

Henri Rautomäki

KUIVARAHTIALUSTEN RAKENNEVAURIOIDEN VÄLTÄMINEN

Opinnäytetyö

Merikapteeni
Merenkulun koulutus

2022



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Omistettu niille kahdeksalle olutpullolle, jotka menetettiin merellä 18. kesäkuuta 2022.

Ilman teitä tämä opinnäytetyö olisi ollut valmis jo keväällä 2022.

Tutkintonimike	Merikapteeni (AMK)
Tekijä	Henri Rautomäki
Työn nimi	Kuivarahtialusten rakennevaurioiden välttäminen
Toimeksiantaja	Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, logistiikka ja merenkulku
Vuosi	2022
Sivut	59 sivua, liitteitä 23 sivua
Työn ohjaaja	Alexander Shaub

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kuivarahtialuksissa ilmeneviä rakennevaurioita, jotka ovat seurausta lastauksen, painolastinvaihdon tai satamakäyntien aikana tapahtuneista rasituksista. Työn tarkoituksena oli kartoittaa riskikohdat ja löytää turvallisia ratkaisuja rungon rasitusten minimointiin.

Työssä tutkittiin lähihistorian tunnettujen onnettomuustapauksien kautta erilaisten tekijöiden aiheuttamia vakavia aluksen uppoamiseen johtaneita runkovaurioita. Näiden perusteella voitiin nostaa turvallisuutta vaarantaviksi seikoiksi säätila, aluksen tyyppimuutokset ja ikä. Lisäksi tutkittiin kansainvälisen lainsäädännön ja luokituslaitosten asettamia minimivaatimuksia.

Riskikohtien kartoituksessa hyödynnettiin alan kirjallisuutta ja yksittäisiin heikkoihin pisteisiin keskittyneitä aiempia tutkimuksia. Näiden perusteella määriteltiin erilaisia rasitusilmiöitä, kuten leikkausvoimia ja taivutusmomenteja. Erityisen heikoksi pisteiksi aluksilla ilmenivät kansiluukut, laipiot, kyljet, keula ja pohja. Lisäksi havaittiin eroja erilaisten teräslaatuojen välillä.

Erilaisten lastaustapojen käyttämisestä löydettiin myös riskejä: Aluksen pohjan taipuminen heijastui pahimmassa tapauksessa myös vierekkäisiin rakenteisiin ja näiden kiinnityskohtiin. Myös lastauksen ja lastinkäsittelyvälineiden aiheuttamista pienistä vaurioista löydettiin yhteyksiä ruostumiseen ja rakenteiden heikkenemiseen. Aluksen satamakäyntien osalta tutkittiin lisäksi perinteisten ja diktaalilaitureiden välisiä eroja.

Tutkimuksen perusteella turvallinen toiminta edellyttää aina miehistön omaa valppautta: Vaurioita, erityisesti sellaisia, jotka syntyvät lastauksen ja laiturisaolon aikana, on seurattava ja epäkohtiin on puututtava. Rasitukset on pyrittävä pitämään minimissä. Vaikeisiin sääolosuhteisiin joutumista tulee välttää. Miehistön on myös tunnettava aluksensa ja havainnoitava aluksen liikehdintää ja kaikkea normaalista poikkeavaa myös merimatkan aikana.

Asiasanat: kuivarahtialus, rakenne, taivutus, merenkulku

Degree	Bachelor of Maritime Management
Author	Henri Rautomäki
Thesis title	Avoiding structural damage on bulk carriers
Commissioned by	South-Eastern Finland University of Applied Sciences, Logistics and Seafaring
Year	2022
Pages	59 pages, 23 pages of appendices
Supervisor	Alexander Shaub

ABSTRACT

The objective of the thesis was to study structural damage on bulk carriers that is the consequence of stresses that occur during loading, ballast exchange or port operations. The aim was to identify weak points and practices and find safe methods for minimizing structural stress.

A number of well-known accidents that led to the total loss of the vessel were examined. In addition, international legislation and rules by classification societies were studied. Maritime publications and research papers covering stresses on specific points were used in identifying weak structural points. These were also used in defining different stresses. Differences between traditional quays and breasting dolphins were also studied.

It was determined that extreme weather conditions, vessel modifications and age were the main dangers for bulk carrier safety. Based on the study, the most common weak points on bulk carriers are hatches, bulkheads, sides, bow and bottom. There were differences between steel grades and risks between different loading methods. The bending of the vessel's bottom, in the worst case, affected the adjacent structures. Loading and damage caused by cargo handling equipment were also found to have a connection with corrosion and weakening of structures.

Based on the results, a safe operation always requires the crew to be vigilant. Damage, especially one caused by loading or the vessel's stay in port, should be monitored. Stresses should be kept to a minimum, and the vessel should avoid sailing in extreme weather conditions. The crew should know their vessel and monitor its motions and all abnormal occurrences for the whole duration of the voyage.

Keywords: bulk carrier, structure, bending, maritime

SISÄLLYS

KÄSITTEET JA LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	9
2 KUIVARAHTIALUKSET	10
2.1 Kuivarahtialuksen määritelmä.....	10
2.2 Tunnettuja onnettomuustapauksia.....	14
2.3 Tiukennettuja vaatimuksia	15
3 SÄÄDÖSPOHJA.....	17
3.1 SOLAS, luku XII.....	17
3.2 IMSBC, BLU Code ja BLU Manual	18
3.3 ESP Code.....	19
3.4 IACS CSR for Bulk Carriers and Oil Tankers.....	19
4 RISKIKOHDAT	20
4.1 Kuivarahtialukseen vaikuttavat rasitteet.....	20
4.1.1 Leikkausvoimat	21
4.1.2 Taivutus- ja kiertomomentit.....	22
4.1.3 Sallitut rajat.....	24
4.1.4 Dynaamiset tekijät	28
4.2 Rakenteellisesti heikot pisteet	28
4.3 Lastaukseen ja purkuun liittyvät riskit	34
4.4 Painolastinkäsittelyyn liittyvät riskit	38
4.5 Satamarakenteiden aiheuttamat riskit.....	39
4.6 Aluksen iän vaikutus ja vaurioituneen rungon kestävyys	43
5 TURVALLISET TOIMINTATAVAT	45
5.1 Rakenteelliset ratkaisut.....	45
5.2 Turvallinen lastinkäsittely	46
5.3 Säätilan vaikutuksen minimointi.....	50
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	52

LÄHTEET.....	54
--------------	----

KUVALUETTELO

TAULUKKOLUETTELO

LIITTEET

Liite 1. Rautamalmi – Lastisuunnitelma ja NAPA-laskelmat

Liite 2. Vilja – Lastisuunnitelma ja NAPA-laskelmat

KÄSITTEET JA LYHENTEET

Ahtauskerroin	Tilavuus, jonka tonni lastia vaatii (m ³ /t).
Bruttovetoisuus	Aluksen kokonaisvetoisuus.
Capesize	Alusluokka, kantavuus 100 000–180 000 tonnia, liian suuri Suezin tai Panaman kanavaan.
CSR	Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers. IACS:n julkaisu, joka säätelee muun muassa yleisiä kuivarahtialuksia koskevia rakennevaatimuksia.
BLU Code	Code of Practice for the Safe Loading and Unloading of Bulk Carriers. Opas, joka ohjeistaa kuivalastien käsittelyssä, lastauksessa ja purkauksessa.
BLU Manual	Manual on loading and unloading of solid bulk cargoes for terminal representatives. Satamaoperaattoreille suunnattu opas kuivalastien käsittelyyn.
Diktaali	Veteen pylväiden varaan tehty rakenne alusten kiinnittämistä varten.
Elevaattori	Liukuhihna kuivalastien lastaamiseen.
ESP	International Code on the Enhanced Programme of Inspections during Surveys of Bulk Carriers and Oil Tankers. Kuivarahtialusten katsastuksia koskeva sopimus.
Fatigue cracking	Metallin väsymisestä syntyviä halkeamia.
Green seas	Tilanne, jossa aallonharja ylittää aluksen kannelle.
Handymax	Alusluokka, kantavuus 35 000–50 000 tonnia.
Handysize	Alusluokka, kantavuus 10 000–35 000 tonnia.
HGSM	Hull Girder Section Modulus. Runkorakenteiden taivutusvastus. Suure, joka kuvaa aluksen rakenteiden kestävyyttä taivutusta vastaan (m ³).
Hogging	Tilanne, jossa runko taipuu siten, että keula ja perä painuvat keskikohtaa alemmas.
Hopper-tankki	Ruuman alakulmaan sijoitettu painolastitankki.
HSMS	Hull Stress Monitoring System. Rungon rasituksia mittaava järjestelmä.

HTS	High-tensile Steel. Teräslaatu, jossa on korkea hiilipitoisuus.
Hull girder	Rungon lujiterakenne, joka vastustaa rungon pituus- tai leveysuuntaista taipumista.
IACS	International Association of Classification Societies. Kansainvälinen luokituslaitosten yhdistys.
IMO	International Maritime Organization. Kansainvälinen merenkulkujärjestö.
IMSBC	International Maritime Solid Bulk Cargoes Code. Opas erilaisten kuivarahtien turvalliseen kuljetukseen.
Intercargo	International Association of Dry Cargo Shipowners. Kansainvälinen kuivarahtialusvarustamoiden organisaatio.
Kofferdam	Kahden osaston välissä oleva tyhjä tila. Kuiva tankki.
Laipio	Aluksen poikittainen väliseinä.
Leikkausvoima	Tietyn leikkauksen kahdella puolella esiintyvät vastakkaisuuntaiset voimat (N).
Loading instrument	Leikkausvoimia ja taivutusmomenteja mittaava järjestelmä.
MS	Mild Steel. Teräslaatu, jossa on alhainen hiilipitoisuus.
NAPA	NAPA Loading Computer on lastauksen suunnittelussa käytettävä järjestelmä, joka laskee muun muassa rungon rasituksia ja aluksen vakavuutta.
OBO	Oil/Bulk/Ore. Kuivarahtialus, joka voi kuljettaa öljy-, malmi- tai muuta irtolastia.
Open hatch	Luukkuratkaisu, jossa kansiluukut ovat koko ruuman levyiset.
Painolasti	Alukseen otettavaa lisäkuormaa, jolla voidaan saavuttaa haluttu vakavuus tai syväys.
Panamax	Alusluokka, kantavuus 50 000–80 000 tonnia, mahtuu Panaman kanavaan.
Sagging	Tilanne, jossa runko taipuu siten, että keskikohta painuu keulaa ja perää alemmas.

Slamming	Pohjaisku, joka syntyy laivan noustessa hetkellisesti aallokon ylle ja iskeytyessä veden pintaan.
Sloshing	Nesteen vapaa liikkuminen esimerkiksi tankin sisällä.
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea. Kansainvälinen merenkulun turvallisuutta koskeva yleissopimus.
Stool	Ruumien välisten laipioiden kiinnitysrakenne.
Strippaus	Tankkiin jääneen nesteen poistaminen.
Supramax	Super Handymax, alusluokka, kantavuus 50 000–60 000 tonnia.
Taivutusmomentti	Suure, joka kuvaa ulkoisen voiman aiheuttamaa rakenteen taipumista (Nm).
Trimmi	Aluksen keulan ja perän syväyksien ero. Tasakölillä trimmi on 0.
Valemax	Alusluokka, kantavuus jopa 400 000 tonnia.
VLBC	Very Large Bulk Carrier. Alusluokka, kantavuus yli 200 000 tonnia.
Wing-tankki	Ruuman ylä- tai alakulmiin sijoitetut painolastitankit.

1 JOHDANTO

Kuivarahtialukset muodostavat yli kolmanneksen maailman kauppalaivastosta bruttovetoisuudessa mitattuna (Equasis 2020). Alustyyppi on erityisen altis rakenteellisille vaurioille lastin luonteen ja alusten suunnittelun vuoksi. Raskaat ja tiheät lastit ovat vaativia aluksen kestävyydelle, ja tämä on näkynyt myös onnettomuustilastoissa, joissa monien vakavien uppoamisten taustalla on ollut rungon väsyminen ja lopulta pettäminen. (IACS 2020, 2.)

Lastatessa tai painolastia pumpatessa aluksen runkoon voi kohdistua suurikin taivutusmomentteja ja voimia. Kun tätä toistetaan kymmeniä, ellei satoja kertoja vuodessa, vuosikausien ajan, altistetaan aluksen rakenteet väsymiselle ja alus sekä sen miehistö tarpeettomille riskeille.

Kuivarahtialusten turvallinen operointi niin satamassa kuin merelläkin on siis ensiarvoisen tärkeää paitsi aluksen rakenteiden myös ihmishenkien ja lastin vuoksi. Aluksen miehistön ja sataman toimijoiden toimintatavat ovat tällöin ratkaisevassa asemassa turvallisuuden takaamiseksi.

Tässä opinnäytetyössä on kartoitettu ja tutkittu kuivarahtialuksen runkoon vaikuttavia voimia ja riskejä sekä etsitty ratkaisuja vaurioiden ja vahinkojen välttämiseksi kaikissa matkan vaiheissa: Satamassa lastatessa, purkaessa, merellä painolastia vaihdettaessa ja niin edelleen. Tutkimus on kuitenkin rajattu vain sellaisiin tilanteisiin, jotka liittyvät lasti- tai painolastioperointiin tai satamassa oloon. Rajauksen ulkopuolelle jätetään muut ongelmatilanteet, jotka voivat yhtä lailla olla vaaraksi aluksen rungon turvallisuudelle, kuten karilleajot ja yhteentörmäykset. Tutkimuksessa on hyödynnetty "varoittavia esimerkkejä" eli onnettomuuksia ja vaaratilanteita, säädöksiä sekä laivasuunnittelun periaatteita.

Tutkimuksessa on kartoitettu, millaiset toimintatavat tekevät kuivarahtialusten operoinnista, erityisesti lastaus- ja painolastinvaihtotilanteissa, turvallista. Lopussa on esitetty erilaisia lastaussuunnitelmia lastaustilanteiden oikeasuuruuden esimerkkeinä.

Tavoitteena on koota yhteen tärkeimmät pelisäännöt kuivarahtioperointiin ja parantaa siten tietoisuutta siihen liittyvistä riskeistä. Opinnäytetyö on tehty laivavahenkilöstön näkökulmasta, loppukäyttäjän hyödyksi: Lopputuloksena syntävä selvitys opastaa nykyiset ja tulevat merimiehet kuivarahtialusten turvalliseen käyttöön löydetyissä riskikohdissa sekä ohjeistaa yleisellä tasolla rungon rasiusten minimoinnissa.

2 KUIVARAHTIALUKSET

2.1 Kuivarahtialuksen määritelmä

Kuten miltei kaikki tekninen kehitys, myös laivanrakennus ja kuivarahtialukset ovat ottaneet suuria edistysloikkia viimeisen sadan vuoden aikana. 1950-luvun ensimmäisten malmikuljetuksiin suunniteltujen alusten jälkeen alusten koko ja lukumäärä ovat kasvaneet vauhdikkaasti. 1990-luvulla tyypillisen kuivarahtialuksen kantavuus oli jo 50 000 tonnia. (Isbester 1993, 15.)

Määritelmän mukaan kuivarahtialus on laiva, joka kuljettaa irtonaista kuivaa lastia. Lasti lepää laivan ruumassa vapaasti, eikä sitä kiinnitetä. Lasti pysyy kyydissä ainoastaan laivan rakenteiden ansiosta. Tyypillisimmät kuivarahtialusten kuljettamat lastit ovat hiili, koksi, vilja, lannoitteet, mineraalit, malmit, bauksiitti ja sementti sekä erilaiset puutuotteet. Kaikille lastityypeille ominaista on, että ne kuljetetaan pääasiassa pakkaamattomana, sillä kuljettaminen pakkattuna ei ole järkevää. (Babiczy 2015, 67.) Toinen tyypillinen piirre lasteille on se, että ne voivat olla esimerkiksi nestelasteihin verrattuna moninkertaisesti tiheämpiä (taulukko 1).

Taulukko 1. Erilaisten lastien tiheyksiä (IMO 2020a)

Lasti	Tiheys, kg/m^3
vilja	770
sokeri	1000
lannoitteet	1 111
hiili	1 266
rautamalmi	3 500
raakaöljy (vertailu)	900

Kuivarahtialukset on perinteisesti jaettu koon mukaan erilaisiin luokkiin. Näitä ovat esimerkiksi handysize-alukset, jotka voivat kantaa 10 000–35 000 tonnia lastia, ja jotka nimensä mukaisesti ovat verrattain pienen kokonsa vuoksi helposti käsiteltäviä ja sopivat myös useimpiin satamiin. Handymax-luokka taas on hieman suurempi: Sen kantavuus on 35 000–50 000 tonnia. Supramax-luokka on kantavuudeltaan 50 000–60 000 tonnia (kuva 1). Panamax-luokan aluksilla kokoa rajoittavana tekijänä ovat Panaman kanavan mitat. Luokan alukset ovat kantavuudeltaan 50 000–80 000 tonnia. Capesize-alukset ovat vieläkin suurempia, kantavuudeltaan 100 000–180 000 tonnia. VLBC-aluksilla (very large bulk carrier) tarkoitetaan aluksia, joiden kantavuus on yli 180 000 tonnia. (Isbester 1993, 15.) Nykyisin suurimpia alustyypppejä ovat brasilialaisen kaivosyhtiön mukaan nimetyt Valemax-luokan kuivarahtialukset, joiden kantavuus voi olla jopa 400 000 tonnia (Vale s.a.).

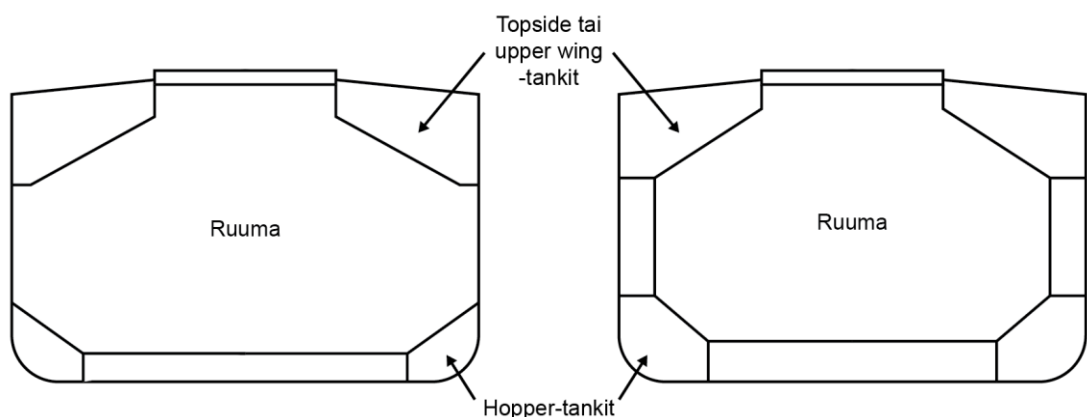


Kuva 1. ESL Shipping Oy:n supramax-luokan Arkadia (ESL Shipping 2021)

Muitakin luokittelutapoja on olemassa: Koon sijaan aluksia voidaan jaotella esimerkiksi lastinkäsittelykaluston mukaan nosturillisiin, nosturittomiin tai erilaisin liukuhihnoin varustettuihin aluksiin. Jotkin alukset taas voivat olla erikoistuneita vain yhteen kuivarahtityyppiin, kuten malmin tai metsäteollisuuden tuotteiden kuljetuksiin. Toiset alukset on rakennettu siten, että ne voivat kuljettaa sekä kuivarahtia että nestelasteja. Tällaisia aluksia kutsutaan OBO-aluksiksi (ore/bulk/oil). (Isbester 1993, 17.)

Kuivarahtialuksen tärkeimpiä suunnittelukriteerejä ovat suuri kantavuus ja lastinkäsittelyn nopeus. Suurten lastimäärien kuljettamiseksi alukset ovat rungon muodolta yleensä melko täyteläisiä. Koneistot on lähes poikkeuksetta sijoitettu aluksen peräosaan. (Isbester 1993, 17–21.)

Rungon rakenteen puolesta kuivarahtialukset voidaan jakaa kahteen luokkaan: Yksi- ja kaksirunkoisiin aluksiin (kuva 2). Kaksirunkoisessa aluksessa lastiruumia ympäröi jokaisella sivulla kaksinkertainen runko. Yksirunkoiset alukset taas voivat olla kaikkialta tai esimerkiksi vain kyljistä yksirunkoisia. Kaksirunkoisten alusten etuna on rungon parempi kestävyys esimerkiksi lastin tai laiturirakenteiden aiheuttamille vahingoille. Lisäksi vahvikkeet voidaan sijoittaa tankkien sisälle, jolloin ruumaan ei jää esteitä. Tärkeimpänä tekijänä on kuitenkin rungon suurempi jäykkyys. (Babicz 2015, 67–69.)



Kuva 2. Yksi- ja kaksirunkoisten alusten ruumien poikkileikkaukset (Isbester 1993, 25–27)

Erityisesti handysize-luokan kuivarahtialukset ja niitä pienemmät ovat usein rungon muodoltaan open hatch -tyyppisiä, jolloin kansiluukku on koko ruuman levyinen. Muuten alukset ovat usein kaksirunkoisia. Ratkaisu mahdollistaa aluksen käytön myös esimerkiksi kansilastin ja konttien kuljetuksessa. (Portfoliomanagement s.a.)

Riippuen kuivarahtialuksen koosta, laivalla voi olla yhdestä kymmeneen lastiruumaa. Ruumat on erotettu toisistaan vesitiiviillä vahvistetuilla laipioilla, jotka ovat ruuman ja aluksen kestävyuden kannalta yhtä tärkeitä kuin itse runko. Ruumat suljetaan vesitiiviillä luukuilla, jotka ovat mallista ja aluksen koosta riippuen yleensä joko kiskoilla liukuvia tai pystyyn nostettavia. Painolastitankkeja on aluksilla yleensä kaksoispohjassa. Niin sanotut hopper-tankit on lisäksi sijoitettu ruuman alakulmiin ja topside-tankit ruuman yläkulmiin. (Kuva 2.) (Isbester 1993, 25–27.)

Tämän tutkimuksen tarkoituksiin on liitteenä olevissa lastisuunnitelmissa käytetty esimerkialuksena NAPA-ohjelman 5-ruumaista kuivarahtialusta. Aluksen kantavuus on noin 55 000 tonnia.

Luokituslaitokset kategorisoivat erilaisia aluksia erilaisilla luokilla. IACS:llä (International Association of Classification Societies) on yleinen yli 150-metrysten kuivarahtialusten luokitusjärjestelmä eli BC-luokitus. Ne huomioivat erilaiset lastitilanteet. BC-A-luokkaan kuuluva alus on suunniteltu kuljettamaan tiheydeltään yli $1,0 \text{ t/m}^3$ olevia lasteja siten, että osa ruumista jätetään tyhjiksi. BC-B-luokassa lastitiheys on myös yli $1,0 \text{ t/m}^3$, mutta lastia on kaikissa ruumissa tasaisesti. BC-C-luokan alukset taas kuljettavat lasteja, joiden tiheys on vähemmän kuin $1,0 \text{ t/m}^3$. (IACS 2021, 21.)

2.2 Tunnettuja onnettomuustapauksia

Vuonna 1980 tapahtunut M/V Derbyshiren uppoaminen Japanin eteläpuolella oli todellinen keskustelunavaaja kuivarahtialusten rungon kestävyydestä ja yleisestä turvallisuudesta. Alus oli malmilastissa matkalla Kanadan Sept-Ilesistä Japanin Yokohamaan. Se oli rakenteeltaan kaksirunkoinen ja myös kaikki ruumien väliset laipiot olivat kaksinkertaisia. Vankalta vaikuttavista rakenteista huolimatta alus upposi myrskyssä. Onnettomuuden syyksi todettiin myöhemmin kansiluukkujen pettäminen hirmumyrskyssä, jolloin vettä pääsi ruumaan. (Faulkner 1998.)

1900-luvun viimeinen puolisko oli kuivarahtialusten kannalta vaikeaa aikaa: Useita aluksia upposi ja sadat merimiehet menettivät henkensä. Yksi merkittävä hidaste turvallisuuden parantamisessa oli alan hidas reagointi onnettomuuksien tutkintaan. Siksi myöskään moniin epäkohtiin ei puututtu. Esimerkiksi Derbyshiren hylky löydettiin vasta yli kymmenen vuotta onnettomuuden jälkeen ja pääasiassa yksityisten tutkijoiden ponnistelujen ansiosta. (Jubb 2021.) Vuoden 1998 riippumattoman raportin jälkeen Iso-Britannia avasi Derbyshiren onnettomuustutkinnan uudelleen ja virallinen raportti valmistui vuonna 2000 (Admiralty Court 2000).



Kuva 3. Upponeet kuivarahtialukset vuosina 2005–2020 (Intercargo 2016; Intercargo 2021)

Ehkä merkittävin 2000-luvulla sattuneista kuivarahtialusten uppoamisista oli Stellar Daisyn tapaus vuonna 2017. Brasiliasta Kiinaan matkalla ollut alus upposi vain muutamassa minuutissa keskellä eteläistä Atlanttia, ja vain kaksi miehistön jäsentä selvisi. Uppoamisen syyksi todettiin rakenteellisen pettämisen aiheuttama kallistuma ja veden virtaaminen aluksen sisään. Rakennevaurioiden aiheuttajaksi arveltiin rungon pitkäaikaista väsymistä ja lopulta pettämistä vaikeissa sääolosuhteissa. Stellar Daisy oli entinen öljytankkeri, joka oli kuitenkin muutettu kuivarahtialukseksi luokituslaitoksen ohjeiden mukaisesti. (Republic of The Marshall Islands Maritime Administrator 2019.)

Vuosien 2011 ja 2020 välillä upposi yhteensä 34 kuivarahtialusta (kuva 3) ja 128 miehistön jäsentä menetti henkensä. Keskimäärin uponneet alukset olivat yli 20 vuotta vanhoja. Onnettomuusmäärät ovat laskemaan päin, mutta rakenteiden pettäminen on edelleen salakavala riski. (Intercargo 2021.)

2.3 Tiukennettuja vaatimuksia

Derbyshiren tapauksesta myöhemmin kirjoitettu riippumaton raportti esitti erilaisia tiukennuksia vaatimuksiin, jotka vielä tuolloin olivat voimassa. Suurimman kritiikin tapauksessa sai osakseen IMO:n kansainvälinen lastiviivayleissopimus (International Convention on Load Lines), johon esitettiin tiukennuksia muun muassa kansiluukkujen lujusvaatimuksiin. Raportissa myös vaadittiin vanhantyyppisten kansiluukkujen vaihtamista heti, sekä esitettiin suunnittelu- ja muutoksia keulan muotoon ja varalaidan korkeuteen. Muina huomiona esiin nostettiin muun muassa malmilastien vaikutus ruuman seinämien kestävyys- ja tietyjen hiiliteräslaatuja alttius pieniin murtumiin kovassa aallokossa. Lisäksi tutkinnassa havaittiin, että suurten aaltojen aiheuttamat taivutusmomentit saattoivat ylittää suunnittelukriteereinä käytetyt momentit jopa moninkertaisesti. (Faulkner 1998, 87–88.)

IMO lisäsi SOLAS-sopimukseen (Kansainvälinen yleissopimus ihmishengen turvallisuudesta merellä) vuonna 1997 luvun XII – Additional Safety Measures for Bulk Carriers, jossa listattiin tarkempia vaatimuksia kuivarahtialusten turvallisuuteen. Derbyshiren onnettomuustutkintaraportin jälkeen IMO teki selvityksen kuivarahtialusten turvallisuusongelmista ja vuonna 2002 se muutti lastiviivayleissopimuksen ja SOLAS-sopimuksen luvun XII sisältöjä. (IMO 2019.)

IACS teki IMO:n pyynnöstä selvityksen kuivarahtialusten laipioiden kestävydestä onnettomuustilanteissa. Selvityksessä kävi ilmi, että laipiot eivät silloisilla kriteereillä välttämättä kestäneet lastin ja veden aiheuttamaa painetta, ja että laipion pettäessä alus voisi upota hyvinkin nopeasti. (IMO 2019.) Derbyshiren onnettomuustutkinnassa huomiota saaneiden kansiluukkujen osalta IACS muutti kriteereitä luukkujen kestävyydelle. Uudessa laskutavassa huomioitiin myös varalaidan korkeus ja luukun sijainti aluksessa. Erityisesti aluksen keulan läheisyydessä olevien luukkujen kestävyydeltä vaadittiin suurempaa lujuutta. (IACS 2010.)

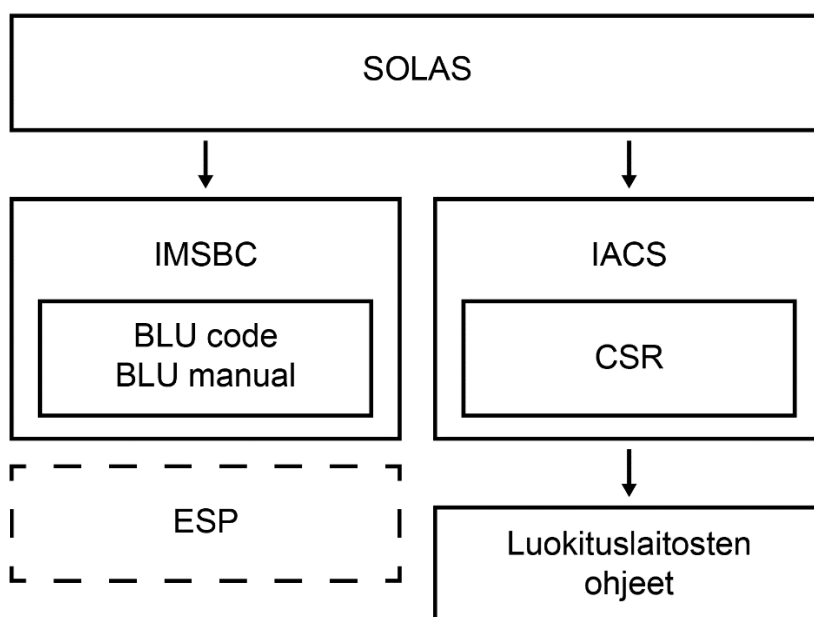
Stellar Daisyn onnettomuustutkintaraportissa vastuu uusien suunnittelukriteerien luomisesta siirrettiin aluksen luokituslaitokselle. Uusissa kriteereissä aluksen rakenteiden tulisi kestää suuria leikkausvoimia. Lisäksi luokituslaitoksen tulisi seurata luokittamiensa alusten rungon vaurioita, jotka eivät ole seurausta törmäyksestä tai karilleajosta. SOLAS-sopimukseen esitettiin myös muutosta, jonka mukaan yli 150-metrinen raskaita lasteja (tiheys yli 1 000 kg/m³) kuljettavan kuivarahtialuksen tulisi kestää kokonaisen osaston (kahden peräkkäisen laipion välinen tila, esimerkiksi lastiruuma tai kofferdam) täyttymisen vedellä. (Republic of The Marshall Islands Maritime Administrator 2019, 81–83.)

Stellar Daisyn luokituslaitos, Korean Register of Shipping (KR), teki hätätarkastuksia muihin samanlaisiin öljytankkereista muutettuihin kuivarahtialuksiin, joista osassa havaittiin samanlaisia runkovaurioita. IMO otti lippuvaltion esittämät muutokset käsittelyyn vuonna 2020, mutta vielä on epäselvää, tuleeko yleissopimukseen vaadittuja muutoksia. (Bakhsh 2019.)

3 SÄÄDÖSPOHJA

3.1 SOLAS, luku XII

SOLAS-sopimus on pohja lähes kaikelle merenkulun sääntelylle (kuva 4). Sopimus koostuu useista luvuista, jotka säätelevät myös erityisesti kuivarahtialuksia koskevia vaatimuksia. SOLAS-sopimuksen luku XII asettaa vaatimuksia muun muassa kuivarahtialusten rakenteellisiin vaatimuksiin ja kestävyyteen, vakavuuteen, katsastuksiin, aluksen tilaa valvoviin laitteisiin ja pumppuihin (IMO 2020b, XII).



Kuva 4. Kuivarahtialuksia koskevia säädöksiä

SOLAS-sopimuksen mukaisesti yli 150-metrinen kuivarahtialuksen, joka kuljettaa tiheydeltään yli 1 000 kg/m³ olevaa lastia, tulisi kestää minkä tahansa yksittäisen ruuman täytyminen vedellä. Tilanteessa on otettava huomioon myös veden aiheuttamat dynaamiset vaikutukset. Jotta ruuma ja rakenteet kestäisivät tämän, on tarpeen mukaan tehtävä rajoituksia lastin sijoitteluun ja maksimikantavuuteen. Tämä ei kuitenkaan päde vanhempiin aluksiin, eli ennen vuotta 1999 tai 2006 rakennettuihin (säännöstä riippuen). Ennen vuotta 1999 rakennettujen yli 150-metrinen kuivarahtialusten tulee kuitenkin kestää keuhkimaisen ruuman täytyminen vedellä, jos se kuljettaa tiheydeltään yli 1 700 kg/m³ olevaa lastia. Lisäksi, mikäli alus ei vastaa annettuja kriteereitä, sen ruumia ei saa kymmenen vuoden iän jälkeen jättää matkalla tyhjäksi, vaan ne on täytettävä vähintään 10 %:iin maksimista. (IMO 2020b, XII/4–6, 14.)

Yli 150-metrisissä aluksissa on SOLAS:n mukaisesti oltava asennettuna alukseen kohdistuvia voimia ja momenteja mittaava laitteisto (loading instrument). Lisäksi aluksissa on oltava vedenpinnantasoa lastiruumissa, keulimmaisissa painolastitankeissa ja muissa tiloissa mittaava laitteisto, joka antaa hälytyksen tietyn rajan jälkeen komentosillalle. (IMO 2020b, XII/11–12.)

3.2 IMSBC, BLU Code ja BLU Manual

Kansainvälinen kiinteiden irtolastien aluskuljetuksia koskeva säännöstö (International Maritime Solid Bulk Cargoes Code, IMSBC) ohjeistaa irtolastien turvallisessa kuljetuksessa ja kertoo vaaroista, joita tiettyihin lasteihin liittyy. IMSBC:n avulla pyritään välttämään lastin aiheuttamia vaaratilanteita, kuten rungon vaurioitumisia, vakavuuden menetyksiä tai lastin reagoiteja. Näitä voivat aiheuttaa esimerkiksi varomaton lastin sijoittelu tai lastin ominaisuuksien huomiotta jättäminen. IMSBC:n osaksi luetaan myös BLU Code (Code of Practice for the Safe Loading and Unloading of Bulk Carriers) ja BLU Manual. (IMO 2020a.)

IMSBC ohjeistaa, että tiheiden lastien lastauksessa on noudatettava erityistä varovaisuutta ja tarkkuutta lastin sijoittelussa, jotta rakenteita ei vaurioiteta tai vakavuutta heikennetä. Huomionarvoista on, että rakenteet voivat vaurioitua koko laivassa, eivätkä ainoastaan siinä ruumassa, jota milläkin hetkellä lastataan. (IMO 2020a, 2.1.) Vakavuus on laskettava huonoimpien mahdollisten ennusteiden mukaan (IMO 2020b, II/5). Raskaat lastit on pyrittävä pitämään mahdollisimman alhaalla aluksen ruumassa (IMO 2020a, 2.1).

IMSBC:n mukaisesti lastiruumat on tarkastettava ennen lastausta. Erityistä tarkkuutta vaativia kohteita ovat pilssikaivot sekä erilaiset kiinnikkeet ja ulokkeet. Lisäksi IMSBC sisältää ohjeita työturvallisuuteen, listoja nesteytyvistä ja kemiallisesti vaarallisista lasteista sekä tietoja tiettyjen lastien kuljetuksiin liittyen. (IMO 2020a, 2.2–13.)

BLU Code sisältää ohjeita lastin turvalliseen käsittelyyn lastaus- ja purkutilan-teissa sekä painolastia käsitellessä. BLU Manual (Manual on Loading and Un-loading of Solid Bulk Cargoes for Terminal Representatives) taas on pääpiir-teissään sama säännöstö kuin BLU Code, mutta se on suunnattu terminaalioperaattoreille ja muille vastaaville tahoille (IMO 2020a).

3.3 ESP Code

ESP Code (International Code on the Enhanced Programme of Inspections During Surveys of Bulk Carriers and Oil Tankers) määrää kuivarahtialusten eri määräajoin tehtävistä katsastuksista. ESP-ohjelma sisältää tarkastuksia muun muassa aluksen rakenteille, rungon paksuudelle, painolastitankeille, kansiluu-kuille sekä kaksoispohjan tankeille. (IMO 2013.)

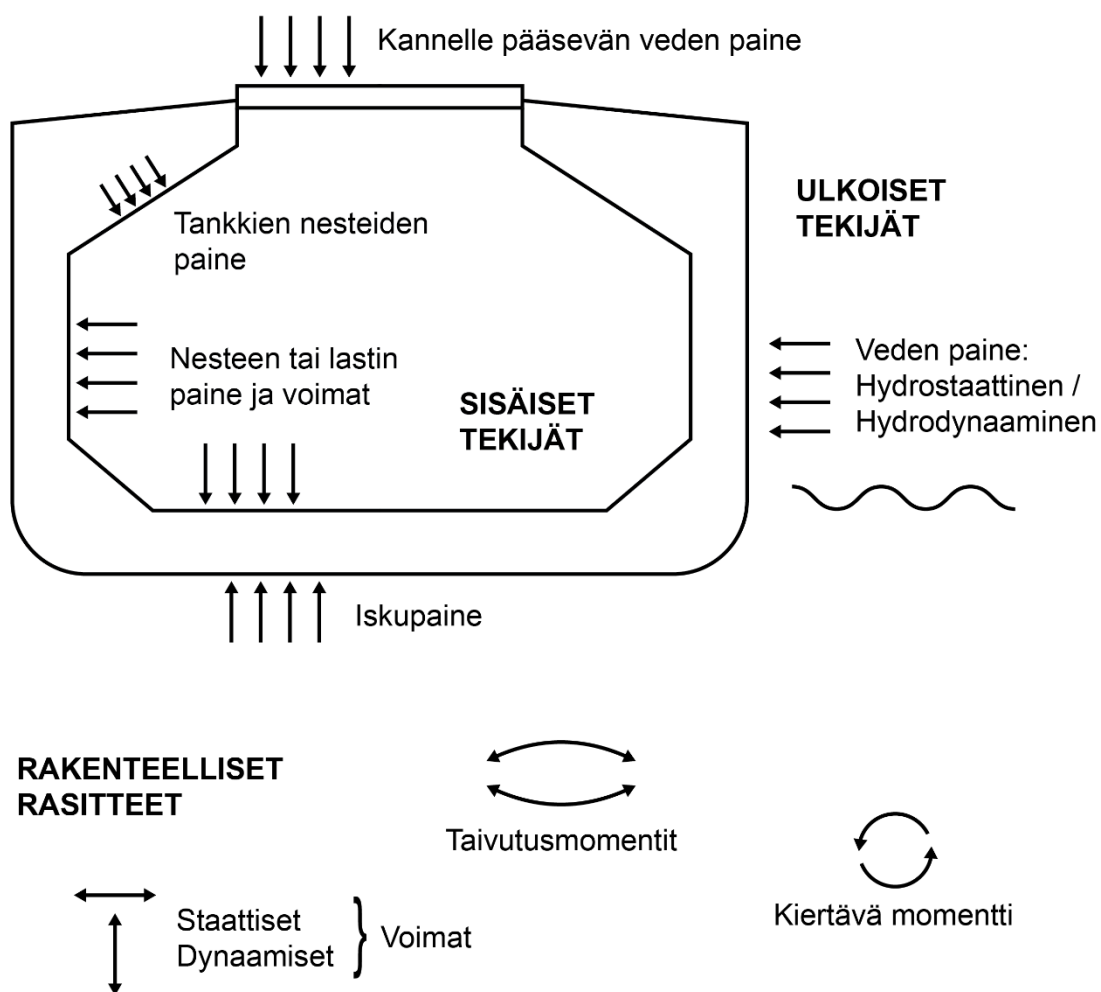
3.4 IACS CSR for Bulk Carriers and Oil Tankers

IACS asettaa jäsenluokituslaitoksia koskevia yleisiä vaatimuksia, joista kuivarahtialusten osalta säädetään Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers -julkaisussa. Se määrittää yhteiset säännöt runkojen kestävyydelle sekä vaatimusten täyttymisen testaamiselle. Säännöstössä säädetään muun muassa aluksen ruumien, tankkien ja tilojen sijoittelusta, runkomateriaaleista sekä erilaisista lujuusvaatimuksista yksityiskohtaisella tasolla. (IACS 2021.)

4 RISKIKOHDAT

4.1 Kuivarahtialukseen vaikuttavat rasitteet

Laivasuunnittelun lähtökohtana on suunnitella alus, joka kestää staattisia ja dynaamisia vaikutuksia koko elinkaarensa ajan. Staattisiksi rasituksiksi lasetaan sellaiset tekijät, jotka aiheutuvat aluksen itsensä, lastin, polttoaineen tai painolastin massasta sekä esimerkiksi meriveden aiheuttamasta paineesta aluksen runkoon sen kelluessa vedessä. (IACS 2021, 159–241.)



Kuva 5. Kuivarahtialukseen vaikuttavia rasitteita (IACS 2020; IACS 2021)

Staattisia tekijöitä monimutkaisempia ovat sellaiset, jotka muuttuvat jatkuvasti. Näitä kutsutaan dynaamisiksi rasitteiksi. Niitä aiheuttaa aallokko, jonka vaikutus johtaa muihin ilmiöihin aluksen liikkuessa. Aluksen liikehdintä aiheuttaa esimerkiksi kiihtyvyyksiä, pohjaiskuja sekä vapaiden nestepintojen momentteja. (IACS 2021, 159–241.)

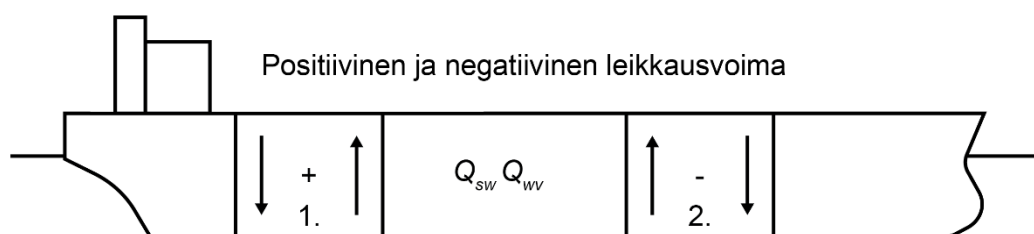
Sekä staattiset että dynaamiset tekijät aiheuttavat aluksen rakenteissa rasituksia. Ihanneolosuhteissa nämä pysyvät pieninä, mutta esimerkiksi väärin tai liikaa lastattuun alukseen kohdistuu suurempi rasitus. Tällaisessa tilanteessa myös aluksen sietokyky suurilla dynaamisilla rasituksilla kohtaan on heikompi. (IACS 2020, 9.)

Rasitteiden aiheuttajia on sekä aluksella että sen ulkopuolella. Näin ollen rasitteet voidaan jakaa kahteen pääkategoriaan: Sisäisiin ja ulkoisiin. Toisin sanoen tekijöihin, joihin voidaan vaikuttaa suoraan tai epäsuorasti. Pyrkimyksenä on minimoida näistä aiheutuvat rakenteelliset rasitukset. (Kuva 5.) (IACS 2021.)

Vaikuttavia fysikaalisia suureita ovat leikkausvoimat ja momentit. Nämä tekijät vaikuttavat alukseen eri suunnissa, mutta tärkeimpänä aluksen pituussuuntaiseen lujuuteen. Se taas koostuu aluksen rakenteista: Sääkannesta, rungosta, kaksoispohjan ja tankkien tukirakenteista sekä erilaisista vahvikepalkeista (hull girders). (IACS 2020, 10.)

4.1.1 Leikkausvoimat

Leikkausvoimilla (tunnus Q) tarkoitetaan sellaisia voimia, jotka työntävät yhtä osaa tiettyyn suuntaan ja toista osaa vastakkaiseen suuntaan. Käytännössä laivalla nämä voimat kohdistuvat pystysuuntaisesti. Tällaiset voimat rikkovat aluksen rakennetta. (Isbester 1993, 127–129.)



Kuva 6. Alukseen vaikuttavat leikkausvoimat (IACS 2021, 161)

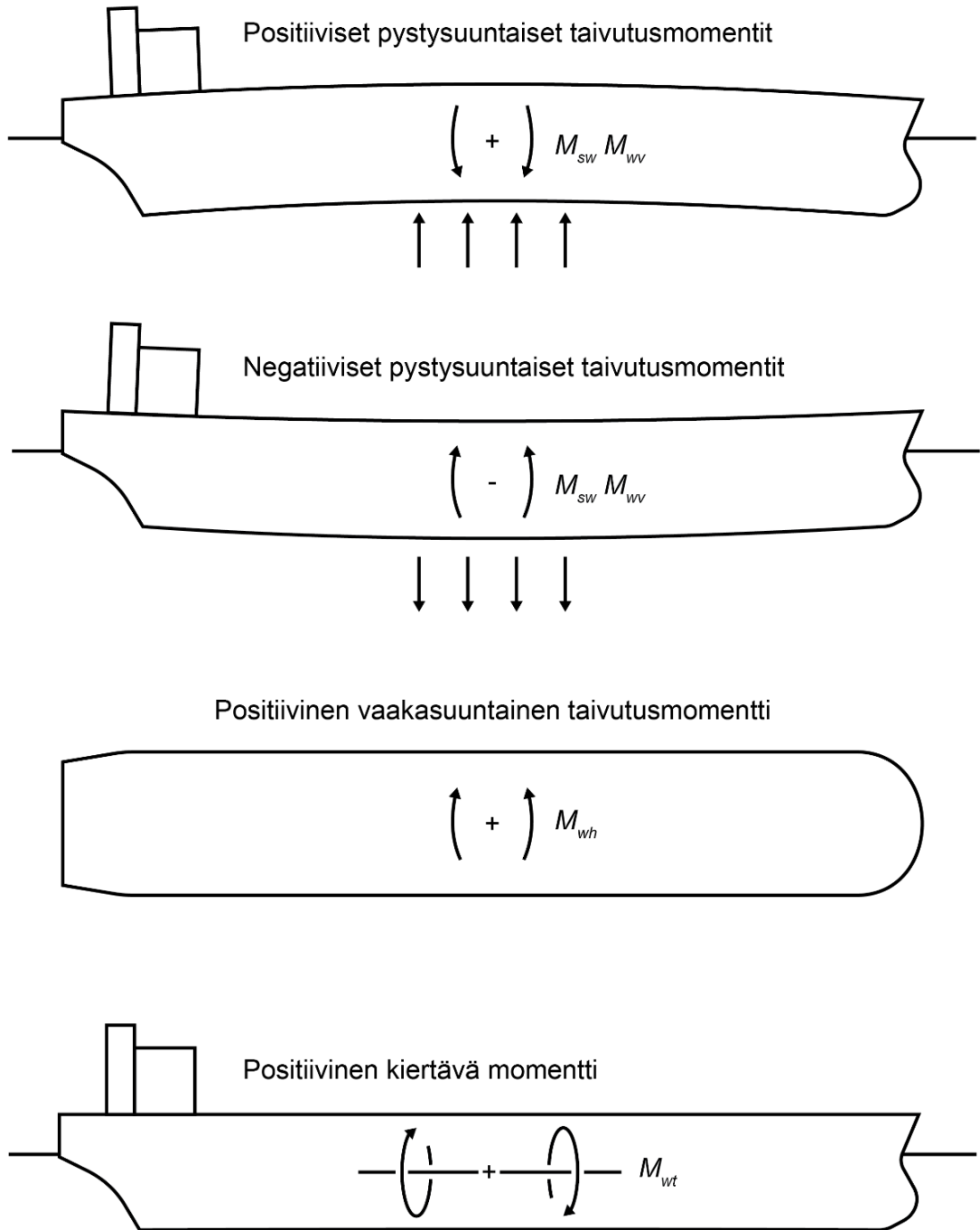
Alukseen vaikuttavat leikkausvoimat voidaan jaotella aluksen itsensä ja sen lastin aiheuttamiin voimiin (tunnus Q_{sw} , still water) sekä aallokon aiheuttamiin voimiin (Q_{wv} , wave vertical). Leikkausvoimia koskevista merkkisäännöistä on sovittu, että positiivisia voimia ovat sellaiset, jotka kohdistuvat alaspäin poikittaisen leikkauksen perän puolella ja ylöspäin keulan puolella (kuva 6, tilanne 1). Negatiivisia voimia taas ovat päinvastaiset (kuva 6, tilanne 2). (IACS 2021, 161.)

4.1.2 Taivutus- ja kiertomomentit

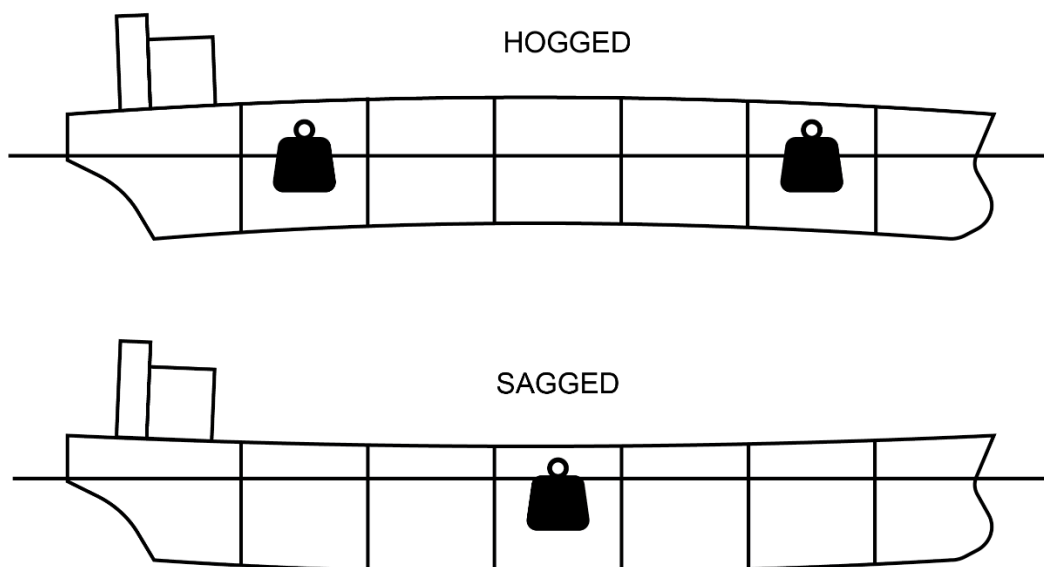
Erilaisten massojen epätasainen sijoittelu aluksella aiheuttaa taivutusmomenteja (tunnus M), jotka pyrkivät vääntämään aluksen runkoa. Tietyssä pisteessä vaikuttava momentti on kaikkien sen pisteen ja aluksen perän tai keulan välillä vaikuttavien momenttien summa. Kuten leikkausvoimien osalta jo todettiin, myös taivutusmomenteja voivat aiheuttaa aallokko (M_{wv}) tai aluksen ollessa paikallaan sen lasti (M_{sw}). (Isbester 1993, 127–129.)

$$\sum M_{sw} = M_1 + M_2 + \dots + M_n$$

Nimenomaan pystysuuntaiset taivutusmomentit aiheuttavat eroa aluksen keskikohdan syväydessä. Syväyden epätasaisuuksista puhuttaessa käytetään englanninkielisiä termejä ”hogging” ja ”sagging” (kuva 8). Hogging tarkoittaa, että suurin osa aluksen massasta on sen keula- ja peräosissa. Toisin sanoen aluksen syväys keskilaivassa on pienempi kuin sen keulan tai perän sysäys. Sagging vastaavasti tarkoittaa, että massat ovat keskellä alusta ja syväys suurempi keskilaivassa. (Isbester 1993, 107.)



Kuva 7. Alukseen vaikuttavia momenteja (IACS 2021, 161)

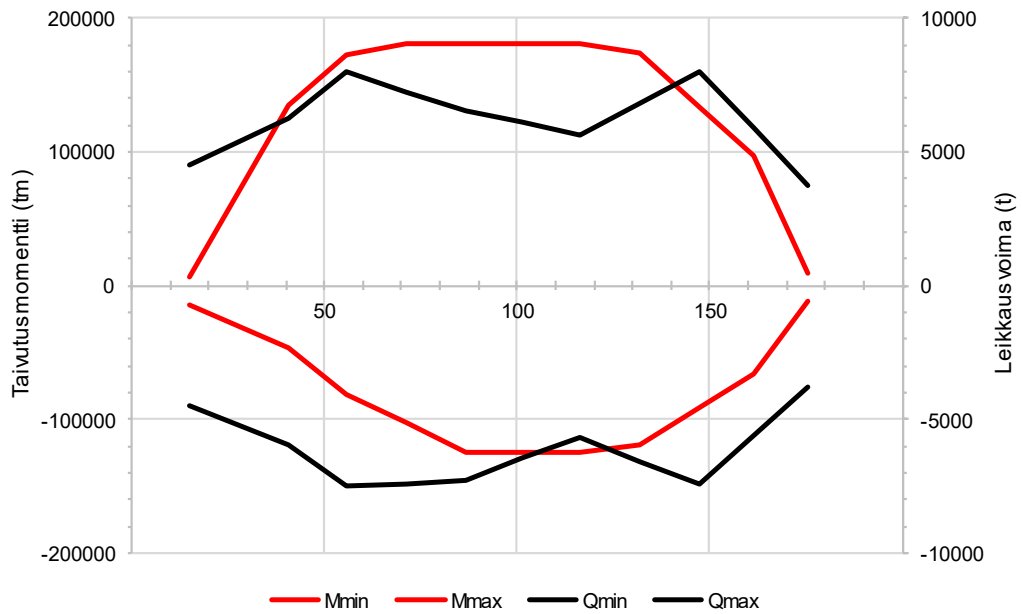


Kuva 8. Aluksen "hogging" ja "sagging" (Isbester 1993, 107)

Pystysuuntaisten momenttien lisäksi alukseen voi kohdistua lisäksi vaakasuuntaisia momenteja (tunnus M_{wh}) sekä vääntäviä momenteja (M_{wt}). Merkkisääntöjen osalta (kuva 7) on sovittu, että pystysuuntaiset taivutusmomentit ovat positiivisia, kun ne aiheuttavat vetoa aluksen kansirakenteisiin. Tilanteesta käytetään myös nimitystä "hogging moment". Vaakasuuntainen taivutusmomentti taas on positiivinen, kun momentti pyrkii kääntämään aluksen keulaa ja perää paapuurin puolelle. Kiertävä momentti taas on positiivinen, kun aluksen perästä katsottuna perän puoleinen kiertosuunta on vastapäivään ja keulan puoleinen myötäpäivään. (IACS 2021, 161.)

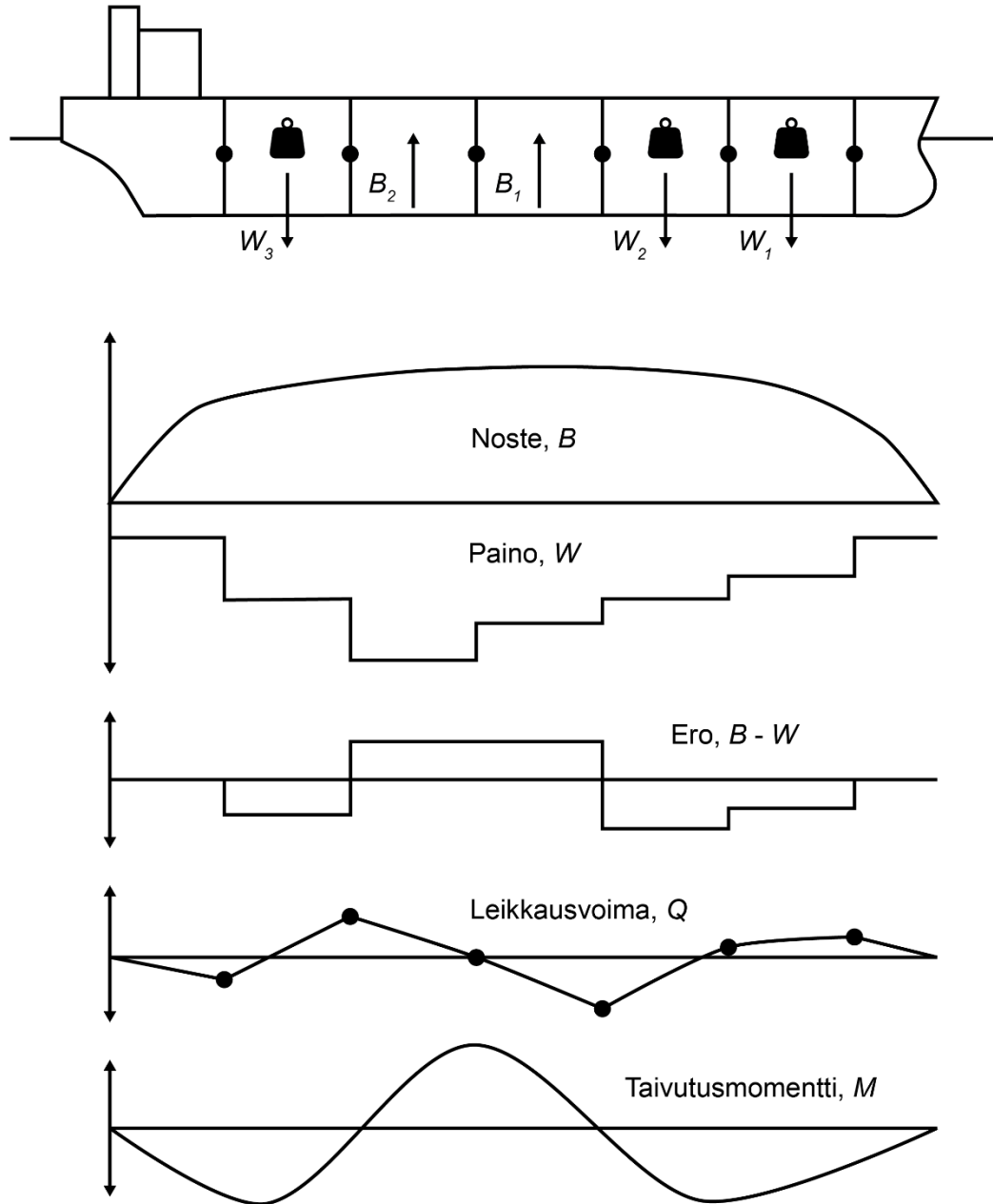
4.1.3 Sallitut rajat

Staattisten leikkausvoimien ja taivutusmomenttien sallitut rajat ovat aluskohtaisia. Kumpiinkin on saatavilla yleensä kahdet maksimiarvot: Satamaan, jossa dynaamiset vaikutukset ovat pienempiä, sekä merelle, jossa aallokko voi aiheuttaa suurempia rasituksia. Koska ainoastaan staattisten voimien ja momenttien laskenta on tarkkaa, laiva ei voi merelle lähtiessään ylittää määritettyjä raja-arvoja (kuva 9). (IACS 2020, 9.)

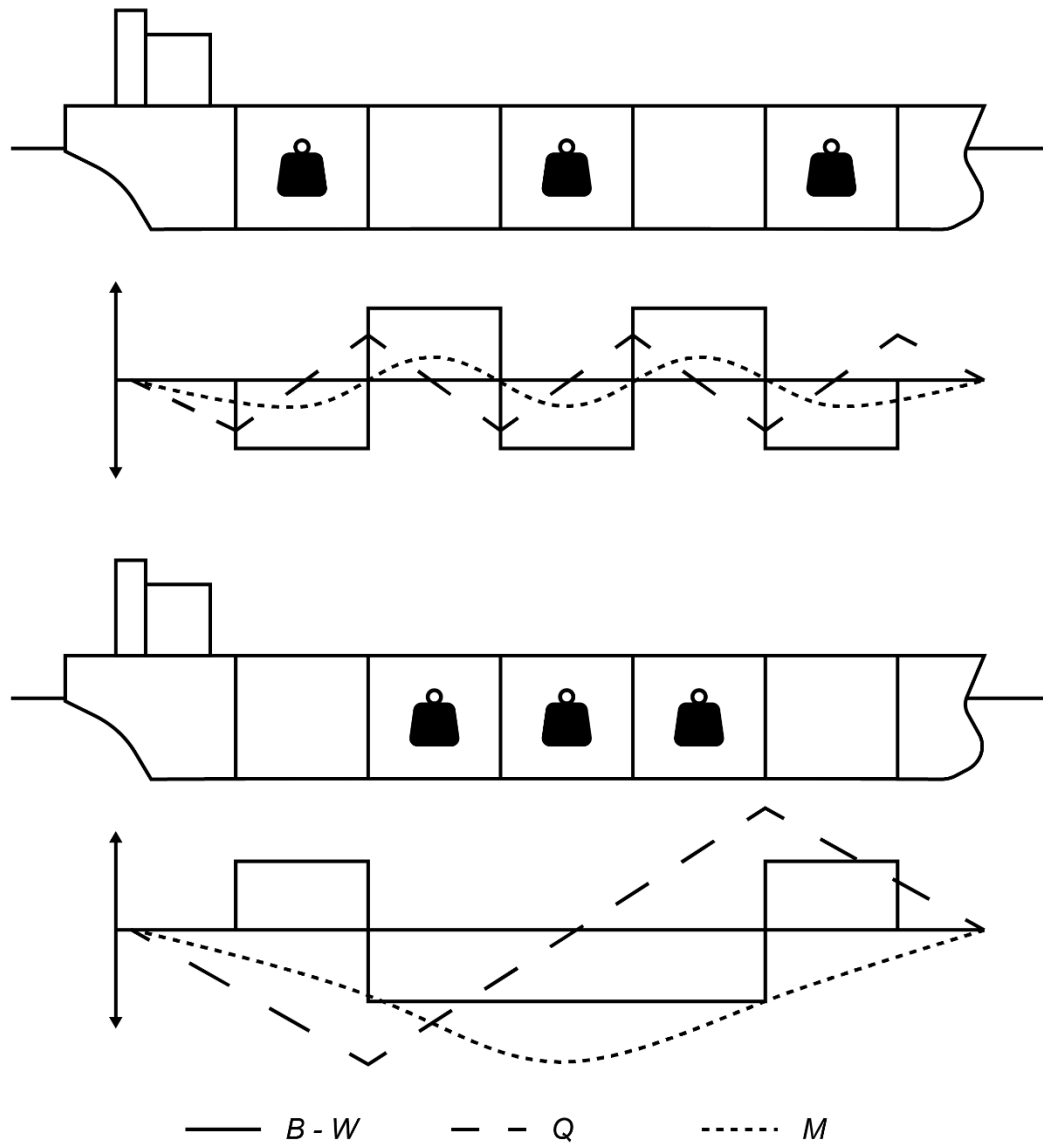


Kuva 9. NAPA-ohjelman kuivarahtialuksen taivutusmomentti- ja leikkausvoimakäyrät

Leikkausvoimien ja taivutusmomenttien manuaalinen laskeminen on työläs prosessi. Jokainen laivalla oleva massa on laskettava, kuten myös näihin liittyvät momentit. Laskennoissa on tehtävä korjauksia, joilla kompensoidaan muun muassa trimmin vaikutuksia. Näin saadaan taivutusmomenttien ja leikkausvoimien arvoista kaavio eri kohdissa laivaa (kuva 10). Arvot ilmaistaan usein prosentteina maksimista. (Isbester 1993, 129–131, 347.) Erilaisissa lastitilanteissa voimat ja momentit ovat eri suuruisia (kuva 11).



Kuva 10. Leikkausvoimien ja momenttien yhteys massoihin (Isbester 1993, 129–131, 347)



Kuva 11. Leikkausvoimien ja momenttien suuruus eri lastitilanteissa

4.1.4 Dynaamiset tekijät

Laivan lähtiessä satamasta, se altistuu jaksottaiseen leikkausvoimien ja taivutusmomenttien toistumiseen. Aallokko muuttaa jatkuvasti aluksen rungon osiin kohdistuvaa nostetta, mikä taas johtaa uusiin voimiin ja momentteihin. Näin ollen merellä alukseen vaikuttaa siis staattisten ja dynaamisten tekijöiden summa. (IACS 2020, 9.)

$$\sum M_v = M_{sw} + M_{wv}$$

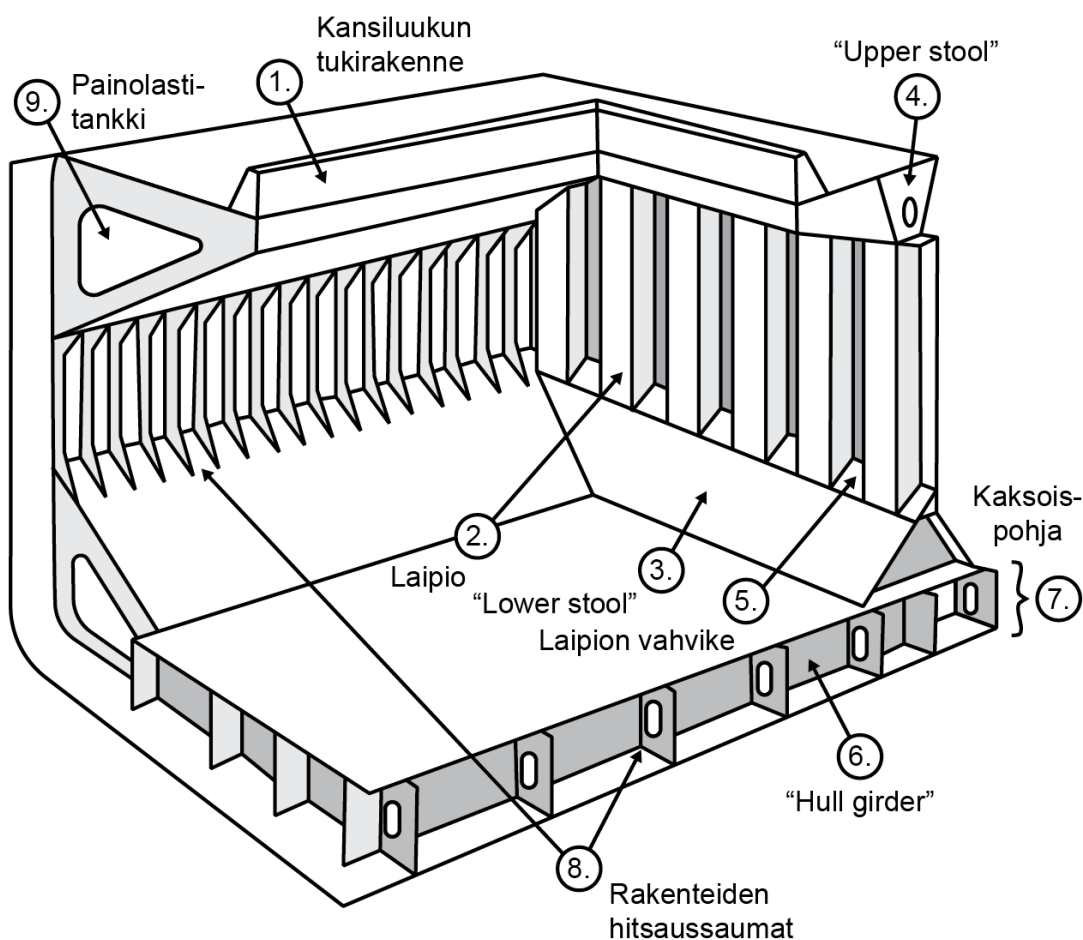
$$\sum Q_v = Q_{sw} + Q_{wv}$$

Esimerkkeinä muista dynaamisista vaikutuksista voidaan antaa tankeissa olevien nesteiden liikehdintä (sloshing) sekä pohjaiskut aluksen keulan liikkuesssa aallokossa (slamming). Keulan noustessa hetkellisesti merenpinnan yläpuolella ja iskeytyessä takaisin veteen, kohdistuu keulaan suurempia dynaamisia kuormituksia. (IACS 2020, 9.) Nopeasti vaihtelevilla rasituksilla on lyhyt vaikutusaika, mutta niihin liittyy suuria energioita. (Hirdaris 2021.)

4.2 Rakenteellisesti heikot pisteet

Kuivarahtialusten turvallisuus ja rakenteellinen kestävyys paranee jatkuvasti uusien säädösten ja teknisten harppausten ansiosta. Riskejä on silti olemassa ja niitä voidaan paikallistaa: Rakenteellisia heikkouksia löytyy esimerkiksi kansiluukuista, laipioista, kyljistä, pohjasta ja keulasta. (Dry Cargo International 2014.)

Perinteisenä esimerkkinä vaaranpaikasta on tilanne, jossa kuivarahtialuksen ruumaan pääsee vettä. Rajummassa tapauksessa vesi täyttää ruuman, repii seuraavaan ruumaan johtavan laipion ja myös seuraava ruuma täytyy vedellä. Tietystä pisteestä aluksesta riippuen veden paino voittaa rungon nosteen ja laiva uppoaa.

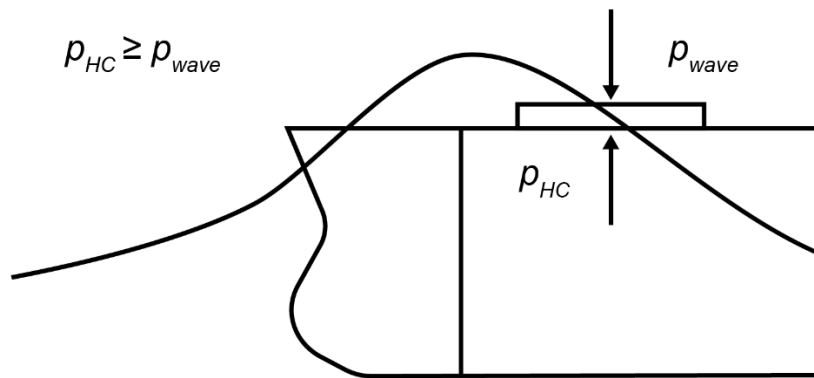


Kuva 12. Tyypillisen kuivarahtialuksen rungon rakenteet ja heikkoja pisteitä (Vassalos ym. 2003, 661; Barber 2020a; IACS 2020; Barber 2021)

Kuivarahtialusten tapauksessa pienet vauriot ovat yleisiä suurten tiheyksien ja lastausnopeuksien vuoksi. Pieniltä ja merkityksettömiltä vaikuttavat vauriot voivat nekin kuitenkin johtaa suurempaan onnettomuuteen.

On tärkeää huomioida, että lastit ja tankkien sisällöt vaikuttavat aluksen runkoon paikallisesti. Lastauksen suunnittelussa ja arvojen mittaamisessa hyödynnetään luokituslaitoksen määrittämiä raja-arvoja leikkausvoimille ja taivutusmomenteille, mutta ne pätevät ainoastaan aluksen runkoon kokonaisuutena. Toisena metodina voidaan käyttää rungon rasituksia mittaavaa järjestelmää (HSMS), mutta kuten luokituslaitoksen kuvaajat, sekään ei auta kohdistamaan rasituksia yksittäisiin pisteisiin. (Barber 2021.)

Suurimpia vaaranpaikkoja kuivarahtialuksen rungossa ovat kansiluukut ja niiden tukirakenteet (kuva 12, kohta 1). M/V Derbyshiren tapauksessa onnettomuuden pääsyyksi pääteltiin lopulta kansiluukkujen pettäminen ja veden pääsy ruumaan. Erityisesti aluksen keulaosassa olevat luukut ovat merkityksellisiä, sillä niihin kohdistuvat suurimmat aallokon aiheuttamat vaikutukset. (Vassalos ym. 2003, 661.) Kansiluukkujen kestävyydelle on kuitenkin asetettu vaatimuksia (IACS 2010).

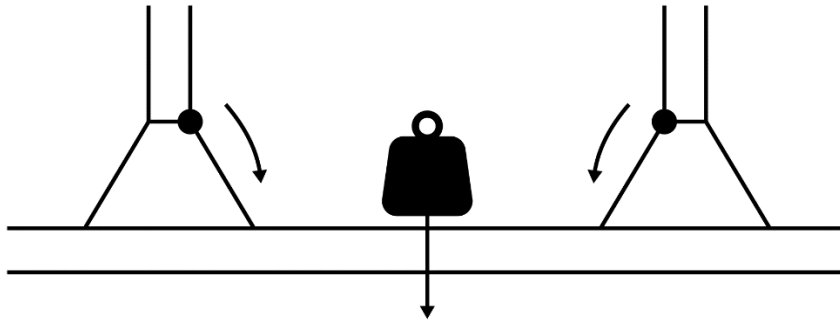


Kuva 13. Kansiluukkuihin kohdistuva paine "green seas"-tilanteessa (Vassalos ym. 2003, 662–663, 679)

Kovassa merenkäynnissä keulan liikehdintä ja aallonkorkeus voi aiheuttaa sen, että keulaa "sukeltaa" hetkellisesti veden alle ja vettä pääsee kannelle (kuva 13). Tällöin kansiluukkujen kestävyysvaatimukset tulevat tarpeeseen. Aaltojen aiheuttamia paineita on vaikea laskea, sillä aallokko muuttuu jatkuvasti ja sisältää dynaamisia komponentteja. Allaskokeilla on kuitenkin voitu todistaa, että tietyissä tilanteissa aallon aiheuttama paine on suurempi (jopa 260 kPa) kuin minimikestävyysvaatimukseksi asetettu 34,3 kPa (aluksen dokumenteissa ilmaistu usein muodossa 3,5 t/m²). Todellisuudessa minimivaatimus voi olla suurempi ja riippuu aluksen koosta, eikä vaaraa välttämättä ole. Lisäksi kansiluukkujen suunnittelussa varataan turvamarginaali, joka kasvattaa kestävyyttä ennestään. (Vassalos ym. 2003, 662–663, 679.)

Ruumien väliset poikittaiset laipiot ovat toinen esimerkki heikosta pisteestä. Erityisesti lastatessa siten, että seuraava ruuma on tyhjiään, kohdistuu laipioon ja sen kiinnityksiin suurempia rasituksia. (IACS 2020.)

Ruumien väliset laipiot on yleensä valmistettu aaltomuotoon taivutetusta levystä (kuva 12, kohta 2). Alhaalta se on kiinnitetty hitsatulla saumalla puoli-suunnikasta muistuttavaan rakenteeseen (lower stool, kuva 12, kohta 3) ja ylhäältä vastaavanlaiseen rakenteeseen (upper stool, kuva 12, kohta 4). Laipion ”aaltojen” välissä on lisätukea antamassa levy (kuva 12, kohta 5), joka on ikään kuin jatketta alaosan rakenteelle. (Barber 2021.)



Kuva 14. Laipioiden heikot pisteet rungon taipuessa (Barber 2021)

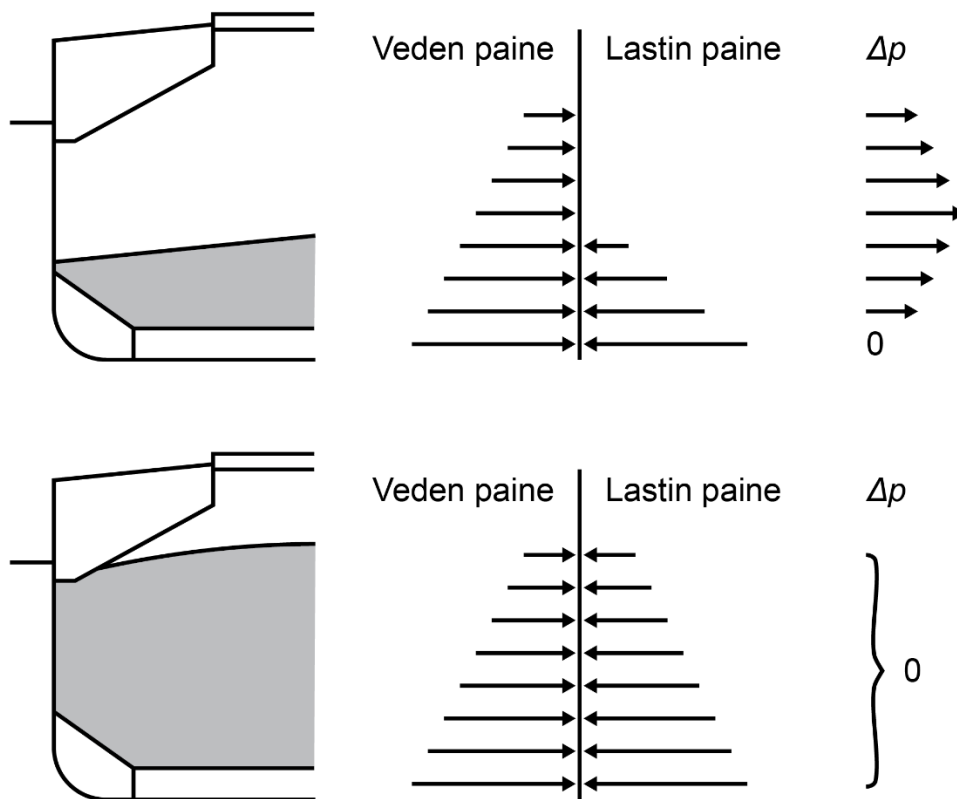
Eräillä capesize-kokoluokan aluksilla tehdyissä mittauksissa todettiin, että runko voi vääntyä lastin vaikutuksesta vain yhden ruuman pituudelta jopa 1–2 cm. Samalla laipioiden alaosat kääntyvät rungon mukaisesti sisäänpäin. Erityisesti tilanteissa, joissa lastataan hyvin tiheää lastia, lasti itsessään ei välttämättä ylety laipioihin saakka tai siten tue laipion rakenteita. Näin ollen vaikutukset näkyvät myös laipioiden kiinnitysten kestävydessä (kuva 14, musta pallo). Useimmissa tapauksissa laipion heikoin piste on nimenomaan laipion ja alarakenteen välinen kiinnityssauma, joka rakenteiden kiertyessä pääsee pettämään. (Barber 2021.)

Kuivarahtialuksen runko koostuu kyljistä, kannesta ja kaksoispohjasta, joita on vahvistettu erilaisin palkein. Pituussuuntaisista rakenteista koostuvaa kokonaisuutta kutsutaan englanninkielisellä termillä hull girder (kuva 12, kohta 6). Vahvikkeiden tarkoituksena on vastustaa rungon taipumista. (IACS 2020.)

Kun alus liikkuu aallokossa, sen liikehdintää pystyy joskus havainnoimaan silmin ilman tarkkoja mittalaitteita. Tämä rungon ja kaksoispohjan (kuva 12, kohta 7) liikehdintä aiheuttaa todistetusti halkeamia rakenteissa. Erään aluk-

sen kaksoispohjassa tehdyssä mittauksessa saatiin selville, että runko voi liikkua keskikohdan ja keulan välillä jopa ± 10 cm pystysuunnassa. Tämä jaksollinen liikehdintä pystyttiin yhdistämään suoraan kaksoispohjassa esiintyviin säroihiin. (Barber 2020a.)

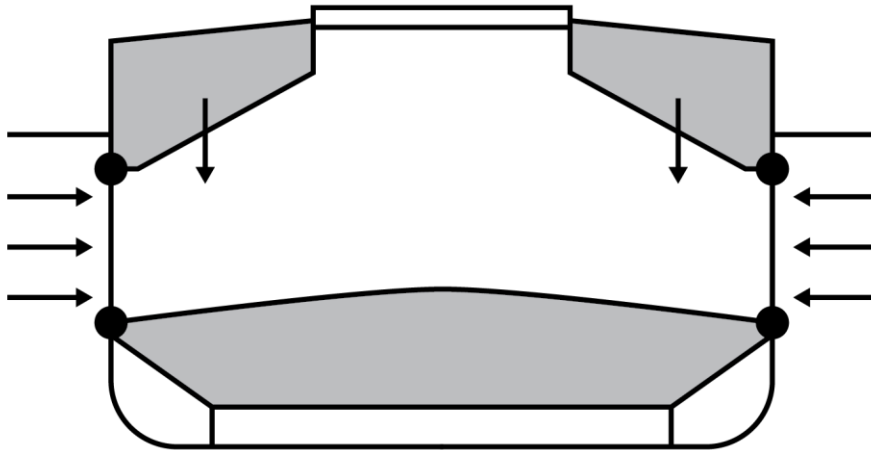
Kuten aiemmin jo todettiin, alus voi taipua hyvinkin huomattavasti vain lyhyellä osalla runkoa. Tällöin riskinä on vaurioittaa rungon pituus- ja leveysuuntaisten vahvikkeiden kiinnityspisteitä (kuva 12, kohta 8). Sama pätee myös aluksen kylkiin ja niissä oleviin vahvikkeisiin. (IACS 2020.)



Kuva 15. Kylkeen voi kohdistua paine-ero erilaisissa lastitilanteissa (Akbar ym. 2021)

Lastatessa tiheydeltään suuria lasteja, ruuma voi joskus jäädä huomattavan vajaaksi. Tästä syystä lasti tukee kylkeä vain pieneltä alueelta (kuva 15). Tällöin kyljen yläosissa ei välttämättä ole voimaa, joka tasapainottaa vedenpaineen aiheuttamaa vaikutusta ja ainoa suoja on kyljen oma kestävyys. Kun taas ruuma lastataan täyteen pienempitiheyksistä lastia, kylkeen kohdistuvat voimat tasapainottuvat itsestään. (Akbar ym. 2021.)

Tilannetta, jossa kylkeen kohdistuu jo suuria voimia, voi pahentaa se, että aluksen yläosan painolastitankkeja (kuva 12, kohta 9) täytetään. Tällöin painolastin ja meriveden paine aiheuttavat kuormitusta kyljen tukirakenteisiin (kuva 16, musta pallo). (IACS 2020, 18.)



Kuva 16. Painolastin ja meriveden paineen yhteisvaikutus tiheän lastin kuljetuksessa vaikuttaa kyljen tukirakenteisiin (IACS 2020, 18)

SOLAS-sopimuksen luku XII vaatii, että ensimmäisen ruuman kaksoispohjan ja kahden ensimmäisen ruuman välisen laipion on kestettävä ensimmäisen ruuman täytyminen vedellä. Tietokonemallinnusten ja laskelmien avulla myös ensimmäiseen ruumaan liittyvät vaaranpaikat on pystytty paikallistamaan. Vaatimusten täyttämiseksi erityisesti laipioiden alaosat on vahvistettava riittävästi, sillä niihin kohdistuvat paineet ovat suurimpia. Lisäksi tilanteessa, jossa seuraava ruuma jätetään lastaamatta, voi kaksoispohjaan kohdistua suurempia rasituksia. (Servis ym. 2003.)

Kuivarahtialusten rungot rakennetaan hiiliteräksestä, jota on saatavilla erilaisissa laaduissa. Teräslaatuojen hiilipitoisuus vaihtelee tyyppin mukaan (taulukko 2). Tärkeimmät laivanrakennuksen teräslaadut ovat mild steel (MS) ja high-tensile steel (HTS). HTS:n etuna on sen edullisuus ja keveys eli mahdollisuus ottaa enemmän lastia. Kääntöpuolena kuitenkin on, että se on paljon alttiimpaa väsymiselle ja säröilylle sekä ohuet rakenteet ruostuvat suhteellisesti nopeammin. Lisäksi HTS-teräs on metalliseos (koostuu mm. mangaanista, ristikistä ja fosforista), mikä taas helposti johtaa huonoihin hitsausseamoihin. (TSCF 2013.)

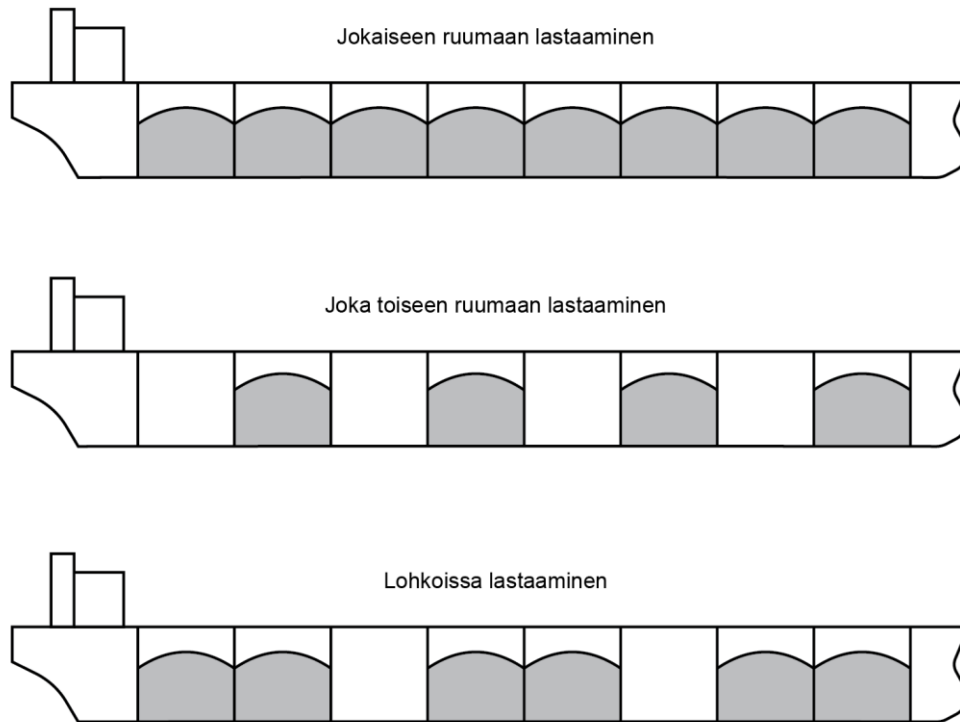
Taulukko 2. Teräslaatuojen ominaisuuksia (IACS 2021, 81–82; TSCF 2013)

Pää-luokka	Teräs-laatu	Myötöraja, R_{eH} , N/mm ²	Vetolujuus, R_m , N/mm ²	Suurin hiilipi-toisuus, %
MS	A B D E	235	400–520	0,12
HTS	AH 32 DH 32 EH 32	315	440–590	0,21
HTS	AH 36 DH 36 EH 36	355	490–620	0,21

IACS:n säännösten mukaisesti aluksen rakennusmateriaaliksi on valittava tietyn tasoinen teräslaatu. Teräslaadun vaatimukset jaotellaan aluksen osien mukaan. (IACS 2021, 83–84.)

4.3 Lastaukseen ja purkuun liittyvät riskit

Lastauksen ja vastaavasti myös lastin purkamisen aikana runko elää. Lastin sijoittelu aiheuttaa taivutusmomenteja ja leikkausvoimia koko alukseen, mutta myös edellä mainittuihin yksittäisiin pisteisiin. Liian nopea lastaus rasittaa sekin rakenteita. Yleisesti käytettyjä lastausmetodeja on useita: Kaikki ruumat voidaan täyttää samalla lailla, ruumia voidaan täyttää siten, että joka toinen tulee lastattua, ruumia voidaan lastata lohkoissa tai jättää vajaaksi (kuva 17). (IACS 2020, 15.)



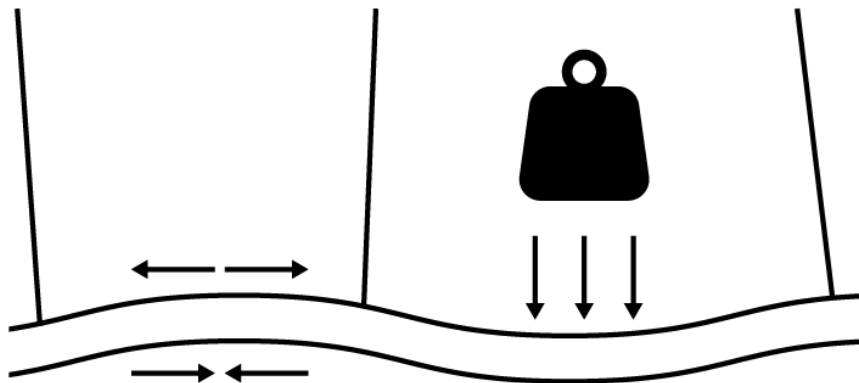
Kuva 17. Erilaisia lastausmetodeja (IACS 2020, 15–17)

Laivan lastaaminen tasaisesti (homogenous loading) on tyypillisintä pienen tiheyden lasteille (IACS 2020, 15). Kun kuljetetaan tiheydeltään suurempaa lastia, ruuman pienempi täyttöaste mahdollistaa vauriotilanteessa sen, että alukseen pääsee suuria määriä vettä, mikä taas voi pahimmillaan johtaa vakavuuden menettämiseen. (Bulk Carrier Guide 2010b.)

Joka toiseen ruumaan lastaaminen (alternate loading) on tyypillistä raskaille lasteille. Se nostaa painopistettä, mikä taas helpottaa aluksen rullausliikettä. Tyhjiksi jäävien ja täysinäisten ruumien välisiin laipioihin kohdistuu kuitenkin tässä tilanteessa suurempia voimia, mikä vaatii alukselta erityisiä rakenneratkaisuja. (IACS 2020, 16.)

Lohkoissa lastaamisella (block loading) viitataan siihen, että lastia kuljetetaan kahdessa tai useammassa vierekkäisessä ruumassa. Menetelmää hyödynnetään usein silloin, kun laivaa ei lastata kokonaan täyteen. Tällöin veden nosteen ja lastin painon välille on löydettävä tasapaino liiallisten leikkausvoimien välttämiseksi. Ruumia voidaan joutua jättämään myös vajaiksi (part loading). (IACS 2020, 16–17.)

Kun joka toiseen ruumaan tai lohkoissa lastaamisen ongelmiin otetaan mukaan aallokon tuoma dynaaminen vaikutus, heijastuu pohjan taipuminen myös kansirakenteisiin ja painolastitankkeihin. Tietokonemallinnuksilla on selvitetty, että kun tyhjän ruuman pohjaan kohdistuu voimia alapuolelta ja täysinäiseen ruumaan sisäpuolelta, on kaksoispohja vierekkäisissä ruumissa ikään kuin vastakkaisissa tilanteissa. Lastatun ruuman kaksoispohjaan kohdistuu rasitusta, kun taas tyhjän ruuman sisempi rakenne venyy ja alempi pohja painuu kasaan (kuva 18). Kokonaisuudessaan kaksoispohjan paikallinen taipuminen vähentää rungon lujiterakenteiden kestävyyttä jopa 20 prosenttia. (Pei ym. 2013.) Lisäksi ongelmia voi aiheuttaa lastin sijoittelu epätasaisesti pituussuunnassa ruuman sisällä. Tällöin rasituksia kohdistuu myös laipioihin. Jos taas lasti sijoitellaan laipion molemmin puolin laipiota vasten, kohdistuu laipion kiinnityskohtiin rasituksia ja runkoon taivutusmomenteja. (IACS 2020, 27–28.)

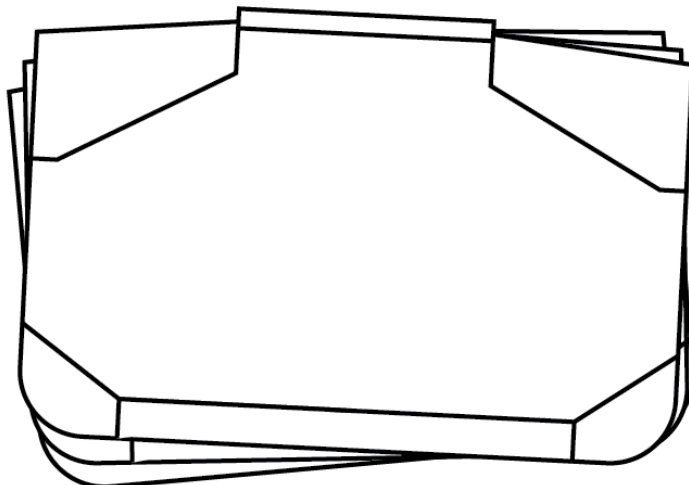


Kuva 18. Joka toiseen ruumaan lastaaminen aiheuttaa aallokossa vierekkäisiin ruumiin vastakkaisia vaikutuksia (Pei ym. 2013)

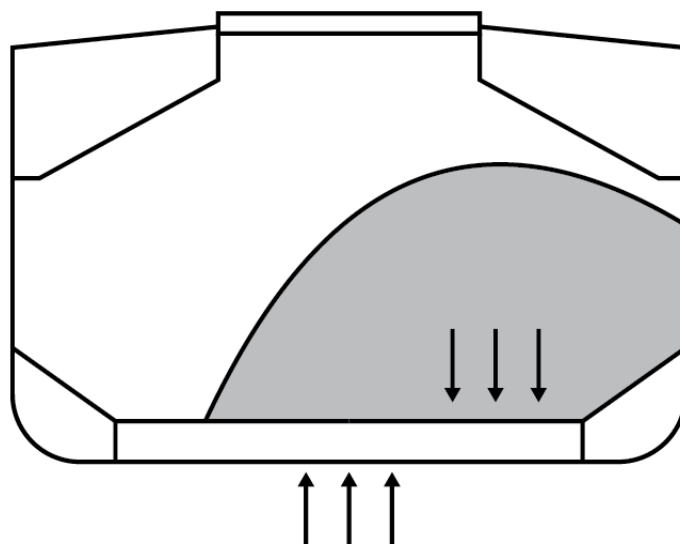
Jos laiva lastaa yksittäiseen ruumaan lastia ja syväys on matala, voi esimerkiksi kaksoispohjaan ja kylkiin kohdistua suurempi rasitus. Tällaisessa tilanteessa rungon ulkopuolella ei ole veden tarjoamaa nostetta tasaisesti. (IACS 2020, 26.)

Yksi tekijä, johon harvasta aluksesta löytyy suunnitelmaa, on aluksen kiertymiseen (torsion, kuva 19) liittyvät stressitekijät. Jos lastia sijoitellaan leveyssuunnassa epätasaisesti eri ruumissa (kuva 20), runko kiertyy ja ylempiin runkorakenteisiin kohdistuu rasituksia. Tietynlaisissa lasti- ja sääolosuhteissa rungon

kiertymistä voi aiheuttaa myös potkurin pyöriminen. Lastatessa painavaa lastia, kuten malmia, alusta ei saa kallistaa lastilla painolastin strippausta varten. Tällöin turvallinen toimintatapa on käyttää aluksen wing-tankkeja ja pitää lasti lastattuna ruumaan tasaisesti. (Barber 2020a; Barber 2021.)



Kuva 19. Kiertynyt runko (Barber 2020a; Barber 2021)



Kuva 20. Epäsymmetrisesti lastattu ruuma (Barber 2020a; Barber 2021)



Kuva 21. Nosturin aiheuttamia vaurioita ruumassa ja pinnoitteessa (Bulk Carrier Guide 2010a)

Lastauksen aikana myös varomaton lastinkäsittely tai lastinkäsittelyvälineistö itsessään voivat aiheuttaa vaurioita alukseen (kuva 21). Esimerkiksi raskaat pellettityypiset metallilastit voivat vahingoittaa ruuman pintoja ja edesauttaa ruustumista. On myös huomionarvoista, että iskuvauriot ruumassa voivat irroittaa myös viereisten tilojen, kuten tankkien, pinnoitteita. Nostureissa käytetyt suurikokoiset kourat voivat aiheuttaa myös rakenteiden vääntymistä ja heikentää siten kokonaiskestävyyttä. Erityisen herkkiä kohteita ovat ruuman sivuilla sijaitsevat lujitepalkit, jotka voivat pahimmassa tapauksessa irrota tai vaurioittaa aluksen kylkirakenteita. (Isbester 1993; IACS 2020, 31–32.)

4.4 Painolastinkäsittelyyn liittyvät riskit

Lastin lisäksi aluksen sisällä muuttuvia massoja ovat painolastitankkien sisällöt. Kun yhdistetään nopea lastaus ja hidaskäsittely, voi alukseen kohdistua rasituksia yllättäen. Ongelmia syntyy, jos painolastinkäsittelyä ei ajasteta oikein lastauksen kanssa. Useammalla elevaattorilla lastatessa voidaan saavuttaa jopa 15 000 tonnin tuntimääriä, mutta tyyppillisen aluksen painolastipumpun teho jää 2 000 tonniin tunnissa. Omia hidasteita tähän aiheuttavat myös painolastien käsittelyjärjestelmät. (IACS 2020, 26–27.)

Lastin on oltava sijoitettuna alukseen tasaisesti. Turvalliset leikkausvoimien ja taivutusmomenttien rajat on suunniteltu sellaisiin tilanteisiin, jossa alusta lastataan tasaisesti, eikä vain yksittäisiin kohtiin esimerkiksi ruuman sisällä. Sama

pätee myös painolastiin: Koska rasituksiin vaikuttavat molemmat tekijät, on niiden yhdessä oltava tasaisesti sijoitettuna. Useimmissa laskelmissa ei oteta huomioon lastin ja painolastin aiheuttamaa aluksen rungon kiertymistä. (IACS 2020, 27.)

Painolastin on siis oltava aluksessa tasaisesti molemmin puolin alusta. Siksi myös painolastin käsittely on tehtävä samanaikaisesti aluksen molemmin puolin vastakkaisten tankkien kohdalla. Pahimmassa tapauksessa painolastia pumpataan vastakkaisin puolin vastakkaisissa päissä alusta, jolloin runkoon kohdistuu turhaan sekä kiertymistä että taipumista. (IACS 2020, 29–30.)

Aluksen ei tulisi missään tilanteessa lähteä satamasta osittain täytetyillä tankeilla. Kun alus liikkuu aallokossa voi jopa pienillä tankin täyttömäärillä aikaansaada nesteen liikehdintää (sloshing). Tämä taas kohdistaa hetkellisiä ja jopa jaksollisia paineenmuutoksia tankkien ja muiden tilojen välisiin laipioihin. Lisäksi vapaan nestepinnan momentti aiheuttaa riskejä vakavuudelle. Tietyissä tapauksissa alus voi joutua kansainvälisen lainsäädännön vuoksi vaihtamaan tai käsittelemään painolastia merellä. Tällaisessa tilanteessa suurin riski on nimenomaan tankin vajaa täyttöaste yhdistettynä avomeren sääolosuhteisiin. (IACS 2020, 30–31, 33–34.)

4.5 Satamarakenteiden aiheuttamat riskit

Kuivarahtialuksen kyljet on yleensä suunniteltu kestävänsä vain pieniä pisteittäisiä voimia, hinaajien vaikutuspisteitä lukuun ottamatta. Silti valtamerille avoimissa satamissa suuren syvyyksen aluksia laituroidaan usein diktaaleiden varaan. Vaikka lepuuttajien tehtävänä on pehmentää ja vaimentaa voimia, ne voivat silti kohdistaa suuria voimia yksittäisiin kohtiin aluksen runkoa. (Skuld 2018.)

Tyypillisen yksikylkisen kuivarahtialuksen kylkilevyt voivat olla vain 15 mm paksuja (IACS 2021). Kylkirakenteita on tuettu pystysuuntaisilla vahvikkeilla. Mekaaniselle hankaukselle tai levyihin kohdistuville hyvin pienen alueen voimille ei silti ole suurta vastusta. Laitureiden tai lepuuttajien suunnittelussa ei yleensä oteta huomioon muita tekijöitä, kuin laituriin ajamisen aiheuttamat voimat tai ohiajavan aluksen tai virtaavan veden aiheuttama aluksen liikehdintä. (Barber 2020b.)

Suurimmaksi vaaranpaikaksi laitureiden aiheuttamille ongelmille muodostuvat valtamerien rannoille keskittyneet kuivarahtiterminaalit. Ne koostuvat yleensä kauemmas rannasta kasatuista diktaaleista, joiden varaan laiva laituroidaan. Näiden ongelmana on harvemmin sijoittelut lepuuttajat ja aluksen alttius valtameren sääolosuhteille. (Barber 2020b.)

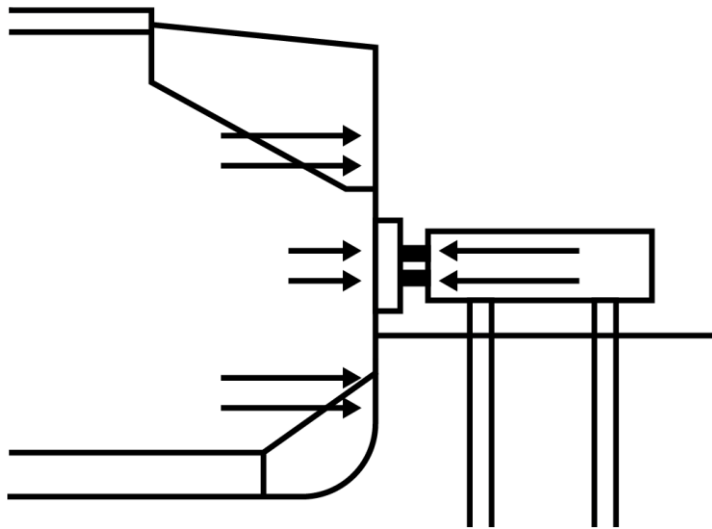
Esimerkiksi Brazilian Itaquissa (kuva 22) alukset laituroidaan avoimelle paikalle, jossa ne ovat alttiita virtaavalle vedelle. Alueella vaikuttava vuorovesi voi luoda jopa 6 solmun virtauksia, mikä aiheuttaa merkittäviä riskejä aluksen liikehdinnälle laituri paikallaan. (NGA 2017.)



Kuva 22. Esimerkki avoimesta laituirakenteesta Itaquissa, Brasiliassa (Google Earth 2022)

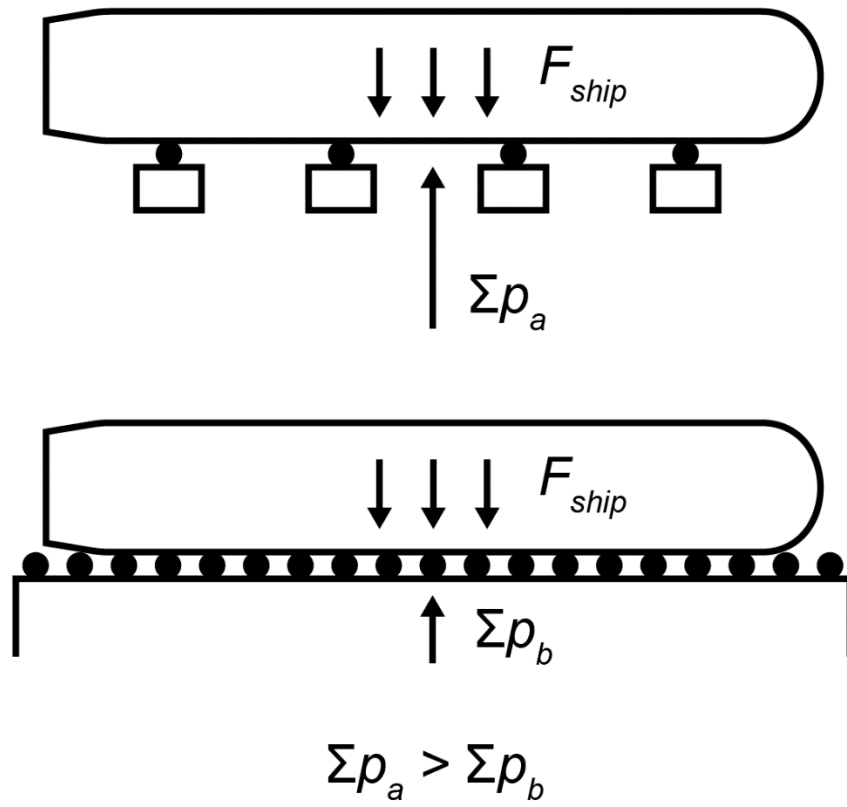
Kun alus ui sopivalla syväydellä, laituirakenteen lepuuttaja osuu juuri kyljen heikoimmalle alueelle (kuva 23). Kun alusta lastataan ja painolastia puretaan sopivalla tahdilla, pysyy tämä sama syväys usein jopa puolet koko satamapysähdyksen ajasta. Näin ollen suurimmat rasitukset kohdistuvat kylkilevyi-

hin ja niitä tukeviin rakenteisiin. Ihanteellisessa tilanteessa voimat kohdistettaisiin niihin pisteisiin, jotka on suunniteltu hinaajien työntöä varten. On kuitenkin epätodennäköistä, että laiturin lepuuttajien väli ja aluksen syväys täsmäävät näiden kohtien kanssa. On myös huomioitava aluksen liikehdinnässä syntyvien voimien suuruus: Liikkuva kantavuudeltaan 180 000 tonnia oleva capesize-luokan alus synnyttää hinaajiin verrattuna moninkertaisia voimia. Lisäksi yhtenäiseen laituriin verrattuna diktaalissa lepuuttajia on vähemmän (kuva 24). (Barber 2020b.)



Kuva 23. Lepuuttajan vaikutus aluksen runkoon (Barber 2020b)

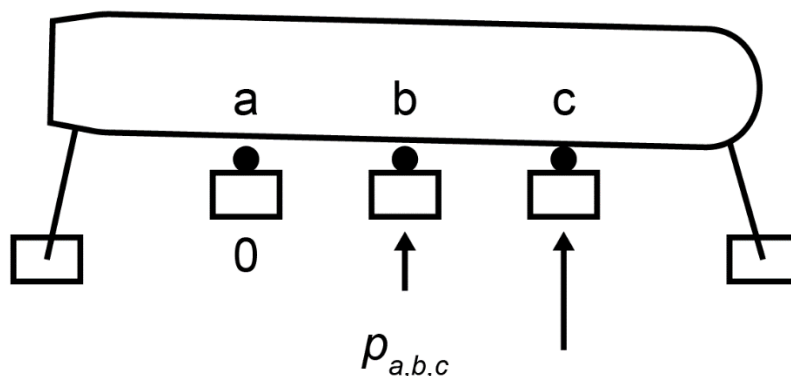
Lepuuttajan vaikutus aluksen runkoon voi pahimmillaan aiheuttaa kokonaisen osan irtoamisen (kuva 25). Pienempänä ja salakavalampana riskinä ovat kuitenkin metallin hiusmurtumat, jotka voivat pettää yllättäen myös kesken matkan. (Barber 2020b.)



Kuva 24. Diktaalien ja laiturin erot pituussuuntaisen paineen tasaamisessa (Barber 2020b)



Kuva 25. Esimerkki kuivarahtialuksen kyljen vakavasta vauriosta (Barber 2020b)



Kuva 26. Myös aluksen liikehdintä laiturissa aiheuttaa epätasaisia voimia yksittäisiin rungon kohtiin, lepuuttaja c kohdistaa runkoon suurimman paineen (Barber 2020b)

Esimerkiksi virtausten tai aallokon aiheuttama aluksen liikehdintä voi siirtää lepuuttajaan vaikuttavaa voimaa hetkellisesti suurempana yksittäiseen lepuuttajaan, jolloin myös runkoon vaikuttava paine kasvaa (kuva 26). Lastauksen aikana liikehdintä toistuu ja erityisesti reunimmaisiet diktaalit kohdistavat runkoon hankausta ja rasituksia. (Barber 2020b.)

4.6 Aluksen iän vaikutus ja vaurioituneen rungon kestävyys

Faktat, joihin ei ehkä voi vaikuttaa, mutta joita ei voi jättää huomiotta niiden vaikutusten vuoksi, ovat aluksen ikä ja mahdolliset aiemmin aiheutetut vauriot. Suunnitteluvaiheessa voi olla hankala ennustaa, mille kaikelle alus altistuu sen elinkaaren aikana. Myöskään muutosten arviointi ei ole helppoa, sillä jokainen yksittäinen kohde voi muuttua eri tavalla.

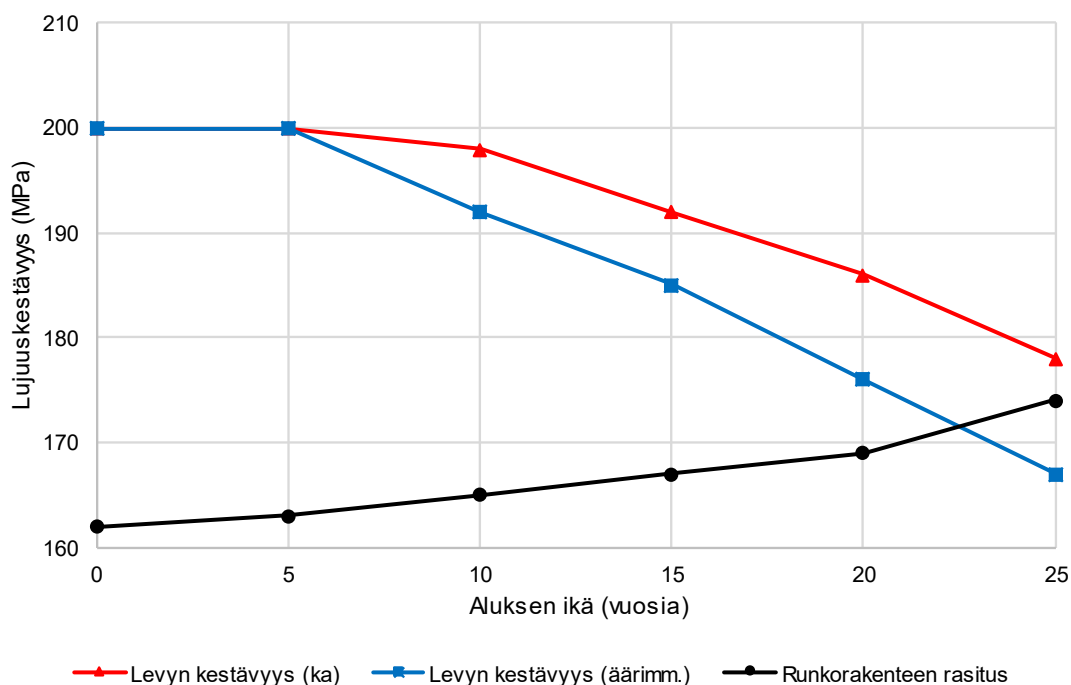
Aluksen ikääntyessä lisääntyvät myös rungon väsyminen ja ruostuminen. Ne vaikuttavat ainoastaan negatiivisesti rungon rakenteiden kestävyys. Molemmat ovat erittäin todennäköisiä ja luonnollisia kehityssuuntia mille tahansa alukselle ja kasvattavat myös onnettomuuden riskiä. (Jurišić ym. 2017.)

Ruostuminen aiheuttaa rakenteiden ohenemista, jolloin materiaalin kestävyysominaisuudet muuttuvat. Esimerkiksi vahvikkeet voivat olla alttiimpia vääntymiselle, kun ne eivät enää vastaa laskettuja vaatimuksia. Toinen merkittävä ilmiö, halkeaminen tai säröily, kohdistuu useimmiten hitsausseamoihin tai esimerkiksi ruostumisen jo ennestään heikentämiin kohteisiin. Metallin jatkuva

vääntyminen edestakaisin esimerkiksi lastausten yhteydessä tai rungon kolhiminen esimerkiksi lastinkäsittelyvälineillä väsyttää sitä ja altistaa sen halkeamille (fatigue cracking). Lisäksi se heikentää metallin kestävyttä ääritilanteissa. Tämä on erityisen vaarallista aluksen pituussuuntaiselle kestävyydelle, jos vauriot kohdistuvat kansirakenteisiin ja niiden tukiin. (Jurišić ym. 2017.)

Kun aluksen runkoon tulee vaurioita, kuten edellä mainittuja halkeamia, vaikuttaa se edelleen heikentävästi rakenteiden lopulliseen kestävyteen. Vaurioiden vakavuuteen vaikuttavat muun muassa halkeaman koko, suunta, sijainti sekä materiaalin paksuus. (Babazadeh & Khedmati 2018.)

Rakenteiden ohenemisen lisäksi ruostuminen heikentää rakenteiden taivutusvastusta. Tällöin momentit voivat aiheuttaa alukseen suurempia jännityksiä. Yksi luokituslaitostenkin käyttämä kriteeri on HGSM (hull girder section modulus, runkorakenteiden taivutusvastus): Kun rakenne ohenee, sen taivutusvastus pienenee ja runkorakenteiden jännitykset kasvavat. Tämän seurauksena runkolevyjen kestävyys heikkenee. (Jurišić ym. 2017.)



Kuva 27. Aluksen ikääntymisen aiheuttaman ruostumisen vaikutus runkolevyjen lujuuteen (Jurišić ym. 2017, 20)

Ajan myötä, ruostumisen lisääntyessä, heikkenee rakenteen sietokyky jännityksiä kohtaan. Esimerkiksi runkolevyjen lujuuskestävyys (kuva 27) putoaa jo aluksen saavuttaessa viiden vuoden iän. Lujuuskestävyyden on kuitenkin pysyttävä suurempana kuin rakenteeseen kohdistuvien rasiusten suuruus. Keskimääräisellä tasolla (punainen käyrä) IACS:n vaatimusten mukainen materiaali täyttää vaatimukset, mutta äärimmäisessä tilanteessa (sininen käyrä) vaatimustenmukaisuus ei välttämättä täyty. Äärimmäisellä tilanteella tarkoitetaan tässä yhteydessä runkolevyä, joka vastaa 5 prosenttia eniten ruostuneista levyistä. (Jurišić ym. 2017.)

5 TURVALLISET TOIMINTATAVAT

5.1 Rakenteelliset ratkaisut

Kun pohditaan aluksen rakenteellista kestävyyttä ja mahdollisia heikkoja pisteitä, ongelmana on usein se, ettei vaurioita tai rakenteiden heikentämistä huomata tai niihin ei osata kiinnittää huomiota. Tämä tai äkillinen vaaratilanne voivat johtaa pahimmillaan aluksen uppoamiseen.

Turvallisuuden kannalta ihanteellisessa tilanteessa aluksessa on kaksoisrunko. Yksikylkisten laivojen ongelmana on se, että painolastitankkien välissä ei juuri ole rakenteellista jäykkyyttä. Laipioiden ylä- ja alakiinnikkeissä on suositettava puolisuunnikkaan muotoista rakennetta, koska se parantaa laipion lujuutta. Laipioiden jäykkyyttä parantaa myös sen aalloksi taivutettu muoto. (Chaudhari 2020b.)

Rungon vaurioitumiseen liittyy usein myös metallin ruostuminen. Siksi on tärkeää seurata ja korjata maali- ja ruostevaurioita hyvissä ajoin. Jo aluksen suunnitteluvaiheessa on otettava huomioon riittävät materiaalipaksuudet ja korroosiontorjunta esimerkiksi riittävällä uhripalojen sijoittelulla. Turvallisinta materiaalivalintana on mild steel (MS), koska se tarjoaa paksuutensa puolesta enemmän pelivaraa ruostumisen varalta. (Chaudhari 2020a.)

Oli aluksen rakenteet toteutettu millä tavalla tahansa, tärkeintä on tuntea laiva ja tarkistaa rakenteet vaurioiden varalta riittävän tiheästi ja puututtava epäkoh-
tiin viipymättä. Miehistön on oltava yhteydessä aluksen omistajaan ja tarvitta-

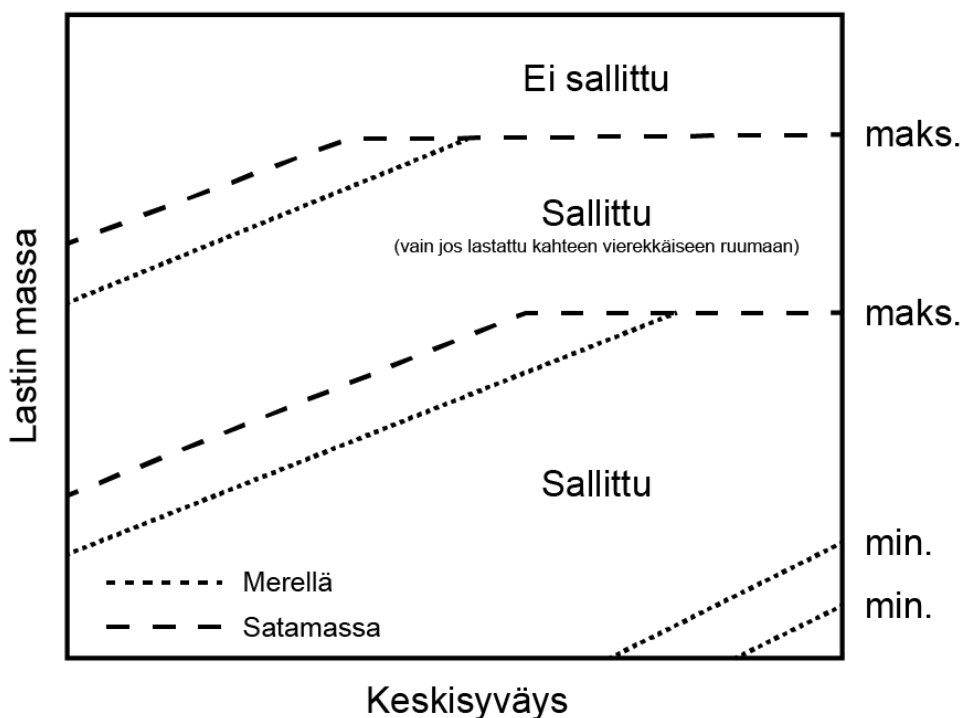
essa vaurioita tarkistamaan ja korjaamaan on hälytettävä erikoisosajia. Hyvänä pääsääntönä on tarkistaa ruumat aina lastin purun jälkeen. Tällöin miehistö saa heti tiedon mahdollisista lastinkäsittelyssä tapahtuneista rikkoutumisista sekä aluksen merikelpoisuuteen suoraan vaikuttavista vaurioista.

(Chaudhari 2020b.) Jos miehistö havaitsee aluksella laajempia tai toistuvia vaurioita, on asiasta ilmoitettava luokituslaitokselle, joka lähettää paikalle oman tarkastajansa.

5.2 Turvallinen lastinkäsittely

Aluskohtaisesti turvallisen lastinkäsittelyn perusohjeistuksena on pidettävä alukselle varta vasten tehtyä lastausmanuaalia (loading manual). Oppaan tulisi sisältää taivutusmomenttien ja leikkausvoimien suuruudet erilaisissa lastitilanteissa sekä näistä aiheutuvat mahdolliset rungon kiertymiset. Lisäksi opas sisältää tietoa siitä, kuinka ruumia voidaan lastata ja voidaanko niitä jättää tyhjäksi. Myös lastin minimi- ja maksimimassat ruumakohtaisesti ja vierekkäisissä ruumissa on löydettävä manuaalista. (IACS 2020, 19.)

Lastatessa joka toiseen ruumaan tai lohkoissa, on kiinnitettävä erityistä huomiota kaksoispohjan, laipioiden ja kylkien kestävyYTEEN. Koska lastin massalla ja ruuman täyttöasteella sekä aluksen syväydellä ja sitä kautta veden tarjoamalla tukivoimalla on yhteys, on massoille ja syväyksille olemassa turvalliset raja-arvot. Tätä varten on osana lastausmanuaalia ruumakohtainen lastikäyrä (hold mass curve, kuva 28). Pääasiallisena huomiona käyrästä voidaan todeta, että pienemmällä lastin massalla on pienempi turvallinen syväys. (IACS 2020, 14.)



Kuva 28. Ruumakohtainen lastikäyrä (IACS 2020, 14)

Jotta lastaus- ja purkusatamissa ei kummassakaan ylitetä rakenteellisia rajoja, on lastaus- ja purkaussuunnitelmat tehtävä yhdessä toisistaan riippuviksi ja kaikki vaikuttavat seikat otettava huomioon. Ennen lastauksen tai lastin purun suunnittelua on tunnettava vähintään seuraavat tekijät lastin tai satamien osalta (IACS 2020, 21):

- Lastin tiedot (ahtauskerroin, määrä, vaarallisuus)
- Lastin saatavuuteen ja siten lastausnopeuteen vaikuttavat tekijät
- Lastinkäsittelyvälineistön tiedot (nosturien tai elevaattorien lukumäärä, lastausnopeus, paljonko lastia jää elevaattoreille)
- Veden syvyys laiturissa ja kulkuväylissä sekä vuoroveden vaikutus
- Veden tiheys

Lähtökohtaisesti turvallisin vaihtoehto on kaikkien ruumien lastaaminen tasaisesti. Useimmiten tämä on kuitenkin mahdollista vain pienen tiheyden lasteilla, jotka tilavuutensa puolesta riittävät täyttämään koko lastikapasiteetin. Jos taas lastataan suuren tiheyden lastia (kuten malmia) tai lastia useampaan määrä-

satamaan, on varmistuttava siitä, että alus, ruumat ja laipiot ovat kestävyytensä puolesta suunniteltu lastien kuljetukseen lohkoissa tai joka toisessa ruumassa. Lasti on myös jaettava ruumiin tasaisesti. Jos ruuma on tilavuudeltaan tietyn kokoinen, on myös massan oltava lastattuna samassa suhteessa. (Isbester 1993, 112.)

Leikkausvoimat ja taivutusmomentit eivät saa lastauksen missään vaiheessa ylittää annettuja raja-arvoja. Satamaan tarkoitetut raja-arvot eivät myöskään ole päteviä, kun alus lähtee merelle. Turvallisinta on luonnollisesti pitää nämä arvot aina mahdollisimman pieninä. Vaikkakin ruuman pohjan ylikuormitus on todennäköisintä vain raskaan kappaletavaran kuljetuksessa, on myös se otettava lastisuunnitelmassa huomioon. Näin vältetään kaksoispohjan vaurioituminen. Erityisesti pitkien merimatkojen tapauksessa on otettava huomioon aluksen polttoaineenkulutus. Tämän massan häviäminen voi jossain kohtaa matkaa aiheuttaa rajatapauksissa rakenteiden rasittumista. (Isbester 1993, 113.)

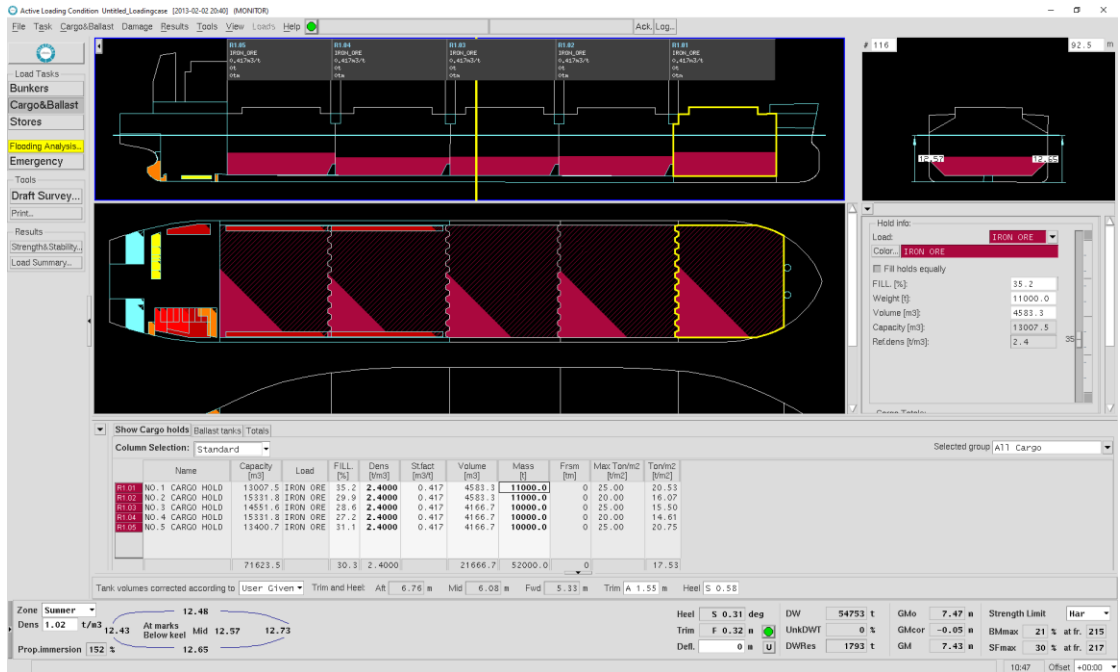
Laskelmien tekeminen käsin on työläs prosessi. Vaikka laskelmat tehtäisiinkin tietokoneohjelmalla, kannattaa mahdollisten virheiden varalta tehdä tarkistuslaskelma.

Lastauksen suunnittelussa on otettava huomioon lastausnopeus ja painolastipumppujen teho ja nämä on synkronoitava yhteen. Aluksen taivutus- tai kiertymismomenttien välttymiseksi on painolastia pumpattava symmetrisesti sekä lasti lastaukseen tai purkuun suhteutettuna oikeissa kohdin. Missään kohtaa painolastin pumppausta tai lastin purkua tai lastausta eivät sallitut taivutusmomenttien ja leikkausvoimien raja-arvot saa ylittyä. Myöskään ruumakohtaisessa lastikäyrässä esitetyt syväys-massa-raja-arvot eivät saa ylittyä. (IACS 2020, 22.)

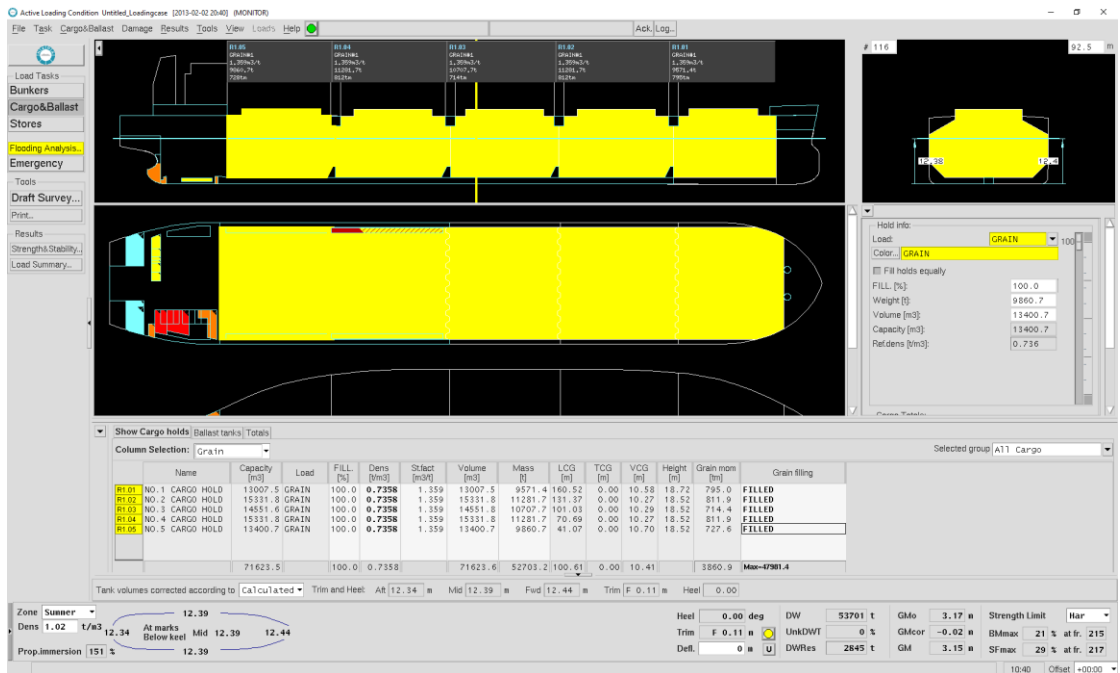
Painolastinkäsittely merellä ei saa sekään ylittää merelle tarkoitettuja leikkausvoimien ja taivutusmomenttien raja-arvoja. (IACS 2020, 33.)

Rakenteiden väsymisen seuraaminen lastauksen aikana on helpointa kanteen asennetuilla kiinteillä mittausjärjestelmillä, jotka seuraavat reaaliaikaisesti rungon taivutusmomenteja ja leikkausvoimia. Tämä on kuitenkin ainoastaan va-

rojärjestelmä, eikä se vaikuta lastauksen suunnittelun tärkeyteen, koska ainoastaan sillä voidaan varmistaa turvallinen lastaus ja purku. Toisena tekijänä on toimiva yhteistyö laivan ja sataman välillä. Kommunikaatio on ensiarvoisen tärkeää rungon rasittamisen välttämiseksi.



Kuva 29. NAPA-laskelma malmilastille



Kuva 30. NAPA-laskelma viljalastille

Liitteissä 1 ja 2 on esitetty lastaussuunnitelmat ja NAPA-ohjelmalla tehdyt rasituslaskelmat kahdelle eri lastille. Rautamalmin kuljetuksessa (kuva 29) ruumat jäävät vajaiksi, sillä lasti on erittäin raskasta. Tällöin lastin sijoittelu rungon rasitusten minimoimiseksi on helpompaa. Viljalastin (kuva 30) tapauksessa taas ruumat tulevat täyteen.

Lastisuunnittelun lähtökohtana on ensisijaisesti turvallisuus, mutta taloudellisuus ja sopivan trimmin saavuttaminen ovat yhtä lailla tärkeitä seikkoja. Molemmissa lastisuunnitelmissa lasti on jaettu ruumiin tasaisesti, mutta pienillä eroilla on hienosäädetty lopuksi halutut syväydet. Lastaaminen on aloitettu molemmissa suunnitelmissa laivan keskeltä maltillisilla määrillä, edeten tämän jälkeen vuoron perään keulan ja perän puolelle. Painolastia pumpataan tai tyhjennetään aina siitä tankkiparista, joka on kulloinkin lastattavan ruuman kohdalla. Lastia ei oteta kerralla liikaa, jotta trimmi ja taivutusmomentit sekä leikkausvoimat pysyvät pieninä. Tämä näkyy heti myös sallittujen raja-arvojen (tässä tapauksessa satamaraja) pienissä prosenttiosuuksissa.

Lastisuunnitelmassa on hyvä varata lopuksi keularuumaan ja muihin ruumiin (tässä tapauksessa ruumat 2, 4 ja 5) tilaa aluksen trimmin optimointiin. Esimerkkialuksen tapauksessa lastia tähän on varattava noin 2 000–2 500 tonnia. Tällä voidaan saavuttaa taloudellinen trimmi ja säätää syväys reitin mukaiseksi. Menetelmä estää lopuksi myös turhia rasituksia ja lastausenaikaisia suuria trimmin muutoksia. Esimerkkialukselle optimaalinen tilanne on pieni keulatrimmi, mutta useimmissa tapauksissa tilanne, jossa alus on tasakölillä, on optimaalisin.

5.3 Säätilan vaikutuksen minimointi

Kuten alussa todettiin, vaikeuttavana tekijänä ja lopullisena vaurionaiheuttajana monessa tilanteessa on ollut vaikea säätila, korkea aallokko sekä raskaat lastit ja näiden yhteisvaikutus väsyneen tai vaurioituneen rungon kanssa. Ratkaisevana tekijänä on tällöin oikea suhtautuminen säätilaan ja toiminta vaikeissa olosuhteissa sekä erityisesti kansiluukkujen kestävydestä huolehtiminen.

Helpoin tapa sään vaikutusten minimointiin on välttää vaarallisia olosuhteita. Ennen matkaa ja sen aikana on seurattava sääennusteita ja verrattava eri lähteiden ennustuksia toisiinsa. Näin aluksella voidaan valmistella optimaalinen ja turvallinen reitti, joka kiertää myrskyt.

Korkeassa aallokossa etenevän aluksen kannelle pääsevät vesimassat aiheuttavat keulan kansiluukkuihin suuria dynaamisia vaikutuksia, joiden arviointi vielä nyky menetelmilläkin on hankalaa. Tätä varten olisi tunnettava aluksen käyttäytyminen erilaisissa tilanteissa kohdattaessa epäsäännöllistä korkeaa aallokkoa. Laivan ajamisen näkökulmasta vaikutusten minimoinnissa voidaan hyödyntää aluksen nopeuden, suunnan ja syvyyden muutoksia. On kuitenkin syytä muistaa, että ensimmäinen askel katastrofin torjunnassa on huollettu ja kestävä kokonaisrakenne. (Vassalos ym. 2003.)

Lisäksi aluksen kohdatessa aallokkoa ja iskiessä siihen, tapahtuu nopeudessa usein pieni hetkellinen muutos. Tällöin alusta ei saa "pakottaa" vasten aallokkoa. (Isbester 1993.)

Tiettyjä menetelmiä aallokon vaikutusten minimointiin kuitenkin on: Nopeuden säätämällä voidaan vaikuttaa siihen, kuinka kovaa alus iskee aallokkoon. Suunnan muutoksilla taas voidaan vaikuttaa esimerkiksi rungon taipumisen tai kiertymisen ehkäisemiseen. Turvallisin suuntautuminen aallokkoon on noin 45 asteen kulmassa aaltoja vastaan. Jos tämä ei olosuhteiden takia ole mahdollista, nopeutta on laskettava niin, että alus kykenee pitämään suuntansa, eikä käänny sivuttain aallokkoon. (Japan P&I Club 2019.)

Vaikeissa sääolosuhteissa aluksen tilaa on seurattava jatkuvasti. Tähän kuuluu paitsi liikkeiden, kuten kallistusten, tärähtelyiden ja pohjaiskujen seuranta, myös rungon kunnon seuranta esimerkiksi pilssihälytysten tai mittalaitteiden avulla.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli etsiä riskikohtia kuivarahtialuksiin liittyvissä lastaus- ja painolastivaihtotilanteissa. Tähän liittyivät läheisesti myös satamainfrastruktuurin sekä säätilan aiheuttamat vaarat. Näihin riskeihin etsittiin vastaavasti turvallisempia toimintatapoja.

Erilaisten rungon rasitusten arviointi (puhumattakaan niiden laskennasta) on vaikeaa. Lastauksen suunnitteluun ja reaaliaikaiseen seurantaan on tarjolla paljon kehittyneitä järjestelmiä. Ne muodostavat kuitenkin vain yhden osan turvallisesta alusoperoinnista. Lisäksi on minimoitava ulkopuoliset vaikutukset, inhimilliset virheet sekä huolehdittava aluksen yleisestä kunnosta ja turvallisuudesta.

Yhteenvetona voidaan todeta:

1. Lastaus- tai purkaussuunnitelmaa laadittaessa on suositeltavaa pitää kaikki stressitekijät, myös leikkausvoimat ja taivutusmomentit, mahdollisimman alhaisina.
2. Mitä kauempana alus on ihanteellisista rasituslukemista, sitä suurempi on myös dynaamisten rasitusten vaikutus.
3. Kuivarahtialusten heikkoja pisteitä ovat esimerkiksi kansiluukut, laipiot, kyljet, pohja ja keula. Näiden tarkastuksissa ja kunnossapidossa on syytä käyttää erityistä huolellisuutta ja kaikista poikkeamista on raportoitava. Lisäksi tarkastuksissa on seurattava metallirakenteiden ohenemista ruostumisen seurauksena.
4. Erilaisten lastaustapojen aiheuttamat riskit on otettava huomioon lastisuunnitelmia laadittaessa ja sovitettava yhteen kuljetettavan lastin ja lastausmanuaalin sallimien tapojen kanssa. Lastausmanuaalin on ohjattava kaikkea lastisuunnittelua.
5. Satamarakenteiden vaikutuspisteiden ja aluksen liikehännän aiheuttamat riskit on otettava huomioon koko laiturissaoloajalle. Diktaalilaituri aiheuttaa perinteistä laituria suurempia pistemäisiä rasituksia.

6. Vaikeat sääolosuhteet ovat aina turvallisuusriski. Ennakoimalla ja sääennusteita seuraamalla voidaan välttää kova merenkäynti. Päälylystön on lisäksi tunnettava turvalliset ja oikeaoppiset ajotavat kovassa aallokossa ja seurattava aluksen liikkeitä ja tilaa jatkuvasti.

Kaikkein pyhimpänä on lastisuunnittelussa ja aluksen operoinnissa pidettävä toimintaa ohjaavia oppaita, kuten lastausmanuaalia tai kansainvälisiä säädöksiä. Ne määrittävät minimitason, jonka päälle turvallisuutta voidaan parantaa omaa harkintaa käyttäen. Milloinkaan ei ole väärin miettiä, mitä riskejä tehty päätös aiheuttaa ja kuinka näitä voidaan minimoida.

Rakenteiden aiheuttamia riskejä ja niiden vaikutusta alusturvallisuuteen olisi syytä pohtia laajemminkin. Samankaltaisiin rakenteellisiin heikkouksiin keskittyviä jatkotutkimuksia voisi hyvin tehdä muillekin alustyypeille. Jos taas pohditaan jatkoa kuivarahtialuksiin keskittyvien tutkimusten osalta, olisi aihetta esimerkiksi paneutua tarkemmin yksittäisiin tekijöihin tai tutkia, miten rakenteellisten vaurioiden välttäminen voidaan ottaa selkeämmin osaksi aluksen lastausmanuaalia.

LÄHTEET

Admiralty Court. 2000. Report of the re-opened formal investigation into the loss of the MV Derbyshire in the High Court of Justice: Executive summary. Norwich: Stationery Office. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://maritimesafetyinnovationlab.org/wp-content/uploads/2020/10/UK-Derbyshire-Sinking-September-1980.pdf> [viitattu 21.2.2022].

Akbar, M., Prabowo, A., Tjahjana, D. & Tuswan, T. 2021. Analysis of plated-hull structure strength against hydrostatic and hydrodynamic load: A case study of 600 TEU container ships. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials* 1, 237–248. Verkkolehti. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1515/jmbm-2021-0025> [viitattu 3.4.2022].

Bulk Carrier Guide. 2010a. Reasons for failing hold inspections. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://bulkcarrierguide.com/hold-inspection.html> [viitattu 26.9.2022]

Bulk Carrier Guide. 2010b. Risk of Heavy cargoes loaded in Bulk carriers & deviation from the loading limitations. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://bulkcarrierguide.com/loading-deviation.html> [viitattu 8.9.2022].

Babazadeh, A. & Khedmati, M. 2018. Ultimate strength of cracked ship structural elements and systems: A review. *Engineering Failure Analysis* 89, 242–257. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi-org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/j.eng-failanal.2018.03.003> [viitattu 14.2.2022].

Babicz, J. 2015. Wärtsilä Encyclopedia of Ship Technology. 2. painos. Helsinki: Wärtsilä Corporation.

Bakhsh, N. 2019. Will Stellar Daisy lessons be learned too late? *Lloyd's List* 26.4.2019. Verkkolehti. Saatavissa: <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1127188/Will-Stellar-Daisy-lessons-be-learned-too-late> [viitattu 21.2.2022].

Barber, D. 2020a. Hull girder loading. *The Naval Architect* June 2020, 22–24.

Barber, D. 2020b. The bulk carrier side shell and its vulnerabilities. *The Naval Architect* January 2020, 39–41.

Barber, D. 2021. Localised stress and failure on bulk carriers and OBOs. *The Naval Architect* January 2021, 38–40.

Chaudhari, S. 2020a. Bulk carrier losses 1 – The problems. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://captsschaudhari.com/2020/08/12/bulk-carriers-losses-1-the-problems/> [viitattu 24.9.2022].

Chaudhari, S. 2020b. Bulk carrier losses – The solution. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://captsschaudhari.com/2020/08/13/bulk-carrier-losses-the-solution/> [viitattu 24.9.2022].

Dry Cargo International. 2014. Bulk Carriers. WWW-dokumentti. Päivitetty 9.10.2014. Saatavissa: <https://www.drycargomag.com/bulk-carriers> [viitattu 30.3.2022].

Equasis. 2020. The 2020 World Merchant Fleet. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.equasis.org/Fichiers/Statistique/MOA/Documents%20avilables%20on%20statistics%20of%20Equasis/Equasis%20Statistics%20-%20The%20world%20fleet%202020.pdf> [viitattu 14.2.2022].

Faulkner, D. 1998. An independent assessment of the sinking of the MV Derbyshire. *SNAME Transactions* 106, 59–103. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://shipwrecklog.com/log/wp-content/uploads/2017/04/Faulkner_D.Independent_Assessment_Derbyshire.1998.pdf [viitattu 17.2.2022].

Google Earth. 2022. Satelliittikuvaohjelma. Saatavissa: <https://earth.google.com/web/> [viitattu 4.4.2022].

Hirdaris, S. 2021. Lecture 8: Wave Loads. Aalto-yliopiston luentomateriaali. Saatavissa: https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/1402792/mod_folder/content/0/SD08/01.%20Lecture%20notes_SD08.pdf?forcedownload=1 [viitattu 30.3.2022].

IACS. 2010. Evaluation of Scantlings of Hatch Covers and Hatch Coamings of Cargo Holds of Bulk Carriers, Ore Carriers and Combination Carriers. Lontoo: International Association of Classification Societies. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.iacs.org.uk/download/4396> [viitattu 21.2.2022].

IACS. 2020. Guidance and Information on Dry Cargo Loading and Discharging to Reduce the Likelihood of Over-stressing the Hull Structure. 2. painos. Lontoo: International Association of Classification Societies. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.iacs.org.uk/download/1984> [viitattu 21.2.2022].

IACS. 2021. Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers. Lontoo: International Association of Classification Societies. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.iacs.org.uk/download/8108> [viitattu 21.2.2022].

IMO. 2013. ESP Code. 3. painos. Lontoo: International Maritime Organization.

IMO. 2019. Bulk Carrier Safety. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/BulkCarriers.aspx> [viitattu 21.2.2022].

IMO. 2020a. IMSBC Code. Lontoo: International Maritime Organization.

IMO. 2020b. SOLAS. Lontoo: International Maritime Organization.

Intercargo. 2016. Bulk Carrier Casualty Report 2005-2015. Lontoo: International Association of Dry Cargo Shipowners. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.intercargo.org/wp-content/uploads/2016/03/casualty-report-2015-printing-version-v4.pdf> [viitattu 14.2.2022].

- Intercargo. 2021. Bulk Carrier Casualty Report 2011-2020. Lontoo: International Association of Dry Cargo Shipowners. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.intercargo.org/wp-content/annual-report/2011-2020/#p=4> [viitattu 14.2.2022].
- Isbester, J. 1993. Bulk carrier practice. Lontoo: The Nautical Institute.
- Japan P&I Club. 2019. Marine weather – Ship handling in rough sea. *Loss prevention bulletin* 45. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.piclub.or.jp/wp-content/uploads/2019/04/Loss-Prevention-Bulletin-Vol.45-Full.pdf> [viitattu 2.11.2022].
- Jubb, J. 2021. Heeding the lessons of the M.V. Derbyshire. *The Naval Architect* November/December 2021, 44–47.
- Jurišić, P., Parunov, J. & Garbatov, Y. 2017. Aging effects on ship structural integrity. *Brodogradnja* 2, 15–28. Verkkolehti. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.21278/brod68202> [viitattu 9.4.2022].
- NGA. 2017. Sailing directions – East coast of South America. 15. painos. Springfield: National Geospatial-Intelligence Agency. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://msi.nga.mil/api/publications/download?key=16694491/SFH00000/Pub124bk.pdf> [viitattu 4.4.2022].
- Pei, Z., Iijima, K., Tanaka, Y., Tanaka, S. & Yao, T. 2013. Collapse Behaviour of Ship Hull Girder of Bulk Carrier under Alternative Heavy Loading Condition. *International Journal of Offshore and Polar Engineering* 23, 232–239. Verkkolehti. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/271201283_Collapse_Behaviour_of_Ship_Hull_Girder_of_Bulk_Carrier_under_Alternative_Heavy_Loading_Condition [viitattu 9.9.2022].
- Portfoliomanagement s.a. What is a bulk carrier / open hatch carrier? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.portfm.de/en/faq/was-ist-ein-bulkcarrier-oder-open-hatch-carrier/index.html> [viitattu 2.11.2022].
- Republic of The Marshall Islands Maritime Administrator. 2019. Stellar Daisy casualty investigation report. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.register-iri.com/wp-content/uploads/Republic-of-the-Marshall-Islands-Office-of-the-Maritime-Administrator-STELLAR-DAISY-Casualty-Investigation-Report.pdf> [viitattu 17.2.2022].
- Servis, D., Voudouris, G., Samuelides, M. & Papanikolaou, A. 2003. Finite element modelling and strength analysis of hold No. 1 of bulk carriers. *Marine Structures* 16, 601–626. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/j.marstruc.2004.01.002> [viitattu 3.4.2022].
- Skuld. 2018. Fender damage. WWW-dokumentti. Päivitetty 18.10.2018. Saatavissa: <https://www.skuld.com/topics/ship/navigation/fender-damage/> [viitattu 4.4.2022].
- TSCF. 2013. Guidance Notes on High Tensile Steel. Tanker Structure Cooperative Forum. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.tscforum.org/TSCF/bfiles/2012/TSCF_IP_004_2013 HTS.pdf [viitattu 3.4.2022].

Vale s.a. Valemax. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.vale.com/en/initiatives/innovation/valemax/pages/default.aspx> [viitattu 2.11.2022].

Vassalos, D., Guarin, L., Jasionowski, A. & Zheng, Y. 2003. A risk-based first-principles approach to assessing green seas loading on the hatch covers of bulk carriers in extreme weather conditions. *Marine Structures* 16, 659–685.

Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi-org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/j.marstruc.2004.01.004> [viitattu 31.3.2022].

KUVALUETTELO

Kuva 1. ESL Shipping Oy:n supramax-luokan Arkadia. ESL Shipping. 2021. M/S Arkadia. WWW-dokumentti. Päivitetty 19.4.2021. Saatavissa: <https://www.eslshipping.com/en/fleet/ships/m-s-arkadia> [viitattu 17.2.2022].

Kuva 2. Yksi- ja kaksirunkoisten alusten ruumien poikkileikkaukset (Isbester 1993, 25–27)

Kuva 3. Uponneet kuivarahtialukset vuosina 2005–2020 (Intercargo 2016; Intercargo 2021)

Kuva 4. Kuivarahtialuksia koskevia säädöksiä

Kuva 5. Kuivarahtialukseen vaikuttavia rasitteita (IACS 2020; IACS 2021)

Kuva 6. Alukseen vaikuttavat leikkausvoimat (IACS 2021, 161)

Kuva 7. Alukseen vaikuttavia momentteja (IACS 2021, 161)

Kuva 8. Aluksen "hogging" ja "sagging" (Isbester 1993, 107)

Kuva 9. NAPA-ohjelman kuivarahtialuksen taivutusmomentti- ja leikkausvoimakäyrät

Kuva 10. Leikkausvoimien ja momenttien yhteys massoihin (Isbester 1993, 129–131, 347)

Kuva 11. Leikkausvoimien ja momenttien suuruus eri lastitilanteissa

Kuva 12. Tyypillisen kuivarahtialuksen rungon rakenteet (Vassalos ym. 2003, 661; Barber 2020a; IACS 2020; Barber 2021)

Kuva 13. Kansiluukkuihin kohdistuva paine "green seas"-tilanteessa (Vassalos ym. 2003, 662–663, 679)

Kuva 14. Laipoiden heikot pisteet rungon taipuessa (Barber 2021)

Kuva 15. Kylkeen voi kohdistua paine-ero erilaisissa lastitilanteissa (Akbar ym. 2021)

Kuva 16. Painolastin ja meriveden paineen yhteisvaikutus tiheän lastin kuljetuksessa vaikuttaa kyljen tukirakenteisiin (IACS 2020, 18)

Kuva 17. Erilaisia lastausmetodeja (IACS 2020, 15–17)

Kuva 18. Joka toiseen ruumaan lastaaminen aiheuttaa aallokossa vierekkäisiin ruumiin vastakkaisia vaikutuksia (Pei ym. 2013)

Kuva 19. Kiertynyt runko (Barber 2020a; Barber 2021)

Kuva 20. Epäsymmetrisesti lastattu ruuma (Barber 2020a; Barber 2021)

Kuva 21. Nosturin aiheuttamia vaurioita ruumassa ja pinnoitteessa (Bulk Carrier Guide 2010a)

Kuva 22. Esimerkki avoimesta laiturirakenteesta Itaquiassa, Brasiliassa (Google Earth 2022)

Kuva 23. Lepuuttajan vaikutus aluksen runkoon (Barber 2020b)

Kuva 24. Diktaalien ja laiturin erot pituussuuntaisen paineen tasaamisessa (Barber 2020b)

Kuva 25. Esimerkki kuivarahtialuksen kyljen vakavasta vauriosta (Barber 2020b)

Kuva 26. Myös aluksen liikehdintä laiturissa aiheuttaa epätasaisia voimia yksittäisiin rungon kohtiin, lepuuttaja c kohdistaa runkoon suurimman paineen (Barber 2020b)

Kuva 27. Aluksen ikääntymisen aiheuttaman ruostumisen vaikutus runkolevyjen lujuuteen (Jurišić ym. 2017, 20)

Kuva 28. Ruumakohtainen lastikäyrä (IACS 2020, 14)

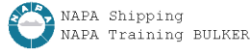
Kuva 29. NAPA-laskelma malmilastille

Kuva 30. NAPA-laskelma viljalastille

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Erilaisten lastien tiheyksiä (IMO 2020a)

Taulukko 2. Teräslaatuojen ominaisuuksia (IACS 2021, 81–82; TSCF 2013)



LOADING SUMMARY

Date 2022-11-24
Time 9:23 138631
Onboard-NAPA Version D

NAPA Training BULKER

File Name: Untitled_Loadingcase Time: 9:23
Date: 24.11.2022 Voyage:
Port:

Calculated Floating Position

Drafts at marks, measured below the keel.
Trim is the difference of drafts at perpendiculars.
Sea water density 1.02

Mid draft	12.57 m	KM	13.76 m	LCF	89.82 m
Aft draft	12.43 m	KG	6.28 m	LCB	96.58 m
Fwd draft	12.73 m	GM0	7.47 m	LCG	96.58 m
Trim	F 0.32 m	GMcorr	-0.05 m	MCT	835.0 tm/cm
Heel	S 0.31 deg	GMf	7.43 m	TPC	58.6 t/cm
Deflection Sag	0.00 m				
Prop.Immersion	152 %				

WARNING: STABILITY MAY BE SIGNIFICANTLY INFLUENCED BY SMALL CHANGES IN THE LOADED CONDITION, AND ALL CRITICAL STAGES OF THE VOYAGE SHOULD BE ASSESSED.

Summary of Loads

CARGO AND LIQUID LOADS	Weight t	LCG m	TCG m	VCG m	GMcorr m	Frsm tm
CARGO	52000.0	102.60	0.00	4.78	0.00	0.0
Fresh water	395.6	3.65	0.00	15.43	0.01	705.3
Heavy fuel oil	1877.2	47.00	-0.49	16.14	0.03	1832.8
Lubricating oil	94.4	10.50	5.17	8.38	0.00	23.6
Diesel oil	175.9	13.07	-9.71	13.15	0.00	166.1
Miscellaneous	139.8	16.94	-3.27	4.51	0.00	233.9
TOTAL	54683.0	99.31	-0.05	5.28	0.05	2961.7
Fixed Stores					#Aft	#Fwd
CREWGEFFECT	15.0	20.32	0.00	25.00	10	46
SPARE	50.0	91.00	0.00	19.20	10	235
PROV	5.0	11.30	0.00	19.80	10	24
	70.0	70.16	0.00	20.49		
Total Stores	70.0	70.16	0.00	20.49		
Lightweight	10820.3	82.93	0.00	11.26		
Deadweight	54753.0	99.28	-0.05	5.30		
Total weight	65573.3	96.58	-0.04	6.28		

Stability criteria

Criterion	Description	Required	Attained	UNIT	Status
V.AREA30	Area under G2 curve up to 30 deg	0.055	1.013	mrad	OK
V.AREA40	Area under G2 curve up to 40 deg.	0.090	1.742	mrad	OK
V.AREA3040	Area under G2 curve between 30 and 40.	0.030	0.729	mrad	OK
V.G20.2	Min. G2 > 0.2	0.200	5.149	m	OK
V.MAXG225	Max. G2 at an angle > 25 deg.	25.000	57.299	deg	OK
V.GM0.15	GM > 0.15 m	0.150	7.429	m	OK
IMOWEATHER	IMO weather criterion	1.000	5.099		OK

Longitudinal Strength

	Sea	Har	at
SHEAR FORCE (MIN)	-894.0 t		31.2 m # 41
SHEAR FORCE (MAX)	1306.0 t		175.3
REL. SHEAR FORCE	34.7 %	30.1 %	175.3
SAGGING MOMENT	-21329.0 tm		154.7
HOGGING MOMENT	4526.0 tm		19.5
REL. SAGGING MOMENT	50.8 %	21.2 %	175.3
REL. HOGGING MOMENT	3.6 %	2.4 %	26.1

NAPA Shipping
 NAPA Training BUKER
 OnBoard-NAPA Version D

TANK REPORT

DATE 2022-11-24
 TIME 9:23 138631
 Page 1

File Name: Untitled>Loadingase Time: 9:23
 Date: 24.11.2022 Voyage: Port: Drafts at marks,
 measured below the keel.
 Draft Fwd [m]: 12.73
 Draft Aft [m]: 12.43
 Trim [m]: F 0.32
 Heel [deg]: S 0.31

TOTAL CARGO:

Parcel	Capacity m3	Fill %	Volume m3	Dens t/m3	Weight t	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tm	GMcor m
IRON ORE	71623.47	30.3	21666.67	2.4000	52000.00	102.60	0.00	4.78	0	0.000
TOTAL	71623.47	30.3	21666.67	2.4000	52000.00	102.60	0.00	4.78	0	0.000

CARGO HOLDS:

Tank ID	Tank name	Capacity m3	Fill %	Volume m3	Dens t/m3	Weight t	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tm	GMcor m
IRON ORE											
R1.01	NO.1 CARGO HOLD	13007.5	35.2	4583.33	2.4000	11000.00	159.98	0.00	5.26	0	0.000
R1.02	NO.2 CARGO HOLD	15331.8	29.9	4583.33	2.4000	11000.00	131.20	0.00	4.60	0	0.000
R1.03	NO.3 CARGO HOLD	14551.6	28.6	4166.67	2.4000	10000.00	100.85	0.00	4.51	0	0.000
R1.04	NO.4 CARGO HOLD	15331.8	27.2	4166.67	2.4000	10000.00	70.50	0.00	4.38	0	0.000
R1.05	NO.5 CARGO HOLD	13400.7	31.1	4166.67	2.4000	10000.00	41.90	0.00	5.12	0	0.000
Total		71623.5	30.3	21666.67	2.4000	52000.00	102.60	0.00	4.78	0	0.000
TOTAL		71623.5	30.3	21666.67	2.4000	52000.00	102.60	0.00	4.78	0	0.000

BALLAST WATER TANKS:

Tank ID	Tank name	Capacity m3	Fill %	Volume m3	Dens t/m3	Weight t	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tm	GMCOR m
Ballast water											
R2.00	F.P.TK.	2018.5	0.0	0.00	1.0250	0.00	179.51	0.00	7.93	0	0.000
R2.01BP	NO.1 B.S.W.B.TK.P	859.6	0.0	0.00	1.0250	0.00	160.81	8.29	1.91	0	0.000
R2.01BS	NO.1 B.S.W.B.TK.S	859.6	0.0	0.00	1.0250	0.00	160.81	-8.29	1.91	0	0.000
R2.01TP	NO.1 T.S.W.B.TK.P	482.0	0.0	0.00	1.0250	0.00	160.18	13.09	16.72	0	0.000
R2.01TS	NO.1 T.S.W.B.TK.S	482.0	0.0	0.00	1.0250	0.00	160.18	-13.09	16.72	0	0.000
R2.02BP	NO.2 B.S.W.B.TK.P	1047.5	0.0	0.00	1.0250	0.00	131.74	10.04	1.50	0	0.000
R2.02BS	NO.2 B.S.W.B.TK.S	1047.5	0.0	0.00	1.0250	0.00	131.74	-10.04	1.50	0	0.000
R2.02TP	NO.2 T.S.W.B.TK.P	601.7	0.0	0.00	1.0250	0.00	131.84	13.38	16.57	0	0.000
R2.02TS	NO.2 T.S.W.B.TK.S	601.7	0.0	0.00	1.0250	0.00	131.84	-13.38	16.57	0	0.000
R2.03BP	NO.3 B.S.W.B.TK.P	1001.1	0.0	0.00	1.0250	0.00	101.50	10.09	1.49	0	0.000
R2.03BS	NO.3 B.S.W.B.TK.S	1001.1	0.0	0.00	1.0250	0.00	101.50	-10.09	1.49	0	0.000
R2.03TP	NO.3 T.S.W.B.TK.P	570.0	0.0	0.00	1.0250	0.00	101.50	13.38	16.57	0	0.000
R2.03TS	NO.3 T.S.W.B.TK.S	570.0	0.0	0.00	1.0250	0.00	101.50	-13.38	16.57	0	0.000
R2.04BP	NO.4 B.S.W.B.TK.P	1039.8	0.0	0.00	1.0250	0.00	71.35	-10.00	1.50	0	0.000
R2.04BS	NO.4 B.S.W.B.TK.S	1039.8	0.0	0.00	1.0250	0.00	71.35	10.00	1.50	0	0.000
R2.05BP	NO.5 B.S.W.B.TK.P	999.0	0.0	0.00	1.0250	0.00	39.66	9.57	2.87	0	0.000
R2.05BS	NO.5 B.S.W.B.TK.S	999.0	0.0	0.00	1.0250	0.00	39.66	-9.57	2.87	0	0.000
R2.06	A.P.TK.	1118.6	0.0	0.00	1.0250	0.00	2.07	0.02	12.70	0	0.000
Total of Ballast water		16338.4	0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.000
TOTAL		16338.4	0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.000

NAPA Shipping
 NAPA Training BUNKER
 Onboard-NAPA Version D

TANK REPORT

DATE 2022-11-24
 TIME 9:23 138631
 Page 3

BUNKER and MISCELLANEOUS TANKS:

Tank ID	Tank name	Capacity m3	Fill %	Volume m3	Dens t/m3	Weight t	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tm	GMcor m
Fresh water											
R6.01P	F.W.TK.P	232.7	85.0	197.83	1.0000	197.83	3.65	9.10	15.43	413	0.006
R6.01S	F.W.TK.S	200.9	85.0	170.76	1.0000	170.76	3.57	-9.69	15.44	291	0.004
R6.02	DISTILLED W.TK.	31.8	85.0	27.05	1.0000	27.05	4.20	-5.35	15.34	1	0.000
Total of Fresh water		465.5	85.0	395.63	1.0000	395.63	3.65	0.00	15.43	705	0.011
Heavy fuel oil											
R3.01P	NO.1 H.F.O.TK.P	410.6	90.0	369.57	0.9800	362.18	70.81	12.58	16.72	427	0.007
R3.01S	NO.1 H.F.O.TK.S	410.6	90.0	369.57	0.9800	362.18	70.81	-12.58	16.72	427	0.007
R3.02P	NO.2 H.F.O.TK.P	388.6	90.0	349.70	0.9800	342.70	41.17	12.58	16.72	404	0.006
R3.02S	NO.2 H.F.O.TK.S	388.6	90.0	349.70	0.9800	342.70	41.17	-12.58	16.72	404	0.006
R3.03P	NO.3 H.F.O.TK.P	200.5	90.0	180.46	0.9800	176.85	18.60	13.16	13.32	17	0.000
R3.03S	NO.3 H.F.O.TK.S	210.4	90.0	189.35	0.9800	185.56	18.01	-12.50	15.03	122	0.002
R3.04	NO.1 H.F.O.(L.S.) SE.	26.5	90.0	23.82	0.9800	23.34	20.32	-8.84	15.08	7	0.000
R3.05	NO.2 H.F.O. SEPV. TK.	26.5	90.0	23.82	0.9800	23.34	18.68	-8.84	15.08	7	0.000
R3.06	NO.1 H.F.O.(L.S.) SE.	39.7	90.0	35.73	0.9800	35.01	22.37	-8.84	15.08	10	0.000
R3.07	NO.2 H.F.O. SEPT. TK.	26.5	90.0	23.82	0.9800	23.34	17.04	-8.84	15.08	7	0.000
Total of Heavy fuel oil		2128.4	90.0	1915.53	0.9800	1877.22	47.00	-0.49	16.14	1833	0.028
Lubricating oil											
R5.01	M/E L.O. SUMP TK.	17.3	85.0	14.74	0.9000	13.27	17.86	0.00	1.09	7	0.000
R5.02	NO.1 CYL.OIL STOR. T.	21.3	85.0	18.08	0.9000	16.27	9.36	10.54	10.25	10	0.000
R5.03	NO.2 CYL.OIL STOR. T.	20.2	85.0	17.18	0.9000	15.46	9.30	8.03	9.53	2	0.000
R5.04	M/E L.O. STOR. TK.	26.8	85.0	22.79	0.9000	20.51	9.30	4.11	9.19	3	0.000
R5.05	M/E L.O. SEPT. TK.	20.8	85.0	17.65	0.9000	15.88	9.25	1.76	9.62	2	0.000
R5.06	G/E L.O. STOR. TK.	8.6	85.0	7.33	0.9000	6.60	9.30	5.76	9.28	0	0.000
R5.07	G/E L.O. SEPT. TK.	8.4	85.0	7.16	0.9000	6.44	9.30	6.58	9.34	0	0.000
Total of Lubricating oil		123.4	85.0	104.92	0.9000	94.43	10.50	5.17	8.38	24	0.000

NAPA Shipping
 NAPA Training BULKER
 Onboard-NAPA Version D

TANK REPORT

DATE 2022-11-24
 TIME 9:23 138631
 Page 4

Tank ID	Tank name	Capacity m3	Fill %	Volume m3	Dens t/m3	Weight t	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tm	GMCOR m
Diesel oil											
R4.01	M.D.O. TK.	65.8	85.0	55.92	0.8500	47.54	10.19	-10.77	14.94	47	0.001
R4.02	M.G.O. TK.	98.3	85.0	83.57	0.8500	71.03	15.10	-9.69	10.48	101	0.002
R4.03	M.D.O. SERV. TK.	26.5	85.0	22.50	0.8500	19.12	14.58	-8.84	14.97	6	0.000
R4.04	L.S.M.D.O. SETT. TK.	26.5	85.0	22.50	0.8500	19.12	12.94	-8.84	14.97	6	0.000
R4.05	M.G.O. SERV. TK.	26.5	85.0	22.50	0.8500	19.12	11.30	-8.84	14.97	6	0.000
Total of Diesel oil		243.5	85.0	206.98	0.8500	175.93	13.07	-9.71	13.15	166	0.003
Miscellaneous											
R7.00	COOL. W. TK.	29.6	85.0	25.15	1.0000	25.15	6.73	0.00	2.74	0	0.000
R7.01	F.W. WASHING TK.	372.5	0.0	0.00	1.0000	0.00	56.40	15.38	15.93	0	0.000
R7.02	SLOPE/SEWAGE TK.	372.5	0.0	0.00	1.0000	0.00	56.40	-15.38	15.93	0	0.000
R7.03	SLUDGE TK.	18.4	85.0	15.68	1.0000	15.68	23.47	-10.10	7.54	120	0.002
R7.04	BILGE HOLD. TK.	33.7	85.0	28.62	1.0000	28.62	23.73	2.90	1.12	45	0.001
R7.05	F.O. DRAIN TK.	7.4	85.0	6.29	1.0000	6.29	18.64	2.53	1.37	2	0.000
R7.06	F.O. OVERF. TK.	24.7	85.0	20.95	1.0000	20.95	24.42	-2.87	1.06	41	0.001
R7.07	WASTE OIL TK.	16.4	85.0	13.96	1.0000	13.96	20.31	-2.77	1.32	10	0.000
R7.08	S/T LO DRAIN TK.	6.5	85.0	5.56	1.0000	5.56	8.92	-0.10	0.97	3	0.000
R7.09	SEWAGE TK.	27.7	85.0	23.57	1.0000	23.57	8.03	-12.63	15.11	12	0.000
Total of Miscellaneous		909.4	15.4	139.77	1.0000	139.77	16.94	-3.27	4.51	234	0.004
TOTAL		3870.2	71.4	2762.83	0.9711	2682.98	35.53	-0.97	14.96	2962	0.045

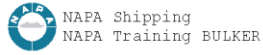
NAPA Shipping
 NAPA Training BULKER
 Onboard-NAPA Version D

TANK REPORT

DATE 2022-11-24
 TIME 9:23 138631
 Page 5

GRAND TOTALS:

Load	Capacity m3	Fill %	Volume m3	Dens t/m3	Weight t	LCG m	TCG m	YCG m	FSM cm	GMcor m
CARGO	71623.5	30.3	21666.7	2.4000	52000.0	102.60	0.00	4.78	0	0.000
Fresh water	465.5	85.0	395.6	1.0000	395.6	3.85	0.00	15.43	705	0.011
Heavy fuel oil	2128.4	90.0	1915.5	0.9800	1877.2	47.00	-0.49	16.14	1833	0.028
Lubricating oil	123.4	85.0	104.9	0.9000	94.4	10.50	5.17	8.38	24	0.000
Diesel oil	243.5	85.0	207.0	0.8500	175.9	13.07	-9.71	13.15	166	0.003
Miscellaneous	164.4	85.0	139.8	1.0000	139.8	16.94	-3.27	4.51	234	0.004



NAPA Shipping
NAPA Training BULKER

LONGITUDINAL STRENGTH

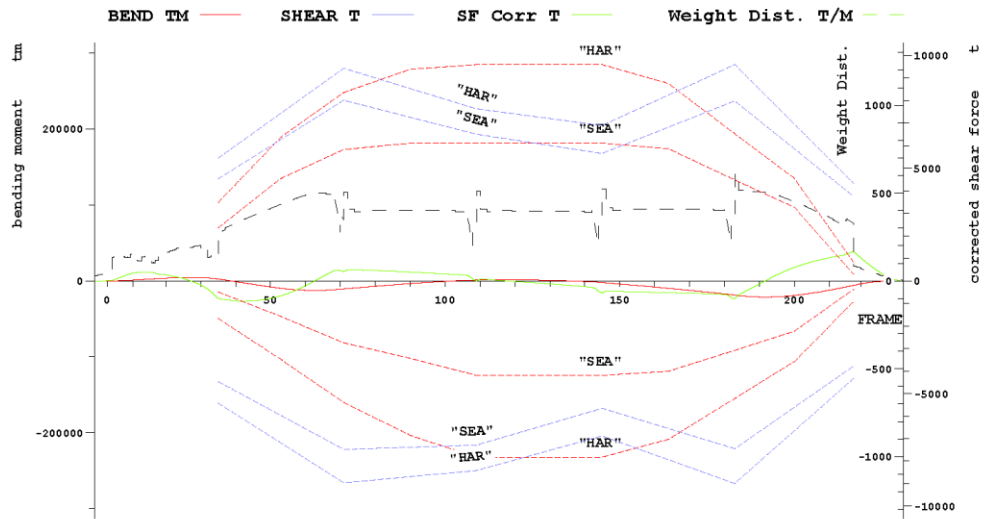
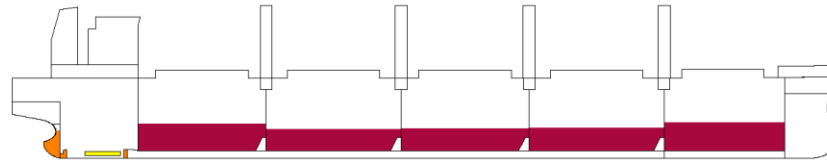
Date 2022-11-24
Time 9:24 138631
Onboard-NAPA Version D

NAPA Training BULKER

File Name: Untitled_Loadingcase
Date: 24.11.2022

Time: 9:23
Voyage:
Port:

Drafts at marks,
measured below the keel.
Draft Fwd [m]: 12.73
Draft Aft [m]: 12.43
Trim [m]: F 0.32
Heel [deg]: S 0.31



	Sea	Har	at	
SHEAR FORCE (MIN,CORR)	-894.0 t		31.2 m	# 41
SHEAR FORCE (MAX,CORR)	1306.0 t		175.3	217
REL. SHEAR FORCE	34.7 ‰	30.1 ‰	175.3	217
SAGGING MOMENT	-21329.0 tm		154.7	192
HOGGING MOMENT	4526.0 tm		19.5	27
REL. SAGGING MOMENT	50.8 ‰	21.2 ‰	175.3	217
REL. HOGGING MOMENT	3.6 ‰	2.4 ‰	26.1	35

NAPA Shipping
 NAPA Training BULKER
 Onboard-NAPA Version D

LONGITUDINAL STRENGTH

DATE 2022-11-24
 TIME 9:23 138631
 Page 1

LOADING CONDITION: Untitled_Loadingcase

Strength limit: Sea

X m	Frame #	SHEAR t	SFCORR t	SFmin t	SFmax t	SFrel %	BEND tm	BMmin tm	BMmax tm	BMrel %
26.1	35.0	-775	-775	-4465	4526	17.4	2501	-14434	69623	3.6
40.8	53.0	-660	-660	-5972	6273	11.1	-9812	-46891	135000	20.9
55.6	71.0	414	414	-7480	8020	5.2	-10554	-81549	172987	12.9
71.2	90.0	393	393	-7385	7265	5.4	-3481	-101937	181448	3.4
86.7	109.0	-7	-7	-7290	6510	0.1	1142	-124363	181448	0.6
101.5	127.0	-98	-98	-6474	6084	1.5	1081	-124363	181448	0.6
116.3	145.0	-541	-541	-5658	5658	9.6	-2203	-124363	181448	1.8
131.8	164.0	-522	-522	-6554	6824	8.0	-9757	-118960	174006	8.2
147.4	183.0	-798	-798	-7450	7990	10.7	-18778	-91396	132997	20.5
161.4	200.0	597	597	-5621	5876	10.2	-19144	-66391	97095	28.8
175.3	217.0	1306	1306	-3792	3762	34.7	-5774	-11366	9032	50.8

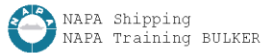
NAPA Shipping
 NAPA Training BULKER
 Onboard-NAPA Version D

LONGITUDINAL STRENGTH

DATE 2022-11-24
 TIME 9:23 138631
 Page 2

Strength limit: Har

X m	Frame #	SHEAR t	SFCORR t	SFmin t	SFmax t	SFrel %	BEND tm	BMmin tm	BMmax tm	BMrel %
26.1	35.0	-775	-775	-5422	5444	14.3	2501	-49254	103002	2.4
40.8	53.0	-660	-660	-7192	7442	9.2	-9812	-103502	189268	9.5
55.6	71.0	414	414	-8962	9440	4.4	-10554	-159951	248144	6.6
71.2	90.0	393	393	-8690	8539	4.6	-3481	-203340	278654	1.7
86.7	109.0	-7	-7	-8417	7637	0.1	1142	-232151	284776	0.4
101.5	127.0	-98	-98	-7650	7268	1.3	1081	-232151	284776	0.4
116.3	145.0	-541	-541	-6882	6898	7.9	-2203	-232151	284776	0.9
131.8	164.0	-522	-522	-7938	8249	6.6	-9757	-208655	259989	4.7
147.4	183.0	-798	-798	-8994	9600	8.9	-18778	-154804	193780	12.1
161.4	200.0	597	597	-6667	6966	8.6	-19144	-106278	135331	18.0
175.3	217.0	1306	1306	-4339	4332	30.1	-5774	-27732	24721	20.8

**HOLD MASS SUMMARY**

138631

NAPA Training BULKER

File Name: Untitled_Loadingcase Time: 9:23
 Date: 24.11.2022 Voyage:
 Port:

HYDROSTATIC DATA

Displacement (1.020)	65573.3 t	Mid draft	12.57 m
Lightweight	10820.3 t	Aft draft	12.43 m
Deadweight	54753.0 t	Fwd draft	12.73 m
Cargo	52000.0 t	Trim F	0.32 m
		Heel S	0.31 degr.

HOLD DATA**ONE HOLD Sea**

Compartment	Draft m	Max.BM %	Min.Weight t	Weight t	Max.Weight t	Status
R1.01	12.67	50.8	1550.41	11000.00	17630.00	OK
R1.02	12.62	20.5	0.00	11000.00	15333.00	OK
R1.03	12.57	1.8	1651.77	10000.00	19721.00	OK
R1.04	12.52	13.8	0.00	10000.00	15333.00	OK
R1.05	12.46	21.3	1432.12	10000.00	18165.00	OK

ONE HOLD Har

Compartment	Draft m	Max.BM %	Min.Weight t	Weight t	Max.Weight t	Status
R1.01	12.67	21.2	0.00	11000.00	17630.00	OK
R1.02	12.62	12.1	0.00	11000.00	15333.00	OK
R1.03	12.57	0.9	0.00	10000.00	19721.00	OK
R1.04	12.52	7.0	0.00	10000.00	15333.00	OK
R1.05	12.46	10.0	0.00	10000.00	18165.00	OK

TWO ADJACENT HOLDS Sea

Compartment	Draft m	Max.BM %	Min.Weight t	Weight t	Max.Weight t	Status
R1.01+R1.02	12.65	50.8	5037.01	22000.00	28343.00	OK
R1.02+R1.03	12.60	20.5	5233.04	21000.00	29886.00	OK
R1.03+R1.04	12.54	13.8	5137.85	20000.00	29886.00	OK
R1.04+R1.05	12.49	21.3	4843.98	20000.00	28738.00	OK

TWO ADJACENT HOLDS Har

Compartment	Draft m	Max.BM %	Min.Weight t	Weight t	Max.Weight t	Status
R1.01+R1.02	12.65	21.2	786.01	22000.00	28343.00	OK
R1.02+R1.03	12.60	12.1	749.90	21000.00	29886.00	OK
R1.03+R1.04	12.54	7.0	654.68	20000.00	29886.00	OK
R1.04+R1.05	12.49	10.0	534.13	20000.00	28738.00	OK

CARGO OPERATIONS CONTROL FORM					LOADING / DISCHARGING	
Ship	Cargo	Grain	Loading/ discharging rate			
No of loaders/ dischargers	1	SF	1,359 m ³ /h	4 000 t/h		
Cargo hold	5	4	3	2	1	
Tonnes Grades	9 861 +	11 282 +	10 708 +	11 282 +	9 571 +	
					Total	52 704 +

Pour	Cargo		Ballast operations	Time required	Comments	Calculated values				
	Hold	Tonnes				F	Draft A	Trim	BM	SF
1	4	4 000	PO 4 DBTs	1,0 h		5,63	6,49	0,93	38	43
2	2	4 000	PO 2 DBTs, 6O 2 UWTs	1,0 h		5,89	6,46	0,62	38	43
3	3	4 000	PO 3 DBTs, 6O 3 UWTs	1,0 h		6,04	6,60	0,62	37	42
4	5	4 000	PO 5 DBTs	1,0 h		5,68	7,69	2,17	36	43
5	1	4 000	PO FP, 6O 1 UWTs	1,0 h		6,00	7,72	1,86	34	34
6	2	6 000	PO 1 DBTs	1,5 h		7,47	7,82	0,38	33	38
7	3	6 000		1,5 h		8,81	8,67	-0,15	34	40
8	4	6 000		1,5 h		9,03	10,52	1,61	47	34
9	1	2 000		0,5 h		10,26	10,09	-0,18	35	29
10	5	3 860		1,0 h		9,72	11,83	2,27	29	20
11	1	2 000		0,5 h		10,94	11,42	0,51	18	24
12	2	1 281		0,5 h		11,50	11,35	0,15	23	26
13	4	1 281		0,5 h		11,57	11,71	0,15	24	26
14	5	2 000		0,5 h		11,30	12,58	1,38	22	26
15	3	707		0,3 h		11,48	12,66	1,27	27	26
16	1	1 571		0,5 h		12,44	12,33	-0,11	21	29
TOTAL		52 700		TOTAL TIME		13,8 h				

Abbreviations for ballast operations: PI = Pump in, PO = Pump out, GI = GraviIate in, GO = GraviIate out, DBT = Double bottom tank, UWT = Upper wing tank, FP = Fore peak



LOADING SUMMARY

Date 2022-11-30
Time 10:27 138631
Onboard-NAPA Version D

NAPA Training BULKER

File Name: Untitled_Loadingcase Time:
Date: Voyage:
Port:

Calculated Floating Position

Drafts at marks, measured below the keel.
Trim is the difference of drafts at perpendiculars.
Sea water density 1.02

Mid draft	12.38	m	KM	13.76	m	LCF	89.83	m
Aft draft	12.33	m	KG	10.59	m	LCB	96.42	m
Fwd draft	12.44	m	GM0	3.17	m	LCG	96.41	m
Trim	F	0.11	m	GMcorr	-0.02	m	MCT	832.6
Heel	S	0.04	deg	GMf	3.15	m	TPC	58.5
Deflection Sag		0.00	m					
Prop.Immersion		151	%					

WARNING: STABILITY MAY BE SIGNIFICANTLY INFLUENCED BY SMALL CHANGES IN THE LOADED CONDITION, AND ALL CRITICAL STAGES OF THE VOYAGE SHOULD BE ASSESSED.

Summary of Loads

CARGO AND LIQUID LOADS	Weight t	LCG m	TCG m	VCG m	GMcorr m	Frsm tm
CARGO	52700.0	100.61	0.00	10.41	0.00	0.0
Fresh water	395.6	3.65	0.00	15.43	0.01	705.3
Heavy fuel oil	112.7	70.61	13.49	15.61	0.00	120.8
Lubricating oil	94.4	10.50	5.17	8.38	0.00	23.6
Diesel oil	175.9	13.07	-9.71	13.15	0.00	166.1
Miscellaneous	139.8	16.94	-3.27	4.51	0.00	233.9
TOTAL	53618.5	99.17	0.00	10.45	0.02	1249.8
Fixed Stores					#Aft	#Fwd
CREWGEFFECT	15.0	20.32	0.00	25.00	10	46
SPARE	50.0	91.00	0.00	19.20	10	235
PROV	5.0	11.30	0.00	19.80	10	24
	70.0	70.16	0.00	20.49		
Total Stores	70.0	70.16	0.00	20.49		
Lightweight	10820.3	82.93	0.00	11.26		
Deadweight	53688.5	99.13	0.00	10.46		
Total weight	64508.8	96.41	0.00	10.59		

Stability criteria

Criterion	Description	Required	Attained	UNIT	Status
V.AREA30	Area under GZ curve up to 30 deg	0.055	0.463	mrad	OK
V.AREA40	Area under GZ curve up to 40 deg.	0.090	0.777	mrad	OK
V.AREA3040	Area under GZ curve between 30 and 40.	0.030	0.314	mrad	OK
V.G20.2	Min. GZ > 0.2	0.200	1.927	m	OK
V.MAXG225	Max. GZ at an angle > 25 deg.	25.000	43.821	deg	OK
V.GM0.15	GM > 0.15 m	0.150	3.148	m	OK
IMOWEATHER	IMO weather criterion	1.000	4.955		OK
OB_MAXHEELG	Max heel due to shift of Grain	12.000	1.253	deg	OK
OB_MINGMG	Minimum GM > 0.30 m	0.300	3.148	m	OK
OB_MINAREAG	Area under GZ curve with grain	0.075	0.736	mrad	OK

Longitudinal Strength

	Sea	Har	at
SHEAR FORCE (MIN)	-1174.0 t		30.2 m # 40
SHEAR FORCE (MAX)	1265.0 t		175.3
REL. SHEAR FORCE	33.6 %	29.2 %	175.3
SAGGING MOMENT	-38784.0 tm		99.8
HOGGING MOMENT	4406.0 tm		17.9
REL. SAGGING MOMENT	49.4 %	20.6 %	175.3
REL. HOGGING MOMENT	- %	- %	-

NAPA Shipping
 NAPA Training BUKKER
 OnBoard-NAPA Version D

TANK REPORT

DATE 2022-11-30
 TIME 10:27 138631
 Page 1

File Name: Untitled>Loadingase
 Time: Voyage:
 Date: Port:

Drafts at marks,
 measured below the keel.
 Draft Fwd [m]: 12.44
 Draft Aft [m]: 12.33
 Trim [m]: F 0.11
 Heel [deg]: S 0.04

TOTAL CARGO:

Parcel	Capacity m3	Fill %	Volume m3	Dens t/m3	Weight t	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tm	GMcor m
GRAIN	71623.47	100.0	71619.30	0.7358	52700.00	100.61	0.00	10.41	0	0.000
TOTAL	71623.47	100.0	71619.30	0.7358	52700.00	100.61	0.00	10.41	0	0.000

CARGO HOLDS:

Tank ID	Tank name	Capacity m3	Fill %	Volume m3	Dens t/m3	Weight t	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tm	GMcor m
GRAIN											
R1.01	NO.1 CARGO HOLD	13007.5	100.0	13006.99	0.7358	9571.00	160.52	0.00	10.58	0	0.000
R1.02	NO.2 CARGO HOLD	15331.8	100.0	15330.88	0.7358	11281.00	131.37	0.00	10.27	0	0.000
R1.03	NO.3 CARGO HOLD	14551.6	100.0	14550.81	0.7358	10707.00	101.03	0.00	10.29	0	0.000
R1.04	NO.4 CARGO HOLD	15331.8	100.0	15330.88	0.7358	11281.00	70.69	0.00	10.27	0	0.000
R1.05	NO.5 CARGO HOLD	13400.7	100.0	13399.74	0.7358	9860.00	41.07	0.00	10.70	0	0.000
Total		71623.5	100.0	71619.30	0.7358	52700.00	100.61	0.00	10.41	0	0.000
TOTAL		71623.5	100.0	71619.30	0.7358	52700.00	100.61	0.00	10.41	0	0.000

BALLAST WATER TANKS:

Tank ID	Tank name	Capacity m ³	Fill %	Volume m ³	Dens t/m ³	Weight t	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tm	GMCOR m
Ballast water											
R2.00	F.P.TK.	2018.5	0.0	0.00	1.0250	0.00	179.51	0.00	7.93	0	0.000
R2.01BP	NO.1 B.S.W.B.TK.P	859.6	0.0	0.00	1.0250	0.00	160.81	8.29	1.91	0	0.000
R2.01BS	NO.1 B.S.W.B.TK.S	859.6	0.0	0.00	1.0250	0.00	160.81	-8.29	1.91	0	0.000
R2.01TP	NO.1 T.S.W.B.TK.P	482.0	0.0	0.00	1.0250	0.00	160.18	13.09	16.72	0	0.000
R2.01TS	NO.1 T.S.W.B.TK.S	482.0	0.0	0.00	1.0250	0.00	160.18	-13.09	16.72	0	0.000
R2.02BP	NO.2 B.S.W.B.TK.P	1047.5	0.0	0.00	1.0250	0.00	131.74	10.04	1.50	0	0.000
R2.02BS	NO.2 B.S.W.B.TK.S	1047.5	0.0	0.00	1.0250	0.00	131.74	-10.04	1.50	0	0.000
R2.02TP	NO.2 T.S.W.B.TK.P	601.7	0.0	0.00	1.0250	0.00	131.84	13.38	16.57	0	0.000
R2.02TS	NO.2 T.S.W.B.TK.S	601.7	0.0	0.00	1.0250	0.00	131.84	-13.38	16.57	0	0.000
R2.03BP	NO.3 B.S.W.B.TK.P	1001.1	0.0	0.00	1.0250	0.00	101.50	10.09	1.49	0	0.000
R2.03BS	NO.3 B.S.W.B.TK.S	1001.1	0.0	0.00	1.0250	0.00	101.50	-10.09	1.49	0	0.000
R2.03TP	NO.3 T.S.W.B.TK.P	570.0	0.0	0.00	1.0250	0.00	101.50	13.38	16.57	0	0.000
R2.03TS	NO.3 T.S.W.B.TK.S	570.0	0.0	0.00	1.0250	0.00	101.50	-13.38	16.57	0	0.000
R2.04BP	NO.4 B.S.W.B.TK.P	1039.8	0.0	0.00	1.0250	0.00	71.35	-10.00	1.50	0	0.000
R2.04BS	NO.4 B.S.W.B.TK.S	1039.8	0.0	0.00	1.0250	0.00	71.35	10.00	1.50	0	0.000
R2.05BP	NO.5 B.S.W.B.TK.P	999.0	0.0	0.00	1.0250	0.00	39.66	9.57	2.87	0	0.000
R2.05BS	NO.5 B.S.W.B.TK.S	999.0	0.0	0.00	1.0250	0.00	39.66	-9.57	2.87	0	0.000
R2.06	A.P.TK.	1118.6	0.0	0.00	1.0250	0.00	2.07	0.02	12.70	0	0.000
Total of Ballast water		16338.4	0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.000
TOTAL		16338.4	0.0	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.000

NAPA Shipping
 NAPA Training BUNKER
 Onboard-NAPA Version D

TANK REPORT

DATE 2022-11-30
 TIME 10:27 138631
 Page 3

BUNKER and MISCELLANEOUS TANKS:

Tank ID	Tank name	Capacity m3	Fill %	Volume m3	Dens t/m3	Weight t	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tm	GMcor m
Fresh water											
R6.01P	F.W.TK.P	232.7	85.0	197.83	1.0000	197.83	3.65	9.10	15.43	413	0.006
R6.01S	F.W.TK.S	200.9	85.0	170.76	1.0000	170.76	3.57	-9.69	15.44	291	0.005
R6.02	DISTILLED W.TK.	31.8	85.0	27.05	1.0000	27.05	4.20	-5.35	15.34	1	0.000
Total of Fresh water		465.5	85.0	395.63	1.0000	395.63	3.65	0.00	15.43	705	0.011
Heavy fuel oil											
R3.01P	NO.1 H.F.O.TK.P	410.6	28.0	115.01	0.9800	112.71	70.61	13.49	15.61	121	0.002
R3.01S	NO.1 H.F.O.TK.S	410.6	0.0	0.00	0.9800	0.00	70.84	-12.45	16.87	0	0.000
R3.02P	NO.2 H.F.O.TK.P	388.6	0.0	0.00	0.9800	0.00	41.14	12.45	16.87	0	0.000
R3.02S	NO.2 H.F.O.TK.S	388.6	0.0	0.00	0.9800	0.00	41.14	-12.45	16.87	0	0.000
R3.03P	NO.3 H.F.O.TK.P	200.5	0.0	0.00	0.9800	0.00	18.57	13.20	13.69	0	0.000
R3.03S	NO.3 H.F.O.TK.S	210.4	0.0	0.00	0.9800	0.00	18.00	-12.48	15.24	0	0.000
R3.04	NO.1 H.F.O.(L.S.) SE.	26.5	0.0	0.00	0.9800	0.00	20.32	-8.85	15.30	0	0.000
R3.05	NO.2 H.F.O. SEPV.TK.	26.5	0.0	0.00	0.9800	0.00	18.68	-8.85	15.30	0	0.000
R3.06	NO.1 H.F.O.(L.S.) SE.	39.7	0.0	0.00	0.9800	0.00	22.37	-8.85	15.30	0	0.000
R3.07	NO.2 H.F.O. SEPTT.TK.	26.5	0.0	0.00	0.9800	0.00	17.04	-8.85	15.30	0	0.000
Total of Heavy fuel oil		2128.4	5.4	115.01	0.9800	112.71	70.61	13.49	15.61	121	0.002
Lubricating oil											
R5.01	M/E L.O. SUMP TK.	17.3	85.0	14.74	0.9000	13.27	17.86	0.00	1.09	7	0.000
R5.02	NO.1 CYL.OIL STOR. T.	21.3	85.0	18.08	0.9000	16.27	9.36	10.54	10.25	10	0.000
R5.03	NO.2 CYL.OIL STOR. T.	20.2	85.0	17.18	0.9000	15.46	9.30	8.03	9.53	2	0.000
R5.04	M/E L.O. STOR. TK.	26.8	85.0	22.79	0.9000	20.51	9.30	4.11	9.19	3	0.000
R5.05	M/E L.O. SEPTT. TK.	20.8	85.0	17.65	0.9000	15.88	9.25	1.76	9.62	2	0.000
R5.06	G/E L.O. STOR. TK.	8.6	85.0	7.33	0.9000	6.60	9.30	5.76	9.28	0	0.000
R5.07	G/E L.O. SEPTT. TK.	8.4	85.0	7.16	0.9000	6.44	9.30	6.58	9.34	0	0.000
Total of Lubricating oil		123.4	85.0	104.92	0.9000	94.43	10.50	5.17	8.38	24	0.000

NAPA Shipping
 NAPA Training BULKER
 Onboard-NAPA Version D

TANK REPORT

DATE 2022-11-30
 TIME 10:27 138631
 Page 4

Tank ID	Tank name	Capacity m3	Fill %	Volume m3	Dens t/m3	Weight t	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tm	GMCOR m
Diesel oil											
R4.01	M.D.O. TK.	65.8	85.0	55.92	0.8500	47.54	10.19	-10.77	14.94	47	0.001
R4.02	M.G.O. TK.	98.3	85.0	83.57	0.8500	71.03	15.10	-9.69	10.48	101	0.002
R4.03	M.D.O. SERV. TK.	26.5	85.0	22.50	0.8500	19.12	14.58	-8.84	14.97	6	0.000
R4.04	L.S.M.D.O. SETT. TK.	26.5	85.0	22.50	0.8500	19.12	12.94	-8.84	14.97	6	0.000
R4.05	M.G.O. SERV. TK.	26.5	85.0	22.50	0.8500	19.12	11.30	-8.84	14.97	6	0.000
Total of Diesel oil		243.5	85.0	206.98	0.8500	175.93	13.07	-9.71	13.15	166	0.003
Miscellaneous											
R7.00	COOL. W. TK.	29.6	85.0	25.15	1.0000	25.15	6.73	0.00	2.74	0	0.000
R7.01	F.W. WASHING TK.	372.5	0.0	0.00	1.0000	0.00	56.40	15.38	15.93	0	0.000
R7.02	SLOPE/SEWAGE TK.	372.5	0.0	0.00	1.0000	0.00	56.40	-15.38	15.93	0	0.000
R7.03	SLUDGE TK.	18.4	85.0	15.68	1.0000	15.68	23.47	-10.10	7.54	120	0.002
R7.04	BILGE HOLD. TK.	33.7	85.0	28.62	1.0000	28.62	23.73	2.90	1.12	45	0.001
R7.05	F.O. DRAIN TK.	7.4	85.0	6.29	1.0000	6.29	18.64	2.53	1.37	2	0.000
R7.06	F.O. OVERF. TK.	24.7	85.0	20.95	1.0000	20.95	24.42	-2.87	1.06	41	0.001
R7.07	WASTE OIL TK.	16.4	85.0	13.96	1.0000	13.96	20.31	-2.77	1.32	10	0.000
R7.08	S/T LO DRAIN TK.	6.5	85.0	5.56	1.0000	5.56	8.92	-0.10	0.97	3	0.000
R7.09	SEWAGE TK.	27.7	85.0	23.57	1.0000	23.57	8.03	-12.63	15.11	12	0.000
Total of Miscellaneous		909.4	15.4	139.77	1.0000	139.77	16.94	-3.27	4.51	234	0.004
TOTAL		3870.2	24.9	962.31	0.9544	918.47	16.40	-0.17	12.63	1250	0.019

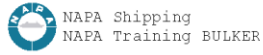
NAPA Shipping
 NAPA Training
 Onboard-NAPA Version D

TANK REPORT

DATE 2022-11-30
 TIME 10:27 138631
 Page 5

GRAND TOTALS:

Load	Capacity m3	Fill %	Volume m3	Dens t/m3	Weight t	LCG m	TCG m	YCG m	FSM cm	GMcor m
CARGO	71623.5	100.0	71619.3	0.7358	52700.0	100.61	0.00	10.41	0	0.000
Fresh water	465.5	85.0	395.6	1.0000	395.6	3.85	0.00	15.43	705	0.011
Heavy fuel oil	410.6	28.0	115.0	0.9800	112.7	70.61	13.49	15.61	121	0.002
Lubricating oil	123.4	85.0	104.9	0.9000	94.4	10.50	5.17	8.38	24	0.000
Diesel oil	243.5	85.0	207.0	0.8500	175.9	13.07	-9.71	13.15	166	0.003
Miscellaneous	164.4	85.0	139.8	1.0000	139.8	16.94	-3.27	4.51	234	0.004



NAPA Shipping
NAPA Training BULKER

LONGITUDINAL STRENGTH

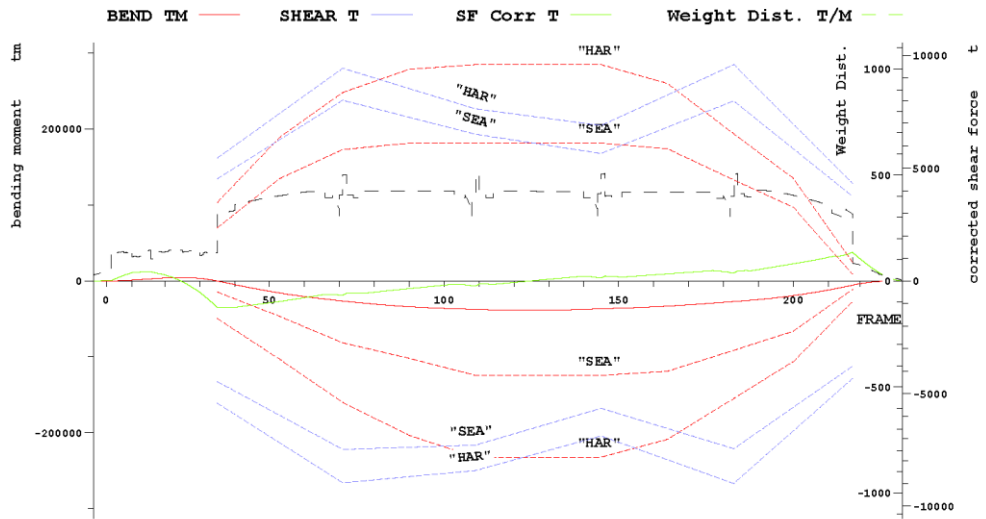
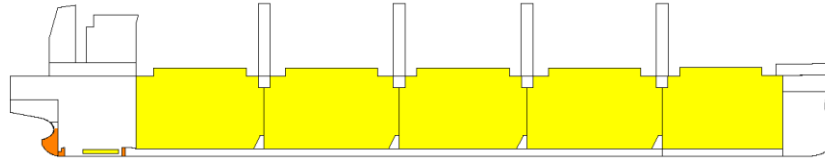
Date 2022-11-30
Time 10:28 138631
Onboard-NAPA Version D

NAPA Training BULKER

File Name: Untitled_Loadingcase
Date:

Time:
Voyage:
Port:

Drafts at marks,
measured below the keel.
Draft Fwd [m]: 12.44
Draft Aft [m]: 12.33
Trim [m]: F 0.11
Heel [deg]: S 0.04



	Sea	Har	at	
SHEAR FORCE (MIN,CORR)	-1174.0 t		30.2 m	# 40
SHEAR FORCE (MAX,CORR)	1265.0 t		175.3	217
REL. SHEAR FORCE	33.6 ‰	29.2 ‰	175.3	217
SAGGING MOMENT	-38784.0 tm		99.8	125
HOGGING MOMENT	4406.0 tm		17.9	25
REL. SAGGING MOMENT	49.4 ‰	20.6 ‰	175.3	217
REL. HOGGING MOMENT	- ‰	- ‰	-	-

NAPA Shipping
 NAPA Training BULKER
 Onboard-NAPA Version D

LONGITUDINAL STRENGTH

DATE 2022-11-30
 TIME 10:27 138631
 Page 1

LOADING CONDITION: Untitled_Loadingcase

Strength limit: Sea

X m	Frame #	SHEAR t	SFCORR t	SFmin t	SFmax t	SFrel %	BEND tm	BMmin tm	BMmax tm	BMrel %
26.1	35.0	-1167	-1167	-4465	4526	26.1	-42	-14434	69623	0.3
40.8	53.0	-913	-913	-5972	6273	15.3	-15992	-46891	135000	34.1
55.6	71.0	-630	-630	-7480	8020	8.4	-26554	-81549	172987	32.6
71.2	90.0	-339	-339	-7385	7265	4.6	-34006	-101937	181448	33.4
86.7	109.0	-224	-224	-7290	6510	3.1	-37480	-124363	181448	30.1
101.5	127.0	33	33	-6474	6084	0.5	-38754	-124363	181448	31.2
116.3	145.0	135	135	-5658	5658	2.4	-36747	-124363	181448	29.5
131.8	164.0	311	311	-6554	6824	4.6	-33242	-118960	174006	27.9
147.4	183.0	356	356	-7450	7990	4.5	-27170	-91396	132997	29.7
161.4	200.0	760	760	-5621	5876	12.9	-19419	-66391	97095	29.2
175.3	217.0	1265	1265	-3792	3762	33.6	-5613	-11366	9032	49.4

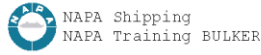
NAPA Shipping
 NAPA Training BULKER
 Onboard-NAPA Version D

LONGITUDINAL STRENGTH

DATE 2022-11-30
 TIME 10:27 138631
 Page 2

Strength limit: Har

X m	Frame #	SHEAR t	SFCORR t	SFmin t	SFmax t	SFrel %	BEND tm	BMmin tm	BMmax tm	BMrel %
26.1	35.0	-1167	-1167	-5422	5444	21.5	-42	-49254	103002	0.1
40.8	53.0	-913	-913	-7192	7442	12.7	-15992	-103502	189268	15.5
55.6	71.0	-630	-630	-8962	9440	7.0	-26554	-159951	248144	16.6
71.2	90.0	-339	-339	-8690	8539	3.9	-34006	-203340	278654	16.7
86.7	109.0	-224	-224	-8417	7637	2.7	-37480	-232151	284776	16.1
101.5	127.0	33	33	-7650	7268	0.5	-38754	-232151	284776	16.7
116.3	145.0	135	135	-6882	6898	2.0	-36747	-232151	284776	15.8
131.8	164.0	311	311	-7938	8249	3.8	-33242	-208655	259989	15.9
147.4	183.0	356	356	-8994	9600	3.7	-27170	-154804	193780	17.6
161.4	200.0	760	760	-6667	6966	10.9	-19419	-106278	135331	18.3
175.3	217.0	1265	1265	-4339	4332	29.2	-5613	-27732	24721	20.2



NAPA Shipping
NAPA Training BULKER

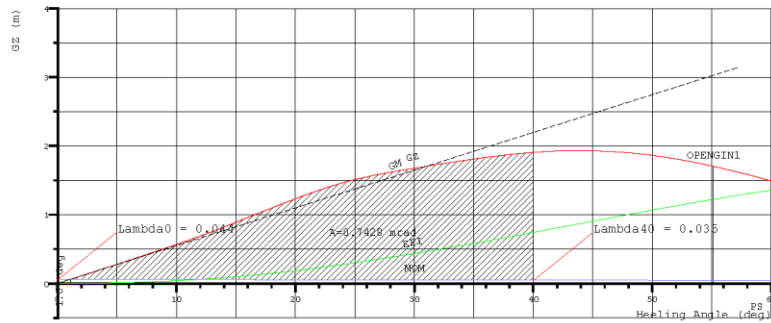
GRAIN STABILITY REPORT

Date 2022-11-30
Time 10:39 138631
Onboard-NAPA Version D

NAPA Training BULKER

File Name: Untitled_Loadingcase Time: Calculated Drafts at marks,
Date: Voyage: measured below the keel.
Port: Draft Fwd [m]: 12.44
Draft Aft [m]: 12.34
Trim [m]: F 0.11
Heel [deg]: P 0.00

CARGO	Filling %	Height m	Volume m3	St.f. m3/t	Mass t	LCG m	VCG m	Shiftmom m4	Heelmom tm	Filltype
NO.1 CARGO	100.0	18.72	13007.5	1.3590	9571.4	160.52	10.58	795.0	585.0	FILLED
NO.2 CARGO	100.0	18.52	15331.8	1.3590	11281.7	131.37	10.27	811.9	597.5	FILLED
NO.3 CARGO	100.0	18.52	14551.8	1.3590	10707.7	101.03	10.29	714.4	525.6	FILLED
NO.4 CARGO	100.0	18.52	15331.8	1.3590	11281.7	70.69	10.27	811.9	597.5	FILLED
NO.5 CARGO	100.0	18.52	13400.7	1.3590	9860.7	41.07	10.70	727.6	535.4	FILLED
TOTAL			71623.6		52703.2	100.61	10.41	3860.9	2841.0	

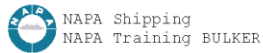


ANGLE	0.0	1.0	5.0	10.0	12.0	20.0	25.0	30.0	40.0	50.0	60.0
MS	0.000	0.001	0.003	0.019	0.033	0.154	0.178	0.099	-0.123	-0.556	-1.246
GMO*SINFI	0.000	0.055	0.276	0.550	0.658	1.083	1.338	1.583	2.035	2.426	2.742
DGZ	0.000	0.000	0.002	0.003	0.003	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
GZ	0.000	0.056	0.277	0.566	0.688	1.233	1.512	1.678	1.907	1.864	1.491

Flooding Angle: 55.12 degree, critical unprotected opening: OPENSING1, VENT. at B deck

IMO A264 GRAIN Stability Criteria

Criterion	Description	Required	Attained	UNIT	Status
OB_MAXHEELG	Max heel due to shift of Grain	12.000	1.071	deg	OK
OB_MINMG	Minimum GM > 0.30 m	0.300	3.147	m	OK
OB_MINAREAG	Area under GZ curve with grain	0.075	0.743	mrad	OK

**HOLD MASS SUMMARY**

138631

NAPA Training BULKER

File Name: Untitled_Loadingcase

Time:

Date:

Voyage:

Port:

HYDROSTATIC DATA

Displacement (1.020)	64508.8 t	Mid draft	12.38 m
Lightweight	10820.3 t	Aft draft	12.33 m
Deadweight	53688.5 t	Fwd draft	12.44 m
Cargo	52700.0 t	Trim F	0.11 m
		Heel S	0.04 degr.

HOLD DATA**ONE HOLD Sea**

Compartment	Draft m	Max.BM %	Min.Weight t	Weight t	Max.Weight t	Status
R1.01	12.41	49.4	1350.12	9571.00	17630.00	OK
R1.02	12.39	29.7	0.00	11281.00	15333.00	OK
R1.03	12.37	31.2	1485.24	10707.00	19721.00	OK
R1.04	12.35	33.6	0.00	11281.00	15333.00	OK
R1.05	12.34	34.5	1333.27	9860.00	18165.00	OK

ONE HOLD Har

Compartment	Draft m	Max.BM %	Min.Weight t	Weight t	Max.Weight t	Status
R1.01	12.41	20.6	0.00	9571.00	17630.00	OK
R1.02	12.39	17.6	0.00	11281.00	15333.00	OK
R1.03	12.37	16.7	0.00	10707.00	19721.00	OK
R1.04	12.35	16.9	0.00	11281.00	15333.00	OK
R1.05	12.34	16.7	0.00	9860.00	18165.00	OK

TWO ADJACENT HOLDS Sea

Compartment	Draft m	Max.BM %	Min.Weight t	Weight t	Max.Weight t	Status
R1.01+R1.02	12.40	49.4	4628.77	20852.00	28343.00	OK
R1.02+R1.03	12.38	31.2	4859.33	21988.00	29886.00	OK
R1.03+R1.04	12.36	33.6	4826.60	21988.00	29886.00	OK
R1.04+R1.05	12.35	34.5	4601.27	21141.00	28738.00	OK

TWO ADJACENT HOLDS Har

Compartment	Draft m	Max.BM %	Min.Weight t	Weight t	Max.Weight t	Status
R1.01+R1.02	12.40	20.6	377.78	20852.00	28343.00	OK
R1.02+R1.03	12.38	17.6	376.05	21988.00	29886.00	OK
R1.03+R1.04	12.36	16.9	343.30	21988.00	29886.00	OK
R1.04+R1.05	12.35	16.9	291.48	21141.00	28738.00	OK