

Visa Karhukorpi

Hydrauliikkaharjoituspenkkien vertailu merenkulun koulutustarpeeseen

Opinnäytetyö
Merenkulun koulutus

2019



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Visa Karhukorpi	Insinööri (AMK)	Toukokuu 2019
Opinnäytetyön nimi		73 sivua
Hydrauliikkaharjoituspenkkien vertailu merenkulun koulutus- tarpeeseen		
Toimeksiantaja		
XAMK merenkulku ja liikenne		
Ohjaaja		
Lehtori Joel Paananen		
Tiivistelmä		
<p>Tämä tutkimus on alustava selvitys saatavilla olevista hydrauliikkaharjoituspenkeistä ja niiden soveltuvuudesta merenkulun insinöörien koulutukseen. Selvitys liittyy Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun merenkulun insinööreille pidettävän hydrauliikan ja pneumatiikan kurssin kehitystyöhön. Kurssia pyritään kehittämään vastaamaan paremmin opetustavoitteita ja myöhemmin työelämässä vaadittavia taitoja.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään hydrauliikan luonnontieteellistä perustaa ja sovelluksia merenkulun alalla. Harjoituspenkille asetetut vaatimukset perustuivat laivan hydrauliikkajärjestelmiin ja merenkulun insinööreiltä vaadittavaan osaamiseen. Tärkeimpiä harjoituspenkille asetettuja vaatimuksia olivat mahdollisuus mallintaa laivan keskeisiä hydrauliikkajärjestelmiä ja erilaisten ohjausjärjestelmien, kuten sähköisen on/off- ja proporsionaaliventtiiliohjauksen, havainnollistaminen ja ajankäytön tehokkuus laboratorioharjoituksissa. Vaatimuksien pohjalta laadittiin pisteytyskriteerit, joiden avulla harjoituspenkkiratkaisut voitiin pisteyttää soveltuvuuden mukaan.</p> <p>Tutkimuksessa päätettiin rajata tarkastelu Suomessa edustettujen ja vakiintuneitten harjoituspenkkivalmistajien tuotteisiin. Valmistajien haku tehtiin verkossa ja tuotteiden vertailussa käytettiin valmistajien verkkosivuilta löytyvää vapaasti saatavilla olevaa materiaalia. Tähän tutkimukseen valikoitui kolme hydrauliikkaharjoituspenkkien valmistajaa: Bosh, Festo ja SMC.</p> <p>Valmistajien tarjoamaa materiaalia ja katalogeja käyttämällä pyrittiin koostamaan hyvin tilaajan tarpeet täyttäviä hydrauliikkaharjoituspenkkejä. Ratkaisut pisteytettiin ja voitiin siten asettaa paremmuusjärjestykseen. Kunkin valmistajan tuotteista parhaiten tilaajan tarpeeseen vastaava ratkaisu on esitelty tässä opinnäytetyössä. Tutkimuksessa onnistuttiin löytämään tarkoitukseen hyvin soveltuvia harjoituspenkkiratkaisuja lähempää tarkastelua varten.</p>		
Asiasanat		
hydrauliikka, merenkulku, hydrauliikkaharjoitukset		

Author (authors)	Degree	Time
Visa Karhukorpi	Bachelor of Engineering	May 2019
Thesis title Comparison of hydraulic training sets for maritime training needs		73 pages
Commissioned by XAMK, Seafaring and Logistics		
Supervisor Joel Paananen		
<p>Abstract</p> <p>The objective of this thesis study was to review available hydraulic training sets and their suitability in the training of marine engineering students in South-Eastern Finland University of Applied Sciences. The study is part of a larger reformation concerning hydraulics and pneumatics in the curriculum of marine engineering students.</p> <p>In order to review the suitability of training sets, groups of criteria were established based on essential features. A suitable training set had to meet a certain standard of time efficiency during laboratory exercises, and the modeling of marine hydraulic systems and testing of control mechanisms such as electric on/off-hydraulics and proportional hydraulics.</p> <p>Hydraulic training set manufacturers were searched online, and the products of established manufacturers with representation in Finland were surveyed. Three manufacturers, Bosh, Festo and SMC, were examined in the study. Freely available materials provided by the companies on their websites were used in the assessment and rating of their products. Each training set was rated according to how the set requirements were met.</p> <p>The study was successful in finding hydraulic training sets that met the set criteria well and could be suitably utilized in the training of marine engineering students. However, further examination of the products is needed before the final decision on the acquisition is made.</p>		
<p>Keywords</p> <p>marine engineering, hydraulics, training set</p>		

SISÄLLYS

KUVALUETTELO	7
TAULUKKOLUETTELO	9
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET	10
1 JOHDANTO	11
2 HYDRAULIIKKA ILMIÖNÄ.....	12
2.1 Hydrostatiikka, hydraulisen voimansiirron perusta.....	12
2.2 Hydrodynamiikka	13
2.3 Hydraulinen teho ja hyötysuhde.....	14
2.4 Virtausvastukset	16
2.5 Hydrauliiikkajärjestelmät.....	21
2.6 Hydraulinesteet.....	23
2.7 Hydraulinesteen huolto	24
3 LAIVAN KESKEISET HYDRAULIIKKAJÄRJESTELMÄT	26
3.1 Säätolapapotkuri.....	26
3.2 Peräsinkone.....	28
3.2.1 Peräsinkoneen ohjaus	29
3.2.2 Sylinterit.....	31
3.2.3 Kiertosylinteri	32
3.2.4 Pumput	33
3.2.5 Paineakku	35
3.3 Kansihydrauliikka.....	36
3.3.1 Kansinosturit.....	36
3.3.2 Vinssit ja vintturit.....	37
3.3.3 Hydraulimoottori.....	37
3.4 Rampit ja lastiluukut.....	39
3.5 Ohjaus ja säätö.....	41
3.5.1 Sulkuventtiilit.....	42

3.5.2	Vastaventtiilit.....	42
3.5.3	Varsinaiset suuntaventtiilit	43
3.5.4	Paineventtiilit.....	44
3.5.5	Paineenrajoitusventtiili	45
3.5.6	Paineenalennusventtiilit	46
3.5.7	Paineohjausventtiilit	47
3.5.8	Kevennysventtiili	47
3.5.9	Vastapaineventtiilit	48
3.5.10	Virtaventtiilit	48
3.5.11	Sähköinen ohjaus	50
3.5.12	Proportionaaliohjaus	50
3.5.13	Servotekniikka	51
3.5.14	Proportionaalimagneetti ja servomoottori.....	52
4	HYDRAULIIKKAHARJOITUSPENKKI	53
5	TUTKIMUSONGELMA	55
6	TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO	56
6.1	Tutkimusmenetelmän kuvaus	56
6.2	Harjoituspenkille asetetut vaatimukset ja pisteytys	56
6.2.1	Ajankäytön kategoria	57
6.2.2	Laivan keskeisten hydraulikkajärjestelmien mallintaminen.....	58
6.2.3	Ohjaus ja säätö	59
6.3	Aineisto ja analyysi	60
7	TUTKIMUS	62
7.1	Bosh / Rexroth WS 290	62
7.2	Festo Didactic Learnline	64
7.3	SMC.....	67
8	TUTKIMUSTULOKSET	70
8.1	Vertailussa menestyneet tuotteet ja suositukset.....	70
8.2	Tutkimustulosten analysointi ja pohdinta	71

Kuvaluettelo

Kuva 1: Pascalin periaate. Aplusphysics.com. s.a. Verkkosivu. Saatavilla: <https://www.aplusphysics.com/courses/honors/fluids/Pascal.html> [Viitattu 17.5.2019].

Kuva 2: Moodyn käyrästä. s.a. Verkkosivu. Saatavilla: <https://www.printable-diagram.com/moody-diagram-in-high-quality/> [Viitattu 17.5.2019].

Kuva 3: Peräsinkoneratkaisu pääperäsinkoneella ja apuperäsinkoneella. Kuvakaappaus luokituslaitoksen materiaalista. Class guideline schematic principles for steering gear hydraulics. 2015. DNV GL. PDF-tiedosto. Saatavilla: <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/CG/2015-12/DNVGL-CG-0040.pdf> [Viitattu 17.5.2019].

Kuva 4: Peräsinkone kahdella itsenäisellä yksiköllä. Class guideline schematic principles for steering gear hydraulics. 2015. DNV GL. PDF-tiedosto Saatavilla: <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/CG/2015-12/DNVGL-CG-0040.pdf> [Viitattu 17.5.2019].

Kuva 5: Hydraulinen Telemotor ohjausjärjestelmä ja Hunting Gear. Splash maritime.com. s.a. Verkkosivu. Saatavilla: <http://www.splashmaritime.com.au/Marops/data/less/Shipk/Mach/Opauxtex.html>[Viitattu 17.5.2019].

Kuva 6: Hele Shaw pumpun toimintaperiaate. Marine Engines and Auxillary Machinery. 2008. Verkkoartikkeli. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/swash-plate> [Viitattu 17.5.2019].

Kuva 7: Roottoripumpun halkaisukuva. Hydraulics and Pneumatics. 2012. Verkkoartikkeli. Saatavilla: <https://www.hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/HydraulicPumpsM/Article/False/6401/TechZone-HydraulicPumpsM> [Viitattu 17.5.2019].

Kuva 8: Ulkoisilla virtauskanavilla varustetun radiaalimäntämoottorin rakenne. Maxima. 2008. Verkkosivu. Saatavilla: <http://www.maxma.com.tw/pro-ducts/rph.php> [Viitattu 17.5.2019].

Kuva 9: Laskostuvan lastiluukun rakenne. Bulk Carrier Guide. 2010. Verkkosivu. Saatavilla: <http://www.bulkcarrierguide.com/hatch-cover-guideline.html> [Viitattu 17.5.2019].

Kuva 10: Sivuun vieritettävät lastiluukun kannet. s.a. Verkkosivu. Saatavilla: <https://thegalerie.eu/side-rolling-hatch-covers-macgregor-com.html> [Viitattu 17.5.2019].

Kuva 11: 4/3 venttiilin piirrosmerkki. Hydromot Hydraulic Solutions. s.a. Verkkosivu. Saatavilla: <https://www.hydromot.lu/en/4-3-solenoid-valve-NG10-3C2.html> [Viitattu 17.5.2019].

Kuva 12 Tyypillinen Harjoituspenkkiratkaisu, kuvakaappaus Feston katalogista. Fluid power Learning systems and services for basic and further training. 2019. Festo. PDF-tiedosto. Saatavissa: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/468166/56823_2019_04_en_PG_PH_small.pdf [Viitattu 15.5.2019].

Kuva 13: WS 290 Harjoituspenkki. Kuvakaappaus Boshin katalogista. Training systems for hydraulics 5/2017. 2017. Bosh Rexroth. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.boschrexroth.com/en/xc/training/training-systems/training-systems> [Viitattu 15.5.2019].

Kuva 14: Festo Learnline configurator V1,2 -työkalulla suunniteltu ratkaisu. 2019. Verkkosivu. Saatavissa: https://www.festo-didactic.com/Demos/Learnline_Konfigurator/index_en.html [Viitattu 17.5.2019].

Kuva 15: SMC:n Hydrotrainer 200 -harjoituspenkki. Kuvakaappaus SMC:n katalogista. HYDROTRAINER-200 Hydraulics - Electro-hydraulics. s.a. SMC. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.smctraining.com/en/webpage/indexpage/503> [Viitattu 15.5.2019].

Taulukkoluetelo

Taulukko 1: Viskositeetin yksiköt Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 2008. Hydrauliteknikka. 1. Painos. Helsinki: WSOY.

Taulukko 2: Kertavastuskertoimet Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 2008. Hydrauliteknikka. 1. Painos. Helsinki: WSOY.

Taulukko 3: Kriittinen Reynoldsin luku Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 2008. Hydrauliteknikka. 1. Painos. Helsinki: WSOY.

Taulukko 4: Pinnankarkeudet Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 2008. Hydrauliteknikka. 1. Painos. Helsinki: WSOY.

Taulukko 5 Ajankäytön tehokkuus, pisteytyskriteerit

Taulukko 6 Hydrauliiikkajärjestelmien mallintaminen, pisteytyskriteerit

Taulukko 7: Ohjaus ja säätö, pisteytyskriteerit

Taulukko 8: Verailuun otetun Bosh Rexroth WS290 harjoituspenkin varustelu. Training systems for hydraulics 5/2017. 2017. Bosh Rexroth. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.boschrexroth.com/en/xc/training/training-systems/training-systems> [Viitattu 15.5.2019].

Taulukko 9: Vertailuun otetun Festo Learnline hydrauliikkaharjoituspenkin varustelu. Fluid power Learning systems and services for basic and further training. 2019. Festo. PDF-tiedosto. Saatavissa: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/468166/56823_2019_04_en_PG_PH_small.pdf [Viitattu 15.5.2019].

Taulukko 10: Vertailuun otetun SMC Hydrotrainer 200 harjoituspenkin varustelu. HYDROTRAINER-200 Hydraulics - Electro-hydraulics. s.a. SMC. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.smctraining.com/en/webpage/indexpage/503> [Viitattu 15.5.2019].

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

Bar (Baari) Paineen yksikkö

Bulkkeri Laiva, joka kuljettaa pakkaamatonta irtolastia kuten viljaa

GT (Gross tonnage) Laivan bruttovetoisuus

IMO (International maritime organization) Kansainvälinen merenkulkujärjestö

kNM (Kilo-Newtonmetri) Momentin yksikkö

MPa (Megapascal) Paineen yksikkö

Pa (Pascal) Paineen yksikkö

Pikaliitin Liitin, jolla letkut ja komponentit voidaan yhdistää nopeasti ja ilman vuotoja

SMC Hydraulikkaharjoituspenkkien valmistaja

SOLAS (Safety of life at sea) Kansainvälinen yleissopimus ihmishengen turvallisuudesta merellä

Toimilaite saa aikaan mekaanista liikettä. Hydraulikassa esimerkiksi sylinteri tai hydraulimoottori.

V (Voltti) Jännitteen yksikkö

Xamk Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

1 JOHDANTO

Hydrauliikkajärjestelmät ovat tehonsiirtoketjuja, jotka muuttavat mekaanisen tehon hydrauliseksi ja välittävät sen käyttökohteelle, jossa teho muutetaan taas mekaaniseksi. Hydrauliikalla on mahdollista toteuttaa sekä pyörivä että suoraviivainen liike, lisäksi hyvin suuret voiman ja momentin tasot ovat saavutettavissa jo yleisesti käytetyillä paineilla. Hyvien ominaisuuksiensa ansiosta hydrauliikkajärjestelmiä käytetään laajalti teollisuudessa ja liikenteessä. (Kauranne ym. 2008, 1.) Laivoilla muutamia keskeisimpiä hydrauliikan sovelluksia ovat peräsinkoneet, säätölapapotkurit ja kansihydrauliikka (Häkkinen 1993).

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa merenkulkualan insinöörien opetussuunnitelmaan kuuluu hydrauliikan ja pneumatiikan kurssi. Kurssin tavoite on, että ”Opiskelija tuntee pneumaattisten ja hydraulisten laitteiden toiminnan. Osaa laatia ja lukea kaavioita, tuntee erilaisten sovellutusten ominaisuudet ja erityispiirteet. Osaa huoltaa laitteita turvallisesti ja ymmärtää huoltojen merkityksen.” (Xamk) Merenkulun ja liikenteen yksikössä pyritään kehittämään hydrauliikan ja pneumatiikan kurssia vastaamaan paremmin opetustavoitteita ja työelämässä merenkulun insinööreiltä vaadittavia tietoja.

Osana kurssin kehitystyötä tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia saatavilla olevia hydrauliikkaharjoituspenkkejä ja niiden soveltuvuutta merenkulun insinöörien koulutukseen. Tavoitteena oli kerätä tietoa parhaiten soveltuvien vaihtoehtojen lähempää tarkastelua varten ja myöhemmän hankintapäätöksen tueksi.

Hydrauliikkaharjoituspenkin tarkoitus on mahdollistaa hydrauliikan ilmiöitten ja komponenttien opiskelu käytännönläheisesti. Harjoituspenkissä opiskelijan on mahdollista mallintaa hydrauliikkajärjestelmiä ja tehdä laboratorioharjoituksia ryhmässä kirjallisten ohjeitten perusteella ja samalla opetella työelämässä tarvittavia käytännön taitoja. Hydrauliikkaharjoituspenkki koostuu yleensä työstöstä, taustalevystä, hydrauliikka- ja sähkökomponenteista sekä tehoyksiköstä.

2 HYDRAULIIKKA ILMIÖNÄ

Hydrauliikassa käytetään nestettä väliaineena tehon siirrossa. Sovelluksissa mekaaninen teho muutetaan hydraulinesteen paineeksi ja tilavuusvirraksi, ja takaisin mekaaniseksi tehoksi käyttökohteessa, toimielimellä. Hydrauliikka voidaan jakaa hydrostaatiikkaan ja hydrodynamiikkaan riippuen käytetäänkö pääasiassa hyväksi nesteen potentiaali- vai liike-energiaa. (Kauranne ym. 2008, 1-4.)

2.1 Hydrostaatiikka, hydraulisen voimansiirron perusta

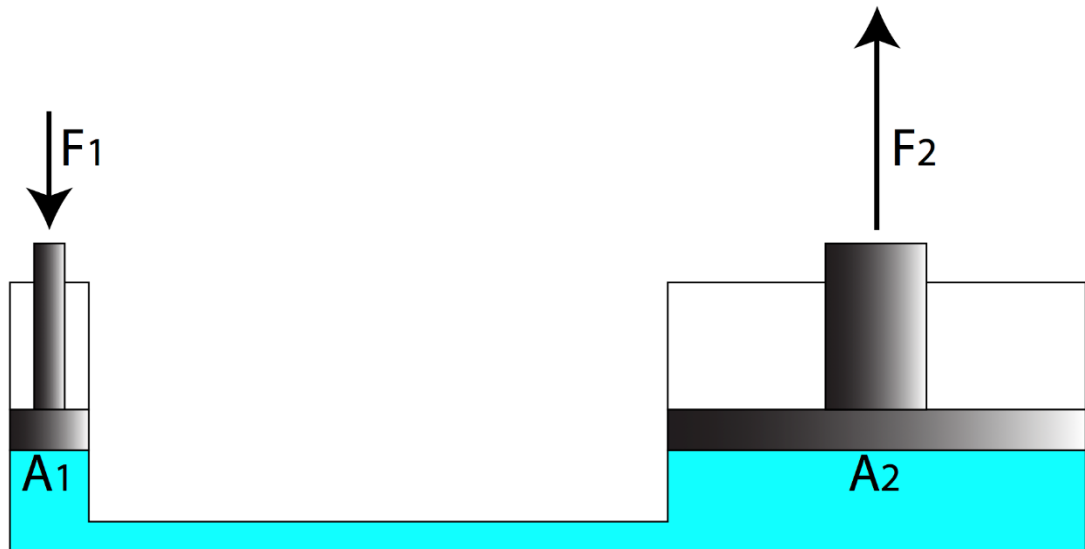
Hydrostaattista systeemiä kuvaavissa yhtälöissä neste oletetaan painottomaksi, kitkattomaksi ja kokoon puristumattomaksi ideaalinesteeksi, jonka liikkuminen ei vaadi työtä, eikä se sisällä liike-energiaa. Nesteeseen vaikuttaa vain ulkoinen puristusvoima, joka leviää nesteessä tasaisesti ja aiheuttaa paineen. Paine puolestaan aiheuttaa astian seinämään sen pinta-alasta riippuvan voiman yhtälön 1 mukaisesti. (Kauranne ym. 2008, 13-18.)

Nesteen paineen astian pintaan kohdistama voima voidaan määrittää yhtälöstä 1.

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

jossa:	F	voima [N]
	P	paine [Pa]
	A	pinta-ala [m ²]

Mikäli suljettuun nestetilavuuteen on kytketty kaksi erikokoista mäntää, joiden pinta-alat ovat A_1 ja A_2 , ja pienempää mäntää työnnetään voimalla F_1 , työntyy suurempi mäntä ulospäin suuremmalla voimalla F_2 . Tämä on hydrostaattisen voimansiirron perusta ja tunnetaan Pascalin periaatteena, joka on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1: Pascalin periaate (Kauranne ym. 2008, 16-17.)

2.2 Hydrodynamiikka

Hydrodynamiikka käsittelee liikkeessä olevia nesteitä. Hydrodynamiikan tärkeimpiä yhtälöitä ovat virtauksen jatkuvuusyhtälö ja Kirchoffin ensimmäinen laki. Virtauksen jatkuvuusyhtälö käsittelee virtausta putkessa, jonka halkaisija vaihtelee. Putkessa massavirta on joka kohdassa sama. Mikäli oletetaan että neste on joka kohdassa yhtä tiheää, eikä se puristu kasaan, voidaan kirjoittaa yhtälö 2, joka kuvaa virtauksen nopeutta putkessa, jonka virtauspinta-ala vaihtelee. (Fonselius 1999, 8-11.)

Tilavuusvirran jatkuvuusyhtälö 2.

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2)$$

jossa:

q_v	tilavuusvirta	[m ³ /s]
q_m	massavirta	[kg/s]
ρ	tiheys	[kg/m ³]
A	virtauskanavan poikkipinta-ala	[m ²]
v	virtausnopeus	[m/s]

Kirchoffin ensimmäinen laki hydraulikassa käsittelee virtausta putken risteyskohdassa. Lain mukaan risteyskohtaan tulevien ja siitä lähtevien virtausten

summat ovat yhtä suuret. Kirchoffin ensimmäinen laki on esitetty yhtälössä 3. (Fonselius 1999, 10.)

Kichhoffin ensimmäinen laki 3.

$$q_1 + q_2 + q_3 = q_4 + q_5 + q_6 \quad (3)$$

jossa:

q1, q2 ja q3	risteykseen tulevat tilavuusvirrat	[m ³ /s]
q4, q5 ja q6	risteyksestä lähtevät tilavuusvirrat	[m ³ /s]

2.3 Hydraulinen teho ja hyötysuhde

Hydraulisen tehon lähteitä ovat hydraulipumput, jotka muuttavat mekaanisen tehon hydraulinesteen paineeksi ja tilavuusvirraksi. Hydraulinen teho määritellään paineen ja tilavuusvirran tulona. Teho siirretään hydrauliputkistoa pitkin halutulle käyttökohteelle, jossa toimilaitteet ovat tehon kuluttajia. (Fonselius 1999, 29-30.)

Hydraulinen teho määritetään yhtälöstä 3.

$$P = q_v * p \quad (3)$$

jossa:	P	teho	[W]
	q_v	tilavuusvirta	[m ³ /s]
	p	paine	[Pa]

Todellisuudessa hydraulineeste ei ole ideaalista, kokoon puristumatonta, kitkatonta ja massatonta, vaan sen liikuttamiseen putkistossa kuluu tehoa. Teho häviöt muodostuvat putken seinämien ja nesteen välisistä kitkahäviöistä ja nesteen sisäisistä kitkahäviöistä, eli virtausvastusten aiheuttamista häviöistä, sekä vuodoista. Hydraulisessa järjestelmässä häviöteho havaitaan paineen alenemisena. Häviöteho komponentissa, joka ei tuota mekaanista tai hydraulista tehoa, voidaan laskea kaavalla 4, kun tunnetaan sen läpi kulkeva tilavuusvirta ja paine-ero. (Kauranne ym. 2008, 78-82.)

Komponentin häviöteho voidaan laskea kaavalla 4.

$$P_s = q_v * \Delta p \quad (4)$$

jossa:	P_s	häviöteho	[W]
	q_v	tilavuusvirta	[m ³ /s]
	Δp	paine-ero	[Pa]

Yhtälöllä 4 ei voida suoraan laskea pumppujen ja toimilaitteiden häviötehoa, sillä ne myös tuottavat mekaanista tai hydraulista tehoa. Näiden komponenttien tehohäviöt muodostuvat virtaushäviöitten lisäksi mekaanisista kitkoista ja vuodoista, jotka ovat riippuvaisia myös tilavuusvirrasta. Pumppujen ja toimilaitteiden tehohäviöt lasketaan kaavalla 5. (Kauranne ym. 2008, 78-79.)

Pumppujen ja toimilaitteiden tehohäviöt voidaan laskea kaavalla 5.

$$P_s = P_{otto} - P_{anto} \quad (5)$$

jossa:	P_s	häviöteho	[W]
	P_{otto}	ottoteho	[W]
	P_{anto}	antoteho	[W]

Hydraulisen komponentin tai järjestelmän hyötysuhde voidaan määrittää, kun tunnetaan sen ottama teho ja sen antama hyötyteho. Hyötysuhde ottaa huomioon kaikki tehohäviöt, niin virtausvastuksesta, vuodoista kuin mekaanisistakin häviöistä. Hyötysuhde on dimensioton luku nollan ja yhden välillä. Hyötysuhde lasketaan kaavalla 6. (Kauranne ym. 2008, 79.)

Hydraulisen komponentin tai järjestelmän hyötysuhde lasketaan kaavalla 6.

$$\eta = P_{anto}/P_{otto} \quad (6)$$

jossa:	η	hyötysuhde	[-]
	P_{otto}	ottoteho	[W]

P_{anto} antoteho [W]

2.4 Virtausvastukset

Viskositeetti on nesteen ominaisuus, joka kertoo sen kyvystä vastustaa virtausta. Se kuvaa nesteen sisäistä kitkaa, eli kykyä vastustaa ulkoisten voimien aiheuttamaa liikettä ja muodonmuutosta. Nesteen viskositeetti ei ole joka tilanteessa sama vaan voi muuttua lämpötilan tai paineen mukaan. Korkean viskositeetin nesteet ovat jähmeitä ja vaativat paljon työtä siirtämiseen, matalan viskositeetin nesteet ovat puolestaan helposti juoksevia. Dynaamisen viskositeetin (Absoluuttinen viskositeetti) SI-yksikkö on $[Pa \cdot s]$, mutta yleensä käytetään kinemaattisen viskositeetin yksiköitä. SI-järjestelmässä kinemaattisen viskositeetin yksikkö on $[m^2/s]$ Taulukossa 1 on listattu muita viskositeetin yksiköitä. (Kauranne ym. 2008, 23-27.)

Taulukko 1: Viskositeetin yksiköt (Kauranne ym. 2008, 25.)

Kinemaattinen viskositeetti	$[m^2/s]$	Dynaaminen viskositeetti	$[Pa \cdot s]$
1 St (Stoki)	10^{-4}	1 P (Poisi)	0,1
1 cSt	10^{-6}	1 cP	10^{-3}

Nesteen siirtäminen putkiston läpi vaatii työtä ja kuluttaa energiaa. Kuten aiemmin todettiin, nesteen virtausvastus havaitaan painehäviönä. Painehäviötä aiheuttavat kaikki järjestelmän komponentit, joiden läpi neste virtaa. Kokonaisvastushäviöt lasketaan kitkavastushäviöitten ja kertavastushäviöitten summana, yhtälön 7 mukaisesti. Kitkavastushäviöt ovat suorissa putkissa tapahtuvan virtauksen häviöitä. Kertavastushäviöt puolestaan ovat virtausta häiritsevissä komponenteissa, kuten venttiileissä ja mutkissa, tapahtuvia häviöitä. (Kauranne ym. 2008, 57-69.)

Kokonaisvastushäviöt lasketaan yhtälöllä (7)

$$\Delta P = \sum \lambda * \frac{l}{d} * \frac{\rho}{2} * v^2 + \sum \zeta * \frac{\rho}{2} * v^2 \quad (7)$$

jossa:

ΔP	painehäviö	[Pa]
λ	kitkavastuskerroin	[]

l	putken pituus	[m]
d	putken sisähalkaisija	[m]
ρ	tiheys	[kg/m ³]
v	virtausnopeus	[m/s]
ζ	kertavastuskerroin	[-]
ρ	tiheys	[kg/m ³]
v	virtausnopeus	[m/s]

Kertavastushäviöt voidaan yleensä määrittää suoraan kullekin komponentille valmistajan määrittämästä käyrästä, kun tunnetaan sen läpi kulkeva tilavuusvirta. Mikäli käyrästä ei ole saatavissa komponentin kertavastushäviö voidaan laskea karkeasti kaavan 8 avulla, mikäli tunnetaan virtauksen nopeus ja nesteen tiheys. Joitakin yleisesti käytettyjä kertoimen ζ arvoja on lueteltu taulukossa 2. (Kauranne ym. 2008, 65-68.)

Kertavastushäviö voidaan määrittää yhtälöstä 8.

$$\Delta P = \zeta * \frac{\rho}{2} * v^2 \quad (8)$$

jossa:	ΔP	painehäviö	[Pa]
	ζ	kertavastuskerroin	[-]
	ρ	tiheys	[kg/m ³]
	v	virtausnopeus	[m/s]

Taulukko 2: Kertavastuskertoimet (Kauranne ym. 2008, 65.)

Putkiston osa	ζ
Suora putkiliitos	0,5
Kulmaliitos	1,0
Putkimutka	0,4
Putkihaara	1,0
Putken laajennus	0,5
Venttiilit	3-6

Kitkavastushäviöt voidaan laskea kaavalla 9. Kitkavastuksen laskemiseksi on ensin määritettävä kitkavastuskerroin λ , joka riippuu monesta tekijästä, kuten virtauksen laadusta ja nesteen viskositeetista. Virtauksen laadun selvittämiseksi on ensin laskettava Reynoldsin luku kaavalla 10. Saatua Reynoldsin lukua sitten verrataan virtauskanavan kriittiseen Reynoldsin luvun arvoon, jonka avulla saadaan tietää, onko virtaus laminaarista vai turbulenttista. Kitkavastuskertoimen λ määrittystapa riippuu virtauksen laadusta. (Kauranne ym. 2008, 27-29, 57-62.)

Kitkavastushäviö voidaan laskea kaavalla 9.

$$\Delta P = \lambda * \frac{l}{d} * \frac{\rho}{2} * v^2 \quad (9)$$

jossa:	ΔP	painehäviö	[Pa]
	λ	kitkavastuskerroin	[]
	l	putken pituus	[m]
	d	putken sisähalkaisija	[m]
	ρ	tiheys	[kg/m ³]
	v	virtausnopeus	[m/s]

Hydraulinesteen virtaus putken läpi voi olla laminaarista tai turbulenttista. Laminaarisessa virtauksessa hydraulineste virtaa suoraviivaisesti putken läpi, mutta turbulenttisessa virtauksessa on pyörteitä ja kitkasta johtuvat virtaushäviöt huomattavasti suuremmat. Kun laminaarisessa virtauksessa virtaushäviöt kasvavat lineaarisesti virtausnopeuden kasvaessa, turbulenttisessa virtauksessa häviöt kasvavat eksponentiaalisesti. Hydraulijärjestelmät pyritään suunnittelemaan siten että virtaushäviöt olisivat mahdollisimman pienet ja virtaus mahdollisimman suurilta osin laminaarista. (Kauranne ym. 2008, 27-29.)

Virtaukselle voidaan määrittää laskennallisesti yhtälöllä 10 yksikötön Reynoldsin luku. Laskennassa tarvitaan hydraulista halkaisijaa, joka voidaan määrittää yhtälöllä 11. Virtaukselle laskettua Reynoldsin lukua verrataan kriittiseen Reynoldsin lukuun, jotka ovat taulukoituna taulukossa 3. Mikäli laskettu luku on suurempi kuin tapaukseen sopiva kriittinen Reynoldsin luku, virtaus on turbulenttista. (Kauranne ym. 2008, 27-29.)

Reynoldsin luku määritellään yhtälöllä 10.

$$Re = \frac{v \cdot D_H}{\nu} \quad (10)$$

jossa:	Re	Reynoldsin luku	[-]
	v	virtauksen nopeus	[m/s]
	D_H	hydraulinen Halkaisija	[m]
	ν	kinemaattinen viskositeetti	[m ² /s]

Hydraulinen halkaisija määritellään yhtälöllä 11.

$$D_H = \frac{4 \cdot A}{L_A} \quad (11)$$

jossa:	D_H	hydraulinen halkaisija	[m]
	A	virtauskanavan poikkipinta-ala	[m ²]
	L_A	poikkileikkauksen piiri	[m]

Taulukko 3: Kriittinen Reynoldsin luku (Kauranne ym. 2008, 29.)

Virtauskanava	Re kriittinen
Pyöreät sileäpintaiset putket	2000-2300
Keskiset sileäpintaiset raot	1100-1200
Epäkeskiset sileäpintaiset raot	100-1050
keskiset uurteitetut raot	700
Epäkeskiset uurteitetut raot	400
Karaventiilien ohjausurat	250-275
Läppä- ja kartioistukkaventtiilit	25-100

Tarkasteltavalle virtaukselle laskettua Reynoldsin lukua verrataan taulukon 3 kriittisen Reynoldsin luvun arvoon. Mikäli laskettu arvo on suurempi kuin kriittinen arvo, virtaus on turbulenttista ja kitkavastuskertoimen määrittämisessä täytyy ottaa huomioon putken suhteellinen karkeus. Mikäli virtaus puolestaan on laminaarista, kitkavastuskerroin voidaan määrittää yhtälöllä 12. (Kauranne ym. 2008, 57-59.)

laminaarisen virtauksen kitkavastuskerroin lasketaan yhtälöllä 12

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (12)$$

jossa: λ kitkavastuskerroin [-]
 Re Reynoldsin luku [-]

Turbulenttisen virtauksen tapauksessa, kitkavastuskertoimen λ määrittämisessä täytyy ottaa huomioon putken pinnan karkeus. Taulukossa 4 on lueteltu muutamien yleisimpien putkilaatujen pinnankarkeuksia. Kun pinnankarkeus on tiedossa, voidaan laskea suhteellinen pinnankarkeus yhtälöllä 13. Kun tiedossa on sekä suhteellinen pinnankarkeus että Reynoldsin luku, turbulenttisen virtauksen kitkavastuskerroin voidaan määrittää käyttäen Moodyn käyrästä kuvassa 2. (Kauranne ym. 2008, 59-61.)

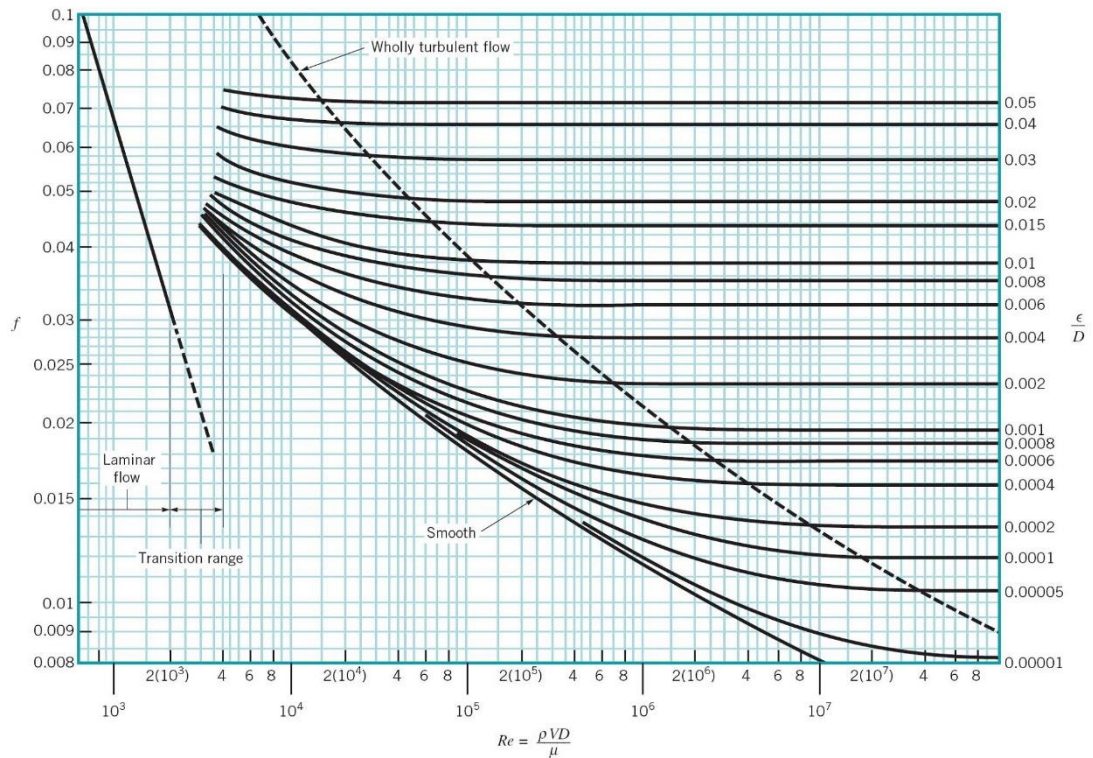
Taulukko 4: Pinnankarkeudet (Kauranne ym. 2008, 59.)

Virtauskanavan materiaali	Rz [mm]
Saumaton tarkkuusteräsputki	0,01-0,04
Kuumavalssattu putki	0,05-0,10
Hydrauliletku	0,02-0,03

Suhteellinen pinnankarkeus lasketaan yhtälöllä 13.

$$\text{Suhteellinen pinnankarkeus} = Rz/d \quad (13)$$

jossa: Rz pinnankarkeus [mm]
 d putken sisähalkaisija [mm]



Kuva 2: Moodyn käyrästä

Moodyn käyrästä, kuvassa 2, vasemmalla oleva suora osoittaa kitkavastuskertoimen, kun virtaus on laminaarinen ja isoterminen. Kuvassa vasemmalla pystyakselilla on λ (merkitty kuvassa f), vaaka-akselilla alhaalla Reynoldsin luku ja oikealla pystyakselilla on suhteellinen pinnankarkeus Rz/d (kuvassa merkitty ϵ/D). (Kauranne ym. 2008, 61.)

2.5 Hydrauliikkajärjestelmät

Hydrauliikkajärjestelmä voidaan jakaa sen komponenttien käyttötarkoituksen mukaan neljään osa-alueeseen. Energian muunnos mekaanisesta hydrauliseksi, putkisto ja huoltolaitteet, ohjaus ja säätö sekä energian muunnos hydraulisesta mekaaniseksi. (Kauranne ym. 2008, 5-7.)

Mekaaninen energia muutetaan hydrauliseksi pumpun avulla. Yleensä pumpua pyörittää laivalla tai teollisuudessa sähkömoottori, liikkuvissa työkoneissa puolestaan polttomoottori. Tätä osaa kutsutaan myös järjestelmän primääripuoleksi. Hydraulinen energia siirretään putkistoa pitkin käyttökohteisiin, missä se muutetaan taas mekaaniseksi energiaksi. (Kauranne ym. 2008, 6.)

Hydrauliputkistoon on liitetty ohjaus- ja säätölaitteita sekä huoltolaitteita. Putkistoon liitetyt huoltolaitteet voivat olla suodattimia tai lämmönvaihtimia, joissa hydraulikkaöljystä poistetaan epäpuhtauksia ja lämpötilaa voidaan muuttaa. Ohjaus ja säätölaitteiden tehtävä on hallita painetta ja tilavuusvirtaa putkistossa ja ohjata se oikeille komponenteille. Paineen säädöllä vaikutetaan toimilaitteiden voimiin, kun taas tilavuusvirran ohjauksella vaikutetaan toimilaitteiden liikesuuntiin ja nopeuksiin. Ohjaukseen ja säätöön osallistuu joukko erilaisia venttiileitä, joita voidaan ohjata joko mekaanisesti, hydraulisesti, sähköisesti tai käsin. (Kauranne ym. 2008, 5-7.)

Toimilaitteet muuttavan hydraulisen energian taas mekaaniseksi. Useimmat järjestelmät toimivat hydrostaattisesti syrjäytysperiaatteella. Sylintereillä tuotetaan lineaarista liikettä ohjaamalla hydraulinesteen tilavuusvirta ja paine siten että ne pakottavat, rakenteesta riippuen, joko männän tai itse sylinterin liikkumaan. Hydraulimoottoreilla tuotetaan pyörivää liikettä. Paine ohjataan moottorin kammioihin, jossa se kohdistaa voiman syrjäytyselimiin ja saa aikaan liikkeen. Suoraviivainen syrjäytyselimen liike muuttuu mekaanisesti pyörimisliikkeeksi moottorin rakenteen pakottamana. (Kauranne ym. 2008, 137, 173-174, 195-197.)

Hydrauliikkajärjestelmät voidaan jakaa myös avoimiin ja suljettuihin järjestelmiin. Avoimissa järjestelmissä on suuri nestesäiliö, josta pumppu imee nesteen järjestelmään, ja jonne se myös palaa toimilaitteelta. Tällaisissa ratkaisuissa pumppu pumppaa vain yhteen suuntaan ja toimilaitteiden liikesuunnan ohjaus tapahtuu venttiileillä. Yleisimmin avoimia järjestelmiä käytetään sylintereillä, mutta myös moottorien käyttö on mahdollista. (Kauranne ym. 2008, 5.)

Suljetussa järjestelmässä hydraulineeste palaa toimielimeltä takaisin pumpun imupuolelle. Tällaisessa järjestelmässä on mahdollista käyttää kaksisuuntaista säätötilavuuspumppua, jolla voidaan tehdä suurin osa ohjauksesta. Pumpuohjatussa järjestelmässä toimilaitteen liikesuuntaa ohjataan pumpun pyörimissuunnalla ja liikenopeutta muuttamalla pumpun tuottamaa tilavuusvirtaa. Suljetun järjestelmän tyypillisimpiä käyttökohteita ovat hydrauliset moottorit. Vuotojen kompensoimiseksi järjestelmään on lisättävä pieni nestesäiliö ja syöttöpumppu. (Kauranne ym. 2008, 4-7.)

2.6 Hydraulinesteet

Nesteen tärkein tehtävä hydraulijärjestelmässä on siirtää tehoa pumpulta toimilaitteelle. Jotta tehon siirto toimisi mahdollisimman vähin häviöin, on nesteen viskositeetin oltava juuri oikeanlainen. Nesteen liian korkea viskositeetti aiheuttaa tarpeettoman suuret kitkahäviöt. Liian matalan viskositeetin neste puolestaan aiheuttaa vuotohäviöitä, järjestelmän välyksistä johtuen. Muita hydraulinesteen tärkeitä tehtäviä on järjestelmän tiivistys, komponenttien voitelu, jäähdytys, korroosion esto ja epäpuhtauksien poisto. (Kauranne ym. 2008, 112-114.)

Hydrauliikkajärjestelmät ja niiden käyttöolosuhteet vaihtelevat huomattavasti, siksi onkin kehitetty erilaisia hydraulinesteitä, joiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan. Hydraulinesteiden lisäaineistuksella on pyritty parantamaan nesteeltä vaadittuja ominaisuuksia. Lisäaineistuksella pystytään esimerkiksi parantamaan voitelukykyä tai korroosionesto-ominaisuuksia, hajottaa emulsioita, estää nesteen hapettumista tai alentaa toimintalämpötilan alarajaa. ISO 6743/4 ja DIN 51 502 -standardit käsittelevät hydraulinesteitä. (Kauranne ym. 2008, 112-117.)

Suurin osa hydrauliikkajärjestelmissä käytetyistä nesteistä on mineraaliöljyjä. Mineraaliöljyt soveltuvat hyvin hydraulijärjestelmiin, sillä ne eivät vahingoita normaalisti käytettäviä tiivistemateriaaleja ja metalleja. Mineraaliöljyjen laatu riippuu pitkälti jalostusasteesta ja niiden ominaisuudet riittävät normaaliolosuhteissa, lisäaineilla voidaan parantaa ominaisuuksia. Mineraaliöljyjen huono puoli on niiden helppo syttyvyys ja ympäristövahingot. (Kauranne ym. 2008, 115-116.)

Muita hydraulinesteitä ovat vaikeasti syttyvät nesteet, biologisesti nopeasti hajoavat nesteet, elintarviketeollisuuden nesteet ja vesi. Vaikeasti syttyviä hydraulinesteitä ovat veden ja muiden nesteiden emulsiot, sekä synteettiset nesteet, jotka ovat palamattomia tai joilla ei ole taipumusta syttyä. vaikeasti syttyviä nesteitä käytetään palo tai räjähdysvaarallisissa tiloissa. Nesteet, jotka sisältävät runsaasti vettä, eivät sovellu erittäin mataliin tai korkeisiin lämpötiloihin. (Kauranne ym. 2008, 116-117.)

Biologisesti nopeasti hajoavat nesteet ovat mineraaliöljyihin verrattuna ympäristöystävällisempiä, joskin lisäaineet voivat silti olla myrkyllisiä. Raaka-aineena käytetään usein kasviöljyjä tai synteettisiä estereitä, ominaisuuksiltaan biologisesti nopeasti hajoavat nesteet ovat paljolti mineraaliöljyjen kaltaisia ja kasviöljyjen tapauksessa niitä voidaan käyttää myös laajemmalla lämpötila ja paine alueella, myös voitelukyky voi olla mineraaliöljyjä parempi. Biologisesti nopeasti hajoavien hydraulinesteiden huono puoli on niiden nopea pilaantuminen ja huonot kylmäominaisuudet. (Kauranne ym. 2008, 118.)

Vesi on yksinkertaisin ja vanhin hydraulijärjestelmissä käytetyistä nesteistä. Sen hyviä puolia ovat ympäristöystävällisyys ja paloturvallisuus. Lisäksi veden viskositeetti muuttuu vain vähän lämpötilan mukaan. Huonoja puolia ovat matalasta viskositeetista johtuvat vuotohäviöt ja huonot voiteluominaisuudet, joista johtuu komponenttien kova kuluminen. Lisäksi hydraulijärjestelmät, joissa käytetään vettä ovat alttiita bakteerikasvustolle. Vettä käytetään myrkyttömyytensä takia offshore- ja elintarviketeollisuudessa. Elintarviketeollisuuden hydraulinesteinä käytetään lisäksi valkoöljyjä, polyalfaolefiineja ja polyglykoleita. (Kauranne ym. 2008, 119.)

2.7 Hydraulinesteen huolto

Hydraulineste täytyy pitää puhtaana mahdollisimman pitkän käyttöiän takaamiseksi. Hydraulijärjestelmän toimintahäiriöistä 70-80 % arvioidaan johtuvan epäpuhtauksista (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 203). Kiinteiden hiukkasten osuus toimintahäiriöistä on 50-55 %. Tärkein nestemäisistä epäpuhtauksista on vesi. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 203.) Kun hydraulikkajärjestelmää käytetään, se kuluu ja siitä irtoaa pieniä partikkeleja öljyyn. Öljyn sisältämät partikkelit ja epäpuhtaudet puolestaan kiihdyttävät kulumista. Siksi on tärkeää pyrkiä suodattamaan hydraulineste ja siten poistamaan siitä epäpuhtaudet. (Kauranne ym. 2008, 373-383.)

Myös järjestelmässä kiertävän hydraulinesteen lämpötilan on oltava oikea, jotta viskositeetti pysyy oikealla tasolla. Oikea viskositeetti pitää järjestelmän häviöt pieninä, eikä edistä komponenttien kulumista. Tärkeimmät hydraulines-tettä huoltavat komponentit ovat suodattimet ja nesteen lämpötilaa säättävät lämmönvaihtimet. (Kauranne ym. 2008, 397-400.)

Herkät komponentit vaativat hydraulineesteeltä suurta puhtautta. Suodatustarkkuus on valittava järjestelmässä olevien komponenttien pienimmän välyksen mukaan. Suurimman hydraulinesteen mukana liikkuvan partikkelin tulisi olla pienempi kuin järjestelmän pienin välys. ISO 4406 ja NAS 1638 -standardit määrittelevät järjestelmän puhtausluokat. Puhtausluokat järjestelmälle määritellään komponenttien välysten ja käyttöolosuhteiden mukaan, ne kertovat partikkelien sallitun koon ja määrän hydraulineesteessä. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 204.)

Suodattimia on hydraulijärjestelmässä useita tyyppisiä. Paluusuodatin asennetaan järjestelmän paluulinjaan ja mitoitetaan järjestelmän suurimman tilavuusvirran mukaan. Imusuodatin puolestaan on pumpun ja säiliön välissä imulinjassa, sen tarkoitus on suojella pumpua epäpuhtauksilta. Painesuodattimet asennetaan pumpun painelinjaan suojaamaan järjestelmän komponentteja. Järjestelmään lisättävä hydraulineeste lisätään täyttösuodattimen läpi, jotta järjestelmään ei tulisi epäpuhtauksia uuden nesteen mukana. Huohotinsuodatin kiinnitetään säiliöön, ja sen on suodatettava korvausilman sisältämät epäpuhtaudet. Sivuvirtasuodatin on omassa erillisessä piirissään, jossa erillinen pumppu kierrättää hydraulineestettä sen kautta. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 204-205.)

Suodatin valitaan järjestelmään sen puhtausluokan, tilavuusvirran, käyttöpaikkeen, lämpötilan ja aseman mukaan. Suodattimet on tehty paperista, lasikuidusta ja metalliverkosta. Yleensä niitä suojaa myös tukiverkko ja suoja-verkko. Suodattimen muoto on yleensä poimuttunut, jotta saataisiin käyttöön mahdollisimman suuri suodatuspinta-ala. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 206-208.)

Yleensä hydraulinesteen lämmittäminen on tarpeellista vain, kun järjestelmä käynnistetään kylmissä olosuhteissa, sillä liian korkea viskositeetti pumpun imuputkessa aiheuttaa kavitaatiota. Yleensä lämmitykseen käytetään sähkövastuksia, jotka on asennettu joko säiliöön tai suodatuspiiriin. Hydraulineesten jäädyttäminen sen sijaan on usein tarpeellista koska neste lämpenee järjestelmässä. Kun öljy kuumenee vuodot kasvavat ja hyötysuhde huononee,

kuuma öljy myös menettää voiteluominaisuuksiaan ja kuluminen nopeutuu. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 206-210.)

Jäähdyttimissä öljy luovuttaa lämpöä putken tai kennoston seinämän läpi jäähdyttävälle aineelle. Jäähdytykseen käytetään yleensä ilmaa tai vettä. Jäähdyttimen on yleensä oltava paluukanavassa tai omassa piirissään, sillä ohutseinämäinen rakenne ei kestä korkeaa painetta. Ilmajäähdyttimen haittapuolena on ilman huono lämmönsiirtokyky, tätä on usein kompensoitu puhaltimen käytöllä ja kennoston runsaalla lämmönsiirtopinta-alalla. Puhaltimen käyttömoottori voi olla sähköinen tai hydraulinen. Vesijäähdytinten etuna on parempi jäähdytysteho kokoonsa nähden. Yleensä vesi laitetaan virtaamaan pienissä putkissa jäähdyttimen läpi öljyn virtaussuuntaan nähden vastakkaisesti, ohjauslevyillä ja lämmönsiirtolevyillä voidaan lisätä putkien lämmönsiirtotehokkuutta. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 209-210.)

3 LAIVAN KESKEISET HYDRAULIIKKAJÄRJESTELMÄT

3.1 Säätolapapotkuri

Säätolapapotkuria kehitettiin alun perin suuriin sota-aluksiin, joissa tarvittiin parempaa manoveerauskykyä, mutta sittemmin ne ovat yleistyneet myös kauppalaivastossa. Suurimmat säätolapapotkurin hyödyt ovat sen portaattomassa tehon säädössä potkurin lapakulmaa muuttamalla. Näin saadaan 0-100 % teho sekä eteen että taakse, muuttamatta moottorin pyörimisnopeutta tai suuntaa. Tästä johtuen aluksessa voidaan käyttää moottoreita, jotka pyörivät vakionopeudella, lisäksi voidaan käyttää suoraa akseligeneraattoria. Muita merkittäviä hyötyjä ovat aluksen pysähtymismatkan ja ajan lyheneminen 30-50 % verrattuna perinteiseen kiinteälapaiseen potkuriin. Säätolapapotkurin huonoja puolia on sen suuremmasta navasta johtuva 2-4 % huonompi hyötysuhde ja heikompi peruutustyöntö. Myös rakenne on monimutkaisempi ja vaurioherkempi kuin perinteisen potkurin. (Häkkinen 1993, 33-36.)

Säätolapapotkurissa käytetään hydraulista voimansiirtoa kääntämään potkurin lavat haluttuun asentoon. Potkurin navassa on sylinteri ja mäntä. Eri puolilla mäntää olevan hydraulikkaöljyn paine-ero saa sen liikkumaan sylinterissä.

Männän lineaarinen liike välittyy mekaanisesti kääntötapin kautta potkurinlapojen kääntöliikkeeksi. Öljyn liikettä männän eri puolille ohjaa männänvarren sisässä oleva luisti. Luistin siirtyminen saa öljyn liikkumaan sylinteriin ja siirtämään mäntää, kunnes luisti on palautunut nolla-asentoon. (Häkkinen 1993, 33-36.)

Öljy virtaa sylinteriin öljynjakopesän kautta. Virtausta säätelee syöttöventtiili. Syöttöventtiili voidaan ratkaisusta riippuen sijoittaa joko potkurin napaan tai öljynjakopesään aluksen sisälle. Mikäli syöttöventtiili on navassa, paineöljy kulkee aina luistin sisällä ja sylinteristä palaava öljy sen ulkopuolella. Luistintanko myös välittää tiedon siipien asennosta säätölapapotkurin ohjausjärjestelmään. (Häkkinen 1993, 33-36.)

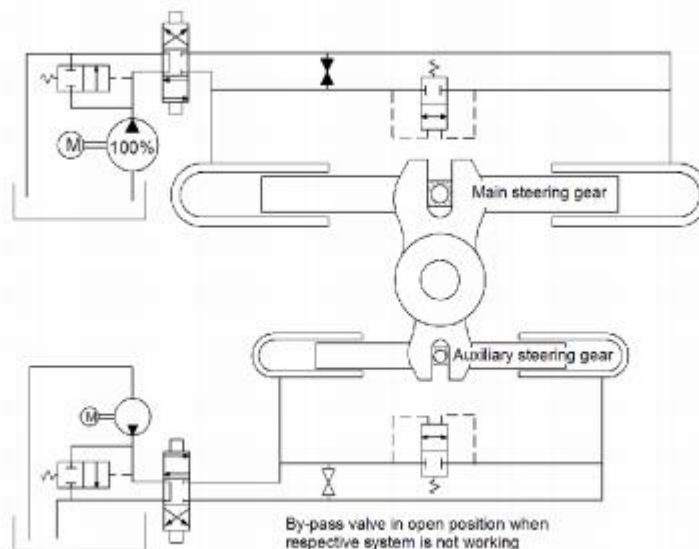
Öljynjakopesässä oleva syöttöventtiili on 4/3-venttiili. Tämä tarkoittaa, että venttiilissä on kolme asentoa ja neljä virtauskanavaa. Venttiilin rakenne mahdollistaa öljyn virtauksen kääntämisen jompaankumpaan venttiililtä lähtevään putkeen, tai venttiilin sulkemisen virtaukselta. Vaihtamalla öljyn virtaussuuntaa voidaan säätää potkurin lapakulmaa eteen tai taakse. Lapakulma voidaan lukita sulkemalla venttiili. (Häkkinen 1993, 33-36.) 4/3-venttiilejä käytetään yleisesti hydraulikkajärjestelmissä muuttamaan toimielimen, esimerkiksi sylinterin, liikesuuntaa (Kauranne ym. 2008, 234).

Säätölapapotkurin öljynpaine kehitetään sähkömoottorin pyörittämällä ruuvipumpulla. Öljysäiliö, pumppu, varapumppu ja suodattimet rakennetaan yhdeksi koneikoksi siten, että pumppuja on mahdollista käyttää yhtäaikaisesti ja saavuttaa luokituslaitosten koneistolta vaatima siipikulman muutosnopeus. (Häkkinen 1993, 33-36.) Ruuvipumput ovat vakiotilavuuspumppuja, jotka antavat tasaisen virtauksen. Niissä on yleensä kaksi tai kolme ruuvia, jotka pyöriessään muodostavat liikkuvan kammion, joka siirtää hydraulinestettä eteenpäin. Ruuvipumppujen suurimmat käyttöpaineet ovat noin 17-20 MPa. (Kauranne ym. 2008, 156.)

3.2 Peräsinkone

Peräsinkoneen tehtävä on kääntää laivan peräsintä. Järjestelmä jakautuu kolmeen osaan, ohjausyksikköön, voimakoneikkoon ja voimansiirtoon peräsintukille. Ohjausyksikkö saa ruorikulman käskyn ruorilta ja aktivoi voimakoneikon ja voimansiirron, kunnes asetettu peräsimen kulma on saavutettu. Voimakoneikko puolestaan tuottaa tarvittavan hydraulisen tehon peräsimen kääntämiseen. Voimansiirto välittää tehon peräsintukille. (Taylor 1996, 211.)

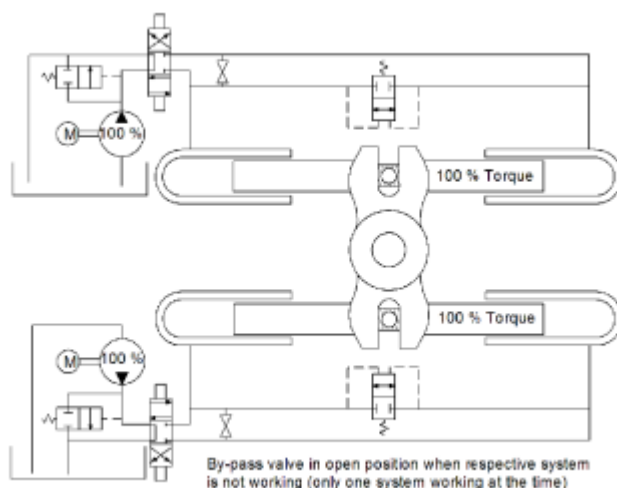
SOLAS-yleissopimus asettaa peräsinkoneille teknisiä vaatimuksia. Peräsinkoneiston on oltava riittävästi kahdennettu vaurioitten varalta ja peräsimen on käännyttävä täydellä syvyyksellä ja täydellä nopeudella laidasta laitaan 28 sekunnissa ($-35^{\circ} \dots +35^{\circ}$). Lisäksi SOLAS määrittelee peräsimen kääntämisnopeuden varaperäsinkoneella ja vaatii käynnistysmahdollisuuden komentosillalta ja määrää uudelleenkäynnistyksen ja hälytykset häiriötilanteissa. SOLAS vaatii myös ohjausjärjestelmän varmennuksen ja määrittelee hydrauliiikan tankkitilavuuden, puhdistuksen ja hälytykset. (Häkkinen 1993, 194-195.)



Kuva 3: Peräsinkoneratkaisu pääperäsinkoneella ja apuperäsinkoneella

Yli 100 000 tonnin GT:n tankkereissa on oltava kaksi itsenäistä peräsinkoneen ohjaussysteemiä, joita voidaan käyttää komentosillalta. Järjestelmästä toiseen vaihto tulee olla välitön ja tehtävissä komentosillalta käsin, toisen järjestelmistä vikaantuessa. Itse peräsinkoneen on koostuttava kahdesta täysin itsenäisestä yksiköstä. Kun toinen kone vikaantuu toinen ottaa automaattisesti

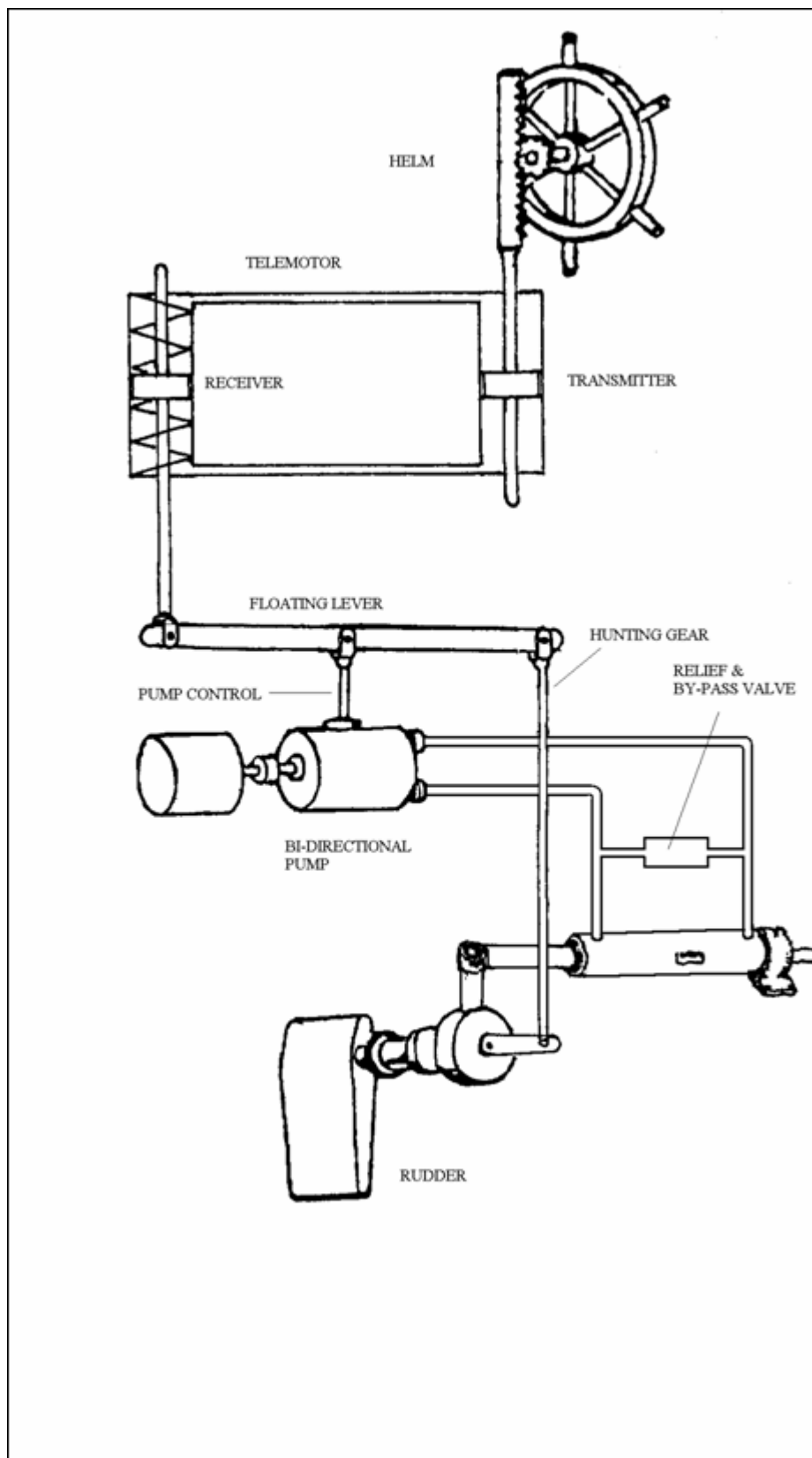
vastuun 45 sekunnissa. Kaikkien vikojen on aiheutettava näkyvä ja kuuluva hälytys komentosillalla. Peräsinkoneratkaisu apuperäsinkoneella on esitetty kuvassa 3. Kuvassa 4 on esitetty yli 100 000 tonnin GT:n tankkeriin soveltuva peräsinkoneratkaisu. (Taylor 1996, 211.)



Kuva 4: Peräsinkone kahdella itsenäisellä yksiköllä

3.2.1 Peräsinkoneen ohjaus

Ruorin kääntäminen lähettää ohjaussignaalin peräsinkoneelle joko sähköisesti tai hydraulisen telemotor-järjestelmän kautta. Telemotor-järjestelmä on esitetty kuvassa 5. Järjestelmän lähetin sijaitsee komentosillalla. Kun ruoria kääntetään, lähettimen kahdessa sylinterissä, liikkuu mäntä. Toisessa ylös toisessa alas. Mäntien liike saa hydraulinesteen virtaamaan putkistossa. Putkisto on yhteydessä peräsinkonehuoneessa sijaitsevaan vastaanottimeen. Vastaanotin on sylinteri, jonka toiselle puolelle neste virtaa ja poistuu toiselta, saaden aikaan liikkeen. Sylinterin varsi on kiinnitetty kelluvaan säätövipuun. Säätövipuun on kiinnitetty myös säätötilavuuspumpun tilavuusvirtaa kontrolloiva vipu ja peräsintukkiin kiinnitetty vipu, joka välittää peräsimen kulman mekaanisesti säätövivulle. Tällaista säätövipumekanismia kutsutaan Hunting Geariksi. Sen tarkoitus on kytkeä pois pumpun tilavuusvirta, kun peräsin on halutussa kulmassa. (Taylor 1996, 214.)



Kuva 5: Hydraulinen Telemotor ohjausjärjestelmä ja Hunting Gear

Taylorin mukaan (1996, 219) nykyaikaisempi peräsinkoneen ohjausratkaisu on sähköinen. Ruorin liike muutetaan sähköiseksi signaaliksi, joka kulkee ohjauslaatikoon. Ohjauslaatikossa sähkömoottori pyörittää ruuviakselia, johon

on kiinnitetty kelluva vipu. Vivun liike välittyy säätötilavuuspumpun säätösauvalle, joka kallistaa säätötilavuuspumpun vinolevyä tai liikuttaa rengasta, riippuen käytetyn pumpun tyypistä, saaden aikaan peräsintä kääntävän tilavuusvirran. Peräsimen saavutettua halutun kulman, peräsintukkiin kiinnitetyn varren vipu tulee samaan kulmaan kelluvan vivun kanssa ja pumpun säätösauva siirtää pumpun nollatilaan, jossa se ei tuota tilavuusvirtaa. (Taylor 1996, 219.)

3.2.2 Sylinterit

Peräsinkoneet toteutetaan yleensä käyttämällä joko lineaarisylintereitä tai kiertosylintereitä. Lineaarisynterikäyttöisissä peräsinkoneissa on kaksi tai neljä sylinteriä, jotka kääntävät peräsintukkia joko luisti tai nivelmekanismin avulla. Neljäsynterinen peräsinkonerakenne voi sallia 10 000 kNm kääntömomentin, kun taas kaksisynteriset peräsinkoneet mitoitetetaan 100-700 kNm momenteille. Kiertosylinterimallisen peräsinkoneen kääntömomentin yläraja on 3000 kNm. (Häkkinen 1993, 195.)

Lineaarisyntereillä toimivissa peräsinkoneissa sylinterin suoran liikkeen voima välittyy peräsintukille kääntömomentiksi mekaanisesti, joko luistin ja tapin tai nivelen avulla. Järjestelmässä voi olla kaksi tai neljä sylinteriä, jotka saavat syöttönsä vaihtotilavuuspumpuilta. Ne ovat kaikki yhteydessä kaikkiin sylintereihin siten, että kaikkia sylintereitä voidaan ajaa tarvittaessa yhdellä toimivalla pumpulla. Ohitusventtiili on asennettu siten, että se suojelee järjestelmää, mikäli kova merenkäynti vääntää peräsintä. (Taylor 1996, 223.)

Sylinterin tehtävä hydraulisessa järjestelmässä on muuttaa hydraulinen teho mekaaniseksi suoraviivaiseksi liikkeeksi. Sylinterin rakenteesta ja kiinnityksestä riippuen joko sylinterinputki tai männänvarsi liikkuu. Sylintereitä on sekä yksitoimisia että kaksitoimisia. Yksitoimisia sylintereitä liikutetaan hydraulisesti vain yhteen suuntaan, ja paluuliike tapahtuu ulkoisen voiman tai sylinterin sisältämän jousen vaikutuksesta. (Kauranne ym. 2008, 195.)

Kaksitoiminen sylinteri liikkuu hydraulisesti kumpaankin suuntaan. Kaksitoimisia sylintereitä on sekä yksi- että kaksipuolisella männänvarrella. Kaksipuolisella männänvarrella varustetussa sylinterissä männän pinta-ala on yhtä suuri kumpaankin suuntaan, joten liikenopeudet ja voimat saadaan helposti yhtä

suuriksi. Yksipuoleisessa sylinterissä männänvarren puoleisen männän pinta-ala on pienempi kuin toisen puolen. Tästä johtuen yksipuoleisella männänvarrella varustetun differentiaalisylinterin liikenopeus, sylinteristä saatavat voimat ja paluuvirtaus riippuvat sylinterin liikesuunnasta. (Kauranne ym. 2008, 198-203.)

Sylinteristä saatava voima ja liikenopeus riippuu männän eri puolten pinta-aloista, kammioissa vallitsevista paineista ja sylinterin hyötysuhteesta. Sylinterin tuottama teho voidaan laskea kaavalla 14. (Kauranne ym. 2008, 199-203.)

$$P_{tod} = q_{v,tulo} * \left(p_{tulo} - \frac{A_{lähtö}}{A_{tulo}} * p_{lähtö} \right) = F * v / \eta_t \quad (14)$$

jossa:

P_{tod}	todellinen teho	[W]
$q_{v,tulo}$	sylinterille tuleva tilavuusvirta	[m ³ /s]
p_{tulo}	sylinteriin tuleva paine	[Pa]
$p_{lähtö}$	sylinteristä poistuva paine	[Pa]
$A_{lähtö}$	männän tehollinen pinta-ala lähtöpuolella	[m ²]
A_{tulo}	männän tehollinen pinta-ala tulopuolella	[m ²]
F	sylinteriä kuormittava voima	[N]
v	sylinterin liikenopeus	[m/s]
η_t	sylinterin kokonaishyötysuhde	[-]

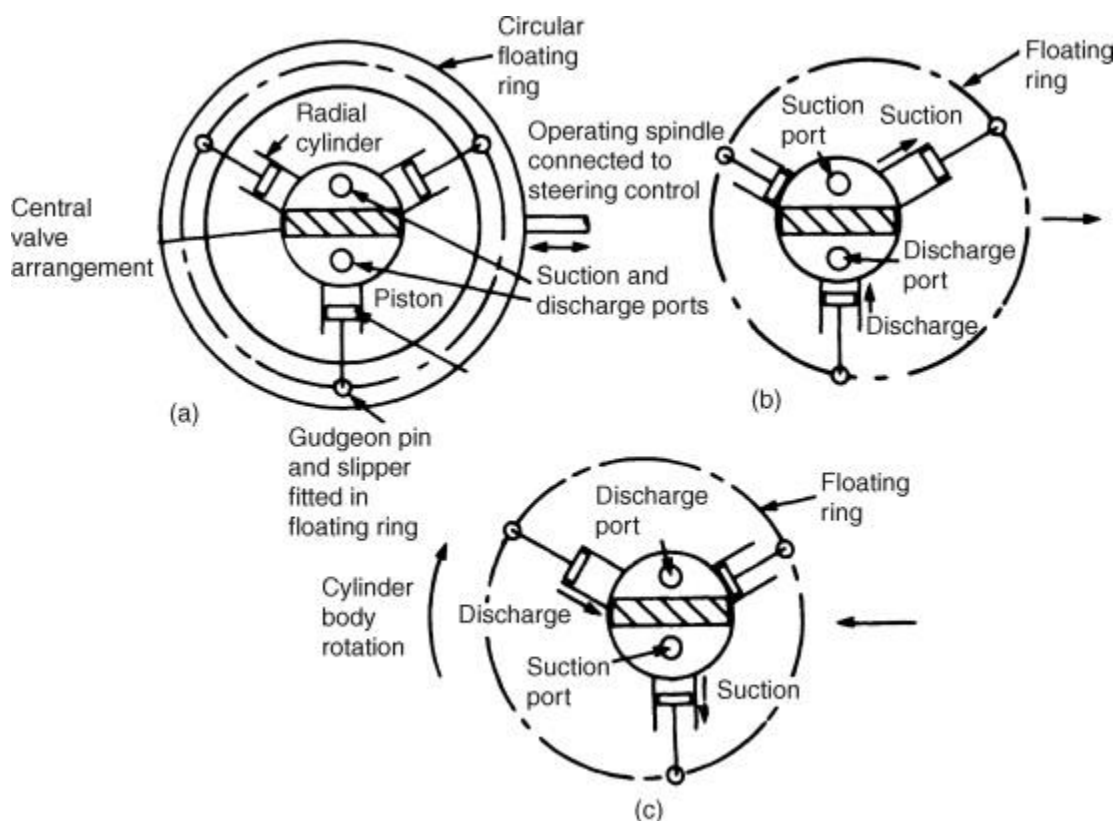
3.2.3 Kiertosylinteri

Kiertosylinterimallisessa peräsinkoneessa peräsintukki on kiinnitetty suoraan kiertosylinterin roottoriin. Roottorissa on siivet, jotka mahtuvat kääntymään kammiossa. Kammioitten väliseinät rajoittavat siipien kääntymistä ja rajaavat öljykammiot toisistaan. Kolmesiipisissä malleissa suurin kääntökulma on yleensä 70°. Kammiot ovat yhteydessä hydraulikkaputkistoon, siten että sisään menevä öljy pääsee kaikkien kammioitten painepuolelle yhtä kanavaa myöten ja poistuva öljy pääsee kaikista supistuvista kammioista toista kanavaa pitkin. Kammioihin ohjattavan öljyn paine-ero roottorin siiven yli saa aikaan kääntävän voiman. Varoventtiili on liitetty järjestelmään suojaksi ylipainetta vastaan. (Taylor 1996, 224.)

3.2.4 Pumpput

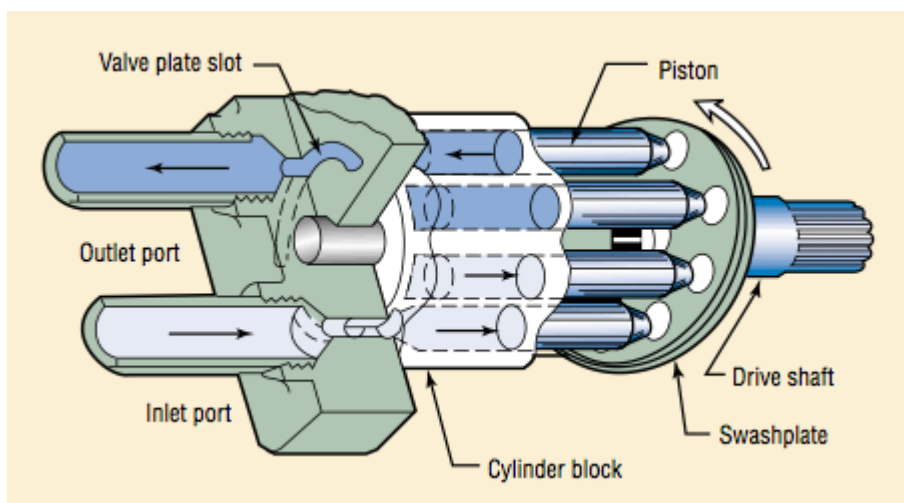
Koska peräsinkoneen on välittömästi vastattava ohjaukseen, pumpun on käytävä koko ajan. Peräsinkoneissa käytetään säätötilavuuspumppuja, jotka pyörivät, mutta eivät luo tilavuusvirtaa, kun peräsimen liikettä ei tarvita. Tällaisia säätötilavuuspumppuja ovat esimerkiksi radiaalisylinteri- ja roottoripumput. (Taylor 1996, 212.)

Radiaalisylinteri eli Hele Shaw pumpun keskiössä on sekä paine että imupuolen virtauskanavat ja toisella puolella lyhyt akseli. Pumpun toimintaperiaate on esitetty kuvassa 6. Sähkömoottori pyörittää akselin välityksellä sylinteriä. Sylinterin sisällä on kohti suorassa akselia vastaan kammioita, joissa on männät. Männät ovat toisesta päästään kiinnitetty sylinterin ulkopuolella olevaan renkaaseen. Renkaan sisähalkaisija on suurempi kuin sylinteri. Pumpun virtausta säätävä luisti painaa rengasta toiselta puolelta kohti pumpun keskiötä. Kun renkaan keskiö on sylinterin keskiön kanssa samassa kohdassa ja ne pyörivät yhdessä, männät eivät tee edestakaista liikettä ja pumppu ei tuota tilavuusvirtaa. Kun rengas painuu kohti sylinteriä toiselta puolelta ja sylinteri pyörii, renkaaseen kiinnitetyt männät alkavat tehdä kammioissa edestakaista liikettä. Kammiot ovat yhteydessä keskiössä oleviin virtauskanaviin, ja pumppu tuottaa tilavuusvirtaa. Virtauksen suuntaa voidaan vaihtaa kääntämättä moottorin pyörimissuuntaa, kun liikutetaan säätörengasta vastakkaiseen suuntaan. (Taylor 1996, 212.)



Kuva 6: Hele Shaw -pumpun toimintaperiaate

Roottoripumpussa on pyörivä rumpu, jonka sisällä sylinterit ja männät ovat kuvan 7 mukaisesti. Kun sähkömoottori pyörittää rumpua männät liikkuvat edestakaisin sylinterien sisällä kontaktissa rumpun päässä olevaan vinolevyyn. Kun levy on vinossa rumpuun nähden männät tekevät edestakaista liikettä sylinterien sisässä, kun rumpu pyörii ja pumppu tuottaa tilavuusvirtaa. Pumpun imupuoli on silloin puolella, jossa männät vetäytyvät ja alipaine vetää nestettä sylinteriin. Kun rumpu on pyörähtänyt painepuolen liitännän kohdalle, mäntä työntyy sylinteriin syrjäyttäen siinä olevan nesteen. Kun vinolevy pyörii suorassa männät eivät liiku edestakaisin ja pumpun tilavuusvirta on nolla. (Kauranne ym. 2008, 168-171.)



Kuva 7: Roottoripumpun halkaisukuva

3.2.5 Paineakku

Hätäkäyttöä varten peräsinkoneessa on paineakku, joka riittää kääntämään peräsimen kerran keskeltä ääriasentoon ja vielä takaisin (Häkkinen 1993, 195). Paineakkuä käytetään tehon lähteenä pumppujen toimintahäiriöitten varalta, estämään vaaratilanteita ja vaurioita (Kauranne ym. 2008, 212).

Paineakkuun voidaan varastoida hydraulista energiaa. Toiminnan perustana on kaasun kokoonpuristuvuus. Kun järjestelmässä olevan hydraulikannesteen paine ylittää akun sisältämän kaasun paineen, nestettä virtaa akkuun ja kaasun tilavuus pienenee. Kaasun ja nesteen tilat on erotettu toisistaan akun rakenteesta riippuen männällä, kalvolla tai rakolla. Kun kaasu pakotetaan alkuperäistä pienempään tilavuuteen sen paine, ja samalla kaasun sisältämä energia kasvavat. (Kauranne ym. 2008, 212-216.)

Kun järjestelmän paine laskee, korkeapaineinen kaasu työntää väliseinää ja pakottaa hydraulinesteen virtaamaan ulos akusta. Kun kaasu pääsee laajenemaan, sen paine laskee ja varastoitunut energia kuluu. Joissakin järjestelmissä paineakku voi jäädä latautuneeksi pumpun pysäyttämisen jälkeen. Paineakkuja sisältävien järjestelmien huollossa ja käsittelyssä tämä tulee huomioida. (Kauranne ym. 2008, 212-216.)

Paineakut voivat olla joko mäntäakkuja, kalvoakkuja tai rakkoakkuja. Mäntäakuissa kaasun ja hydraulinesteen tiloja erottaa sylinterin sisällä liikkuva mäntä. Männän ja sylinterin pintojen välisistä kitkoista johtuen mäntäakulla on

huonompi hyötysuhde kuin muilla akkutyypeillä. Rakkoakussa puolestaan on elastinen rakko, jonka sisällä kaasu sijaitsee. Kun akku on esitäyttöpaineessa, rakko täyttää koko akun sisätilan. Silloin lautasventtiili, joka suojelee rakkoa, sulkee akun sisääntulon. Kalvoakussa on sisäseinään kiinnitetty kalvo, joka mukautuu paineen vaihteluihin. Kalvoa suojaa sulkuläppä, joka sulkee sisääntulon, kun akku on sen esitäyttöpaineessa. Kaikissa paineakuissa on kaasuventtiili, joka on yhteydessä kaasutilaan akun ulkopuolelta. (Kauranne ym. 2008, 212-216.)

3.3 Kansihydrauliikka

Kiinnittymis- ja ankkurointilaitteet ovat keskeinen osa kansihydrauliikkaa, niitä käytetään ankkurin nostoon ja kiinnitysköysien kiristämiseen. Tärkeimpiä kiinnittymislaitteita ovat vintturit ja kelat, sekä ankkurivintturi. Ankkurivintturit ovat yleensä vaaka-akselisia, mutta on olemassa myös pystyakselisiä malleja, joiden etu on vähäisempi tilantarve ja mahdollisuus sijoittaa moottori ja vaihteisto kannen alle. Yhdistetty ankkurointi ja kiinnitysvintturi on taloudellinen ratkaisu. Erilaisia ratkaisuja kansikoneille on useita, mutta ne kaikki perustuvat moottorin pyörittämän rummun tai kelan pyörivään liikkeeseen. Vinttureita on sähkö-, höyry- ja hydraulikäyttöisiä. (Häkkinen 1993, 197.)

3.3.1 Kansinosturit

Myös erilaiset kansinosturit ovat osa kansikoneistoa. Nostureita käytetään yleensä siirtämään kuormia laiturilta alukselle, tai nostamaan lastia ruumaan ja sieltä pois. Myös useimpien nostureiden toiminta perustuu moottorin pyörittämän kelan tai rummun liikkeeseen. Kelan pyörivä liike joko päästää tai vetää vaijeria, riippuen pyörimissuunnasta. Nostoon ja taakan siirtämiseen tarvittava puomin liike saadaan aikaiseksi samalla tavalla kuin taakkaan kiinnitettävän vaijerin liike tai vaihtoehtoisesti puomia voidaan liikuttaa sylinterin avulla. Lisäksi tarvitaan moottori, joka kääntää nosturia sen alustalla. Kaikki nosturin tarvitsemat moottorit voivat olla sähköisiä tai hydraulisia. (Taylor 1996, 184.)

3.3.2 Vinssit ja vintturit

Hydraulisesti toimivassa vinssissä käytetään hydraulista moottoria aikaansaamaan pyörivän liikkeen. Avoimessa systeemissä pumppu pumppaa hydraulikkaöljyä tankista putkistoon ja sitä pitkin moottorille. Tilavuusvirtaa moottorille säädetään venttiilin avulla, samalla venttiilillä kontrolloidaan myös moottorin pyörimissuuntaa. Öljy palaa moottorilta takaisin tankkiin. Suljetussa systeemissä puolestaan öljy palaa suoraan moottorin imupuolelle. (Taylor 1996, 181.) Suljetussa hydraulikkajärjestelmässä moottorin pyörimissuuntaa voidaan muuttaa käyttämällä kaksisuuntaista säätötilavuuspumppua, tällöin moottorin nopeutta ja suuntaa voidaan kontrolloida säätämällä pumpun tuottama tilavuusvirtaa (Kauranne ym. 2008, 5).

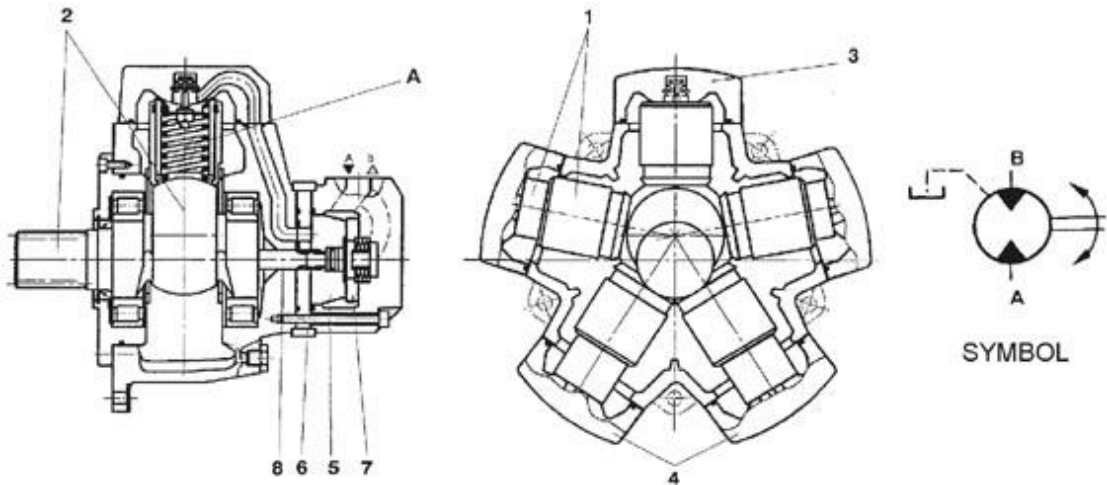
Vinttureissa käytetään sekä korkeapaine että matalapainehydrauliikkaa. Ankurivinttureissa yleinen ratkaisu on matalapainehydrauliikka, sillä 30 – 60 baarin paine vaatii suuret putket (Häkkinen 1993, 196.) Matalapainesysteemit ovat yksinkertaisia ja luotettavia, mutta tehottomia, ja ylikuumenevat pitkään käytettäessä (Taylor 1996, 181). Korkeapainehydrauliikka 150 – 300 baaria, mahdollistaa pienemmät putkikoot, mutta asettaa korkeat vaatimukset hydrauliikkaöljyn puhtaudelle. Hydraulisisissa kansikoneissa on aina paineenrajoitusventtiili. Luokituslaitosten säännöissä määritellään vintturien suurimmat sallitut voimat ja nopeudet. Hydraulisisissa järjestelmissä rajoitus on helposti tehtävissä. (Häkkinen 1993, 196.)

3.3.3 Hydraulimoottori

Hydraulimoottorin tehtävä on muuttaa pumpun tuottama paine ja tilavuusvirta takaisin mekaaniseksi tehoksi, pyörivänä liikkeenä. Hydraulimoottorit toimivat syrjäytysperiaatteella samoin kuin pumputkin. Moottoriin tuotavan hydraulisen paine muodostaa syrjäytyselimiin voiman, joka saa aikaiseksi moottoria pyörittävän momentin. Vaikka pumput ja moottorit ovat toiminnaltaan käänteiset, ne eivät kuitenkaan ole rakenteeltaan samanlaiset. Moottorit voidaan jakaa hammaspyörä-, siipi-, ja mäntämoottoreihin ja edelleen yksi- ja kaksisuuntaisiin ja vakio- ja vaihtotilavuuksisiin moottoreihin. Lisäksi voidaan jakaa moottorit pyörimisnopeutensa mukaan hidaskäyntisiin (1-150 rpm), keskinopeuksisiin (10-750 rpm) ja nopeakäyntisiin (300-5000 rpm). (Kauranne ym. 2008, 173-194.)

Vinssien käyttömoottoreilta vaaditaan suurta vääntömomenttia ja hidasta taasaista pyörimisnopeutta. Hidaskäyntiset LSHT -moottorit (Low speed high torque) sopivat hyvin tarkoitukseen. LSHT -moottorin ominaisuus on suuri kierrostilavuus. Käyttämällä riittävän suurta syrjäytyselimen pinta-alaa voidaan tuottaa riittävä momentti, toinen vaihtoehto on rakenne, jossa syrjäytyselin tekee useita työvaiheita kierroksen aikana. LSHT -moottoreita on muun muassa radiaalimäntämoottorit, monikammioiset siipimoottorit ja orbitaalimoottorit. (Kauranne ym. 2008, 183-189.)

Hidaskäyntisiä radiaalimäntämoottoreita ovat ulkoisin virtauskanavin varustetut moottorit ja ne sisäisillä virtauskanavilla varustetut moottorit, joitten syrjäytyselin tekee monta työvaihetta yhden kierroksen aikana. Ulkoisilla virtauskanavilla varustetut radiaalimäntämoottorit ovat vakiotilavuuksisia. Kuvassa 8 on esitetty moottorin rakenne. Kun paineinen hydraulioöljy ohjataan moottoriin, jakolevy ohjaa sen oikeaan sylinteriin. Sylinterissä olevaan mäntään kohdistuva paine aikaansaa voiman, joka työntää mäntää. Mäntä on yhdistetty moottorin akselilla olevalle epäkeskolle, joka välittää männän liikkeen akselin pyörimiseksi. Jakolevy ohjaa paineen oikeaan sylinteriin kierroksen vaiheen mukaan ja liikkeestä tulee jatkuva. Sylinterejä on 5-7, mikä tarkoittaa, että kaksi tai kolme sylinteriä kerrallaan suorittaa työliikettä ja momentista tulee tasainen. Ulkoisin virtauskanavin varustettujen radiaalimäntämoottorien painealue on 10- 45 MPa ja pyörimisnopeus 5 – 500 rpm. Laivojen kansikoneistojen lisäksi ulkoisilla virtauskanavilla varustettuja radiaalimäntämoottoreita käytetään maansiirtokaluston ajomoottoreissa, työstökoneissa ja valsseissa. (Kauranne ym. 2008, 183-186.)



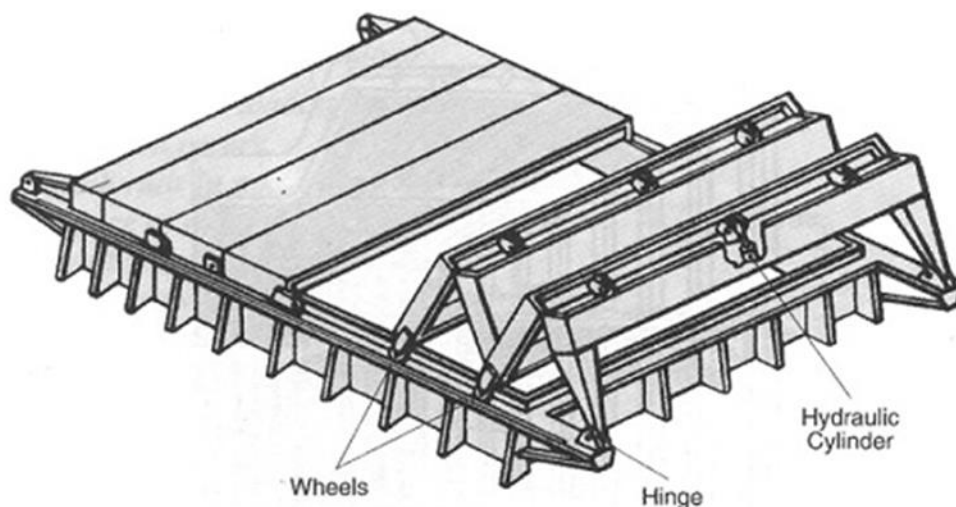
Kuva 8: Ulkoisilla virtauskanavilla varustetun radiaalimäntämootorin rakenne

3.4 Rampit ja lastiluukut

Lastiluukuilla ja rampeilla on tärkeä rooli aluksen toiminnassa. Vanhanaikaisten lankuista ja pressuista koostuvien lasiluukun kansiin käyttö on väistynyt nykyaikaisten metallisten, helposti avattavien ja suljettavien kansiin tieltä. (Taylor 1996, 186-187.)

Laskostuvia lastiluukkuja käytetään sekä yleislasti- ja bulkki-aluksissa ja samantapaisia luukkuja voi löytyä myös alusten välikansilta. Järjestelyssä luukku on jaettu toisiaan vasten laskostuvien paneelien ryhmiin, jotka kiinnittyvät toisiinsa saranoilla. Kun ensimmäinen osa nostetaan pystyyn, siihen nivelellä kiinnitetyn paneelin toinen pää nousee myös. Alhaalle jäävässä päässä on pyörä, jonka avulla luukku liikkuu pitkin kiskoja. Paneeliryhmiä voi olla useita, ja kaikkien liikuttamiseen tarvitaan paria hydraulisynterejä. Laskostuvan lastiluukun toiminta on havainnollistettu kuvassa 9. Mikäli lastiluukussa ei tarvita useampia paneeleja tai kannella on vain vähän tilaa luukun kannelle, rakenne voidaan toteuttaa siten, että Hydraulisynterit nostavat koko luukun pystyyn. Tällaisia rakenteita suositaan esimerkiksi konttialuksissa. Rakenne asettaa kuitenkin rajoitteita luukun koolle. (Cargo Handling Book 2016, 26-31.)

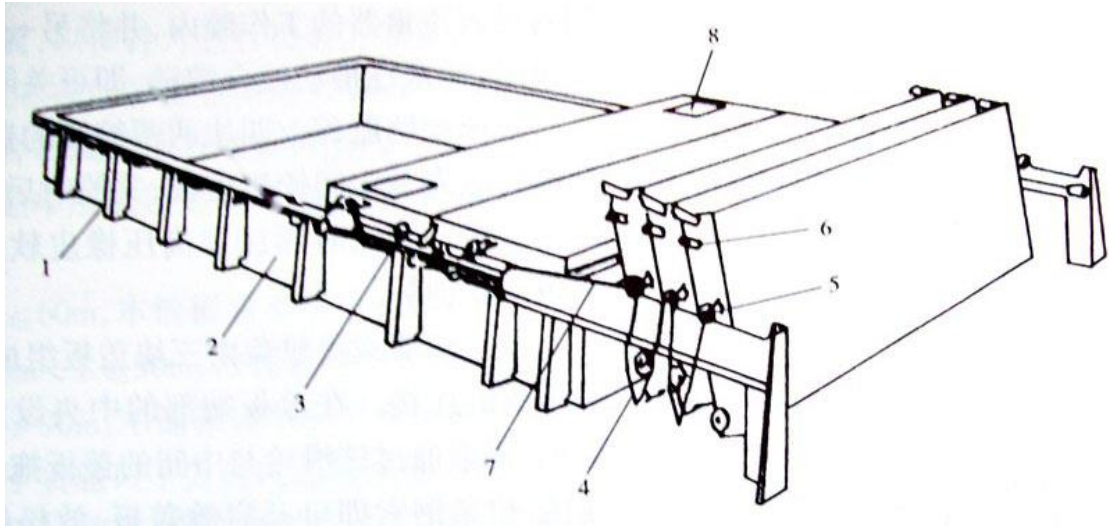
A Multi-Panel End-Folding Hydraulic Cover for Weather Deck Use



Kuva 9: Laskostuvan lastiluukun rakenne

Vieritettävät lastiluukun kannet siirretään sivuun kannessa olevien pienten pyörien päällä, kuten nähdään kuvasta 10. Perinteisessä sivuille vieritettävässä luukun kannessa on kaksi paneelia, jotka vieritetään sivuille, tällaisia kansasia käytetään yleensä bulkkereissa. Luukun kannen siirtäminen tapahtuu yleisimmin käyttämällä ketjua tai hammastankoa ja hammaspyörää. Hidasikäntinen hydraulimoottori pyörittää hammaspyörää, jonka hampaat asettuvat hammastangolle. Kun hammaspyörä pyörii, hammastanko ja paneeli liikkuvat moottorin pyörimissuunnan mukaan. (Cargo Handling Book 2016, 44-45.)

Ketjujärjestelmässä käytetään voimanlähteenä hydraulimoottoria. Keskinopeuksinen hydraulimoottori planeettavaihteella pyörittää ketjua, joka on voitu järjestää kahdelle puolen luukuun reunusta tai vain toiselle. Ketju vetää paneelit sivuun tai takaisin luukun päälle. Järjestelmässä on yleensä käytetty hydraulisylinteriä joko suoraan tai mekaanisen välityksen kautta, nostamaan luukun pyörät kiskoille. (Cargo Handling Book 2016, 44-45.)



Kuva 10: Sivuun vieritettävät lastiluukun kannet

Ramppien nostamiseen ja laskemiseen käytetään hydraulista voimansiirtoa. Valittavana on kaksi vaihtoehtoa. Pienemmille rampeille, joiden pinta-ala on alle 250 neliometriä, soveltuvat hydraulisyylinterit. Sylinterit voivat olla tavallisia tai teleskooppisia. Isompien ramppien tapauksessa käytetään hydraulimoottorin pyörittämää kela ja kaapeleita. Tällaisessakin ratkaisussa käytetään useimmiten hidaskäyntistä moottoria. Rampin liikenopeus riippuu hydrauliliikkejärjestelmän kapasiteetista tuottaa tilavuusvirtaa. Saatavilla on suoraan käsikäyttöisillä venttiileillä ohjattavia ramppeja ja pitkälle automatisoituja ratkaisuja. (Technical information RoRO straight setern ramps 2014.)

3.5 Ohjaus ja säätö

Ohjaustavan mukaan hydraulijärjestelmät voidaan jakaa ohjaus ja säätöjärjestelmiin. Ohjausjärjestelmässä annetaan käskyarvo venttiilille, joka puolestaan vaikuttaa toimielimeen. Säätöjärjestelmässä on venttiilin ja toimilaitteen lisäksi anturi, joka havainnoi oloarvoa, toimilaitteen reaktiota käskyarvoon. Anturin syöttämän tiedon mukaan käskyä voidaan automaattisesti muuttaa. Säätöjärjestelmässä etuna on jatkuva oloarvon, eli toimilaitteen tilan tarkkailu. Mikäli oloarvo ei vastaa käskyarvoa järjestelmä voi korjata käskyarvoa siten että haluttu oloarvo saavutetaan. Takaisinkytkennän ansiosta säätöjärjestelmä sietää paremmin häiriötekijöitä. (Kauranne ym. 2008, 7.)

Hydrauliikkajärjestelmien ohjaus tapahtuu yleensä venttiilien avulla. Sulje-
tuissa järjestelmissä, joissa on kaksisuuntainen pumppu, on mahdollista oh-
jata toimielinten liikesuuntia pumppuohjauksena, mutta venttiiliohjaus on ainoa
mahdollisuus avoimissa järjestelmissä ja yksisuuntaisilla pumpuilla. (Kauranne
ym. 2008, 4.)

”Hydrauliikassa venttiileillä ohjataan tai säädetään paineen ja tilavuusvirran
suuruutta sekä ohjataan tilavuusvirran suuntaa” (Kauranne ym. 2008, 224).
Paineen säädöllä vaikutetaan toimilaitteiden voimiin ja momentteihin, tilavuus-
virran suuruudella liikenopeuksiin ja pyörimisnopeuksiin. Tilavuusvirran suun-
nan muutoksella muutetaan toimilaitteen liikesuuntaa. Venttiilit jaetaan paine-,
virta ja suuntaventtiileihin riippuen mitä suuretta niillä ohjataan tai säädetään.
(Kauranne ym. 2008, 224.)

3.5.1 Sulkuventtiilit

Sulkuventtiilit joko sallivat tai katkaisevat virtauksen riippuen venttiilin asen-
nosta. Sulkuventtiileistä lautasventtiilillä voidaan lisäksi säätää karkeasti tila-
vuusvirran suuruutta. Erilaisia venttiilirakenteita on useita, ja ne eroavat pää-
asiassa sulkukappaleensa mukaan. Venttiilirakenteista levyluisti- ja läppävent-
tiilejä voidaan käyttää matalapaineisissa järjestelmissä, kun taas korkeapaine-
järjestelmät vaativat pallo- tai tulppaventtiilin. (Kauranne ym. 2008, 229-230.)

3.5.2 Vastaventtiilit

Vastaventtiilin tehtävä on sallia virtaus putkessa vain yhteen suuntaan, ja es-
tää vastakkainen virtaus. Vastaventtiilin sulkukappale voi olla kartio, kuula tai
levy. Jousi painaa sulkukappaletta istukkapintaa vasten ja sulkee venttiilin
vuodottomasti. Sallitusta virtaussuunnasta sulkukappaleeseen vaikuttava
paine aiheuttaa jousen kokoon puristavan voiman. Kun sulkukappaleen ylittävä
paine-ero voittaa jousen voiman, venttiili aukeaa ja sallii virtauksen, kunnes
paine-ero tasoittuu ja jousi sulkee virtauskanavan. Tarvittavaan avautumis-
paine-eroon vaikuttaa sulkukappaleen paineen alaiset pinta-alat ja jousen
jäykkyys. (Kauranne ym. 2008, 231-235.)

Mikäli tavallinen yksinkertainen vastaventtiili ei riitä, voidaan järjestelmässä
käyttää ohjattua vastaventtiiliä. Ohjatun vastaventtiilin avulla on mahdollista

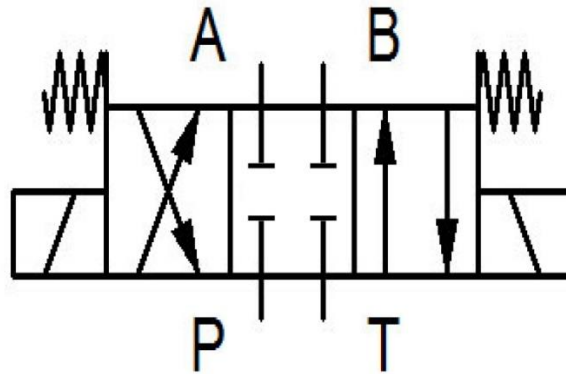
joko sallia virtaus normaalisti estettyyn suuntaan, tai katkaista virtaus sallittuun suuntaan käyttämällä ohjausmäntää ja ohjausliitäntää. Ohjausmäntään kohdistettava riittävä ohjauspaine saa aikaan männän liikkeen. Mäntä painuu venttiilin sulkukappaletta vasten ja joko avaa tai sulkee sen venttiilin rakenteesta riippuen. (Kauranne ym. 2008, 232-233.)

Mikäli putkiston paineet ovat suuret, ohjattu vastaventtiili vaatii myös suuria ohjauspaineita, mikä voi olla ongelmallista. Myös venttiilin avautumisesta ja sulkeutumisesta johtuvat paineiskut rasittavat järjestelmää. Esiohjatussa vastaventtiilissä voidaan käyttää pienempää ohjauspainetta ja paineiskut tasoittuvat. (Kauranne ym. 2008, 233-234.)

3.5.3 Varsinaiset suuntaventtiilit

Tilavuusvirtaa toimilaitteille voidaan ohjata pelkkien sulkuventtiilienkin avulla, mutta yleensä käytetään nimenomaan virtaussuunnan ohjaukseen tarkoitettuja karaventtiilejä, joilla on useampi tila. Venttiilirungon sisällä oleva kara yhdistää venttiilin liitännät karan asennon mukaan. Tällaisia venttiilejä kutsutaan L/K-venttiileiksi. L ilmaisee venttiilin liitäntöjen lukumäärän ja K venttiilikaran asentojen, eli kytkentävaihtoehtojen lukumäärän. (Kauranne ym. 2008, 236.)

Yleinen tilavuusvirran ohjauksessa käytetty venttiili on 4/3-venttiili, jossa on neljä virtauskanavaa ja kolme karan asentoa. Venttiilin virtauskanavat on merkitty kirjaimin, P= paineliitäntä, T= paluuliitäntä, A ja B ovat toimilaitteelle menevät liitännät. Lisäksi venttiilissä voi olla Y/L -liitännät, jotka ovat vuotoliitäntöjä ja X/Z liitännät, mikäli venttiili on hydraulisesti ohjattu. Riippuen karan asennosta ja venttiilin rakenteesta, mahdollisia asentoja voivat olla: suljettu, P-A T-B ja P-B T-A. Kuvassa 11 on esitetty 4/3 -venttiilin piirrosmerkki. (Kauranne ym. 2008, 236.)



Kuva 11: 4/3 venttiilin piirrosmerkki

Venttiilejä voidaan ohjata hydraulisesti, mekaanisesti tai sähköisesti. Mekaaninen ohjaus on kaikkein yksinkertaisin, ja voidaan toteuttaa esimerkiksi venttiilinkaraa liikuttavalla käsikäyttöisellä vivulla. Käsiohjauksella venttiilin kara voidaan asettaa tarkasti haluttuun asentoon. Riippuen venttiilikaran ominaisuuksista käsiohjauksella voi olla mahdollista ohjata tilavuusvirran suunnan lisäksi myös sen suuruutta. Hydraulinen ohjaus on mahdollinen, mutta pitkät etäisyydet ohjauspisteen ja venttiilin välillä ovat ongelmallisia putkistohäviöitten takia. Sähköinen ohjaus on suosittu ja hyvä ratkaisu. Hydraulijärjestelmään tarvitaan joka tapauksessa sähköä pumpun pyörittämiseen ja lisäksi sähköhydraulinen järjestelmä on helppo yhdistää automaatiojärjestelmään. Myöskään pitkät etäisyydet eivät ole ongelma sähköisessä ohjauksessa. (Kauranne ym. 2008, 239-240.)

3.5.4 Paineventtiilit

Tilavuusvirran lisäksi painetta täytyy pystyä säätämään. Paineen säädöllä voidaan vaikuttaa toimilaitteilta saataviin voimiin ja momentteihin. Paineventtiilit voidaan jakaa käyttötarkoituksen mukaan säätäviin ja ohjaaviin venttiileihin. Säätäviä paineventtiilejä ovat paineenalennus ja paineenrajoitus venttiilit. Ohjaavia puolestaan ovat paineohjausventtiilit, kevennysventtiilit ja vastapaineventtiilit. (Kauranne ym. 2008, 254.)

Paineventtiilissä on jousi, jonka tehtävä on pitää venttiilikara lepoasennossa, kun siihen ei kohdistu riittävää ohjauspainetta. Ulkoinen ohjauspaine vaikuttaa venttiilikaraan ja siirtää sen lepoasennostaan, kun ohjauspaineen voima voit-

taa jousivoiman. Paineventtiilit voidaan jakaa tavallisesti suljettuihin ja tavallisesti avoimiin niiden lepoasennon mukaan. Jousivoiman suuruutta voidaan säätää josta kiristämällä, samalla paineventtiilin tarvitsema ohjauspaine kasvaa. Kun venttiilin virtaus poikkipinta-ala kasvaa, kasvaa myös karan pinta-ala ja jouselta vaadittava voima. Suurten jousien sijaan isompien putkikokojen venttiileissä käytetään usein kaksiasteista eli esiohjattua rakennetta. (Kauranne ym. 2008, 254-257.)

3.5.5 Paineenrajoitusventtiili

Paineenrajoitusventtiili on paineventtiili, jonka tarkoitus on rajoittaa painetta hydraulijärjestelmässä haluttuun maksimiarvoon. Mikäli järjestelmän paine nousee liian korkeaksi se voi aiheuttaa komponenteille vaurioita. Paineenrajoitusventtiilit ovat normaalisti suljettuja venttiilejä, joiden ohjauspaine saadaan venttiilin tuloliitännästä. Venttiilin lähtöliitäntä liitetään säiliöön menevään putkeen. Kun paine tuloliitännässä saavuttaa asetetun maksimiarvon venttiili aukeaa ja päästää hydraulinestettä säiliöön järjestelmän puolelta, kunnes paine lähtöliitännässä laskee alle asetusarvon ja jousivoima sulkee venttiilin. Paineenrajoitusventtiilejä käytetään myös suojaamaan komponentteja paineiskuilta. (Kauranne ym. 2008, 259.)

Suoraan ohjattuja paineenrajoitusventtiilejä käytetään vain matalatehoisissa järjestelmissä, joissa paine on alle 30 MPa ja tilavuusvirta suurimmillaan 120 l/min. Suurempitehoisissa järjestelmissä käytetään esiohjattuja paineenrajoitusventtiilejä. Esiohjattu paineenrajoitusventtiili koostuu suoraanohjatusta paineenrajoitusventtiilistä, kuristuksesta ja varsinaisesta venttiilistä. Suoraan ohjattu paineenrajoitusventtiili toimii esiohjauksena varsinaiselle venttiilille, ja sen josta säätämällä asetetaan venttiilin avautumispaine. Esiohjauksen avautessa kuristus aiheuttaa paineen laskun varsinaisen venttiilin jousen puolella ja järjestelmän paine työntää venttiilin karan avoimeksi. Esiohjausventtiilin tulo- puolen ja varsinaisen karan jousitilan välillä on myös kuristus, jonka tehtävä on pehmentää venttiilin pääkaran aukeamista ja sulkeutumista. Kun paine on laskenut, jousi sulkee esiohjausventtiilin ja paine nousee taas varsinaisen venttiilin jousen puolella samalle tasolle kuin karan toisella puolella. Pääkaran jousi sulkee venttiilin. (Kauranne ym. 2008, 259-267.)

3.5.6 Paineenalennusventtiilit

Jossain tapauksissa osassa hydraulikkajärjestelmää tarvitaan muuta järjestelmää matalampi paine. Matalapaineinen osa voidaan erottaa paineenalennusventtiilillä. Paineenalennusventtiilin tehtävä on pitää toisiopaine vakiona, ensiöpaineesta, eli pääjärjestelmän paineesta, riippumatta, edellyttäen kuitenkin, että ensiöpaine pysyy korkeampana kuin toisiopaine. (Kauranne ym. 2008, 268.)

Rakenteeltaan paineenalennusventtiilit ovat normaalisti avoimia, ja kara on luisti-tyyppinen. Karan siirtoon käytetään toisiopiirin painetta, kun toisiopiirin paine laskee alle asetusarvon, jousen voima avaa venttiiliä, ja hydraulinestettä pääsee virtaamaan toisiojärjestelmään nostaen sen painetta. Kun paine on noussut, sen aikaansaama voima sulkee venttiiliä ja kuristaa virtausta. Toisiopaineen alentaminen tapahtuu kuristamalla virtausta, ensiöjärjestelmästä virtaavan nestemäärän vähentäminen alentaa painetta toisiojärjestelmässä. (Kauranne ym. 2008, 268-272.)

Vaikka paluuvirtaus on mahdollista johtaa normaalisti avoimen paineenalennusventtiilin kautta, yleensä käytetään sen rinnalle kytkettyä vastaventtiiliä, joka sallii virtauksen paineenalennusventtiilin asetuspainetta korkeammalla paineella. Kaksi ja kolmiteisissä paineenalennusventtiileissä on A ja B-liitäntöjen lisäksi vuotoliitäntä. Vuotoliitäntän tarkoitus on estää ensiö- ja toisiopiirin välistä vuotoa nostamasta toisiopiirin painetta. Kolmiteisissä paineenalennusventtiileissä on lisäksi paluuliitäntä, jolla voidaan ohjata nestettä toisiopiiristä suoraan säiliöön. (Kauranne ym. 2008, 268-272.)

Suoraan ohjatut paineenrajoitusventtiilit sopivat suurimmillaan järjestelmiin, joissa toisiopaine on 20 MPa -luokkaa, sillä jousi alkaa kuristaa virtausta liian aikaisin, aiheuttaen liikenopeuden ja voiman laskua liian aikaisin. Isommilla paineilla käytetään esiohjattua paineenalennusventtiiliä, joka koostuu suoraan ohjatusta paineenrajoitusventtiilistä esiohjausosana ja hydraulisessa tasapainossa olevasta pääventtiilinkarasta, jonka auki pitämiseen riittää heikko jousi. (Kauranne ym. 2008, 273-278.)

3.5.7 Paineohjausventtiilit

Paineohjausventtiiliä kutsutaan myös sekvenssiventtiiliksi, sitä käytetään toimilaitteiden liikkeiden ajoittamiseen. Toiminnaltaan paineohjausventtiili on paineenrajoitusventtiilin kaltainen. Paineohjausventtiili on rakenteeltaan normaalisti suljettu. Suoraan ohjatuissa paineohjausventtiileissä kara on yleensä luisti-tyyppinen. (Kauranne ym. 2008, 279.)

Kun paine ohjausliitännässä nousee asetetulle tasolle ja voittaa venttiiliä sulkevan jousivoiman, venttiili aukeaa ja sallii virtauksen toimilaitteelle. Ohjausepaine voidaan ottaa joko sisäisesti tuloliitännästä tai erillisestä ohjausepaineesta, jolloin venttiili voi olla kauko-ohjattu. Paineohjausventtiilissä täytyy olla ulkoinen vuotoliitäntä estämässä jousikammion paineistuminen vuodoista johtuen. Venttiili on normaalisti suljettu ja tarvitsee rinnalleen vastaventtiilin, joka mahdollistaa paluuvirtauksen. (Kauranne ym. 2008, 279-282.)

Esiohjattuja paineohjausventtiileitä käytetään yleensä tapauksissa, joissa venttiilin läpäisyn tarvitaan olevan yli 80 l/min ja avautumispaine yli 21 MPa. Esiohjatussa venttiilissä on luisti-rakenteinen esiohjausosa ja istukkarakenteinen pääventtiili, jonka karan läpi on kuristettu poraus. Kun esiohjausluisti liikkuu, se avaa virtauskanavan pääkaran läpi tuloliitännästä lähtöliitäntään, kuristettu virtaus saa paineen laskemaan karan jousen puolella, ja tuloliitännän paine työntää pääkaran avoimeen asentoon. Kun paine tuloliitännässä laskee alle esiohjauksen tarvitseman paineen, luisti sulkee pääkaran läpi kulkevan virtauksen ja paine karan eri puolilla tasoittuu. Lopuksi jousi työntää pääkaran kiinni istukkapintaan ja venttiili sulkeutuu. (Kauranne ym. 2008, 283-285.)

3.5.8 Kevennysventtiili

Kevennysventtiiliä käytetään ohjaamaan pumpun tuotto takaisin säiliöön, kun sitä ei tarvita. Kevennysventtiili toimii samaan tapaan kuin paineenrajoitusventtiili, mutta on ohjattu ulkoisesti. Kevennysventtiilin käyttö ei myöskään pakota pumppua tuottamaan paineenrajoitusventtiilin avaamiseen tarvittavaa painetta ja näin tehohäviöt jäävät pieneksi. Kevennysventtiilejä käytetään esimerkiksi järjestelmissä, jotka tekevät pikaliikkeen usean pumpun tilavuusvirralla ja korkeaa painetta vaativan puristusliikkeen, jonka aikana matalapaine-

pumppujen tilavuusvirta ohjataan kevennysventtiilin kautta säiliöön. Kevennysventtiileihin perustuvia rakenteita käytetään myös paineakkujen lataukseen. (Kauranne ym. 2008, 286.)

Kevennysventtiilit ovat normaalisti suljettu, ja avautumiseen tarvittava ohjauspaine tulee erillisestä liitännästä. Kevennysventtiilit ovat aina kauko-ohjattuja. Suoraan ohjatuissa kevennysventtiileissä on luisti-tyyppinen kara, esiohjatuissa puolestaan esiohjausosana luisti ja pääkarana istukkatyylinen kara. Kun ohjauspaine painaa josta kasaan venttiili aukeaa ja virtaus ohjautuu esteettä säiliöön. Jousikammion vuotoliitäntä voi olla yhdistetty kevennysventtiilin lähtöliitäntään, mikäli lähtöliitännän paine on riittävän alhainen, ettei se aiheuta merkittävää voimaa jousen puolelle. Toinen tapa on yhdistää jousikammio erillisellä vuotoliitännällä säiliöön. (Kauranne ym. 2008, 286-292.)

3.5.9 Vastapaineventtiilit

Vastapaineventtiilin tehtävä on tuottaa toimilaitteen liikettä vastustava vastapaine, joka mahdollistaa paremmin hallitun liikkeen. Vastapaineventtiilit ovat normaalisti suljettuja ja ne asennetaan hallittavan toimilaitteen liikesuunnan paluulinjaan. Ohjauspaine saadaan joko venttiilin tuloliitännästä tai hallittavan toimilaitteen liikesuunnan tuloliitännän puolelta. Paine vaikuttaa venttiilin karaan ja avaa venttiiliä, jolloin virtaus mahdollistuu. Kun ohjauspaine laskee, jousi sulkee venttiilin, kunnes kasvava paine tuloliitännässä saa taas venttiilin aukeamaan. Vastapaineventtiilissä on tulo ja lähtöliitäntöjen lisäksi vuotoliitäntä tankkiin ja ohjauspaineliitäntä. Mikäli vastapaineventtiiliin ei sisälly vastaventiiliä, sen rinnalle täytyy asentaa vastaventiili, joka mahdollistaa virtauksen toimilaitteelle päin. Vastaventiilejä käytetään hidastamaan sylinterien liikkeitä ja toimimaan hydraulimoottoreille jarruna sekä estämään moottorin rynnäystä. (Kauranne ym. 2008, 293-298.)

3.5.10 Virtaventiilit

Virtaventiilejä käytetään, kun toimilaitteiden liikenopeuksia täytyy säätää, eikä säätö ole mahdollista tai järkevää tehdä pumpun tilavuusvirtaa muuttamalla. Virtaventiileillä kuristetaan virtausta halutunlaiseksi, jolloin käyttämätön osa virtauksesta ajetaan takaisin säiliöön tavallisesti paineenrajoitusventtiilin

kautta. Virtaventtiilit voidaan jakaa kolmeen ryhmään: virtavastusventtiilit, virransäätöventtiilit ja virranjakoventtiilit. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 228-229.)

Kuristavan virtaventtiilin paikka järjestelmässä vaikuttaa suuresti sen toimintaan. Toimilaitteen ja suuntaventtiilin välille asetetun virtaventtiilin säätö on tarkempi kuin pumpun ja suuntaventtiilin tai suuntaventtiilin ja säiliön väliin asetetun virtaventtiilin, sillä se estää toimilaitteelta tulevien paineenvaihteluitten vaikutuksen suuntaventtiiliin. Kun suuntaventtiilin paine pysyy vakiona sen sisäiset vuodot eivät vaikuta säätöön. Paikka vaikuttaa myös järjestelmän kykyyn vastaanottaa negatiivisia kuormia. Rinnan toimilaitteen kanssa sijoitettu kuristus mahdollistaa toimilaitteen nopeuden säädön sivuvirtausta säätämällä. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 229-230.)

Vastusventtiilin läpi kulkeva tilavuusvirta riippuu paine-erosta venttiilin kuristuksen yli. Kuristuskohdan pituus vaikuttaa virtauksen laatuun. Lyhyellä kuristuksella se on turbulenttista ja nesteeseen viskositeetilla on vain vähäinen vaikutus virtaukseen. Pitkillä kanavilla puolestaan virtaus muuttuu laminaariseksi. Kun virtavastusventtiilin rinnalle kytketään vastusventtiili, voidaan kuristaa virtausta ainoastaan toiseen suuntaan ja saadaan vastusvastaventtiili. Ratkaisu sopii sylinterin liikenopeuden hallintaan kumpaankin suuntaan, kun vastusvastaventtiili kytketään sylinterin kumpaankin linjaan. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 230.)

Virransäätöventtiilissä voidaan säätää kuristuksen poikkipinta-alaa. Haluttu toimilaitteen liikenopeus on mahdollista säilyttää paineen ja kuormituksen vaihteluista huolimatta, venttiilin sisäinen säätöpiiri pitää tilavuusvirran asetuksessa arvossaan. Nopeus säädetään sopivaksi mittakuristimen avulla ja painevaaka säilyttää vakio-paine-eron mittakuristimen yli. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 230-231.)

Virranjakoventtiilin tehtävä on jakaa venttiilille tuleva virta kahteen lähtövirtaukseen, joiden suhde pysyy vakiona. Lähtevien virtausten suuruus ei riipu tulovirtauksen suuruudesta eikä lähtövirtausten paineesta. Virranjakoventtiileitä ovat yksitoimiset venttiilit, jotka läpäisevät virtauksen yhteen suuntaan eivätkä mahdollista virtausta toiseen suuntaan. Toisessa tyyppissä paluuvirtaus

on mahdollistettu vastaventtiilillä, joka on virranjakoventtiilin rinnalla. Kolmas tyyppi on kaksitoimiset venttiilit, jotka säätävät virtauksen kumpaankin suuntaan. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 231.)

3.5.11 Sähköinen ohjaus

Sähköisesti ohjatussa venttiilissä venttiilikaraa liikuttaa sähkömagneetti. Sähkömagneetti on kela, joka indusoi sisälleen ja ympärilleen magneettikentän, kun sähkövirta kulkee sen lävitse. Magneettikenttä aiheuttaa voiman, joka saa kelan sisällä olevan ankkurin liikkumaan. Ankkuri puolestaan liikuttaa venttiilikaraa. Yleensä magneettiventtiilissä on jousi, joka palauttaa karan lepoasentoon, kun sähkövirta katkaistaan ja magneettikenttä katoaa. Yleensä vaihtovirtamagneetit toimivat Suomessa jännitteellä 230V, ja tasavirtamagneetit joko 12 tai 24 voltin jännitteellä. Sähkömagneetin kytkentäajat riippuvat muun muassa magneetin ja venttiilin koosta, mutta ovat yleensä alle sadan millisekunnin. Nopeasta kytkennästä on hyötyä järjestelmän tehokkuuden kannalta, mutta äkillinen kytkennän vaihtuminen aiheuttaa paineiskuja ja toimilaitteiden suuria kiihtyvyyksiä. (Kauranne ym. 2008, 240-243.)

Suoraa sähköistä ohjausta magneettiventtiilillä voidaan käyttää vain suhteellisen pienessä kokoluokassa. Yleensä alle NS 10 -putkikoolla. Suurempien venttiilien ohjauksessa käytetään esiohjausta. Esiohjatussa venttiilissä käytetään pientä magneettiventtiiliä ohjaamaan suuremman paineohjatun venttiilin ohjauspainetta. ohjauspaine vaikuttaa suuremman venttiilin karan päihin ja saa aikaan sitä liikuttavan voiman. Paluuliike neutraaliin asentoon voi tapahtua jousen avustamana. (Fonselius 1999, 73-74.)

3.5.12 Proportionaaliohjaus

Proportionaali- ja servoventtiileillä voidaan ohjata tilavuusvirran suuntaa ja suuruutta sekä painetta kuten magneettiventtiileilläkin. Lisäksi proportionaali- ja servoventtiileissä voidaan käyttää portaatonta ohjausta, kun taas magneettiventtiilin ohjaus rajoittuu ON/OFF-tyyliseen kahden tai useamman tilan ohjaukseen. Venttiilikarojen portaaton ohjaus mahdollistaa myös ohjattujen suurteiden, paineen ja tilavuusvirran, portaattoman ohjauksen. Tästä seuraa mahdollisuus ohjata jatkuvasti toimilaitteen asemaa, nopeutta, voimaa tai momenttia. (Kauranne ym. 2008. 327-330.)

Käytettäessä perinteisiä ON/OFF -magneettiventtileitä, esimerkiksi sylinterin liikesuunnan ohjausventtiin lisäksi tarvitaan yhtä monta liikenopeutta säätävää virtaventtiiliä, kun on haluttuja nopeuksia. Siirryttäessä proportionaalitekniikkaan on mahdollista vähentää tarvittavien komponenttien määrää, sillä liikenopeuden muutokset saadaan tapahtumaan yhdellä proportionaaliventtiilillä. Vastapainona tarvittava sähköinen ohjaus monimutkaistuu. Proportionaaliventtiilillä tapahtuva virtauksen muutos tapahtuu pehmeästi ja äkkinäiset venttiilien aukenemisesta ja sulkemisesta johtuvat paineiskut jäävät pois. (Kauranne ym. 2008, 330.)

Toimintaperiaatteeltaan proportionaali- ja servoventtiilit ovat jatkuvasti toimivia vahvistimia, joissa sähköinen ohjaussignaali muutetaan hydrauliseksi signaaliksi. Jatkuvuus tarkoittaa sitä, että hydraulinen lähtösignaali, joka saa aikaan toimilaitteen oloarvon, seuraa jatkuvasti ja portaattomasti tulosignaalia eli käskyarvoa. Hydraulikassa proportionaalitekniikka tarkoittaa proportionaaliventtiilejä ja laitteistoja, joissa niitä käytetään. (Kauranne ym. 2008, 327.)

3.5.13 Servotekniikka

Servotekniikalla tarkoitetaan jatkuvatoimisia laitteita, joissa on takaisinkytkentä. Servojärjestelmät ovat säätöjärjestelmiä, joissa toimilaitteen oloarvoa tarkkailee anturi, joka syöttää signaalin takaisin eroelimelle. Eroelimellä verrataan käskyarvoa anturilta saatuun toimilaitteen oloarvoon, ja muutetaan eroelimeltä säätölaitteelle lähtevää signaalia siten että toimilaitteen oloarvo vastaisi paremmin eroelimelle saapunutta käskyarvoa. Säätöjärjestelmä reagoi muutoksiin, kuten kuormanvaihteluihin ja ulkoisiin ja sisäisiin häiriötekijöihin, tavalla, joka on mahdoton järjestelmille, joissa ei ole takaisinkytkentää. (Kauranne ym. 2008, 327-330.)

Hydraulikassa ohjauselektronikan antama sähköinen käskyarvo on muutettava voimaksi tai liikkeeksi, jotta hydraulikkaventtiilin kara saataisiin siirrettyä haluttuun asentoon. Muuntimina käytetään lineaarimoottoreita ja vääntömoottoreita. Ohjausjärjestelmissä käytetään vain lineaarimoottoreilla varustettuja

proportionaaliventtiilejä, kun taas takaisinkytketyissä säätöjärjestelmissä käytetään servoventtiilejä, joissa voi olla vääntö- tai lineaarimoottori. (Kauranne ym. 2008, 331.)

3.5.14 Proportionaalimagneetti ja servomoottori

Virtaohjattu tasavirtamagneetti on yleisin hydrauliventtiileissä käytetty lineaarimoottorityyppi. Magneetin tuottama magneetikentän voimakkuus riippuu syötettävän sähkövirran suuruudesta. Samalla kun virta kasvaa, kelan sisällä olevaan ankkuriin kohdistuva magneettinen voima kasvaa. Magneettinen voima on suhteellinen eli proportionaalinen ohjausvirtaan nähden. Virtaohjatusta tasavirtamagneetista käytetään hydrauliventtiilien yhteydessä nimitystä proportionaalimagneetti. (Kauranne ym. 2008, 331.)

Proportionaalimagneetit voidaan jakaa voimaohjattuihin ja asemaohjattuihin. Voimaohjattu proportionaalimagneetti tuottaa voiman, joka pysyy vakiona lyhyellä iskunpituusalueella, kun ohjausvirta on vakio. Voimaohjatun proportionaalimagneettia käytetään esiohjatuisissa venttiileissä, jossa ankkurin voima välittyy paineena pääventtiilinkaran ohjauspaineeksi. Asemaohjatuisissa proportionaalimagneeteissa on pitempi iskunpituusalue, jolla voima pysyy vakiona. Käämin sisällä olevaan ankkuriin vaikuttaa magneettinen voima, joka riippuu ohjausvirrasta. Ankkuriin vaikuttavaa magneettista voimaa vastustetaan jousella. Näin magneetin iskupituus ja venttiilin karan asema riippuvat ohjausvirrasta ja jousen ominaisuuksista proportionaalisesti. (Kauranne ym. 2008, 331-334.)

Proportionaaliventtiilit voidaan jakaa proportionaalisiin paineventtiileihin, vastusventtiileihin tilavuusvirransäätöventtiileihin ja suuntaventtiileihin, riippuen säädettävästä suureesta. Proportionaalimagneetti toimii portaattomana säätimenä venttiilille. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 286-287.)

Vaikka servoventtiileissä käytetään myös proportionaalimagneettien kaltaisia lineaarimuuntimia, yleensä käytetään vääntömoottoreja, jotka ovat virtaohjattuja kestromagneettimoottoreita. Vääntömoottorit tuottavat proportionaalisesti ohjausvirrasta riippuvan vääntömomentin, joka jää usein vähäiseksi. Pienen momentin takia vääntömoottorilta saatava mekaaninen signaali on useimmiten

vahvistettava joko yhdessä tai kahdessa vaiheessa, jolloin venttiileistä tulee kaksi- tai kolmiasteisia. (Kauranne ym. 2008, 334-335.)

4 HYDRAULIIKKAHARJOITUSPENKKI

Luvun kuvaukset hydrauliiikkaharjoituspenkeistä perustuvat Feston Fluid power Learning systems and services for basic and further training -katalogin tuotekuvauksista saatuihin tietoihin.

Hydrauliikkaharjoituspenkki on opetusväline, joka mahdollistaa hydrauliiikan tehokkaan ja käytännönläheisen opetuksen. Hydrauliikkaharjoituspenkistä voidaan puhua hydrauliikkaharjoitussettinä tai didaktiikka settinä yleisesti käytettäviä englanninkielisiä nimityksiä ovat Hydraulic didactic set tai Hydraulic training set. Tässä opinnäytetyössä puhutaan hydrauliiikka-harjoituspenkistä. Sillä halutaan korostaa kokonaisvaltaista ratkaisua, johon sisältyy sekä hydrauliiikkomponentit että tukirakenne työtasoineen. Valmistajien englanninkieliset katalogit käyttävät ratkaisusta termejä workbench tai workstation ja tilaajille tarjottavista hydrauliikkomponenttipaketeista termejä kuten Hydraulic training package tai equipment set.

Hydrauliikkaharjoituspenkin tarkoitus on mahdollistaa hydrauliiikan ilmiöitten sekä komponenttien ja kokonaisten hydrauliijärjestelmien toiminnan opiskelu käytännön kautta. Harjoituspenkissä opiskelija tekee laboratorioharjoituksia, jotka on tarkoitettu esittelemään hydrauliiikan ilmiöitä havainnollistavasti ja käytännönläheisesti. Laboratorioharjoituksissa opiskelija työskentelee ryhmässä kirjallisten ohjeitten perusteella ja kehittää samalla työelämässä tarvittavia taitoja. Harjoituspenkissä voidaan havainnollistaa hydrauliikkakomponenttien toimintaa ja mallintaa hydrauliikkajärjestelmiä.

Hydrauliikkaharjoituspenkki koostuu tukirakenteesta, työskentelytasosta, hydrauliikkakomponenteista ja tehoyksiköstä. Keinäsen ja Kärkkäisen mukaan (2005, 306) Hydrauliikan kytKentäharjoituksissa tarvitaan paljon erilaisia laitteita ja komponentteja, ja kytKentöjen harjoittelu mahdollisimman aidossa ympäristössä vaatii todellisia teollisuus- ja mobilekäyttöön valmistettuja komponentteja. Hydrauliikkakomponenttien säilyttämistä varten ratkaisussa voi

olla vetolaatikosto tai jonkinlainen kaapisto. Joissakin harjoituspenkkiratkaisuissa on lisäksi paneeli ohjauselektronikalle. Harjoituspenkkiratkaisu voi olla joko paikallaan pidettävä tai siirrettävä, jolloin jalkojen alla on lukittavat pyörät. Ratkaisut ovat modulaarisia ja käyttötarkoitusta ja opetustavoitteita varten muokattavissa.

Hydrauliikkapenkin tukirakenne koostuu jaloista ja pöytätasosta, sekä tehoyksikölle ja mahdollisesti säilytyslaatikostolle tarkoitetusta hyllystä pöytätasolla. Tukirakenne tukee myös pystyyn asetettavaa taustalevyä, johon hydrauliikkakomponentit kiinnitetään. Taustalevyn rakenne vaihtelee valmistajan mukaan, mutta sen tarkoitus on mahdollistaa hydrauliikkakomponenttien joustava sijoittelu sekä helppo ja nopea kiinnitettävyyden. Joissain harjoituspenkkiratkaisuissa on työtila kummallakin puolella pöytää, jolloin taustalevyt on asetettu selkäpuolet vastakkain. tällainen rakenne mahdollistaa kahden eri ryhmän yhdenaikaisen työskentelyn.

Hydrauliikkaharjoituspenkin tehoyksikön muodostaa hydraulipumppu ja sitä pyörittävä sähkömoottori, sekä hydraulinesäiliö lähtö- ja paluuliitäntöineen ja mahdollisesti paineenrajoitusventtiili ja paluusuodatin. Ratkaisut vaihtelevat hieman harjoituspenkkien valmistajien välillä ja ratkaisusta toiseen. Suurin muuttuja harjoituspenkkien välillä on niiden varustelu. Valmistajat tarjoavat harjoituspaketteja, jotka sisältävät eri määrän erilaisia hydrauliikkakomponentteja paketista ja lisävarustelusta riippuen. Keinänen ja Kärkkäinen mukaan (2005, 306) harjoituskoneistojen ongelma on usein komponenttien likaantumisen johtuva kuluminen, sillä koneistoa purettaessa ja kasattaessa järjestelmään pääsee likaa. Edelleen Keinänen ja Kärkkäinen (2005, 306) toteavat että laitteiden varustaminen pikaliittimillä on eräs ratkaisu pyrittäessä nopeaan kytkentään. Harjoituspenkin yläosassa on paneeli ohjauselektronikkaa varten kuten kuvassa 12 olevassa Feston -hydrauliikkaharjoituspenkkiratkaisussa.



Kuva 12: Tyypillinen harjoituspenkkiratkaisu, kuvakaappaus Feston katalogista.

5 TUTKIMUSONGELMA

Tutkimuksen tarkoitus on tuottaa tietoa markkinoilla saatavilla olevista hydraulikkaharjoituspenkeistä ja niiden soveltuvuudesta tilaajan tarpeeseen. Tavoitteena oli tehdä vertailu, jonka perusteella voidaan sanoa mikä tarjolla olevista vaihtoehdoista vastaa parhaiten Xamkin merenkulun ja liikenteen yksikön tarvetta hydraulikkaharjoituspenkille, ja voidaan suositella tietyn tuotteen lähempää tarkastelua ja hankintaa. Tutkimusongelma oli: Mikä saatavilla olevista hydraulikkaharjoituspenkeistä soveltuu parhaiten käytettäväksi merenkulun insinöörien koulutuksessa?

Jotta varsinaiseen tutkimusongelmaan pystyttiin vastaamaan, ensin oli vastattava alaongelmiin. Mitä hydraulikkaharjoituspenkkejä on saatavilla? Minkälaisia ominaisuuksia merenkulun insinöörien koulutukseen soveltuvalta hydraulikkaharjoituspenkiltä vaaditaan? Miten eri harjoituspenkkiratkaisuja vertailaan keskenään? Osaan alaongelmista saatiin vastaukset teoreettisen viitekehityksen kirjoittamisesta ja laivojen hydraulikkajärjestelmiin tutustumisesta. Sopiva tutkimusmenetelmä räätälöitiin siten, että se vastasi tutkimusongelmaan ja vastaus oli mahdollista löytää saatavilla olevan materiaalin perusteella.

6 TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

Tutkimuksessa käytetty menetelmä kehittyi vastaamaan tutkimuskysymyksen saatavilla olevan materiaalin perusteella. Aineistona haluttiin käyttää hydraulikkaharjoituspenkkien valmistajien tarjoamaa materiaalia, joka oli vapaasti saatavilla valmistajien internetsivuilla.

6.1 Tutkimusmenetelmän kuvaus

Tutkimuskysymykseen pyrittiin vastaamaan vertaamalla eri hydraulikkaharjoituspenkkiratkaisuja toisiinsa. Kukin harjoituspenkkiratkaisu pisteytettiin ennalta määritellyissä kategorioissa ennalta määriteltyjen kriteerien mukaisesti. Kategorioitten oli tarkoitus mitata ratkaisun soveltuvuutta merenkulun insinöörien koulutukseen. Pisteytyskriteerit pohjautuivat tilaajan hydraulikkaharjoituspenkille asettamiin vaatimuksiin ja merenkulun insinöörien toimintaympäristön keskeisiin hydraulikan sovelluksiin. Lopuksi eri kategorioista saadut pisteet laskettiin yhteen ja eri harjoituspenkkiratkaisujen saamia pistemääriä verrattiin toisiinsa. Tutkimuksen mukaan eniten pisteitä saaneet harjoituspenkkiratkaisut soveltuvat parhaiten tilaajan käyttöön.

6.2 Harjoituspenkille asetetut vaatimukset ja pisteytys

Hydraulikkaharjoituspenkkien arviointikriteerit määritettiin siten, että ne mitaavat harjoituspenkkien soveltuvuutta merenkulun insinöörien koulutukseen. Tilaajan mukaan tarkoitukseen soveltuvalla harjoituspenkillä tulee pystyä mallintamaan laivan keskeisimpiä hydraulikkajärjestelmiä ainakin yksinkertaistettuina, mutta toimivina malleina. Harjoituspenkin tulee mahdollistaa opiskelijoiden ja opettajan tehokas ajankäyttö laboratorioharjoituksissa. Lisäksi hydraulikkaharjoituspenkissä tulee pystyä rakentamaan ja kokeilemaan erilaisia ohjausjärjestelmiä, kuten sähköistä ON/OFF -ohjausta ja proportionaaliventtiiliohjausta. Säätojärjestelmät ovat monimutkaisia ja laivoilla harvinaisempia. Harjoituspenkkien ominaisuuksien arvottaminen numeerisesti on järkevää vertailun helpottamiseksi.

Hydrauliikkaharjoituspenkkien arviointikriteerit asetettiin kolmeen eri kategori-
aan, joita olivat: ajankäyttö, laivan hydrauliikkajärjestelmien mallintaminen
sekä ohjaus ja säätö. Eri kategorioissa harjoituspenkkiratkaisu sai yhdestä vii-
teen pistettä riippuen siitä, miten se täytti kunkin kategorian arviointikriteerit.
Kategorioitten arviointikriteerit asetettiin siten, että ne mahdollistivat ratkaisui-
den järkevästä pisteytyksestä. Jotta kriteerit pisteytykselle voitiin määrittää, täytyi
ensin arvottaa harjoituspenkiltä haetut ominaisuudet. Keskustelut tutkimuksen
tilaajan kanssa ja laivan hydrauliikkajärjestelmiin perehtyminen loivat pohjan
arviointikriteereille.

6.2.1 Ajankäytön kategoria

Ajankäytön kategoriassa arvostellaan harjoituspenkkiratkaisuja ajankäytön
kannalta. Jotta ajankäyttö laboratorioharjoituksissa olisi mahdollisimman teho-
kasta, penkin on mahdollistettava monen opiskelijan yhtäaikaista työskentelyä
harjoitusten parissa. Lisäksi huomiota kiinnitettiin myös letkuliitosten tekemi-
sen sujuvuuteen ja komponenttien jouhevaan liittämiseen taustalevyyn. Kui-
tenkin siten että mikäli kaikki vaihtoehdot on varustettu pikaliittimin ei erilaisia
pikaliittimiä vertailtu keskenään.

Pisteytys ajankäytön kategoriassa perustuu pitkälti yhtä aikaa harjoituspenkin
kanssa työskentelevien opiskelijoitten määrään. Parhaiten laboratorioharjoit-
usten tekeminen onnistuu parityönä, mutta työskentely kolmen ryhmässä on
myös tehokasta. Neljän opiskelijan ryhmä on jo monessa tilanteessa liian
suuri, eikä silloin kaikille jää välttämättä selkeää tehtävää.

Mikäli penkki mahdollistaa vain yhden tai kahden opiskelijan yhtäaikaista op-
pimisen, ratkaisu saa yhden pisteen. Harjoituspenkkiratkaisu, jossa on tilaa
maksimissaan kolmen tai neljän opiskelijan harjoitteluun saa kaksi pistettä. Mi-
käli harjoituspenkki mahdollistaa kahden ryhmän yhtäaikaista työskentelyä eri
ongelmien parissa, harjoituspenkkiä voi käyttää tehokkaasti viidestä kuuteen
opiskelijaa. Tällainen ratkaisu ansaitsee kolme pistettä. Enemmän kuin kuu-
den opiskelijan harjoituspenkkiratkaisu vaatii useampaa kuin kahta työasemaa
ja saa neljä pistettä.

Ajankäyttöön laboratorioharjoituksissa vaikuttaa myös harjoituksen aikana tehtävien järjestelyjen sujuvuus. Letkuliitosten on tapahduttava nopeasti, yksinkertaisesti ja siististi, ettei laboratorioharjoituksiin varattua aikaa kulu ylimääräisiin työvaiheisiin, ja jotta kytkentäkaavioitten lukemiseen ja ymmärtämiseen jää enemmän aikaa (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 306). Kytkennät on helppo ja nopea toteuttaa komponenteilla, jotka on varustettu pikaliittimillä toteavat Keinänen ja Kärkkäinen (2005, 306.)

Myös sähkökytkentöjen tulee olla helppoja ja turvallisia. Sähkölaitteille tulee olla oma paikkansa, jossa niiden tulee olla helposti käsiteltävissä. Hydrauliiikkakomponenttien liittäminen tulee onnistua taustalevyyn helposti ilman työkaluja ja komponentin on pysyttävä vankasti paikallaan harjoitusten ajan. Erilaisia liitosratkaisuja on kuitenkin vaikea vertailla keskenään katalogin perusteella. Mikäli letkuissa on käytetty pikaliittimiä, komponenttien liittäminen taustalevyyn tapahtuu ilman työkaluja ja sähkölaitteille on oma paikkansa, ratkaisu saa pisteen. Taulukossa 5 on lueteltu ajankäytön kategorian pisteytyskriteerit.

Taulukko 5: Ajankäytön tehokkuus, pistekriteerit

Kriteeri	Pisteet
Nopeat komponenttien kiinnitykset, letkuliitosten pikaliittimet ja helpot sähkölaitteiden kytkennät	1
1-2 opiskelijaa	1
3-4 opiskelijaa	2
5-6 opiskelijaa	3
7+ opiskelijaa	4
Kokonaispisteet maksimissaan	5

6.2.2 Laivan keskeisten hydrauliikkajärjestelmien mallintaminen

Laivan keskeisimpien hydrauliikkajärjestelmien mallintamisen kategoriassa pisteytykseen vaikuttavat hydrauliikkaharjoituspenkkien varustelu, ennen kaikkea keskeisten komponenttien määrä. Yhteen pisteeseen yltävällä harjoituspenkillä voidaan mallintaa vain yksinkertaisia hydrauliikkajärjestelmiä, kun taas viiden pisteen penkissä on riittävästi komponentteja, että sillä voidaan mallintaa tarkasti monimutkaisempiakin laivan hydrauliikkajärjestelmiä.

Tärkeimmät laivan hydraulikkajärjestelmien komponentit on tunnistettu Laivan keskeiset hydraulikkajärjestelmät -osiossa. Mikäli harjoituspenkkiratkaisu sisältää kaikki tarvittavat komponentit se saa viisi pistettä. Tämän kategorian arvostelussa pisteitä vähennetään puuttuvien komponenttien mukaan. Mikäli jokin keskeinen komponentti puuttuu, eikä ole helposti korvattavissa, ratkaisu menettää pisteitä. Tässä kategoriassa ei oteta huomioon komponentin ohjaustapaa. Taulukossa 6 luetellaan keskeiset komponentit ja puutteiden vaikutus pisteytykseen.

Taulukko 6: Hydraulikkajärjestelmien mallintaminen, pistekriteerit

Maksimipisteet	5
Puuttuva Komponentti	Puutteista vähennettävät pisteet
Säätötilavuuspumppu	-1
Differentiaalisylinteri	-2
Hydraulimoottori	-2
Suuntaventtiili (4/3)	-2
Paineakku	-1
Paineenrajoitusventtiili	-1
Paineenalennusventtiili	-1
Vastaventtiili	-1
Virtaventtiili (Virransäätö)	-1

6.2.3 Ohjaus ja säätö

Ohjaus ja säätö -kategoriassa pisteytys perustuu penkissä rakennettavan järjestelmän ohjausmahdollisuuksiin. Koska sähköhydrauliset järjestelmät ovat yleisiä laivoilla ja teollisuudessa, venttiileitä tulee voida ohjata sähköisesti. ON/OFF -tyyppinen ohjaus ja proportionaaliventtiiliohjaus tulee kumpikin olla mahdollisia harjoituspenkissä. Lisäksi järjestelmään täytyy pystyä liittämään riittävästi painemittareita, havainnollistamaan eri komponenttien ja ohjausten vaikutusta paineeseen järjestelmän eri osissa.

Harjoituspenkille asetettuja vaatimuksia täytyy tarkastella myös kurssille varatun ajan ja opetustavoitteiden puolesta. Hydraulikka ja pneumatiikka on ainoa merenkulun insinöörien opetussuunnitelmaan kuuluva hydraulikan kurssi.

Kurssin tarkoitus on keskittyä hydrauliiikan ja pneumatiikan peruskomponenttien hallitsemiseen. Vaikka harjoituspenkkivalmistajat tarjoavatkin myös säätöjärjestelmien rakentamiseen tarkoitettuja paketteja, ei ole kurssin tavoitteiden mukaista käyttää rajattua aikaa monimutkaisten servojärjestelmien laatimiseen. Siksi tässä tutkimuksessa ei ole perusteltua vaatia harjoituspenkiltä mahdollisuutta servojärjestelmien mallintamiseen.

Merenkulun insinöörien toimintaympäristössä useimmat hydrauliiikkajärjestelmät on sähköisesti ohjattu, mutta myös käsin ohjattuja järjestelmiä löytyy. Tutkimuksen tilaajalle proportionaalitekniikan perusteiden opetusmahdollisuus oli tarpeellinen. Proportionaalitekniikan käyttökohde laivaympäristössä voi olla esimerkiksi sylinterien liikenopeuksien hallinta ramppien laskussa. Lisäksi harjoituspenkistä tulee löytyä paineen ja tilavuusvirran hallinnan peruskomponentit, kuten paineenrajoitusventtiili, paineenalennusventtiili ja kuristukset. Taulukossa 7 on lueteltu ohjaus ja säätö -kategorian pisteytyskriteerit. Täyttyneistä kriteereistä saa kustakin yhden pisteen. Kategorian maksimipistemäärä on viisi.

Taulukko 7: Ohjaus ja säätö, pisteytyskriteerit

Kriteeri	Pisteet
Suuntaventtiilin käsiohjaus	1
Sähköinen magneettiventtiiliohjaus	1
Sähköinen painekytkin	1
Proportionaaliventtiili ohjaus	1
Rajakytkin / Läheisyyskytkin	1

6.3 Aineisto ja analyysi

Hydrauliikkaharjoituspenkkien arviointi ja pisteytys tehtiin valmistajien katalogeista löytyvän tiedon perusteella. Katalogit ovat vapaasti saatavilla harjoituspenkkien valmistajien nettisivuilla, ja niistä ilmenee tarvittavat tiedot arviointien tekemiseen.

Ensimmäisessä vaiheessa etsittiin mahdollisia hydrauliikkaharjoituspenkkivalmistajia ja niiden verkkosivuja Google-haulla. Hakusanoina käytettiin hydraulic

didactic set ja hydraulic training set, sekä hydraulikka-harjoitussetti. Harjoituspenkkivalmistajille suoritettiin haun jälkeen karsintaa. Karsintakriteerejä olivat: Valmistajan tuotteet oli oltava saatavilla Suomessa, eikä hankinnalle saanut myöhemmin olla estettä. Valmistajalla tuli olla edustaja Suomessa, jotta varmistuttiin, että tuotteelle on saatavissa myöhemmin asiakastukea ja varaosia, mikäli käytön aikana ilmenee ongelmia. Tarvittaessa valmistajiin otettiin yhteyttä sähköpostitse, jotta tuotteiden saatavuudesta Suomeen voitiin varmistua. Lisäksi valmistaja tuli olla vakiintunut ja tunnustettu ja sillä tuli olla valmiina tarjottavaksi toimivaksi todettuja harjoituspenkkiratkaisuja, jotka on esitelty katalogissa riittävän tarkasti.

Alustavan rajaamisen jälkeen päädyttiin tarkastelemaan kolmen kansainvälisesti toimivan ja Suomessa edustetun yhtiön tuotteita. Bosh Rexroth, SMC ja Festo Didactic tarjoavat opetuskäyttöön joukon vartenotettavia harjoituspenkkiratkaisuja lisävarusteineen. Valmistajien tuotteet on esitelty nettisivuilta löytyvissä katalogeissa riittävän yksityiskohtaisesti arviointeja ja pisteytystä varten.

Seuraavassa vaiheessa katalogeihin perehdyttiin syvemmin. Harjoituspenkkiratkaisut on esitelty eri valmistajien katalogeissa eri tyyleillä, mutta kaikista oli löydettävissä tutkimukseen vaikuttavat tiedot. Tärkeimmät katalogeista eroteltavat tiedot olivat ratkaisujen sisältämien komponenttien luettelot ja harjoitusaiheet.

Kunkin valmistajan tuotteista pyrittiin koostamaan parhaiten tilaajan tarpeeseen sopivat ratkaisut. Katalogeissa harjoituspenkkiratkaisut on esitetty modulaarisesti varustepaketteina. Moduuleista voidaan koota erilaisia kokonaisuuksia, asiakkaan toiveista ja opiskelijoitten tavoitellusta osaamistasosta riippuen. Moduuleitten komponenttiluetteloihin perehtymällä eri valmistajien katalogeista oli mahdollista koostaa tilaajan tarpeisiin sopivia ratkaisuja, jotka arvioitiin ja pisteytettiin. Kunkin valmistajan parhaiten sopiva ratkaisu on esitelty tässä tutkimuksessa.

7 TUTKIMUS

Vertailuun otettiin kunkin valmistajan tuotteista parhaat pisteet saanut ratkaisu. Modulaarisista paketeista pyrittiin koostamaan hyvin toimivia, tilaajan tarpeet täyttäviä, harjoituspenkkiratkaisuja. Koostetut ratkaisut pisteytettiin tutkimuksen arviointikriteerien mukaan ja laitettiin järjestykseen pistemäärän mukaan. Parhaan pistemäärän saaneista ratkaisuista karsittiin ne, joissa oli ylimääräisiä, pisteytykseen vaikuttamattomia tai käyttämättä jääviä, varusteita. Kunkin valmistajan tuotteista parhaiten soveltuva harjoituspenkkiratkaisu on esitelty tässä tutkimuksessa siten että yksittäisiä komponentteja ei ole listattu, mutta modulaariset osat on numeroitu, jotta oikeat tuotteet ja tuotepaketit löytyisivät helposti katalogista.

7.1 Bosh / Rexroth WS 290

Luvun kuvaukset hydraulikkaharjoituspenkistä ja sen varustelusta perustuvat Bosh Rexrothin Training systems for hydraulics 5/2017 -katalogin tuotekuvauksista saatuun tietoon. Bosh rexrothin valmistamista hydraulikkaharjoituspenkeistä valikoitui parhaiten sopivaksi WS290 -sarjan ratkaisu, jossa on kaksi työskentelypistettä vastakkain. Ratkaisu mahdollistaa kuuden opiskelijan työskentelyn kahdessa ryhmässä. Siinä on kaksi erillistä paineenrajoitusventtiilillä varustettua tehoyksikköä, jotka mahdollistavat kahden ryhmän yhtäaikaisten työskentelyn eri ongelman parissa. WS290 -harjoituspenkki tukee niin manuaalisen kuin sähköisenkin ON/OFF -hydrauliikan, proportionaali hydrauliikan, servoproportionaali hydrauliikan ja mobile hydrauliikan opetuspaketteja.

Bosh käyttää laadukkaita ja kestäviä teollisuushydrauliikan komponentteja harjoituspenkissään. Komponentit kiinnitetään työpisteessä olevaan verkkorakenteeseen helposti tarttuvalla ja lukittuvalla koukkusysteemillä. Kaikissa hydraulikkakomponenttien liitoksissa käytetään letkuja ja pikaliitimiä. WS290 -harjoituspenkkiratkaisu on esitelty kuvassa 13.



Kuva 13: WS290 Harjoituspenkki. Kuvakaappaus Boshin katalogista

Boshin katalogissa komponenttisetit on rakennettu opiskeluaiheiden ympärille. Parhaiten käyttötarkoitukseen sopiva harjoituspenkkiratkaisu sisältää manuaalisen ON/OFF -hydrauliikan opetussetin (katalogissa numerolla R961009458) Sähköisen ON/OFF -hydrauliikan opetussetin (katalogissa numerolla R961009459) ja proportionaalihydrauliikan perusopetussetin (katalogissa numerolla R961009460). Lisäksi tarvitaan sähkölaiteasetti ON/OFF -hydrauliikan harjoituspaketille (katalogissa numerolla R901386160) ja Proportionaalihydrauliikan opetuspaketille tarkoitettu sähkölaiteasetti (katalogissa numerolla R901386162) Pakettien sisältämät komponentit on listattu katalogissa.

WS290 harjoituspenkkiin on saatavilla myös säätöjärjestelmien opetteluun tarkoitettu harjoituspaketti (katalogissa numerolla R961009461). Modulaaristen lisäosien liittäminen on mahdollista myöhemminkin. Lisävarusteita, mittalaitteita ja ylimääräisiä komponentteja voi myös hankkia tilauksen osana tai jälkeinpäin täydentämään havaittuja tarpeita. Boshin parhaaseen ratkaisuun kuuluvat osat on eritelty taulukossa 8.

Taulukko 8: Verailuun otetun Bosh Rexroth WS290 harjoituspenkin varustelu.

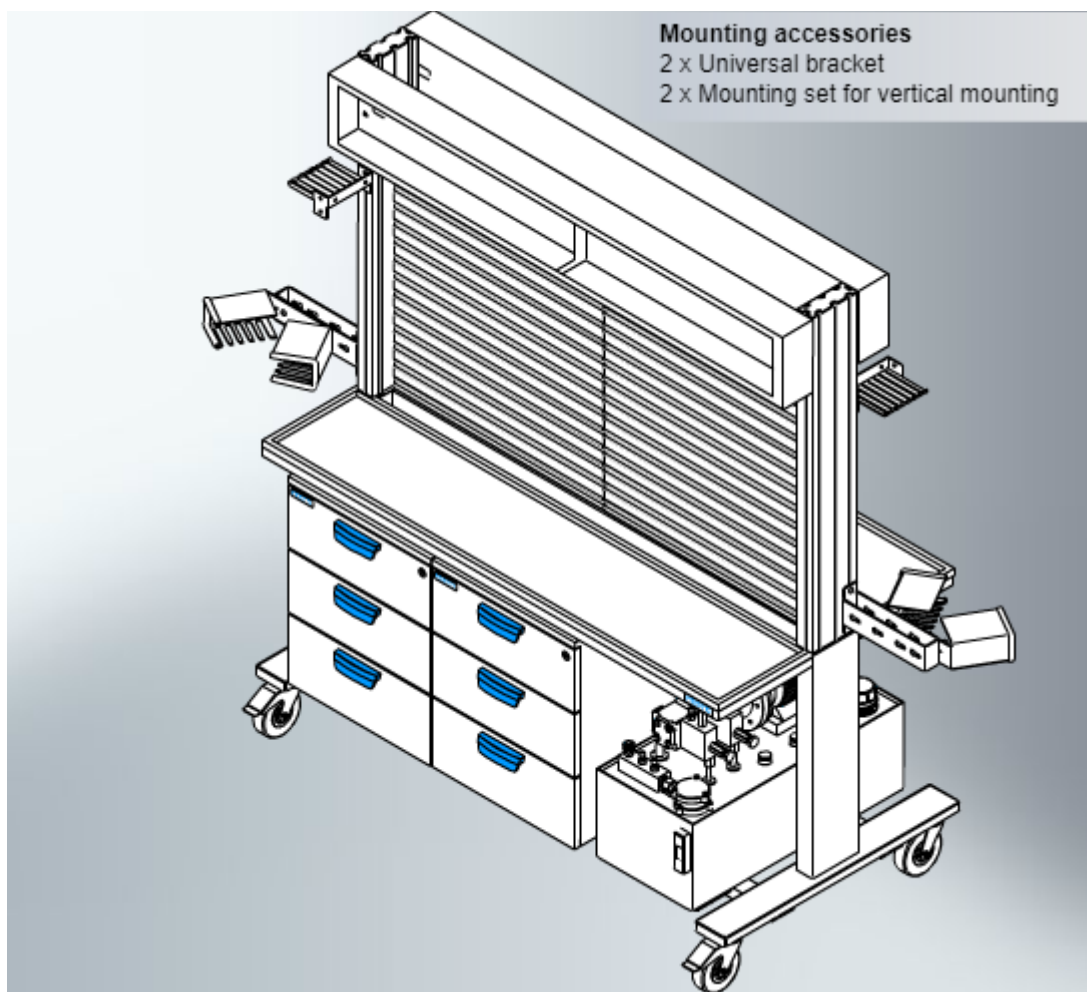
BOSH Rexroth WS290	
Katalogi nimike	Numero
WORKSTATION TS-WS290-1X/G2A1B2C1&	R961009457
EQUIPMENT SET TS-HS 506-2X Device set Electrics for workstation WS290 "Continuous control valve technology – Proportional hydraulics, complete"	R901386162
EQUIPMENT SET TS-HS 301-2X Device set for workstation WS290 "Continuous control valve technology – Proportional hydraulics, complete"	R961009460
EQUIPMENT SET TS-HS 504-1X Device set Electrics for workstation WS290 "On/off hydraulics – Electrical operation (BIBB, A-H), with I/O module"	R901386160
EQUIPMENT SET TS-HS 202-2X Device set for workstation WS200/WS290 "On/off hydraulics – Electrical operation (BIBB, A-H), complete"	R961009459
EQUIPMENT SET TS-HS 201-1X Device set for workstation WS200/WS290 "On/off hydraulics – Manual operation (BIBB, A-H), complete"	R961009458

WS290 harjoituspenkki saa ajankäytön kategoriassa 4 pistettä viidestä, sillä siinä pystyy harjoittelemaan yhtäaikaisesti 6 opiskelijaa. Kaikki liitokset ovat tehtävissä pikaliittimin ja komponenttien kiinnittäminen taustaverkkoon onnistuu helposti ilman työkaluja, myös sähkölaitteilla on oma selkeä paikkansa. Laivan hydraulikkajärjestelmien mallintamisen kategoriassa penkki saa viisi pistettä viidestä, sillä kaikki järjestelmien mallintamiseen tarvittavat komponentit löytyvät siitä. Myös ohjaus ja säätö kategoriassa harjoituspenkki saa täydet viisi pistettä, sillä se täyttää kategorian kaikki vaatimukset. Kokonaispistemäärä WS290 harjoituspenkille on 14/15.

7.2 Festo Didactic Learnline

Luvun kuvaukset hydraulikkaharjoituspenkistä ja sen varustelusta perustuvat Feston Fluid power Learning systems and services for basic and further training -katalogin tuotekuvauksista saatuihin tietoihin. Feston katalogista valikoitui

sopivimmaksi Festo Learnline sarjan ratkaisu kahdella työpisteellä. Learnline mahdollistaa kahden ryhmän ja siten maksimissaan kuuden opiskelijan yhtäaikaisen työskentelyn. Festo Learnline Configurator V 1.2 on Feston verkkosivuilta löytyvä suunnittelutyökalu, jonka avulla voidaan suunnitella ja koostaa Learnline-tuotteista sopiva harjoituspenkkiratkaisu. Työkalun avulla suunniteltiin kuvan 14 mukainen ratkaisu vastaamaan mahdollisimman hyvin tilaajan tarpeeseen.



Kuva 14: Festo Learnline configurator V1,2 -työkalulla suunniteltu ratkaisu

Suunnitellussa harjoituspenkissä on kaksi työpistettä eri puolilla paneelia ja kaksi pumppua. Kummallakin puolella on yläosassa elektroniikalle tarkoitettu kehys, joka mahdollistaa elektroniikkakomponenttien asentamisen. Työtason alla on kaapitot hydraulikomponenttien säilyttämistä varten. Johtimille ja letkuille on säilytystilaa penkin sivuilla olevissa telineissä. Koko harjoituspenkki on helposti siirrettävissä pyörien päällä. Hydrauliikkakomponenttien liittämiseen taustalevyyn käytetään Feston Quick Fix -systeemiä, joka mahdollistaa

komponenttien asetuksen ilman työkaluja. Kaikki letkuliitokset tehdään pikaliittimin.

Hydrauliikkakomponentit on Feston katalogissa jaettu modulaarisiin paketteihin opiskeluaiheiden mukaan. Parhaiten tilaajan tarpeeseen vastaava harjoituspenkin varustelu saatiin yhdistämällä taulukossa 9 luetellut paketit. Käsiohjatun ON/OFF- hydrauliikan peruspaketti TP 501 ja edistyneille opiskelijoille tarkoitettu TP 502 -laajennus. Sähköhydraulisten järjestelmien täydennysvarustesetti. Yhdistämällä täydennyssetti TP 501 -ja TP 202 -pakettien kanssa saadaan TP 601 -sähköhydraulisten järjestelmien peruspaketti. Lisäksi TP 701 -proportionaalihydrauliikan peruspaketti.

Taulukko 9: Vertailuun otetun Feston Learnline hydrauliikkaharjoituspenkin varustelu

Festo Learnline	
Paketin nimi katalogissa	Numero
Complete equipment set TP 502 in equipment tray (Hydraulics for advanced users)	573036
Complete equipment set TP 501 in equipment tray (Basic training in hydraulics)	573035
Complete supplementary equipment set TP 501 and TP 502 – TP 601 (Supplementary equipment set from Hydraulics, Basic level TP 501 and Advanced level TP 502 to Electrohydraulics, Basic level TP 601)	573040
Complete equipment set TP 701 (Basic proportional hydraulics training)	184465

Festo Learnline harjoituspenkki edellä mainituilla varustepaketeilla saa neljä pistettä viidestä ajankäytön kategoriassa. Se mahdollistaa kuuden opiskelijan työskentelyn, letkuliitoksissa käytetään pikaliittimiä ja hydrauliikkakomponentit liitetään taustalevyyn Feston Quick Fix -systeemillä.

Laivan hydrauliikkajärjestelmien mallintamisen kategoriassa tarkasteltiin harjoituspenkin varustelua. Kun valittujen opetuspakettien varustelistaaja verrattiin

kategorian pisteytyskriteereihin, komponenteissa ei ollut puutteita ja harjoituspenkkiratkaisu saa neljä pistettä viidestä laivan hydraulikkajärjestelmien mallintamisen kategoriassa.

Feston Learnline harjoituspenkki valituilla varusteilla mahdollistaa käsiohjauksen paineen ja tilavuusvirran säädön sekä sähköisen venttiiliohjauksen. Lisäksi proportionaalitekniikan paketti mahdollistaa proportionaaliohjausjärjestelmien rakentamisen ja kokeilun, esimerkiksi sylinterin hidastamisen anturin avulla. Harjoituspenkkiratkaisu saa täydet viisi pistettä ohjaus ja säätö kategoriassa.

7.3 SMC

Luvun kuvaukset hydraulikkaharjoituspenkistä ja sen varustelusta perustuvat SMC:n HYDROTRAINER-200 Hydraulics - Electro-hydraulics -katalogin tuotekuvauksista saatuihin tietoihin. SMC:n tuotteista ennakolta parhaaksi arvioitiin Hydrotrainer 200 -sarjan hydraulikkaharjoituspenkki. Hydrotrainer 200 kaksipuoleinen harjoituspenkkiratkaisu mahdollistaa kahden ryhmän ja siten kuu- den opiskelijan yhtäaikaista harjoittelua. Kuvassa 15 on Hydrotrainer 200 -harjoituspenkkiratkaisu.



Kuva 15: SMC:n Hydrotrainer 200 -harjoituspenkki. Kuvakaappaus SMC:n katalogista.

Penkin kaksipuoleinen taustalevy on asetettu pystyyn erottamaan työasemat toisistaan. Hydraulikkakomponentit kiinnitetään taustalevyyn pikalukituksin. Vertailuun otetuista Feston ja Boshin hydraulikkaharjoituspenkeistä poiketen Hydrotrainer 200 -sarjan ratkaisussa ei ole erillistä sähkölaitteille tarkoitettua paneelia, vaan myös sähkökomponentit kytketään taustalevyyn samantyyppisillä lukituksilla kuin hydraulikkakomponentit. Sähkökomponentit kytketään erillisellä johdolla virtalähteeseen. Ratkaisu vaikuttaa penkillä tehtävien sähköhydraulisten järjestelmien ja proportionaalitekniikan harjoitusten sujuvuuteen ja ajankäytön tehokkuuteen.

Hydrotrainer 200 harjoituspenkki tukee kaikkien SMC:n harjoitussettien käyttöä. SMC tarjoaa opetuskäyttöön viittä erilaista komponenttisetiä. Setit on koottu erilaisten harjoitusteemojen ympärille. Setit sisältävät eri komponentteja, jotka mahdollistavat eri hydraulikan osa-alueisiin liittyviä harjoitustöitä. Ensimmäinen ja toinen harjoitussetti HYD-201 ja HYD-202 on tarkoitettu hydraulikan perusteiden harjoitteluun. HYD-203 -setti on sähköhydraulisten järjestelmien harjoitussetti. HYD-204 on proportionaalitekniikan perusteiden har-

joitussetti ja HYD-205 proportionaalitekniikan harjoitussetti edistyneille opiskelijoille. Kukin setti rakentuu edellisten varaan, käyttäen osittain samoja komponentteja.

SMC:n tarjoamista harjoitusseteistä pyrittiin koostamaan tilaajan tarpeet täyttävä kokonaisuus, joka sisältäisi kaikki vaadittavat komponentit ja jolla olisi mahdollista kokeilla tarvittavia ohjaustapoja, kuten sähköistä ON/OFF ohjausta ja proportionaaliohjausta. Kokonaisuuteen kuuluivat setit HYD-201, HYD-202, HYD-203 ja HYD-204. Edistyneille opiskelijoille tarkoitettu proportionaalitekniikan harjoitussetti, HYD-205 jätettiin pois. SMC:n katalogin mukaan erillisiä komponentteja ja paketteja voi tilata myös myöhemmin, mikäli niille tulee tarvetta. SMC:n tuotteista koostettu harjoituspenkkiratkaisu on eriteltynä taulukossa 10 katalogissa annetuin nimin ja numerotunnuksin.

Taulukko 10: Vertailuun otetun SMC Hydrotrainer 200 harjoituspenkin varustelu

SMC Hydrortainer 200	
Nimi katalogissa	Numero
HYD-201: Hydraulics level I kit	SAI9506
HYD-202: Hydraulics level II kit	SAI9507
HYD-203: Electro-hydraulics kit	SAI9508
HYD-206: Proportional hydraulics: level I kit	SAI9511
Hydraulic rolling table with double face panel	SAI9280
Hydraulic pump for two workstations	SAI9261
Set of drawers with lock	SAI9260
Hose support accessory (x2)	SAI9274

Koostettu Hydrotrainer 200 -harjoitussetti saa ajankäytön kategoriassa kolme pistettä viidestä. Harjoituspenkkiratkaisu mahdollistaa maksimissaan kuuden opiskelijan yhtäaikaista työskentelyä. Letkuliitoksissa käytetään pikaliittimiä ja komponenttien kiinnitykset ovat helppokäyttöisiä. Sähkölaitteilta puuttuu oma kiinteä paikkansa, joka lisää liikkuvien osien määrää ja hankaloittaa työskentelyä. Tämä laskee Hydrotrainer 200-harjoituspenkin saamia pisteitä.

Laivan hydraulikkajärjestelmien mallintaminen -kategoriassa Hydrotrainer 200 -harjoituspenkin valittua varustelua verrataan kategorian pistekriteereihin. Katalogista nähdään listattuna mitä hydraulikkakomponentteja kuuluu mihinkin varustepakettiin. Ainoa suuri puute penkin varustelussa on sen pumppu. Valittavissa on vain vakioilavuuksinen hammaspyöräpumppu, joka ei täytä arviointikriteeriä, jonka mukaan penkki tulee olla varustettu säätötilavuuspumpulla. Kategoriassa Hydrotrainer 200 saa neljä pistettä viidestä.

Ohjaus ja säätö kategoriassa Hydrotrainer 200 saa täydet viisi pistettä. Harjoituspenkkiratkaisuun valituilla varusteilla voidaan toteuttaa halutut ohjausjärjestelmät käsiohjauksesta yksinkertaiseen proportionaaliohjaukseen. SMC Hydrotrainer -harjoituspenkkiin on helppo hankkia myöhemmin proportionaaliohjauksen toinen paketti HYD-205, mikäli proportionaalitekniikan harjoituksissa halutaan edetä syvemmälle. Kokonaisuudessaan SMC:n Hydrotrainer 200 -harjoituspenkkiratkaisu saa kaksitoista pistettä viidestätoista.

8 TUTKIMUSTULOKSET

Tutkimukseen valitut harjoituspenkkiratkaisut oli koostettu siten, että ne täyttäisivät mahdollisimman hyvin kriteerit. Tässä tutkimuksessa eseltiin ja pisteytettiin kunkin vartenotettavan valmistajan parhaaksi arvioidut ratkaisut. SMC:n Hydrotrainer 200 sai 12 pistettä, Feston Learnline sai 14 pistettä ja Boshin WS290 -ratkaisu 14 pistettä, mutta kokonaan tutkimuksen pisteytyskriteerit täyttävää harjoituspenkkiä, joka olisi saanut täydet 15 pistettä, ei löytynyt.

8.1 Vertailussa menestyneet tuotteet ja suositukset

Parhaat pisteet tässä vertailussa saivat Feston ja Boshin hydraulikkaharjoituspenkit. Festo ja Bosh ovat kumpikin vakiintuneita valmistajia, joiden katalogeista on mahdollista koostaa hyvin muokattavia harjoituspenkkejä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tuottaa tietoa eri harjoituspenkkiratkaisujen soveltuvuudesta merenkulun insinöörien koulutukseen. Kummankin valmistajan tuotteista pystyttiin koostamaan tutkimuksen tilaajan tarpeeseen erittäin hyvin sopiva ratkaisu.

Tässä tutkimuksessa vertailtujen ominaisuuksien perusteella ei yksistään voida suoraan sanoa kumman valmistajan tuote Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tulisi hankkia merenkulun insinöörien koulutusta varten. Tutkimuskysymykseen vastaaminen vaatii näiden kahden valmistajan tuotteiden osalta tarkempaa ja syvällisempää tutustumista. Hankintapäätöstä tekevien olisi hyödyllistä esimerkiksi vertailla vastaavanlaisten käytössä olevien harjoituspenkkiratkaisujen käyttäjien kokemuksia ja pyrkiä kokeilemaan sekä Feston että Boshin ratkaisuja käytännössä.

8.2 Tutkimustulosten analysointi ja pohdinta

Tutkimusmenetelmä luotiin siten että tutkimuskysymykseen olisi mahdollista vastata saatavilla olevan materiaalin pohjalta. Tutkimuksessa haluttiin käyttää valmistajien vapaasti tarjoamaa materiaalia, joka on verkossa helposti kaikkien saatavilla. Tutkimusmenetelmää ja arvioinnin tarkkuutta rajoittivat katalogeista löytyvän tiedon epätarkkuus ja aukot sekä eri valmistajien katalogien poikkeavuus toisistaan. Lisäksi tutkimukseen vaikutti arviointikriteerien asettaminen. Arviointikriteerit mahdollistivat harjoituspenkin tarkastelun useammalta näkökulmalta, mutta kriteerien väljyys ja pisteytys jättivät jonkin verran tulkinvaraa eivätkä mahdollistaneet kaikkien ominaisuuksien tarkkaa ja kriittistä arviointia.

Tutkimuksen tarkoitus oli tuottaa tietoa tarkoitukseen soveltuvista harjoituspenkeistä, alustavan selvityksen muodossa. Tutkimuksesta jäi pois paljon hankintapäätökseen vaikuttavia seikkoja kuten hinta-arviot. Tarjouspyyntöjen tekeminen ja tuotteiden lähempi tarkastelu jää joka tapauksessa lopullisen hankintapäätöksen tekijälle, jolla on tieto hankinnalle suunnitellusta budjetista. Tutkimuksella onnistuttiin tuottamaan tietoa harjoituspenkiltä halutuista ominaisuuksista ja tarjonnasta. Feston ja Boshin katalogeista kootut harjoituspenkkiratkaisut, jotka ylivät 14 pisteeseen antavat suuntaa hyvin tarkoitukseen soveltuvan harjoituspenkkiratkaisun kokoonpanosta ja varustelusta myöhemmin tapahtuvaa lähempää tarkastelua ja hankintapäätöstä varten.

Opinnäytetyöprojektin alkuvaiheessa pohdittiin hydraulikkaharjoituspenkin käyttämistä vetokoelaitteistona. Tarkastellut harjoituspenkkiratkaisut koostuvat teollisuuteen tarkoitetuista hydraulikkakomponenteista ja pumpuilla voidaan

saavuttaa ratkaisusta riippuen 60bar paine. Harjoituspenkkien taustalevyt tai verkot, johon hydrauliiikkakomponentit on tarkoitus liittää eivät kuitenkaan ole tarkoitettu kestämiin voimia, jotka esimerkiksi kaksi vetokoesauvaa venyttävää sylinteriä aikaansaisivat kiinnityksiinsä.

Mikäli saatavilla olisi komponenteille sopiva tarpeeksi kestävä alusta ja kiinnikkeet, jolla vetokokeessa käytettävä sauva tai lanka voitaisiin kiinnittää sylintereihin, vetokokeitten tekeminen hydrauliikkaharjoitussetin komponenteilla voisi olla mahdollista. Paineen mittauksen avulla olisi mahdollista laskea sylintereitten kautta kappaleeseen vaikuttavat voimat. Hydrauliikkaharjoituspenkkien valmistajat myyvät lisäosina harjoituspenkeille mittauslaitteita ja tietokoneohjelmia kuten esimerkiksi Feston Fluid lab Equipment set TP 210 – Advanced level Measurement and control in pneumatics with FluidLab®-P. Lisäosan avulla olisi mahdollista seurata paineen käyttäytymistä vetokokeen aikana ja lukea ohjelman piirtämältä käyrältä esimerkiksi kappaleen myötöraja.

Vetokoemahdollisuuksien ottaminen tähän opinnäytetyöhön olisi paisuttanut teoriaosuutta huomattavasti ja vaikeuttanut hydrauliikkapenkille asetettujen vaatimusten ja kriteerien asettamista. Vaikka aihe on mielenkiintoinen, se jätettiin pois. Hydrauliikkaharjoituspenkin käyttäminen vetokokeissa voisi olla kiinnostava aihe tuleville opinnäytetöille.

LÄHTEET

Cargo Handling Book, Cargo handling solutions for container ships, general cargo vessels and bulk carriers. 2016. MacGregor. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.macgregor.com/globalassets/picturepark/imported-assets/67615.pdf> [Viitattu 16.5. 2019].

Fluid power Learning systems and services for basic and further training. PDF-tiedosto. 2019. Festo. Saatavissa: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/468166/56823_2019_04_en_PG_PH_small.pdf [Viitattu 15.5.2019].

Fonselius, J. 1999. Hydrauliiikka. 8.-9. Painos. Helsinki: Edita.

Häkkinen, P. 1993. Laivan koneistot. Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu.

Hydrauliiikka ja pneumatiikka MI15S. Kurssikuvaus. s.a. Xamk. Moodle-verkko sivu. Saatavissa: <https://moodle.xamk.fi/course/view.php?id=17533> [Viitattu 4.6.2019].

Hydrotrainer-200 Hydraulics - Electro-hydraulics. PDF-tiedosto. s.a. SMC. Saatavissa: <https://www.smctraining.com/en/webpage/indexpage/503> [Viitattu 15.5.2019].

Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 2008. Hydraulitekniiikka. 1. Painos. Helsinki: WSOY.

Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydrauliiikka ja pneumatiikka. 1. Painos. Helsinki: WSOY.

Taylor, D. 1996. Introduction to marine engineering. Revised second edition. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Technical information RoRO straight setern ramps. 2014. MacGregor. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.macgregor.com/globalassets/picturepark/imported-assets/37186.pdf> [Viitattu 16.5.2019].

Training systems for hydraulics 5/2017. Bosh Rexroth. 2017. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.boschrexroth.com/en/xc/training/training-systems/training-systems> [Viitattu 15.5.2019].