



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

SIMO VALTTERI SAVILAAKSO

Aluksen vakavuuden hallinta evä- vakaajilla

MERENKULKUALAN TUTKINTO-OHJELMA
2023

Tekijä(t) Simo Savilaakso	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 16.05.2023
	Sivumäärä 28	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Aluksen vakavuuden hallinta evävakaajilla		
Tutkinto-ohjelma Merenkulkualan insinööri		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää aluksen vakavuuden teoriaa ja perusperiaatteita, kuinka aluksen vakavuutta voidaan hallita aktiivisin tai passiivisin järjestelmin ja keinoin.</p> <p>Tämä opinnäytetyö kostuu neljästä eri osa-alueesta, joita ovat vakavuus, erilaiset vakaa-jajärjestelmät, evävakaajat sekä hydraulikka.</p> <p>Hydraulikka on erittäin keskeinen osa raskaan kaluston toimintaa. Myös evävakaajien toiminta perustuu hydraulikkaan, joten tästä syystä opinnäytetyössä nostettiin esille myös hydraulikan toimintaa ja periaatteita.</p> <p>Merikelpoisen rahtiliikenteeseen suunnitellun aluksen tarkoitus on tuottaa voittoa omis-tajalleen. Näin ollen aluksen suunnitteluvaiheessa ovat vastakkain taloudellisuus ja aluk-sen toimintavarmuus ja käytännöllisyys.</p> <p>Vakavuutta hallitsevilla järjestelmillä on valmistus- ja käyttökustannuksia lisäävä vai-kutus. Ne pienentävät aluksen lastinkantokapasiteettia sekä nostavat polttoaineen kulu-tusta ynnä muita huolto- ja käyttökustannuksia.</p> <p>Aluksen valmistus- ja käyttökustannusten kasvusta huolimatta etenkin evävakaajat ja aktiiviset antiheeling-järjestelmät ovat hyvin yleisiä. Merenkulku on nykypäivänä logis-tisena kokonaisuutena hektinen ja tarkkaan aikataulutettu verkosto, jolloin aluksen toi-mintavarmuus sekä lastivaurioiden välttäminen puhuvat näiden järjestelmien asentami-sen ja kehittämisen puolesta.</p>		
Avainsanat fin stabilizer, evävakaajat, hydraulikka, hydraulics, merenkulku, marine engineering		

Author(s) Simo Savilaakso	Type of Publication Bachelor's thesis	Date 16.05.2023
	Number of pages 28	Language of publication: Finnish
Title of publication Controlling ships' stability with fin stabilizers		
Degree programme Bachelor of Engineering, Maritime Technology		
Abstract The purpose of the thesis is to find out the theory and basic principles of the ship's stability, as well as how the ship's stability can be controlled with active or passive systems and means. This thesis is based on four different areas, which are stability, various stabilizer systems, fin stabilizers and hydraulics. Hydraulics are very important part of the operations on a heavy equipment. The operation of fin stabilizers is also based on hydraulics. For this reason, the operation and principles of hydraulics were taken under investigation in the thesis. The purpose of a seaworthy ship designed for cargo traffic is to generate profit for its owner. Therefore, when the ship is on the drawing table, economy is at odds with the ship's operational reliability and function ability. Stability management systems are increasing manufacturing and operating costs. They reduce the ship's cargo carrying capacity and increase fuel consumption and other maintenance and operating costs. Despite the ship's increased manufacturing and operating costs, fin stabilizers and active anti-heeling systems are commonly used. Nowadays, shipping as a logistical entity is a hectic and carefully scheduled network, therefore the ship's operational reliability and keeping the cargo in good condition speak in behave of the installation and development of these systems.		
Keywords fin stabilizer, evävakaajat, hydrauliiikka, hydraulics, merenkulku, marine engineering		

ALKUSANAT

Ajatus opinnäytetyön aiheesta tuli talvella 2020, jolloin allekirjoittanut oli töissä rah-tialus m/v Mistralilla, joka tuolloin liikennöi Pohjois-Atlantilla. Kyseisellä merialu-eella on etenkin talviaikaan todella voimakas merenkäynti. Tämän vuoksi opinnäyte-työn pääpaino on evävakaajissa. Evävakaajat on valittu tarkempaan tarkasteluun siksi, koska ne ovat yleisessä käytössä oleva ratkaisu, sekä aluskoon kasvaessa jatkuvasti merkittävämmässä roolissa.

Merenkulku, logistiikka ja tekniikka kehittyvät kaiken aikaa. Näin ollen myös ymmär-rys aluksen vakavuudesta sekä sen hallinnasta on kehittynyt ja ollut keskeinen osa me-renkulkua sen alkuajoista lähtien.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	7
2 ALUKSEN VAKAVUUS.....	8
2.1 Historia.....	8
2.2 Staattinen momentti	9
2.3 Aluksen ja sen vakavuuden suunnittelu	10
3 ERILAISET VAKAAJAJÄRJESTELMÄT JA RATKAISUT ALUKSILLA.....	12
3.1 Passiiviset järjestelmät	12
3.1.1 Palleköli ”bildge keel”	12
3.1.2 Passiivinen antirolling/antiheeling-järjestelmä.....	13
3.2 Aktiivinen antirolling/antiheeling-järjestelmä	14
4 EVÄVAKAAJAT	16
4.1 m/v Mistral	16
4.2 Vakauttamisen periaatteet	19
4.3 Aaltomomentti ja rullauskulma.....	20
4.4 Alus ja aaltoliike	21
5 HYDRAULIIKKA	22
5.1 Hydrauliiikka voimansiirrossa	22
5.2 Hydrauliiikkajärjestelmät	23
5.3 Avoimet järjestelmät	23
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	25
6.1 Vakavuus.....	25
6.2 Aktiiviset järjestelmät ja talous.....	25
6.3 Muita havaintoja.....	26
LÄHTEET.....	27

TERMISTÖ- JA LYHENNELUETTELO

Alus	Sekä puhe- että ammattikielessä käytetään termejä alus ja laiva. Nämä kaksi termiä tarkoittavat usein samaa asiaa. Alus on kuitenkin käsitteenä hieman laajempi, sen kattaessa myös pienemmät kaupalliseen sekä tutkimuskäyttöön valmistetut laivat, moottoroidut lautat, proomut, hinaajat, vesirakennusalustat yms. tekniset laitteet, jotka kykenevät liikkumaan omaa propulsiolaitetta käyttäen.
Bunrausproomu	Polttoaineen siirtoon ja kuljetukseen tarkoitettu säiliöalus, josta täydennetään toisen aluksen polttoainevarastoja pumpuilla siirtämällä.
Evävakaaja	Aluksen pitkittäisakselin suuntaista rullausta vaimentava laitteisto, joka sijaitsee aluksen pallekölissä vesirajan alapuolella.
IMO	Kansainvälinen merenkulkujärjestö (International Maritime Organization).
Laaksiida	Aluksen kallistuma pitkittäisakselilla.
Mafi	Pyörillä kulkeva teräksestä ja puusta rakennettu lautta-vaunu.
Propulsiolaite/propulsio	Aluksen liikkumiseen vaadittavan voiman tuotantoon ja välittämiseen rakennettu laitteisto. Perinteisesti dieselmoottori-alennusvaijde-potkuriakseli-potkuri-tyyppinen ratkaisu.
Ro-ro-alus	Pyörillä kulkevan lastin kuljetukseen suunniteltu meriliikenteessä käytettävä alustyyppi. Lyhenne sanoista roll on/roll off.
Rullaus	Aluksen edestakainen keinuva liike pitkittäisakselilla.
SOLAS-sopimus	Kansainvälinen yleissopimus ihmishengen turvallisuudesta merellä (International Convention for the Safety of Life at Sea).

1 JOHDANTO

Tämä tutkiva opinnäytetyö on osa merenkulun insinööritutkintoa ja sen tarkoituksena on selvittää tutkijalle sekä lukijalle erinäisiä seikkoja, jotka ovat johtaneet aluksen vakavuuden hallinnan tarpeellisuuteen, sekä perehtyä vakavuuden hallintaan kehitettyihin teknisiin ratkaisuihin, pääpainon ollessa niin kutsutuissa roll-on/roll-off (ro-ro) -tyyppisissä aluksissa sekä niiden antiheeling- ja evävakaajajärjestelmissä.

Tutkimuksessa vertaillaan evävakaajan kanssa erilaisia ratkaisuja, kuten palleköliä ja antiheeling-järjestelmiä. Näiden järjestelmien osittainen yhteensovittaminen on hyvin yleistä, esimerkiksi evävakaajat ja antiheeling-järjestelmä ovat yhdessä käytettynä yleinen ratkaisu. Palleköli ja evävakaajat puolestaan eivät toimi yhdessä, sillä palleköliä voidaan ajatella evävakaajat korvaavana ratkaisuna, sen ollessa huomattavasti tehottomampi, mutta halvempi vaihtoehto.

Tutkimuksessa on käytetty lähteenä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta, rahtialus m/v Mistralin evävakaajan huoltokirjaa sekä aluksen teknisiä tietoja, yhdessä tutkijan omien työkokemusten kautta saatujen tietojen kanssa.

Opinnäytetyön ja tutkimuksen alussa tarkastellaan yleisesti alusten vakavuutta. Vakavuuden tarkastelulla saadaan riittävä käsitys tutkimuksen tarpeellisuudesta ja sen sisällöstä, jotta ne olisivat mahdollisimman selkeät niin tutkijalle kuin lukijalle.

Seuraavana aiheena käydään läpi ja vertaillaan erilaisia teknisiä ratkaisuja vakavuuden hallintaan, sekä otetaan erityiseen tarkkailuun evävakaajajärjestelmä, sen ollessa ratkaisuna yleisin.

Tutkimustyön avuksi on otettu m/v Mistralin evävakaajalaitteisto.

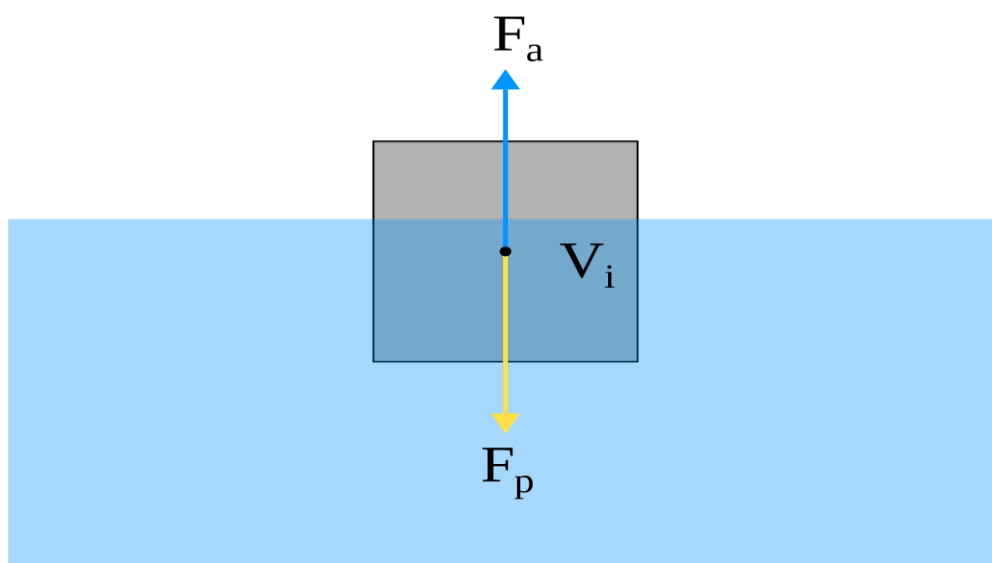
2 ALUKSEN VAKAVUUS

2.1 Historia

Vakavuutta koskevat kriteerit perustuvat staattisen momentin maksimiarvoon ja vakavuuden laajuuteen, jotka tutkija Jaakko Rahola selvitti väitöskirjassaan vuonna 1939. Laivan vakavuutta koskeva teoria pohjautuu kuitenkin hyvin paljon aikaisemmin tehtyihin tutkimuksiin; jo noin 2000 vuotta sitten Arkhimedes teki tutkimusta hydrostaatiikan parissa. Arkhimedeen tutkimukset löydettiin uudestaan vasta 1500-luvulla. (Matusiak, 1995, s. 6.)

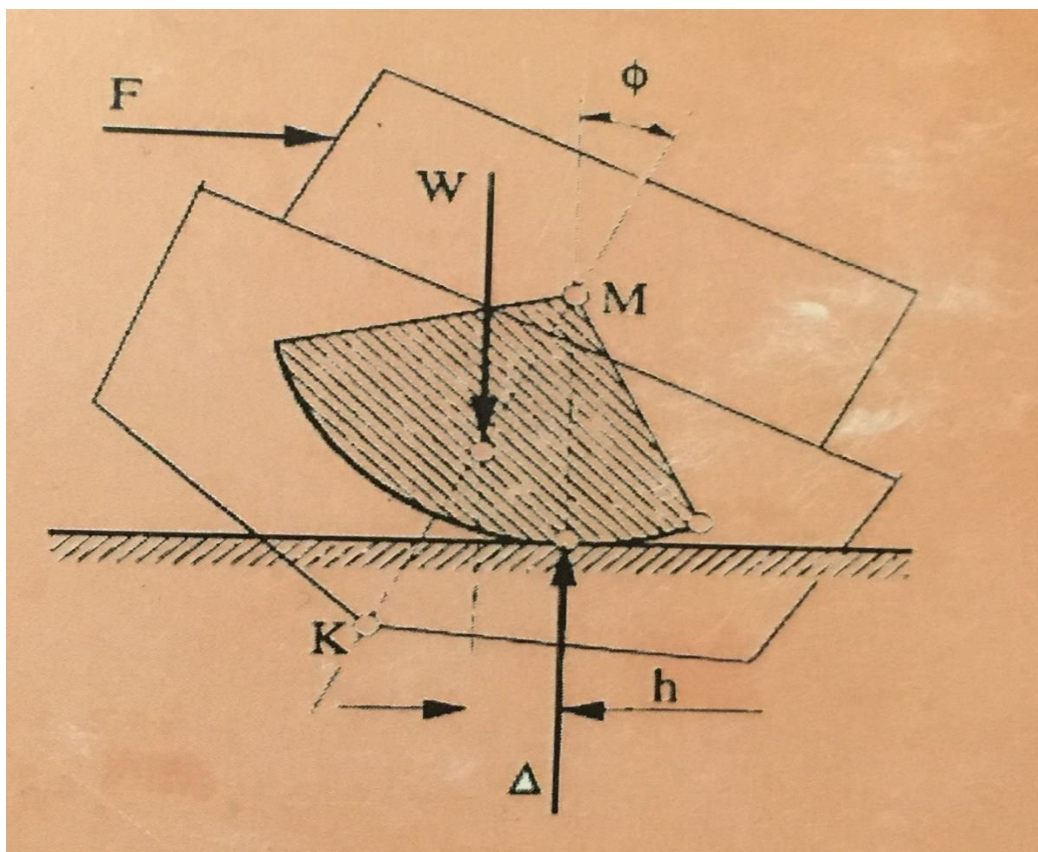
Vedessä olevan kiinteän kappaleen painopiste ja uppouman nostovoiman vaikutuspiste ovat samalla pystysuoralla, y-akselilla. 1700-luvulla havaittiin kuitenkin, että kelluvan laivan painopiste voi sijaita myös uppouman nostovoiman vaikutuspisteen yläpuolella, ja alus voi siitä huolimatta säilyttää vakavuuden. Tämän havainnon aluksen vakavuudesta teki ranskalainen vuonna 1698 syntynyt tutkija ja matemaatikko Pierre Bouger. (Matusiak, 1995, s. 7; O'Connor & Robertson, 2000.)

Kuvassa 1 havainnoidaan kiinteän kappaleen kelluvuutta ja siihen vaikuttavia voimia Arkhimedeen lain avulla. Kuvassa F_a on nostovoima, joka lasketaan veden tiheyden ja kappaleen tilavuuden avulla, F_p maan vetovoima, joka lasketaan kappaleen painon ja maan vetovoiman perusteella ja V_i kappaleen tilavuus.



Kuva 1. Arkhimedeen laki (Wikipedia, 2020)

Kuvassa 2 ohuella piirretyt rajat kuvaavat aluksen runkoa päästä katsottuna. Tummalla piirretty poikkiviivoin täytetty alue puolestaan kuvaa niin sanottua pitkittäisakselia, jolla alus rullaa. Kuva havainnollistaa, mitä rullauksella ja pitkittäisakselilla tarkoitetaan.



Kuva 2. Aluksen rullaus (Matusiak, 1995)

2.2 Staattinen momentti

Merikelpoisen aluksen vakavuuden ydintekijää kutsutaan staattiseksi momentiksi. Voimien ja momenttien summan ollessa nolla, on alus staattisena kappaleena tasapainossa. ”Vakavuuteen liittyy käsite *vakavuusonnettomuus*. Se on laivan menettämiseen johtava tapahtuma tai sellainen laivan tasapainotila, jossa aluksen tarkoituksen mukainen käyttö ei ole enää mahdollista.”. (Matusiak, 1995, s. 6.)

Suurilla aluksilla staattisten ja kallistavien momenttien suhde on suurempi kuin pienillä aluksilla. Pienten alusten suunnitteluun panostetaan yleisesti myös vähemmän. Tämä johtaa siihen, että pienemmillä aluksilla vakavuusonnettomuuksia tapahtuu

useammin kuin suurilla. Tämä huomioiden, eväkaajan tyyppiset ratkaisut ovat merkittävässä roolissa. (Matusiak, 1995, s. 6.)

Aluksen kyky tuottaa voittoa on sidoksissa sen kykyyn rahdata lastia. Tonnistoltaan pieni alus tuottaa siis vähemmän voittoa kuin suuri alus, joten valmistukseen ja suunnitteluun käytettävät varat ovat pienillä aluksilla vähäisemmät. On siis hyvin harvinaista, että esimerkiksi bungrausproomussa tai yhdyslautassa olisi eväkaajajärjestelmää. Isoissa konttialuksissa, ro-ro-aluksissa ja risteilyaluksissa eväkaajat ovat puolestaan hyvin yleinen ratkaisu. (Matusiak, 1995, s. 6.)

2.3 Aluksen ja sen vakavuuden suunnittelu

Usean erilaisen alustyyppin, merialueen ja lastin vuoksi yleispätevien säädösten laatiminen jokaiselle alustyyppille sopivaksi on hankalaa. Jos tutkitaan pikaisesti esimerkiksi säiliöalusta ja erityisesti henkilöauton kuljetukseen valmistettua ro-ro-alusta, voidaan jo silmämääräisesti nähdä, että nämä alustyyppit ovat hyvin erilaisia. Siksi SOLAS:ssa (Kansainvälinen yleissopimus ihmishengen turvallisuudesta merellä) on useita eri lukuja määrittämään eri alustyyppien vakavuuteen liittyviä seikkoja. (IMO, 2019.)

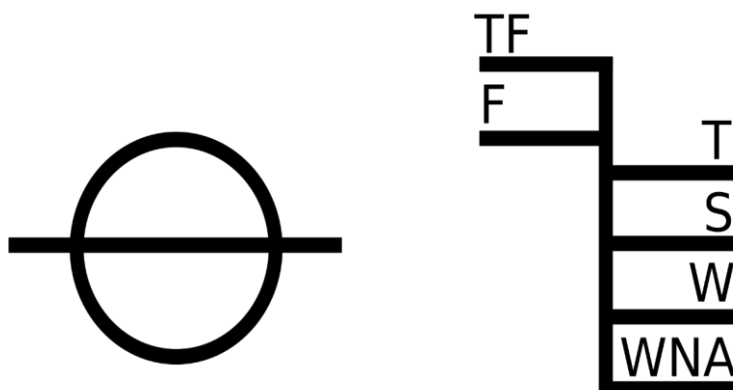
Kansainvälinen merenkulun organisaatio IMO (2019) määrittää aluksen merikelpoisuuteen suuresti vaikuttavan tekijän, vakavuuden, suhteen useita eri seikkoja, joita ovat vesitiiviiden tilojen osastointi, varalaidan korkeus sekä lastisyväys. Alusta suunniteltaessa ja rakentaessa tulee kiinnittää huomiota näihin seikkoihin. Aluksen suunnittelua ja rakennusta valvoo IMO:n alaisuudessa toimiva, aluksen suunnittelu- ja rakennuskomitea SDC (Sub-Committee on Ship Design and Construction). (IMO, 2019.)

Aluksen varalaidasta, lastiviivasta ja aluksen lastauksen syväyksen rajoituksista sovittiin vuoden 1966 lastiviivasopimuksessa. Sopimuksessa tunnustetaan myös, että aluksen lastausväyksen rajoitukset vaikuttavat merkittävästi sen turvallisuuteen. Lastausrajat on määritetty varalaitojen muodossa, ja ne muodostavat ulkoisen säätiiviiden ja vesitiiviiden. Nämä seikat vaikuttavat turvallisuuteen, koska alukseen pääsevä vesi muuttaa sen painopistettä, kokonaismassaa ja vakavuutta. (IMO, 2019.)

Kuvassa 3 esitetään piirustus lastimerkistä. Lastimerkkiä tulkitaan siten, että meriveden pinta on esimerkiksi Pohjois-Atlantilla talvisaikaan liikennöidessä viivalla WNA, joka tulee sanoista Winter North Atlantic eli Pohjois-Atlantti talvella. Samaa logiikkaa seuraavat loput kirjaimet ja niiden yhdistelmät, jotka kuvassa näkyvät.

Kirjainyhdistelmät tulevat sanoista: WNA (winter North Atlantic) eli Pohjois-Atlantti talvella, W (winter temperature seawater) eli suolainen vesi talvella, S (summer temperature seawater) eli suolainen vesi kesällä, T (tropical Seawater) eli trooppinen suolainen vesi, F (fresh water) eli makea vesi ja TF (tropical fresh water) eli trooppinen makea vesi. (Wikipedia, 2007.)

Lastimerkki sijoitetaan vesirajaan keskelle aluksen runkoa. Lastimerkin avulla alus voidaan lastata turvallisesti eri vuodenaikoina sekä erilaisilla merialueilla. Veden lämpötila ja suolaisuus vaikuttavat sen tiheyteen, joka puolestaan vaikuttaa vedessä olevan kappaleen kelluttavuuteen. (Soumyajit, 2021.)



Kuva 3. Plimsonviiva eli lastiviiva. (Wikipedia, 2007)

3 ERILAISET VAKAAJAJÄRJESTELMÄT JA RATKAISUT ALUKSILLA

3.1 Passiiviset järjestelmät

Passiiviset järjestelmät ovat sellaisia järjestelmiä, joiden toiminta ei tarvitse ulkopuolista voimanlähdettä. Niitä ovat esimerkiksi kiinteästi asennetut vakaajasiivekkeet, pallekölit, passiiviset antirolling-tankit ja passiiviset liikkuvan painon järjestelmät. (Tanumoy, 2019.)

3.1.1 Palleköli ”bildge keel”

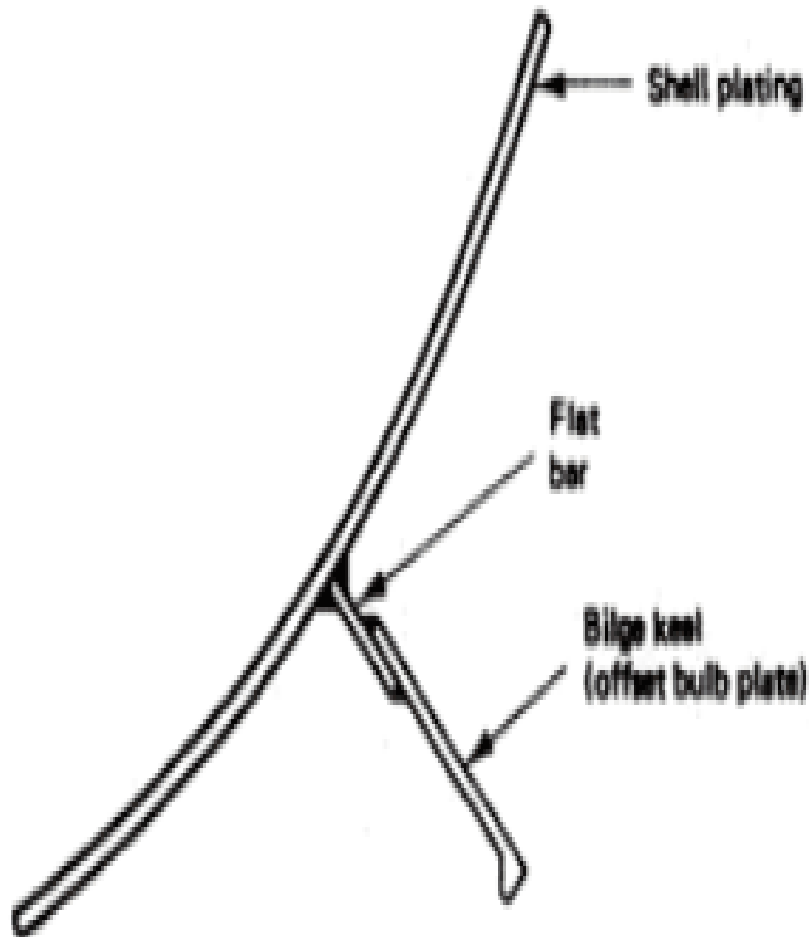
Pallekölit ovat aluksen rungon pohjaosaan asennettuja, pilssinkäännöksestä ulkonevia levyjä, jotka sijoittuvat aluksen mitalta toiselle kolmannekselle, keskimmäisen puoliskon yli. Yksinkertaisen rakenteensa vuoksi pallekölit ovat halpoja valmistaa sekä huoltovapaita. Kustannustehokkaana ratkaisuna ne ovat suosittuja valintoja monenlaisissa aluksissa. (Tanumoy, 2019.)

Evämäiset pallekölit tulee suunnitella siten, että ne eivät vahingoitu aluksen ollessa laiturissa tai saadessa avustusta hinaajalta. Tämän takia ne eivät voi ylittää aluksen muun rungon ulkolinjoja pituus- tai leveyssuunnassa. Palleköli ei myöskään voi uida itse köliä syvemmällä. (Tanumoy, 2019.)

Rungosta ulos työntyvä palleköli hidastaa aluksen kulkua ja lisää polttoaineen kuluusta, koska ne saavat vesimuodon liikkumaan aluksen mukana ja aiheuttavat turbulenssia. Liikkuva vesimassa yhdessä turbulenssin kanssa vaimentavaa liikettä ja aiheuttavaa jakson lisääntymisen ja amplitudin pienenemisen. (Tanumoy, 2019.)

Kuva 4 havainnollistaa, kuinka vaurioiden välttämiseksi esimerkiksi laituriin kiinnityessä pallekölin koko jää pieneksi. Siitä huolimatta niihin kohdistuvat suuret voimat tuottavat suuria momenteja vastustamaan aluksen liikettä vierintäakselin ympäri. Toisin sanoen ne vastustavat aluksen rullaamista pienestä koostaan huolimatta

suhteellisen tehokkaasti. Aluksen liike eteenpäin tehostaa pallekölien toimintaa. (Tanumoy, 2019.)



Kuva 4. Pallekölin poikkileikkaus edestä, josta nähdään kuinka evämäinen palleköli ei ylitä aluksen rungon muita osia (Tanumoy, 2019)

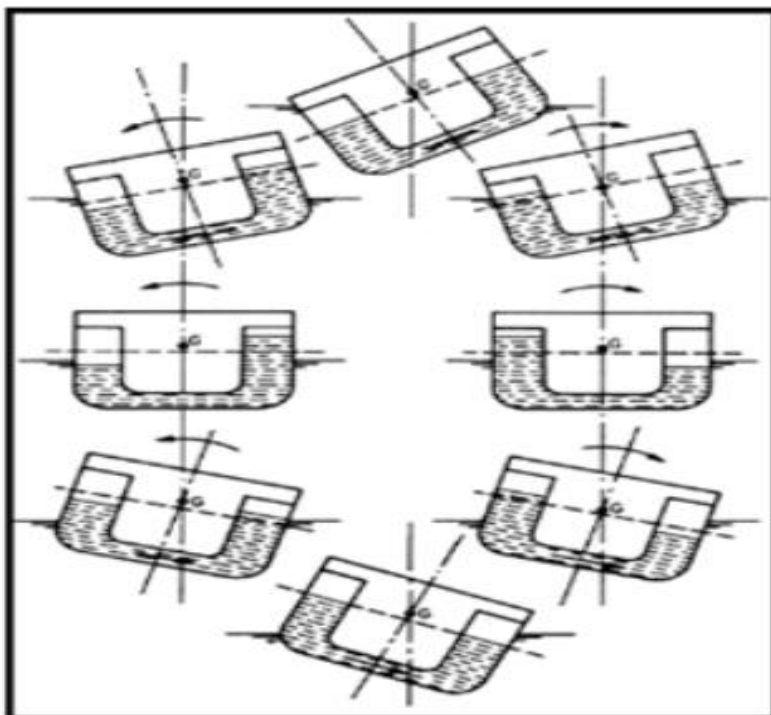
3.1.2 Passiivinen antirolling/antiheeling-järjestelmä

Lienee sanomattakin selvää, että aluksen runkoon rakennetussa U-mallisessa tankissa vapaasti liikkuvan nesteen pinta pyrkii pysymään horisontaalisena. Tankin U-mallinen muoto aiheuttaa nesteen liikkumisen aluksen rullatessa aallokossa. Suurella voimalla liikkuva vesimassa vastustaa aluksen liikettä puolelta toiselle tehokkaasti. (Tanumoy, 2019.)

Vesimassan liikettä hallitaan siten, että U-mallisen tankin sisälle on hitsaamalla asennettu teräslevyjä, jotka hidastavat veden liikettä. Tällöin veden pinta liikkuu tankissa eri tahtiin aluksen rullauksen kanssa ja on viiveen ansiosta korkeampi sillä puolen alusta, joka on y-akselin suuntaan ylempänä. (Tanumoy, 2019.)

Rullausta vastaan liikkuva suuri vesimäärä vaimentaa aluksen liikkeitä pehmeämmiksi sekä vähäisemmiksi. Liikkeen rajoittaminen tällä tekniikalla pienentää aluksessa tapahtuvaa kallistuskulman muutosta huomattavasti. Antiheeling-tankki on äärimmäisen tehokas ja rakenteeltaan taloudellinen ratkaisu ongelmiin, jotka vaikuttavat negatiivisesti aluksen vakavuuteen ja siten myös merikelpoisuuteen. (Tanumoy, 2019.)

Kuva 5 esittää veden liikettä rullauksen eri vaiheissa.



Kuva 5. Veden liike rullausjakson eri vaiheissa (Tanumoy, 2019)

3.2 Aktiivinen antirolling/antiheeling-järjestelmä

Aktiivisten antirolling/antiheeling-järjestelmien toiminta perustuu samaan aluksen rullausta vastustavaan veden liikkeeseen kuin passiivisissa järjestelmissä. Rakenne on U-mallisesta tankista poikkeava siten, että aktiivisessa järjestelmässä on aluksen molemmiin puolin itsenäiset säiliöt ja vesimassoja liikutetaan tankista toiseen ulkoisen

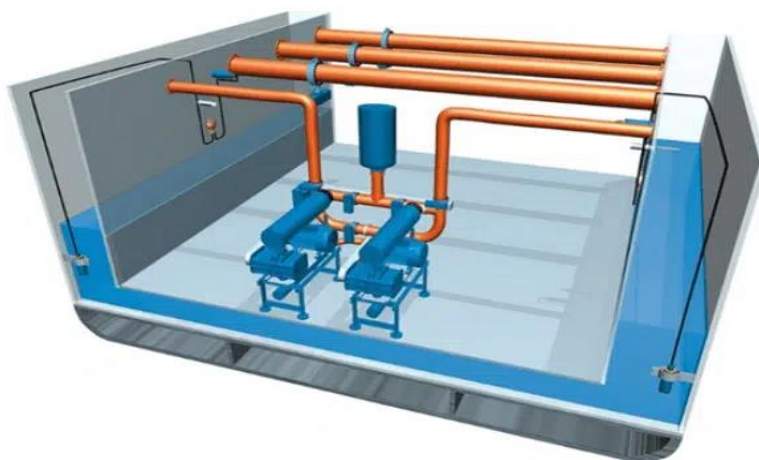
voiman välityksellä, kuten esimerkiksi paineilmalla tai pumpuilla. Myös U-mallinen tankki on aktiivisessa järjestelmässä mahdollinen. (Tanumoy, 2019.)

Aktiivisten antiheeling-järjestelmien suurimpana etuna on tehokkuus ja tarkkuus. Aktiivisilla järjestelmillä kyetään hallitsemaan ja siirtämään hyvin suuria vesimääriä nopeassa ajassa rullaustapahtuman mukaisesti oikealla hetkellä. (Tanumoy, 2019.)

Järjestelmä on yksinkertainen ja suhteellisen toimintavarma, koska siinä on vain muutama ohjausventtiili sekä suuri tehoiset pumput. Alusta suunniteltaessa aktiivisen järjestelmän valinta ei kuitenkaan ole täysin selvä asia. (Tanumoy, 2019.)

Pumppujärjestelmä sijoitetaan aluksen pohjarakenteessa sijaitsevaan pumpputunneliin. Tilan puutteen vuoksi huollot pumpputunnelissa ovat hankalia ja aikaa vieviä. Tämän vuoksi joudutaan investoimaan todella laadukkaisiin pumppuihin ja oikosulkumoottoreihin. Pumppu- ja moottori-investoinnit nostavat merkittävästi aluksen valmistuskustannuksia. (Tanumoy, 2019.)

Kuvasta 6 nähdään, kuinka pumppujärjestelmä aluksen pohjassa tilaa vaativana järjestelmänä vie aluksen lastinkantokapasiteettia. Tästä syystä aktiivista järjestelmää asennetaan harvoin kaikkein pienimpiin aluksiin. Kookkaammissa aluksissa, joiden valmistuskustannukset ja lastin kantokyky ovat suhteessa suuret, on aktiivinen järjestelmä erittäin yleinen ratkaisu. Kuva havainnollistaa hyvin järjestelmän peruskomponentit sekä sen, kuinka pumput sijaitsevat U-mallisessa putkistossa siten että, pumppu ei ole koskaan kuiva.



Kuva 6. Aktiivisen antiheeling-järjestelmän rakenne: pumput, putkisto ja tankit (Tanumoy, 2019)

4 EVÄVAKAAJAT

Evävakaajia tutkittaessa tutkija on käyttänyt esimerkkilaitteistona ja tutkimusmateriaalina ro-ro-alus m/v Mistralia ja sen evävakaajajärjestelmää, sekä ottanut materiaalia valmistajan toimittamasta huoltokirjasta. Tästä syystä myös itse aluksen keskeisiä teknisiä tietoja ja ominaisuuksia on nostettu tutkimuksessa esille. Aluksen ominaisuuksia tarkastelemalla pyritään saamaan selkeämpi kokonaiskuva tutkittavasta aiheesta.

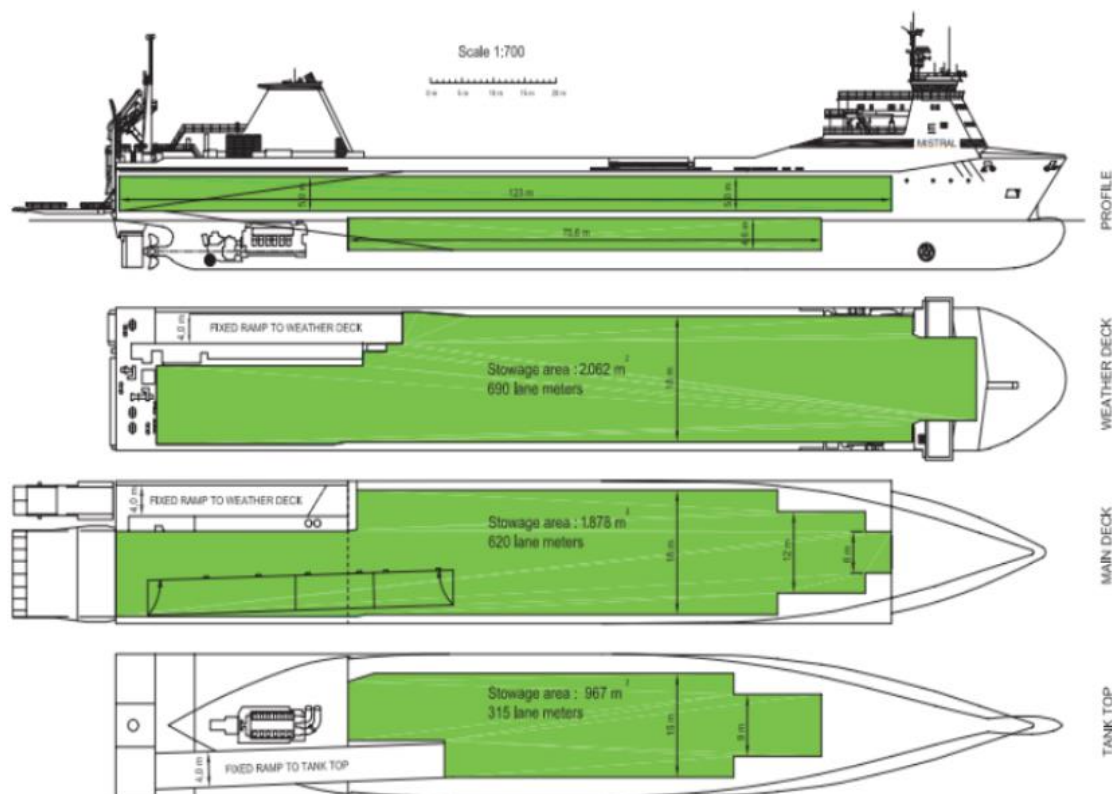
4.1 m/v Mistral

Alus on rakennettu J.J. Sietas KG Schiffswerft GmbH u. Co:n telakalla Saksassa vuonna 1999. Se on alustyyppiltään ro-ro-alus, joka tarkoittaa käytännössä sitä, että aluksella on pyörillä kulkevan lastin lisäksi mahdollista kuljettaa myös merikontteja. (Godby shipping, 2016.)

Merikonteille on kiinnitys- eli surrausmahdollisuus aluksen sääkannella. Suurin osa lastista koostuu kuitenkin trailereista ja niin kutsutuista mafeista, jotka ovat pyörillä kulkevia teräksestä ja puusta rakennettu lavoja.

Kylmälaitteella varustetut trailerit eli kuorma-auton perävaunut sijoitetaan lastitiloihin siten, että ne on mahdollista kytkeä aluksen sähköverkkoon. Kylmälaitteipistokkeet sijaitsevat pää- ja sääkansilla, ja niitä on aluksen kolmella eri kannella yhteensä 50 kappaletta. (Godby shipping, 2016.)

Kuvassa 7 on esitetty Mistralin sivuprofiili ja lastiruumat.



Kuva 7. m/v Mistral (Godby shipping, 2016)

Sähköä m/v Mistral tuottaa merellä ollessa propulsiojärjestelmän yhteyteen asennetulla akseligenaattorilla. Akseligenaattorilla tarkoitetaan aluksen pääkoneen yhteyteen rakennettua generaattoria, jota käytetään alennusvaihteen kautta aluksen pääkoneen ollessa käynnissä. Alennusvaihteella alennetaan potkuriakselin kierroksia. m/v Mistralin tapauksessa on suhde 1/10 eli potkuriakseli pyörii yhden kierroksen jokaista Pääkoneen kymmentä kierrosta kohden.

Satamassaolon aikana sähkö tuotetaan dieselgeneraattoreilla. Sähkön syöttö maista on mahdollista, joskin liikennöidessä harvinaista. Maista syöttöä käytetään huoltotelakointien yhteydessä sekä pidempien seisakkien aikana.

Mafeilla voidaan kuljettaa monenlaista irtotavaraa, esimerkiksi rakennusteollisuuden tuotteita, kuten teräspalkkeja tai betonimoduuleja. Lastiruumat soveltuvat myös paperirullien kuljettamiseen, ja niiden kiinnittämiseen tarkoitettut teräslenkit on sijoitettu lastikansien kattorakenteisiin.

Tekniset tilat, joissa myös sähköntuotanto sekä polttoaineen puhdistus ja alusta liikuttava propulsiojärjestelmä sijaitsevat, on rakennettu perinteiseen tapaan laivan takaosaan eli niin kutsuttuun ahteriin.

Talotekniikka, LVI-järjestelmät kuten musta-, harmaa- ja makeavesijärjestelmät, ilmastointi, lämmitys, valaistusmuuntajat sekä provianttivarastojen kylmäkompressorit sijaitsevat aluksen etuosassa eli keulassa, jossa myös torpaksi kutsuttu asuinosa sekä komentosilta sijaitsevat. (Godby shipping, 2016.)

m/v Mistral aluksen tiedot

LOA (length overall), pituus: 153,45 m

Breath Moduled leveys, leveys: 20,6 m

Draft Summer, kesäsyväys: 7 m

Tonnistot

DWT, kuollut paino 7 m syvyyksellä: 7,438 GT

GT Lontoo1969: 10,471

NT Lontoo1969: 3,142

Tankkien tilavuudet

Polttoaine HFO (pääkonejärjestelmä): 840 kuutiometriä

Polttoaine MGO (apukonejärjestelmä): 153 kuutiometriä

Painolastitankit: 3,963 kuutiometriä.

Koneisto

Pääkone: Wärtsilä 12v24c, 12600kW+vfd

VFD (variable frequency device) = vaihtelevan taajuuden muunnin, polttoaineen kulutuksen optimointiin alhaisissa nopeuksissa.

Akseligeneraattori 1.400 kW

Dieselgeneraattorit, 2x 515 kW

Satama/hätägeneraattori 380 kW

Perän ohjailupotkuri 495 kW

Keulan ohjailupotkuri 800 kW

+ Antiheeling-järjestelmä, evävakaajat. (Godby shipping, 2016.)

Polttoaineen keskimääräinen kulutus 20 solmun matkavauhdilla on n. 48mt/vrk. Generaattorien kulutus satamassa ollessa on noin 2mt/vrk. Aluksessa ei ole pakokaasuista rikkiä poistavaa skrapper-laitosta, joten polttoaineena käytetään liikennöintialueen mukaan joko vähärikkistä ULSFO-polttoainetta (ultra low sulfure fuel oil) tai MGO:ta (marine gasoil) eli dieseliä. Dieselgeneraattorit sekä termooiljalaitoksen poltin käyttävät aina MGO-polttoainetta. (Godby shipping, 2016.)

4.2 Vakauttamisen periaatteet

Rullausta vaimentavalla evävakainjärjestelmällä varustettu alus kohtaa useita eri kääntömomentteja suhteessa pituusakseliin. (SIEMENS, 1999, s. 7.)

Kiihtyvyyshmomentti ja aaltomomentti lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$M_y - (M_d + M_s + M_r) = M_b$$

Muuttujat:

M_y	Aaltomomentti
M_d	Vakauttava momentti
M_s	Oikaiseva momentti, alkuperäinen vakaus
M_r	Vaimentava (aluksen rullatessa vedessä)
M_b	Kiihtyvyyshmomentti, kaikkien kitkamomentti alukseen kohdistuvien kääntömomenttien summa

Selvennykseksi voidaan siis todeta, että merellä alus käyttäytyy seuraavasti: aaltomomentti (M_y) pyrkii kääntämään aluksen pois pystyasennostaan, alkuperäistä vakautta (M_s) ja kitkamomenttia (M_r) vastaan.

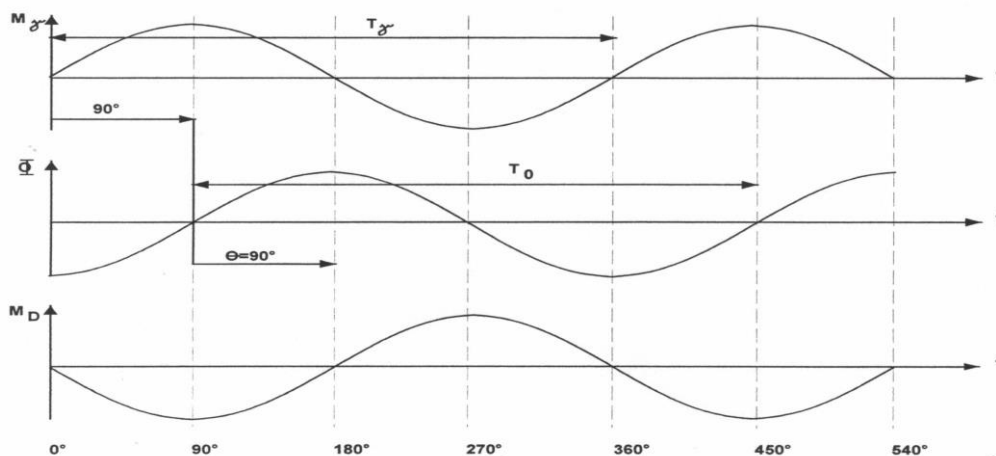
Muuttujat:

M_y	Aaltomomentti
M_d	Vakauttava momentti
M_s	Oikaiseva momentti, alkuperäinen Vakaus.
M_r	Vaimentava kitkamomentti (aluksen rullatessa vedessä).
M_b	Kiihtyvyyshmomentti, Kaikkien alukseen kohdistuvien kääntömomenttien summa.
θ	Aluksen rullauskulma
$\dot{\theta}$	Aluksen rullausnopeus
$\ddot{\theta}$	Aluksen rullauskihtyvyys
m	Aluksen kääntyvä massa
K_r	Kitkataso aluksen rullatessa vedessä
$D \times MG$	Displacement X metacentric height
T_i	Integraatio, aika 1 s

Evävakainjärjestelmän tehtävä on kaiken aikaa tuottaa riittävä vakauttava kääntömomentti (M_d) vastustamaan aaltomomenttia (M_y) aluksen pituusakselin ympäri, jotta kiihtyvyyshmomentti (M_b) pysyy alhaisena. (SIEMENS, 1999, s. 7.)

4.3 Aaltomomentti ja rullauskulma

Kuvasta 8 käy ilmi aaltojen liikkeen vaikutus aluksen pituusakselin suhteen sellaisessa aluksessa, jolla ei ole rullausta vaimentavaa järjestelmää.



Kuva 8. Aaltomomentin, rullauskulman ja vaimentavan momentin aikakäyrä (SIEMENS, 1999)

Muuttujat:

M_y	Aaltomomentti
M_D	Tarvittava stabiloiva momentti
t	Aika
Φ	Rullaus
T_0	Rullausjakson kesto
T_y	Aaltojakson kesto

Toisin sanoen tämä tarkoittaa sitä, että merellä oltaessa tapahtuu seuraavaa: vesirajan alla, aluksen molemmiin puolin sijaitsevat evät on asennettu siten, että oikeassa asennossa ne tuottavat aluksen nopeuteen sidonnaisen riittävän stabiloivan momentin M_D . Aaltoliikkeestä riippuen evät vakauttavat alusta vaimentaen rullauksen vähäiselle tai merkityksettömälle tasolle. (SIEMENS, 1999, s. 7.)

4.4 Alus ja aaltoliike

Aluksen yksilöllinen rullausjakso riippuu aluksen suunnittelusta. Suurimpia vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa pituus, leveys, pohjan muoto, syväys sekä lastiruumien, kansien ja painolasti tankkien koko sekä sijoittelu. Myös lastistatus eli lastin määrä ja olomuoto ovat hyvin merkittäviä aluksen rullausjakson pituuteen ja kiihtyvyyteen vaikuttavia tekijöitä. (SIEMENS, 1999, s. 12.)

5 HYDRAULIIKKA

5.1 Hydrauliiikka voimansiirrossa

Hydrauliiikkaa käytetään sen erinomaisen soveltuvuuden ja yksinkertaisen toiminnan vuoksi laajasti koko teollisuuden ja logistiikan alalla, niin tuotantolaitosten koneissa kuin raskaassa kuljetuskalustossa, joita ovat esimerkiksi prässit, paperikoneet, laivat, junat sekä kuormaajat. (Kauranne ym., 2008, s. 2.)

Kuten tiedetään, ovat aineen olomuodot fysiikassa kiinteä, neste ja kaasu. Näistä neste on ehdottomasti tehokkain voiman välitykseen, sillä se on oikeissa olosuhteissa käytännössä kokoon puristumaton. Kaasuja voidaan käyttää myös voimansiirrossa, mutta niiden kokoon puristuminen johtaa tehohäviöihin sekä epätarkkuuteen laitteistoissa. Riittävän pitkät matkat letkustoissa aiheuttavat kuitenkin myös nesteessä tehohäviöitä. (Kauranne ym., 2008, s. 3.)

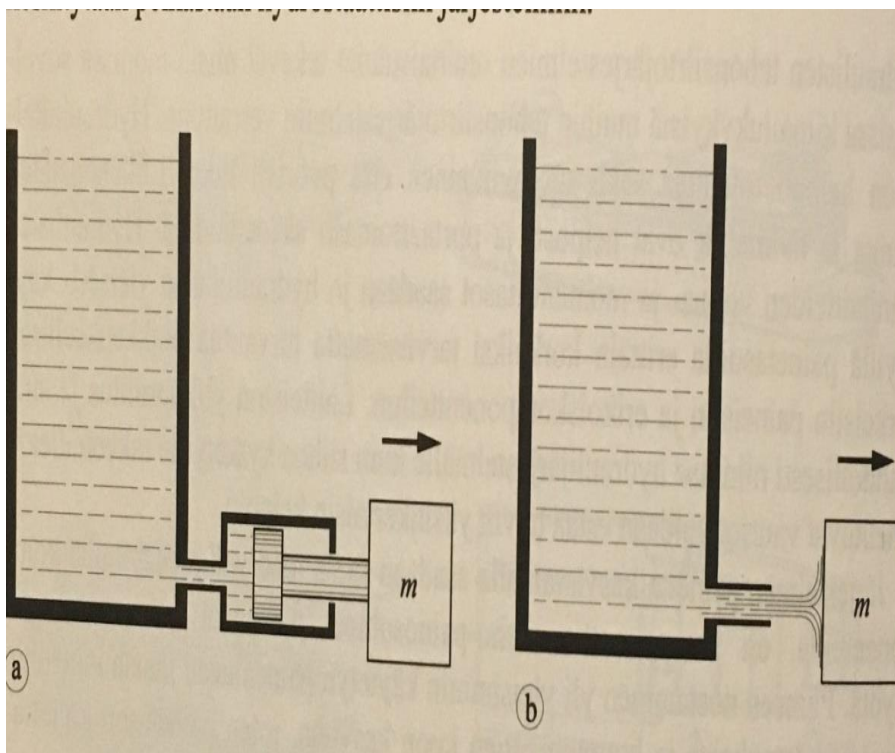
Kiinteitä aineita käytetään mekaaniseen voimansiirtoon, mutta niiden ongelmina on kuluma, vaadittu tila sekä kankeus. Neste taas on erittäin hyvin mukautuva ja käsiteltävä olomuoto aineelle. Hydrauliiikan komponentit ovat usein pieniä sekä letkuissa tapahtuva voiman siirto on helppo toteuttaa kompaktisti. Nesteessä ei myöskään ilmene kulumista, mikäli laitteisto toimii suunnitellusti, eikä siinä ole esimerkiksi vuotoja. Teollisuudessa sekä kuljetuskalustossa käytetään kuitenkin lähes aina näiden yhdistelmiä, joita ohjataan sähköisesti venttiileillä ja kytkimillä. (Kauranne ym., 2008, s. 1.)

Edellä mainituista syistä hydrauliiikka on valittu voimansiirtoon myös merenkulun laitteistoissa, ja erittäin toimivaksi se osoittautuu juuri evärikaajajärjestelmissä varman toimivuutensa vuoksi, sekä siksi, että hydrauliiikalla voidaan saada aikaseksi terävästi ja herkästi ohjattavia liikkeitä hyvinkin raskaisiin ja isoihin erilaisiin koneiden osiin, riittävän suurilla järjestelmä paineilla sekä voimakkaiden moottorien ja tunkkien ansiosta. (Kauranne ym., 2008, s. 3.)

5.2 Hydraulikkajärjestelmät

Tehonsiirto hydraulisissa järjestelmissä toteutetaan kahta eri tapaa käyttäen. Hydrostaattisessa järjestelmässä energia sidotaan potentiaalienergiaksi. Hydrodynaamisessa energia on nesteen liike-energiaa. (Kauranne ym., 2008, s. 4.)

Kuvassa 9 esitetään hydrostaattinen ja hydrodynaaminen järjestelmä, jotka ovat hydraulikan kaksi tunnetuinta ja yleisintä järjestelmää. Kuvassa a öljyn hydrostaattinen paine sidotaan kuviteltuun mäntään potentiaalienergiana. Kuva b taas kuvastaa hydrodynaamista liike-energiaa. Männän potentiaalienergia ja nesteen liike-energia molemmat liikuttavat tällöin kappaletta m eteenpäin.



Kuva 9. Hydrostaattinen (a) ja hydrodynaaminen järjestelmä (b) (Kauranne ym., 2008)

5.3 Avoimet järjestelmät

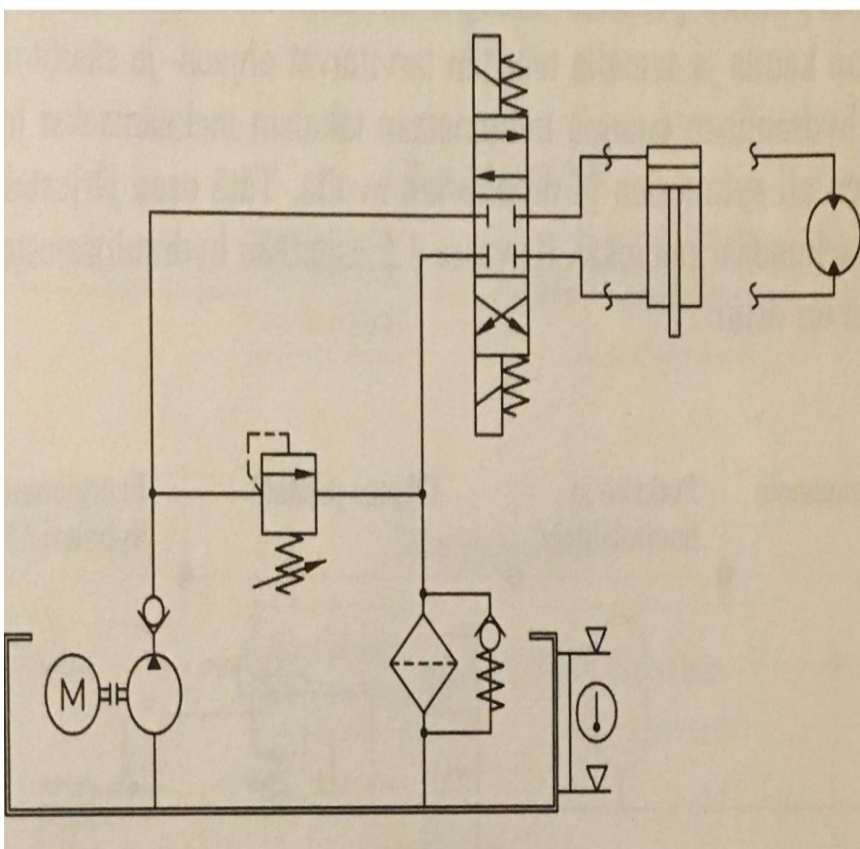
Evävakaajan, kuten monen muunkin teollisuuden ja liikkuvan kaluston, hydraulikka perustuu hydrodynaamiseen voimansiirtoon, joten on syytä tutkia sitä hieman tarkemmin. Hydrostaattisia järjestelmiä on kahta eri tyyppiä, teollisuudessa tyypillisiä hydraulisia järjestelmiä ovat avoimet järjestelmät. Avoimet järjestelmät ovat tyypillisesti

suurisäiliöisiä. Öljy kiertää järjestelmässä säiliöstä toimilaitteille, joista se palaa takaisin säiliöön. (Kauranne ym., 2008, s. 4.)

Avoimissa hydrostaattisissa järjestelmissä pumppu on yksisuuntainen eli se imee öljyn säiliöstä ja pumppaa sen esimerkiksi hydraulikkamoottorille tai hydraulisille männille, jotka välittävät voiman liikutettaville raskaille osille. (Kauranne et al., 2008, s. 4.)

Mäntien tai moottorien suuntaa vaihdellaan venttiilein, toisin sanoen öljyn kiertosuuntaa voidaan ohjata avaamalla ja sulkemalla venttiilejä. Ohjauksessa käytettävät venttiilit ovat sähköisesti toimivia ja niitä kutsutaan magneettiventtiileiksi. Tämän tyyppisiä venttiilein ohjattuja järjestelmiä kutsutaan venttiiliohjatuiksi järjestelmiksi. (Kauranne ym., 2008, s. 5.)

Kuvassa 10 nähdään kaaviokuva, josta käy ilmi venttiiliohjatun hydraulikkajärjestelmän toiminta ja keskeisimpiä komponentteja.



Kuva 10. Venttiiliohjattu avoin järjestelmä, jossa moottoroidun pumpun tuottama öljyn virtaus liikuttaa mäntää, männän liikesuunnan puolestaan määrittävät ohjausventtiilit (Kauranne ym., 2008)

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Vakavuus

Aluksen vakavuudella tarkoitetaan sen taipumusta rullata pitkittäisakselillaan. Rullaussekvenssi on riippuvainen aluksen massakeskipisteen GM sijainnista. Voimakkaasti rullaava alusta, jonka liike pitkittäisakselilla on nopeaa ja kulmamuuutokset ovat suuria, kutsutaan ylivakaaksi. Tällaisen aluksen massakeskipiste on ideaalipisteen alapuolella. Huolimatta tällaisen aluksen tendenssistä rullata voimakkaasti, se ei ole suuressa vaarassa kaatua. Voimakas rullaus kuitenkin aiheuttaa rasisitusta aluksen runkoon, sekä tarpeetonta vaaraa sen lastille ja miehistölle.

Epävakaalla aluksella taas tarkoitetaan sellaista alusta, jonka massakeskipiste on ideaalipisteen yläpuolella. Epävakaa alus on vaarassa kaatua tai pyörähtää ympäri.

Epävakaan ja ylivakaan aluksen rullauksen ja vakavuuden hallintaan on kehitetty ratkaisuksi useita toimivia keinoja. Näillä järjestelmillä voidaan hallita aluksen vakavuutta olosuhteiden muuttuessa. Vakavuuden hallinnan mahdollistavien ratkaisujen ansiosta samalla aluksella voidaan kulkea merellä erilaisissa sääolosuhteissa ja lasteissa.

6.2 Aktiiviset järjestelmät ja talous

Evävakaajat ja aktiiviset antiheeling-järjestelmät ovat aluskoon kasvun myötä yleistyneet. Näitä järjestelmiä asennetaan usein keskisuurista aluksista ylöspäin. Tämä ei kuitenkaan selity pelkästään järjestelmien tarpeellisuudella, vaan syy on myös taloudellinen.

Aktiiviset antiheeling- ja evävakaajajärjestelmät ovat ratkaisuina toimivia, mutta eivät toki täydellisiä. Ne lisäävät huomattavasti aluksen valmistus-, käyttö- sekä huoltokustannuksia. Lisääntyneiden kustannusten vuoksi ne myös syövät aluksen lastinkantokapasiteettia. Suurissa aluksissa järjestelmien haitat ovat kuitenkin suhteessa pienemmät, jolloin etenkin evävakaajien asentaminen alukseen on taloudellisesti kannattavaa.

Evävakaajien hyvänä puolena on myös se, että sään ja lastitilanteen niin salliessa ne voidaan ajaa aluksen rungon sisään, jolloin niiden aiheuttama polttoaineen lisääntynyt kulutus poistuu käytännössä kokonaan.

Aktiivista antiheeling-järjestelmää voidaan myös hyödyntää muissakin tilanteissa, kuten esimerkiksi lastausoperaatioiden aikana aluksen tasapainon hallitsemisessa. Tällöin saadaan tehostettua lastausoperaatiota ja voidaan lisätä aluksen tuottavuutta.

6.3 Muita havaintoja

Merenkulun ja tekniikan kehittyessä myös alusten operointi muuttuu. Vaikka kehitys on lähes aina positiivista ja helpottaa aluksen miehistön sekä päällystön päivittäisiä rutiineja, on sillä myös toisaalta varjopuolensa. Laitteiden kehityksen ja lisääntymisen myötä alusta ja sen laitteita operoivan henkilöstön tietotaidon tulee myös lisääntyä. Etenkin vikatilanteissa on tärkeää tuntea eri laitteiden toiminnot ja niiden hätäkäyttö perinpohjaisesti.

Uuden tekniikan ja laitteiden jatkuva aktiivinen opiskelu lisää henkilöstön työtaakkaa, vaikka uusiutuva tekniikka samalla vähentää manuaalisen työn tarvetta sekä tehostaa aluksen tuottavuutta.

LÄHTEET

Godby shipping. 2016. m/v Mistral [Piirustus]. (Haettu 12.04.2023). Saatavissa: https://www.godbyshipping.fi/sites/www.godbyshipping.fi/files/attachments/ship/pocket_plan_mistral_2016_0.pdf.

Godby shipping. 2016. Pocket plan Mistral. Haettu 06.05.2022 osoitteesta: https://www.godbyshipping.fi/sites/www.godbyshipping.fi/files/attachments/ship/pocket_plan_mistral_2016_0.pdf.

IMO 2019. Ship Design and Stability. Haettu 4.4.2023 osoitteesta: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/ShipDesignAndStability-default.aspx>.

Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius M. 2008. Hydrauliteknikka. Helsinki: WSOY OPPIMATERIAALIT 2008. Haettu 22.09.2022.

Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, S. 2008. Hydrostaattinen ja hydrodynaaminen järjestelmä [Piirustus]. Teoksessa Hydrauliteknikka. (Haettu 22.09.2022).

Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, S. 2008. Venttiiliohjattu järjestelmä [Piirustus]. Teoksessa Hydrauliteknikka. (Haettu 22.09.2022).

Matusiak, J. 1995. Laivan kelluvuus ja vakavuus. Espoo: Otatieto. Haettu 30.04.2022.

Matusiak, J. 1995. Aluksen pitkittäisakseli [Piirustus]. Teoksessa Laivan kelluvuus ja vakavuus. Espoo: Otatieto. (Haettu 22.09.2022).

O'Connor, J.J. & Robertson, E.F. 2000. Pierre Bouguer. Haettu 4.4.2023 osoitteesta: <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Bouguer/>.

Soumyajit D. 2021. What is Plimsoll Line on Ships? Maritime Law. Hettu 8.04.2023 osoitteesta: <https://www.marineinsight.com/maritime-law/what-is-plimsoll-line-on-ships/>

SIEMENS. 1999. Aaltomomentti [Piirustus]. Manual for retractable fin stabiliser SIFICON-D, type S100 up to S800. (Haettu 02.03.2022).

SIEMENS. 1999. Manual for retractable fin stabiliser SIFICON-D, type S100 up to S800. Chapter1, Description of the fin stabilisation. Haettu 14.04.2022.

Tanumoy. 2019. Active Tank system [Piirustus]. (Haettu 12.04.2023). Saatavissa: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/roll-stabilization-systems/>.

Tanumoy, S. 2019. Different Types Of Roll Stabilization Systems Used For Ships. Haettu 23.11.2022 osoitteesta: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/roll-stabilization-systems/>.

Tanumoy. 2019. Passive Tank system [Piiustus]. (Haettu 14.04.2022). Saatavissa: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/roll-stabilization-systems/>.

Tanumoy. 2019. Structural Component of Bilge Keel [Piiustus]. (Haettu (14.04.2022). Saatavissa: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/roll-stabilization-systems/>.

Wikipedia. 2007. Arkhimedeen laki [Piiustus]. (Haettu 30.03.2022). Saatavissa: https://fi.wikipedia.org/wiki/Arkhimedeen_laki

Wikipedia. 2007. Plimsoll line [Piiustus]. (Haettu 6.4.2023). Saatavissa: https://fi.wikipedia.org/wiki/Lastimerkki#/media/Tiedosto:Plimsoll_line.svg