



Susanna Maidla

Hydrauliikkaratkaisujen kehitys laivan kansivarustelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

19.11.2025

Tiivistelmä

Tekijä: Susanna Maidla
Otsikko: Hydrauliikkaratkaisujen kehitys laivan kansivarustelussa
Sivumäärä: 34 sivua
Aika: 19.11.2025

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine: Kemian prosessitekniikka
Ohjaajat: Kansivarustelusuunnittelun osastopäällikkö Mikael Johansson, DNY Finland Oy
Lehtori Timo Seuranen

Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää, miten DNY Finland Oy:llä voidaan kehittää kansivarusteiden hydrauliiikaputkiston suunnittelua. DNY Finland Oy on laivarakennusyritys, joka on erikoistunut jäänmurtajien, matkustaja-alusten ja muun meriteknologian suunnitteluun ja rakentamiseen. Työn keskeisimpänä tavoitteena oli parantaa putkistojen läpivientien ennakoitua, sillä se on ollut haasteena kansivarusteiden hydrauliputkistojen suunnittelussa.

Tällä hetkellä kansivarustelun hydrauliputkistojen reititykset suunnitellaan pääasiassa pintapuolisesti ilman 3D-mallinnusta. Työn yhteydessä aloitettiin hydrauliiikaputkiston 3D-mallinnus AVEVA E3D -ohjelmistolla, ja prosessin aikana tehtiin havaintoja AVEVA:n kirjaston kehitystarpeista mallinnuksen sujuvoittamiseksi.

Työssä perehdyttiin hydrauliiikan teoriaan sekä hydrauliputkistoille asetettuihin vaatimuksiin. Lisäksi työssä tarkasteltiin putkistojen mitoitusta, jotta yritykselle saatiin käyttöön laskentapohjia putkistomuutosten arviointiin. Työssä käsiteltiin myös koeponnistusta, mikäli yritys saa tulevaisuudessa käyttöönsä tarvittavat laitteistot, jotta yritys voi itse toteuttaa koeponnistuksen.

Yhtenä työn tavoitteena oli laatia ohjeet kansivarusteiden hydrauliputkien suunnittelua varten. Suunnittelijoille laadituissa ohjeissa määritellään, miten kansivarustelujärjestelmien hydrauliiikaputkien reititys tulisi suunnitella ja mitä seikkoja suunnittelussa täytyy ottaa huomioon. Lisäksi tutkittiin läpivientiratkaisuja, joista erityisesti Roxtec R-läpivientitiivistä todettiin toimivaksi ja joustavaksi vaihtoehdoksi. Työn tuloksena yritys sai kehitysehdotuksia hydrauliputkistojen suunnitteluun, 3D-mallinnukseen ja läpivientiratkaisujen parantamiseen.

Avainsanat: hydrauliiikka, putkien läpivienti, kansivarustelu

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Susanna Maidla
Title: Development of Hydraulic Systems for Ship Deck Equipment
Number of Pages: 34 pages
Date: 19 November 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major: Chemical Engineering
Supervisors: Mikael Johansson, Head of Deck Outfitting Design, DNY Finland Oy
Timo Seuranen, Senior Lecturer

The purpose of this engineering thesis was to determine how DNY Finland Oy can improve the design of hydraulic piping for deck equipment. DNY Finland Oy is a ship-building company specializing in the design and construction of icebreakers, passenger vessels, and other marine technology. The main objective of the thesis was to enhance the anticipation of the pipe penetrations, as this has been a challenge in the design of hydraulic piping for deck equipment.

Currently the routing of hydraulic piping for deck outfitting is mainly planned superficially without 3D modelling. As part of the thesis, 3D modelling of the hydraulic piping was initiated using the AVEVA E3D -software, and during the process, observations were made regarding the development needs of AVEVA's library in order to streamline modelling.

The thesis explored hydraulic theory and the requirements set for the hydraulic piping. In addition, the sizing of the piping was examined to provide the company with calculation templates for assessing pipeline modifications. Pressure testing was also addressed, should the company acquire the necessary equipment in the future to perform the testing in-house.

One of the objectives was to create guidelines for designing hydraulic pipes for deck equipment. These guidelines, prepared for designers, define how the routing of hydraulic pipes in the deck outfitting systems should be designed and what factors must be considered in the design. Furthermore, penetration solutions were studied, with Roxtec R penetration seal identified as a functional and flexible option. As a result of the thesis, the company received development proposals for improving hydraulic piping design, 3D modelling, and penetration solutions.

Keywords: hydraulics, pipe penetration, deck outfitting

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Hydrauliikan teoria	2
2.1	Hydrauliikan toimintaperiaate	2
2.2	Hydrauliputkisto	4
2.2.1	Hydraulineste	5
2.2.2	Liittimet	5
2.2.3	Hydrauliletkut	6
2.2.4	Putkien reititys ja kannakointi	7
2.3	Standardit	11
2.4	Putkiston mitoitus	12
2.5	Koeponnistus	17
3	Kansivarusteiden hydrauliikan suunnittelu	18
3.1	Kansivarustelut	18
3.2	Putkien läpivienti ja reititys	20
3.3	Läpivientityypit	22
3.4	Vaihtoehtoinen läpivienti korvaamaan kuumavarustelutyöt	23
4	Hydrauliputkiston suunnitteluohjeet	24
4.1	Ohjeen käyttö	25
4.2	Ohjeen sisältö	25
5	3D-malli	26
5.1	3D-mallin toteutus	26
5.2	3D-mallin kehitys	27
5.3	3D-mallinnuksen hyödyt	28
6	Tulokset	30
7	Yhteenveto	31
	Lähteet	33

Lyhenteet

- ABS:** *American Bureau of Shipping.* Kansainvälinen luokituslaitos, joka tarkastaa ja sertifioidu alusten ja offshore-rakenteiden turvallisuutta ja standardienmukaisuutta.
- AS:** *Acid-resistant Steel.* Haponkestävä teräs.
- CR:** *Kloropeeni.* Synteettinen kumimateriaali.
- CS:** *Carbon Steel.* Hiiliteräs, yleinen putkimateriaali.
- DNV:** *Det Norske Veritas.* Kansainvälinen sertifiointi- ja luokituslaitos, joka tarjoaa standardeja ja tarkastuksia erityisesti meriteollisuudessa.
- EPDM:** *Etyleeni-propyleeni-dieenikumi.* Kestävä synteettinen kumi.
- GA:** *General Arrangement.* Yleisasetelma tai yleisjärjestelypiirustus, joka näyttää laivan tai laitteen kokonais-layoutin.
- HPU:** *Hydraulic Power Unit.* Hydraulinen teholähde, joka tuottaa hydraulista painetta koneiden ja järjestelmien käyttöön.
- LARS:** *Launch and Recovery System.* Järjestelmä, jota käytetään laitteiden turvalliseen laskemiseen ja nostamiseen merestä.
- PTFE:** *Polytetrafluorieteeni (Teflon).* Materiaali, joka on tehty hiili- ja fluoriatomeista.
- Q:** *Silikoni.* Elastinen ja lämpöä kestävä materiaali.
- SFS:** *Suomen Standardit.* Suomalainen standardisointiorganisaatio, joka laatii, julkaisee ja ylläpitää kansallisia standardeja.
- SS:** *Stainless Steel.* Ruostumaton teräs; korroosionkestävä materiaali.

TPE: *Termoplastinen elastomeeri*. Materiaali, joka yhdistää muovien ja kumien ominaisuuksia.

1 Johdanto

Tämä insinöörityö tehdään DNY Finland Oy:lle, joka on laivarakennusyhtiö. Yritys on erikoistunut jäänmurtajien, matkustaja-alusten ja muun meriteknologian suunnitteluun ja rakentamiseen. Insinöörityön tarkoituksena on kehittää kansivarustelun hydrauliiikan suunnitteluohjeita, joiden avulla putkien asentaminen olisi tehokkaampaa. Tällä hetkellä kansivarustelun hydrauliikkaputkistojen reititykset suunnitellaan pääasiassa pintapuolisesti ilman 3D-mallinnusta. Putkireititykset esitetään 2D-piirustuksissa yksinkertaisina viivapiirroksina, joissa esitetään putkien painealueet, läpivientityypit sekä putkimateriaalit ja -halkaisijat.

Piirustuksien laatua on pyritty viime aikoina parantamaan, mutta niissä ei vielä ole johdonmukaisuutta eri projektien välillä. Hydrauliiikkakaaviot saadaan laite-toimittajilta, mutta ne valmistuvat vasta siinä vaiheessa, kun perussuunnittelu on jo pitkällä toteutusvaiheessa. Niitä ei voida siis hyödyntää perussuunnittelun alkuvaiheessa. Tuotannon näkökulmasta olisi tärkeää, että putkien läpivientien sijainnit olisivat tiedossa jo tuotannon alkuvaiheessa, jotta tarvittavat läpiviennit voidaan tehdä ennen putkien asennusta. Myös putkien kannakointivälit olisi hyvä esittää suunnitteluvaiheessa, jotta tuotanto tietää etukäteen, kuinka monta kannaketta tarvitaan.

Tämän työn keskeisenä tavoitteena on kehittää suunnittelukäytäntöjä siten, että kuumavarustelutyöt tehdään tuotannon alkuvaiheessa. Aiemmissa projekteissa on esiintynyt tilanteita, joissa putkien läpivientipaikat eivät ole olleet tiedossa riittävän aikaisin, ja tarvittavat läpiviennit on jouduttu tekemään tuotannon myöhäisemmässä vaiheessa. Tämä aiheuttaa turvallisuusriskejä ja voi vahingoittaa valmiita maalipintoja. Läpivientien suunnittelun lisäksi työssä tarkastellaan putkiston mitoitus- ja koeponnistukseen liittyviä periaatteita sekä hydrauliputkistojen yleisiä suunnitteluun liittyviä asioita, kuten reititystä, kannakointia ja keskeisiä komponentteja. Näin muodostetaan kokonaiskuva putkistojärjestelmän suunnittelusta ja tuotetaan yritykselle taustatietoa läpivientien suunnittelun tueksi.

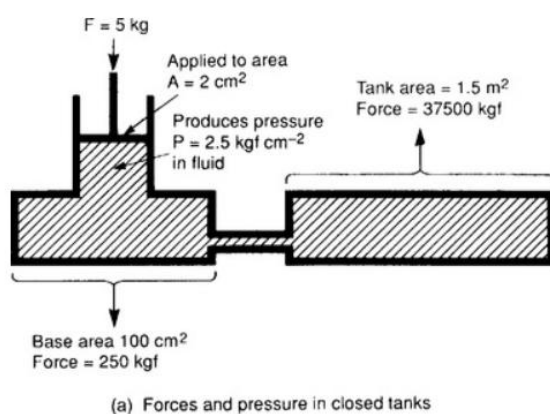
Tämän työn avulla kehitetään suunnittelijoille ohjeistus, jossa määritellään, miten kansivarustelujärjestelmien hydraulikkaputkien reititys tulisi suunnitella ja mitä seikkoja suunnittelussa olisi huomioitava. Työn yhteydessä aloitettiin hydraulikkaputkiston 3D-mallinnus AVEVA E3D -ohjelmistolla, ja prosessin aikana tehtiin havaintoja AVEVA:n kirjaston kehitystarpeista mallinnuksen sujuvoittamiseksi.

Opinnäytetyöraportin kieliasun viimeistelyssä on käytetty Microsoftin Copilotin versiota bizchat.20251030.51.4. Opinnäytetyön tekijä on vastuussa kaikesta opinnäytetyön sisällöstä ja muotoilusta.

2 Hydrauliiikan teoria

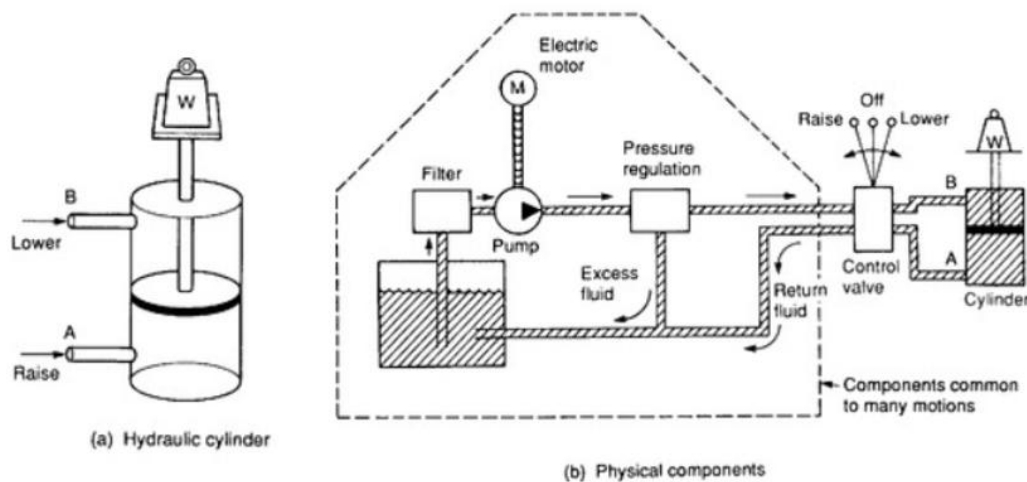
2.1 Hydrauliiikan toimintaperiaate

Hydrauliiikka tarkoittaa voiman ja liikkeen siirtämistä nesteiden avulla. Hydrauliiikan toiminta perustuu Pascalin lakiin, jonka mukaan suljetussa tilassa olevan nesteen paine siirtyy kaikkiin suuntiin yhtä suurena (kuva 1). Pascalin lain avulla hydrauliiikkaa voidaan hyödyntää suurten voimien siirtämiseen ja hallintaan suhteellisen pienillä laitteilla. [14, s. 1, 15.]



Kuva 1. Esimerkki paineen välittymisestä suljetussa säiliössä: Pienelle männälle kohdistettu 5 kg:n voima ($A = 2 \text{ cm}^2$) aiheuttaa nesteeseen paineen $2,5 \text{ kg f/cm}^2$, joka välittyy suuremmalle alueelle ja tuottaa $37\,500 \text{ kgf}$:n voiman Pascalin lain mukaisesti [14, s. 16].

Tyypillinen hydraulikkajärjestelmä muodostuu useista komponenteista. Pumpulla pumpataan öljyä tai muuta hydraulinestettä säiliöstä ja tuotetaan siihen painetta. Paineistetun nesteen virtausta ohjataan erilaisilla venttiileillä, jotka säätelevät suuntaa, virtausnopeutta ja painetasoa. Venttiileistä neste johdetaan hydraulisylintereihin tai moottoreihin, jossa paine muutetaan mekaaniseksi liikkeeksi. [14, s. 2–4, 31.] Neste palautuu lopulta takaisin säiliöön. Hydrauliiikan toimintaa on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2 Hydraulisylinterin (a) toimintaperiaate sekä tyypillisen hydraulijärjestelmän (b) pääkomponentit, kuten pumppu, paineensäätö, suodatin, ohjausventtiili ja sylinteri [14, s. 4].

Hydraulikkajärjestelmän sylinteristä saatava voiman suuruus riippuu nesteen paineesta ja männän poikkipinta-alasta. Nesteen paine sylinterissä määritetään kaavalla 1 [14, s. 10]:

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

jossa P on paine (Pa)
 F on voima (kg f, *kilogram/force*)
 A on pinta-ala (cm²).

F annetaan tyypillisesti yksikössä kilogramman voima (kg f) ja A neliösenttimetreinä (cm^2), jolloin paine saadaan yksikössä kilogramman voima neliösenttimetriä kohti (kg f /cm^2). Esimerkkinä, tyypillinen 150 bar hydraulipaine nostaa 150 kg jokaista männän pinta-alan neliösenttimetriä kohti. Näin ollen 2 000 kg:n kuormaa voitaisiin nostaa halkaisijaltaan 4,2 cm olevalla männällä. [14, s. 2, 11.]

Virtaustekniikka on tärkeä osa hydrauliiikan toimintaa. Hydraulinesteen virtausnopeus (m/s) on tärkeä ottaa huomioon hydraulikkajärjestelmän suunnittelussa. Virtauksia on kahdenlaista, laminaarinen ja turbulenttinen virtaus. Laminaarissa virtauksessa virtausnopeus on pieni ja virtauskuvio on tasainen ja lineaarinen. Putken seinämien lähellä virtausnopeus on pienin ja putken keskellä suurin. Turbulenttisessa virtauksessa putkeen alkaa muodostua pyörteitä, ja virtausnopeus on käytännössä lähes yhtenäinen koko putken poikkileikkauksessa. Turbulenttista virtausta suositaan yleensä prosessinohjauksessa, koska se yksinkertaistaa tilavuusvirran mittausta. Turbulenttinen virtaus kuitenkin lisää energiahäviötä kitkan vuoksi ja voi johtaa ennenaikaiseen kulumiseen. Turbulenttisissa virtauksissa esiintyvä kavitaatio voi aiheuttaa venttiilipintojen kuoppautumista. [6, s. 27–28; 14, s. 21–23.]

2.2 Hydrauliputkisto

Hydrauliputkistoon kuuluu putkia, liittimiä, letkuja ja kiinnikkeitä. Hydrauliputkistojen valinta riippuu suoraan siitä, kuinka suurta painetta putken täytyy kestää. Putkimateriaali on tyypillisesti hiiliterästä, ruostumatonta terästä tai ruostumatonta haponkestävää terästä [6, s. 414]. Putkia voidaan valmistaa hitsattuina tai saumattomina. Hitsattujen putkien hitsaussaumoissa on luontaista heikkoutta, minkä vuoksi saumattomat putket tai putkistot ovat ensisijainen valinta kaikissa muissa kuin matalapaineisissa hydraulikkajärjestelmissä. Hydrauliputket määritellään sekä seinämänpaksuuden perusteella, joka määrittää putken painekestön, että ulkohalkaisijan perusteella, joka vaikuttaa käytettävien liittimien tyyppiin. Tästä seuraa, että tietyllä ulkohalkaisijalla korkeapaineinen putki omaa pienemmän sisähalkaisijan. [25, s. 12–16; 14, s. 165–166.] Putkiliitosten ja

osien määrää on pidettävä mahdollisimman vähäisenä vuotoriskin minimoimiseksi [4, s. 400].

2.2.1 Hydraulineeste

Hydraulineeste välittää tehoa pumpulta toimilaitteille. Neste toimii voiteluaineena hydraulikkajärjestelmille, estää korroosiota ja ruostumista sekä kuljettaa järjestelmästä irronneita epäpuhtauksia suodattimeen tai säiliöön. [6, s. 112.] Hydraulineesteen ihanteellinen käyttölämpötila on noin 50 °C, ja hydraulineesteen lämpötila pyrkii nousemaan tehdyn työn seurauksena [14, s. 157]. Hydraulineesteen viskositeetti riippuu sen lämpötilasta. Hydraulineeste on ohutta ja virtaa helpposti, kun sillä on pieni viskositeetti. Viskositeetin kasvaessa hydraulineesteestä tulee paksua ja se virtaa hitaasti. Hydraulikkajärjestelmä toimii hitaammin ja siinä syntyy enemmän kitkaa ja tehohäviötä, jos sillä on korkea viskositeetti. Hydraulineesteen viskositeetti pienenee lämpötilan kasvaessa. [6, s. 26–27; 14, s. 156–160.]

Meriteollisuudessa suositaan biologisesti nopeasti hajoavia nesteitä, koska ne ovat huomattavasti ympäristöystävällisempiä kuin muut hydraulineesteet. Biopohjaisia nesteiden ominaisuuksia joudutaan kylläkin parantamaan lisäaineilla. [6, s. 118.]

2.2.2 Liittimet

Liittimien valinta vaikuttaa putkiston paineen kestävyys ja painehäviöön. Liittimien mitoittamisessa täytyy ottaa huomioon, että liittimien paineenkesto määrittää koko putkiston paineen keston. Liittintä valittaessa täytyy varmistaa liittimen paineluokka, jotta se vastaa järjestelmän käyttöpainetta. Yleisimpiä putken liittimiä ovat leikkuurengasliitokset, hitsattavat liitokset ja kiilarengasliitokset. [25, s. 11, 16.] Liitoksia ei suositella sijoitettavaksi rinnakkain, ellei se ole rakenteen vuoksi välttämätöntä. Rinnakkaiset liitokset vaikeuttavat kiristämistä ja huoltoa. Liitosten välille tulisi jättää riittävästi tilaa työkalujen käyttöä ja tarkastusta varten. [21, s. 42.]

Alla on esimerkkikuva (kuva 3), miten liitokset tulisi asentaa, jotta huolto olisi mahdollinen.



Kuva 3. Kuvassa näkyy hydraulikkaputkien liitoskohdat. Kuva on otettu Polaris-jäänmurtajalta.

2.2.3 Hydrauliletkut

Hydrauliletkuja käytetään liikkuvien järjestelmän osien liittämiseen tai tilanteissa, joissa tilanpuute estää putkien asentamista. Letkut vaimentavat hyvin värähtelyä järjestelmässä, ja ne kompensoivat lämpölaajenemisesta aiheutuvia liikkeitä. Letkujen sisämateriaali valitaan hydraulinesteen mukaan, jotta se kestäisi käytettävää hydraulinestettä. Sisäkerroksen materiaalilta vaaditaan myös mahdollisimman pientä huokoisuutta. Erittäin korkeilla ja matalilla lämpötiloilla käytetään materiaalina letkujen sisäkerroksessa silikonia (Q) tai teflonia (PTFE). Letkun uloimmalta kerrokselta vaaditaan kestävyyttä kemiallisia, mekaanisia ja

sääolosuhteiden aiheuttamia rasituksia vastaan. Parhaiten nämä vaatimukset täyttää kloropeeni (CR). [25, s. 35–38.]

Alla on esimerkkikuva (kuva 4) tilanteesta, jolloin voidaan käyttää letkuja putkien sijaan.



Kuva 4. Kuvassa putket on vedetty rakenteen läpi ja jatkettu letkuilla mahdollisen tilanpuutteen vuoksi. Kuva on otettu Polaris-jäänmurtajalta.

2.2.4 Putkien reititys ja kannakointi

Hydrauliputkisto on tuettava, jotta putken oma paino ei vahingoita rakenteita. Putkiston kannakoinnilla voidaan estää haitallisten värähtelyjen vaikutus liitoskohtiin, jolloin liittimiin ei aiheudu vuotoja. Värähtelyä voidaan vaimentaa paremmin, jos käytetään vaimentavia kiinnikkeitä, etenkin jos putkisto asennetaan tärkeisiin alueisiin. Vaimentavat kiinnikkeet ovat yleensä kumiholkkeja. Holkki vaimentaa hyvin värähtelyä, eikä se vaikuta kiinnikkeiden muihin ominaisuuksiin. Kannakointi ei saa kuitenkaan estää putkien lämpölaajenemisesta aiheutuvia liikkeitä. Nämä kiinnikkeet ovat nimeltään putken pituussuuntaisen liikkeen

sallivia kiinnikkeitä. Kiinnikkeiden valinnassa täytyy ottaa huomioon käyttöympäristö, muovisia kiinnikkeitä käytetään, kun lämpötila on $-30\dots+100\text{ °C}$ ja kumisia käytetään, kun lämpötila on $-35\dots+70\text{ °C}$. Lämpötilan ollessa korkeampi, täytyy käyttää alumiinisia kiinnikepuoliskoja. [25, s. 56.] Lämpötilan ollessa matalimmillaan -50 °C , tarvitaan kestävämpiä kannakkeita. Nämä materiaalit ovat termoplastinen elastomeeri (TPE) ja etyleeni-propyleeni-dieeni-kumi (EPDM), joiden käyttölämpötila-alue on $-50\dots+90\text{ °C}$. [23.]

Alla esimerkkikuva (kuva 5) putkien kannakoinnista jäänmurtajassa.



Kuva 5. Kuvassa paineilmaputket on kannakoitu jäykisteisiin eli laivan teräsrakenteisiin.

Putkiston reititys tulisi pitää mahdollisimman yksinkertaisena siten, että putkissa olisi mahdollisimman vähän liittoksia, erilaisia liittimiä ja putkikokoja. Liitoskohtien tulee olla helposti asennettavissa ja purettavissa, joten työskentelytila

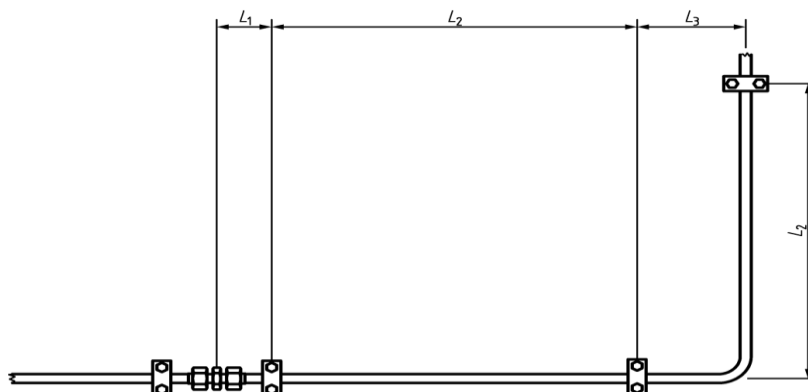
täytyy ottaa huomioon reitityksen suunnittelussa. Aikaisemmin mainittu lämpölaajenemisesta aiheutuva putkiston pituuden muutos voidaan kompensoida putken taivutuksilla, erityisesti U-mutkalla, jos on pitkä putkisto. Kiinteistä komponenteista suositellaan vetämään putki S-mutkalle, millä estetään lämpölaajenemisesta aiheutuva liikkeen välittyminen suoraan liitoskohtaan. [25, s. 92–95.] Laivojen kansivarusteiden hydrauliputket ovat kuitenkin melko lyhyitä, jolloin lämpölaajeneminen ei ole merkittävä. Putket kannattaa asentaa siististi rinnakkain, kun useita putkia reititetään samasta kohdasta. Putkia ei suositella reitittävän toistensa yli, koska se hankaloittaa kannakointia ja huoltoa. [25, s. 92–95.]

Kannakoinnissa on tärkeää ottaa huomioon kiinnikkeiden välimatka putkistossa. Hydrauliputkistossa kiinnikkeiden väliset etäisyydet putkikoosta riippuen on esitetty taulukossa 1 [25, s. 96].

Taulukko 1. Kiinnikkeiden suositellut välimatkat putkikoon mukaan [25, s. 96]. L2-termi on esitetty kuvassa 6.

Putken ulkohalkaisija (mm)	Kiinnikkeiden väli L2 (m)
6,0–12,7	1,0
12,7–22,0	1,2
22,0–32,0	1,5
32,0–38,0	2,0
38,0–57,0	2,7
57,0–75,0	3,0
75,0–76,1	3,5
76,1–88,9	3,7
88,9–102,0	4,0
102,0–114,0	4,5
114,0–168,0	5,0
168,0–219,0	6,0

Kuvassa 6 on esitetty putken suoran osuuden kiinnikkeiden välin L_2 , joiden mitat oli annettu taulukossa 1. Kuvassa näkyy myös kiinnikkeiden välinen etäisyys liittimistä L_1 sekä kiinnikkeiden etäisyys mutkista L_3 .



Kuva 6. Kuvassa on esitetty kiinnikkeiden etäisyys L_1 -liittimistä, L_2 -kiinnikkeiden etäisyys toisistaan ja L_3 -kiinnikkeiden etäisyys mutkista [21, s. 44].

Putkisto, jossa on mutkia, täytyy tukea mahdollisimman läheltä taivutusta. Kiinnikkeet tulee kuitenkin asentaa vain putkisuorille, eikä niitä saa asentaa liian lähelle liittimiä. Taulukossa 2 on esitetty kiinnikkeiden välisien etäisyyksien lisäksi suositellut etäisyydet mutkista ja liittimistä [21, s. 44].

Taulukko 2. Kuvan 6 mukaisia kiinnikkeiden etäisyyksiä putkikoon mukaan [21, s. 44].

Putken ulkohalkaisija d (mm)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)
$d \leq 10$	50	600	100
$10 < d \leq 25$	100	900	200
$25 < d \leq 50$	150	1200	300
$d > 50$	200	1500	400

Tukemisessa on otettava huomioon paine, värinä, seinämän paksuus, melupäästöt ja kulkureitit [21, s. 42].

2.3 Standardit

Hydrauliikkajärjestelmiä koskevat standardit ja määräykset on laadittu järjestelmien turvallisuuden ja laadun näkökulmasta. Esimerkiksi Lloyd's Register -sääntöjen tarkoituksena on varmistaa, että kaikki hydrauliikkajärjestelmän osat kestävät käyttöolosuhteita. Lisäksi säännöt ja standardit yhtenäistävät käytäntöjä eri valmistajien ja toimittajien välillä. Tällöin helpotetaan järjestelmien tarkastuksia ja hyväksyntöjä meriteollisuuden kohteissa.

Seuraavat vaatimukset on esitetty Lloyd's Register säännöissä [8, Part 5, Ch. 14, Sec. 9 Hydraulic systems]:

- 9.2.1 Hydraulineste on soveltuva aiottuun käyttötarkoitukseen kaikissa käyttöolosuhteissa.
- 9.2.2 Tiivisteissä käytettävien materiaalien pitää kestää käytettävää hydraulinestettä sekä sen lämpötilaa ja painetta.
- 9.2.4 Hydraulisesti toimivien lukitusten on oltava sellaisia, että ne pysyvät suljettuina hydraulivian sattuessa.
- 9.4.1 Hydrauliputkien pitää olla saumattomia teräspanputkia tai muuta hyväksyttäviä materiaaleja.
- 9.7.2 Syttyviä hydraulinesteitä varten tarkoitetut putkistorjestelmät on asennettava siten, että nesteen vuotaminen sytytyslähteisiin, kuten sähkölaitteisiin estyy. Putkiliitokset on pidettävä mahdollisimman vähäisinä ja niiden on oltava LR:n hyväksymää tyyppiä.

Lisäksi sääntöjen toisessa osassa [9, Ch. 1, Sec.5] esitetään seuraavia vaatimuksia:

- 5.1.1 Kaikki materiaalit kuten putkisto, komponentit ja kaapelit tulisi sijoittaa mahdollisuuksien mukaan sisätiloihin, jotta altistuminen alhaisille lämpötiloille ja jäätymiselle olisi mahdollisimman vähäistä.
- 5.1.2 Jokainen laite ja järjestelmä on suojattava alhaisten lämpötilojen ja jään kertymisen vaikutuksilta käyttämällä tarkoituksenmukaisia suojausmenetelmiä. Mahdollisia suojausmenetelmiä ovat mm. lämmitys, jäänpoistolaitteet, suojapeitteet, kuivatus, eristys, materiaali-valinta sekä voiteluaineiden, öljyjen, hydraulinesteiden ja rasvojen valinta.

Hydrauliikkajärjestelmiä koskevia sääntöjä ja standardeja on olemassa useita, ja ne voivat vaihdella käyttökohteen sekä viranomaisvaatimusten mukaan.

Tästä syystä ne tulisi tarkastaa aina tapauskohtaisesti.

2.4 Putkiston mitoitus

Putkiston mitoituksella pyritään määrittämään putkiston sisähalkaisija ja seinämänpaksuus. Putki, jolla on liian pieni sisähalkaisija, voi aiheuttaa suuria painehäviöitä. Putkistoa mitoittaessa tulisi tietää haluttu työpaine sekä järjestelmän mitoittettavan osan maksimitilavuusvirta. Tyypillisesti putkistojen mitoitus perustuu sallittuihin kokonaispainehäviöihin tai sallittuihin virtausnopeuksiin. Näillä saadaan määritettyä putkiston sisähalkaisija. Putken seinämänpaksuus määräytyy järjestelmän paineiden mukaan. [25, s. 3.] Putken seinämänpaksuus voidaan määrittää lujuuslaskennalla, mutta seinämänpaksuus arvoja löytyy myös standardeista sekä toimittajilta. SFS-EN 10305-4:2016 -standardi [19] on tarkoitettu ohutseinäteräsputkille, jotka ovat saumattomia kylmävedettyjä putkia hydrauliikkajärjestelmiin. Standardissa on mm. määritetty putken seinämänpaksuus ja toleranssit putken sisä- ja ulkohalkaisijan perusteella.

PSK 2401 -standardin [15, s. 4] mukaan suositellut virtausnopeudet hydrauliöljylle imuputkessa on 0,5–1,5 m/s ja paineputkessa 2–5 m/s. Taulukossa 3 on esitetty putkiston eri osien suositellut virtausnopeudet [25, s. 5].

Taulukko 3. Putkiston eri osien suositellut ja suurimmat sallitut virtausnopeudet imu- ja paineputkelle sekä paluulinjalle [25, s. 5].

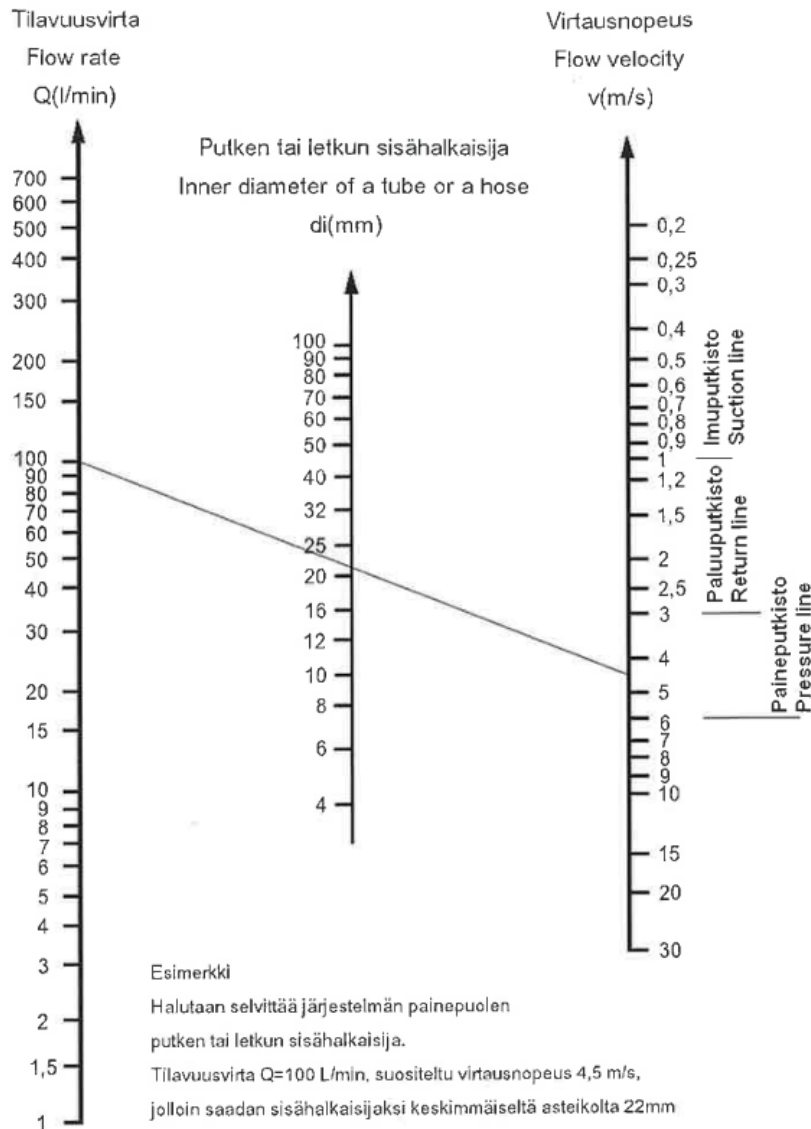
Putkiston osa	Suositteltu virtausnopeus v (m/s)	Suurin sallittu virtausnopeus v (m/s)
Imuputki	0,5–1,0	1,0–1,5
Paluuputki	1,0–3,0	3,0–4,0
Painelinja 6,3–10 MPa	4,0–4,5	6,0
10–16 MPa	4,5–5,0	6,0
16–25 MPa	5,0–5,5	6,0
25–40 MPa	5,5–6,0	6,0

Putken sisähalkaisija voidaan laskea kaavalla 2, kun tiedetään putkiston osalle suositeltu virtausnopeus ja maksimitilavuusvirta [25, s. 5]:

$$d_i = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (2)$$

jossa d_i on sisähalkaisija (m)
 Q on maksimitilavuusvirta (m^3/s)
 v on virtausnopeus (m/s).

Kuvassa 7 on putken sisähalkaisijan määrittäjäasteikko. Asteikon avulla voidaan määrittää tarvittava sisähalkaisija, kun tiedetään putkiston suositeltu virtausnopeus sekä tilavuusvirta. Asteikolla voidaan myös tarkistaa tilavuusvirran ja sisähalkaisijan avulla, onko virtausnopeus sallituissa rajoissa, jos järjestelmän osaan on jo valittu putki. [25, s. 5–6.]



Kuva 7. Putken sisähalkaisijan määrittämissasteikko [25, s. 6].

Putkistossa syntyy painehäviötä kitkavastushäviöstä, joka syntyy putken suorilla osuuksilla nesteen virtauksesta johtuvasta kitkasta sekä kertahäviöstä, jonka aiheuttavat putken mutkat ja liittimet. Näistä syntyy putkistoon kokonaispainehäviö. Jatkuvasti toimivissa järjestelmissä kokonaispainehäviön suositeltu taso on noin 3–5 % syöttöpaineesta ja jaksottaisesti toimivissa järjestelmissä 7–10 %. Hydraulijärjestelmässä painehäviö muuttuu lämmöksi, mikä aiheuttaa koko järjestelmän lämpenemistä. [25, s. 7.] Tästä syystä suuria painehäviöitä tulisi välttää.

Putkessa oleva virtaus on joko laminaarinen tai turbulентtinen. Tämä voidaan määrittää Reynoldsin luvun avulla (kaava 3) [7, s. 75]:

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta} \quad (3)$$

jossa ρ on nesteen tiheys (kg/m³)
 v on virtausnopeus (m/s)
 d on putken halkaisija (m)
 η on dynaaminen viskositeetti (kg/ms).

Pyöreissä putkissa esiintyy laminaarinen virtaus, kun Reynoldsin luku on pienempi kuin kriittinen raja 2 000. Turbulenttisissa virtauksissa Reynoldsin luku on > 4 000. Välillä 2 000 < Re < 4 000 virtauksen luonne on laminaarisen ja turbulenttisen välillä, mutta mitoituksen kannalta tämä alue katsotaan turbulenttiseksi. [7, s. 75–78.]

Painehäviö laminaarisissa (kaava 4) ja turbulenttisissa virtauksissa (kaava 5), voidaan laskea seuraavasti [7, s. 76–78]:

$$\Delta p = \frac{64 L \rho v^2}{Re \cdot 2 D} \quad (4)$$

$$\Delta p = \xi \frac{L \rho v^2}{2 D} \quad (5)$$

jossa Δp on painehäviö (Pa)
 ξ on putkivastuskerroin
 L on putken pituus (m)
 D on putken sisähalkaisija (m)
 ρ on nesteen tiheys (kg/m³)
 v on virtausnopeus (m/s).

Turbulenttisissa virtauksissa putkivastuskerroin ξ ottaa huomioon putken seinämäkarheuden. Putkivastuskertoimen laskenta perustuu Reynoldsin lukuun sekä putken suhteelliseen karheuteen. Yleisessä käytössä on mm. Churchillin esittämä laskentakaava, joka soveltuu hyvin tietokonepohjaiseen laskentaan. Vaihtoehtoisesti ξ voidaan määrittää myös Moody-diagrammista, kun Reynoldsin luku ja karheus tunnetaan. [7, s. 78.]

Putkistoon kuuluu suoran putken lisäksi muitakin rakenneosia, mm. putkien mutkat, liitokset ja venttiilit. Rakenneosien painehäviön suuruus ilmoitetaan kertavastuskertoimella ζ . Rakenneosien kertavastuskertoimet vaihtelevat melko paljon. Näitä arvoja saa rakenneosien toimittajilta sekä virtausteknistä mitoitusta käsittelevästä kirjallisuudesta [7, s. 79.] Putkiston rakenneosien tapahtuvien painehäviöt lasketaan kaavalla 6 [7, s. 80]:

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho v^2}{2} \quad (6)$$

jossa ζ on kertavastuskerroin
 ρ on tiheys (kg/m³)
 v on virtausnopeus (m/s).

Kaikkien edellä olevien yhtälöiden avulla voidaan ratkaista putkiston kokonaispainehäviö kaavalla 7 [7, s. 81]:

$$\Delta p = \rho \left(\xi \frac{L}{D} + \sum \zeta_i \right) \frac{v^2}{2} \quad (7)$$

Kaavan avulla voidaan laskea putkiston kokonaispainehäviö annetuilla mitoilla ja virtausolosuhteilla. Sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi tarkistettaessa, miten putkikoon tai putkiston reitityksen muutokset vaikuttavat painehäviöön. Kuten aikaisemmin on mainittu, jatkuvasti toimivissa järjestelmissä kokonaispainehäviön suositeltu taso on noin 3–5 % syöttöpaineesta ja jaksottaisesti toimivissa järjestelmissä 7–10 %.

2.5 Koeponnistus

Hydrauliputkisto täytyy puhdistaa ja koeponnistaa ennen käyttöönottoa. Putkisto huuhdellaan, jotta saadaan mahdollisimman paljon epäpuhtauksia pois järjestelmästä. Toimilaitteet, kuten venttiilit ja moottorit, tulee ohittaa huuhteluajon ajaksi, jotta epäpuhtaudet eivät päädy toimilaitteisiin. Huuhtelussa tulisi käyttää erillistä huuhteluun tarkoitettua koneikkoa, jotta huuhtelu olisi riittävän tehokasta. Huuhtelun aikana tulee mitata öljyn hiukkaspitoisuuksia, jotta öljyn puhtausluokka voidaan varmentaa. [25, s. 117–119.] Standardi ISO 4406 [18] käsittelee hydraulikka- ja voiteluöljyjen puhtauden mittaamista. Standardi kertoo, kuinka paljon öljyssä on kiinteitä hiukkasia. Tulokset esitetään kolmen numeron koodina, joka perustuu hiukkasten lukumäärään per millilitra nestettä kokoluokittain (yli 4 µm, yli 6 µm ja yli 14 µm). Standardia käytetään, jotta nesteiden puhtausvaatimuksia voidaan vertailla ja valvoa.

Kaikki toimilaitteet ja pumppu kytketään takaisin putkistoon huuhtelun jälkeen, ja säiliö täytetään puhtaalla öljyllä suodattimen kautta. Huuhtelusta tulisi laatia pöytäkirja, josta selviää öljyn puhtausluokka ennen ja jälkeen huuhtelun sekä mahdolliset hiukkaspitoisuuden tulokset. Hydraulikkajärjestelmän paineputkisto koeponnistetaan käytettävällä hydraulioöljyllä. Koeponnistuksessa paineputkistoiden päistä irrotetaan suojatulpat ja putkisto eristetään muista komponenteista. Putkisto kytketään erilliseen koeponnistusyksikköön ja putkisto ilmataan mahdollisimman matalalla paineella. Ilmauksen jälkeen painetta nostetaan koeponnistuspaineeseen hitaasti järjestelmän käyttöönotto-ohjeiden mukaisesti. Koeponnistuksen suunnitellun pitoajan tai vuotojen havaitsemisen jälkeen paine lasketaan hitaasti, ja jos vuotavia liitoksia on löytynyt, ne kiristetään paineettomassa järjestelmässä ja koeponnistus suoritetaan uudelleen. Koeponnistus tulee suorittaa vakiolämpötilassa. Koeponnistus dokumentoidaan ja siihen kirjataan koepaine, pitoaika ja lämpötila. [25, s. 117–119.] Standardissa SFS-EN 13480-5:2024 [20] on määritetty tarkemmin putkistojen tarkastuksesta ja testausta koskevista vaatimuksista.

3 Kansivarusteiden hydrauliiikan suunnittelu

DNY Finland Oy:ssä tehdään perussuunnittelua ja valmistussuunnittelua. Kun yritys saa uuden tilausprojektin, käynnistetään perussuunnittelu. Perussuunnittelun piirustuksia hyödynnetään valmistussuunnittelussa. Laivan lohkojen rakentaminen aloitetaan usein jo siinä vaiheessa, kun perus- ja valmistussuunnittelu on vielä kesken. Suunnitelmia päivitetään rinnakkain rakentamisen edetessä. Tämä toimintamalli mahdollistaa laivojen luovuttamisen tiukassa aikataulussa, mutta aiheuttaa samalla useita suunnittelullisia ja tuotannollisia haasteita.

Tässä insinööriyössä tarkastellaan kansivarusteiden hydrauliputkien reititystä ja niiden läpivientiratkaisuja. Työn tavoitteena on määrittää putkien läpiviennit mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta niihin liittyvät kuumavarustelutyöt voidaan toteuttaa suunnitellussa tuotantovaiheessa.

Yrityksellä on ollut haasteita kansivarusteiden hydrauliputkien reitityksen ja läpivientien suunnittelussa. Hydrauliiikkakaaviot saadaan laitetoimittajilta, mutta niitä ei saada tarpeeksi aikaisessa vaiheessa. Kun kaaviot on saatu, suunnittelupuolella lisätään niihin tiedot läpivientityypeistä, putkien paineista ja koosta sekä suunnitellusta putkireitityksistä. Tämä toimintamalli on kuitenkin vaihdellut, ja sen kehittämiseen on panostettu viime vuosina. Tavoitteena on yhtenäistää suunnittelutapaa ja kehittää käytäntöjä siten, että kuumavarustelutyöt voidaan toteuttaa tuotannon alkuvaiheessa suunnitellusti.

3.1 Kansivarustelut

Laivan kansivarustelut, jotka voidaan toteuttaa hydraulisella käyttöjärjestelmällä, ovat mm. kiinnitys-, ankkurointi- ja lastinkäsittelylaitteet sekä luukut, taavetit, nosturit ja vesitiiviit ovet [24, s. 180]. Hydrauliputkistoja kulkee sekä laivan sisätiloissa että ulkokannella. Suurin osa kansivarusteiden hydrauliikkajärjestelmistä on alltiita sääolosuhteille, ja tällöin tulee ottaa suunnitteluvaiheessa huomioon ympäristön lämpötilat sekä valitun öljyn viskositeettiominaisuudet. Hydrauliputkisto, joka on alltiina sääolosuhteille, tulee olla valmistettu korroosionkestävästä

materiaalista, kuten ruostumattomasta teräksestä. Putkiston seinämämitoituksessa tulee huomioida korroosiovara, jos teräsputkia käytetään. [4, s. 671–672.] Kansivarusteiden hydraulikkajärjestelmät eivät ole laitekohtaisesti samanlaisia, vaan järjestelmät vaihtelevat laitetyypin ja toimittajan mukaan.

Nostureita käytetään lastinkäsittelyyn, erityisesti lastin lastaamiseen ja purkamiseen laivoihin ja lavoista pois. Laivojen lastit voivat olla erittäin suuria, joten niiden käsittelyyn tarvitaan raskaita ja tehokkaita koneita. Nosturit voidaan toimittaa joko hydraulisella tai sähköisellä vinssikäytöllä. Siihen kuuluu hydraulikkayksikkö (HPU), joka voidaan sijoittaa suoraan nosturin rakenteeseen tai vaihtoehtoisesti kansitilan alapuolelle. [12; 13.]

Pelastusveneiden ja työveneiden taavettien malli vaihtelee veneiden mallien mukaan. Taavetti on lavoissa oleva veneiden nosto- ja laskulaite. Taavettien hydraulikkajärjestelmä voi olla joko integroituna taavettiin tai erillisenä HPU-yksikkönä. HPU-yksiköiden tulee sijaita lähellä taavetteja, mutta ne voidaan sijoittaa erilliseen huoneeseen. [2.]

Ankkurointi- ja kiinnitysvinssit voidaan toteuttaa joko hydraulisella, sähköisellä tai dieselmoottorikäyttöjärjestelmällä. On myös järjestelmiä, joissa yhdistetään sähkö- ja hydraulikkakäyttö. Näissä sähkömoottori pyörittää hydraulipumppua, joka tuottaa paineen hydraulimootoreille ja sylintereille. Vinssin toimintaperiaate riippuu vinssin tyypistä ja sen käyttöjärjestelmästä. Hydraulikkajärjestelmät voivat olla joko integroituja, tai ne vaativat erillisen HPU-yksikön. Käyttöjärjestelmän valinta riippuu laivan koosta ja sen käyttötarkoituksesta. [1; 10; 11.]

Vesitiivit ovet ovat laivan rakenteeseen asennettuja ovia, jotka estävät veden kulkeutumista laivan eri vesitiiviisiin osastoihin. Vesitiivit ovet voivat toimia hydraulikalla tai hydraulikka ja sähkö -yhdistelmällä. Ovet voidaan toimittaa yhtenä kokonaisuutena, jossa hydraulikkajärjestelmä on asennettu valmiiksi tehtaalla, jolloin paikallisia hydrauliputkituksia ei asennuksen jälkeen tarvita. Ne voidaan asentaa myös erillisen HPU-yksikön kanssa. [3; 27; 26.] Laivan luokkuja on monenlaisia laivan käyttökohteen mukaan. Niitä voi olla mm. rahti-, miehistö-, hätä-

ja pienluukut. Tämä järjestelmäalue on niin laaja, että jokaisella eri luokkutyyppillä on eri käyttöjärjestelmät, eikä niiden hydraulikkajärjestelmää pysty vertaamaan keskenään.

Edellä mainittujen varusteluiden lisäksi, riippuen laivatyyppistä, voi olla myös muita laitteita, jotka toimivat hydraulisella käyttöjärjestelmällä. Näitä ovat mm. moonpool-laitteet, LARS-järjestelmät (Launch and recovery system) sekä matkustaja-alusten rampit ja maihinnoususillat.

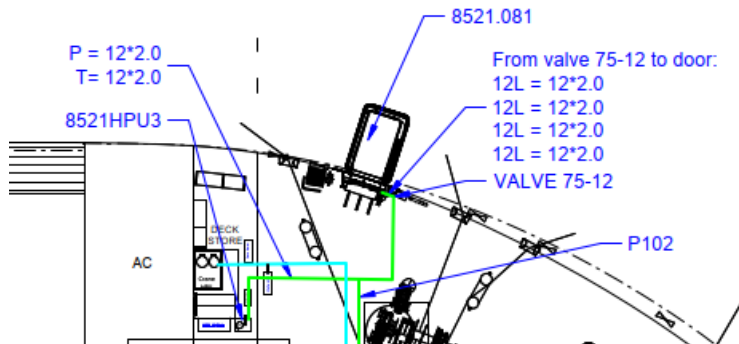
3.2 Putkien läpivienti ja reititys

Putkien läpiviennit olisi suositeltavaa suunnitella jo perussuunnitteluvaiheessa. Laitetoimittajasta riippuen hydraulikkajärjestelmien ratkaisut voivat vaihdella merkittävästi. Jotta hydrauliputkien reititys ja läpiviennit voidaan suunnitella piirustuksiin, tarvitaan laitetoimittajilta tietoa siitä, minkä tyyppistä järjestelmää he ovat toimittamassa. Hydraulikkakaavioiden saaminen projektin alkuvaiheessa voi olla haastavaa, mutta laitetyypistä sopiminen jo varhaisessa vaiheessa mahdollistaa sen, että ennakkoon voidaan määrittää, tarvitaanko erillinen HPU-yksikkö vai onko hydraulikkajärjestelmä integroituna laitteeseen. Mikäli erillinen HPU-yksikkö on tarpeen, sille on varattava oma tila. Samassa yhteydessä voidaan suunnitella hydrauliputkien reititykset ja läpiviennit HPU-yksikön, laitteen ja ohjauspaneelin välille.

Vanhojen projektien hydraulikkakaavioita tarkasteltiin yleiskuvan saamiseksi siitä, minkälaisia hydraulikkajärjestelmiä ja laitteita aiemmissa projekteissa on käytetty. Tyypillisesti HPU-yksiköltä ohjauspaneelille ja laitteelle vedetään kolme-neljä hydraulilinjaa, paine-, paluu- sekä yksi tai kaksi valumalinjaa. Nostureissa hydraulikkajärjestelmä on usein monimutkaisempi, ja niissä voi olla jopa seitsemän erillistä hydraulilinjaa HPU-yksiköstä ja ohjauspaneelistä.

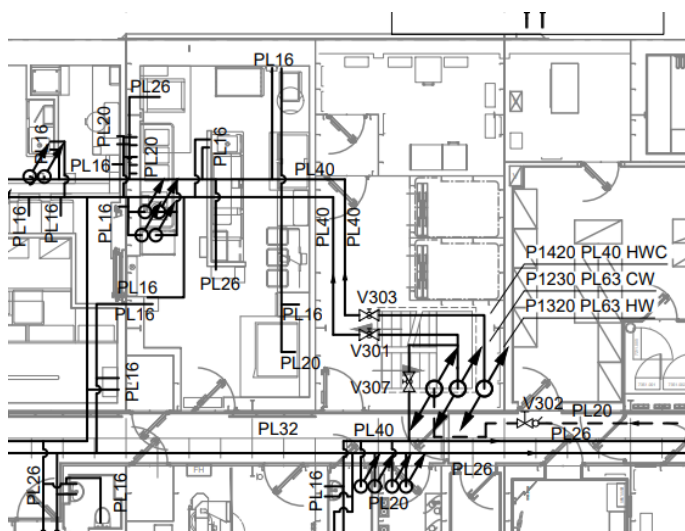
Kun hydraulikkalaitteet on määritetty, voidaan putkien reititykset piirtää *Deck Hydraulic Arrangement* -kuvaan, jonka pohjana on laivan GA (General arrangement) -kuva. Reitityksen avulla nähdään, missä kohtaa tarvitaan läpivientiä

laipioiden ja kansienvälissä. Nämä tiedot tulisi esittää piirustuksissa selkeästi ja yhdenmukaisesti. Kuvassa 8 on esitetty esimerkki vanhan projektin hydrauliputkireitityksestä sekä siitä, miten putkilinjat on esitetty GA-kuvassa.



Kuva 8. Vanhan projektin hydraulikkakaavioiden avulla tehty putkireititys ja putkilinjien merkintätapa.

Putkilinjien merkintätapaa olisi hyvä yhtenäistää, jotta kaikki osastot käyttäisivät samoja merkintätapoja. Esimerkkinä samassa projektissa *Fresh Water Distribution* -piirustuksissa (kuva 9) nähdään, miten hydrauliputkien reititys voidaan esittää siten, että suunnittelutyö olisi yhtenäinen.



Kuva 9. Vanhan projektin *Fresh Water Distribution* -piirustus, jossa on kuvattu putkilinjat ja putkien kulkusuunta z-akselilla.

Kuvissa tulee huomioida myös aluksen muut putkistot sekä kaapeliradat, jotta kaikki putkilinjat kulkevat samaa reittiä eivätkä ne turhaan risteä keskenään. Näitä piirustuksia tulisi vertailla keskenään putkilinjoja laadittaessa. Läpivientejä voidaan suunnitteluvaiheessa varata hieman yli tarpeen. Tämä tarkoittaa sitä, että laipioihin tehdään muutamia ylimääräisiä läpivientireikä tai suurempia aukkoja, joiden kautta useampi putki voidaan viedä läpi. Näitä varauksia ei välttämättä tarvita heti, mutta ne helpottavat myöhempiä muutoksia tai laajennuksia. Käyttämättömät läpiviennit voidaan tarvittaessa sulkea tai peittää, jolloin ne eivät vaikuta laipion tiiveyteen. Tämä on turvallisempi vaihtoehto kuin tehdä kuumatyötä myöhemmässä vaiheessa sen vuoksi, että läpivientejä ei ollut alun perin riittävästi tai niitä ei ollut lainkaan.

3.3 Läpivientityypit

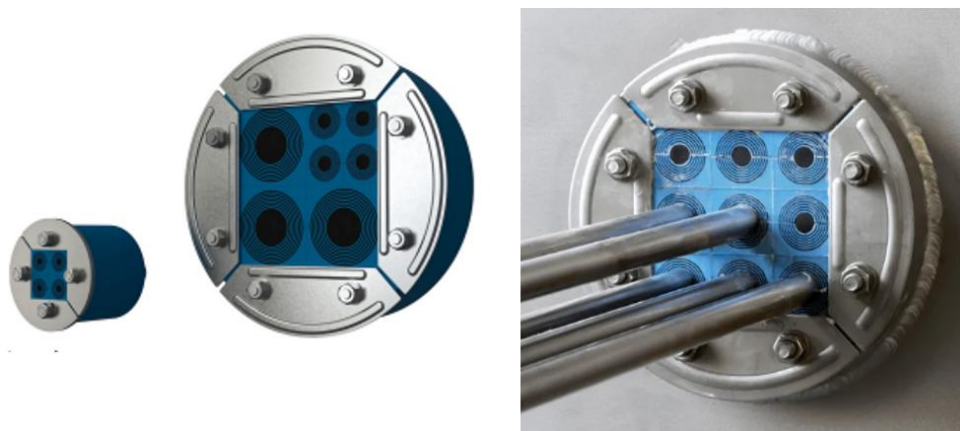
Kuumavarustelutyöt tulisi tehdä tuotannon aikaisessa vaiheessa, koska silloin se on vielä turvallista. Läpivientejä on tyypillisesti tehty mm. polttoleikkauksella ja sen jälkeen putket on hitsattu laipioon. Tämä on aiemmin ollut hyvä toimintatapa, sillä sen avulla läpivienneistä saadaan tiiviitä eikä paloluokitus tai vesitiiveyteen liittyviä ongelmia synny. Rakennustavat kuitenkin kehittyvät ja uusia ratkaisuja kehitetään jatkuvasti työskentelyn turvallisuuden parantamiseksi.

Putket tulisi reitittää samasta kohdasta. Kuvassa 10 on esitetty esimerkki siitä, miten putket voidaan viedä samasta kohdasta laipion tai kannen läpi.



Kuva 10. Putkien läpiviennit jäänmurtaja Polariksella. Tässä kuvassa nähdään, että putket on reititetty samasta kohdasta, mikä helpottaa niiden läpivientiä.

Yrityksessä käytetään jo ennestään Roxtec-tuotteita, ja valmistaja tarjoaa useita erilaisia läpivientiratkaisuja. Yksi näistä on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Roxtec R -läpivienti. Läpivienti on suunniteltu usealle kaapelille tai putkelle [16].

Roxtec R -läpivienti koostuu pyöreästä metallisesta kehyksestä, joka hitsataan rakenteeseen tai asennetaan olemassa olevaan holkkiin tai reikään. Kehyksen sisään asennetaan tiivistemoduulit, joiden koko ja halkaisija voidaan sovittaa kaapelin tai putken mittoihin. Läpivientiin voidaan asentaa varareikiä, jotka voidaan tarvittaessa peittää, jos niitä ei käytetä, tai ottaa käyttöön myöhemmin. Näin mahdollistetaan helppo jälkiasennus ilman tarvetta tehdä uusia aukkoja tai purkaa olemassa olevia rakenteita. Kyseinen läpivienti ratkaisu täyttää tiivisyvaatimukset mm. veden-, pölyn-, kaasun- ja palonkestävyyden osalta. Se myös vaimentaa tärinää ja mekaanista rasitusta ja se on suunniteltu meriteollisuuden käyttötarkoituksiin. [16.]

3.4 Vaihtoehtoinen läpivienti korvaamaan kuumavarustelutyöt

Roxtec on myös kehittänyt ilman hitsausta asennettavia läpivientejä. Putkiläpivientien tiivisteiden kehitystyön tuloksena on syntynyt testattuja ja hyväksytyjä tiivistysratkaisuja, joiden avulla voidaan välttää hitsaustöiden tekeminen kokonaan. Perinteisesti putket on hitsattu suoraan kannen laipion rakenteeseen, mutta Roxtec on kehittänyt vaihtoehtoisen ratkaisut, jotka vähentävät

hitsauksen tarvetta tai poistavat sen kokonaan. Roxtecin läpivienti asennetaan valmiiseen aukkoon mekaanisesti pulittaamalla, ilman hitsausta. Kehyksen ja rakenteen väliin asetetaan tiivisterengas, joka varmistaa täydellisen tiiveyden liitospinnassa. Kun pultti kiristetään, kehys puristuu tiukasti rakenteeseen, jolloin syntyy mekaanisesti luja ja tiivis liitos ilman hitsausta. Kehys voidaan tarvittaessa avata tai vaihtaa ilman rakenteellista muutosta. Tiiviste soveltuu sekä yksittäiselle putkelle, että usean putken läpiviennin tiivistämiseen. [17.]

Roxtecillä on oma patentoitu Roxtec SPM™ -tiiviste (kuva 12), joka suojaa tuulta, kaasulta ja vedeltä. Se on kehitetty merenkulku- ja offshore-käyttöön. Tiiviste on nopea asentaa yhdeltä puolelta laapiota tai kantta. [17.]



Kuva 12. Roxtec SPM™ -tiiviste, joka voidaan asentaa laapiioon ilman hitsausta [17].

Tämän tyyppinen tiiviste on hyvä ratkaisu turvallisuuden kannalta sekä tilanteissa, joissa läpivientejä ei ole voitu tehdä aikaisemmin ja halutaan välttää kuumavarustelutyöt. Reikä tiivistettä varten voidaan tehdä magneettiporakoneella, jonka leikkaushalkaisija voi olla jopa 100 mm poran mallista riippuen. Näin voidaan välttää kuumavarustelutyö kokonaan. Läpivienti on kuitenkin hyvä tehdä ennen tiivisteiden asentamista ja pintojen maalausta.

4 Hydrauliputkiston suunnitteluohjeet

Suunnitteluohjeessa määritellään, miten kansivarustelujärjestelmien hydraulikaputkien reititys tulisi suunnitella ja mitä seikkoja suunnittelussa olisi

huomioitava. Ohjeet on laadittu DNY Finland Oy:lle hyödyntäen olemassa olevia materiaalistandardeja ja laatuohjeita. Ohjeiden perustana toimii luvussa 2 esitetty teoreettinen tausta sekä luvussa 3 esitelty suunnitteluidea, jossa käsitellään putkien läpivientien suunnittelun toteuttamista tulevaisuudessa. Yrityksellä ei tällä hetkellä ole erillistä ohjetta, miten kansivarusteiden hydraulikkaputkipiirustuksia tulisi laatia. Ohje on laadittu suomeksi ja englanniksi.

4.1 Ohjeen käyttö

Ohje on tarkoitettu kansihydrauliikkalaitteiden hydraulikkaputkistojen suunnittelun tueksi. Sitä käytetään erityisesti perussuunnitteluvaiheessa. Ohje on nimeltään *Hydraulic Piping fo Deck Equipment*, ja se sisältää putkistojen reitityksen, läpivientien ja kannakointien suunnitteluperiaatteita sekä niihin liittyviä vaatimuksia. Yrityksellä on lisäksi käytössä omia materiaalistandardeja sekä laatuohjeita, joita hyödynnetään kansivarusteiden hydraulikkaputkien reitityksen ja läpivientien suunnitteluohjeiden laatimisessa.

4.2 Ohjeen sisältö

Ohjeessa viitataan yrityksen olemassa oleviin materiaalistandardeihin ja laatuohjeisiin sekä hydrauliiikan yleisiin sääntöihin ja standardeihin. Näitä ovat esimerkiksi Loyd´s Register, ABS Rules, DNV Rules sekä SFS-standardit. Ohjeen sisällysluettelo on esitetty kuvassa 13.

Työohje	Work instruction
1. PUTKISTO	1. PIPELINE
1.1. Putkimateriaali	1.1. Pipe Material
1.2. Liittimet	1.2. Fittings
1.3. Letkut	1.3. Hoses
2. SÄÄNNÖT	2. RULES
3. LÄHTÖAINEISTO	3. SOURCE MATERIAL
4. REITITYS	4. ROUTING
5. KANNAKOINTI	5. PIPE SUPPORT
6. LÄPIVIENTI	6. PENETRATION
7. KOEPONNISTUS	7. PRESSURE TESTING
8. ESIMERKKI PIIRUSTUKSET	8. EXAMPLE DRAWINGS

Kuva 13. Laaditun ohjeen sisällysluettelo.

Ohjeen sisältö on koottu tämän insinööriyön teoriaosuudesta sekä aiemmin esitellystä läpivientiratkaisusta ja suunnitteluratkaisusta. Koska aiemmin esitetyt Roxtecin läpivientiratkaisut ovat uusia, niille ei ole vielä laadittu omia materiaalistandardeja yrityksessä. Tätä voitaisiin kehittää jatkossa laatimalla uudet materiaalistandardit, jotka tukisivat ohjeen käyttöä ja yhtenäistäisivät suunnittelukäytäntöjä.

Ohje laadittu yhtenäiseksi aiempien laatuohjeiden kanssa, ja siinä on määritetty hydraulikkaputkistojen reititysten merkintätavat yrityksen sisäisten laatuohjeiden mukaisesti.

Lisäksi ohjeessa on tarkennettu, mitä tietoja perussuunnittelukuvien tulee sisältää ja mitä hydraulikkaputkistosta on esitettävä. Ohje sisältää myös esimerkkikuvia, jotka havainnollistavat perussuunnitteluvaiheen piirustusten esitystapaa.

5 3D-malli

Työssä toteutettiin 3D-malli AVEVA E3D -mallinnusohjelmiston avulla. AVEVA E3D on 3D-suunnitteluohjelmisto, jota käytetään laivasuunnittelussa putkistojen, teräsrakenteiden ja laitteiden mallintamiseen. Hydraulikkaa mallinnettiin *moon-pool*-järjestelmälle rakenteilla olevaan laivaan. 3D-mallinnus on tehty laivan rungon osalta, mutta muita järjestelmiä ei laivaan ole vielä mallinnettu. Kaikkia lohkoja ei vielä ollut mallinnettu, mutta kansivarusteiden hydraulikka yritettiin mallintaa olemassa olevien lohkojen alueille. Hydraulikkajärjestelmä mallinnettiin erilliseen 3D-testiympäristöön. Kansivarusteiden hydraulikkaputkia ei ole aikaisemmin mallinnettu 3D-malliin.

5.1 3D-mallin toteutus

Ennen mallinnuksen aloittamista E3D-projektissa on määritettävä rakenne, joka järjestää mallin loogisesti. 3D-mallissa *site* on projektiympäristö, kuten laivan lohkoa, ja *site* jaetaan useisiin *zone*-alueisiin, jotka voivat olla esimerkiksi osastoja, kansia tai konehuoneita. *Zone*-alueisiin lisätään laitteita, putkilinjoja tai

teräsrakenteita. Jokainen osa kuuluu *zone*-alueeseen ja sitä kautta *siteen*.

Tämä rakenne helpottaa objektien tiedonhallintaa ja varmistaa, että kaikki mallinnetut objektit sijaitsevat oikeassa paikassa projektirakenteessa.

Ennen mallinnuksen aloittamista tarkasteltiin alustavaa kansivarusteiden hydraulikan perussuunnittelupiirustusta. Sen avulla selvitettiin, missä lohkoissa laitteet ja putkistot sijaitsevat. Mallinnuksen aloitusvaiheessa oli laivan alemmat kannet mallinnettu ja ne näkyivät 3D-testiympäristössä. Tämän perusteella päätettiin mallintaa *moonpool*-hydrauliikkajärjestelmä, sillä sen rakenteet olivat jo mallissa olemassa. Yrityksellä on käytössään omia standardeja putkityypeille, liitoksille ja venttiileille sekä valmiita 3D-objekteja mm. luukuille, oville, sähkökaapeille ja pelastusveneille.

Hydrauliikkaputkia ei ole aiemmissa projekteissa mallinnettu, koska ne ovat huomattavasti pienempiä kuin laivan muut putkistot. Tästä syystä 3D-ohjelmistossa ei ollut täysin sopivia valmiita standardeja hydrauliikkajärjestelmän putkistolle. Tämän vuoksi testiympäristön mallinnuksessa käytettiin olemassa olevia standardeja, joiden arvioitiin soveltuvan hydrauliikkaputkistojen mallinnukseen.

5.2 3D-mallin kehitys

Hydrauliikkaputkia voisi jatkossa mallintaa 3D-malliin, koska 3D-mallista ne voidaan siirtää suoraan AVEVA ERM -ohjelmiston komponenttilistaan. AVEVA ERM on materiaalihallintaohjelmisto, jota käytetään projektin komponenttien ja materiaalien hallintaan. Kun komponentit saadaan suoraan 3D-mallista, niitä ei tarvitse lisätä järjestelmään erikseen. Tästä syystä olisi suositeltavaa, että myös hydrauliikkaputkia mallinnettisiin jatkossa 3D-malliin.

3D-mallinnuksen sujuvuuden parantamiseksi AVEVA-ohjelmistoon tulisi lisätä joitakin uusia standardeja. Mallinnuksessa laitteeseen on liitettävä *nozzle*, eli liitäntäpiste, jonka kautta laite yhdistetään putkistoon. Hydrauliikkaputkistoa varten AVEVA:n standardikirjastoon voitaisiin lisätä ISO 8434 -standardin mukainen liitin. Tällöin saadaan ERM-komponentti listaan oikeanlaiset liittimet

hydrauliikkaputkistolle. Putkistojen materiaalit on ennestään määritetty yrityksen oman litterajärjestelmän mukaisesti. AVEVAN standardikirjastosta puuttuu kuitenkin sopiva litteranumero kansivarusteiden hydrauliikalle. Se voitaisiin lisätä putkimateriaaleilla, kuten CS (carbon steel), SS (stainless steel) ja AS (Acid-resistant steel). Putkikoot, paineet ja lämpötilat voidaan lisätä malliin normaaliin tapaan. Hydrauliikkaputkistoihin kuuluu myös letkuja. Osa hydrauliikkaletkuista löytyi valmiiksi standardikirjastosta, mutta niiden yhteensopivuus tulisi tarkistaa.

AVEVA-ohjelmistossa voidaan mallintaa myös läpivientejä. *Hole managing* -työkalun avulla läpiviennit määritellään ja linkitetään rakenteeseen. Läpiviennille voidaan antaa tietoja, kuten sijainti, halkaisija, muoto ja läpimenevä objekti, kuten putki. Läpivienti voidaan mallintaa myös erillisenä komponenttina, kuten holkkielementti tai tiiviste.

Roxtec tarjoaa omia AVEVA E3D -standardikirjastoja kaapeli- ja putkiläpivienneille. Tämä helpottaisi läpivientien suunnittelua, ja tällä saataisiin komponenttistaan oikeanlaiset tuotteet. Tätä suositellaan yritykselle hankittavaksi, koska yritys jo ennestään käyttää kyseisiä tuotteita.

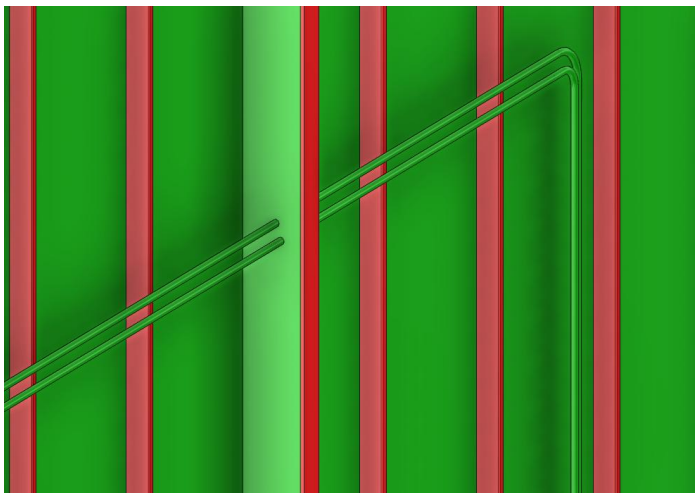
5.3 3D-mallinnuksen hyödyt

Mallinnuksen avulla saadaan määritettyä komponentit ERM-ohjelmistoon, mutta sillä on myös muita hyötyjä. Jos putket mallinnettisiin 3D-malliin, niiden reititykset voitaisiin suunnitella jo ennen kokoonpanovaihetta. Näin vältettäisiin tarpeettomia putkien risteämistä (kuva 14) ja voitaisiin tarkastella, kuinka monta putkea ryhmitetään saman läpiviennin kautta.



Kuva 14. Vasemmanpuoleisessa kuvassa päällimmäiset putket risteävät turhaan muiden putkien yli. Tämä hankaloittaa mm. huoltoa. Mallintaessa putket 3D-malliin voidaan välttyä turhalta putkien risteämiseltä.

Mallinnettaessa putkia 3D-malliin ja huomioitaessa muut järjestelmät voidaan myös havaita ennakkoon, tarvitaanko rakenteeseen ylimääräisiä läpivientejä tai mitä rakenteita putkien tulee väistää (kuva 15).



Kuva 15. Esimerkki, miten putken reitille osuu teräsrakenne, jota putken täytyy väistää tai sitten lävistää.

AVEVA-ohjelmasta saadaan myös yksittäisen putken isometri, jota voidaan hyödyntää putkipajassa. Isometrin avulla voidaan tarkastaa putkireititysten mitat

ja komponentit ennen valmistusta. Mittojen avulla voidaan arvioida ennakkoon, kuinka monta kannaketta putkistolle täytyy tilata.

6 Tulokset

Tämän työn teoreettisen osuuden pohjalta laadittiin yritykselle uudet ohjeet, jotka liittyvät hydrauliiikaputkistoon, kannakointiin ja putkien läpivienteihin. Ohjeet ovat linjassa yrityksen muiden, erityisesti putkistosuunnittelua koskevien ohjeiden kanssa. Ohjeessa esitetään, miten hydrauliiikaputket tulee merkitä standardien mukaisesti, jotta piirustukset olisivat luettavia kaikkien osastojen välillä. Työssä käsiteltiin myös putkiston mitoitusta ja koeponnistusta. Näiden tietojen pohjalta yritys voi tarkastella putkistojen painehäviöitä ja halkaisijoita sekä tarkastaa tai suorittaa tarvittaessa koeponnistusta, mikäli tarvittavat laitteet ovat käytettävissä. Kansivarusteiden hydrauliiikkajärjestelmät ovat hyvin laitekohtaisia, minkä vuoksi putkien tarkkaa lukumäärää ei voida ennakoida. Läpivientien suunnittelussa tulisi tämän vuoksi varautua ylimitoitukseen, jotta mahdolliset lisäputket voidaan asentaa ilman, että läpivientejä tarvitsee lisätä jälkikäteen.

Läpivientitiivisteeiksi suositellaan Roxtec R -läpivientiä, joka hitsataan teräsra-kenteeseen. Tiivistemoduulien avulla voidaan sulkea käyttämättömät läpiviennit ja varautua niiden mahdolliseen jatkokäyttöön. Jos läpivienti on jäänyt tekemättä, suositellaan käyttämään Roxtec SPMTM -läpivientitiivistettä. Kyseinen tiivistee voidaan asentaa pulttaamalla, jolloin hitsausta ei tarvita. Tämä on turvallisempi vaihtoehto kuin hitsaaminen tuotannon myöhemmässä vaiheessa.

Mallintaessa 3D-mallia havaittiin muutamia kehityskohteita. Hydrauliiikaputkistojen mallinnusta varten AVEVA-ohjelmistoon tulisi lisätä kansihydrauliikan putkiston spesifikaatiota eri putkimateriaaleilla. Lisäksi olisi suositeltavaa tarkastella mahdollisuutta mallintaa myös hydrauliiikkaletkuja ja läpivientitiivisteitä. Roxtec tarjoaa tätä varten omia 3D-mallinnus-standardikirjastoja omille tuotteilleen. Yhdessä järjestelmässä voi olla monta hydrauliiikaputkea, joten putkien nimeäminen tulisi olla standardisoitua. Vaikka kansivarusteiden putkia ei ole

aiemmin mallinnettu, havaittiin useita hyötyjä, jotka puoltavat niiden mallintamista jatkossa 3D-malliin.

7 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää, miten DNY Finland Oy:llä voidaan kehittää kansivarusteiden hydrauliikkaputkiston suunnittelua. Suurimpana haasteena oli putkiston läpivientien ennakointi. Putkia ei ollut mallinnettu aikaisemmin 3D-malliin, jolloin putkien reititys, kannakointi ja läpivientien tieto on jäänyt vähäiseksi. Näiden osa-alueiden kehittämiseksi työssä tarkasteltiin hydrauliiikan yleistä teoriaa sekä sitä, mitä vaatimuksia on hydrauliiikan putkistolla. Lisäksi työssä käsiteltiin putkiston mitoitusta, jotta yrityksellä olisi pohjana kaavoja, joiden avulla voidaan tarkastella putkiston painehäviötä, jos putkistoon tulee muutoksia. Työssä käsiteltiin myös koeponnistusta, jos yritys aikoo tulevaisuudessa toteuttaa itse koeponnistuksen tarvittavilla laitteilla. Hydrauliikkakaaviot saadaan laitetoimittajilta, ja putkiston asennukset on toteutettu joko alihankkijoiden tai yrityksen oman henkilökunnan suorittamina.

Kansivarusteiden hydrauliikkajärjestelmien suunnittelu ja asennus ovat vaihdelleet projektien välillä, eikä yhtenäistä toimintatapaa ole vielä ollut. Yhtenä työn tavoitteista oli laatia ohjeet kansivarusteiden hydrauliiikan suunnittelua varten. Tällöin yrityksellä on käytössään selkeä pohjatieto siitä, mitä hydrauliikkaputkisto vaatii ja miten perussuunnittelun piirustukset tulisia laatia. Ohjeiden tarkoituksena on varmistaa, että nämä piirustukset noudattavat yrityksen muiden ohjeiden, erityisesti putkistosuunnittelun, linjauksia ja käytäntöjä.

Läpivientien osalta tutkittiin eri toimittajien tiivisteratkaisuja. Yrityksessä on jo ennestään käytetty Roxtecin tuotteita, jotka tarjoavat läpivientitiivisteitä sekä putkistoille että kaapeleille. Roxtecilla on saatavilla myös uusia tuotteita, joita yrityksessä ei ole aiemmin hyödynnetty, kuten ilman hitsausta asennettava läpivientitiiviste. Erityisesti Roxtec R -läpivientitiiviste sai positiivista palautetta tuottajalta, sillä sen avulla voidaan lisätä ylimääräisiä läpivientejä myöhempiä muutoksia varten, jos putkia täytyy jälkikäteen lisätä. DNY Finland Oy:n olisi

suositeltavaa olla yhteydessä Roxteciin, sillä he tarjoavat koeasennuksia paikan päällä sekä valmiin AVEVA E3D -kirjaston omille tiivistekomponenteilleen.

3D-mallinnuksen osalta ei saatu määritettyä tarkempaa ohjetta siitä, miten hydraulikkaputkistot tulisi mallintaa, mitä kaikkia mahdollisia standardeja tarvitaan ja miten putket tulisi nimetä, jotta ne voidaan erottaa toisistaan. Tätä voitaisiin suunnitella tarkemmin, mikäli putkistot päätetään jatkossa mallintaa 3D-malliin. Uusien ohjeiden ja tiivisteratkaisujen lisäksi yritys voisi kehittää 3D-mallinnusta kansivarusteiden hydraulikkaputkien osalta.

Lähteet

- 1 Anchoring and Mooring Winches. Verkkoaineisto. Palfinger. <<https://www.palfingermarine.com/en/deck-equipment/winches/anchor-and-mooring-winches#abd64e4eccollapse1>>. Luettu 26.9.2025.
- 2 Davits. Verkkoaineisto. Viking Life-Saving Equipment. <<https://www.viking-life.com/shop/boats-and-davits/davits/>>. Luettu 26.9.2025.
- 3 Door Manhole Systems. Verkkoaineisto. Hammadde. <<https://hammadde.com.tr/en/product/watertight-sliding-door/>>. Luettu 30.9.2025.
- 4 Harrington, Roy L. 1992. Marine Engineering. E-kirja. Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME).
- 5 Hitsaustöiden välttäminen metalliputkien läpivientien tiivistämisessä. Verkkoaineisto. Roxtec. <<https://www.roxtec.com/fi/tietokirjasto/tiivistamisen-haasteet/hitsaustarpeiden-poistaminen/>>. Luettu 6.10.2025.
- 6 Kauranne, Heikki; Kajaste, Jyrki & Vilenius, Matti. 2008. Hydrauliiikkatekniikka. Helsinki; WSOY.
- 7 Kesti, Marko. 1992. Teollisuusputkistot. Helsinki: VAPK.
- 8 Loyd's Register. 2022. Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2022. London: Loyd's Register.
- 9 Loyd's Register. 2022. Rules for the Winterisation of Ships, July 2022. London: Loyd's Register.
- 10 Marine Anchor Windlass. Verkkoaineisto. HI-SEA. <<https://en.hiseamarine.com/marine-anchor-windlass?p=2>>. Luettu 26.9.2025.
- 11 Mooring System. 2022. Verkkoaineisto. MacGregor. <<https://www.macgregor.com/globalassets/picturepark/imported-assets/81909.pdf>>. Luettu 26.9.2025.
- 12 Offshore Support Vessels. 2018. Verkkoaineisto. MacGregor. <<https://www.macgregor.com/globalassets/products--solutions/offshore-support-vessels.pdf>>. Luettu 26.9.2025.
- 13 Palfinger Marine Cranes. Verkkoaineisto. Palfinger. <<https://www.palfingermarine.com/en/deck-equipment/cranes>>. Luettu 26.9.2025.

- 14 Parr, Andrew. 2011. Hydraulics and pneumatics: a technician's and engineer's guide. 3rd ed. Elsevier.
- 15 PSK 2401. 2009. Putkiston virtausnopeudet. PSK Standardisointi.
- 16 Roxtec R -läpivienti. Verkkoaineisto. <<https://www.roxtec.com/fi/tuotteet/ratkaisut/roxtec-r-lapivienti/>>. Luettu 6.10.2025.
- 17 Roxtec SPM™ -tiiviste. Verkkoaineisto. Roxtec. <<https://www.roxtec.com/fi/tuotteet/ratkaisut/roxtec-spm-tiiviste/>>. Luettu 6.10.2025.
- 18 SFS ISO 4406:2021. Hydraulic fluid power- Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles. International Standard.
- 19 SFS-EN 10305-4:2016. Ohutseinäteräspuutket. Tekniset toimitusehdot. Osa 4: Saumattomat kylmävedetyt putket hydraulikka- ja pneumatiikkajärjestelmiin. Suomen Standardisoimisliitto.
- 20 SFS-EN 13480-5:2024. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 5: Tarkastus ja testaus. Suomen Standardisoimisliitto.
- 21 SFS-EN ISO 4413. 2011. Hydraulinen tehonsiirto. Järjestelmiä sekä niiden komponentteja koskevat yleiset periaatteet ja turvallisuusvaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto.
- 22 SFS-EN ISO 8434-1. 2018. Metallic tube connections for fluid power and general use. Part 1: 24° cone connectors. Suomen Standardisoimisliitto.
- 23 Stauff Clamps Technical Appendix. 2017. Verkkoaineisto. Stauff Anglia. <<https://www.stauffanglia.com/Data/Sites/2/pdfcataloguesanddatasheets/newclampcats2017/stauff-clamps-technical-appendix.pdf>>. Luettu 22.9.2025.
- 24 Taylor, D. A. 1996. Introduction to marine engineering. 2nd ed. E-kirja. Elsevier.
- 25 Virta, Sampsa (toim.). 2010. Hydrauliputkistot. Helsinki: Kunnossapitoyhdistys Promaint ry.
- 26 Watertight Bulkhead Door System for All Types of Ship. Verkkoaineisto. Tebul. <<https://tebul.fi/>>. Luettu 30.9.2025.
- 27 Watertight Doors. Verkkoaineisto. IMStec. <<https://imstec.no/products/watertight-doors#documents>>. Luettu 30.9.2025.