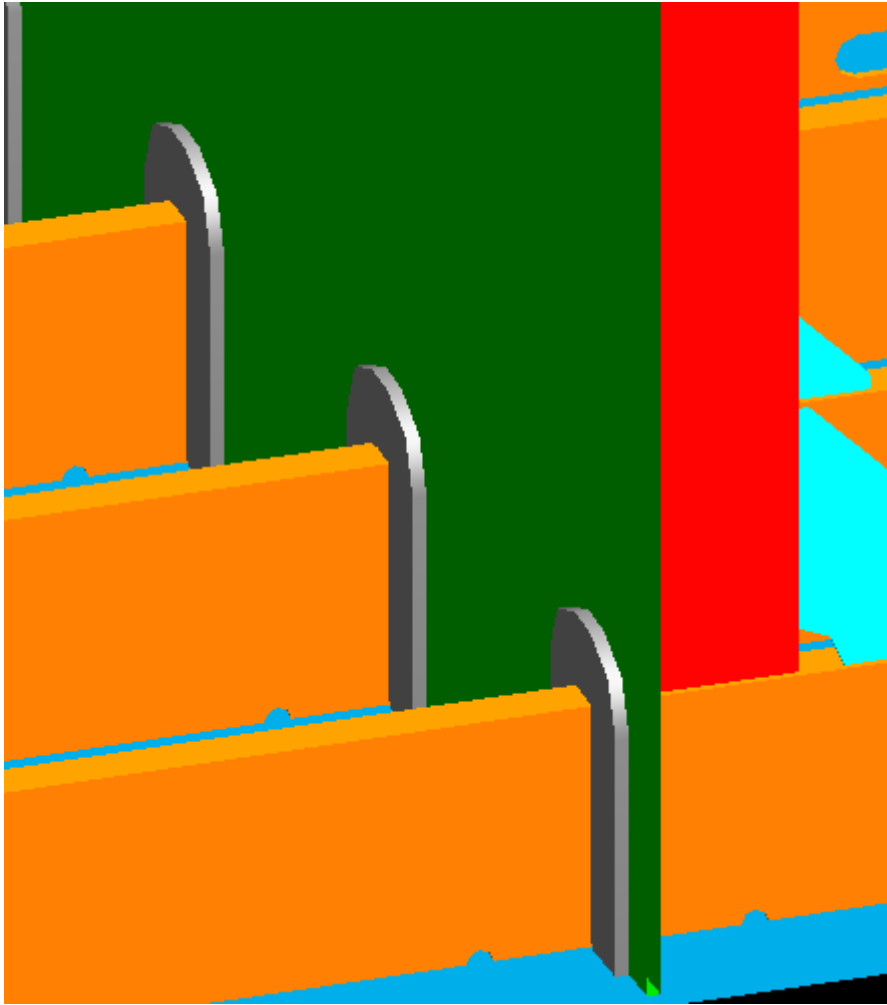
4 PCTC-aluksen laidoituksen suunnittelussa huomioitavia asioita

Laidoituksen suunnitteluun PCTC-aluksessa vaikuttaa muun muassa laidassa olevat portit ja rampit sekä klyysit, pollarit, ankkurointi- ja kiinnityslaitteisto, laitasuojat ja keulapotkurin tunnelin aukko. Erityisesti pollareiden kohdalla laitarakenteiden tulee olla vahvempia kuin muualla laidassa, koska pollareihin kohdistuvat voimat ovat erittäin suuria. Sama asia koskee myös ankkurointi- ja kiinnityslaitteistoa. Keulassa myös bulbi, eli keulapaksumnos vaikuttaa osaltaan suunnitteluun. Myös perän alueella oleva peräbulbi vaikuttaa laidoituksen suunnitteluun. Bulbien alueilla levyjen tulee olla paksumpia. Suunnittelussa on huomioitava lisäksi myös rakenteellinen korroosiosuojelu.

Ro-ro-aluksen ja PCTC-aluksen yleisjärjestelystä ja pyöräkuormista tulee rungon rakenteille joitain erityisvaatimuksia. Esimerkiksi kansien primäärijäykkääjien korkeuden tulee olla mahdollisimman pieni ja kannessa olevia poikittaisia jäykkääjiä ja laidan kehyskaaria ei voida polvioida, koska vapaa korkeus pitää säilyttää laitaan asti.

Laidoituksen alueilla, jotka eivät ole vesitiiviitä, jäykisteissä tulee olla valuma-aukot, joiden kautta vesi pääsee kulkemaan esteettömästi. Myös laipioissa, jotka eivät ole vesitiiviitä, tulee olla valuma-aukot. Vesitiiviiden laipioiden vieressä jäykisteissä pitää olla pienet vuodonestolovet laitalevyä vasten. Tämä siksi, että vesitiiviiden laipioiden kohdalla profiilit pitää ympärhitsata, millä taas pyritään estämään veden valuminen huokoisen hitsin läpi pitkin profiilia. Profiilin läpiviennin kohdalle laipioon hitsataan kaulus. Tankeissa aukkojen koot ja sijainnit määräytyvät muun muassa imu- / tuontiputken mukaan.

Kuvassa 8 nähdään, että vesitiiviin laipion kummallakin puolella, tässä tapauksessa 150 mm laipiosta, profiiliin tulee laitalevyä vasten pienet lovet, jotka täytetään hitsaamalla umpeen. Laipion läpiviennin kohdalle hitsataan kuvan mukainen kaulus.



Kuva 8. Esimerkkikuva vesitiiviistä lapiosta.

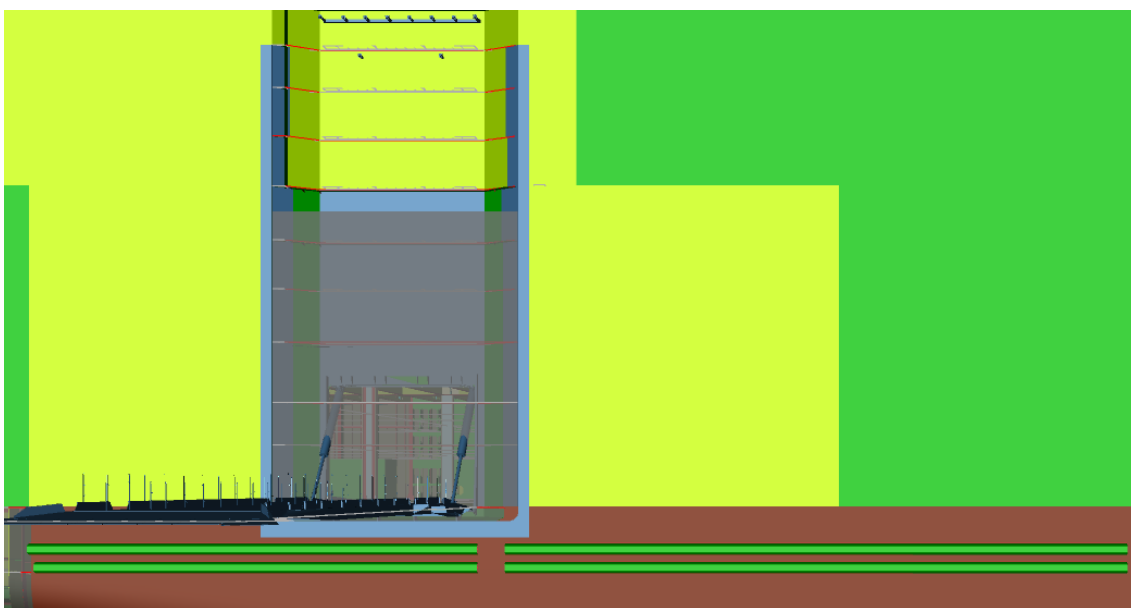
Kuvassa 9 näytetään laitaprofiilien valuma-aukot, joiden kautta vesi pääsee kulkemaan vapaasti. Kuvassa näytetään myös esimerkki lapiosta, joka ei ole vesitiivis. Läpiviennin kohdalle ei tule kauluksia, eikä profiiliin tule laittaa vasten hitsillä täytettäviä vuodonestolovia.



Kuva 9. Valuma-aukot ja esimerkki ei vesitiiviistä laipiosta.

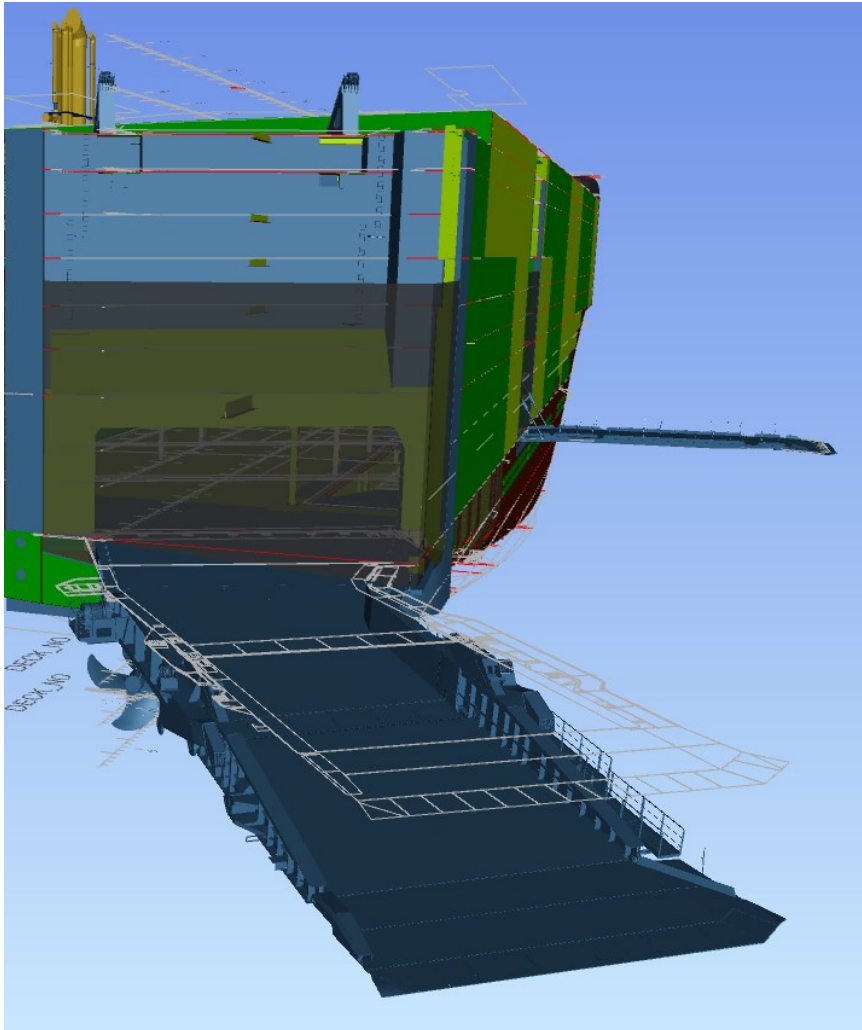
4.1 Laivan portit ja rampit

Kuvassa 10 näytetään 3D-mallissa aluksen S-puolinen sivuportti / -ramppi al-
asennossa ja sen alapuolella ohuet vihreät laitasuojat. Sivuportin aukon reunat
on vahvistettu lattarauodoilla.



Kuva 10. Sivuportti / -ramppi ja laitasuojat.

Kuvassa 11 näkyy 3D-mallissa laivan peräramppi ala-asennossa. Portin aukon reunat on vahvistettu levyrakentein.

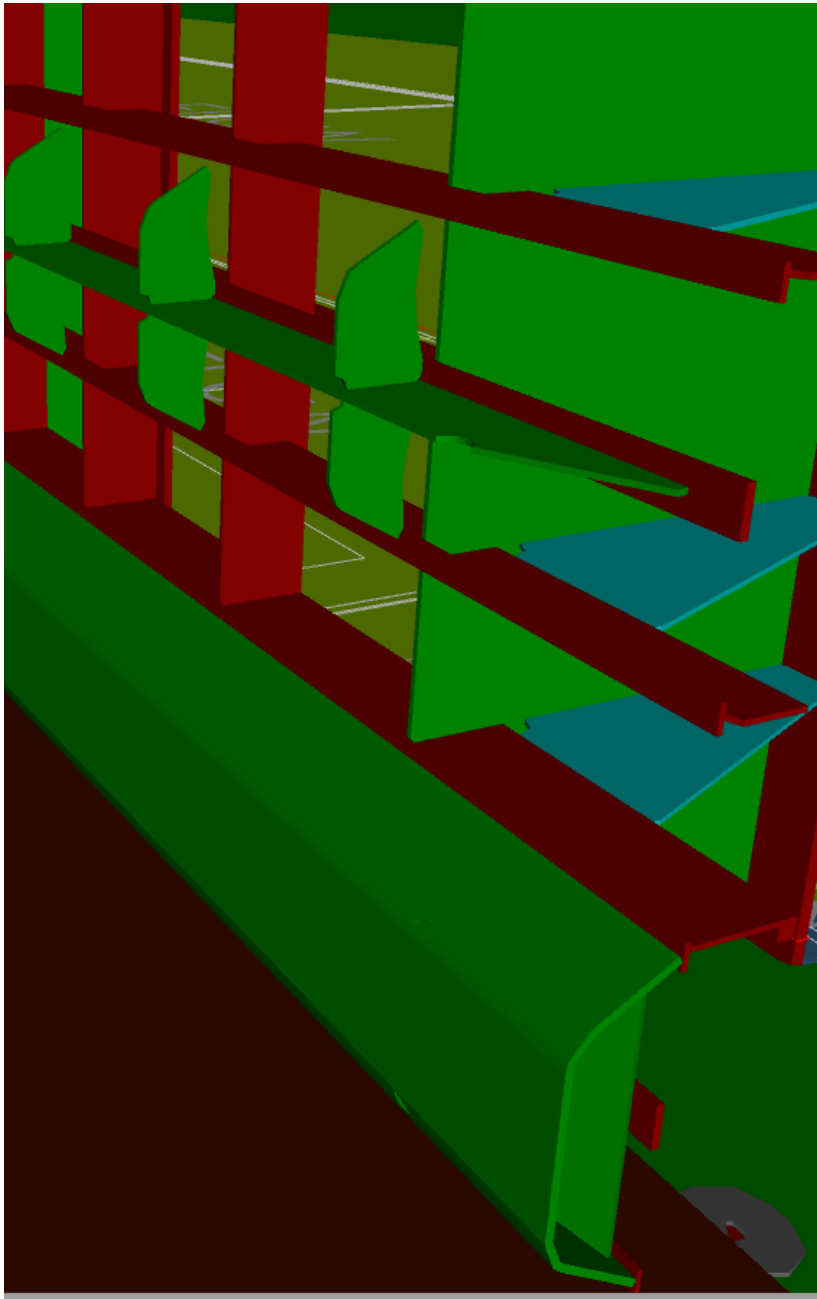


Kuva 11. Laivan peräramppi.

4.2 Laitasuojaus

Laitasuojauksen tehtävänä on suojata laivan laitaa laivan kiinnittäytyessä. Laitasuojaus on rakenteeltaan tehty sellaiseksi, että se on hieman joustava. Sen tarkoituksena on ottaa vastaan laivan laitaaan kohdistuva kuorma ja suojata laivan kylkeä. Kuvassa 12 näkyy laitasuojan rakenteita. Laitasuojan sisäpuolella on laitaa vasten olevat vaakasuorat lattaraudat ja pystysuorat levyrakenteet, jotka sijaitsevat kaarien kohdalla. Vaakasuorat lattaraudat on kiinnitetty

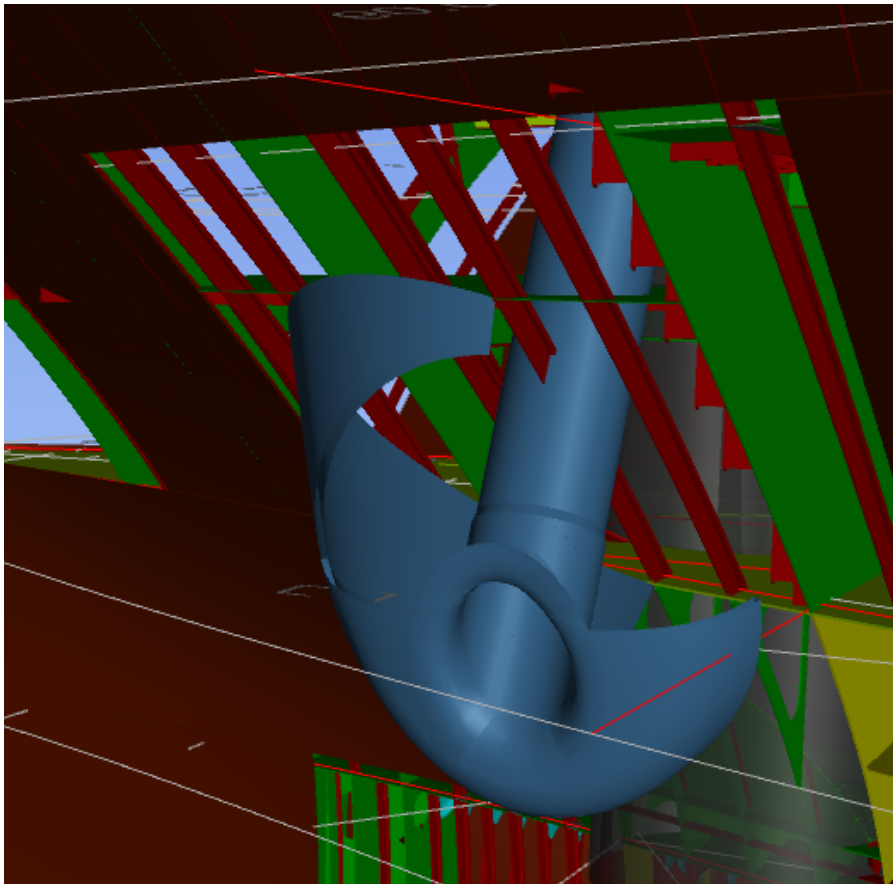
polvioilla (vaalean siniset rakenteet) kehyskaariin. Suojuksen ala- ja yläosa on kiinni laivan laidoituksen ulkopuolella olevissa laipoissa. Laivan sisäpuolella laitasuojuksen kohdalla on vaakatasossa laitaa vasten lattaraudat. Alemman laitasuojuksen yläreunan kohdalla laivan sisäpuolella kulkee jäykisteitä, joiden jänneväli on kaarien välillä yksi kaariväli. Kehyskaarien kohdalla jänneväli on kaksi kaariväliä. Tässä laivassa laitasuojat tulevat vain S-puolelle.



Kuva 12. Laitasuojan sisärakenteet.

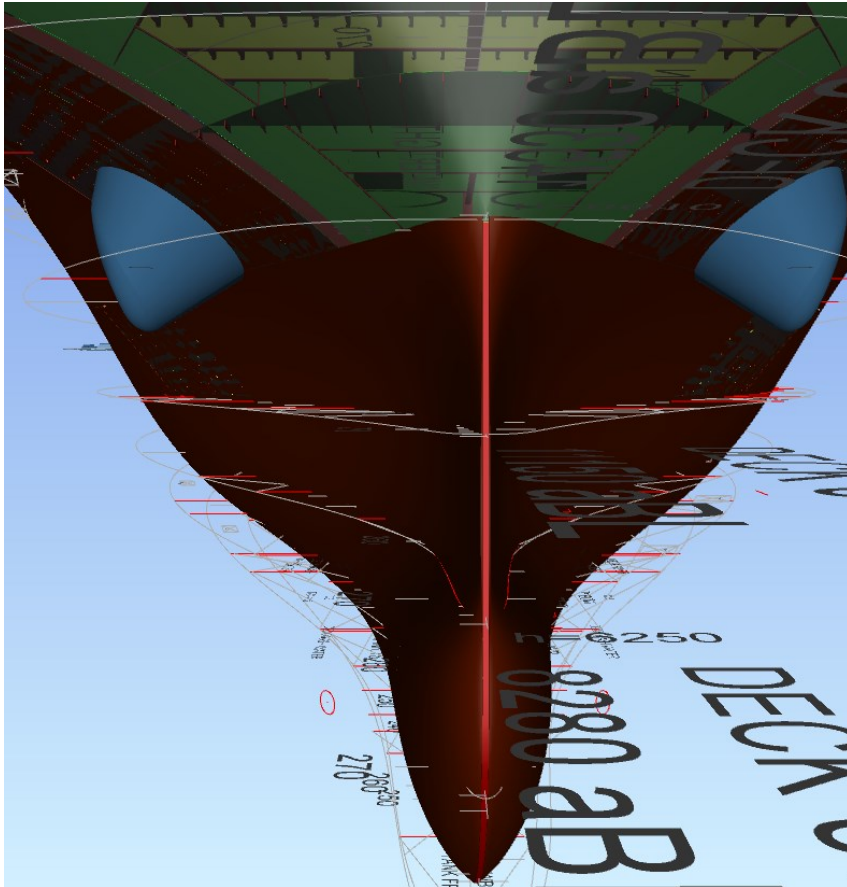
4.3 Klyysi ja klyysiputki

Kuvassa 13 näkyvät klyysi ja klyysiputki, joiden läpi ankkurikettinki ja kiinnitysköydet- ja vaijerit kulkevat. Laitaan kiinni tuleva läpivientisilmäke, eli klyysi ja laidan läpi tuleva klyysiputki vaikuttavat omalta osaltaan laidoituksen suunnitteluun. Klyysin sijasta voi olla muunkinlaisia ratkaisuja, kuten esimerkiksi ankkuritasku.



Kuva 13. Klyysi ja klyysiputki.

Kuvassa 14 näkyvät aiemmin mainitut laivan keulassa sijaitsevat ankkurikettinkien ja kiinnitysköysien läpiviennit, eli klyysit.



Kuva 14. Klyysien paikat keulassa.

4.4 Rakenteellinen korroosiosuojelu

Kaikki teräspinnat, poislukien tankeista muut kuin painolaskitankit, pitää suojata sääntöjen mukaan korroosiolta joko maalaamalla, tai pinnoittamalla nämä pinnat jollakin muulla tehokkaalla pinnoitteella. Luokituslaitoksilta tulee tämän lisäksi rakenteisiin liittyen niin sanottu korroosiolisä. Esimerkiksi DNV:n vaatimusten mukaan rakenteiden lisäainevahvuuksista on laadittu seuraavanlainen taulukko:

Taulukko 5. Korroosiolisä (Räisänen 2000, 29–5).

Corrosion addition t_k [mm]		
Internal members and plate boundary between spaces of the given category	Tank/hold	region
	Within 1,5 m below weather deck tank of hold top	Elsewhere
Ballast tank	3,0	1,5
Cargo oil tank only	2,0	1,0
Hold of dry cargo carriers	1,0	1,0
Plate boundary between given space categories	Within 1,5 m below weather deck tank of hold top	Elsewhere
Ballast tank / Cargo oil tank only	2,5	1,5
Ballast tank / Hold or dry bulk cargo carrier	2,0	1,5
Ballast tank / Other category space	2,0	1,0
Cargo oil tank only / Other category space	1,0	0,5
Hold of dry cargo carrier / Other category space	0,5	0,5

4.5 Pallekölit

Palleköli on palteen keskellä sijaitseva pitkä ja kapea pituussuuntainen köli laivan molemmilla puolilla, keskilaivan kohdalla, ulottuen pidemmälle perään kuin keulaan. Palleköli sijaitsee kohtisuoraan palteeseen nähden. Palleköli ei saa tulla köliä syvemmälle, eikä ulottua sivulaidoitusta leveämmälle, jotta aluksen syväys ja leveys eivät kasvaisi. Pallekölien toiminta tehostuu, kun aluksen nopeus kasvaa. Pallekölin liitoskohtaan kohdistuu valtavasti jännitystä, joten kohdan tulee olla vahva. (Science Direct 2022.)

Pallekölin pituus vaihtelee 25 prosentista 50 prosenttiin laivan pituudesta. Rakenteeltaan palleköli on melko yksinkertainen. Sen tehtävänä on vähentää keinuntaa ja vaikutus onkin noin 30–50 prosenttia. Palleköli voi olla pelkkä

lattalevyyn hitsattu bulbiraudasta tehty profiili, tai sitten jääolosuhteisiin suunniteltu kolmiomainen levyrakenne. Pallekölin mitoitukselle on annettu seuraavat suunnitteluarvot (Alanko 2007b):

$$\text{Pituus} = 0,6 C_B \times L$$

$$\text{Korkeus} = 0,18 / (C_B - 0,2)$$

4.6 Aukot laidoituksessa

Laidoitukseen tulee erilaisia aukkoja, kuten ikkunoita, valoventtiilejä, ovia, merivesikaivoja, miesluukkuja, kurkistusaukkoja ynnä muita. Ikkunat ovat yleensä nelikulmaisia ja kulmistaan pyöristettyjä ja ne voivat olla lähes minkä kokoisia tahansa, kuitenkin vähintään 0,16 m² pinta-alaltaan. Tätä pienempiä aukkoja kutsutaan valoventtiileiksi. Ikkunoiden reunat tulee vahvistaa profiileilla.

Valoventtiilit ovat muodoltaan pyöreitä tai ovaalin mallisia ja niiden pinta-ala on enintään 0,16 m². Ovien koko voi vaihdella aika laajasti. Merivesikaivot ovat pyöreitä tai nelikulmaisia aukkoja laidassa vesilinjan alapuolella, joiden päällä on ritilät. Merivesikaivojen kautta laivaan saadaan merivettä, jota voi käyttää esimerkiksi jäähdytykseen ja palonsammutukseen.

5 Laidoituksen suunnittelu

Mallinnusta ei voi aloittaa, ennen kuin AVEVA:an on tuotu laivan pinta. Pinta on 3D-objekti laivan ulkomuodoista. Tyypillisesti pinnan luonti tapahtuu NAPA-ohjelmalla. Pinta voi muuttua useinkin projektin edetessä, jolloin esimerkiksi laita profiilit ja laitalevyt joudutaan päivittämään uuteen pintaan sopiviksi. Myös AVEVA:ssa on mahdollista mallintaa pintoja jossain määrin.

Eri projekteissa on vaihtelevia lähtötietoja. Laidoituksen mallintamiseen ja työpiirustusten tekemiseen saadaan lähtötiedoiksi pääkaaren, eli aluksen leveimmältä kohdalta otetun poikkileikkauksen luonnos (midship section) ja mahdollisen referenssialuksen Shell Expansion -luokituspiirustus, jos kyse on vain laidoituksen mallintamisesta ja basic-piirustusten teosta. Annetuista lähtötiedoista saadaan selville levyjen vahvuudet, saumojen sijainnit sekä myöskin profiilien koot, sijainnit ja materiaalilaadut.

Kun projektissa tehdään luokituspiirustukset, ne lähetetään luokituslaskijoille kommentoitavaksi. Laskijat tarkastavat, että toteutuvatko luokan säännöt piirustuksissa. Piirustukset korjataan luokituslaitoksen laskuja ja kommentteja vastaaviksi, jonka jälkeen piirustukset lähetetään lujuuslaskennalle. Lujuuslaskijat sitten selvittävät kestäkö laiva, ja kommentoivat tarvittavat korjaukset suunnittelijoille. Kommentointikierron jälkeen mallista tehdään yksityiskohtaisempi ja saadaan tuotettua tuotantoaineisto. Lähtötiedoiksi luokituspiirustuksiin saadaan pääkaaren luonnos.

Mallinnuksessa on erittäin hyvä kiinnittää huomiota nimeämiseen. Varsinkin jos mallinnusta tehdään eri toimistoilla, eri paikkakunnilla, on suotavaa sopia yhtenäiset pelisäännöt nimeämiseen, jotta mallin hallinta ja käsittely sujuisi mahdollisimman helposti suunnittelun aikana. Sekin on mahdollista, että samaa projektia tehdään kokonaan eri maissa, esimerkiksi keskilaiva voidaan mallintaa eri maassa kuin keula ja perä. Nimiä muuttaessa on tärkeää, että tiedonsiirto eri toimistojen välillä on nopeaa, ja että muutoksista informoidaan aktiivisesti kaikkia niitä suunnittelijoita, joita tehdyt muutokset koskevat, jotta nimien muutoksesta johtuvat korjaukset saadaan tehtyä mahdollisimman nopeasti. Jos

esimerkiksi kannen nimi muuttuu, se aiheuttaa ongelmia profiilien päättämisessä kanteen, koska profiilit on katkaistu johonkin tietyn nimiseen rakenteeseen. Tärkeää on myös päivittää mallia riittävän usein, varsinkin jos esimerkiksi pinta muuttuu, on profiilien, saumojen ja levyjen päivittäminen välttämätöntä.

Hyvä työjärjestys suunnittelussa on, että ensin tehdään saumat. Tämä johtuu siitä, että laitalevyjä ei voida tehdä, jos sitä ennen ei olla tehty levyjä rajoittavia saumojä. Saumojen määrittely onkin oikeastaan merkittävin asia, kun luodaan laitalevyä ja laitalohkoa. Saumojen luonnin jälkeen kannattaa tehdä profiilit. Kun profiilit on saatu tehtyä, voidaan mallintaa laitalevyt.

6 Mallinnusohjelmistot

Perustyökaluna laivan sisärakenteiden mallintamiseen käytetään AVEVA Marine -ohjelman Planar Hull -työkaluja. Tuotannon työpiirustukset saadaan tehtyä helposti AVEVA-laivamallista, käyttäen sopivia leikkauksia, jotka mitoitetaan ja joihin lisätään tuotantoon vaadittavat tiedot. Mallista saadaan ulos myös polttokoneen ohjelmat, jolla osista saadaan oikeanlaisia ja oikean kokoisia, oikeilla merkkauksilla ja oikeilla viisteillä. AVEVA:ssa on oma nestäustyökalu, jossa osat voidaan sijoittaa suoraan levyaihioille.

Laidoitusta, käyriä paneeleja ja profiileja ei oikein pystytä mallintamaan AVEVA:n perustyökaluilla. Sitä varten AVEVA Marine -ohjelmaan on omat Curved Hull -työkalut, jolla voi mallintaa tämän kaltaisia haastavan mallisia levyjä ja profiileja, etenkin laidan mallinnuksessa. Tällaisia haastavia muotoja on erityisesti laivan keulan ja perän alueella.

AVEVA Marine on alkujaan ruotsalainen ohjelma, joka on kehitetty Malmössä sijaitsevan Kockumin telakan omaan käyttöön. AVEVA kuitenkin irtaantui telakasta omaksi yhtiökseen telakan mentyä konkurssiin. Ajan myötä AVEVA:a on kehitetty eri telakoiden tarpeita vastaavaksi. Tästä johtuen se onkin käytännössä ainoa rungon tuotantoaineiston suunnittelussa käytettävä ohjelma. Joitain pintamallinnusohjelmia, esimerkiksi NAPAA voidaan käyttää myös, ja niistä voidaan tuoda malliin erilaisia pintoja, mutta mallin tekeminen loppuun saakka ja tuotantoaineisto tehdään lähes poikkeuksetta AVEVA:lla.

7 Saumoitus

Jotta laitalevyjen luonti on ylipäättänsä mahdollista, on määriteltävä sitä rajoittavat saumat. Saumojen määrittely on yksi tärkeimmistä asioista, kun luodaan laitalevyjä ja laitalohkoja. Niiden onnistunut jaottelu edesauttaa merkittävästi suunnittelua ja varsinkin telakan tuotantoa. Seuraavassa oleellisia asioita saumojen määrittelyssä. (Järvenpää 2019.)

Saumojen ajojärjestys

- Suurlohko-, lohkorajasaumat
- Mahdollisen jäävyön saumoitus
- Ainevahvuuserojen, eripaksuisten levykenttien / alueiden väliset saumat
- Muut tarvittavat saumat

Saumojen ajossa huomioitavaa

- Telakan tuotannon asettamat rajoitukset, kuten esim. valssattavien levyjen maksimipituus, polttopöydän rajoitukset yms.
- Materiaalitoimittajien raakalevyjen maksimikoot
- Laitalevyjen reunojen kutistumat / venymät
- Pituussuuntaiset profiilit
- Rakennustapa
- Lohkon muut rakenteet. Yleisesti voidaan sanoa, että sisärakenteen (esim. kölit ja pituussuuntaiset profiilit) kanssa samansuuntaisen sauman minimietäisyys siitä on 50 mm → Telakat, luokituslaitokset.
- Saumat tulisi sijoittaa siten, ettei isoja ainevahvuuseroja tule viereisen levyn ehjälle reunalle.
- Saumat niin, että levyn taivutus voidaan tehdä vain yhdeltä puolelta. Ei siis luoda "S:n" mallisia levyjä!
- Saumat kansien kohdalla. Esimerkiksi Aker Yards-Rauma kansien ylitykset avokansilla 100 mm kannen mallikantista ja jatkuva laita kannen kohdalla ylitys 200 mm kannen mallikantista.

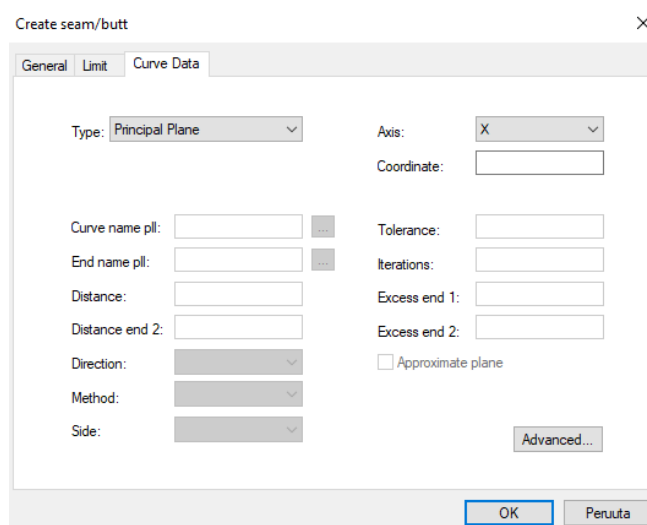
- Saumojen jako pyritään saamaan sellaiseksi, että yhtä paksut laitalevyt olisivat mahdollisuuksien mukaan samankokoisia. Näin saadaan tilattavan materiaalin positiomäärät mahdollisimman pieniksi, mikä on myös taloudellista.
- Saumoituksessa on myös haettava laitalevyille optimaalinen koko, niin että se olisi mahdollisimman iso, mutta kuitenkin helppo käsitellä ja taivuttaa tuotannossa. Tämäkin on taloudellista ja tämän myötä levyjen käsittelyä vaaditaan vähemmän, hitsattavaa saumaa tulee vähemmän ja malleja on myös vähemmän.
- Napakäyrien hyväksikäyttö.
- Tarvittava informointi saumoista ja niiden vaikutuksista lohkojen suunnitteluun muille saman alueen suunnittelijoille. Esim. lohkorajanotsit, ”irtolevyjen” saumanotsit, ynnä muut sellaiset asiat.

7.1 Esimerkki saumojen luonnista AVEVA Marinella

Uutta saumaa luotaessa sille on hyvä asettaa aluksi rajat, joihin asti sauma ulottuu. Kun rajat on asetettu, valitaan AVEVA Marinen ylävalikosta:

Curved Hull → Model → Create Seam/Butt

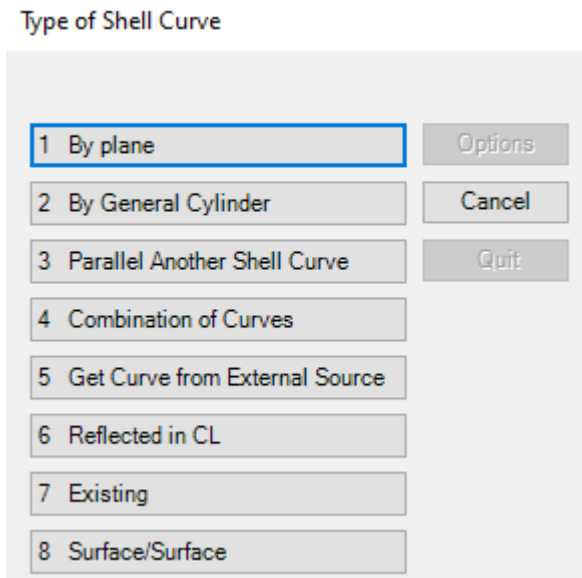
Avautuva valikko näyttää kuvion 1 kaltaiselta.



Kuvio 1. Create Seam/Butt.

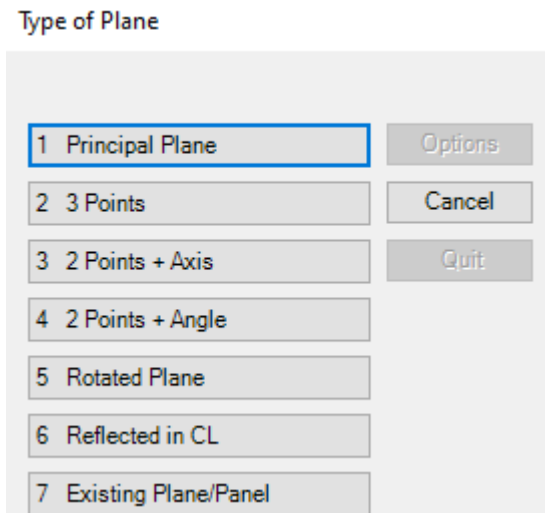
Edellisen valikon kautta voidaan valita "Advanced..." minkä kautta voidaan määrittää, että sauma halutaan luoda esimerkiksi jollekin tietylle tasolle.

Avautuva valikko näyttää kuvion 2 kaltaiselta:



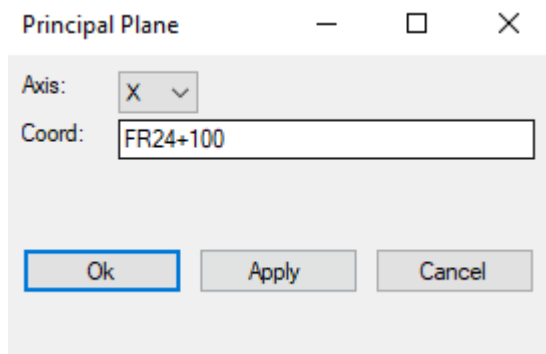
Kuvio 2. Type of Shell Curve.

Valitaan tästä valikosta "By Plane" ja seuraavasta valikosta "Principal Plane".



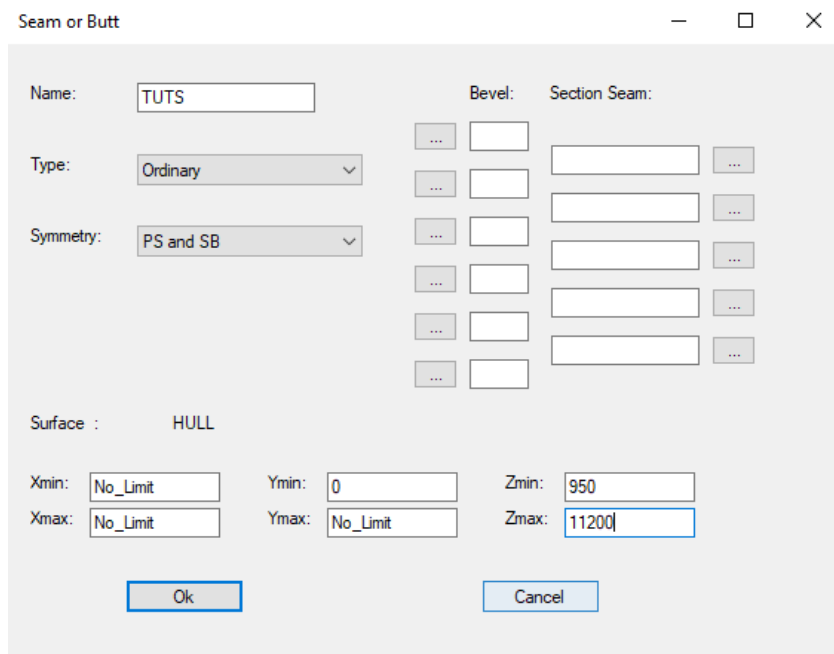
Kuvio 3. Type of Plane.

Tästä valikosta valitaan haluttu akseli, jonka suuntaisesti sauma tulee. Tässä esimerkissä valitaan X-akseli ja annetaan X-koordinaatille joku arvo, esimerkiksi FR24+100, jolloin sauma muodostuu 100 mm kaaresta 24 keulaan päin.



Kuvio 4. Principal Plane.

Tämän jälkeen valitaan "Ok", tai jos halutaan tehdä useampi sauma kerralla, valitaan "Apply" ja annetaan seuraava X:n arvo. Kun valitaan "Ok", eteen aukeaa oheinen ikkuna:



Kuvio 5. Seam or Butt.

Saumalle annetaan nimi kohdan 6.2 mukaisesti ja valitaan sauman tyyppi, joka on "Ordinary": "Symmetry" on "PS and SB", jos halutaan että sauma tulee kummallekin puolelle laivaa. Jos ei haluta, että sauma tulee molemmille puolille, valitaan joko "PS" tai "SB" riippuen siitä, kummalle puolelle laivaa sauma halutaan tehdä. Ikkunan alaosassa näkyvät saumaa rajoittavat arvot. Lohkorajasaumoja tehdessä valitaan "Block seam" ja ne näkyvät piirustuksessa paksumpana viivana. Tämä helpottaa suunnittelijan työntekoa.

7.2 Esimerkki saumojen nimeämisestä

Saumojen nimi tulee porojektin alkukirjaimista (TUT), joiden perään järjestelmä lisää kirjaimen "S", joka kuvaa saumaa, Seam ja sen perään tulee sauman sijaintinumero (1), jonka perään tulee vielä juokseva numerointi alkaen numerosta "00". Tässä projektissa sauma, joka on lähimpänä CL:ää on nimeltään TUTS200. Seuraava sauma on TUTS201 ja niin edelleen.

Sauman sijaintinumero riippuu siitä, mallinnetaanko se X-, Y-, vai Z-tasolle. Ohessa on suositeltava tapa nimetä saumoja, mutta ei kuitenkaan pakollinen.

X: TUTS100–199

Y: TUTS200–299

Z: TUTS300–399

Akselisuunnasta poikkeavat saumat: lähin koordinaatti X, Y tai Z.

Kaarevat saumat: TUTS400–499

Pinnan määrittelykäyrien saumat: TUTS500–599

8 Laitalevyt

Laitalevyä määriteltäessä ja levitettäessä on huomioitava seuraavia asioita

- Laitalevyjen on oltava kooltaan sellaisia, että ne pystytään muokkaamaan / taivuttamaan tuotannossa halutun malliseksi. Ks. seuraava kpl. Laitalevyjen kutistumat ja venymät.
- Erittäin taipuvia isoja levyjä voi olla hankala asentaa tuotannossa, vaikka taivutus onnistuisikin.
- Taipumattomat laitalevyt kannattaa tehdä tasopanelina, varsinkin isommat levykentät.
- Laitalevyn pituussuunnan olisi hyvä olla samansuuntainen laivan pituussuunnan kanssa siksi, että teräslevyä valmistettaessa / valssatessa levyn lamellisuus muodostuu valssaus- eli pituussuuntaan. Seurauksena tästä levy on vahvempi pituussuuntaan, eikä ole suotavaa asentaa laitalevyä pokittain laivan kulkusuuntaan nähden. Toiseksi jos laitalevyä muokataan voimakkaasti kohtisuoraan lamellisuutta vasten, saattaa levy murtua tai siihen saattaa muodostua hiushalkeamia helpommin kuin pituussuuntaan muokattaessa. Tämä on myös huomioitava nestauksessa, kun sijoitellaan useampia laitalevyjä samalle raakalevyille.
- Laitalevyistä ei saa tulla S:n muotoisia.

Laitalevyjen kutistumat ja venymät

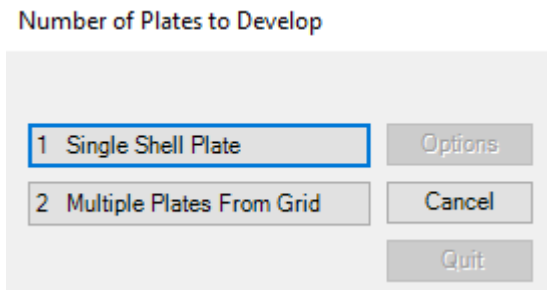
”Normaaleissa” laitalevyissä (~10–25 mm) kutistuma- / venymäarvo levyn reunoilla ei saisi olla suurempi kuin 1 mm/M. Paksummat levyt sallivat enemmän muokkausta, kun taas ohuemmat levyt (esim. 6 mm paksuiset) vaativat pienempiä kutistuma- / venymäarvoja kuin normaalisti. Kyseiset kutistuma- / venymätiedot saadaan selville eri levitysohjelmilla, esimerkiksi AVEVA Marinella. (Järvenpää 2019.)

8.1 Esimerkki laitalevyjen luonnista AVEVA Marinella

Saumojen ja lohkorajojen luonnin jälkeen voidaan luoda laitalevyt. Aloitetaan valitsemalla AVEVA Marinen ylävalikosta:

Curved Hull → Model → Create Shell Plate

Kuvion 6 mukaisessa ikkunassa kysytään, halutaanko luoda yksittäinen laitalevy, vai useampi kerralla. Valitaan ensimmäinen vaihtoehto, eli "Single Shell Plate".



Kuvio 6. Number of Plates to Develop.

Seuraavaksi pitää valita piirustuksesta saumat, joilla rajataan luotava laitalevy. Saumat valitaan aina samassa järjestyksessä niin, että ensin osoitetaan perän puolimmaista saumaa, jonka jälkeen muut saumat valitaan myötäpäivään tai vastapäivään CL:stä katsoen, riippuen siitä, että tehdäänkö levyjä P- vai S-puolelle. Ensin mallinnetaan kölilevy, joka menee CL:n yli. Eteen avautuu kuvion 7 mukainen ikkuna.

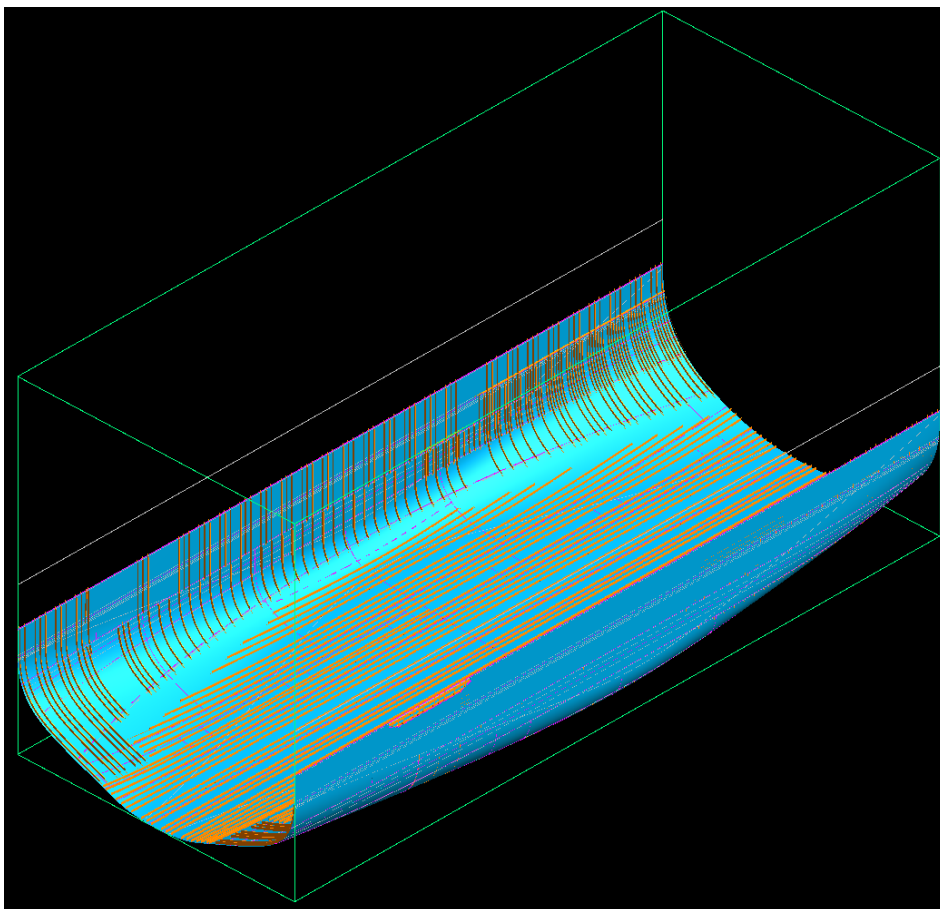
Kuvio 7. Create Shell Plate.

Tässä valikossa nimetään levy ja määritetään levyn materiaalisuunta, symmetrisyys, levyn paksuus ja materiaalin laatu. Material-kentästä valitaan ”Outside”, jotta levy mallintuu pinnasta ulospäin.

8.2 Laitalevyjen nimeäminen

Nimeämisessä kannattaa käyttää jotain tiettyä järjestelmää. Usein telakka haluaa käyttää osanimiä tuotannon ohjauksessa. Nimen kannattaa sisältää lohkon nimi, esimerkiksi ”DM03”, osakokoonpanonumero, esimerkiksi ”99”, ja osanumero, esimerkiksi ”1501”. Esimerkki valmiin levyn nimestä voisi olla DM03-99-1501.

Kuvassa 15 näkyy esimerkki laidoituksesta keskilaivan alueelta. Kuvassa näkyy laitalevyt, pitkittäiset- ja poikittaiset profiilit, sekä saumat.



Kuva 15. Kuvakaappaus laidoituksesta.

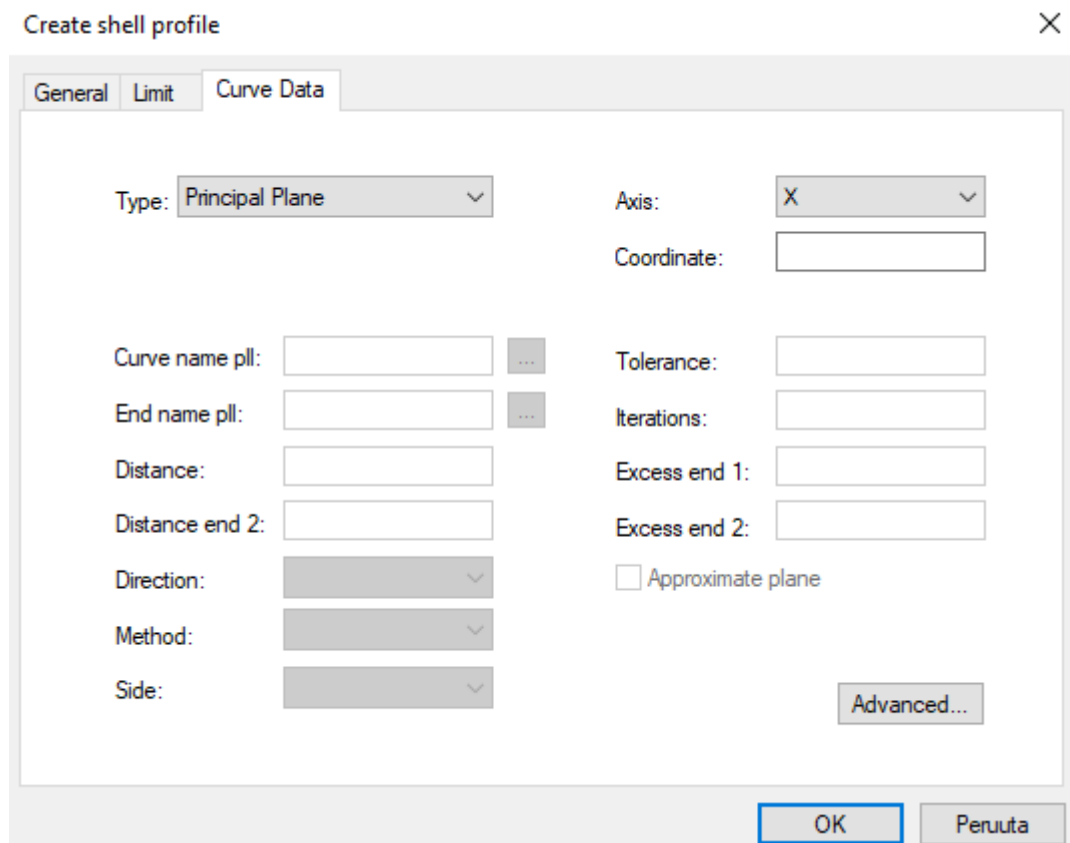
9 Esimerkki laita-profiilien luonnista AVEVA Marinella.

Profiilit koostuvat yhdestä tai useammasta peräkkäisestä jäykisteestä. Mallinnuksessa tehdään ensin profiilit haluttuihin paikkoihin, jonka jälkeen profiilit katkaistaan jäykisteiksi.

Kun halutaan luoda uusi profiili, on hyvä asettaa profiilin pituutta rajoittavan laatikon rajat valitsemalla valintanauhasta "Set default box limits". Rajoja tehdessä hyvä nyrkkisääntö on, että profiilit tulevat noin 300 mm rakenteiden yli. Tämän jälkeen valitaan ylävalikosta:

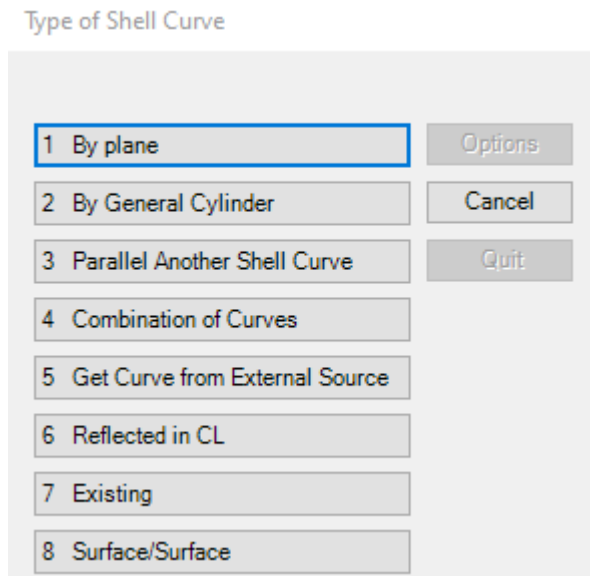
Curved Hull → Model → Shell Profile → Create

Tästä avautuu kuvion 8 näköinen ikkuna.



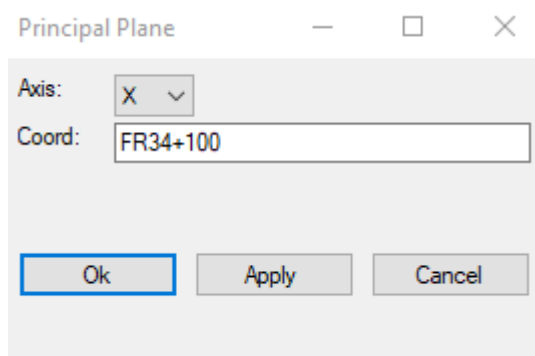
Kuvio 8. Create shell profile.

Tästä ikkunasta valitaan “Advanced...”, josta avautuu kuvion 9 mukainen ikkuna.



Kuvio 9. Type of Shell Curve.

Seuraavaksi valitaan “By Plane” → “Principal Plane”. Tästä aukeaa kuvion 10 näköinen ikkuna, jossa voidaan määrittää profiilin sijainti, jonka jälkeen valitaan ”Ok”, jos halutaan tehdä ainoastaan yksi profiili kerralla, tai ”Apply” jolloin annetaan seuraavan profiilin sijainti, jos siis halutaankin tehdä kerralla useampi profiili.



Kuvio 10. Principal Plane.

Kun valitaan ”Ok”, aukeaa kuvion 11 näköinen ikkuna.

Shell Profile

Long/Trans: TRANS

Profile Name: TUTT

Symmetry: PS and SB

Profile Side: IN

Material Side: FOR

Profile Data: Form

Type: 20

Qual: AH36

Perp. Whole by Default

Dim: 260,11

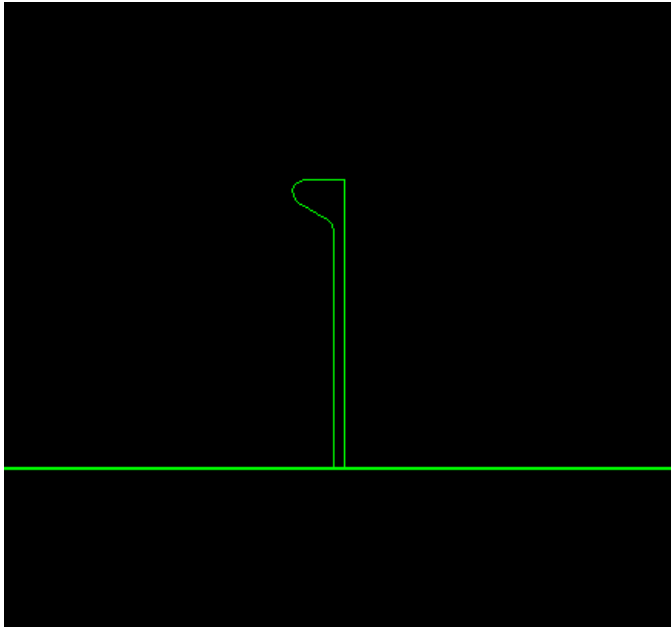
Incl. Points

Ok Cancel

Kuvio 11. Shell Profile.

Tässä ikkunassa nähdään, että kun tehdään poikittaisia profileja, niin kohtaan "Long/Trans:" tulee automaattisesti "TRANS". Profiili nimetään kohdan 9.1 mukaisesti. Tässä ikkunassa voidaan määrittää profiilin symmetrisyys, profiilin puolisuus (IN = kohti CL:ää), materiaalisuunta (FOR = keulaan päin), profiilin tyyppi (20 = HP, eli niin sanottu hollantilaisprofiili, eli bulbirauta), materiaalin laatu (tässä esimerkissä AH36) ja profiilin koko (tässä esimerkissä 260 x 11 mm).

Kuvassa 16 nähdään laitaa jäykistävän hollantilaisprofiilin poikkileikkaus. Profiilin päässä on bulbimainen nystyrä.



Kuva 16. Poikkileikkaus bulbiraudasta.

9.1 Profiilin nimeäminen

Kappaleissa 9.1.1 ja 9.1.2 esitetään ohjeet profiilien nimeämiselle. Nimeämistapa on enemmän suuntaa antava, kuin pakollinen.

9.1.1 Poikittaiset profiilit (Transversals)

Kaariluku + 0 P+S (vain S-puoli + 5000)

Jääkaari: Kaariluku + 5

Esimerkkejä:

FR0.5 = TUTT5 (S = TUTT5005)

FR1 = TUTT10 (S = TUTT5010)

FR1.5 = TUTT15 (S = 5015)

FR11 = TUTT110 (S = 5110)

FR11.5 = TUTT115 (S = 5115)

FR111 = TUTT1110 (S = 6110)

FR-1 = TUTT4010 (S = 9010)

FR-2 = TUTT4020 (S = 9020)

FR-0.5 = TUTT4005 (S = 9005)

Esimerkki: FR11+200 = TUTT112 (S = TUTT5112)

Esimerkki: TUTT2000 → (S = 7000 →)

9.1.2 Pitkittäiset profiilit (Longitudinals)

Longi luku + 0 P+S (vain S-puoli + 2000)

Pohjan pitkittäissuuntaiset profiilit:

L1 = TUTL10 (S = TUTL2010)

L1.5 = TUTL15 (S = TUTL2015)

L10 = TUTL100 (S = TUTL2100)

Palleköli: L200 →

Kannet 3–4 L300 – L399

Kannet 4–5 L400 – L499

Kannen 5 yläpuolella L500 – L599

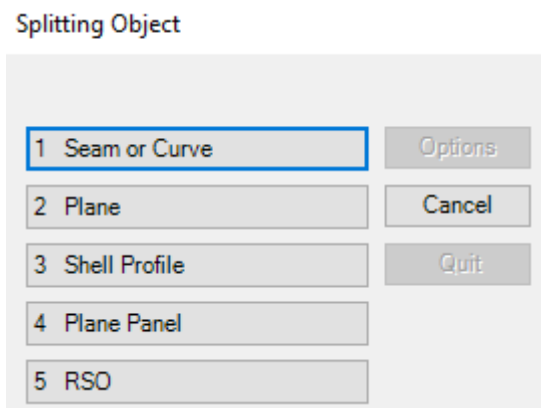
Jossain muualla L600 →

9.2 Laitaprofiilien katkaisu

Kun profiilit on luotu, ne katkaistaan jäykisteiksi. Profiilit saa katkaistua valitsemalla ylävalikosta:

Curved Hull → Model → Shell Stiffener → Split

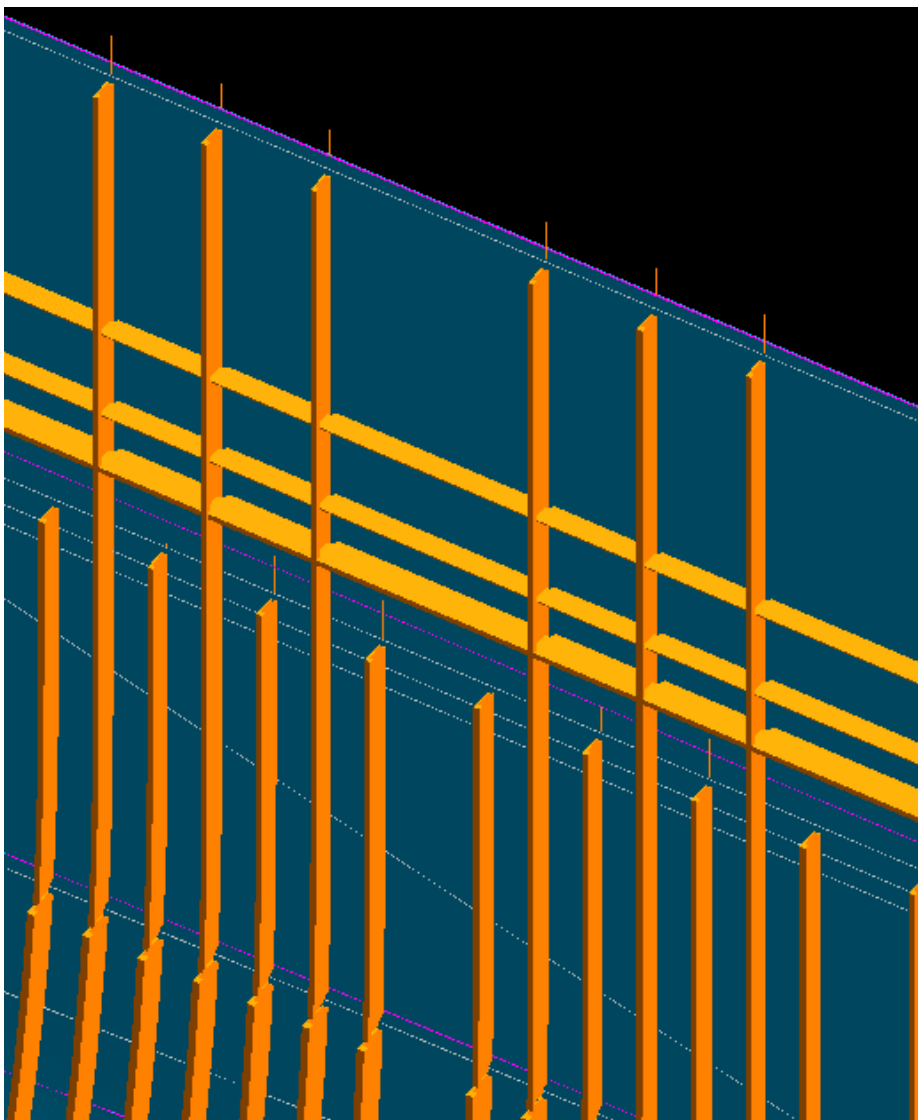
Tästä avautuu kuvion 12 näköinen valikko. Jos profiili halutaan katkaista johonkin tiettyyn paneeliin, esimerkiksi kansipaneeliin, valitaan valikosta vaihtoehto 4 "Plane Panel".



Kuvio 12. Splitting Object.

Seuraavaksi indikoidaan katkaistava profiili, painetaan Enter ja sen jälkeen paneeli, johon profiili halutaan katkaista ja painetaan uudestaan Enter. AVEVA:ssa on mahdollista katkaista myös useampi profiili kerrallaan ja useampaan paneeliin kerrallaan. Tässä tapauksessa valitaan kaikki profiilit, jotka halutaan katkaista, painetaan Enter ja valitaan paneelit, joihin profiilit halutaan katkaista ja painetaan taas Enter. Katkaisun jälkeen ylimääräiset pätkät voi "poistaa" muuttamalla ne Dummyksi, jolloin ne eivät näy piirustuksissa, osalistoissa ynnä muissa.

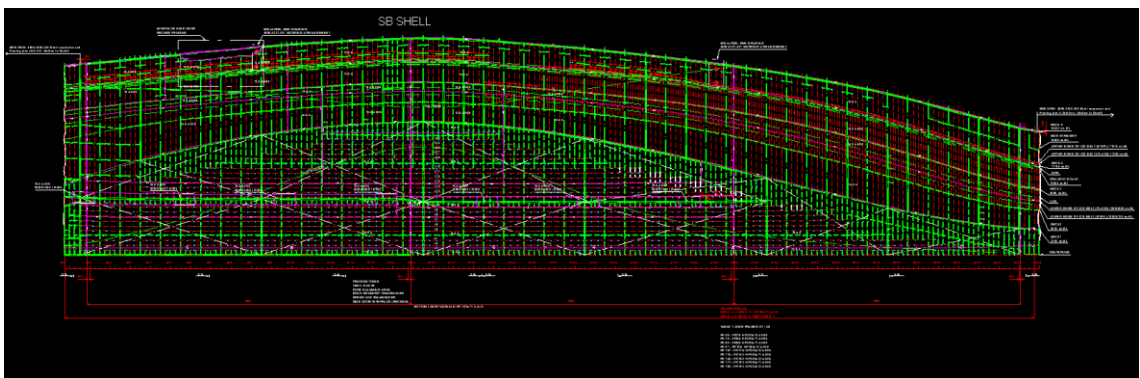
Kuten kuvassa 17 näkyy, niin 3D-näkymässä Dummyksi muutetut näkyvät edelleen ohuina viivoina jäykisteiden jatkeena.



Kuva 17. Laidoitus profiilien katkaisun jälkeen.

10 Levityskuva laidoituksesta

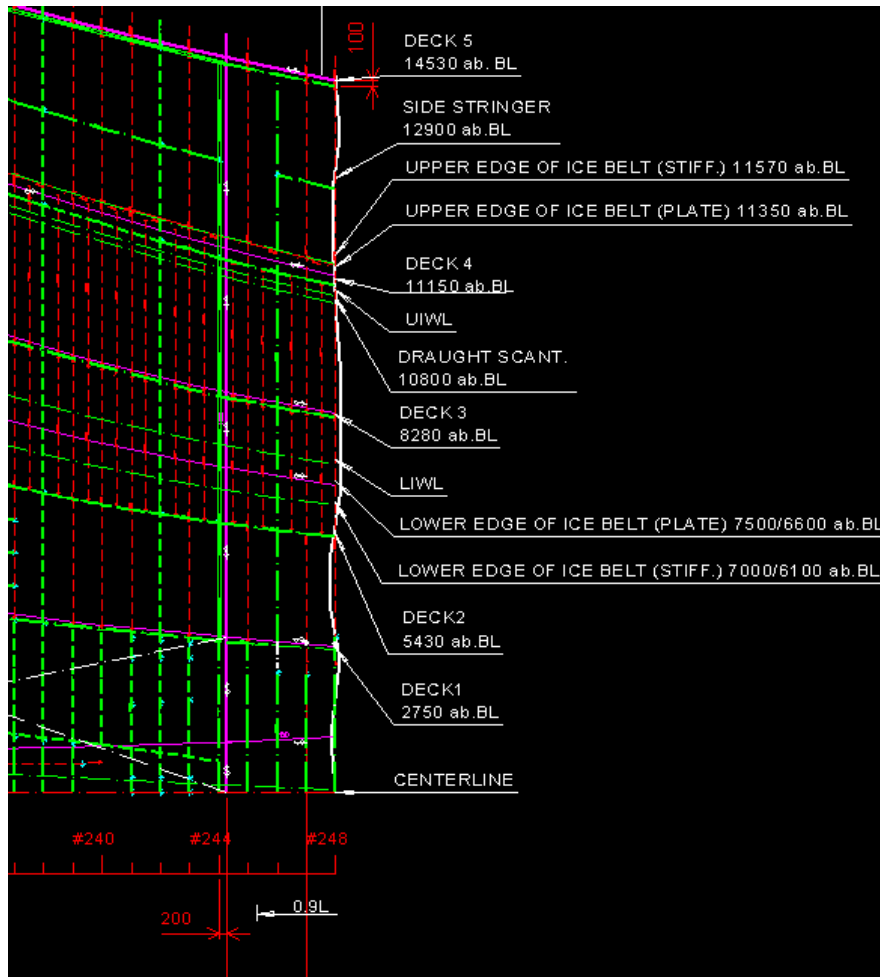
Kuvassa 18 näytetään levityskuva laidoituksesta, eli Shell Expansion -piirustus keskilaivan alueelta S-puolelta kokonaisuudessaan. Telakka ja luokituslaitos tarkastavat piirustukset, jonka jälkeen lujuuslaskijat tarkastavat, että malli on kestävä. Kuvassa olevat vihreät viivat esittävät levyrakenteita, kuten kehyskaaria, kansia ja laipioita. Punaiset katkoviivat ovat laitaprofiileja ja violetit viivat ovat saumoja.



Kuva 18. Laidoituksen levityskuva, keskilaivan alue, S-puoli.

Kuvassa 19 näytetään vähän tarkemmin keskilaivan alueelta laidan levityskuvaa. Piirustuksessa näytetään muun muassa kaikki raudat, levyrakenteet, saumat, levyn vahvuudet ja materiaalin laatu, kansien korkeudet, UIWL:n ja LIWL:n rajat, profiilien koot ja materiaalit sekä tarvittavat mitat. Piirustukseen merkityt rastit kuvaavat tankkien sijainteja.

Kuvassa 21 näytetään tarkemmin muun muassa kansien korkeudet, sekä jäävyöalueen rajat. Vaakasuuntaiset vihreät viivat kuvaavat kansia, pystysuuntaiset katkoviivat kehyskaaria ja paksut yhtenäiset viivat vesitiiviitä laipioita. Paksummat violetit viivat ovat lohkorajasaumoja, ohuemmat saman väriset viivat ovat saumoja eri ainevahvuuksien välissä. Lisäksi piirustuksissa pitää näyttää pollareita ja ankkurointi- / kiinnityslaitteistoa.



Kuva 21. Esimerkki laidoituksen levityskuvasta.

11 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia PCTC-aluksen laidoitusta ja sen suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä. Tarkoituksena on auttaa kokematon laidoitussuunnittelijaa ymmärtämään, mitä erityisesti PCTC-aluksen laidoituksen suunnittelussa pitää huomioida. Opinnäytetyössä käsitellään myös mitä laidoitus ja PCTC-alus tarkoittavat, ja miten jääluokitus ja luokan säännöt vaikuttavat laidoituksen suunnitteluun. Työssä tutustutaan lyhyesti myös ro/ro-alukseen, joka kuuluu PCTC-aluksen kanssa samaan kategoriaan. Tämä auttaa selvittämään paremmin myös, että minkälainen PCTC-alus on alustyyppinä.

Toimeksiantoyrityksen toiveena oli, että laidoituksen suunnittelusta laaditaan ohjeet, joista selviää laidoituksen suunnittelussa huomioitavat keskeiset asiat perussuunnitteluvaiheessa. Vaikka työssä käsitelläänkin jonkin verran myös laidoituksen mallintamista AVEVA Marinen Curved Hull -ohjelmalla, niin tämän työn ei ole tarkoitus olla AVEVA-ohjeistus, vaan tarkoituksena on ennemminkin ohjeistaa uudelle suunnittelijalle mitä laidan suunnittelutyössä täytyy huomioida. AVEVA-osuus on lähinnä hyvä tietää -tyyppistä asiaa.

Teoriaosio toteutettiin perehtymällä ensin erilaisiin kirjallisuuslähdeaineistoihin, esimerkiksi koulun oppimateriaaleihin. Tämän lisäksi tietoa saatiin toimeksiantajayrityksen sisäisestä tietokannasta. PCTC-aluksista löytyy netistä melko kattavasti tietoa englanniksi, mutta suomeksi tietoa löytyi suhteellisen vähän. Sama asia oli havaittavissa myös laidoituksesta, mutta tähänkin löytyi kyllä lopulta hyvinkin kattavasti tietoa painetusta kirjallisuudesta pienen etsinnän jälkeen.

Ohje-osiossa hyödynnettiin toimeksiantajayrityksessä meneillään ollutta PCTC-alusprojektia, josta saatiin teetettyä tähän opinnäytetyöhön lyhyt osio laidoituksen suunnittelusta myös käytännössä AVEVA Marine Curved Hull -ohjelmaa käyttäen. Tämän työn avulla uusi suunnittelija saa käsityksen siitä, mitä PCTC-aluksen laidoituksen suunnittelussa tulee huomioida, kun tehdään perussuunnittelua. Lisäksi työstä selviää, miten mallinnus tapahtuu AVEVA Marinen Curved Hull -ohjelmalla.

Lähteet

Alanko, J. 2007a. Johdatus kauppalaivan suunnitteluun. Turku: Karhukopio Oy.

Alanko, J. 2007b. Laivan yleissuunnittelu. Turku: Karhukopio Oy.

Deltamarin intranet 2022. Tietoa Deltamarinista. Viitattu 16.2.2022

Deltamarin www-sivut 2022. Tietoa Deltamarinista. Viitattu 28.3.2022

<https://deltamarin.com/corporate/>

DNV – Rules for classification of ships. Jul 2021. Part 6 chapter 6. Cold Climate. Viitattu 26.4.2022

[https://rules.dnv.com/servicedocuments/dnv/#!/industry/1/Maritime/1/Rules%20for%20classification:%20Ships%20\(RU-SHIP\)](https://rules.dnv.com/servicedocuments/dnv/#!/industry/1/Maritime/1/Rules%20for%20classification:%20Ships%20(RU-SHIP))

Höegh Autoliners 2022a. Höegh Autoliners signs contract to build the next four zero carbon ready Aurora class vessels. Viitattu 29.4.2022

<https://www.hoeghautoliners.com/news-and-media/news-and-press-releases/hoegh-autoliners-signs-contract-to-build-the-next-four-zero-carbon-ready-aurora-class-vessels>

Höegh Autoliners 2022b. Höegh Autoliners announces zero emission vessels. Viitattu 18.5.2022

<https://www.hoeghautoliners.com/news-and-media/news-and-press-releases/hoegh-autoliners-announces-zero-emission-vessels>

Järvenpää J. 2019. Laivan laidoitus suunnitteluohjeet. Ei saatavissa. Deltamarinin sisäinen ohjeistus. Viitattu 29.3.2022

Logistics Glossary 2022. Pure Car and Truck Carrier. Viitattu 28.3.2022

<https://www.logisticsglossary.com/term/pure-car-and-truck-carrier/>

Marine Insight 2019. What are Ro-Ro ships? Viitattu 29.3.2022

<https://www.marineinsight.com/types-of-ships/what-are-ro-ro-ships/>

Martide Seafarer Blog 2022a. Everything You Need to Know About Car Carrier Ships. Viitattu 29.3.2022

<https://www.martide.com/en/blog/seafarers/all-about-car-carriers/>

Martide Seafarer Blog 2022b. Everything You Need to Know About RoRo Ships. Viitattu 29.3.2022

<https://www.martide.com/en/blog/seafarers/all-about-ro-ro-ships/>

Marvest 2022. Car carrier. Viitattu 28.3.2022

<https://www.marvest.de/en/magazine/ships/car-carrier/>

Merriam-Webster 2022. Bilge. Viitattu 28.3.2022

<https://www.merriam-webster.com/dictionary/bilge>

Nautic Expo 2022. Car carrier cargo ship. Viitattu 29.3.2022

<https://www.nauticexpo.com/boat-manufacturer/car-carrier-cargo-ship-45233.html>

Peltola, V. 2013. Laidoituksen suunnittelun perusteet ja toteuttaminen AVEVA Marinella. Opinnäytetyö (AMK). Kone- ja tuotantotekniikka. Laivatekniikka. Turku: Turun ammattikorkeakoulu. Viitattu 25.4.2022

<https://www.theseus.fi/handle/10024/59397?show=full>

Pixabay.com 2022. Viitattu 18.5.2022

<https://pixabay.com/photos/ship-vessel-ferry-water-estuary-460882/>

Räisänen, P. (toim.) 2000. Laivatekniikka. 2., korjattu painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

ScienceDirect 2022. Bilge keel. Viitattu 16.5.2022

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bilge-keel>

Traficom – Liikenne ja viesintävirasto 2021. Alusten jääluokat. Viitattu 26.4.2022

https://www.finlex.fi/data/normit/47238/01_jaaluokkamaarays_2021_FI.pdf

Wärtsilä Encyclopedia of Marine and Energy Technology 2022a. Car carriers. Viitattu 28.3.2022

<https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/car-carriers>

Wärtsilä Encyclopedia of Marine and Energy Technology 2022b. Pure car, truck carrier (PCTC). Viitattu 28.3.2022

[https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/pure-car-truck-carrier-\(pctc\)](https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/pure-car-truck-carrier-(pctc))