

Tomi Liias

VAATIMUKSET JA VAKAVUUS PIENALUKSELLE

Merikapteenin koulutusohjelma

2018

## Vaatimukset ja vakavuus pienalukselle

Liias, Tomi  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Merikapteenin koulutusohjelma  
Joulukuu 2018  
Sivumäärä: 39  
Liitteitä: 2

Asiasanat: pienalusturvallisuus, mallintaminen, tietokoneavusteinen suunnittelu, vakavuus, hydrostatiikka, poikkikäyrästä, vakavuusanalyysi

---

Työn tarkoituksena oli arvioida pienen aluksen turvallisuutta lähinnä vakavuusanalyysillä. Lisäksi työssä selvitetään perusvaatimuksia vakavuusnäkökulmasta kansainvälisistä yleissopimuksista ja säännöistä. Työn kohteena on pieni hybridialus, jolla voidaan kuljettaa kansilastia sekä polttoaineita bulkkina. Alus on toimeksiantajan puolesta valmiiksi suunniteltu SolidWorks CAD-ohjelmistolla.

Teoreettisessa osassa etsitään tapoja toteuttaa aluksen hydrostatiikka ja poikkikäyrästä kustannustehokkaasti. Tähän hyödynnettiin eri alusmallinnusohjelmia ja niistä saatua dataa. Poikkikäyrästä on laskettu Excel-taulukkolaskentaa hyödyntäen.

Työn tuotteena muodostui vakavuuskirja kyseiselle alukselle sisältäen useita vakavuusanalyysijä, sekä olennainen aineisto vakavuuden selvittämiseksi myöhemmin. Tuotteen toisena osana on itsenäinen taulukkolaskenta, jolla voidaan nopeasti lastaus-tilanteen mukaan tehdä vakavuusanalyysi.

## Requirements and stability for small vessel

Lias, Tomi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Maritime Management

December 2018

Number of pages: 39

Appendices: 2

Keywords: safety of small vessels, modelling, computer-based design, stability, hydrostatics, cross curves of stability, stability analysis

---

The purpose of this thesis was to estimate the safety of small vessel mostly by stability analyses. In addition to search basic requirements in a perspective of stability from international conventions and codes. Object of this thesis was small hybrid vessel, which is capable to transport deck cargo and fuel cargo as a bulk. The vessel was designed ready with SolidWorks CAD-software by the contractor.

The theoretical part of the thesis was search for cost effective methods to produce the data of hydrostatic and cross-curves of stability. This was made by different ship modelling software and receivable data of them. Cross-curves of stability is made with Excel spreadsheet computation.

As a product of this thesis formed a stability booklet for the vessel in question including multiple stability analysis, along with essential data to search for stability later. Second product was a stand-alone spreadsheet computation for stability calculation, which could be used for quick stability analyses in different loading conditions.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	VAATIMUKSET .....	6
2.1	IMO:n yleissopimukset.....	6
2.2	SOLAS-yleissopimus 1974 (2014 lisäyksillä).....	7
2.2.1	Osiointi ja vakavuus .....	8
2.3	Ehjän aluksen vakavuus (IS 2008-säännöstö).....	9
2.4	MARPOL.....	10
2.4.1	Yleiset, katsastus ja sertifikaatit .....	11
2.4.2	Vaatimukset tiloista ja laitteista.....	12
2.4.3	Jätteiden käsittely aluksilla (V -lisäys).....	14
2.5	Aluksenmittausyleissopimus (Tonnage measurement of ships, 1969).....	14
2.5.1	Bruttovetoisuus (GT).....	15
2.5.2	Nettovetoisuus (NT) .....	15
2.6	Lastiviivayleissopimus (Load Lines 1966, 1988 protokolla) .....	16
3	VAKAVUUS.....	20
3.1.1	Painopiste (Gravity).....	20
3.1.2	Uppouman painopiste (Buoyance) .....	21
3.1.3	G- ja B-pisteen vaikutus aluksen vakavuuteen.....	22
3.2	Vakavuuden perusdatan hakeminen tietokoneavusteisesti .....	22
3.3	Vakavuuslaskentaan käytetyt ohjelmistot.....	23
3.3.1	MultiSurf + Hydro .....	24
3.3.2	Delftship .....	25
3.3.3	Muut ohjelmat .....	25
3.4	Aluksen mallintaminen .....	26
3.5	B-pisteen sijainnin määrittäminen .....	27
3.6	KP-arvojen määrittäminen.....	31
3.7	Datan luotettavuuden arviointi.....	37
3.8	Vakavuusanalyysi .....	38
4	POHDINNAT.....	38
5	LÄHTEET .....	40
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Työ on tehty suomalaismalediivilaiselle yritykselle, joka suunnittelee ja valmistaa pieniä rahtialuksia kansalliseen liikenteeseen Malediiveilla.

Alukset ovat pieniä proomuja ja tuotetankkereita saarivaltion sisäiseen liikenteeseen. Uusimpana tuotteena valikoimaan on kehitetty hybridialus, jonka perustana on maihinnousulautta, jolla on myös mahdollista kuljettaa noin 270 m<sup>3</sup> polttoaineita. Paikallisesta vaatimustasosta sekä alusten kokoluokasta johtuen aluksien vakavuutta ei ole arvioitu kovin tarkkaan. Tässä työssä keskitytään edellä mainittuun uusimpaan alusmalliin.

Malediivien noin 400 000 ihmistä asuu lähes 200:lla eri saarella, jotka ovat kymmenien tai jopa useiden satojen kilometrien etäisyydellä toisistaan. Teknologisoitumisen myötä saarivaltioille tyypilliseen tapaan elämä on tullut hyvin riippuvaiseksi säännöllisestä vesiliikenteestä. Varsinkin polttoaineiden kuljetus vesiteitse on noussut merkittäväksi muun huolto- ja rakennustarvetoimitusten ohella. Tähän tarpeeseen muun muassa kalastajat ovat vastanneet puu- ja lasikuituvalmisteisilla kalastusveneillään tekemällä niihin pieniä muutoksia polttoaineen kuljetusta varten. Tapaturmien ja suuren luonnonvahinkoriskin vuoksi Malediivien hallinto on kiristänyt vaatimuksia polttoainetta kuljettavien alusten suhteen, muun muassa vaatimalla aluksille metallisia rakenteita. Vaatimuksia koskevan lain voimaan astumisen siirtymäkautta on jouduttu jatkamaan riittävän aluskannan puutteen vuoksi. (Henkilökohtainen tiedonanto, 14.2.2017, Kalle Keltto)

Tässä työssä on tehty tiivistetty otanta YK:n alaisen merenkulkujärjestö IMO:n (International Maritime Organization) laatimista yleissopimuksista ja koodeista, lähinnä aluksen vakavuuden ja merikelpoisuuden näkökulmasta. Työn tarkoituksena on löytää metodi selvittää aluksen muotovakavuutta riittävällä tarkkuudella hyödyntäen nykyaikaisia välineitä, mahdollisimman pienellä budjetilla. Haasteena oli luoda niin sanottu poikkikäyrästä graafina ja taulukkona. Tämän perusteella voidaan kattavammin arvioida sekä tehdä esimerkkejä vakavuudesta eri syväyksillä ja VCG (KG) -arvoilla. Työn

tuotteena syntyy otteita aluksille päällikön manuaaliin, etenkin vakavuudesta ja lastauskäytännöistä.

## 2 VAATIMUKSET

Pienaluksia koskeva lainsäädäntö sekä vaatimukset vakavuuden ja turvallisuuden näkökulmasta tulevat usein kansalliselta hallinnolta ja viranomaisilta, tosin yleensä edellyttäen, että alus liikennöi kotimaan liikenteessä. Aluksen siirtyessä kansainväliseen liikenteeseen aluksen tulee yleensä täyttää myös kansainväliset sopimukset ja lait. Usein kansallisten vaatimusten lähtökohtana on jonkinasteiset sovellukset kansainvälisistä sopimuksista (Ammattiveneohjeisto versio 2016.2, 2018, s. 14). Tästä hyvänä esimerkkinä on toimeksiantajalle esitetty vaatimus toteuttaa tyhjä osasto tankkereihin konehuoneen ja lastitankkien väliin, näiden vaatimusten voidaan olettaa tulevan MARPOL-yleissopimuksesta (henkilökohtainen tiedonanto 16.2.2017, Kalle Keltto). Vaatimuksia on selvitetty rajautuen vakavuuteen ja merikelpoisuuteen liittyviin osiin, lisäksi tähän kootut asiat ovat alustyyppiin ja koko luokkaan soveltuvia. Tarkoituksena ei ollut selvittää sääntöjä kokonaisuudessaan, jotta alus voitaisiin rekisteröidä kansainvälisten sopimusten mukaiseen liikenteeseen tai että se täyttäisi esimerkiksi luokittajan luokkavaatimukset. IMO:n kansainvälisten sopimuksien ja lakien vaatimukset pohjautuvat pitkäjänteiseen tutkimukseen ja toimivat näin hyvänä perustana sekä vertailukohtana aluksen turvallisuuden selvittämisessä.

### 2.1 IMO:n yleissopimukset

International Maritime Organization eli IMO, alun perin IMCO on YK:n alainen kauppamerenkulkua säätelevä järjestö, jonka jäseninä ovat kaikki merkittävät merenkulkua harjoittavat valtiot. Riippuen jäsenvaltion tahtotilasta ja suhtautumisesta, sopimukseen liittymisajankohdasta ja sopimuksen tyypestä, voi sopimukseen osaan ottava termi vaihdella. Parhaimmillaan järjestön jäsenvaltiot ratifioivat sopimukset, niiden lisäykset ja päivitykset osaksi maan lakia yksitellen omassa aikataulussaan. Lisäykset ja muutokset jo hyväksytyihin sopimuksiin astuu voimaan kansainvälisessä liikenteessä

esimerkiksi periaatteella, jos vähemmän kuin 1/3 osa vastustaa muutosta ja yli 1/2 osapuolista kannattaa muutosta (International Maritime Organization, 2017). Tämä kansainvälinen voimaan astuminen ei kuitenkaan ole voimassa aluksissa, jotka on rakennettu ja rekisteröity kansalliseen liikenteeseen sellaiseen valtioon, joka ei ole sopimusta tai lisäystä ratifioinut.

Sääntöjä on kehitetty yleisesti ottaen aina suurempien onnettomuuksien myötä sykäyksittäin, esimerkiksi RMS Titanic uppoamisen myötä. Historiassa on ollut paljon haasteita sopimusten läpimenon suhteen osaksi ”kansainvälistä lakia”.

Työn kohdemaassa Malediiveilla IMO:n sopimusten ja säännösten ratifiointia on tapahtunut yleisesti ottaen suppeammin ja hitaammin maan poliittisten epävakauksien myötä (GISIS: Status of Treaties). Monet sopimukset ja lisäykset on kuitenkin hyväksytty, mutta niitä ei ole ratifioitu osaksi maan lakia.

Huolimatta siitä, että alukset liikkuvat suurimmaksi osaksi kansallisen lainsäädön vaatimusten alaisena Malediiveilla, käytän työssäni kansainvälistä säännöstöä vaatimustason määrittelyssä. Näin alukset ovat paremmin jälleenmyytävissä ja markkina-alue on suurempi, mikäli ehdot täyttyvät. Sääntöjä ja vaatimustasoa selvitettyä olen pyrkinyt käyttämään tuoreinta kirjoittamishetkellä saatavilla olevaa materiaalia.

Tulee ottaa huomioon, että IMO:n säännöt on usein suunniteltu suurempia aluksia varten, kun taas työn kohteena olevat alukset ovat kokoluokaltaan pienempiä ja säännöt koskevat niitä vain osittain.

## 2.2 SOLAS-yleissopimus 1974 (2014 lisäyksillä)

Safety of Life at Sea -yleissopimuksen eli säännöt elämän suojelemiseksi merellä ensimmäiset versiot on laadittu jo viime vuosisadan alkupuolella. Vuoden 1974 SOLAS-yleissopimus on yksi laajimmin hyväksytyistä koskien maailman aluskannasta yli 99 prosenttia bruttotonneissa mitaten.

Sopimus sisältää kaikkia vesiliikenteen kaupallisia aluksia koskevia rakenteellisia vaatimuksia elämän turvaamisen näkökulmasta. Laajimmat luvut käsittelevät laivojen yleisiä rakenteita ja katsastusvaatimuksia sisältäen osiointia ja vakavuutta, koneistoja ja sähköistyksiä sekä paloturvallisuutta ja pelastautumisvälineitä ja monia muita näihin liittyviä aiheita (SOLAS, 2014, s. iii). Lisäksi sopimukseen on sisällytetty omiin lu-

kuihin erityisvaatimuksia matkustaja-aluksille ja eri lastityyppisiä kuljettaville aluksille, sekä omat vaatimukset ydinvoimakäyttöisille aluksille. SOLAS-yleissopimus koskee lähtökohtaisesti aluksia 500 bruttorekisteritonni ylöspäin, ellei säännössä ole erityismainintaa muusta (SOLAS, 2014, s.24).

Pyrin poimimaan tähän olennaisimmat vaatimukset, jotka koskevat pieniä aluksia rakentajan ja telakan näkökulmasta.

### 2.2.1 Osiointi ja vakavuus

SOLAS-yleissopimuksen vaatimukset esimerkiksi rakenteiden ja vuotovakavuuden suhteen koskevat vain matkustaja-aluksia sekä yli 80 metriä pitkiä muita aluksia (SOLAS, 2014, s. 54). Näin ollen pieniä aluksia koskevat vaatimukset vauriotilanteissa ovat vähäisiä ja pääpiirteittäin yksinkertaisia. Vakavuus määräykset koskevat kaikkia matkustaja-aluksia ja rahtialuksia 24 metrin lastilinjapituudesta ylöspäin. Vähimmäisvaatimuksena alusten tulisi vakavuudeltaan täyttää 2008 IS-koodin (Intact Stability) A- osan vaatimukset. Viranomaisen voi antaa luvan, että vakavuuslaskelma ja kallistuskokeen tulokset voidaan kopioida sisäaluksille, mikäli tyhjän aluksen uppouma ei poikkeaa yli 2 -prosenttia ja pitkittäinen painopiste ei siirry 0,5-prosenttia pituuden suhteen, koskien alle 50 metrisiä aluksia. (SOLAS, 2014, s. 55)

Kaikilla näihin sääntöihin kuuluvilla aluksilla tulisi olla tarjolla viranomaisen hyväksymä manuaali (vakavuuskirja), joiden tiedoilla voidaan selvittää nopeasti ja helposti aluksen vakavuus muuttuvissa olosuhteissa (esim. lastitilanne). Manuaalin tulisi sisältää kuvaaja tai taulukko minivaatimuksista metasentterin korkeudesta (GM) syvyyden suhteen tai painopisteen korkeuden (KG) maksimiarvoista syvyyden suhteen, sekä kaikki muu olennainen tieto ylläpitää ehjävakuus sekä vuotovakuus.

Edellä mainitut materiaalit proseduureista ja aluksen rakennekuvat, joihin on selvästi merkattu vesitiiviit laipiot ja niissä olevat aukot, täytyy olla komentosillalla kiinteästi nähtävillä tai nopeasti esille otettavissa. (SOLAS, 2014, s. 56)

Vuotovakuusvaatimuksissa on joitakin vaatimuksia pienemmille aluksille huolimatta toisen luvun ensimmäisessä osassa säännössä neljä olevasta tekstistä, jossa osissa B1-B4 esiintyvät vuotovakuusvaatimukset on rajattu rahtialuksille 80 metristä ylöspäin ja matkustaja-aluksille. Tämän perusteella voidaan olettaa, että osassa



B1 esitettävä vaatimus A-/R-indeksin täyttymisestä ei koske alle 80 metrisiä rahtialuksia. Kaksoispohja tulisi olla vesitiiviiden törmäyslaipion ja konehuonelaipioiden välisellä alueella. Jokseenkin kaksoispohja ei ole välttämätön, mutta niissä tilanteissa, jossa kaksoispohjan tilalle tehdään (osittain) poikkeavia rakenteita, tulisi varmistaa, että alus sietää pohjavaurioita saman luvun säännön kahdeksan mukaan. Lisäksi löytyy pienempiä aluksia koskevia sääntöjä käsittäen vesitiiviidenlaipioiden rakenteet ja läpiviennit sekä näiden rakenteelliset vaatimukset. (SOLAS 2014, 54-84)

### 2.3 Ehjän aluksen vakavuus (IS 2008-säännöstö)

International code on Intact Stability 2008 on säännöstö, mikä määrittää pakolliset vähimmäisvaatimukset aluksen laskennalliselle vakavuudelle. Säännösten edellinen versio on vuodelta 1993. IS 2008 -säännöstö on kansainvälisesti astunut voimaan vuonna 2010, jokseenkin se taas koskee kansainvälisessä liikenteessä olevia aluksia. (International Maritime Organization, 2018)

Säännösten perusvaatimukset ovat olleet käytössä ja vakiintuneina jo pitkään (Matusiak, 1995, s. 7).

Aluksen vakavuutta arvioidaan yleisesti alkuvakavuuden sekä suuremmilla kallistumilla GZ-käyrän arvojen perusteella (Kiuru, 2002b, s. 31-32). Alkuvakavuuden ja GZ-käyrien laskemiseen palataan myöhemmin vakavuusanalyysissä sivulta 38 alkaen.

Säännösten A-osassa kohdassa 2.2 annetaan pakolliset kriteerit toisin sanoen arvot mitkä tulee täytyä, että aluksen vakavuus voidaan tulkita riittäväksi.

Taulukko 1

GM	>	0,15m	Vaihtokeskuksen ja painopisteen etäisyysminimi.
$GZ_{30^\circ}$	>	0,2m	Kallistumalla $30^\circ$ ”oikaisuvarsi” tulee olla suurempi.
GZ max	>	$25^\circ$	Vakavuusmaksimi aikaisintaan kallistumalla $25^\circ$ .
$e_{40^\circ}$	>	0,09 m-rad	Vakavuuslaajuusminimi $40^\circ$ kallistumaan asti.
$e_{30^\circ}$	>	0,055 m-rad	Vakavuuslaajuusminimi $30^\circ$ kallistumaan asti.
$\Delta e$	>	0,03 m-rad	$40^\circ$ ja $30^\circ$ kallistumien vakavuuslaajuuksien erotusminimi

Alkuvakavuutta, sekä GZ-käyrää laskettaessa tulee ottaa huomioon aluksen painopisteeseen matkanaikana tapahtuvat mahdolliset muutokset sekä vapaiden nestepintojen aiheuttamat momentit. Oikaisevan momentin tulisi olla suurimmillaan suositusten mukaan vasta 30 asteen kallistuman jälkeen, minimissään 25 asteen kallistuman jälkeen. Tätä voidaan kuitenkin viranomaisten taholta soveltaa, mikäli se ei alustyyppin kannalta ole järkevää.

A-osan kohdissa 2.3 ja 2.4 annetaan laskentakaavat ja vaatimukset alukselle tuulen ja aallokosta johtuvat rullauksen vaikutusten arvioimiseen. Tuulen osalta selvitetään arvioitu maksimikallistuma 504Pa pysyvän neliöpaineen perusteella, jolloin kallistuman ei tulisi ylittää 16 astetta. Rullauksesta aiheutuvat kallistumat johdetaan kaavasta, johon arvoja haetaan säännöstöstä olevasta taulukosta runkosuhdeluvun (B/d) perusteella sekä täyteläisyyskertoimella (Cb). Tämä taulukko ei kuitenkaan kata arvoja leveärunkoisille aluksille, joiden runkosuhdeluku on 3,5 tai suurempi. Tällöin rullauksen selvittämiseen voidaan etsiä ja käyttää vaihtoehtoisia menetelmiä rekisteriviranomaisen hyväksynnällä, kuten pienoismalli testejä.

B-osa sisältää suosituksina tarkennuksia eri alustyypeille, mutta myös vaihtoehtoisia kriteereitä esimerkiksi ”offshore supply”-aluksille, joilla voi olla suuri alkuvakavuus sekä aikainen vakavuusmaksimi johtuen suuresta runkosuhdeluvusta. Näitä ”offshore supply”-alusten vaatimuksia rekisteriviranomainen voi halutessaan soveltaa B-osan kohdan 2.4.1.3 perusteella jos käyttötarkoitus on vastaava.

## 2.4 MARPOL

Kansainvälinen sopimus alusten saastuttamisen ja ympäristövahinkojen ehkäisemiseksi eli MARPOL. Malediiveilla on hyväksytty sopimuksen ensimmäinen sekä viides lisäys (GISIS: Status of Treaties, 2017). Vaikkakin MARPOL-sopimus on esimerkiksi yksi öljykuljetusten tärkeimmistä opuksista, sen näkökulmana on nimensäkin mukaisesti kuitenkin luonnon suojelu, eikä niinkään suoranainen ihmisten suojelu.

Ensimmäinen lisäys koskee ensisijaisesti öljytankkereita pienestä isoon, sekä muita yli 400 bruttorekisteritonnisia aluksia tai aluksia, jotka pystyvät kuljettamaan suuria määriä (>200m<sup>3</sup>) raakaöljyä tai öljytuotteita. Viidennes lisäys sisältää säännöt jätehuollosta ja sen seurannasta. Muut MARPOL-lisäykset ovat II - säännöt myrkyllisten nesteiden saastuttamisen estämiseksi, III - säännöt haitallisten pakatussa muodossa olevien aineiden saastuttamisen estämiseksi, IV – säännöt jäteveden haittojen ehkäisemiseksi, sekä VI – säännöt ilmaston saastumisen estämiseksi.

IMO on myös julkaissut sopimuksesta ”MARPOL - How to do it” -kirjan viranomaisille, sekä muille tahoille, jotka joutuvat tulkitsemaan sopimuksen sääntöjä. Kirja sisältää myös suosituksia lippuvaltion viranomaisille pienempien alusten kohtelusta, joita sopimuksen säännöt eivät suoraan koske. (IMO Publishing, 2018)

#### 2.4.1 Yleiset, katsastus ja sertifikaatit

Yleisessä luvussa määritellään erityis(suojelu)alueet, joilla vaadittu varustelu taso sekä toiminnan ehdot aluksille on tiukemmat. Olennainen osuus yleisistä säännöistä on määritellä alukset, mitä säännöstö yleisesti koskee.

Lisäksi säännössä 3 annetaan lippuvaltiolle oikeus luopua tietyillä ehdoilla vaatimuksesta, jotka määritellään säännöissä 31 ja 32. Toisin sanoen esimerkiksi alukselle, joka liikkuu 50 merimailin sisällä rannasta rajoitetulla kansallisella reit(e)illä matkan keston ollessa alle 72 tuntia, voidaan sallia liikennöinti ilman öljyn purkukontrolli- ja seurantalaitteistoa. Tällöin aluksessa tulee olla kuitenkin riittävän kokoinen ”sludge”-saastuneen veden tankki.

Luvun lopussa käsitellään katsastusvaatimuksia ja sen perusteella myönnettäviä todistuksia. Alukset, jotka täytyy katsastaa säännön 6 mukaan (ks. taulukko 1), saavat IOPP-sertifikaatin (the International Oil Pollution Certificate), joka on voimassa maksimissaan viisi vuotta kerrallaan

## 2.4.2 Vaatimukset tiloista ja laitteista

Kolmannessa luvussa säännöissä käydään läpi kaikkia rahtialuksia koskevat vaatimukset konehuoneistojen osalta. Ne sisältävät määritelmiä ja vaatimuksia polttoaine-/öljytankkeja varten, öljyn ja veden erottelulaitteista, öljyn purkukontrolli- ja seurantalaitteista sekä öljyseurantalokista.

Huomion arvoisia seikkoja ovat, että polttoaineita ja öljyjä ei tulisi missään aluksessa kuljettaa tankeissa, jotka sijaitsevat SOLAS-yleissopimuksessa määritellyn vedenpitävän törmäyslaipion keulan puolella.

Öljytuotteita ja painolastivettä ei tulisi kuljettaa samoissa tankeissa (edes eriaikaan), jos näin kuitenkin joudutaan tekemään, painolastivesi tulee purkaa maihin tai säännön 15 vaatimusten mukaisesti eroteltuna öljystä.

Neljännessä luvussa käydään läpi öljytankkereiden erityissääntöjä lastitiloista, pumpuhuoneista, putkistoista ja niiden suojauksesta. Suojaus sisältää kaksoispohjavaatimuksia, tankkien koon rajoituksia sekä erilaisia laskentamalleja hypoteettisista tankkien vuototilanteista. Olennaisena osana on myös tankkerin vakavuus- ja vuotovakavuusvaatimukset.

Seuraavassa taulukossa ilmaistaan myös suosituksia kurssivoituna lyhenteellä S\*.

Vaati- mus	Öljytankkerit < 150GT	Öljytankkerit > 150GT	Muut, jos tankki- kapasiteetti > 200m <sup>3</sup>	Muut < 400GT	Muut > 400GT
Katsastus (MAR- POL-vaai- timukset)	Ei vaadita, mutta aluksen tulee täyttää riittävät lippuvaltion asettamat vaatimukset	Vaaditaan, uusintakatsastus maksimissaan 5 vuoden välein.	Ei vaadita, mutta aluksen tulee täyttää riittävät lippuvaltion asettamat vaatimukset	Ei vaadita, mutta aluksen tulee täyttää riittävät lippuvaltion asettamat vaatimukset	Vaaditaan, uusintakatsastus maksimissaan 5 vuoden välein.
Sertifi- ointi	Ei vaadita.	IOPP-sertifikaatti (pois lukien kansallinen liikenne)	Ei vaadita	Ei vaadita.	IOPP-sertifikaatti (pois lukien kansallinen liikenne)
Öljyisen nesteen mereen purun kontrolli	Koskee kaikkia aluksia säännön 15 mukaan.	Koskee kaikkia aluksia säännön 15 mukaan.	Koskee kaikkia aluksia säännön 15 mukaan.	Koskee kaikkia aluksia säännön 15 mukaan.	Koskee kaikkia aluksia säännön 15 mukaan.
Varustus	Purkausliittimet säännön 13 mukaan. <i>S*: Pilssivesien öljyerottelu sekä varastointi</i>	Pilssivesien erottelulaitteisto. Hyväksytty öljypitoisuuden mittauslaitteisto	Öljyn purun valvontaa ja ohjaus-, sekä öljypitoisuuden mittauslaitteistot	Purkausliittimet säännön 13 mukaan. <i>S*: Pilssivesien öljyerottelu, sekä varastointi. Minimivaatimuksena erottelusäiliö järjestelmä.</i>	Vaaditaan säännön 12 mukaiset varastoititankit sekä säännön 13 mukaiset purkausliittimet.
Rakenteet	Painolastivettä ei tulisi kuljettaa polttoainetankeissa, mikäli käytännöllistä ja mahdollista. Riittävä varastointikyky öljyisille nesteille. <i>S*: Ei öljyjä törmäyslai-pion keulan puolelle.</i>	Painolastivettä ei tulisi kuljettaa polttoainetankeissa, mikäli käytännöllistä ja mahdollista. Purkausliittimet säännön 13 mukaan. ”Slop”-tankki vähintään 3% lastitilavuudesta. Tankkien koko ja	Lastitankkien pituus säännön 26:4 mukaan. Painolastivettä ei tulisi kuljettaa polttoainetankeissa, mikäli käytännöllistä ja mahdollista. Purkausliittimet säännön 13 mukaan. ”Slop”-tankki (sääntö 29). Säännön 30 mukaiset putkitukset ja purkulinjat. <i>S*: Ei öljyjä törmäyslai-pion keulan puolelle.</i>	Painolastivettä ei tulisi kuljettaa polttoainetankeissa, mikäli käytännöllistä ja mahdollista. Lippuviranomaisen määrittämällä tavalla öljysuodatusjärjestelmä tai riittävä varastointikyky.	Hyväksytty öljyn erottelu ja pitoisuudenmittauslaitteisto, rajoitetusti voidaan korvata riittävällä varastointi kyvyllä (sääntö 14.5)
Lokit	Öljyloki tarvitaan sääntöjen 34.6 sekä 36.3 ehdolla. Öljyvahingon hätäsuunnitelmaa ei vaadita	Öljyloki, Lastaus ja vuotovakavuus ohje. Ohjeet öljynerottelu ja suodatuslaitteistolle, sekä öljyvuodon hätäsuunnitelma	Öljyloki tarvitaan sääntöjen 34.6 sekä 36.3 ehdolla. Öljyvahingon hätäsuunnitelmaa ei vaadita	Ei vaadita	
IOPP ser- tificaatti	Ei vaadita			Ei vaadita	
Kaksoispohja- ja/tai kaksoisrunkovaatimukset koskevat tankkereita 600 deadweight-tonnista ylöspäin.					

Taulukko 1 - MARPOL I -lisäyksen mukaiset vaatimukset aluksen kokoluokan mukaan

### 2.4.3 Jätteiden käsittely aluksilla (V -lisäys)

Säännöstö koskee jätteiden käsittelyä ja se koskee kaikkia aluksia. Aluksissa, jotka ovat yli 12 metriä kokonaispituudeltaan, henkilöstön tulisi tietää sääntöjen 3 ja 5 sisältö yksinkertaistettuna. Lisäyksessä määritellään rajat, minkä sisällä häviävien jätteiden purku mereen on oikeutettua, sekä mitkä jätteet tulee säilyttää aluksella ja toimittaa maihin käsiteltäviksi. Vaatimukset lisääntyvät aluksen koon kasvaessa muun muassa jätesuunnitelmalla. Kaikilla aluksilla tulisi kuitenkin olla jätteiden asianmukaisen käsittelyn lisäksi jätekirjanpito muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta.

### 2.5 Aluksenmittausyleissopimus (Tonnage measurement of ships, 1969)

Kansainvälinen yleissopimus alusten brutto- (GT) ja nettovetoisuuksien (NT) määrittämiseksi on tehty vuonna 1969 ja se astui voimaan vuonna 1982. Se yhtenäisti ja korvasi monet aikaisemmat menetelmät ja mittaustavat. Tonnistosopimukseen on kirjoitushetkellä liittynyt 157 maata ja se kattaa 99,08% maailman kokonaistonnistosta (GISIS: Status of Treaties, 2017).

Brutto- ja nettovetoisuus eivät ole yksiköllisiä arvoja, vaan ne ovat kuin indeksi arvoja aluksen tai aluksen lastitilojen nettotilavuuden perusteella, joten niitä ei voi verrata suoraan esimerkiksi uppoumaan tai aluksen kuolleeseen painoon. Suhdeluku myös kasvaa aluksen tilavuuden kasvaessa.

Brutto- ja nettovetoisuus ovat kuitenkin olennaisia arvoja vaatimusten selvittämiseksi, sillä monet IMO:n yleissopimuksien säännöt rajataan vetoisuuksien perusteella. Lisäksi vetoisuuksia käytetään monien tariffien perustana.

Vetoisuuksien ja niiden laskelmien oikeellisuudesta vastaa aina lippuvaltion rekisteriviranomainen, joka kuitenkin halutessaan voi käyttää luotettavaa henkilöä tai tahoa laskelmien määrittämiseen (Aluksenmittausyleissopimus, 1969, 0 § 6)

Sopimuksen 1 luvun säännössä 2 määritellään mittaustavat sekä tilat, jotka huomioidaan tilavuutta määriteltäessä. Yleisesti ottaen kaikki vesitiiviit osastot ja kiinteät tilat aluksessa kuuluvat tilavuuteen. Mittaus suoritetaan aluksen sisäpinnoista pois lukien esimerkiksi eristeet (Aluksenmittausyleissopimus, 1 § 7).

### 2.5.1 Bruttovetoisuus (GT)

Bruttovetoisuus lasketaan työn alukselle Aluksenmittausyleissopimuksen luvusta 1 § 3 löytyvällä kaavalla:

$$GT = 588m^3 * (0,2 + 0,02 \log_{10} 588m^3)$$

$$GT = 150,17$$

Tässä tapauksessa saatu arvo perustuu arvioituun tilavuuteen, ei todellisiin laskelmiin. Saatu bruttovetoisuus on myös rajatapaus esimerkiksi MARPOL:in ensimmäisen osan vaatimusten suhteen, joista esimerkiksi katsastus-, laitteisto ja sertifiointivaatimukset tiukkenevat 150GT ylöspäin.

### 2.5.2 Nettovetoisuus (NT)

Nettovetoisuus lasketaan seuraavalla Aluksenmittausyleissopimuksen luvusta 1 § 4 löytyvällä kaavalla alukselle, jossa ei ole matkustajia:

$$NT = V_c(0,2 + 0,02 \log_{10} V_c) \left(\frac{4d}{3D}\right)^2$$

Kaavan viimeisen osan tulon ollessa suurempi kuin 1, korvataan se 1:llä.

$$\frac{4 * 1,7m}{3 * 2,43m}^2 = 1,866 > 1$$

$$NT = 254,55m^3 * (0,2 + 0,02 \log_{10} 254,55m^3)$$

$$NT = 63,16$$

Nettovetoisuuden merkitys on jokseenkin kyseenalainen, koska se ottaa huomioon vain suljetut lastitilat, eikä kansilastia. Isojen autokuljetusalusten nettovetoisuus voi olla huomattavan suuri verraten esimerkiksi suurelta osin kansilastissa kulkevaan konttialukseen. (Vasudevan, 2010)

## 2.6 Lastiviivayleissopimus (Load Lines 1966, 1988 protokolla)

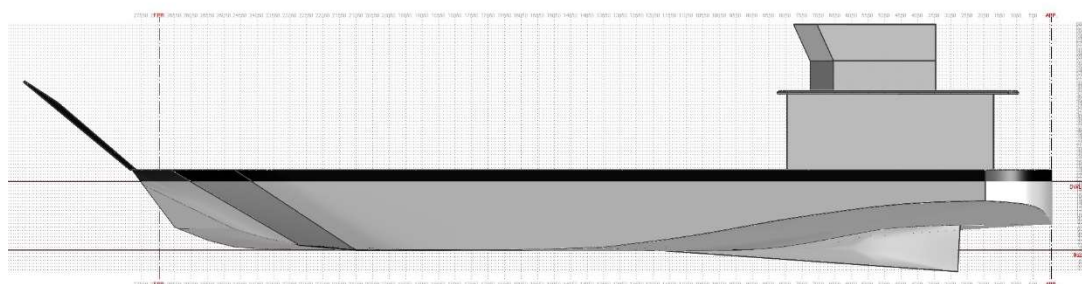
Lastiviivayleissopimuksen perustarkoituksena on estää aluksien yli kuormaaminen vakavuuden kustannuksella. Tätä varten on kehitetty varalaita määräykset, joiden perusteella aluksen kylkeen merkataan lastausmerkit, jotka normaalisti eivät saa mennä veden alle. Ensimmäinen lastiviivayleissopimus on tehty 1930, joka on uusittu vuonna 1966 ja on pääpiirteittäin säilynyt tähän päivään asti. Lastiviivayleissopimuksen vuoden 1988 protokollassa sitä harmonisoitiin yhteensopivammaksi SOLAS ja MARPOL yleissopimusten kanssa. Se on saanut myös joitakin lisäyksiä vuosien varrella. (IMO, 2018)

Lastiviivayleissopimuksessa määritellään varalaita korkeuden lisäksi keulapakan minimikorkeus sekä monia vesitiiviiden kannalta tärkeitä asioita esimerkiksi ilmanvaihtoputkien ja laitteiden osalta. Lisäksi määritellään kaivorakenteiden, kuten parraslaitojen tyhjentymisaukkojen suuruus.

Sopimuksen laskelmissa käytetty pituus (L) on 96% vesilinjanpituudesta 85%:in sisäsyvyydellä (International Maritime Organisation, 1966, Prot. 1988):

$$D_{85\%} = 0,85 * 2,44m = 2,074m$$

$$L = 0,96 * 27,57m = 26,47m$$



Kuva 1

Varalaitakorkeutta määritettäessä aluksen jaetaan A- ja B-kategorioihin, joille molemmille on taulukoitu varalaitakorkeudet pituuden mukaan. A-luokkaan kuuluvat alukset, jotka kuljettavat nesteitä bulkkina, eli ovat tankkereita. B-luokkaan kuuluvat



kaikki muut kuin A-luokkaan kuuluvat alukset. Pienemmissä aluksissa varalaitakorkeudet ovat yhteneväiset kummassakin kategoriassa, alusten kasvaessa B-luokan varalaita vaatimukset kasvavat nopeammin. Varalaitataulukosta voidaan lineaarisella interpoloinnilla hakea pituutta vastaava varalaitakorkeus:

$$FB = 217mm \left( \frac{225mm - 217mm}{27m - 26m} \right) (26,47m - 26m) \approx 221mm$$

Tällöin lastimerkkisyväys olisi:

$$2440mm - 221mm = 2219mm$$

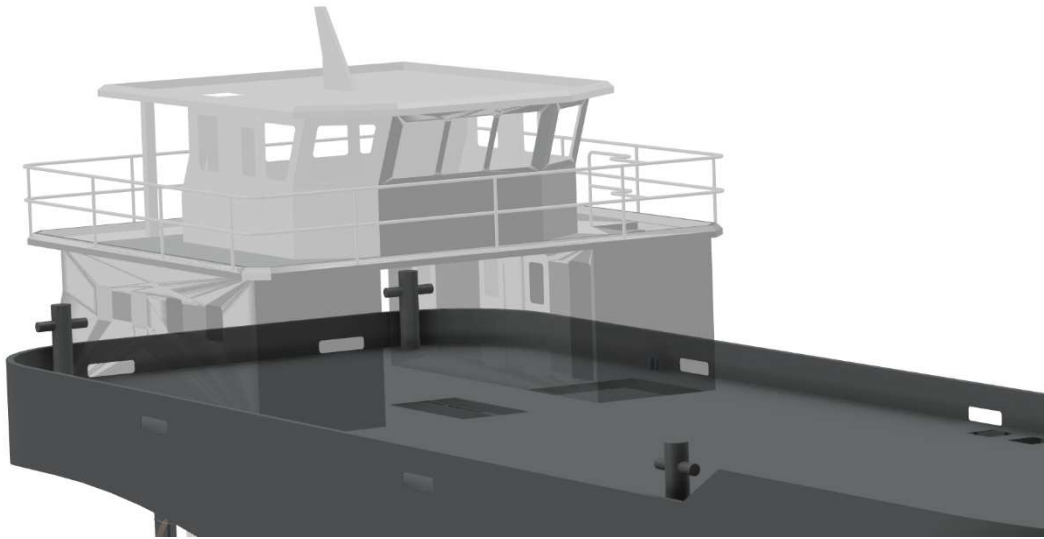
Varalaitakorkeuteen tehdään kuitenkin muutamia korjauksia, joista ensimmäisenä alle 100 metrisille aluksille tehtävä korjaus, kansirakenteiden tehollisen pituuden ollessa alle 35% pituudesta on varalaitaan lisättävä  $FB_{c1}$  (§29). Kohde aluksessa kansirakenteen ollessa kaksiosainen, sekä portaikko-osaltaan aukinainen (kuva 2), kansirakenteiden tehollisen pituuden määrittäminen on tulkinnanvaraista. Kansirakenteiden tehollisen pituuden vähentäminen nostaa varalaitakorjausta. Seuraavassa kaavassa korjaus tehdään kuin kansirakenne olisi yhtenäinen:

$$FB_{c1} = 7,5(100m - 26,47m) \left( 0,35 - \frac{\frac{7,5m}{9m} * 6m}{26,47m} \right)$$

$$FB_{c1} = 7,5(73,53)(0,35 - 0,189)$$

$$FB_{c1} = 91,26mm$$

$$FB_{corrected} = 221mm + 91,26mm = 312mm$$



Kuva 2

Jos täyteläisyyskerroin ( $C_b$ ) ylittää arvon 0,68, kerrotaan varalaita seuraavasti (§30):

$$FB_{corrected} = \frac{0,82 + 0,68}{1,36} 312mm = 344mm$$

$C_b$ -arvo on katsottu DELFTshipin alukselle luomasta hydrostaatiikasta syvyyden perusteella tasakölillä.

Korjaus sivukorkeuden perusteella, mikäli se on suurempi kuin  $L/15$  (§31):

$$\frac{26,47m}{15} = 1,76m < 2,44m$$

$$FB_{c2} = \left(2,44m - \frac{26,47m}{15}\right) \frac{26,47m}{0,48}$$

$$FB_{c2} = 38mm$$

$$FB_{corrected} = 344mm + 38mm = 382mm$$

$$D_{lastimerkki} = 2440mm - 382mm = 2058mm$$

Huolimatta ensimmäiseen varalaitakorkeuden korjaukseen vaikuttavasta kansirakenteiden tehollisen pituuden määrittämisestä, varalaitavaatimus on kuitenkin pienempi kuin suunniteltu varalaita:

$$2,44m - 1,7m = 0,74m > \begin{matrix} 0,382_{min}m \\ 0,484_{max}m \end{matrix}$$

Keulan minimikorkeus kyseiselle alukselle olisi säännön 39 ensimmäisen pykälän mukaan:

$$F_b = \left( 6075 \left( \frac{26,47m}{100} \right) - 1875 \left( \frac{26,47m}{100} \right)^2 + 200 \left( \frac{26,47m}{100} \right)^3 \right) \\ * \left( 2,08 + 0,609 * 0,82 - 1,603 * 0,96 - 0,0129 \left( \frac{26,47m}{2,074m} \right) \right)$$

$$F_b = 1296,61mm$$

$$FB_{b-bulwark} = 3,494m - 2,44m = 1,054m < 1,297m$$

Keulankannen minimikorkeus olisi alukselle kesälasterkistä 1,297 metriä, mutta se ei ole mahdollista aluksen käyttötarkoituksen vuoksi. Tähän lastiviivayleissopimuksen §39, pykälä 3 antaa hallinnolle mahdollisuuden hyväksyä alus keulakorkeusvaatimuksesta huolimatta, mikäli käyttötarkoitus niin vaatii.

### 3 VAKAVUUS

Aluksen vakavuuslaskennassa määritetään ensisijaisesti kaksi vakavuuden kannalta tärkeää pistettä, joiden perusteella aluksen vakavuutta voidaan arvioida. Nämä pisteet ovat koko aluksen painopiste sekä uppouman nostepiste. Näiden pisteiden sijainti luonnollisesti muuttuu eri lastaustilanteissa ja olosuhteissa, joten lähtökohtaisesti vakavuutta arvioidaan mahdollisimman monessa eri skenaariossa huomioiden myös vaurio-/vuototilanteita. (Matusiak, 1995, s. 17) Tämän tutkimuksen tuotteena syntyneestä vakavuus kirjasta löytyy laskentaesimerkkejä tyypillisistä skenaarioista, joita aluksen vakavuusturvallisuuden kannalta on hyvä selvittää.

Näiden pisteiden sijaintia mitataan yleisesti pitkittäisetäisyytenä aluksen peräperpendikkelistä (Longitudinal Center of  $x$ ), poikittäisetäisyytenä aluksen keskiviivasta (Vertical Center of  $x$ ) ja korkeutena aluksen kölistä (Transversal Center of  $x$ ). Tutkimuksen kohteena olevan aluksen pitkittäisetäisyydet on mitattu peräperpendikkelin sijaan aluksen peräpeilistä. Vakavuuslaskennassa käytetään kansainvälisesti yleistyneitä lyhenteitä LC $x$ , VC $x$ , TC $x$ , joissa  $x$ :n korvaa kulloinkin kyseessä olevan pisteen englanninkielisen nimen ensimmäinen kirjain esimerkkinä LCG, longitudinal center of gravity. (Kiuru, 2002b, s. 1)

#### 3.1.1 Painopiste (Gravity)

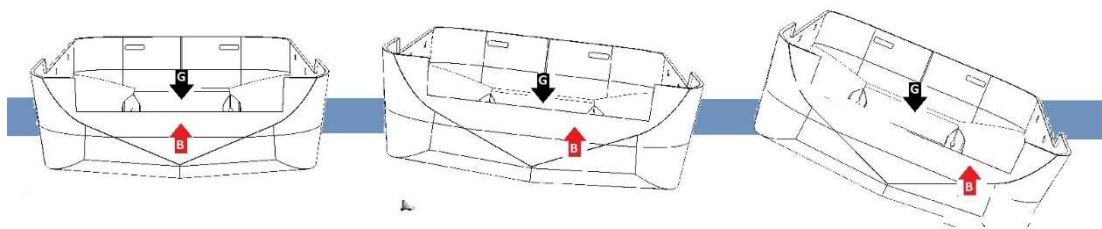
Ensimmäisenä edellisen luvun alussa mainituista pisteistä tulee koko systeemin painopiste. Tällä tarkoitetaan aluksen, lastin ja varastojen yhteistä painopistettä. Tyhjän aluksen painopiste on vakio, ellei alukseen tehdä rakenteellisia muutoksia, mutta lastin ja varastojen määrät ja sijainnit voivat muuttua, jolloin myös koko systeemin painopiste muuttaa sijaintiaan. (Kiuru, 2002a, s. 8) Nykyaikaisessa laivanrakennuksessa tyhjänaluksen painopiste saadaan suhteellisen tarkasti määritettyä jo suunnittelu vaiheessa, mutta vaatimuksena on kuitenkin tarkistaa tyhjän aluksen painopisteen lopullinen paikka valmiista aluksesta kallistuskokeella (SOLAS, 2014, s. 55). Aluksen ak-

tiivikäytössä painopiste tulee laskea kulloisenkin lastaustilanteen mukaan. Tämä koostuu esimerkiksi maihinnousulauttatyypissä aluksessa, jossa kansilastissa painopiste voi olla hyvinkin korkealla riippuen kansilastina kuljetettavien yksiköiden omista painopisteistä. Huomioiden että esimerkiksi isompi 30 tonnin kaivinkone on lähes puolet aluksen omasta painosta ja noin kymmenes aluksen kansilastikantavuudesta. Painopiste määritetään yleisesti momenttilaskuilla, joista esimerkkinä laskentataulukko (LIITE 2).

### 3.1.2 Uppouman painopiste (Buoyance)

Uppoumanpainopiste, myöhemmin B-piste on aluksen vesiviivasta alaspäin olevan rungon tilavuuden painopiste tai toisin sanoen nostepiste. Suorassa olevassa laatikon muotoisessa aluksessa B-piste on keskiviivalla ja pituussuunnassa puolella välissä alusta, korkeussuunnassa syvyyden puolivälissä. Normaalisti alusten keula on kolmion muotoinen ja perästä pohja nousee peräpeiliä kohti, täten aluksen kallistuessa B-piste siirtyy vastaamaan rungonmuodon eli sen vedenpinnan alaisen tilavuuden mukaista keksipistettä.

B-piste siirtyy aluksen syvyyden muuttuessa ja näin myös käy aluksen trimmin muuttuessa. Aluksen poikittais- ja pitkittäiskallistuman asettumien on seurausta siitä, että B-piste hakeutuu aluksen G-pisteen ja maapallon keskipisteen väliselle linjalle (maan vetovoiman suunta). Aluksen kallistuessa B-pisteen sijainti siirtyy aluksen vedenalaisen tilavuuden muotoksesta johtuen. Aluksen kallistuessa poikittain vesivii-



Kuva 1

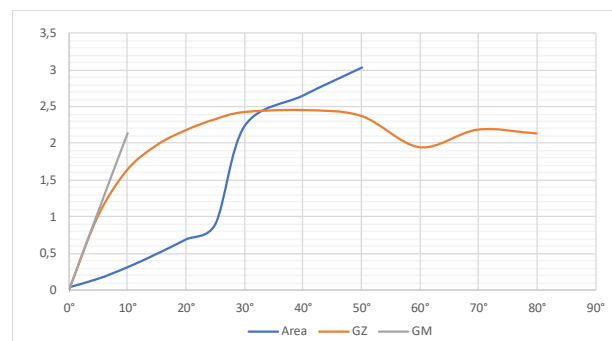
van pinta-alan leveys kasvaa, kunnes kylki painuu veden alle tai toinen nousee vedestä ylös. Jos alus jaetaan keskiviivan suhteen kahteen osaan, kallistuman puoleinen uppouma kasvaa ja vastakkaisen puolen uppouma pienenee. Tästä johtuen B-piste siirtyy

aluksen keskiviivasta kallistuman suuntaan. Laatikonmuotoisessa proomussa B-pisteen sijainti on helpompi määrittää, kun taas perinteisessä aluksessa b-pisteen sijainnin määrittämisessä täytyy ottaa huomioon keulan- ja peränmuodon vaikutus siihen.

B-pisteen sijoittuminen lasketaan eri kallistus- sekä viippauskulmille uppouman tilavuuden suhteen jo aluksen suunnitteluvaiheessa ja tämä tieto annetaan taulukon tai graafin muodossa loppukäyttäjälle. (Kiuru 2002b, 33) Nykyisin kyseessä olevat tiedot ovat pääsääntöisesti ”onboard”-ohjelmistoissa, joka suorittaa vakavuuslaskentaa lähestulkoon automaattisesti.

### 3.1.3 G- ja B-pisteen vaikutus aluksen vakavuuteen

Normaali tilanteessa aluksen kallistuessa B-piste ”siirtyy” alkuvaiheessa nopeammin kallistuman suuntaan kuin G-piste aiheuttaen näin alusta oikaisevan momentin. Tämän toteutuminen edellyttää, että G-piste ei sijaitse liian korkealla aluksen kölistä suhteutettuna sen muotovakavuuteen. Aluksen kallistuessa lisää G-piste kohtaa aluksen B-pisteen kautta kulkevan nosteviivan. Tässä kohtaan aluksen oikaiseva momentti loppuu ja kallistuessaan lisää se kaatuu. Vakavuuslaskennan tavoitteena on määrittää se aluksen kallistuskulma missä tämä tapahtuu sekä miten suuria ovat alusta oikaisevat momentit kaatumiskallistumaan asti.



Graafi 1

G- ja B-pisteen relaatiota tutkitaan yleensä GZ arvon avulla, joka tarkoittaa kummankin pisteen läpi kulkeva pystysuoran etäisyyttä toisistaan.

Aluksen vakavuutta tulkittaessa piirretään koordinaatiston avulla graafi aluksen GZ arvoista erikallistumilla.

## 3.2 Vakavuuden perusdatan hakeminen tietokoneavusteisesti

Vakavuuslaskennassa on alettu hyödyntämään tietokonetta jo varhaisessa vaiheessa (History of NAPA, 2018). Tietokoneavusteisuus on lisännyt turvallisuutta merenkul-

kuun ennen kaikkea vakavuusanalyysien kehittymisen takia. Uudisrakenteiden suunnittelussa otetaankin yhä useammin huomioon aallokon ja tuulen monipuolinen yhteisvaikutus sekä alukseen vaikuttava hydrodynamiikka aluksen nopeuden ja ympäröivien olosuhteiden muuttuessa. Näiden asioiden huomioiminen ja analysoiminen riittävällä tarkkuudella ilman tietokoneen apua olisi hyvin haastavaa, jopa mahdotonta. Ohjelmistojen lisenssimaksut ovat kuitenkin sen verran suuria, että ne eivät ole aina hyödynnettävissä pienemmissä tuotannoissa.

### 3.3 Vakavuuslaskentaan käytetyt ohjelmistot

Alus, jonka vakavuutta tässä työssä selvitin, oli suunniteltu valmiiksi SolidWorks 3D-CAD ohjelmistolla. SolidWorks ohjelmassa ei kuitenkaan ole ominaisuuksia aluksen vakavuuden selvittämisen kannalta olennaisen datan tulostamiseen. Ohjelmasta pystyttiin kuitenkin saamaan riittävän tarkka koko systeemin painopiste, jota hyödynnettiin vakavuusanalyysin pohjana. Huolimatta ohjelmistoista saatavista painopisteistä, tyhjän aluksen painopisteen sijainti tulee aina varmistaa aluksen valmistuttua kallistuskokeella tai muulla vastaavalla viranomaisten hyväksymällä tavalla (SOLAS, 2014, s. 55).

Data mikä ei ole saatavilla suoraan SolidWorks ohjelmistosta, on aluksen nostepisteen (B-piste) sijainti. B-pisteen sijainnin määrittäminen suuremmilla kallistuskulmilla ilman tietokonetta on erittäin haastavaa ja laskennan moninaisuudesta johtuen virheelliset tulokset ovat hyvin mahdollisia (Kiuru 2002a, 57).

Haasteena oli kuitenkin löytää keinoja selvittää vakavuuslaskennan kannalta tarvittavat tiedot pienellä budjetilla, tällöin edistyksellisten ohjelmien kattava käyttö ei ole mahdollista.

Vaihtoehtoiksi jäi tulostaa läpileikkauskuvat riittävällä tarkkuudella, joista hyvillä mittatyökaluilla saisi riittävät mitat B-pisteen sijainnin laskemiseen. Tämäkin vaihtoehto olisi tarkoittanut päivien työtä yhtä lastitilannetta kuvaavan vakavuusanalyysin muodostamiseksi. Toisena vaihtoehtona oli eri ohjelmien hybridikäyttö. Testikäytin useita ohjelmia mieltien ja kokeillen monenlaisia tapoja selvittää tarvittavia tietoja.

Monilla CAD-suunnitteluun tarkoitetuilla ohjelmistoilla on omia versioita tai ohjelmistoliitännäisiä alussuunnittelua varten. Tämä johtunee osittain muotoiluautomaatiosta sekä symmetriasta, mutta enemmän laivan vakavuutta ja hydrodynaamisia ominaisuuksia arvioivien työkalujen tarpeesta. Seuraavat kappaleet käsittelevät ohjelmistoja, joita tähän työhön käytin. Ohjelmistoja on tarjolla muitakin, mutta käyttämäni ohjelmistot olivat helposti saatavilla ja kokeiltavissa.

### 3.3.1 MultiSurf + Hydro

AeroHydro:n MultiSurf ohjelmisto on laivan mallinukseen ja muotoiluun tarkoitettu ohjelmisto, jossa pystyy mallinnetulle alukselle simuloimaan vakavuusanalyysijä sekä tulostamaan käyrästäjä ja taulukoita myöhempää käyttöä varten. Käytössäni oli kuitenkin ohjelmiston määräaikainen testiversio, josta saatava tarkempi data ei ollut lisensioinnista johtuen hyödynnettävissä tämä opinnäytetyön tuotteessa.

Ohjelmalla mallintaminen aloittelevalla tasolla olevalle tekijälle oli haastavaa ja hidasta, mutta mallin kopiointi onnistui ohjelman monipuolisilla työkaluilla vakuuttavan tarkasti. Ohjelman mukana tulleen harjoitusmateriaalin läpikäyminen on lähes välttämätön alkuun pääsemiseksi puhumattakaan ohjelman kokonaisvaltaisesta hyödyntämisestä.

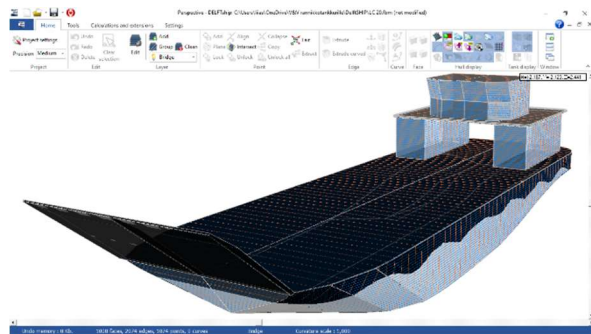
Vakavuusdata muodostetaan Hydro-nimisellä erillisohjelmalla, joka sisälsi kaiken olennaisen tiedon vakavuuslaskennan kannalta mutta ohjelmasta saatava visualisointi on melko karkean tasoista. Vakavuustyökalun käyttö monine välilehtineen on haastavaa sekä tiedon tulostamisominaisuudet olivat melko yksinkertaistettuja. Värien ja tietojen ryhmittelyn puute saa tiedot tulosteella näyttämään kovien sekavalta.

Ohjelmisto oli ensimmäinen kokeilemani tämän alan ohjelmisto ja siinä kiinnostusta herätti ohjelman liitettävyys SolidWorks:iin, jolla alkuperäiset piirustukset aluksesta oli tehty (Aerohydro, Inc, 2018).



### 3.3.2 Delftship

Delftship on yksi kattavista ohjelmistoista laiva-arkkitehtuurin näkökulmasta, ohjelmasta löytyy lisäosien myötä kattavat työkalut turvallisuuden arvioimiseen monesta näkökulmasta. Valikoimassa on lisäosana tarjolla ”onboard”-ohjelma laivalle lastaus-suunnitelua ja vuotovakavuusarvioita



Kuva 2

varten. Delftship on alkuaan Freeship-nimellä tunnettu nimensä mukainen ilmainen alusmallinnukseen tarkoitettu ohjelma, jota on kehitetty Delftin yliopistossa Hollannissa. Ohjelma perusversion saa edelleen ilmaiseksi ja siitäkin saa tasaköylillään maakaavalle alukselle vakavuusdataa tulostettua. Pienellä kustannuksella ”pro”-versiossa saa monia ominaisuuksia lisää ja kattavamman vakavuusdatan vastaavat arvot aluksen trimmin muuttuessa sekä Bonjeanin käyrät datana. Myös tiedostojen vienti ja tuonti ominaisuudet saa tarpeellisia lisäyksiä hybridikäyttöä ajatellen. Vakavuuden poikkikäyrät, vuotokohdat (kriittiset pisteet), vuotovakavuus ja monet muut hyvinkin tarpeelliset ominaisuudet ovat saatavilla vasta lisäosien myötä, jolloin myös kustannukset kasvavat huomattaviin lukemiin.

Ohjelma on pyritty tekemään hyödyntäen edistyneimpiä työkaluja 3D-suunnitteluun ja se on hyvin havaittavissa ohjelmaa käyttäessä. Ohjelma on yksinkertainen käyttää ja perusideasta saa kiinni ilman ohjekirjaakin. Ohjelmasta saa tallennettua vakavuusdataa suoraan Excel-, Word- sekä PDF-dokumentiksi, joista taulukkolaskenta mahdollisti vakavuusdatan helpon hyödyntämisen jatko tutkimuksissa. (DELFTship marine software, 2018)

### 3.3.3 Muut ohjelmat

Vakavuuslaskennan kannalta olennaisin lähtötieto on saada selvitettyä poikkikäyrästä, eli B-pisteen vaakaetäisyys (/vesiviivan suuntainen) eri kallistuskulmissa eri uppouman tilavuuksille. Tähän tarvittavat menetelmät on monissa vakavuuslaskennan kirjojen tuoreimmissa versioissa kuitattu jotakuinkin lauseella; Tietokone laskee ne

puolestasi. Muutamat vanhemmat kirjat kuten ”Basic ship hydrostatics VOL 1” ja Laitan kelluvuus ja vakavuus ottaa kantaa B-pisteen määrittämiseen muutamalla eri laskentatavalla. Nämä laskentatavat ovat kuitenkin tarkoitettu paremmin piirtopöytäkäyttöön kuin tietokoneavusteiseen laskentaan.

Ilmaisia ohjelmia vakavuuslaskentaan on esimerkiksi ArchimedesMB, joka vaikuttaa varsin tehokkaalta työkalulta hydrostaatiikan sekä poikkikäyrästä luomiseen. Löysin ohjelman vastan työn loppu puolella, joten sen hyödyntäminen jäi vähäisemmälle. Ongelmana ArchimedesMB:n kuin muidenkin mallinnusohjelmien kanssa tuntuu olevan tiedostojen siirtäminen ohjelmasta toiseen. Vaikka yhteisiä tiedostoformaatteja löytyy monien ohjelmien väliltä, piirtyvät tiedostot usein väärin toisessa ohjelmistossa.

Tässä työssä päädyin käyttämään Microsoft Excel -taulukkolaskentaa perusdatan selvittämiseen. Tuotteessa esillä oleva hydrostaatiikka on suoratuloste Delftshipistä ja taulukkolaskennan pohjadata on Delftshipistä saatu Bonjeanin käyrästä numereenisena. Kaikki data perustuu uudelleen mallinnettuun kopioon ”.easm”-tiedostosta, joka on SolidWorksin katseluohjelmisto eDrawingsiin tarkoitettu tiedostomuoto.

Uudelleen mallinuksesta ja uudelleen haettujen laskentametodien takia olikin suotavaa kokeilla eri ohjelmia ja ristiin vertailla niiden tulosteita tuloksien varmuuden vahvistamiseksi.

### 3.4 Aluksen mallintaminen

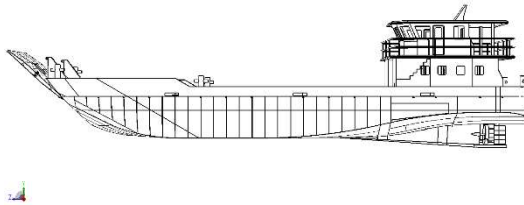
Alusmallin tiedostojen yhteensopivuusongelmista johtuen päädyin mallintamaan alukset uudelleen Multisurf ja Delftship ohjelmistoihin, joista jälkimmäisen kanssa vein alusmallinnoksen pisimmälle. Delftshipistä saatu materiaali oli myöskin vapaata käytettäväksi tuotteeseen.

Alkuperäiset SolidWorks kuvat ovat hyvinkin tarkkoja kaikkine putkituksineen ja komponentteineen. Vakavuuslaskennan kannalta olennaista on piirtää aluksen runko, sekä vakavuuden kannalta merkittävät vesitiiviit kansirakenteet, kuten asuintilat ja komentosiila.

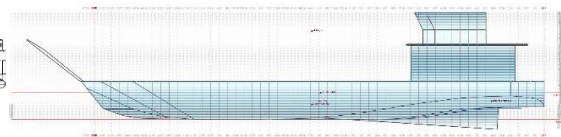
Kaikki tässä työssä käytetyt 3d-ohjelmistot käyttävät x-, y-, z-koordinaatistoa, johon sijoitetaan pisteitä, joiden välille piirtyvät reunaviivat sekä pinnat. Tämän avulla pystyin mittamaan eDrawingsista mallin muotoon vaikuttavat pisteet, jotka siirsin Excel-talukeroon. Tämä oli hyödyllistä myös sen takia että Excelissä pystyin kääntämään

koordinaatiston oikein päin, mistä varsinkin alusmallinnusohjelmistot ovat tarkkoja. Esimerkiksi Delftshipissä x-koordinaatit ovat aluksessa pitkittäis-, y:t ovat leveys- ja z:t korkeussuuntaisia. Jos koordinaatisto on väärinpäin, vakavuuslaskentaominaisuudet eivät toimi (DELFTship manual, 2018, s. 31). Koordinaatiston perusasetukselle ei tunnu kokemukseni mukaan olevan yhteistä perusstandardia.

Mallinnusten joissakin kaarevissa pinnoissa voi olla pieniä eroavaisuuksia, lisäksi muutama kohta rungon muodon pinnoista ”lommoutui” johtuen mittaus pisteiden epäsymmetrisyydestä. Näiden aiheuttama heitto lopullisiin tuloksiin on kuitenkin pieni, koska eroavaisuudet ovat mittasuhteeltaan hyvin pieniä.



Kuva 3



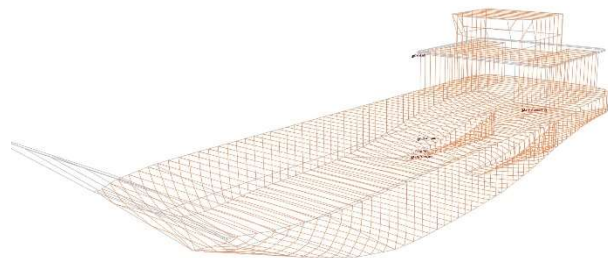
Kuva 4

Kuvan 3 piirros on alkuperäinen ja kuvassa 4 on mallinnoskopio. Piirroksissa suurin eroavaisuus on ”reelinkien” puuttuminen.

Yksi olennainen asia on päättää alukselle järkevät mittauspisteet koordinaatistossa, koska kaikki saatava data perustuu tähän. Tuleeko aluksen ”pohjalinjan” (baseline) kulkea aluksen alimman kohdan tasolla vaiko ”kölirangan” alareunassa?

### 3.5 B-pisteen sijainnin määrittäminen

Painopisteen sijainnin selvittämisessä niin merenkulussa kuin muussakin tekniikassa on pitkään hyödynnetty momenttilaskua. Momenttilasku on myös B-pisteen sijainnin selvittämisen lähtökohta. B-piste on uppouman painopiste,



Kuva 5

mutta siihen kohdistuva voima on maankeskipisteestä ulospäin Arkhimedeiden lakien mukaan, joten sitä usein kutsutaan nostepisteeksi (Kiuru, 2002b, s. 8).

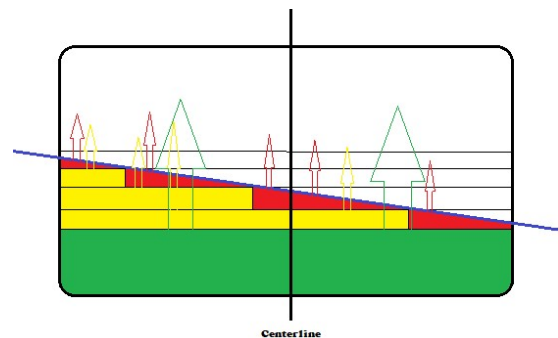
Monet vanhemmasta kirjallisuudesta löytämäni menetelmät B-pisteen määrittämiseen ovat erilaisia työkaluja paperipiirrosten mittausinstrumenteista aluspienoismalleihin. Monissa työkaluissa approksimoidaan aluksen muotoa ja sen muuttumista kallistuessa ja näin pyritään kohtuullistamaan laskelmien määrää. (Rawson K & Tupper E, 1983, ss. 103-)

Nykyisellään tilanne on huomattavasti helpompi, kun voit ohjelmoida tietokoneen tekemään tuhansia laskutoimituksia sekunnissa.

Monet hydrostaattikkaa laskevat ohjelmat hyödyntävät asemaleikkaus kuvia uppouman tilavuuden sekä B-pisteen sijainnin määrittämiseen. Ohjelma leikkaa jokaisesta yksittäisestä asemaleikkauskuvasta halutun syvyyden, kallistuman sekä trimmin mukaisen vesiviivan yläpuolelle jäävän alueen pois. Tämän jälkeen ohjelma laskee jäljelle jääneen asemaleikkauskuvan pinnan painopisteen ja pinta-alaan tai tilavuuteen perustuvan momentin x-, y- ja z-koordinaatistolle. Momenttilaskun sääntöjen mukaisesti saadaan koko systeemin painopiste laskettua kyseiselle koordinaatiston suunnalle jakamalla yhteenlaskettu kokonaismomentti

kyseessä olevalla,

- uppouman tilavuudella, jos käytettiin tilavuuksia momentin laskemisen perustana,
- tai asemaleikkauskuvien yhteenlasketulla jäännöspinta-alalla, jos käytettiin pinta-aloja momentin laskemisen perustana,
- uppouman painolla, jos tilavuudet oli kerrottu veden tiheydellä tai kappaleen painolla.



Kuva 6

Olennaista on käyttää samaa yksikkö koko laskutoimituksen ajan.

Syvyys	Asema	Pinta-ala
2,7	14,55	18,440
2,8	14,55	19,340
2,9	14,55	20,240
3	14,55	21,140
3,08	14,55	21,930
0,64	15,05	0,000
0,7	15,05	0,440
0,8	15,05	1,340
0,9	15,05	2,240
1	15,05	3,140
1,1	15,05	4,050
1,2	15,05	4,950
1,3	15,05	5,850

Taulukko 2 – Bonjeanin käyrät

Tässä projektissa hyödynsin Delftshipistä Excel-tiedostoksi tulostamaani dataa Bonjeanin käyristä. Bonjeanin käyrät sisältävät asemaleikkauskuvien pinta-alan pyydetyillä syväyksillä sekä halutulla askelvälillä niin asemaleikkauskuvien määrän kuin syvyyksien suhteen. Viereisessä taulukossa on ote keskilaivasta asemaleikkauskuvien etäisyyden ja upouman syvyyden mukaan. Tästä voimme lukea, että asemaleikkauskuva, jonka etäisyys peräpeilistä on 14,55 metriä ja syvyys 2,9 metriä, veden alainen pinta-ala on 20,240 m<sup>2</sup>. Koska alus on rungoltaan täysin symmetrinen voimme jakaa pinta-alan tasan kah-

tia, ikään kuin paapuurin ja styyrpuurin puoleiset pinta-alat. Voimme myös havaita, että pinta-alat ovat 0-syvyydestä aina kyseiseen syvyyteen, joten syvyyden 2,9 (metriä) pinta-ala vähennettynä 2,8 syvyyden pinta-alalla saamme 0,1 metriä korkean pinta-alan syvyyden 2,9 metriä alapuolelta. Tällöin tiedämme sen pinta-alan ja yhden sivun pituuden (0,1 m), jolloin suorittamalla jakolaskun saamme selville kyseisen ”lohkon” keskipituuden. Tiedämme myös, että asemaleikkauskuvien pitkittäiset etäisyyden on 0,5 metriä, joten voimme toiseen suuntaan laskea kertomalla jokaisen lohkon tilavuuden.

Tällä tavalla 56 asemaleikkauskuvaan jaettu alus 0,1 metrin ”syvyysaskelilla” 0 metristä 7 metriin oli jaettu noin 5800 lohkoon.

Taulukko 3 – Bonjeanin käyristä johdettu momentti lasku

Syvyys	Asema (m)	A (m <sup>2</sup> )	½A (m <sup>2</sup> )	Ero-tus A (m <sup>2</sup> )	Pi-tuus (m)	Tx1 (m)	Vol 1 (m <sup>3</sup> )	Tx2 (m)	Vol 2 (m <sup>3</sup> )	Tmom (m*m <sup>3</sup> )	Vmom (m*m <sup>3</sup> )
2	14,55	12,130	6,065	0,450	4,500	2,250	0,225	0,000	0,000	0,506	0,439
2,1	14,55	13,030	6,515	0,450	4,500	2,250	0,225	0,000	0,000	0,506	0,461
2,2	14,55	13,930	6,965	0,450	4,500	2,250	0,225	0,000	0,000	0,506	0,484
2,3	14,55	14,830	7,415	0,450	4,500	2,250	0,225	0,000	0,000	0,506	0,506
2,4	14,55	15,730	7,865	0,450	4,500	2,822	0,168	0,762	0,029	0,495	0,462
2,5	14,55	16,640	8,320	0,455	4,550	3,418	0,113	1,715	0,029	0,436	0,347
2,6	14,55	17,540	8,770	0,450	4,500	3,965	0,054	2,858	0,029	0,294	0,209
2,7	14,55	18,440	9,220	0,450	4,500	0,000	0,000	3,965	0,025	0,099	0,066
2,8	14,55	19,340	9,670	0,450	4,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

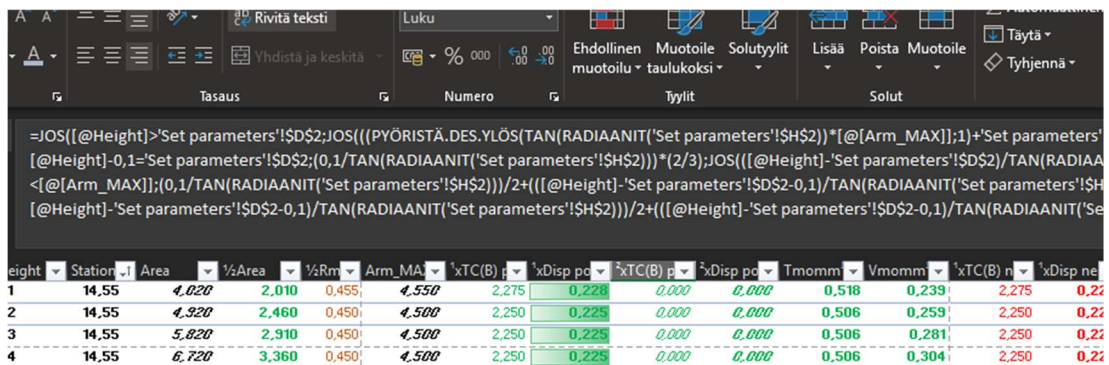
Taulukossa 3. on Excelin funktioilla haettu aluksen syvyydelle 2,3 metriä ja kallistumalle 5 astetta tilavuusmomenteja asemakuvasta etäisyydellä 14,55 metriä. Syvyydestä 2,3 metriä alaspäin kaikki syvyydet antavat täyden tilavuusmomentin, koska ne ovat täysin veden alla. Taulukossa vihreällä otsikoidut ovat arvoja ”kallistuman puolelta” eli siltä puolen mikä painuu veden alle. Syvyyden 2,4 metriä ”Tx1” arvo kuvaa veden alle jääneen suorakulmion nostepisteen etäisyyttä keskiviivasta ja ”Vol1” sen tilavuutta. Tämä lohko voisi olla kuvassa 6 näkyvä keskimäinen keltainen lohko. Seuraavat arvot ”Tx2” ja ”Vol2” kuvaavat edeltävän keltaisen kanssa samassa lohkoissa olevan suorakulmaisen kolmion muotoisen alueen painopisteen etäisyyttä sekä tilavuutta. ”Tmom” sarakkeessa lasketaan koko lohko poikittainen (transversaali) tilavuusmomentti.

$$Tmom = Tx1 * Vol1 + Tx2 * Vol2$$

”Vmom” taas kuvaa lohko pystysuuntaista (vertikaalista) momenttia, joka saadaan laskettua syvyys korjattuna lohkon keskikorkeudelle eli vähennettynä 5 senttimetrillä kerrottuna yhteen lasketulla tilavuudella.

$$Vmom = Syvyys - 0,05m * (Vol1 + Vol2)$$

Tämä sama toistuu jokaiselle noin 1900 riville ja toisen kerran vielä negatiiviselle puolelle, joka nousee vedestä ylöspäin. Taulukossa 3 nähdyt vihreällä värillä otsikoidut sarakkeet ovat siis positiivisen eli kasvavan momentin puolella missä uppouma kasvaa. Seuraavat kuusi punaisella otsikoitua saraketta laskevat nostepisteet, tilavuudet ja momentit uppouman suhteen vähenevälle puolelle.



height	Station	Area	½Area	½Rm	Arm_MA	×TC(B)	×Disp p	×TC(B) p	×Disp p	Tmomm	Vmomm	×TC(B) n	×Disp n
1	14,55	4,020	2,010	0,455	4,550	2,275	0,228	0,000	0,000	0,518	0,239	2,275	0,22
2	14,55	4,920	2,460	0,450	4,500	2,250	0,225	0,000	0,000	0,506	0,259	2,250	0,22
3	14,55	5,820	2,910	0,450	4,500	2,250	0,225	0,000	0,000	0,506	0,281	2,250	0,22
4	14,55	6,720	3,360	0,450	4,500	2,250	0,225	0,000	0,000	0,506	0,304	2,250	0,22

Kuva 7

Suurin haaste tämän tyyppisen taulukon funktioiden luomisessa on moni kerroksinen ehdollistaminen. Jokainen sarake käy 3 tai 4 ehtoa läpi syvyyden ja kallistuskulman perusteella, vaihtoehtoisia vastauksia on useita mutta vain yksi on oikea.

Viimeinen toimenpide tässä vaiheessa on laske kokouppouman yhdensuuntaiset momentit yhteen ja jakaa ne uppouman tilavuudella, koska momenttilaskujeni perusta oli tilavuus. Tuloksena saadaan B-pisteen sijainti, joko vertikaalisena etäisyytenä aluksen pohjasta tai transversaalina etäisyytenä aluksen keskijonjalta.

### 3.6 KP-arvojen määrittäminen

Tietyn uppouman B-piste alusta kallistaessa muodostaa epälineaarisen kaaren, jota kutsutaan tukikäyräksi. Sitä voi kuvata keinutuolin jalakseksi, minkä suhteen alus kallistuu. (Matusiak, 2000, s. 19)

Tästä johtuen käytettäessä kiinteää kallistuspistettä, aluksen uppouman tilavuus muuttuu aina kallistuman muuttuessa. Kallistuskulman vaikutus uppouman tilavuusvaihteluun riippuu kallistuspisteen ja B-pisteen etäisyydestä toisiinsa.

Tässä työssä käyttämäni tapa oli kallistaa alusta keskiviivalta erisyväyksillä tasaköllillä. Tästä on seurauksena, että jokaisella syvyydellä ja jokaisella kallistumalla uppoumat ovat erisuuruisia.

Rakentamani Excel-taulukko laski siis uppouman tilavuuden, B-pisteen transversaalinen etäisyyden keskilinjalta ja vertikaalisen etäisyyden mittausasteikon ”pohjasta”. Kuva-kaappauksessa arvojenkoontitaulukosta ilmenee, kuinka eri kallistumien arvot on saatu aina yksilölliselle uppouman tilavuudelle.

Deg/VOL	SET		DRAFT		2,30		HEEL		5,00°		TRIM		0,00		TCB											
	TRIM	0,00	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	T5°	T10°	T15°	T20°	T25°	T30°	T40°	T50°	T60°	T70°	T80°		
50,02480141			1,416											0,8890592						1,108713						
57,93633665				2,509																	3,218614					
58,46192493					2,85																					
60,11235091																								1,913721		
60,98558095																									1,615655	
61,20052472																									1,74173	
61,88969644																										1,983968
62,03892639																										1,451816
62,76819843																										1,348394
63,18141505				2																						1,027255
64,6483442																										1,845445
64,91611372				1,207																						0,9366295
69,14681461																										1,256347
69,65753311																										1,150796
70,58288823																										1,484195
71,41472958																										1,989376
72,02894112																										1,380067
73,79639138																										1,66796
73,98604036																										1,932022
74,20535514																										1,864483
76,64932075																										1,073825
79,6404709																										1,79225
79,83784715																										1,514669
80,52244164																										1,294398
80,7354664																										0,9876521
82,35983196																										1,195985
83,15728099																										1,412125
86,91661985																										1,705411

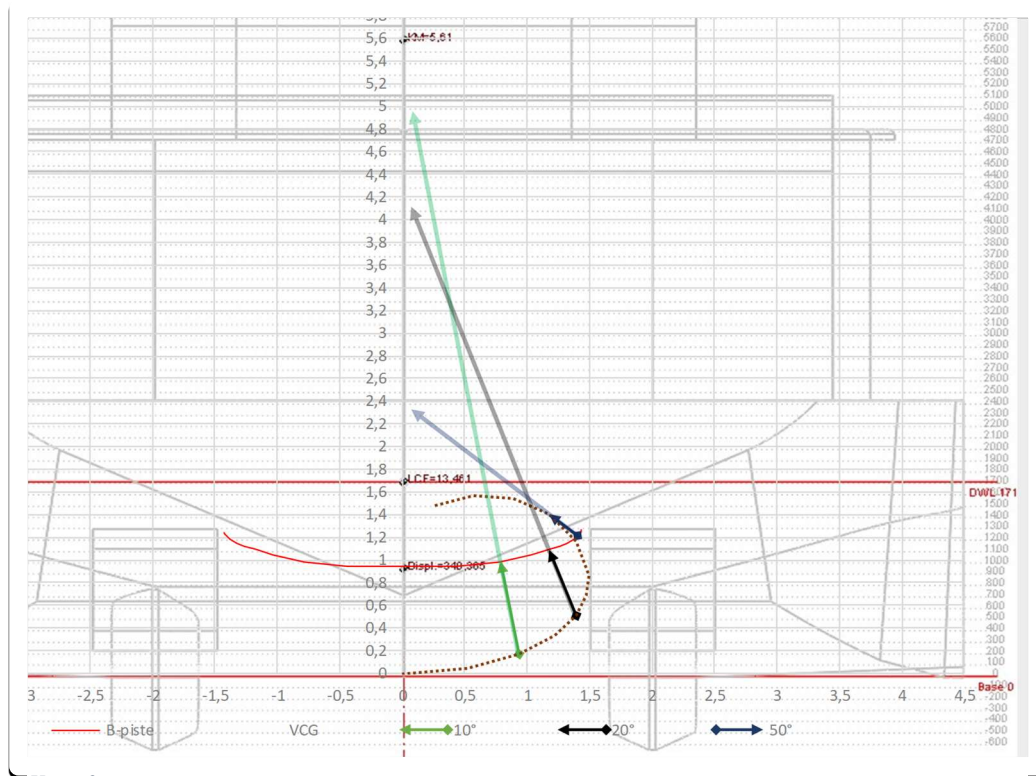
Kuva 8

Jotta arvot olisivat vakavuusanalyysissä helpoiten hyödynnettävissä, ne tulee johtaa vielä KP-arvoiksi. KP-arvot, toiselta nimeltään KN-arvot ovat B-pisteen lävistävän pystysuoran **vaaka**etäisyyksiä eli vesiviivan suuntaisia etäisyyksiä kölistä. Työssäni KP-arvot on laskettu seuraavalla kaavalla yhdelle uppoumalle, mutta jokaiselle kallistumalle ( $\alpha$ ) yksilöllisillä TCB- sekä VCB-arvoilla.

$$KP = \cos\left(90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{TCB}{VCB}\right) - \alpha\right) * \left(\sqrt{(TCB^2 + (VCB)^2)}\right)$$



Seuraavassa kuvassa KP-arvojen sijoittumien aluksen poikkileikkauskuvaan on piirretty ruskealla pisteviivalla ja B-pisteen punaisella viivalla. Vektorit  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  ja  $50^\circ$  osoittavat kyseisien kallistumien KP-arvon ja B-pisteen läpi kulkevaa pystysuoraa.



Kuva 9

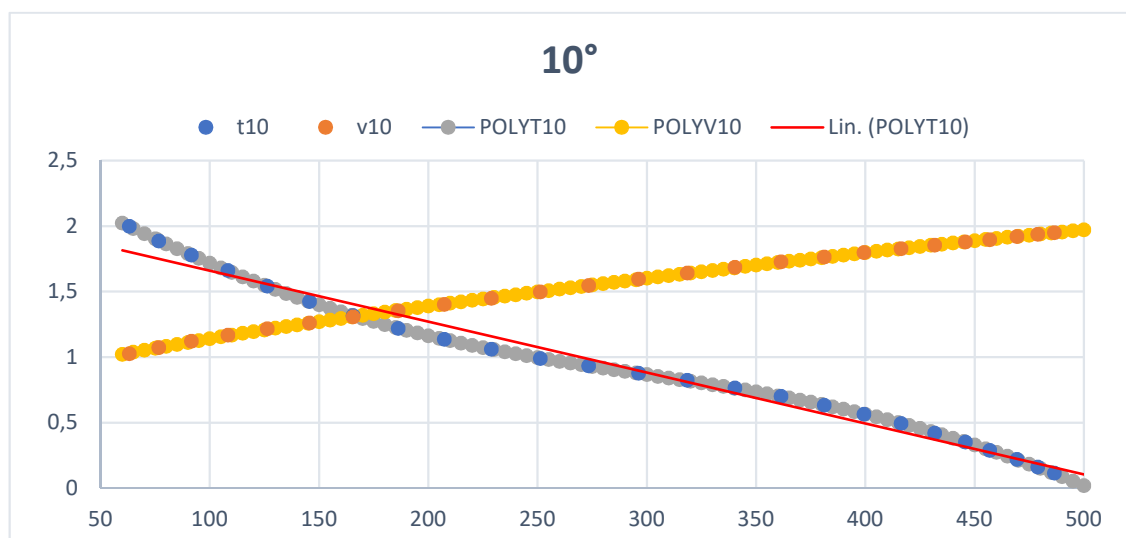
Samaiseen kuvaan sijoittamalla VCG-arvon aluksen keskilinjalle saa karkeasti arvioida aluksen kaatumiskulman. Esimerkiksi VCG-arvolla 2,4 metriä alus todennäköisesti kaatuisi kallistuessaan  $50^\circ$  tai enemmän kyseisellä uppoumalla.

Kuten aikaisemmin totesin, TCB- ja VCB-arvot eivät tulostu taulukkolaskennasta ta-  
sauppoumilla, joten niiden hyödyntäminen on hyvin epäkäytännöllistä. Tähän auttaa  
piirtää joko graafinen käyrästä tilavuuden tai uppouman funktiona jokaiselle kallistu-  
malle, eli niin sanottu poikkikäyrästä (Matusiak, 2000, s.56). Excelissä tämä onnistuu  
KP-arvojen laskennan jälkeen käden käänteessä esimerkiksi pistekaaviolla. Olennaista  
on verrata käyrästä ”trendiviivoja” todellisiin arvoihin, jotta ne eivät poikkea liikaa

todellisista arvoista. Tällainen kaavio on tulostettu tämän työn tuotteeksi syntyneeseen vakavuuskirjaan (Liite 1).

Toinen tapa on interpoloida arvot taulukossa tasatilavuuksille tai -uppoumalle. Tämä tietysti kannattaa suorittaa Excelissä, koska halutusta tarkkuudesta riippuen laskutoimitusten määrä voi kasvaa tuhansiin.

Haasteena on kuitenkin arvojen interpolointitapa. Lineaarinen interpolointi voisi toimia kohtuudella kahden lähimmän tilavuuden välissä, mutta koko joukon arvoja lineaarinen interpolointi tilavuuden funktiona antaa täysin vääriä tuloksia. Tämä tietysti johtuu aluksen uppouman muuttuvasta muodosta eri kallistumilla ja siitä seuraavasta B-pisteen epälineaarisesta siirtymisestä (Matusiak, 1995, s. 56). Seuraavassa kuvassa on punaisella viivalla nähtävissä lineaarisen interpoloinnin ongelma suhteessa TCB-arvoihin  $10^\circ$  kallistumalla uppouman tilavuuden funktiona.



Graafi 2

Jotta tämä ongelma voitaisiin välttää, täytyy etsiä sopiva ”trendiviiva”, joka visuaalisesti seuraa parhaiten alkuperäisiä TCB- ja VCB-arvoja yksilöllisillä uppoumilla. Näiden arvojoukkojen kanssa sekä tähän tarkoitukseen vaikutti sopivan parhaiten polynomitrendiviiva ja niiden kolmas, neljäs ja viides aste riippuen arvojoukosta.

Kaavioon tämän trendiviivan tulostaminen käy helposti mutta taulukkomuotoon lukuarvoiksi saattaminen voi olla hyvinkin haasteellista. Useista kokeiluista ja tiedon etsinnästä huolimatta en löytänyt suoraa funktiota Excelistä polynomi interpolointiin. Joitakin valistuneemman käyttäjän tapoja siihen on, mutta omat tiedot ja taidot eivät

siihen riittäneet. Siihen löytyy kuitenkin yksi työlämpi tapa, joka on myös jälkisovel-  
luksia ajatellen järkevä.

Trendiviiva asetuksista saa näkyviin ”Näytä kaava kaaviossa” painikkeella kyseisen  
trendiviivan polynomikaavan. Tässä esimerkkinä suoraan edeltävässä kuvaajassa nä-  
kyvä kaava, johon on vaihdettu oikeat merkinnät.

$$VCB_{10^\circ} = 2E - 09\Delta^3 - 3E - 06\Delta^2 + 0,0032\Delta + 0,8452$$

Kaavasta saadaan  $10^\circ$  kallistumassa VCB-arvo halutulle tilavuudelle korvaamalla x:t  
halutulla uppouman tilavuudella ( $\Delta$ ).

Tämä sama prosessi toteutetaan jokaisen kallistuman VCB- ja TCB-arvojoukoille, joi-  
den perusteella voidaan laskea uppouman tilavuuksille tasavälein vastaavat arvot.  
Tällä tavalla muodostetut taulukko arvot ilmenevät aikaisemmassa  $10^\circ$  kuvaajassa PO-  
LYV10- ja POLYT10-nimisinä palloviivoina varmistamassa kaavojen oikeellisuutta.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
58	DISPLACEMENT	VOLUME	TS	V5	T10	V10	T15	V15	T20	V20	
59	61,5	60	1,268871256		0,921641591	2,023644389	1,023193947	2,48086731	1,118685764	2,833299528	1,221234429
60	66,625	65	1,224751169		0,937728104	1,983538586	1,038787531	2,444311527	1,136179547	2,788956963	1,239688947
61	71,75	70	1,182473051		0,953604116	1,943873777	1,054134082	2,408549402	1,153338562	2,747062668	1,257733299
62	76,875	75	1,141988517		0,96927651	1,904702397	1,069241719	2,373551658	1,170168277	2,707404898	1,275371835
63	78,000	76,1	1,133336976		0,972690209	1,896174713	1,072526842	2,36596867	1,173819069	2,698978729	1,27918983
64	82	80	1,10324957		0,984752035	1,866072809	1,084118399	2,339289416	1,186674158	2,669782006	1,292609006
65	87,125	85	1,0662086		1,000037306	1,828029392	1,098771926	2,3057342	1,202861675	2,634002225	1,309449356
66	92,25	90	1,030818383		1,015138806	1,79061264	1,113209942	2,272857933	1,218736293	2,599883449	1,325897528
67	97,375	95	0,997032084		1,030062884	1,753859247	1,127439932	2,240632939	1,23430348	2,56725301	1,341958259
68	102,5	100	0,964803253		1,044815754	1,7178022	1,141469223	2,209031942	1,249568705	2,535947465	1,357636387
69	107,625	105	0,934085827		1,059403501	1,682470874	1,155304983	2,178028067	1,264537433	2,505812369	1,372936843
70	112,75	110	0,904834132		1,073832071	1,647891117	1,168954224	2,14759484	1,279215133	2,47670206	1,387864656
71	117,875	115	0,877002879		1,08810728	1,614085347	1,182423797	2,117706186	1,293607273	2,448479439	1,402424952
72	123	120	0,850547167		1,102234812	1,58107264	1,195720395	2,088336433	1,30719318	2,421015748	1,416622953
73	128,125	125	0,825422482		1,116220213	1,548868823	1,208850556	2,059460307	1,321556738	2,394190355	1,430463979
74	133,25	130	0,801584696		1,130068901	1,517485563	1,221820657	2,031052937	1,335124998	2,36789053	1,443953446
75	138,375	135	0,778990068		1,143786155	1,486935464	1,234636916	2,003089849	1,348429568	2,342011226	1,457096867
76	143,5	140	0,757595247		1,157377127	1,457222152	1,247305396	1,975546974	1,361475914	2,316454862	1,469899985
77	148,625	145	0,737357264		1,170846829	1,428350368	1,259831999	1,948400641	1,374269503	2,291131101	1,482368102
78	153,75	150	0,718233542		1,184200145	1,400321063	1,27222247	1,921627578	1,386815803	2,265956633	1,494507426
79	158,875	155	0,700181887		1,197441823	1,373132484	1,284482396	1,895204918	1,399120281	2,240854953	1,506323722

Kuva 10

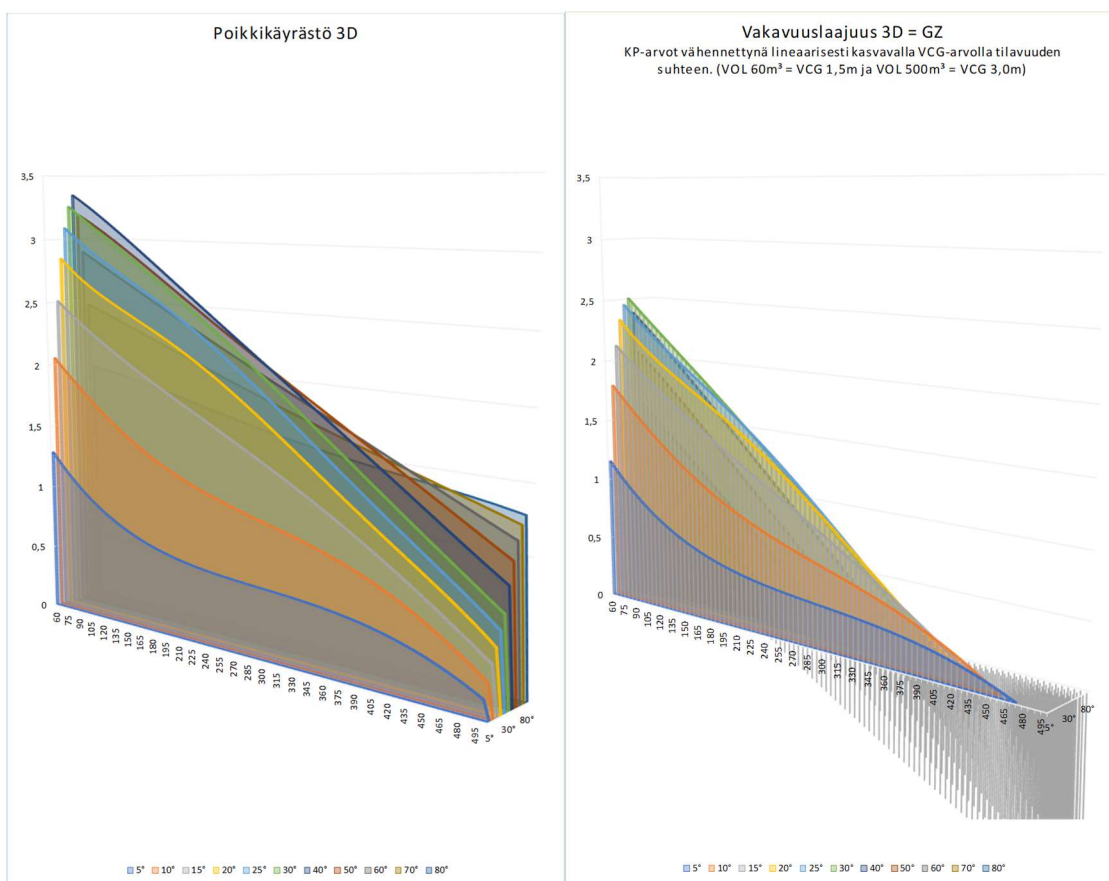
Kolmantena vaihtoehtona on tehdä interpolointi vasta KP-arvoille. Se että kumpi  
näistä vaihtoehtoista on parempi, vaatisi tarkempaa tutkimusta.

Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 11 KP-arvot on esitetty 3D-kuvaajana eri up-  
pouman mukaan (vaaka-akseli). KP-arvot esitetään metreinä (pystyakseli) eri kallis-  
tumille omalla käyrällään, jossa ensimmäinen sininen on 5 asteen kallistumalle, toinen

oranssi 10 ja niin edelleen. KP-arvot itsessään ei kuvasta aluksen vakavuusominaisuuksia kovinkaan hyvin, mutta seuraavassa kuvassa 12 KP-arvoista on vähennetty painopisteen vaikutus vakavuusanalyysin tapaan.

$$GZ = KP - \sin(VCG_{\alpha \nabla})$$

VCG-arvo on kuvaajassa lineaarisesti uppouman mukaan kasvava 1,5 metristä 3 metriin karkealla oletuksella, että painopiste nousee lastin määrän lisääntyessä. Kuva 12 ei sinänsä ole todellisuutta vastaava vakavuusanalyysi, vaan siitä voidaan päätellä aluksen vakavuusominaisuuksia yleisellä tasolla. Yksittäinen lastaustilanne on aina arvioitava erillisellä vakavuusanalyysillä erikseen.



Kuva 11

Kuva 12

### 3.7 Datan luotettavuuden arviointi

Muodostettaessa vakavuusturvallisuuden kannalta olennaista tietoa, on hyvä arvioida sen tarkkuutta. Ainakin seuraavien asioiden oletan vaikuttavan siihen tässä prosessissa.

- Pohjadataan perusteena oli alusmallinnos, joka oli uudelleen piirretty noin sadan tarkan koordinaatiopisteen perustella. Tämä mahdollistaa pieniä eroavaisuuksia uppouman muodossa todelliseen alukseen. Tarkkuutta voi parantaa vertailemalla mallia toteutuneeseen uudisrakenteeseen.
- Mahdolliset suunnitelmista ja piirustuksista poikkeavat rakenteet.
- Perusdatan eli Bonjeanin numeeristen käyrien virheellinen käyttö, esimerkiksi ensimmäisen asemaleikkauskuvan kertominen asemaleikkauskuvien askelväliä tilavuuden selvittämiseksi, jos ensimmäinen asemaleikkaus on 0,05 metriä perä peilistä ja askelväli on 0,5 metriä. Tuloksena todellisuutta suurempi uppouman tilavuus, sekä todellisuutta suuremmat momentit kyseisessä asemaleikkauskuvassa.
- Taulukkolaskennassa käytettyjen kaavojen toimivuus ja metodien oikeellisuus. Virheitä voi pyrkiä välttämään kaavojen auki kirjoittamisella, monipuolisella visualisoinnilla ja datan ristivertailulla. Tässä tapauksessa yksi tunnistettu virhe tapahtuu potkuritunnelien momenteissa. Aluksessa on kaksi potkuritunneliä symmetrisesti noin 2 metrin transversaalilla etäisyydellä keskilinjasta. Kappaleessa ”B-pisteen sijainnin määrittäminen” esitetty tapa johtaa momentti varsia pinta-alasta aiheuttaa sen, että potkuritunnelit ikään kuin siirtyvät kiinni aluksen keskilinjaan. Tämä ei vaikuta uppouman tilavuuteen pienillä kallistumilla ja suurella uppoumalla mutta siirtää B-pisteitä hivenen lähemmäksi keskiviivaa. Monirunkoaluksissa tässä työssä esitetyt metodit eivät tästä johtuen toimi.

Tässä työssä lopullisen tiedon arviointia sekä metodien oikeellisuutta on tehty vertailemalla esimerkiksi alkuvakavuutta eri läheteistä saatuihin tietoihin.

### 3.8 Vakavuusanalyysi

Aluksella tulee SOLAS-yleissopimuksen mukaan olla mukana aluksen ominaisuuksista ja vakavuudesta kertova vakavuuskirja, minkä avulla voidaan varmistaa aluksen turvallinen lastaus, sekä ymmärtää aluksen turvalliseen kulkuun liittyvät rajoitteet. Vakavuuskirjan tulisi sisältää myös esimerkkejä vakavuusanalyyseistä oletetuilla lasteilla aluksen käyttötarkoituksen mukaan. (SOLAS, 2014, s. 55)

Vakavuusanalyysin perusta on tietää aluksen tarkka paino sekä painopiste huomioiden vapaiden nestepintojen vaikutus siihen. Sen perusteella voidaan selvittää aluksen tuleva uppouma ja sen perusteella laskea aluksen vakuutta kuvaavat arvot. (Kiuru, 2002a, s. 2) Työn tuotteena syntyneeseen vakavuuskirjaan (Liite 1) on laskettu useita esimerkkejä aluksen vakavuudessa eri lastaustilanteissa. Vakavuuskirja sisältää myös vakavuuslaskennan kannalta olennaiset hydrostaattiset taulukot, poikkikäyrästä, tankkitaulukot sekä muiden tilojen ominaisarvot vuotavakavuuslaskentaa varten. Vakavuuskirjan alkulehdillä kerrotaan aluksen perustiedot ja loppuun on lisätty laskentabluunoja, sekä aluksen linjakuvat.

Toisena tuotteena (Liite 2) on Excel-tilukkolaskenta, johon muuttamalla tankkien täyttöasteita tai lisäämällä kansilasteja saa automaattisesti lasketun vakavuusanalyysin kyseiselle lastitilanteelle. Taulukkolaskennassa on myös mahdollista arvioida karkeasti vakavuutta vuotavakavuustilanteissa muuttamalla täyttöastetta muissa tiloissa, kuten keulaneljännekset ja konehuone, sekä välitila konehuoneen ja tankkien välissä.

## 4 POHDINNAT

Vaatimusten selvittäminen on hyvin haasteellista, koska yleissopimukset ja säännösten rakentumisen näkökulma on hyvin erilainen kuin tietyn aluskokoluokan ja -tyypin perusteella haettava tieto. Monet luvut on lähtökohtaisesti kirjoitettu suuremmille aluksille mutta niihin on kuitenkin sisällytetty tietoa myös pienemmille aluksille. Tulevaisuudessa ja ehkä jo nyt IMO-VEGA tyyppiset tiedonhakupalvelut tuovat tähän helpotusta, mutta vielä kokeillessani palvelua sain ristiriitaisia tuloksia antamalla ehdoilla. Täydellistä varmuutta vaatimusten mukaisuudesta eri aihealueissa on vaikea

saada tiedon pirstaleisuudesta johtuen, tosin lopulliset päätökset siitä tekee kuitenkin lippuvaltion viranomainen tai/ja luokittaja.

Vakavuuslaskenta ja sitä varten tarvittavan datan hakeminen huolimatta tietokoneen tuomista avuista on edelleen hyvin haastavaa. Markkinoille ei ole päätynyt kovinkaan paljon ilmaisia tai edullisia ratkaisuja edes karkeaan arviointiin, jos halutaan selvittää aluksen GZ-käyrää. Tämä mitä luultavammin rajoittaa alusten vakavuuden tutkimista, varsinkin kun se ei ole lailla velvoitettua.

## 5 LÄHTEET

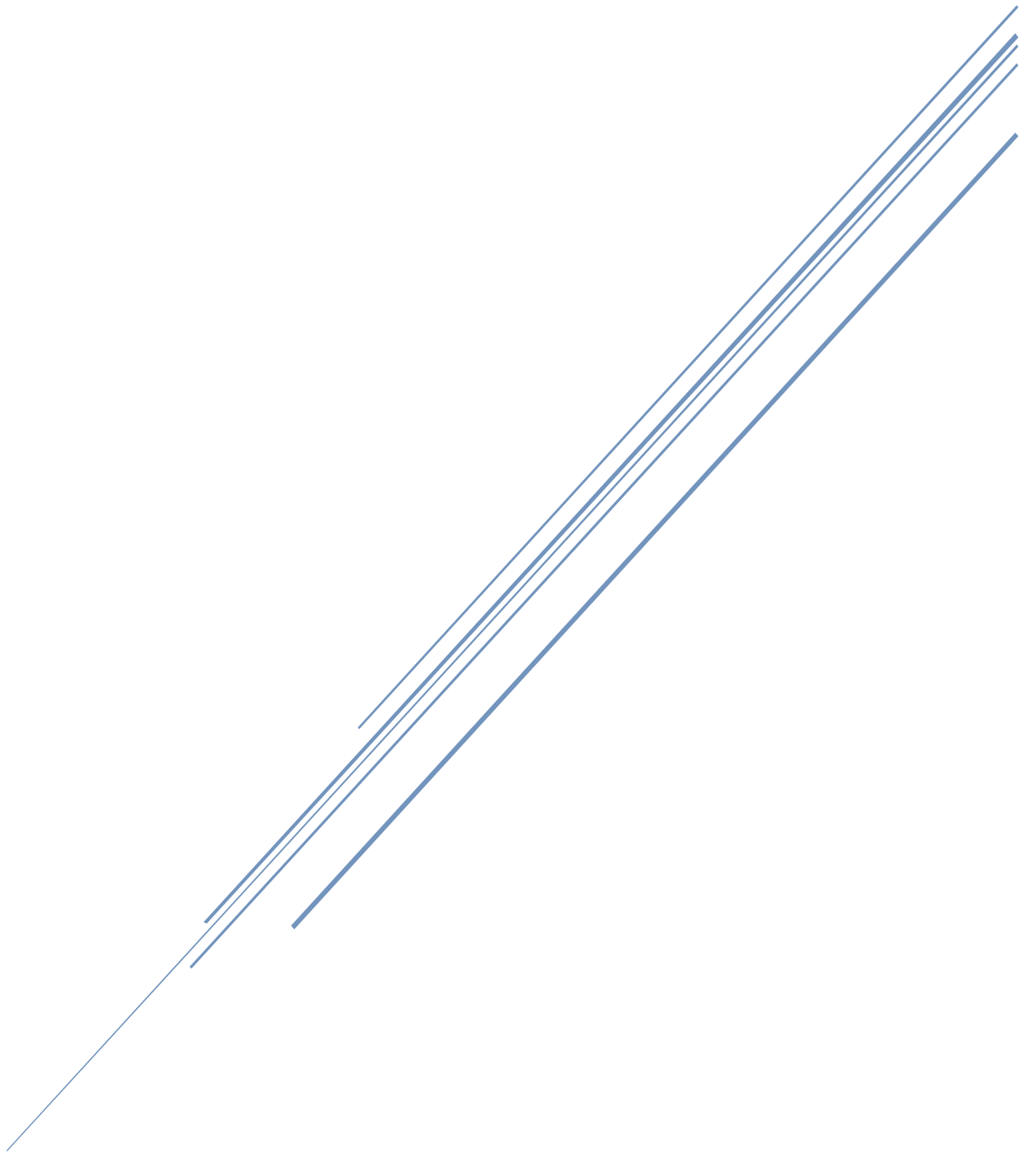
- Aerohydro, Inc. (28. 10 2018). *SOLIDWORKS Integrated*. Noudettu osoitteesta [http://aerohydro.com/?wpsc\\_product\\_category=forsolidworks](http://aerohydro.com/?wpsc_product_category=forsolidworks)
- DELFTship marine software. (2018). Retrieved from <http://www.delftship.net/>
- DELFTship marine software. (2018). *DELFTship manual*.
- IMO. (2018, 11 17). Retrieved from International Convention on Load Lines: <http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-on-Load-Lines.aspx>
- IMO Publishing. (2018). *Catalogue & Code Listings*. Noudettu osoitteesta <http://www.imo.org/en/Publications/Pages/Home.aspx>
- International Maritime Organisation. (2011). *MARPOL* (Fifth edition p., Osa/vuosik. Consolidated edition).
- International Maritime Organization. (2005). *International Convention on Load lines* (Third edition p., Osa/vuosik. Consolidated edition 1966 and Protocol 1988, as amended in 2003).
- International Maritime Organization. (2008). *International Code on Intact Stability*.
- International Maritime Organization. (2014). *SOLAS* (Sixth edition p., Osa/vuosik. Consolidated edition).
- International Maritime Organization. (2017). *GISIS: Status of Treaties*. Noudettu osoitteesta Maldives: <https://gisis.imo.org/>
- International Maritime Organization. (12. 10 2017). *Introduction*. Noudettu osoitteesta <http://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/Home.aspx>
- International Maritime Organization. (24. 11 2018). *Stability and Subdivision*. Noudettu osoitteesta <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/StabilityAndSubdivision/Pages/Default.aspx>
- International Maritime Organisation. (1966, Prot. 1988). Lastiviivayleissopimus. *LL*. Finlex. Noudettu osoitteesta [https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/1968/19680052/19680052\\_2#idp445874400](https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/1968/19680052/19680052_2#idp445874400)
- Kiuru, J.-P. (2002a). *Aluksen poikittais- ja pitkittäisvakavuus*.
- Kiuru, J.-P. (2002b). *Laivateorian perusteet*.
- Matusiak, J. (1995). *Laivan kelluvuus ja vakavuus*.



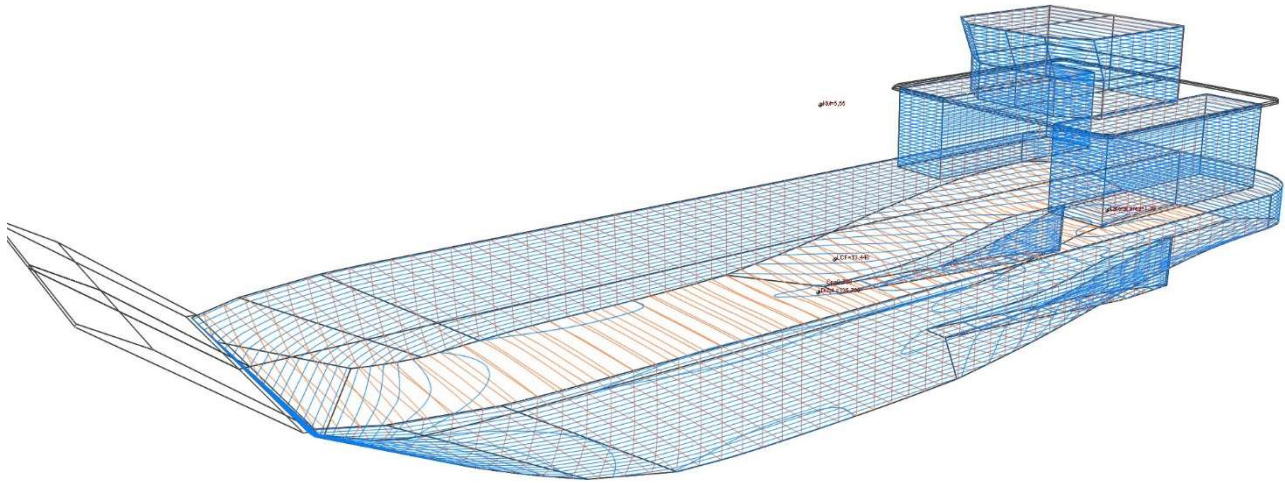
- NAPA. (2. 11 2018). *History of NAPA*. Noudettu osoitteesta  
<https://www.napa.fi/About-NAPA/History-of-NAPA>
- Rawson K, J.;& Tupper E, C. (1983). *Basic ship theory 3rd ed. VOL 1*. Longman Group Limited.
- Vasudevan, A. (2010). *Tonnage measurement of ships: Historical evolution, current issues and proposals for the way forward*. Noudettu osoitteesta WORLD MARITIME UNIVERSITY:  
[https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1213&context=all\\_dissertations](https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1213&context=all_dissertations)
- VTT EXPERT SERVICES OY. (25. 11 2018). *Ammattiveneohjeisto versio 2016.2*. Noudettu osoitteesta  
[https://www.vttexpertservices.fi/Documents/Palvelut/Sertifointi/Ammattivene\\_Ohjeisto\\_2016.2.pdf](https://www.vttexpertservices.fi/Documents/Palvelut/Sertifointi/Ammattivene_Ohjeisto_2016.2.pdf)

LIITE 1

# STABILITY BOOKLET







## TECNICAL BASICS

<b>Length overall</b>	<b>31,11 meters</b>
Length between perpendiculars*	27,20 meters
Length waterline*	27,20 meters
Length when drive bridge lifted down	32,1 meters

<b>Breath</b>	<b>9,00 meters</b>
---------------	--------------------

<b>Draft*</b> (aft perpendicular at dwl)	<b>2,7 meters</b>
<b>Draft*</b> (hull)	<b>2,07 meters</b>

<b>Height</b> (from lowest point in keel)	<b>8,7 meters</b>
<b>Height</b> (from Lightship waterline)	<b>7 meters</b>

<b>Displacement*</b>	<b>336 tons</b>
<b>Deadweight*</b>	<b>260 tons</b>
<b>Gross tonnage</b>	<b>150,1</b>
<b>Net Tonnage</b>	

<b>Cargo tank capacity</b>	<b>270 cubic meters</b>
Diesel oil as cargo	230 tons

<b>Deck cargo area</b>	<b>160 square meters</b>
Total main deck area	220 square meters
Driveline length total	54 meters

<b>Cruise speed</b>	<b>knots</b>
---------------------	--------------

<b>Engine power</b>	<b>kilowatts x 2</b>
---------------------	----------------------

<b>Propulsion</b>	<b>Conventional</b>
-------------------	---------------------

**Classification**

\*All dimensions are measured from waterline at displacement of 340 tons in saltwater.

# CONTENTS

<a href="#">Tecnical basics</a>	1
<a href="#">Nomenclature</a>	4
<a href="#">Introduction</a>	5
<a href="#">In lightship contition</a>	6
<a href="#">Research of upright values by known values</a>	6
<a href="#">Stability with small heels</a>	8
<a href="#">Dynamic Stability</a>	8
<a href="#">liqued cargo and loading of fuels</a>	10
<a href="#">Damage Stability Case 1</a>	12
<a href="#">deckcargo</a>	13
<a href="#">Damage stability case 2</a>	15
<a href="#">deckcargo and full cargo tanks</a>	16
<a href="#">Damage Stability Case 3</a>	18
<a href="#">Hydrostatics</a>	19
<a href="#">Trim: -1,000 (m)</a>	19
<a href="#">Trim: -0,900 (m)</a>	21
<a href="#">Trim: -0,800 (m)</a>	23
<a href="#">Trim: -0,700 (m)</a>	25
<a href="#">Trim: -0,600 (m)</a>	27
<a href="#">Trim: -0,500 (m)</a>	29
<a href="#">Trim: -0,400 (m)</a>	31
<a href="#">Trim: -0,300 (m)</a>	33
<a href="#">Trim: -0,200 (m)</a>	35
<a href="#">Trim: -0,100 (m)</a>	37
<a href="#">Trim: 0,000 (m)</a>	39
<a href="#">Trim: 0,100 (m)</a>	41
<a href="#">Trim: 0,200 (m)</a>	43
<a href="#">Trim: 0,300 (m)</a>	45
<a href="#">Trim: 0,400 (m)</a>	47

<a href="#">Trim: 0,500 (m)</a> .....	49
<a href="#">Cross curves chart</a> .....	51
<a href="#">Instructions for using of cross curves chart</a> .....	51
<a href="#">Subdivisions and Tank tables</a> .....	56
<a href="#">Cargo tanks SB1 and P1</a> .....	56
<a href="#">Free surface moments</a> .....	56
<a href="#">Cargo tanks SB2 and P2</a> .....	57
<a href="#">Free surface moments</a> .....	57
<a href="#">Engine Room (damage stability)</a> .....	58
<a href="#">Free surface moments</a> .....	58
<a href="#">Secure Subdivision PS and ST</a> .....	59
<a href="#">Free surface moments</a> .....	59
<a href="#">BOW quarters PS3 and ST3</a> .....	60
<a href="#">Free surface moments</a> .....	60
<a href="#">Attachements</a> .....	61

---

# Nomenclature

---

<b>Draft</b>	<i>Moulded draft, measured from baseline</i>
<b>Lwl</b>	<i>Length on waterline</i>
<b>Volume</b>	<i>Total displaced volume</i>
<b>Displ. <math>\Delta</math></b>	<i>Displacement</i>
<b>LCG</b>	<i>Longitudinal center of gravity, measured from the aft perpendicular at <math>X=0.0</math></i>
<b>VCG</b>	<i>Vertical center of gravity</i>
<b>TCG</b>	<i>Transversal center of gravity</i>
<b>LCB</b>	<i>Longitudinal center of buoyancy, measured from the aft perpendicular at <math>X=0.0</math></i>
<b>VCB</b>	<i>Vertical center of buoyancy</i>
<b>TCB</b>	<i>Transversal center of buoyance</i>
<b>Aw</b>	<i>Waterplane area</i>
<b>LCF</b>	<i>Waterplane center of floatation, measured from the aft perpendicular at <math>X=0.0</math></i>
<b>KMt</b>	<i>Transverse metacentric height</i>
<b>KMI</b>	<i>Longitudinal metacentric height</i>
<b>MCT</b>	<i>Moment to change trim one unit</i>
<b>BMt</b>	<i>Transverse metacentric radius</i>
<b>TpCm</b>	<i>Weight to change the immersion with one unit</i>



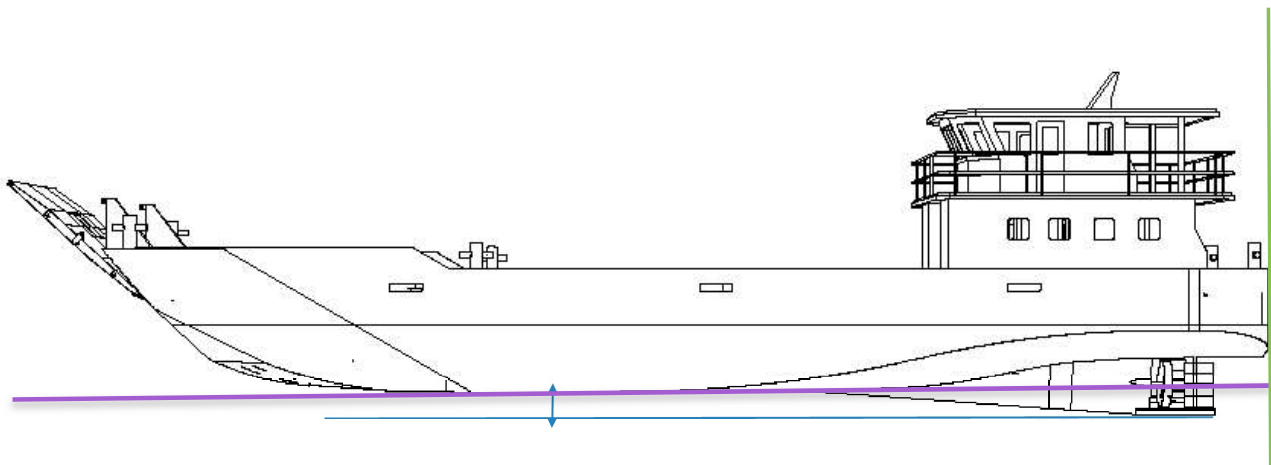
# INTRODUCTION

This manual is made as student work at Satakunta University of Applied Sciences based on agreement and contract with 1040Tech company. Purposes of this manual are to have good estimation of the stability in still water circumstances and include some tools for end users to make recalculations for special cargo situations.

**However, this manual is not made for actual specific vessel and it can not be used as legal methods.** For more serious and precise use all the data and digital models must be researched and compared to the actual construction of the new building. Additionally, it is extremely important to have an inclining test for the floating new building to make sure the placement of the center of the gravity.

Criteria of stability is based on Intact Stability code 2008. All the units are metrics, distances are in meters and weights are calculated in metric tons.

Measurements are from the **keel line** (bottom line), center line and **transom**. Transom is also the location of aft perpendicular. Notice that the keel line is not the lowest point in normal situations. Maximum **draft<sub>app</sub>** is **0,65 meters more** in even keel situations (picture 1).



Picture 1

# IN LIGHTSHIP CONTITION

Weights Includes whole body of the vessel with engines and structures fully equipped, all the tanks filled full but not any cargo or waste in the sloop tanks, all crew members required to seagoing and their personal stuffs and food storages. The Lightship does not include any cargo in the tanks or on the deck.

## Research of upright values by known values

1. There are the known values of the vessel:

<b>LCG</b>	<b>12,640m</b>	<b>TCG</b>	<b>0 (Heel free)</b>	<b>VCG (KG)</b>	<b>1650mm</b>
<b>Displacement</b>	<b>78 tons</b>	<b>Volume</b>	<b>76,1 m<sup>3</sup></b>		

2. We like to know some values from Hydrostatics tables starting from page 19. It looks like that closest LCB values with that displacement are found from table "[trim -0,800 m](#)". Search method is to find closest LCB value equal to known value of LCG corresponding by the displacement or volume.

Table 1

DRAFT	LWL	VOLUME	DISPL.	LCB	VCB	AW	LCF	KMT	KML	MCT	BMT	TPCM
(M)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	25,001	68,634	<b>70,350</b>	<b>12,478</b>	0,287	186,05	12,839	15,792	116,48	2,994	15,505	1,907
<b>0,600</b>	25,364	87,816	<b>90,011</b>	<b>12,555</b>	0,350	195,48	12,821	13,308	101,29	3,328	12,958	2,004

3. We will calculate some corrected values for light ship.

a.  $Displacement\ based\ correction = \left( \frac{78t - 70,35t}{90,011t - 70,35t} \right) = 0,389095$

b. Now we use that correction coefficient to have all the other data.

$$VALUE_{new} = 0,389095 \times (VALUE_{second} - VALUE_{first}) + VALUE_{first}$$

Table 2

DRAFT	LWL	VOLUME	DISPL.	LCB	VCB	AW	LCF	KMT	KML	MCT	BMT	TPCM
(M)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	25,001	68,634	<b>70,350</b>	<b>12,478</b>	0,287	186,05	12,839	15,792	116,48	2,994	15,505	1,907
<b>0,539</b>			<b>78,000</b>	<b>12,507</b>	<b>0,312</b>							
<b>0,600</b>	25,364	87,816	<b>90,011</b>	<b>12,555</b>	0,350	195,48	12,821	13,308	101,29	3,328	12,958	2,004

c. Because the LCG which corresponds those values is with trim something between this table of "[trim -0,800 m](#)" and "[trim -0,700m](#)", we should calculate those values too. So here is a new table with pre-calculated values from the "[trim -0,700m](#)" table with same methods orientated by trim and displacement:

Table 3

TRIM	DRAFT	LWL	VO-LUME	DISPL	LCB	VCB	AW	LCF	KMT	KML	MCT
(M)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)
<b>-0,800</b>	<b>0,539</b>	<b>25,14</b>	<b>76,098</b>	<b>78,000</b>	<b>12,508</b>	<b>0,312</b>	<b>189,719</b>	<b>12,832</b>	<b>14,825</b>	<b>110,570</b>	<b>3,124</b>
<b>-0,0293RAD</b>				<b>78</b>	<b>12,60079</b>						
<b>-0,776</b>	<b>0,540</b>	<b>25,18</b>	<b>76,098</b>	<b>78,000</b>	<b>12,603</b>	<b>0,309</b>	<b>189,604</b>	<b>12,878</b>	<b>14,788</b>	<b>110,554</b>	<b>3,124</b>
<b>-0,0256RAD</b>				<b>78</b>	<b>12,60541</b>						
<b>-0,700</b>	<b>0,542</b>	<b>25,30</b>	<b>76,097</b>	<b>78,000</b>	<b>12,904</b>	<b>0,301</b>	<b>189,240</b>	<b>13,022</b>	<b>14,670</b>	<b>110,503</b>	<b>3,123</b>

d. Only exact values which we know now are LCG and VCG. Those values lay in same vertical line with LCB and VCB, which points to direction of the gravity.

i. Change of the trim value from metric difference of drafts to degrees:

$$Trim\Delta^\circ = \tan^{-1} \frac{trim - 0,800}{Lbp\ 27,298\ m}$$

- ii. Following values of LCB are calculated from LCG using the trim angle and difference of VCG and VCB.

$$LCG \therefore LCB \approx \tan(trim - 0,0293) * (VCG\ 1,65 - VCB\ 0,312) + LCB\ 12,508$$

- iii. LCB values calculated for both trims are close to each other, but with the mean value we get even closer. That we can use for calculating other values

$$LCB_{mean} = \frac{(LCB\ 12,60079 + LCB\ 12,60541)}{2}$$

- iv. And we do again procedures of 3. a. and 3. b. changing those displacement values to LCB values.

4. Basically, these values are calculated once for **light ship**, but this is one way to estimate this data for other known center of gravity. These values are search by approximation methods as many other values when calculating ship stability. Other procedure is to observe drafts from draft marks and calculate the trim from those values. You still need research other values from tables by using same methods just with different values. However, it is convenient way to double check results.

These values which we have find out so far are needed for stability calculations and loading plans later. Let's put them here clear way to obtain with few notices:

Draft 0,54 m is mean draft of baseline, so draft<sub>app</sub> and draft<sub>fpp</sub> will be calculated as follows:

$$DRAFT_{app} = DRAFT - \frac{trim}{2} = 0,54\ m - \frac{-0,776\ m}{2} = 0,928\ m$$

$$DRAFT_{fpp} = DRAFT \left( \frac{trim}{2} \right) = 0,54\ m \left( \frac{-0,776\ m}{2} \right) = 0,152\ m$$

Drafts are measured still from baseline, so the real seagoing draft is with correction +0,65 m = 1,578 meters. This was mentioned earlier on page 4. This means that required fairway depth must be more than 1,6 meters for safe passage.

The displacement and displaced volume remain, 78 tons and 76,1 m<sup>3</sup> in seawater (Density of 1,025 t/m<sup>3</sup>) as the center of gravity of vessel.

DIREC-TION/POINT	G	B	F
LONGITUDINAL	12,640	12,603	12,878
VERTICAL	1,650	0,309	always on waterline
TRASVER-SAL	0	0	0

Draft <sub>app</sub>	1,19m	KM <sub>T</sub> *	14,788m
Draft <sub>midship</sub>	0,15m	KM <sub>L</sub> *	110,554m
Draft <sub>fpp</sub>	0	TPC*	1,94 t/cm
Trim	-0,776m	MCT*	3,124 t*m/cm

\*Meanings of these and other values found from the hydrostatics tables can be found from nomenclature page 4.

# Stability with small heels

It's important to notice that there is two ways to analyze the stability of the vessel. Those methods are both required to get sufficient data about the behavior of vessel.

The value which we are looking for is GM. That is vertical distance in meters between the center of gravity (G) and the metacenter of the center of buoyancy (M). All the hard work to research this value has done on the previous chapter above.  $KM_T$  is radius measured from the baseline to the metacenter. Metacenter is a hanging point of B when movement of the buoyance is transversal. GM value in the light ship condition:

$$GM = KM_T - VCG = 14,788 m - 1,650 m = 13,138m$$

GM value in this case is very high, mostly because of the wide shape of the vessel. Least three followings things increase the value; low placement of gravity (means low VCG value), Shape of the hull is wide and when the vessel is less or without cargo.

High GM value means that with small angles there is strong righting moment. **Minimum value for GM by the Intact Stability code is 0,15 m.**

## Dynamic Stability

In dynamic stability calculations we will research righting levers, moments and stability length by different heeling angles so far that vessel collides. For research these values we use helpful table and some data from the cross curves chart. Instructions to use that chart and chart itself can be found from the page 51 and forward.

Table 4

An- gle	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
GZ	1,636650	2,176597	2,4213479	2,4509164	2,3706719	1,9480227	2,1842724
$\sum_1$	1,63665	4,1495511	4,7456322	4,8722644	4,8215884	4,3186947	4,1322952
$\sum_2$	1,63665	11,41726	20,663774	25,536038	30,357627	34,676321	38,808617
e	0,14282	0,4981719	0,901627	2,228439	2,649202	3,02608	3,386690

\*Table values are from more detailed calculation (5° steps), so there are slight differences to hand made calculations.

- i. To the first row we calculate the GZ values using the current heeling angle, VCG and KP value found from the cross curves chart.

$$GZ_\alpha = KP_\alpha - VCG * \sin \alpha$$

$$GZ_{10^\circ} = 1,936 m - 1,650 m * \sin 10^\circ = 1,636..$$

Repeat this procedure for every heeling angle.

- ii. Sums 1 and 2 in the first column are same as  $GZ_{10^\circ}$ . Sums to next columns are basing to formulas:

$$\sum_1 = GZ_{pre \alpha} + GZ_\alpha$$

$$\sum_2 = \sum_{pre \alpha} 2 + \sum_\alpha 1$$

- iii. Row "e" products comes from next formula. Notice that the angle used in this formula is "step" of the heeling angles.

$$e = \frac{\alpha_{\Delta} * \pi}{360^{\circ}} * \sum 2$$

$$e_{10^{\circ}} = \frac{10^{\circ} * \pi}{360^{\circ}} * 1,636.. = 0,142 ...$$

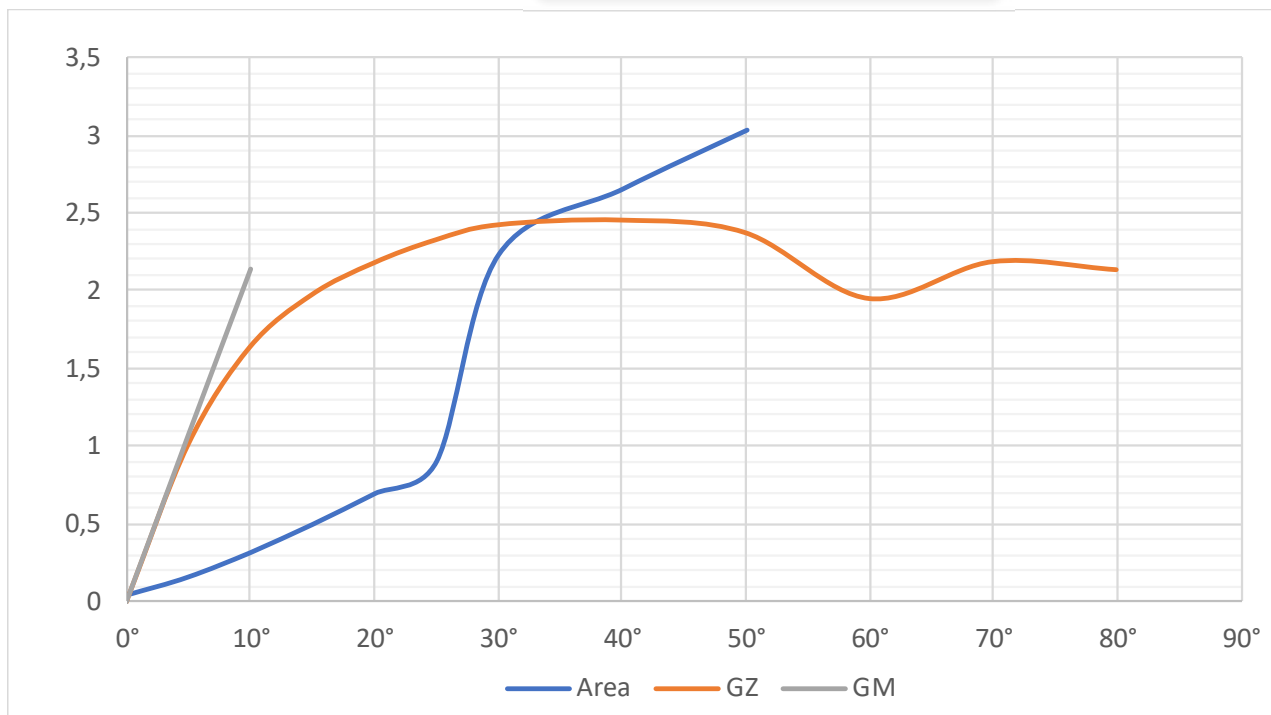


Figure 1

Last thing to do is compare those values to criteria (given by Intact Stability code).

Table 5

Corrected GM > 0,15m:	OK	12,2767911 m
$GZ_{30^{\circ}} > 0,2m$ :	OK	2,42134793 m
GZ max > 30°:	OK	40°
$e_{40^{\circ}} > 0,09 m \cdot rad$ :	OK	2,22843973 m·rad
$-e_{30^{\circ}} > 0,055 m \cdot rad$ :	OK	0,90162723 m·rad
$\Delta e > 0,03 m \cdot rad$ :	OK	1,3268125 m·rad

## LIQUED CARGO AND LOADING OF FUELS

In these examples there is lightship with liquid cargo, example fuel oil. Examples does not include any cargo transported on deck.

### LOADING OF LIQUIEDS

When transporting and loading liquids it is important to notice the harms of free surfaces of liquids. Best way to avoid problems is operate just one tank at the time, and all other tanks should be empty or **filled full**.

Stability analyses are given by automated spreadsheet (stability analyse.xlsx). Use "Fill factor" column to change the quantity of liquids in tanks and other divisions (as damage stability). Spreadsheet also takes account the free surface moments of 5 degree, when the tank is slack. Free surface moments and other important data can be found from tank tables starting at page 56.

**CARGO PLANNING AND STABILITY ANALYSE TABLE**

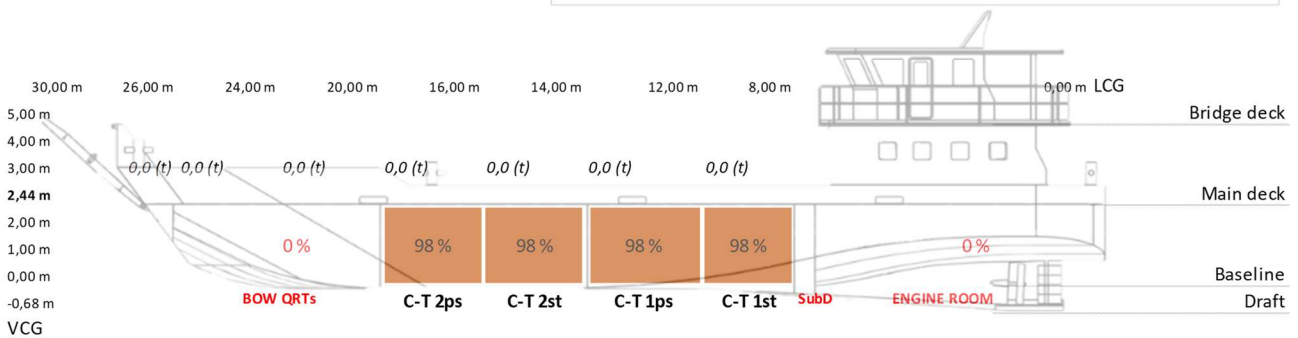
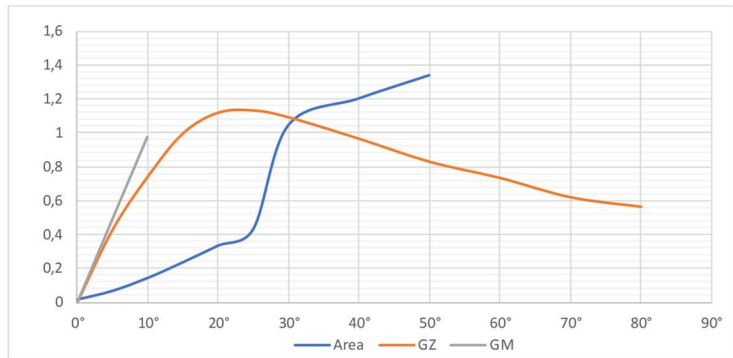
	LCG	VCG	TCG	Weight (t)	Volume (m³)	L.mom	V.mom	T.mom	Density (t/m³)	Fill factor (%)	Additional
<b>LIGHTSHIP</b>	<b>12,64</b>	<b>1,65</b>	<b>0</b>	<b>78</b>	<b>76,10</b>	<b>985,92</b>	<b>128,7</b>	<b>0</b>			
<b>TANKS</b>											
FUEL TANK ST	6,8	1,63	-4,061	1,688	1,998	11,47821	2,7513944	-6,8548543	0,845	88 %	Diesel
FUEL TANK PS	6,8	1,63	4,061	1,247	1,476	8,478223	2,0322799	5,06324465	0,845	65 %	Diesel
CG-TANK PS 1	12,462	1,261	-2,268	51,167	60,553	637,63517	67,618652	-116,05115	0,845	98 %	Diesel
CG-TANK ST 1	12,462	1,261	2,268	51,167	60,553	637,63517	67,618652	116,051146	0,845	98 %	Diesel
CG-TANK PS 2	18,522	1,222	-2,295	52,776	62,456	977,52384	67,715509	-121,14369	0,845	98 %	Diesel
CG-TANK ST 2	18,522	1,222	2,295	52,776	62,456	977,52384	67,715509	121,14369	0,845	98 %	Diesel
<b>ON DECK</b>											
Project cargo 1						0	0	0			
Project cargo 2						0	0	0			
IBC container						0	0	0			
IBC container						0	0	0			
Excavator						0	0	0			
Dumber						0	0	0			
Forklift						0	0	0			
Wheel loader						0	0	0			
You name it						0	0	0			
<b>DAMAGE STABILITY</b>											
ENGINE ROOM	5,0018	-0,5302	0	0	0	0	0	0	1,025	0 %	
SEC SUBDIV ST	8,703	-0,2494	-0,2384	0	0	0	0	0	1,025	0 %	
SEC SUBDIV PS	8,703	-0,2494	0,2384	0	0	0	0	0	1,025	0 %	
BOW ST 3	22,19	0,0165	-1,5866	0	0	0	0	0	1,025	0 %	
BOW PS 3	22,19	0,0165	1,5866	0	0	0	0	0	1,025	0 %	

VALUES BASED ON GIVEN DATA OF LOADING		
LCG	14,6671971	DISPLACEMENT <b>288,820994</b> tons
VCG	<b>1,39931655</b>	CARGO 207,886224 tons
TCG	-0,0062032	DRAFT AND TRIM

CALCULATED		
LCB	VOLUME	281,776579
VCB	MCT	
TCB	TPC	
KM <sub>trim=0</sub>	6,9995137	
<b>GM<sub>trim=0</sub></b>	<b>5,6001972</b>	<b>DRAFT<sub>app</sub></b>

	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
GZ	0	0,42882344	0,7432714	0,99853241	1,12088969	1,133714441	1,0929853	0,965999	0,83004697	0,7344031	0,620206	0,56414229
Σ1	0	0,4288234	1,1720948	1,7418038	2,1194221	2,254604135	2,2267	2,0589843	1,796046	1,56445	1,354609	1,18434797
Σ2	0	0,4288234	1,6009183	3,3427221	5,4621442	7,716748332	9,943448	12,002432	13,798478	15,362928	16,71754	17,9018851
e	0	0,01871095	0,06985324	0,14585377	0,238331	0,336706665	0,4338648	1,0474098	1,2041444	1,3406684	1,45888	1,56223419
GM	0	0,48808935	0,97246404									

- Criteria (IS 2008)**
- Corrected GM > 0,15m: **OK** 5,6001972 m
  - GZ<sub>30°</sub> > 0,2m: **OK** 1,09298531 m
  - GZ max > 25°: **OK** 25°
  - e<sub>40°</sub> > 0,09 m·rad: **OK** 1,04740982 m·rad
  - e<sub>30°</sub> > 0,055 m·rad: **OK** 0,43386477 m·rad
  - Δe > 0,03 m·rad: **OK** 0,61354505 m·rad



# Damage Stability Case 1

CARGO PLANNING AND STABILITY ANALYSE TABLE

	LCG	VCG	TCG	Weight (t)	Volume (m³)	L.mom	V.mom	T.mom	Density (t/m³)	Fill factor (%)	Additional
<b>LIGHTSHIP</b>	<b>12,64</b>	<b>1,65</b>	<b>0</b>	<b>78</b>	<b>76,10</b>	<b>985,92</b>	<b>128,7</b>	<b>0</b>			
<b>TANKS</b>											
FUEL TANK ST	6,8	1,63	-4,061	1,688	1,998	11,47821	2,7513944	-6,8548543	0,845	88 %	Diesel
FUEL TANK PS	6,8	1,63	4,061	1,247	1,476	8,478223	2,0322799	5,06324465	0,845	65 %	Diesel
CG-TANK PS 1	12,462	1,261	-2,268	51,167	60,553	637,63517	67,618652	-116,05115	0,845	98 %	Diesel
CG-TANK ST 1	12,462	1,261	2,268	51,167	60,553	637,63517	67,618652	116,051146	0,845	98 %	Diesel
CG-TANK PS 2	18,522	1,222	-2,295	52,776	62,456	977,52384	67,715509	-121,14369	0,845	98 %	Diesel
CG-TANK ST 2	18,522	1,222	2,295	52,776	62,456	977,52384	67,715509	121,14369	0,845	98 %	Diesel
<b>ON DECK</b>											
Project cargo 1						0	0	0			
Project cargo 2						0	0	0			
IBC container						0	0	0			
IBC container						0	0	0			
Excavator						0	0	0			
Dumber						0	0	0			
Forklift						0	0	0			
Wheel loader						0	0	0			
Heavy Truck						0	0	0			
<b>DAMAGE STABILITY</b>											
ENGINE ROOM	4,91869374	1,33667217	0	105,361431	102,79164	518,24061	165,96669	0	1,025	84 %	
SEC SUBDIV ST	8,703	-0,2494	-0,2384	0	0	0	0	0	1,025	0 %	
SEC SUBDIV PS	8,703	-0,2494	0,2384	0	0	0	0	0	1,025	0 %	
BOW ST 3	22,19	0,0165	-1,5866	0	0	0	0	0	1,025	0 %	
BOW PS 3	22,19	0,0165	1,5866	0	0	0	0	0	1,025	0 %	

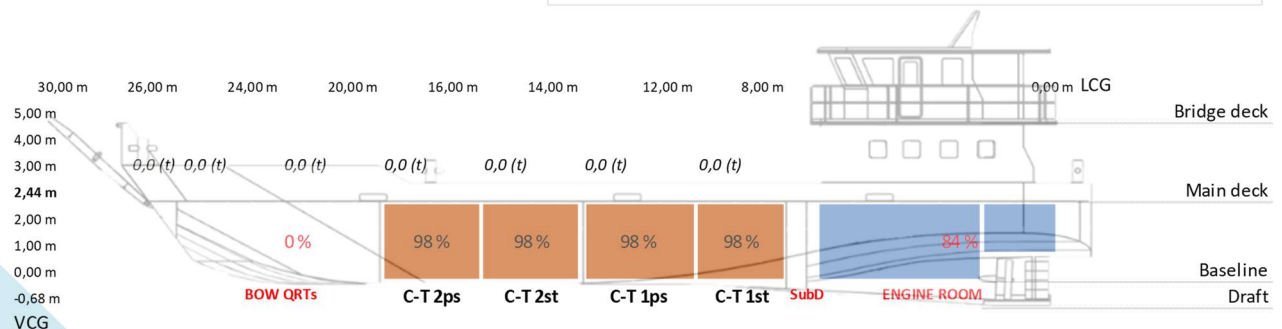
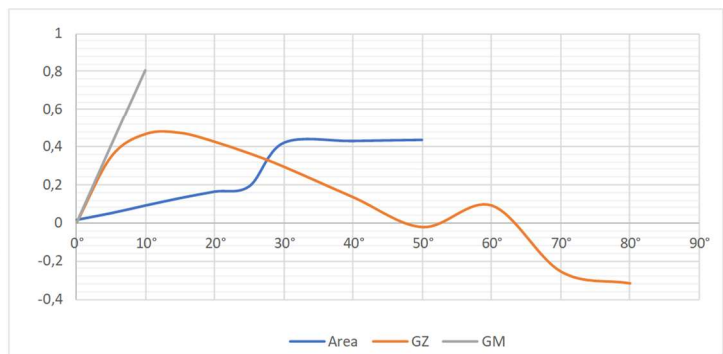
VALUES BASED ON GIVEN DATA OF LOADING	
LCG	12,0615095
VCG	1,44633209
TCG	-0,0045451
DISPLACEMENT	394,182425 tons
CARGO	207,886224 tons
DRAFT	AND TRIM

CALCULATED	
LCB	VOLUME 384,568219
VCB	MCT
TCB	TPC
KM <sub>trim=0</sub>	6,1008343
GM <sub>trim=0</sub>	4,6545022 DRAFT <sub>app</sub>

	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
GZ	0	0,34640069	0,46523275	0,47051322	0,42309504	0,362220529	0,2918199	0,1322808	-0,024083	0,0891974	-0,257588	-0,31920363
Σ1	0	0,3464007	0,8116334	0,935746	0,8936083	0,785315569	0,65404	0,4241007	0,1081978	0,0651144	-0,16839	-0,5767915
Σ2	0	0,3464007	1,1580341	2,0937801	2,9873884	3,772703928	4,426744	4,850845	4,9590428	5,0241572	4,855767	4,27897528
e	0	0,01511458	0,05052877	0,09135839	0,13034941	0,164615263	0,1931532	0,4233161	0,43275812	0,4384404	0,423746	0,37341104
GM	0	0,4056666	0,80824583									

Criteria (IS 2008)

Corrected GM > 0,15m:	OK	4,65450221 m
GZ <sub>30°</sub> > 0,2m:	OK	0,2918199 m
GZ max > 25°:	BAD	15°
e <sub>40°</sub> > 0,09 m·rad:	OK	0,42331608 m·rad
-e <sub>30°</sub> > 0,055 m·rad:	OK	0,19315316 m·rad
Δe > 0,03 m·rad:	OK	0,23016292 m·rad





## DECKCARGO

In these examples there is lightship with loaded deck cargo. Examples does not include any cargo in the cargo tanks.

Planning and loading only deck cargo, **it is extremely important to notice that ship is not capable to proceed safely with full cargo or maximum displacement.** Recommended maximum cargo weight is 200 tons, meaning maximum displacement of 280 tons.

In deck cargo situations it is very important to calculate the current stability of the loaded ship to make sufficient estimation of the safe proceed of the vessel.



### CARGO PLANNING AND STABILITY ANALYSE TABLE

	LCG	VCG	TCG	Weight (t)	Volume (m³)	L.mom	V.mom	T.mom	Density (t/m³)	Fill factor (%)	Additional
<b>LIGHTSHIP</b>	<b>12,64</b>	<b>1,65</b>	<b>0</b>	<b>78</b>	<b>76,10</b>	<b>985,92</b>	<b>128,7</b>	<b>0</b>			
<b>TANKS</b>											
FUEL TANK ST	6,8	1,63	-4,061	1,688	1,998	11,47821	2,7513944	-6,8548543	0,845	88 %	Diesel
FUEL TANK PS	6,8	1,63	4,061	1,247	1,476	8,478223	2,0322799	5,06324465	0,845	65 %	Diesel
CG-TANK PS 1	10,483	-0,156	-0,260	0,000	0,000	0	0	0	0,845	0 %	Diesel
CG-TANK ST 1	10,483	-0,156	0,260	0,000	0,000	0	0	0	0,845	0 %	Diesel
CG-TANK PS 2	18,403	-0,032	-0,988	0,000	0,000	0	0	0	0,845	0 %	Diesel
CG-TANK ST 2	18,403	-0,032	0,988	0,000	0,000	0	0	0	0,845	0 %	Diesel
<b>ON DECK</b>											
Project cargo 1	10	2,9	3,2	25		250	72,5	80			Pipes
Project cargo 2	24,5	2,8	-2,5	20		490	56	-50			Foundations
IBC container	8,6	2,94	-3,9	0,88		7,568	2,5872	-3,432			Diesel
IBC container	8,6	2,94	-2,9	1,1		9,46	3,234	-3,19			Lubricant
Excavator	11	3,8	-0,5	28		308	106,4	-14			
Dumber	15	3,6	-3	12		180	43,2	-36			
Forklift						0	0	0			
Wheel loader	15	3,5	3	15		225	52,5	45			
Heavy Truck	18	3,4	0,5	32		576	108,8	16			
<b>DAMAGE STABILITY</b>											
ENGINE ROOM	5,0018	-0,5302	0	0	0	0	0	0	1,025	0 %	
SEC SUBDIV ST	8,703	-0,2494	-0,2384	0	0	0	0	0	1,025	0 %	
SEC SUBDIV PS	8,703	-0,2494	0,2384	0	0	0	0	0	1,025	0 %	
BOW ST 3	22,19	0,0165	-1,5866	0	0	0	0	0	1,025	0 %	
BOW PS 3	22,19	0,0165	1,5866	0	0	0	0	0	1,025	0 %	

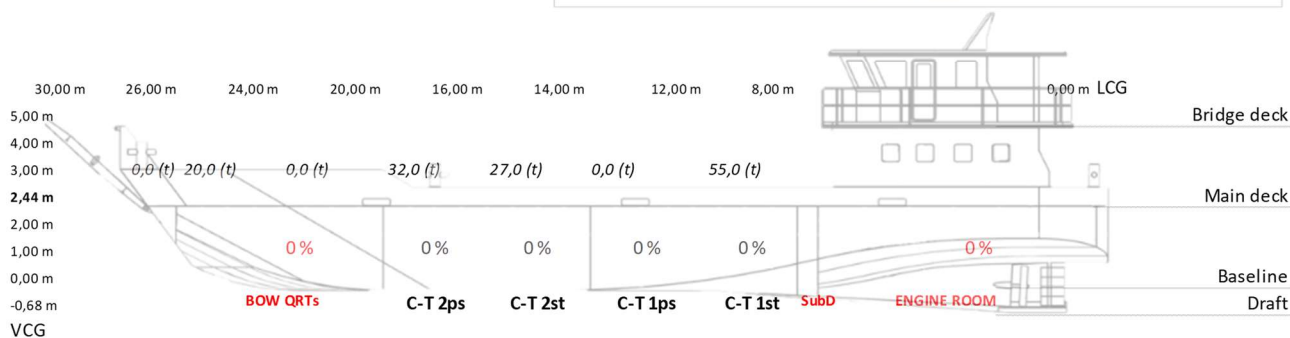
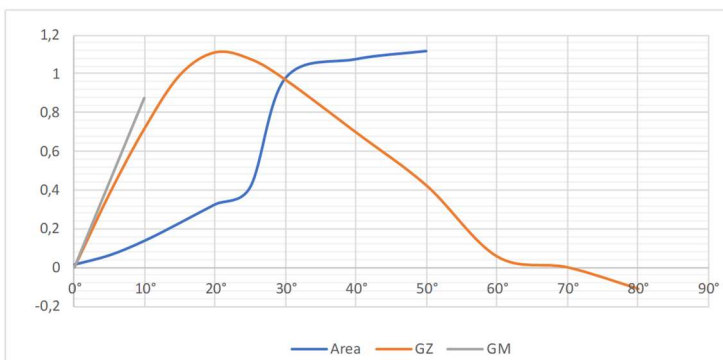
VALUES BASED ON GIVEN DATA OF LOADING			
LCG	14,2005337	DISPLACEMENT	214,91477 tons
VCG	2,69271803	CARGO	133,98 tons
TCG	0,15162471	DRAFT	AND TRIM

CALCULATED		
LCB	VOLUME	209,672946
VCB	MCT	
TCB	TPC	
KM <sub>trim=0</sub>	7,751343	
<b>GM<sub>trim=0</sub></b>	<b>5,058625</b>	<b>DRAFT<sub>app</sub></b>

	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	
GZ	0	0,38162231	0,71969294	0,99316386	1,10882235	1,073544994	0,9659135	0,6948716	0,42083358	0,0559378	0,000445	-0,10981204	
Σ1	0	0,3816223	1,1013153	1,7128568	2,1019862	2,182367346	2,039459	1,6607851	1,1157052	0,4767713	0,056382	-0,1093674	
Σ2	0	0,3816223	1,4829376	3,1957944	5,2977806	7,480147915	9,519606	11,180392	12,296097	12,772868	12,82925	12,7198831	
e		0	0,01665141	0,06470536	0,13944283	0,23115928	0,326383024	0,4153712	0,9756732	1,07303687	1,114643	1,119563	1,1100192
GM	0	0,44088822	0,87842101										

**Criteria (IS 2008)**

Corrected GM > 0,15m:	OK	5,05862501 m
GZ <sub>30°</sub> > 0,2m:	OK	0,96591354 m
GZ max > 25°:	BAD	20°
e <sub>40°</sub> > 0,09 m·rad:	OK	0,97567322 m·rad
-e <sub>30°</sub> > 0,055 m·rad:	OK	0,41537119 m·rad
Δe > 0,03 m·rad:	OK	0,56030203 m·rad



# Damage stability case 2

CARGO PLANNING AND STABILITY ANALYSE TABLE

	LCG	VCG	TCG	Weight (t)	Volume (m³)	L.mom	V.mom	T.mom	Density (t/m³)	Fill factor (%)	Additional	
<b>LIGHTSHIP</b>	<b>12,64</b>	<b>1,65</b>	<b>0</b>	<b>78</b>	<b>76,10</b>	<b>985,92</b>	<b>128,7</b>	<b>0</b>				
TANKS	FUEL TANK ST	6,8	1,63	-4,061	<b>1,688</b>	1,998	11,47821	2,7513944	-6,8548543	0,845	88 %	Diesel
	FUEL TANK PS	6,8	1,63	4,061	<b>1,247</b>	1,476	8,478223	2,0322799	5,06324465	0,845	65 %	Diesel
	CG-TANK PS 1	10,483	-0,156	-0,260	<b>0,000</b>	0,000	0	0	0	0,845	0 %	
	CG-TANK ST 1	10,483	-0,156	0,260	<b>0,000</b>	0,000	0	0	0	0,845	0 %	
	CG-TANK PS 2	18,549	0,620	-2,236	<b>32,662</b>	31,866	605,84672	24,14658	-73,041726	1,025	50 %	Seawater
	CG-TANK ST 2	18,403	-0,032	0,988	<b>0,000</b>	0,000	0	0	0	0,845	0 %	
ON DECK	Project cargo 1	10	2,9	3,2	<b>25</b>		250	72,5	80			Pipes
	Project cargo 2	24,5	2,8	-2,5	<b>20</b>		490	56	-50			Foundations
	IBC container	8,6	2,94	-3,9	<b>0,88</b>		7,568	2,5872	-3,432			Diesel
	IBC container	8,6	2,94	-2,9	<b>1,1</b>		9,46	3,234	-3,19			Lubricant
	Excavator	11	3,8	-0,5	<b>28</b>		308	106,4	-14			
	Dumber	15	3,6	-3	<b>12</b>		180	43,2	-36			
	Forklift						0	0	0			
	Wheel loader	15	3,5	3	<b>15</b>		225	52,5	45			
	Heavy Truck	18	3,4	0,5	<b>32</b>		576	108,8	16			
	DAMAGE STABILITY	ENGINE ROOM	5,0018	-0,5302	0	<b>0</b>	0	0	0	0	1,025	0 %
SEC SUBDIV ST		8,703	-0,2494	-0,2384	<b>0</b>	0	0	0	0	1,025	0 %	
SEC SUBDIV PS		8,703	-0,2494	0,2384	<b>0</b>	0	0	0	0	1,025	0 %	
BOW ST 3		23,675525	1,14549141	-1,9923113	<b>38,6700469</b>	37,726875	915,53366	44,296206	-77,042772	1,025	75 %	
BOW PS 3		22,19	0,0165	1,5866	<b>0</b>	0	0	0	0	1,025	0 %	

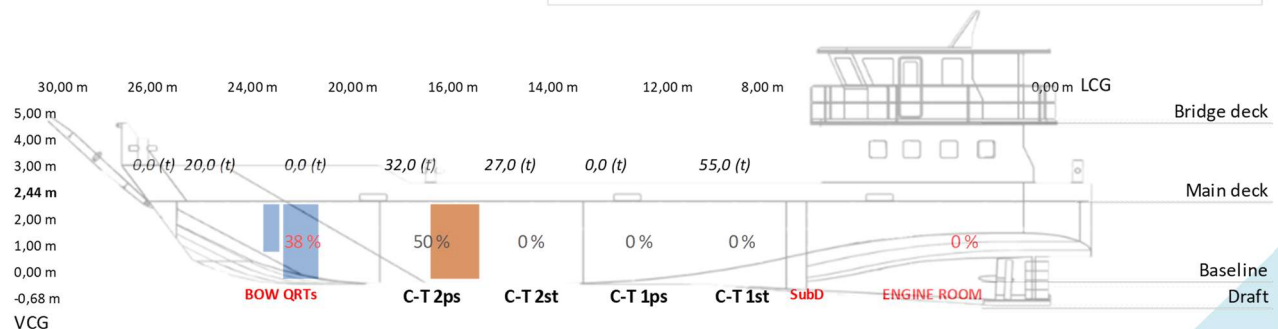
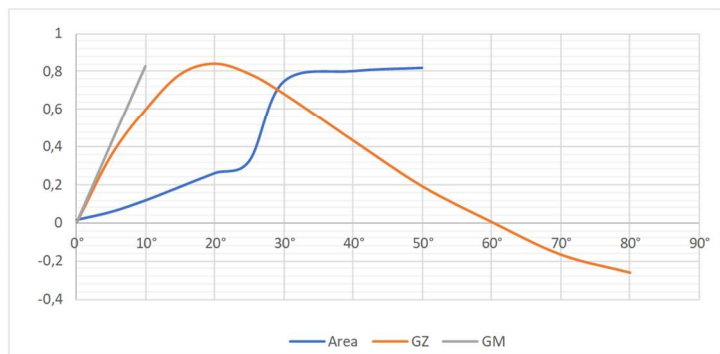
VALUES BASED ON GIVEN DATA OF LOADING	
LCG	15,9767109
VCG	<b>2,26080191</b>
TCG	-0,4104781
DISPLACEMENT	<b>286,246954</b> tons
CARGO	166,642138 tons
DRAFT	AND TRIM

CALCULATED	
LCB	VOLUME 279,265321
VCB	MCT
TCB	TPC
KM <sub>trim=0</sub>	7,015274
<b>GM<sub>trim=0</sub></b>	<b>4,7544721 DRAFT<sub>app</sub></b>

	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
GZ	0	0,35511364	0,59956629	0,78721489	0,84244276	0,787603174	0,6808129	0,4315752	0,18999388	0,002935	-0,168918	-0,26374454
Σ1	0	0,3551136	0,9546799	1,3867812	1,6296577	1,630045939	1,468416	1,1123881	0,6215691	0,1929289	-0,16598	-0,432663
Σ2	0	0,3551136	1,3097936	2,6965747	4,3262324	5,956278339	7,424694	8,5370826	9,1586517	9,3515806	9,185597	8,75293414
e	0	0,01549476	0,05715053	0,11766027	0,1887675	0,25989167	0,3239634	0,745001	0,79924313	0,8160794	0,801595	0,7638376
GM	0	0,41437955	0,82560542									

Criteria (IS 2008)

- Corrected GM > 0,15m: **OK** 4,75447211 m
- GZ<sub>30°</sub> > 0,2m: **OK** 0,68081291 m
- GZ max > 25°: **BAD** 20°
- e<sub>40°</sub> > 0,09 m·rad: **OK** 0,745001 m·rad
- e<sub>30°</sub> > 0,055 m·rad: **OK** 0,32396341 m·rad
- Δe > 0,03 m·rad: **OK** 0,42103759 m·rad



# DECKCARGO AND FULL CARGO TANKS

In this example there is lightship with loaded deck and tank cargo

**CARGO PLANNING AND STABILITY ANALYSE TABLE**

	LCG	VCG	TCG	Weight (t)	Volume (m³)	L.mom	V.mom	T.mom	Density (t/m³)	Fill factor (%)	Additional
<b>LIGHTSHIP</b>	<b>12,64</b>	<b>1,65</b>	<b>0</b>	<b>78</b>	<b>76,10</b>	<b>985,92</b>	<b>128,7</b>	<b>0</b>			
<b>TANKS</b>											
FUEL TANK ST	6,8	1,63	-4,061	<b>1,688</b>	1,998	11,47821	2,7513944	-6,8548543	0,845	88 %	Diesel
FUEL TANK PS	6,8	1,63	4,061	<b>1,247</b>	1,476	8,478223	2,0322799	5,06324465	0,845	65 %	
CG-TANK PS 1	12,462	1,261	-2,268	<b>51,167</b>	60,553	637,63517	67,618652	-116,05115	0,845	98 %	Diesel
CG-TANK ST 1	12,462	1,261	2,268	<b>51,167</b>	60,553	637,63517	67,618652	116,051146	0,845	98 %	Diesel
CG-TANK PS 2	18,522	1,222	-2,295	<b>52,776</b>	62,456	977,52384	67,715509	-121,14369	0,845	98 %	Diesel
CG-TANK ST 2	18,522	1,222	2,295	<b>52,776</b>	62,456	977,52384	67,715509	121,14369	0,845	98 %	Diesel
Project cargo 1						0	0	0			
Project cargo 2						0	0	0			
IBC container	15	2,94	-3,98	<b>1,15</b>		17,25	3,381	-4,577			IMO 6.1, 8
IBC container	14	2,94	-3,98	<b>0,9</b>		12,6	2,646	-3,582			Lubricant
Excavator	11	3,5	0	<b>24</b>		264	84	0			
Dumber	20	3,6	-3	<b>14</b>		280	50,4	-42			
Forklift						0	0	0			
Wheel loader	20	3,7	3	<b>11</b>		220	40,7	33			
You name it						0	0	0			
<b>DAMAGE STABILITY</b>											
ENGINE ROOM	5,0018	-0,5302	0	<b>0</b>	0	0	0	0	1,025	0 %	
SEC SUBDIV ST	8,703	-0,2494	-0,2384	<b>0</b>	0	0	0	0	1,025	0 %	
SEC SUBDIV PS	8,703	-0,2494	0,2384	<b>0</b>	0	0	0	0	1,025	0 %	
BOW ST 3	22,19	0,0165	-1,5866	<b>0</b>	0	0	0	0	1,025	0 %	
BOW PS 3	22,19	0,0165	1,5866	<b>0</b>	0	0	0	0	1,025	0 %	

VALUES BASED ON GIVEN DATA OF LOADING		
LCG	14,7998639	DISPLACEMENT <b>339,870994</b> tons
VCG	<b>1,72206221</b>	CARGO 258,936224 tons
TCG	-0,0557582	DRAFT AND TRIM

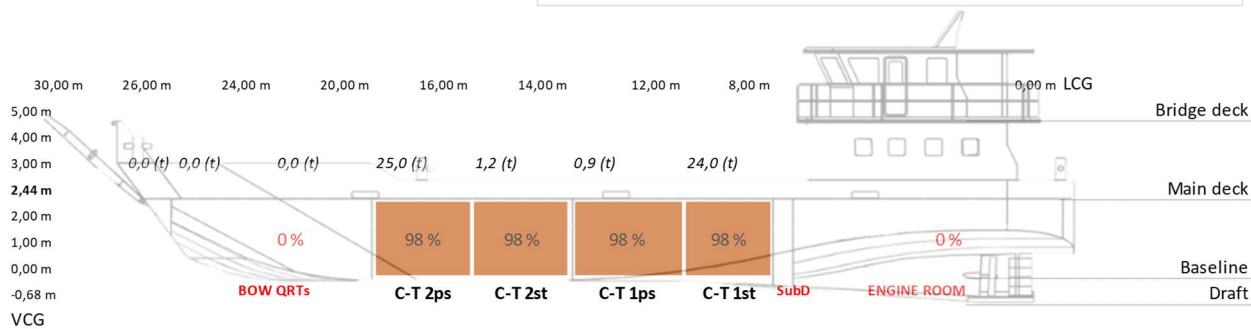
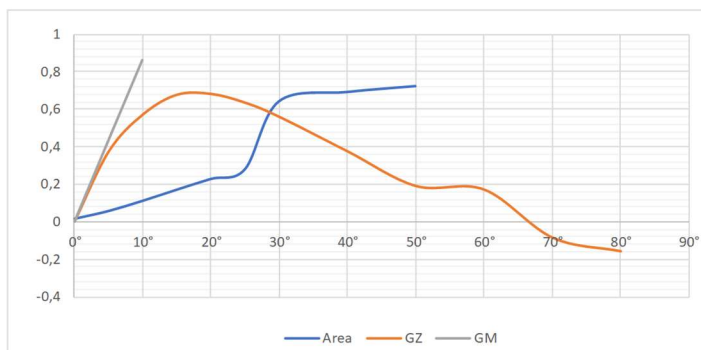
=>>

CALCULATED		
LCB	VOLUME	331,581457
VCB	MCT	
TCB	TPC	
KM <sub>T trim=0</sub>	6,686673	
<b>GM<sub>trim=0</sub></b>	<b>4,9646107</b>	<b>DRAFT<sub>app</sub></b>

	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
GZ	0	0,37342843	0,57052054	0,67613355	0,68050237	0,633437994	0,5579517	0,3737188	0,18934065	0,1701974	-0,086079	-0,15842395
$\Sigma 1$	0	0,3734284	0,943949	1,2466541	1,3566359	1,313940362	1,19139	0,9316705	0,5630594	0,3595381	0,084118	-0,244503
$\Sigma 2$	0	0,3734284	1,3173774	2,5640315	3,9206674	5,234607773	6,425997	7,357668	7,9207275	8,2802655	8,364384	8,11988096
e	0	0,01629389	0,05748143	0,11187698	0,17107139	0,228402852	0,280387	0,6420777	0,69121387	0,7225895	0,72993	0,70859329
GM	0	0,43269434	0,86209561									

**Criteria (IS 2008)**

Corrected GM > 0,15m:	OK	4,96461074 m
$GZ_{30^\circ} > 0,2m$ :	OK	0,55795173 m
GZ max > 25°:	BAD	20°
$e_{40^\circ} > 0,09 m \cdot rad$ :	OK	0,64207766 m·rad
$-e_{30^\circ} > 0,055 m \cdot rad$ :	OK	0,28038703 m·rad
$\Delta e > 0,03 m \cdot rad$ :	OK	0,36169063 m·rad



# Damage Stability Case 3

CARGO PLANNING AND STABILITY ANALYSE TABLE

	LCG	VCG	TCG	Weight (t)	Volume (m³)	L.mom	V.mom	T.mom	Density (t/m³)	Fill factor (%)	Additional	
<b>TANKS</b>	<b>LIGHTSHIP</b>	<b>12,64</b>	<b>1,65</b>	<b>0</b>	<b>78</b>	<b>985,92</b>	<b>128,7</b>	<b>0</b>				
	FUEL TANK ST	6,8	1,63	-4,061	<b>1,688</b>	1,998	11,47821	2,7513944	-6,8548543	0,845	88 %	Diesel
	FUEL TANK PS	6,8	1,63	4,061	<b>1,247</b>	1,476	8,478223	2,0322799	5,06324465	0,845	65 %	Diesel
	CG-TANK PS 1	12,462	1,261	-2,268	<b>51,167</b>	60,553	637,63517	67,618652	-116,05115	0,845	98 %	Diesel
	CG-TANK ST 1	12,462	1,261	2,268	<b>51,167</b>	60,553	637,63517	67,618652	116,051146	0,845	98 %	Diesel
	CG-TANK PS 2	18,522	1,222	-2,295	<b>52,776</b>	62,456	977,52384	67,715509	-121,14369	0,845	98 %	Diesel
	CG-TANK ST 2	18,522	1,222	2,295	<b>52,776</b>	62,456	977,52384	67,715509	121,14369	0,845	98 %	Diesel
<b>ON DECK</b>	Project cargo 1					0	0	0				
	Project cargo 2					0	0	0				
	IBC container	15	2,94	-3,98	<b>1,15</b>	17,25	3,381	-4,577				
	IBC container	14	2,94	-3,98	<b>0,9</b>	12,6	2,646	-3,582				
	Excavator	11	3,5	0	<b>24</b>	264	84	0				
	Dumber	20	3,6	-3	<b>14</b>	280	50,4	-42				
	Forklift					0	0	0				
	Wheel loader	20	3,7	3	<b>11</b>	220	40,7	33				
	Heavy Truck					0	0	0				
<b>DAMAGE STABILITY</b>	ENGINE ROOM	5,0018	-0,5302	0	<b>0</b>	0	0	0	1,025	0 %		
	SEC SUBDIV ST	8,703	-0,2494	-0,2384	<b>0</b>	0	0	0	1,025	0 %		
	SEC SUBDIV PS	8,703	-0,2494	0,2384	<b>0</b>	0	0	0	1,025	0 %		
	BOW ST 3	23,356877	0,78582357	-1,9189124	<b>23,2020281</b>	22,636125	541,92692	18,2327	-44,522659	1,025	45 %	
	BOW PS 3	23,697068	1,31356686	2,00736501	<b>46,4040563</b>	45,27225	1099,6401	60,95483	93,1498789	1,025	90 %	

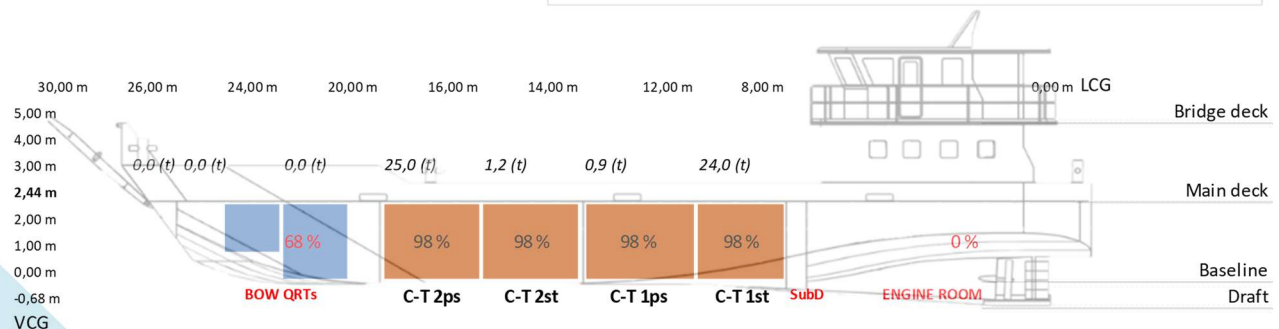
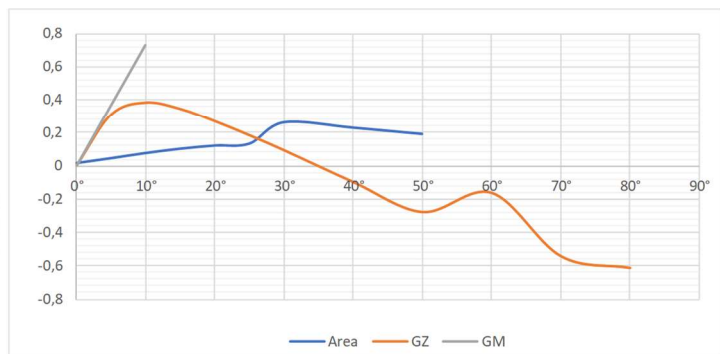
VALUES BASED ON GIVEN DATA OF LOADING	
LCG	16,2930035
VCG	<b>1,62271971</b>
TCG	0,07247441
DISPLACEMENT	<b>409,477078</b> tons
CARGO	258,936224 tons
DRAFT	AND TRIM

CALCULATED	
LCB	VOLUME 399,489832
VCB	MCT
TCB	TPC
KM <sub>trim=0</sub>	5,8403865
<b>GM<sub>trim=0</sub></b>	<b>4,2176668</b> DRAFT <sub>app</sub>

	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
GZ	0	0,30832798	0,38071912	0,34162085	0,26580483	0,180473561	0,0895708	-0,101311	-0,2809787	-0,165929	-0,545903	-0,61601784
Σ1	0	0,308328	0,6890471	0,72234	0,6074257	0,446278391	0,270044	-0,01174	-0,3822893	-0,446908	-0,71183	-1,1619211
Σ2	0	0,308328	0,9973751	1,719715	2,3271407	2,773419112	3,043463	3,0317237	2,6494344	2,2025267	1,490695	0,32877349
e	0	0,01345335	0,0435187	0,07503672	0,10154067	0,121013238	0,1327961	0,2645678	0,23120677	0,1922067	0,130088	0,0286909
GM	0	0,36759388	0,73239015									

Criteria (IS 2008)

- Corrected GM > 0,15m: **OK** 4,21766678 m
- GZ<sub>30°</sub> > 0,2m: **BAD** 0,08957077 m
- GZ max > 25°: **BAD** 10°
- e<sub>40°</sub> > 0,09 m·rad: **OK** 0,2645678 m·rad
- e<sub>30°</sub> > 0,055 m·rad: **OK** 0,13279614 m·rad
- Δe > 0,03 m·rad: **OK** 0,13177166 m·rad



# HYDROSTATICS

Relative water density: 1,0250

Trim: -1,000 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	24,660	70,019	71,769	11,669	0,319	186,07	12,425	15,796	112,41	2,947	15,477	1,907
<b>0,600</b>	25,067	89,234	91,464	11,844	0,378	196,05	12,507	13,412	99,02	3,305	13,034	2,010
<b>0,700</b>	25,421	109,303	112,036	11,968	0,436	203,84	12,526	11,742	87,96	3,592	11,306	2,089
<b>0,800</b>	25,688	130,053	133,304	12,056	0,492	210,10	12,514	10,517	78,86	3,827	10,025	2,154
<b>0,900</b>	25,922	151,368	155,152	12,120	0,549	215,41	12,512	9,570	71,59	4,037	9,022	2,208
<b>1,000</b>	26,156	173,156	177,485	12,171	0,604	219,73	12,541	8,782	65,56	4,223	8,178	2,252
<b>1,100</b>	26,391	195,304	200,187	12,217	0,659	222,70	12,618	8,052	60,23	4,368	7,393	2,283
<b>1,200</b>	26,573	217,650	223,092	12,263	0,713	224,34	12,710	7,386	55,28	4,460	6,672	2,300
<b>1,300</b>	26,647	240,156	246,160	12,310	0,767	225,94	12,798	6,851	51,22	4,550	6,084	2,316
<b>1,400</b>	26,720	262,820	269,391	12,356	0,820	227,49	12,883	6,414	47,83	4,639	5,594	2,332
<b>1,500</b>	26,793	285,637	292,778	12,401	0,872	229,01	12,964	6,053	44,95	4,728	5,181	2,347
<b>1,600</b>	26,867	308,604	316,319	12,447	0,924	230,49	13,043	5,751	42,48	4,815	4,827	2,363
<b>1,700</b>	26,940	331,717	340,009	12,491	0,976	231,94	13,118	5,496	40,32	4,901	4,520	2,377
<b>1,800</b>	27,014	354,971	363,846	12,535	1,028	233,34	13,190	5,280	38,43	4,985	4,252	2,392
<b>1,900</b>	27,087	378,364	387,823	12,577	1,080	234,71	13,259	5,096	36,76	5,069	4,016	2,406
<b>2,000</b>	25,409	401,522	411,560	12,631	1,130	221,52	14,138	4,744	29,34	4,253	3,614	2,271
<b>2,100</b>	25,483	423,228	433,809	12,723	1,176	207,77	14,998	4,428	23,76	3,589	3,252	2,130
<b>2,200</b>	25,556	443,557	454,645	12,840	1,218	193,99	15,767	4,153	20,07	3,140	2,935	1,988
<b>2,300</b>	25,629	462,169	473,723	12,972	1,256	172,73	16,739	3,774	16,91	2,716	2,518	1,771
<b>2,400</b>	25,703	478,443	490,404	13,114	1,289	149,22	17,684	3,392	14,88	2,442	2,103	1,529

# Curves of form

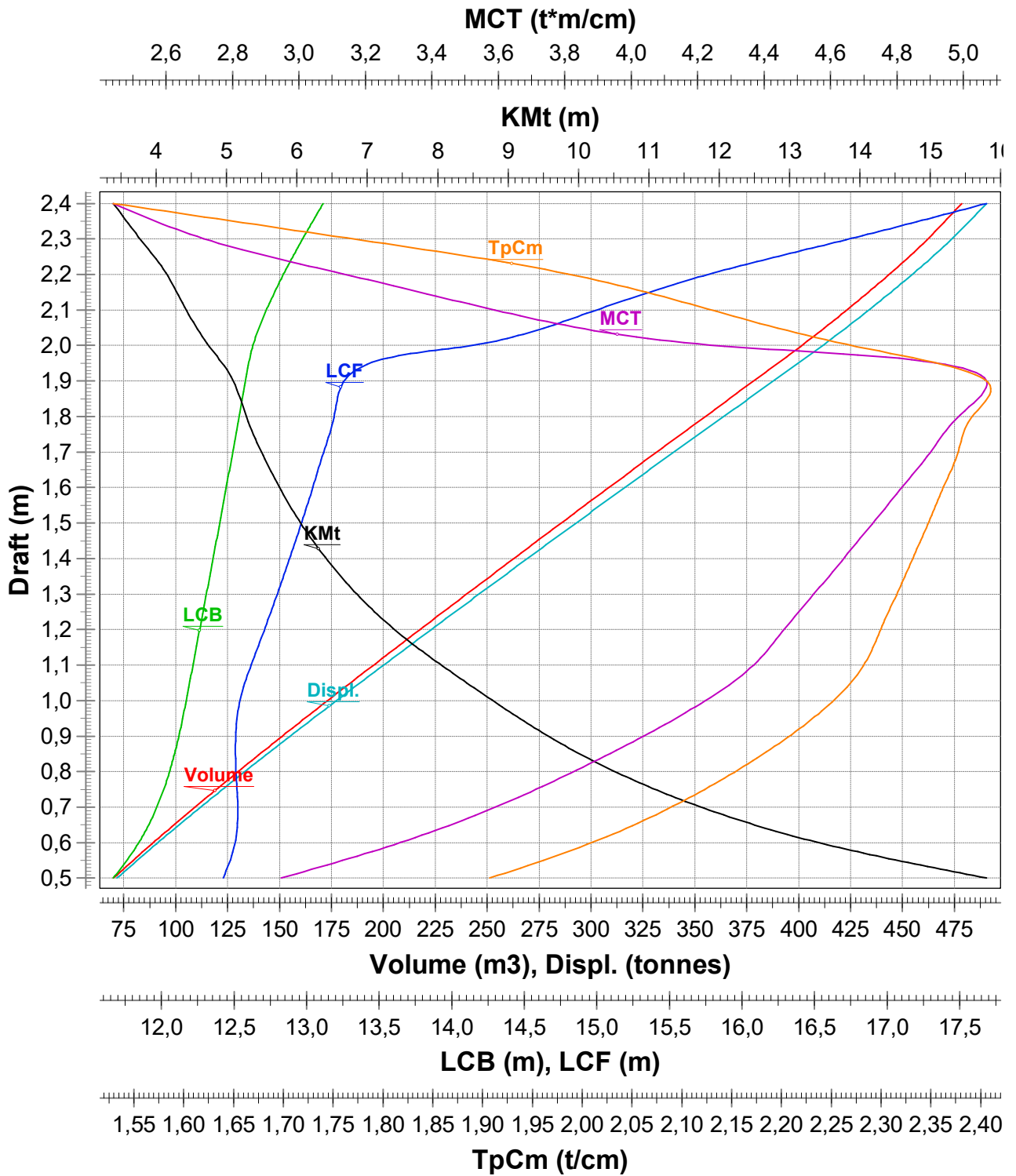


Figure 2



## Trim: -0,900 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	24,855	69,259	70,990	12,068	0,302	186,26	12,633	15,818	114,90	2,980	15,515	1,909
<b>0,600</b>	25,214	88,469	90,681	12,196	0,363	195,87	12,666	13,369	100,38	3,322	13,006	2,008
<b>0,700</b>	25,552	108,507	111,220	12,282	0,422	203,42	12,651	11,676	88,72	3,598	11,254	2,085
<b>0,800</b>	25,789	129,216	132,447	12,337	0,480	209,71	12,621	10,453	79,46	3,832	9,973	2,150
<b>0,900</b>	26,025	150,506	154,268	12,376	0,537	215,21	12,607	9,520	72,21	4,050	8,983	2,206
<b>1,000</b>	26,261	172,296	176,603	12,405	0,594	219,88	12,620	8,760	66,29	4,250	8,166	2,254
<b>1,100</b>	26,489	194,482	199,344	12,432	0,650	223,27	12,662	8,082	60,98	4,406	7,432	2,289
<b>1,200</b>	26,605	216,897	222,319	12,461	0,705	225,00	12,748	7,419	55,95	4,499	6,714	2,306
<b>1,300</b>	26,678	239,470	245,457	12,492	0,759	226,57	12,836	6,877	51,79	4,589	6,119	2,322
<b>1,400</b>	26,752	262,199	268,754	12,526	0,812	228,11	12,920	6,436	48,32	4,677	5,623	2,338
<b>1,500</b>	26,825	285,080	292,207	12,561	0,865	229,62	13,001	6,071	45,38	4,765	5,205	2,354
<b>1,600</b>	26,899	308,109	315,812	12,597	0,918	231,08	13,078	5,766	42,85	4,851	4,848	2,369
<b>1,700</b>	26,973	331,283	339,565	12,634	0,970	232,50	13,153	5,509	40,65	4,936	4,539	2,383
<b>1,800</b>	27,046	354,596	363,461	12,670	1,023	233,89	13,224	5,291	38,73	5,020	4,268	2,397
<b>1,900</b>	27,120	378,046	387,497	12,707	1,075	235,24	13,293	5,105	37,02	5,102	4,030	2,411
<b>2,000</b>	26,586	401,623	411,663	12,744	1,127	232,55	13,582	4,907	33,76	4,922	3,780	2,384
<b>2,100</b>	25,516	424,081	434,683	12,815	1,175	213,79	14,747	4,504	25,39	3,856	3,329	2,191
<b>2,200</b>	25,590	444,960	456,084	12,920	1,218	198,33	15,627	4,202	20,80	3,272	2,984	2,033
<b>2,300</b>	25,663	464,079	475,681	13,045	1,258	176,79	16,631	3,826	17,31	2,797	2,569	1,812
<b>2,400</b>	25,737	480,646	492,662	13,184	1,291	150,53	17,688	3,406	14,95	2,464	2,114	1,543

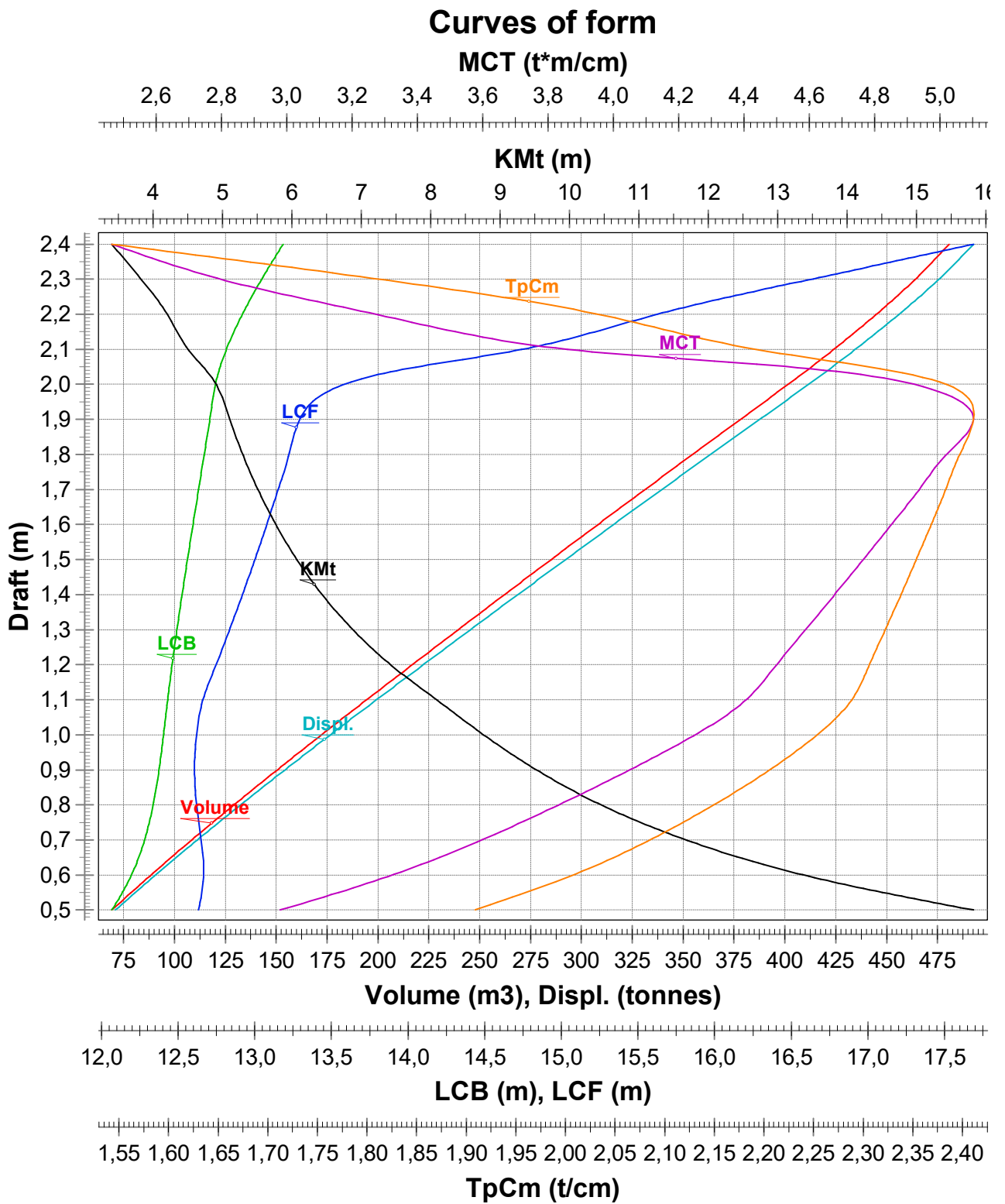


Figure 3

## Trim: -0,800 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	25,001	68,634	70,350	12,478	0,287	186,05	12,839	15,792	116,48	2,994	15,505	1,907
<b>0,600</b>	25,364	87,816	90,011	12,555	0,350	195,48	12,821	13,308	101,29	3,328	12,958	2,004
<b>0,700</b>	25,653	107,804	110,499	12,599	0,410	202,86	12,775	11,602	89,22	3,595	11,191	2,079
<b>0,800</b>	25,892	128,464	131,676	12,622	0,469	209,25	12,731	10,383	79,95	3,834	9,913	2,145
<b>0,900</b>	26,130	149,720	153,463	12,635	0,527	214,93	12,707	9,462	72,74	4,060	8,935	2,203
<b>1,000</b>	26,368	171,501	175,788	12,644	0,585	219,87	12,707	8,723	66,90	4,271	8,138	2,254
<b>1,100</b>	26,563	193,697	198,539	12,651	0,641	223,49	12,720	8,079	61,56	4,430	7,438	2,291
<b>1,200</b>	26,637	216,172	221,576	12,661	0,697	225,66	12,786	7,453	56,63	4,540	6,756	2,313
<b>1,300</b>	26,710	238,813	244,783	12,677	0,751	227,21	12,873	6,905	52,36	4,628	6,153	2,329
<b>1,400</b>	26,784	261,608	268,148	12,698	0,805	228,74	12,957	6,458	48,81	4,716	5,652	2,345
<b>1,500</b>	26,858	284,553	291,667	12,723	0,859	230,22	13,037	6,089	45,81	4,802	5,230	2,360
<b>1,600</b>	26,932	307,644	315,335	12,750	0,912	231,67	13,114	5,781	43,23	4,888	4,869	2,375
<b>1,700</b>	27,005	330,877	339,149	12,778	0,965	233,07	13,188	5,522	40,98	4,972	4,557	2,389
<b>1,800</b>	27,079	354,249	363,105	12,808	1,018	234,44	13,258	5,302	39,02	5,055	4,285	2,403
<b>1,900</b>	27,153	377,756	387,199	12,838	1,070	235,76	13,326	5,115	37,28	5,136	4,045	2,417
<b>2,000</b>	27,227	401,393	411,428	12,869	1,122	237,06	13,391	4,954	35,73	5,216	3,832	2,430
<b>2,100</b>	25,550	424,710	435,327	12,913	1,173	221,18	14,411	4,599	27,72	4,233	3,426	2,267
<b>2,200</b>	25,624	446,262	457,419	13,002	1,219	203,62	15,434	4,264	21,82	3,453	3,045	2,087
<b>2,300</b>	25,697	465,950	477,599	13,119	1,260	181,74	16,484	3,892	17,84	2,901	2,632	1,863
<b>2,400</b>	25,771	482,869	494,941	13,255	1,294	152,04	17,685	3,422	15,02	2,489	2,128	1,558

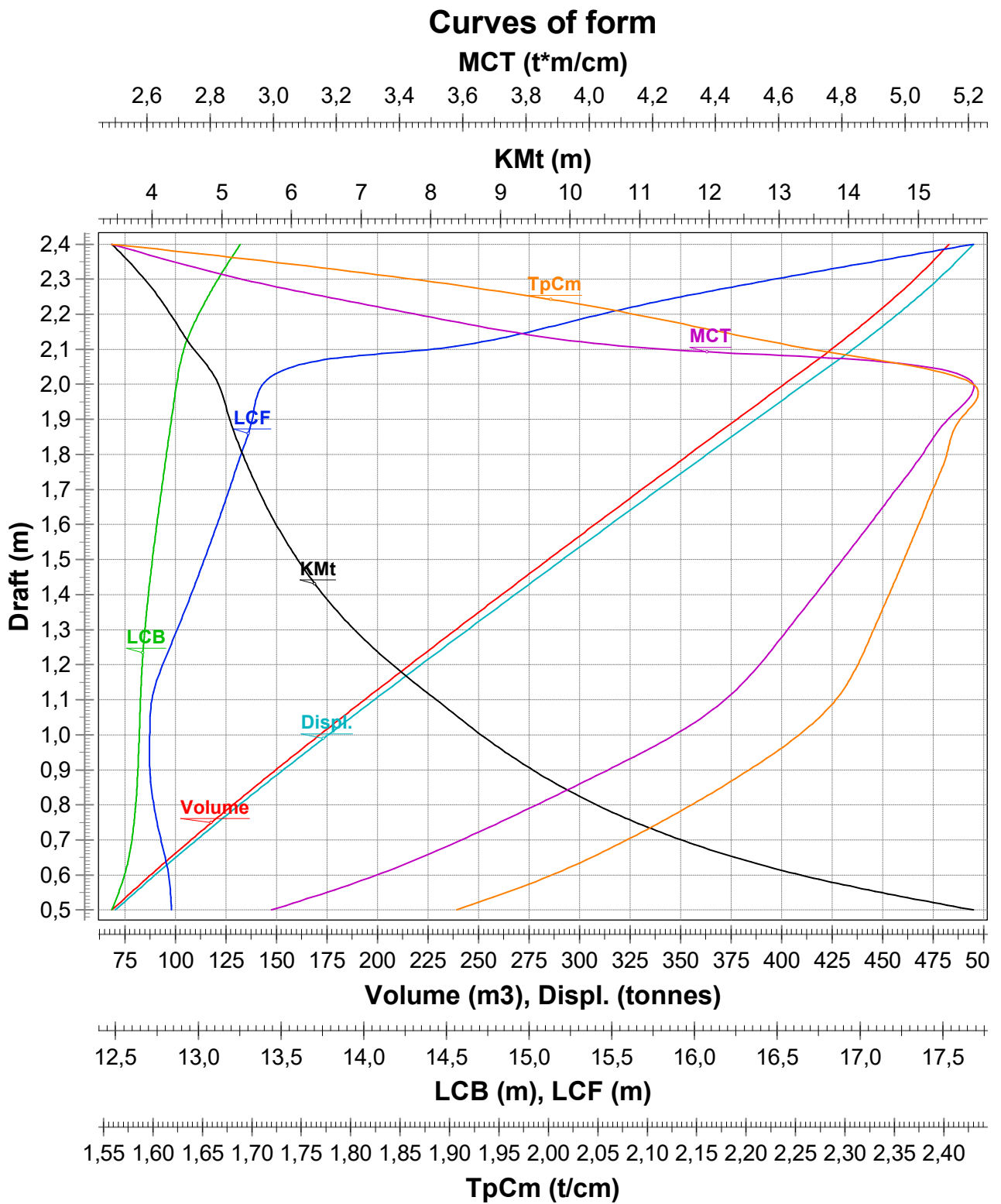


Figure 4

## Trim: -0,700 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	25,152	68,146	69,850	12,894	0,274	185,24	13,057	15,695	116,76	2,981	15,421	1,899
<b>0,600</b>	25,516	87,271	89,453	12,917	0,338	194,86	12,972	13,230	101,71	3,322	12,892	1,997
<b>0,700</b>	25,756	107,194	109,874	12,919	0,400	202,21	12,901	11,520	89,52	3,587	11,121	2,073
<b>0,800</b>	25,997	127,799	130,994	12,910	0,460	208,73	12,846	10,307	80,33	3,833	9,847	2,139
<b>0,900</b>	26,237	149,016	152,741	12,897	0,518	214,60	12,812	9,398	73,19	4,066	8,879	2,200
<b>1,000</b>	26,472	170,772	175,041	12,884	0,576	219,62	12,792	8,672	67,28	4,277	8,096	2,251
<b>1,100</b>	26,595	192,959	197,783	12,872	0,633	223,55	12,785	8,059	62,03	4,449	7,425	2,291
<b>1,200</b>	26,669	215,476	220,863	12,865	0,689	226,32	12,823	7,487	57,30	4,580	6,798	2,320
<b>1,300</b>	26,743	238,184	244,139	12,865	0,745	227,86	12,910	6,932	52,94	4,668	6,187	2,336
<b>1,400</b>	26,817	261,045	267,571	12,873	0,799	229,36	12,993	6,480	49,30	4,754	5,681	2,351
<b>1,500</b>	26,891	284,054	291,155	12,886	0,853	230,83	13,073	6,108	46,23	4,840	5,254	2,366
<b>1,600</b>	26,965	307,207	314,887	12,904	0,907	232,25	13,149	5,797	43,60	4,925	4,890	2,381
<b>1,700</b>	27,039	330,501	338,763	12,924	0,960	233,64	13,222	5,535	41,31	5,008	4,575	2,395
<b>1,800</b>	27,113	353,931	362,779	12,946	1,013	234,99	13,292	5,314	39,31	5,090	4,301	2,409
<b>1,900</b>	27,187	377,494	386,931	12,970	1,066	236,30	13,359	5,125	37,54	5,170	4,059	2,422
<b>2,000</b>	27,261	401,185	411,215	12,995	1,118	237,57	13,423	4,963	35,96	5,249	3,844	2,435
<b>2,100</b>	26,555	424,995	435,620	13,021	1,171	233,45	13,785	4,770	32,33	4,972	3,599	2,393
<b>2,200</b>	25,658	447,409	458,594	13,088	1,219	210,28	15,162	4,344	23,33	3,714	3,125	2,155
<b>2,300</b>	25,732	467,753	479,447	13,194	1,262	187,95	16,281	3,976	18,58	3,042	2,714	1,927
<b>2,400</b>	25,806	485,110	497,237	13,326	1,298	153,85	17,671	3,443	15,12	2,518	2,145	1,577

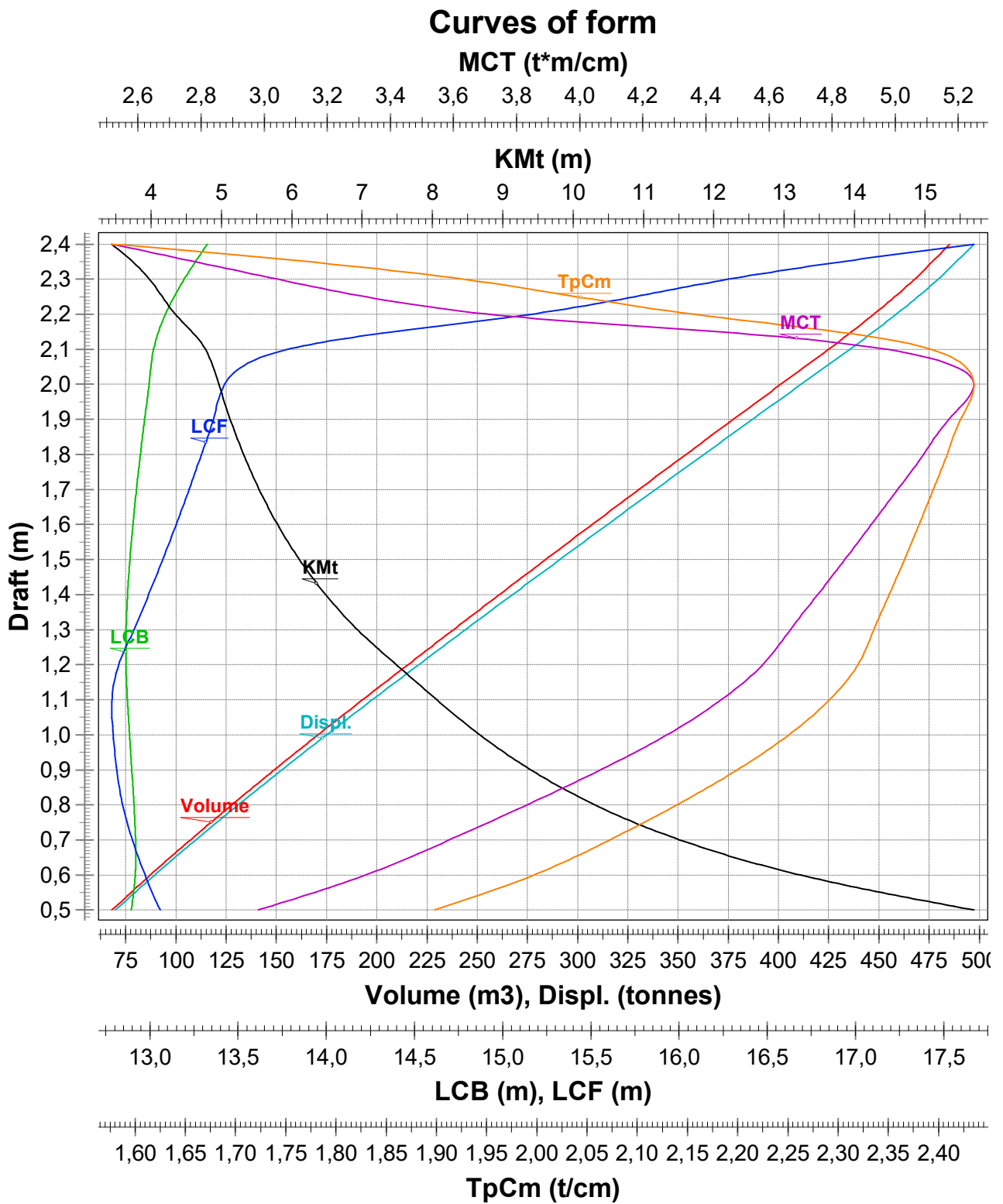


Figure 5

## Trim: -0,600 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	25,307	67,830	69,526	13,307	0,263	181,06	13,452	15,322	110,91	2,818	15,058	1,856
<b>0,600</b>	25,619	86,832	89,003	13,281	0,328	193,99	13,124	13,133	101,58	3,301	12,805	1,988
<b>0,700</b>	25,862	106,680	109,347	13,241	0,391	201,49	13,030	11,433	89,63	3,574	11,042	2,065
<b>0,800</b>	26,104	127,223	130,404	13,199	0,451	208,16	12,964	10,227	80,59	3,828	9,776	2,134
<b>0,900</b>	26,347	148,395	152,105	13,161	0,510	214,20	12,920	9,328	73,55	4,070	8,818	2,196
<b>1,000</b>	26,554	170,111	174,364	13,127	0,569	219,23	12,879	8,614	67,53	4,277	8,046	2,247
<b>1,100</b>	26,628	192,277	197,084	13,096	0,626	223,44	12,858	8,024	62,40	4,460	7,398	2,290
<b>1,200</b>	26,702	214,811	220,181	13,071	0,683	226,70	12,873	7,495	57,84	4,610	6,812	2,324
<b>1,300</b>	26,776	237,585	243,525	13,056	0,739	228,50	12,946	6,960	53,51	4,708	6,221	2,342
<b>1,400</b>	26,850	260,511	267,024	13,050	0,794	229,99	13,029	6,503	49,80	4,793	5,710	2,357
<b>1,500</b>	26,925	283,584	290,673	13,052	0,848	231,43	13,108	6,127	46,66	4,878	5,279	2,372
<b>1,600</b>	26,999	306,799	314,469	13,059	0,902	232,84	13,184	5,813	43,97	4,962	4,911	2,387
<b>1,700</b>	27,073	330,152	338,406	13,071	0,956	234,21	13,256	5,549	41,64	5,044	4,594	2,401
<b>1,800</b>	27,147	353,640	362,481	13,086	1,009	235,54	13,326	5,326	39,60	5,125	4,317	2,414
<b>1,900</b>	27,221	377,259	386,691	13,103	1,062	236,83	13,392	5,135	37,80	5,204	4,073	2,427
<b>2,000</b>	27,295	401,005	411,030	13,122	1,115	238,08	13,455	4,972	36,19	5,282	3,857	2,440
<b>2,100</b>	27,370	424,875	435,497	13,143	1,168	239,30	13,516	4,831	34,76	5,359	3,664	2,453
<b>2,200</b>	25,693	448,308	459,516	13,180	1,219	218,99	14,767	4,450	25,69	4,119	3,232	2,245
<b>2,300</b>	25,767	469,439	481,175	13,271	1,264	195,13	16,031	4,070	19,55	3,224	2,807	2,000
<b>2,400</b>	25,841	487,364	499,548	13,396	1,301	156,09	17,640	3,469	15,24	2,551	2,168	1,600

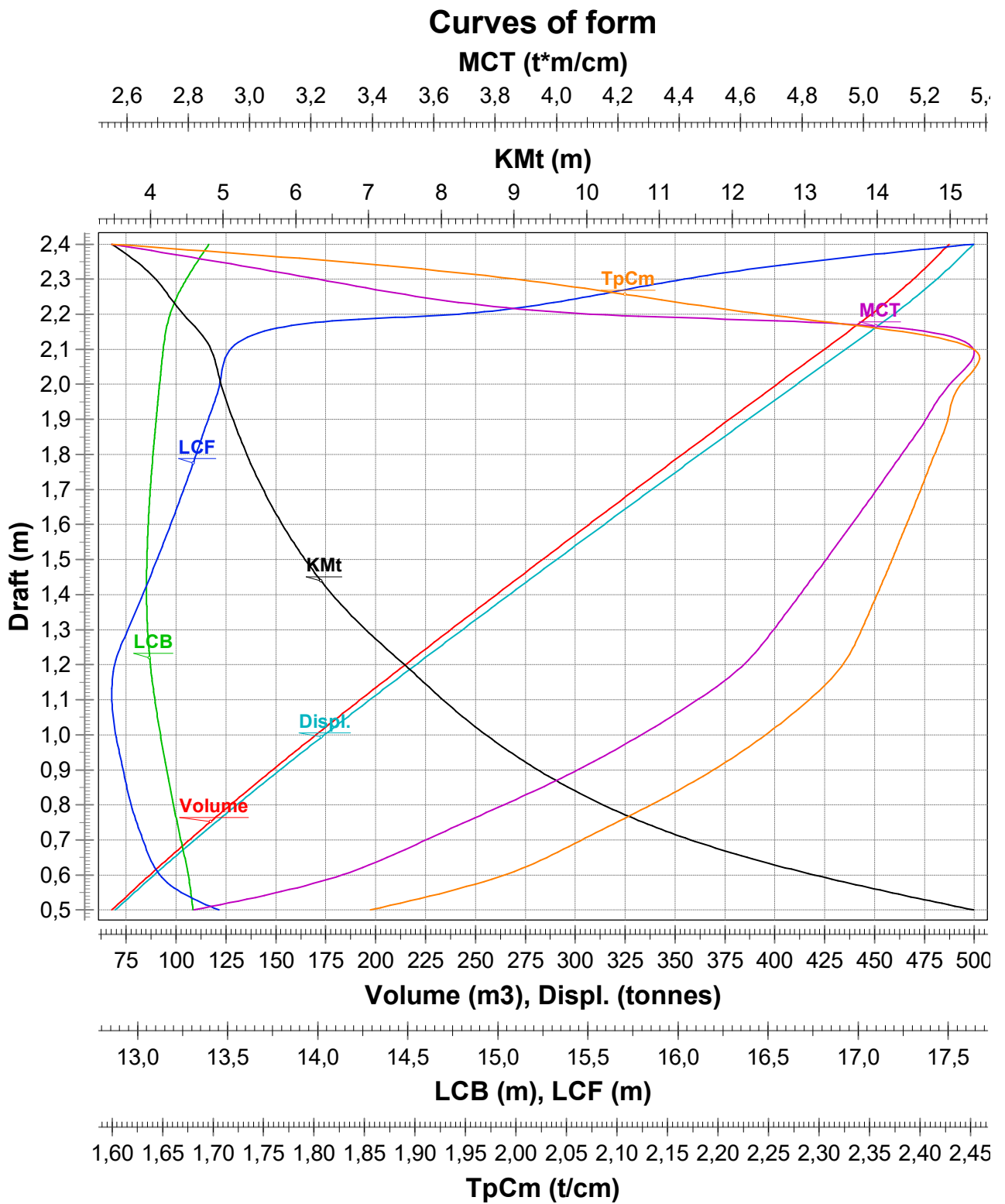


Figure 6



## Trim: -0,500 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	24,603	67,800	69,495	13,693	0,255	175,71	13,972	15,118	98,08	2,490	14,863	1,801
<b>0,600</b>	25,724	86,503	88,666	13,645	0,320	192,86	13,286	13,014	100,88	3,266	12,694	1,977
<b>0,700</b>	25,969	106,264	108,920	13,563	0,383	200,70	13,164	11,340	89,53	3,557	10,957	2,057
<b>0,800</b>	26,214	126,740	129,908	13,490	0,444	207,54	13,086	10,143	80,72	3,820	9,699	2,127
<b>0,900</b>	26,455	147,858	151,555	13,427	0,503	213,66	13,027	9,252	73,72	4,065	8,749	2,190
<b>1,000</b>	26,587	169,521	173,759	13,371	0,562	218,77	12,970	8,552	67,69	4,273	7,990	2,242
<b>1,100</b>	26,661	191,656	196,447	13,321	0,620	223,21	12,937	7,979	62,66	4,464	7,359	2,288
<b>1,200</b>	26,736	214,189	219,544	13,280	0,677	226,84	12,933	7,482	58,25	4,630	6,804	2,325
<b>1,300</b>	26,810	237,014	242,940	13,248	0,734	229,15	12,983	6,989	54,08	4,748	6,255	2,349
<b>1,400</b>	26,884	260,006	266,506	13,229	0,789	230,62	13,065	6,527	50,29	4,833	5,738	2,364
<b>1,500</b>	26,959	283,142	290,221	13,219	0,844	232,04	13,143	6,147	47,09	4,916	5,303	2,378
<b>1,600</b>	27,033	306,419	314,079	13,216	0,898	233,43	13,218	5,830	44,35	4,999	4,932	2,393
<b>1,700</b>	27,107	329,832	338,078	13,219	0,952	234,78	13,290	5,564	41,97	5,080	4,612	2,406
<b>1,800</b>	27,182	353,378	362,213	13,226	1,006	236,09	13,359	5,338	39,89	5,160	4,333	2,420
<b>1,900</b>	27,256	377,053	386,479	13,237	1,059	237,36	13,424	5,146	38,06	5,238	4,087	2,433
<b>2,000</b>	27,331	400,853	410,874	13,250	1,112	238,59	13,487	4,981	36,43	5,315	3,869	2,446
<b>2,100</b>	27,405	424,774	435,394	13,265	1,165	239,79	13,547	4,840	34,96	5,391	3,675	2,458
<b>2,200</b>	26,387	448,803	460,023	13,283	1,218	233,01	14,048	4,635	30,52	4,938	3,417	2,388
<b>2,300</b>	25,803	470,966	482,740	13,350	1,265	202,10	15,771	4,150	20,69	3,435	2,884	2,072
<b>2,400</b>	25,877	489,626	501,867	13,467	1,305	159,02	17,584	3,506	15,42	2,595	2,201	1,630

# Curves of form

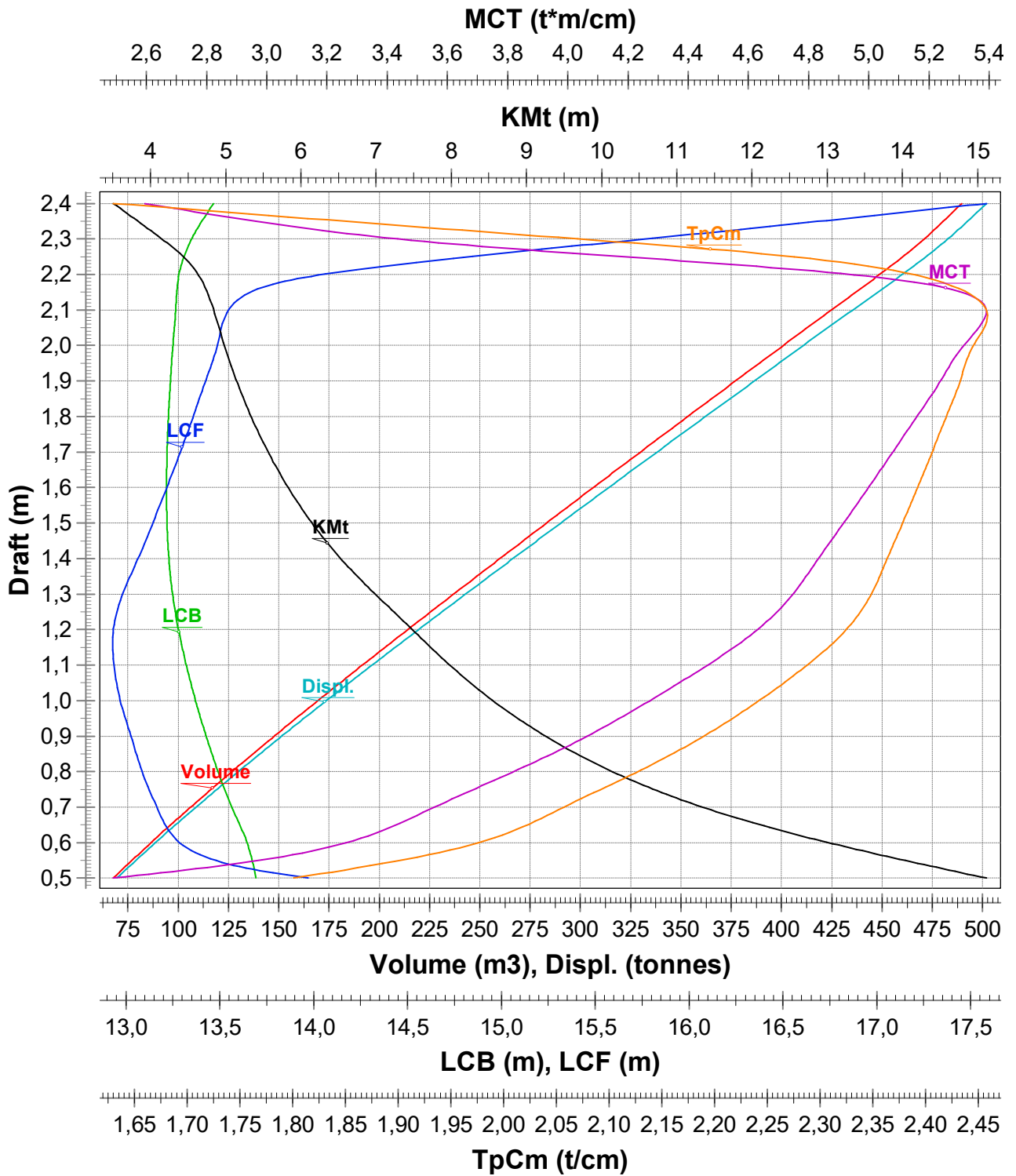


Figure 7

## Trim: -0,400 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	23,803	68,088	69,791	14,036	0,251	171,84	14,365	14,910	89,12	2,272	14,660	1,761
<b>0,600</b>	25,832	86,283	88,440	14,008	0,313	189,95	13,555	12,785	97,21	3,139	12,471	1,947
<b>0,700</b>	26,079	105,949	108,597	13,886	0,377	199,83	13,305	11,240	89,21	3,534	10,863	2,048
<b>0,800</b>	26,326	126,352	129,511	13,782	0,438	206,88	13,213	10,056	80,72	3,809	9,619	2,120
<b>0,900</b>	26,545	147,402	151,087	13,693	0,498	212,95	13,131	9,173	73,66	4,049	8,675	2,183
<b>1,000</b>	26,621	169,007	173,232	13,615	0,557	218,24	13,064	8,486	67,77	4,265	7,929	2,237
<b>1,100</b>	26,695	191,101	195,879	13,548	0,615	222,88	13,020	7,928	62,83	4,464	7,314	2,284
<b>1,200</b>	26,770	213,619	218,959	13,490	0,672	226,80	13,002	7,454	58,55	4,643	6,781	2,325
<b>1,300</b>	26,844	236,472	242,384	13,444	0,729	229,71	13,023	7,010	54,61	4,784	6,281	2,355
<b>1,400</b>	26,919	259,530	266,018	13,410	0,785	231,25	13,100	6,551	50,78	4,872	5,766	2,370
<b>1,500</b>	26,993	282,729	289,797	13,388	0,840	232,65	13,178	6,167	47,51	4,955	5,327	2,385
<b>1,600</b>	27,068	306,067	313,719	13,375	0,895	234,02	13,252	5,847	44,72	5,036	4,952	2,399
<b>1,700</b>	27,143	329,540	337,779	13,369	0,949	235,35	13,323	5,579	42,30	5,116	4,630	2,412
<b>1,800</b>	27,217	353,144	361,972	13,368	1,003	236,64	13,391	5,351	40,18	5,195	4,348	2,426
<b>1,900</b>	27,292	376,874	386,296	13,372	1,056	237,89	13,456	5,157	38,32	5,273	4,101	2,438
<b>2,000</b>	27,366	400,728	410,746	13,379	1,110	239,11	13,518	4,991	36,65	5,348	3,882	2,451
<b>2,100</b>	27,441	424,701	435,318	13,389	1,163	240,28	13,577	4,849	35,17	5,423	3,686	2,463
<b>2,200</b>	27,515	448,790	460,009	13,401	1,216	241,43	13,633	4,725	33,83	5,496	3,510	2,475
<b>2,300</b>	25,839	472,250	484,056	13,434	1,267	212,31	15,331	4,269	22,81	3,820	3,002	2,176
<b>2,400</b>	25,914	491,884	504,181	13,538	1,309	163,19	17,481	3,559	15,69	2,656	2,250	1,673

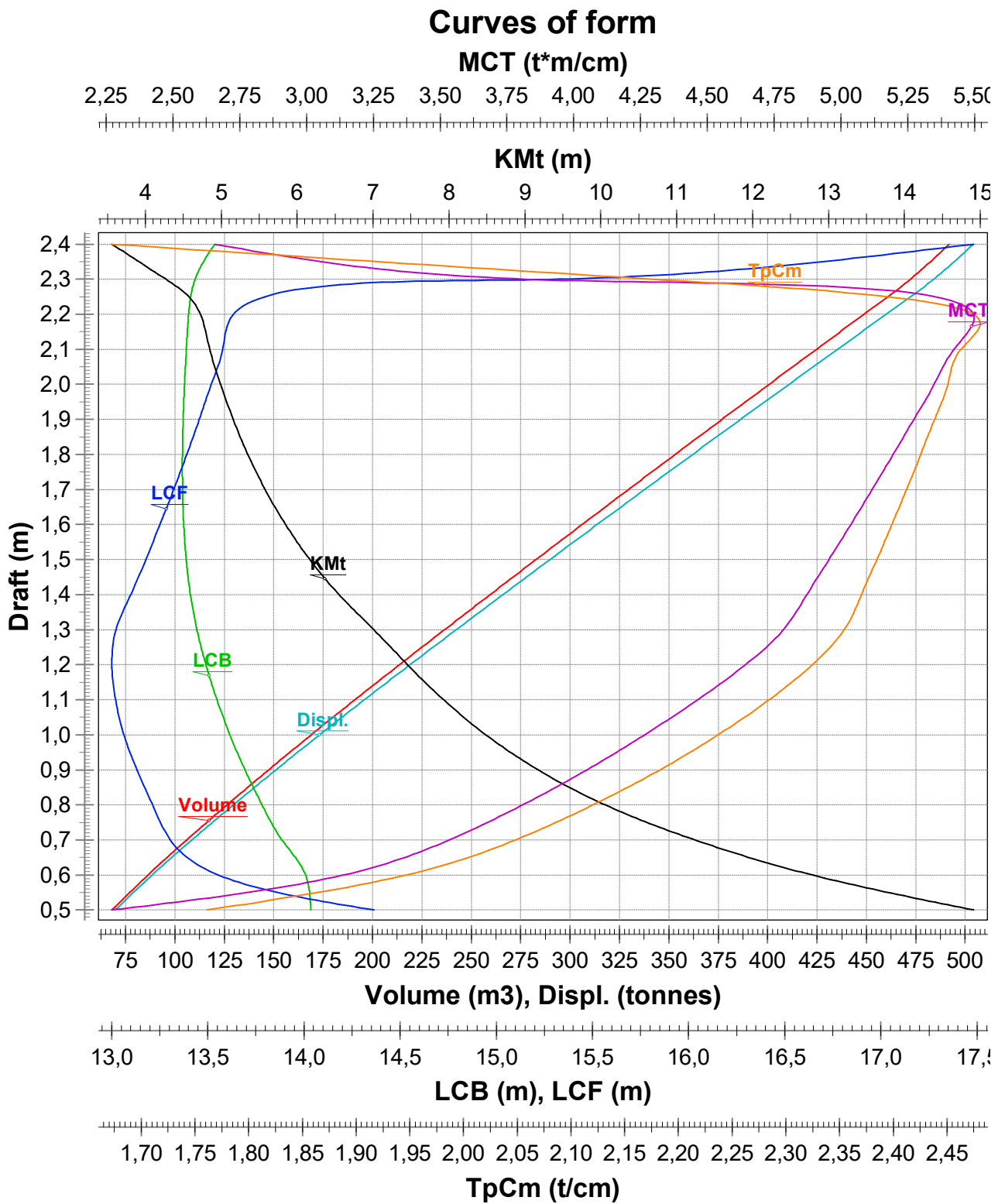


Figure 8

## Trim: -0,300 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	23,134	68,596	70,311	14,351	0,248	169,09	14,664	14,688	82,98	2,131	14,439	1,733
<b>0,600</b>	25,196	86,323	88,482	14,345	0,309	183,21	14,087	12,478	85,64	2,766	12,169	1,878
<b>0,700</b>	26,191	105,739	108,383	14,207	0,372	198,81	13,456	11,131	88,58	3,502	10,759	2,038
<b>0,800</b>	26,440	126,061	129,213	14,074	0,433	206,11	13,342	9,965	80,53	3,791	9,532	2,113
<b>0,900</b>	26,580	147,030	150,705	13,959	0,493	212,19	13,240	9,091	73,50	4,031	8,597	2,175
<b>1,000</b>	26,655	168,569	172,783	13,861	0,552	217,65	13,162	8,417	67,76	4,254	7,865	2,231
<b>1,100</b>	26,730	190,617	195,382	13,775	0,611	222,47	13,108	7,873	62,93	4,461	7,263	2,280
<b>1,200</b>	26,804	213,107	218,435	13,702	0,668	226,62	13,077	7,415	58,76	4,648	6,747	2,323
<b>1,300</b>	26,879	235,966	241,865	13,641	0,725	229,95	13,077	7,004	54,99	4,808	6,278	2,357
<b>1,400</b>	26,954	259,081	265,558	13,593	0,782	231,88	13,135	6,575	51,27	4,912	5,794	2,377
<b>1,500</b>	27,029	282,344	289,403	13,559	0,837	233,27	13,212	6,187	47,94	4,993	5,350	2,391
<b>1,600</b>	27,103	305,744	313,387	13,535	0,892	234,61	13,286	5,865	45,09	5,074	4,973	2,405
<b>1,700</b>	27,178	329,276	337,508	13,520	0,946	235,92	13,356	5,594	42,62	5,153	4,647	2,418
<b>1,800</b>	27,253	352,937	361,760	13,512	1,000	237,19	13,423	5,364	40,47	5,231	4,364	2,431
<b>1,900</b>	27,328	376,722	386,140	13,508	1,054	238,42	13,488	5,169	38,57	5,307	4,115	2,444
<b>2,000</b>	27,403	400,629	410,645	13,509	1,108	239,62	13,549	5,002	36,88	5,382	3,894	2,456
<b>2,100</b>	27,477	424,654	435,270	13,513	1,161	240,78	13,607	4,858	35,37	5,455	3,697	2,468
<b>2,200</b>	27,552	448,792	460,011	13,520	1,214	241,90	13,663	4,733	34,01	5,526	3,519	2,479
<b>2,300</b>	25,876	473,022	484,847	13,529	1,267	229,00	14,500	4,466	27,61	4,678	3,199	2,347
<b>2,400</b>	25,950	494,109	506,462	13,609	1,313	169,81	17,282	3,646	16,19	2,760	2,333	1,741

# Curves of form

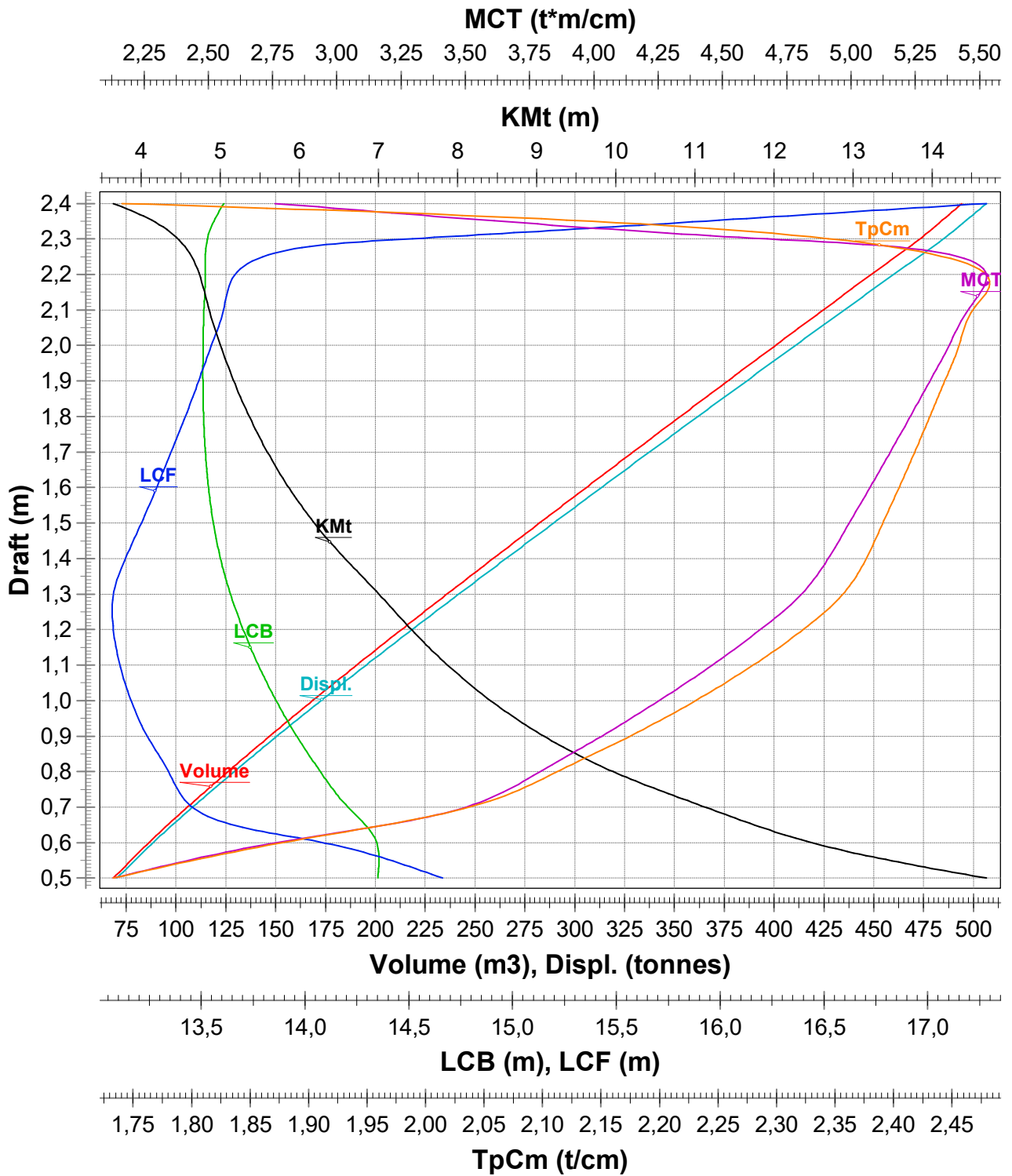


Figure 9

## Trim: -0,200 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	23,030	69,269	71,001	14,646	0,248	167,05	14,906	14,453	78,52	2,036	14,205	1,712
<b>0,600</b>	24,495	86,693	88,861	14,644	0,307	179,29	14,455	12,300	78,36	2,541	11,993	1,838
<b>0,700</b>	26,306	105,643	108,284	14,525	0,369	197,39	13,634	10,999	87,25	3,446	10,631	2,023
<b>0,800</b>	26,532	125,863	129,009	14,363	0,430	205,10	13,467	9,868	79,95	3,758	9,438	2,102
<b>0,900</b>	26,615	146,743	150,412	14,225	0,490	211,37	13,352	9,007	73,23	4,008	8,517	2,167
<b>1,000</b>	26,690	168,211	172,417	14,106	0,549	216,99	13,263	8,346	67,67	4,239	7,797	2,224
<b>1,100</b>	26,765	190,205	194,960	14,003	0,607	221,99	13,199	7,815	62,96	4,453	7,208	2,275
<b>1,200</b>	26,840	212,659	217,976	13,915	0,665	226,34	13,157	7,371	58,88	4,649	6,706	2,320
<b>1,300</b>	26,915	235,508	241,396	13,840	0,722	229,98	13,141	6,982	55,25	4,822	6,260	2,357
<b>1,400</b>	26,990	258,661	265,128	13,778	0,779	232,51	13,169	6,600	51,76	4,951	5,821	2,383
<b>1,500</b>	27,065	281,988	289,037	13,731	0,835	233,88	13,246	6,209	48,36	5,032	5,374	2,397
<b>1,600</b>	27,140	305,448	313,085	13,697	0,890	235,21	13,319	5,883	45,46	5,112	4,993	2,411
<b>1,700</b>	27,214	329,039	337,265	13,672	0,944	236,49	13,389	5,609	42,95	5,190	4,665	2,424
<b>1,800</b>	27,289	352,757	361,576	13,656	0,999	237,74	13,455	5,378	40,76	5,266	4,380	2,437
<b>1,900</b>	27,364	376,598	386,013	13,645	1,053	238,96	13,519	5,181	38,83	5,341	4,129	2,449
<b>2,000</b>	27,439	400,558	410,571	13,640	1,106	240,13	13,579	5,012	37,11	5,415	3,906	2,461
<b>2,100</b>	27,514	424,633	435,248	13,638	1,160	241,27	13,637	4,867	35,57	5,487	3,707	2,473
<b>2,200</b>	27,589	448,819	460,040	13,640	1,213	242,37	13,692	4,742	34,19	5,557	3,529	2,484
<b>2,300</b>	27,663	473,114	484,942	13,644	1,266	243,43	13,744	4,633	32,94	5,626	3,367	2,495
<b>2,400</b>	25,985	496,216	508,621	13,681	1,317	182,58	16,832	3,816	17,39	2,995	2,500	1,871

# Curves of form

MCT (t\*m/cm)

2,00 2,25 2,50 2,75 3,00 3,25 3,50 3,75 4,00 4,25 4,50 4,75 5,00 5,25 5,50

KMt (m)

4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

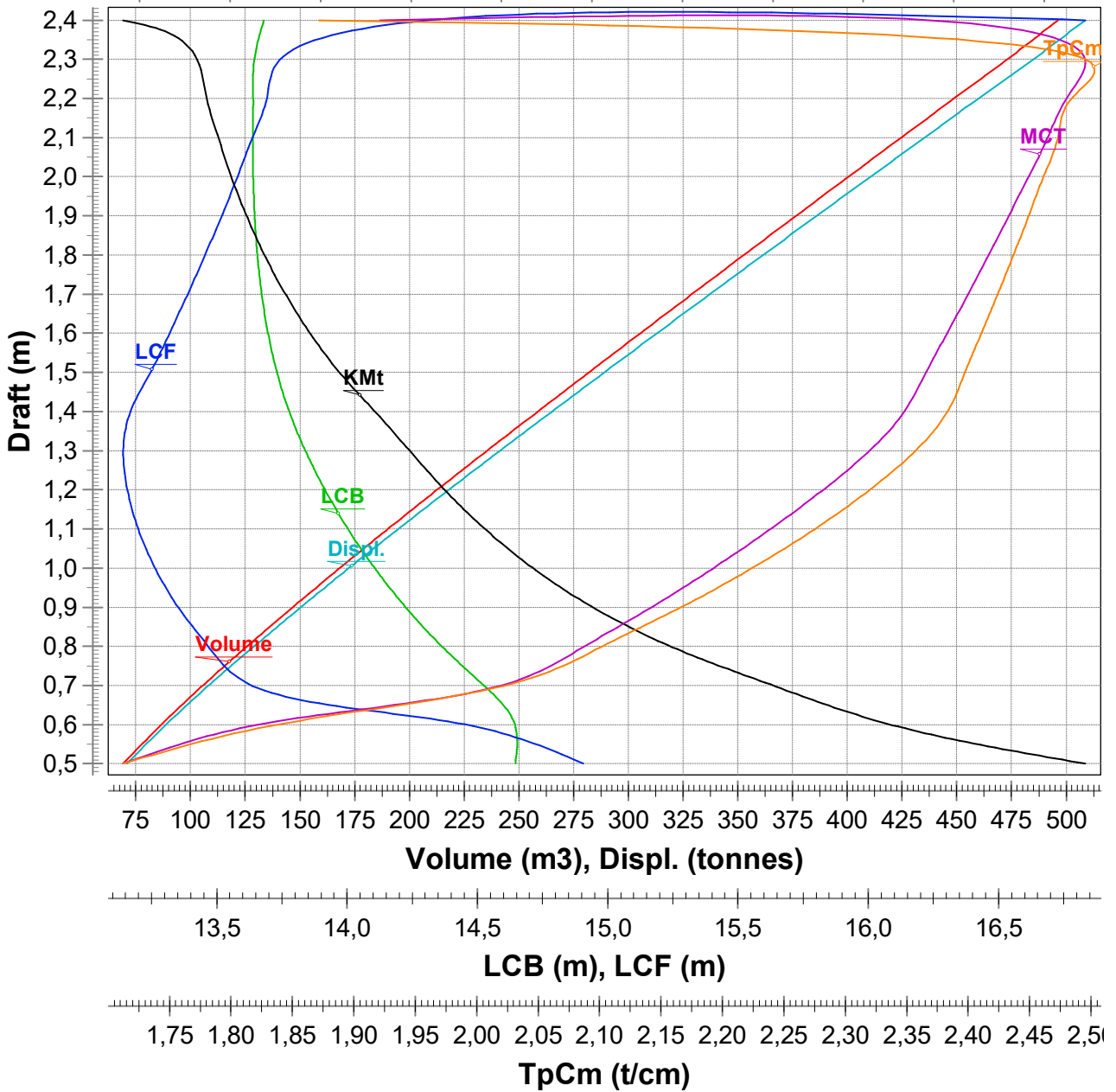


Figure 10



## Trim: -0,100 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	23,141	70,076	71,828	14,926	0,249	165,55	15,110	14,210	75,15	1,971	13,960	1,697
<b>0,600</b>	23,905	87,279	89,461	14,918	0,308	176,56	14,742	12,133	73,34	2,393	11,825	1,810
<b>0,700</b>	25,766	105,732	108,375	14,829	0,367	190,74	14,158	10,736	77,51	3,063	10,369	1,955
<b>0,800</b>	26,575	125,760	128,904	14,650	0,428	203,98	13,600	9,767	79,16	3,718	9,338	2,091
<b>0,900</b>	26,650	146,545	150,209	14,489	0,488	210,49	13,468	8,923	72,84	3,981	8,435	2,158
<b>1,000</b>	26,725	167,936	172,134	14,350	0,547	216,28	13,368	8,273	67,48	4,220	7,726	2,217
<b>1,100</b>	26,800	189,868	194,615	14,231	0,605	221,44	13,293	7,754	62,91	4,442	7,149	2,270
<b>1,200</b>	26,875	212,279	217,586	14,128	0,663	225,97	13,241	7,323	58,94	4,645	6,660	2,316
<b>1,300</b>	26,951	235,105	240,983	14,039	0,720	229,85	13,212	6,951	55,41	4,828	6,231	2,356
<b>1,400</b>	27,026	258,272	264,729	13,965	0,777	232,87	13,216	6,604	52,12	4,979	5,827	2,387
<b>1,500</b>	27,101	281,659	288,700	13,905	0,833	234,50	13,279	6,230	48,78	5,071	5,397	2,404
<b>1,600</b>	27,176	305,180	312,810	13,860	0,888	235,80	13,351	5,901	45,83	5,149	5,013	2,417
<b>1,700</b>	27,251	328,830	337,051	13,826	0,943	237,07	13,421	5,626	43,27	5,226	4,683	2,430
<b>1,800</b>	27,326	352,604	361,420	13,801	0,998	238,30	13,487	5,392	41,04	5,302	4,395	2,443
<b>1,900</b>	27,402	376,500	385,912	13,783	1,052	239,49	13,549	5,194	39,08	5,376	4,142	2,455
<b>2,000</b>	27,477	400,512	410,525	13,771	1,106	240,64	13,609	5,023	37,34	5,448	3,918	2,467
<b>2,100</b>	27,552	424,638	435,254	13,764	1,159	241,76	13,666	4,877	35,77	5,519	3,718	2,478
<b>2,200</b>	27,627	448,873	460,095	13,760	1,213	242,83	13,720	4,750	34,37	5,588	3,538	2,489
<b>2,300</b>	27,700	473,214	485,044	13,760	1,266	243,88	13,772	4,641	33,10	5,656	3,375	2,500
<b>2,400</b>	26,021	497,761	510,205	13,761	1,319	210,99	15,648	4,168	21,59	3,788	2,849	2,163

# Curves of form

MCT (t\*m/cm)

2,00 2,25 2,50 2,75 3,00 3,25 3,50 3,75 4,00 4,25 4,50 4,75 5,00 5,25 5,50

KMt (m)

5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

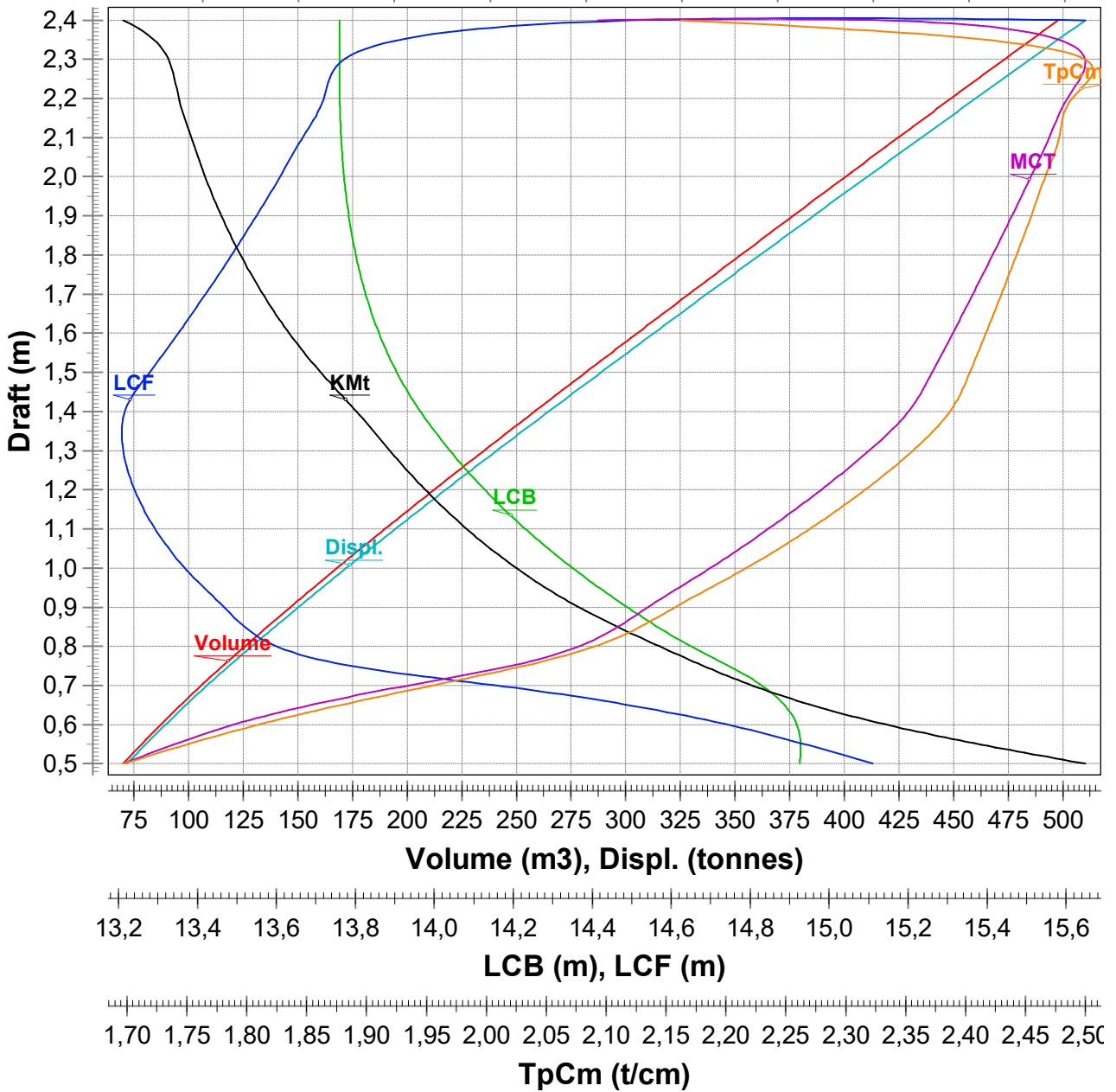


Figure 11

## Trim: 0,000 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	23,253	70,996	72,771	15,194	0,252	164,44	15,287	13,962	72,51	1,926	13,710	1,686
<b>0,600</b>	23,515	88,033	90,234	15,176	0,310	174,51	14,983	11,962	69,59	2,290	11,652	1,789
<b>0,700</b>	25,134	106,161	108,815	15,098	0,368	186,10	14,533	10,536	70,76	2,806	10,168	1,908
<b>0,800</b>	26,610	125,759	128,903	14,934	0,428	202,61	13,749	9,656	77,96	3,661	9,228	2,077
<b>0,900</b>	26,686	146,438	150,099	14,751	0,487	209,54	13,588	8,837	72,30	3,949	8,350	2,148
<b>1,000</b>	26,761	167,745	171,938	14,594	0,546	215,50	13,476	8,200	67,19	4,197	7,654	2,209
<b>1,100</b>	26,836	189,610	194,350	14,458	0,604	220,83	13,391	7,692	62,78	4,427	7,088	2,263
<b>1,200</b>	26,912	211,970	217,269	14,341	0,662	225,53	13,328	7,272	58,93	4,638	6,611	2,312
<b>1,300</b>	26,987	234,764	240,633	14,240	0,719	229,61	13,288	6,913	55,50	4,829	6,194	2,354
<b>1,400</b>	27,063	257,925	264,373	14,153	0,776	232,97	13,275	6,589	52,36	4,995	5,814	2,388
<b>1,500</b>	27,138	281,358	288,392	14,081	0,832	235,11	13,312	6,252	49,21	5,111	5,420	2,410
<b>1,600</b>	27,213	304,940	312,563	14,024	0,887	236,39	13,384	5,920	46,19	5,188	5,033	2,423
<b>1,700</b>	27,289	328,648	336,864	13,981	0,942	237,64	13,452	5,642	43,59	5,263	4,700	2,436
<b>1,800</b>	27,364	352,479	361,291	13,948	0,997	238,85	13,518	5,407	41,33	5,338	4,410	2,448
<b>1,900</b>	27,439	376,428	385,839	13,923	1,051	240,02	13,580	5,206	39,33	5,411	4,155	2,460
<b>2,000</b>	27,515	400,493	410,505	13,904	1,105	241,15	13,639	5,035	37,56	5,482	3,929	2,472
<b>2,100</b>	27,590	424,668	435,285	13,891	1,159	242,24	13,695	4,887	35,97	5,552	3,728	2,483
<b>2,200</b>	27,665	448,952	460,175	13,882	1,213	243,30	13,748	4,759	34,55	5,620	3,547	2,494
<b>2,300</b>	27,737	473,339	485,173	13,876	1,266	244,34	13,799	4,649	33,26	5,687	3,383	2,504
<b>2,400</b>	27,806	497,829	510,275	13,874	1,319	245,35	13,849	4,553	32,10	5,754	3,234	2,515

# Curves of form

MCT (t\*m/cm)

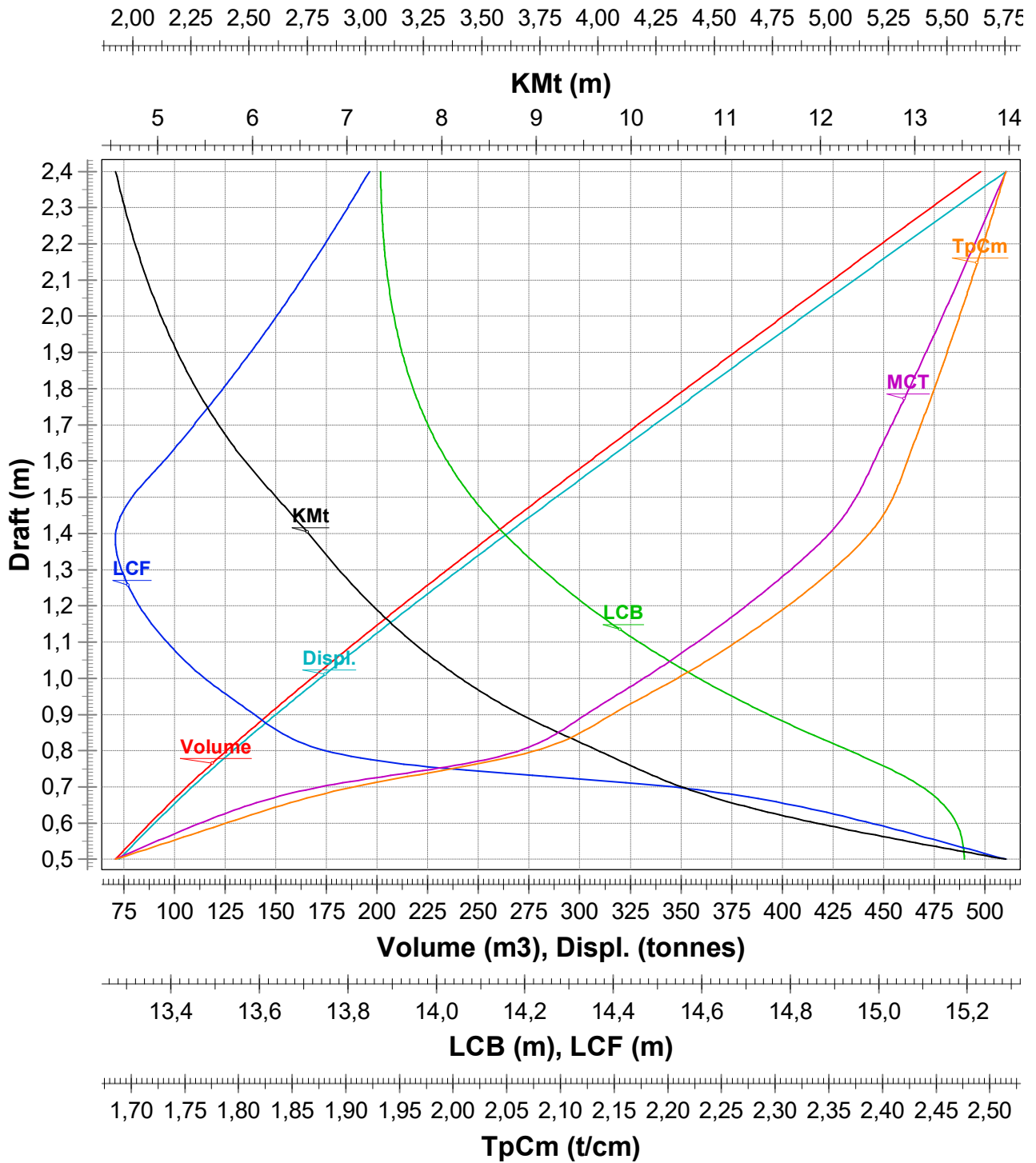


Figure 12

## Trim: 0,100 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	23,369	72,013	73,814	15,452	0,256	163,64	15,445	13,713	70,39	1,896	13,456	1,677
<b>0,600</b>	23,633	88,926	91,150	15,421	0,313	172,95	15,190	11,789	66,70	2,217	11,475	1,773
<b>0,700</b>	24,542	106,815	109,485	15,343	0,371	183,06	14,809	10,387	66,20	2,640	10,016	1,876
<b>0,800</b>	26,060	125,904	129,052	15,207	0,429	197,06	14,175	9,470	70,78	3,326	9,041	2,020
<b>0,900</b>	26,722	146,425	150,086	15,010	0,488	208,48	13,716	8,750	71,59	3,909	8,262	2,137
<b>1,000</b>	26,798	167,641	171,832	14,835	0,546	214,66	13,589	8,125	66,80	4,170	7,579	2,200
<b>1,100</b>	26,873	189,431	194,167	14,685	0,604	220,15	13,492	7,628	62,57	4,408	7,024	2,257
<b>1,200</b>	26,949	211,734	217,028	14,554	0,662	225,03	13,419	7,219	58,85	4,626	6,558	2,307
<b>1,300</b>	27,024	234,488	240,351	14,440	0,719	229,28	13,369	6,872	55,52	4,825	6,153	2,350
<b>1,400</b>	27,100	257,630	264,071	14,342	0,775	232,89	13,342	6,564	52,49	5,003	5,788	2,387
<b>1,500</b>	27,175	281,084	288,112	14,258	0,832	235,60	13,351	6,265	49,57	5,144	5,434	2,415
<b>1,600</b>	27,251	304,727	312,345	14,190	0,887	236,99	13,416	5,940	46,56	5,226	5,053	2,429
<b>1,700</b>	27,327	328,493	336,705	14,137	0,942	238,21	13,483	5,659	43,92	5,300	4,717	2,442
<b>1,800</b>	27,402	352,380	361,189	14,095	0,997	239,40	13,548	5,422	41,61	5,374	4,425	2,454
<b>1,900</b>	27,478	376,383	385,793	14,062	1,051	240,55	13,609	5,220	39,58	5,445	4,168	2,466
<b>2,000</b>	27,553	400,499	410,512	14,037	1,106	241,66	13,668	5,046	37,78	5,515	3,941	2,477
<b>2,100</b>	27,629	424,725	435,343	14,018	1,159	242,73	13,723	4,897	36,17	5,584	3,738	2,488
<b>2,200</b>	27,702	449,055	460,282	14,003	1,213	243,77	13,776	4,768	34,73	5,651	3,555	2,499
<b>2,300</b>	27,773	473,489	485,326	13,993	1,267	244,79	13,827	4,657	33,43	5,718	3,391	2,509
<b>2,400</b>	27,927	497,976	510,426	13,985	1,320	196,32	11,153	3,947	17,45	3,015	2,627	2,012

# Curves of form

MCT (t\*m/cm)

2,00 2,25 2,50 2,75 3,00 3,25 3,50 3,75 4,00 4,25 4,50 4,75 5,00 5,25 5,50 5,7

KMt (m)

4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

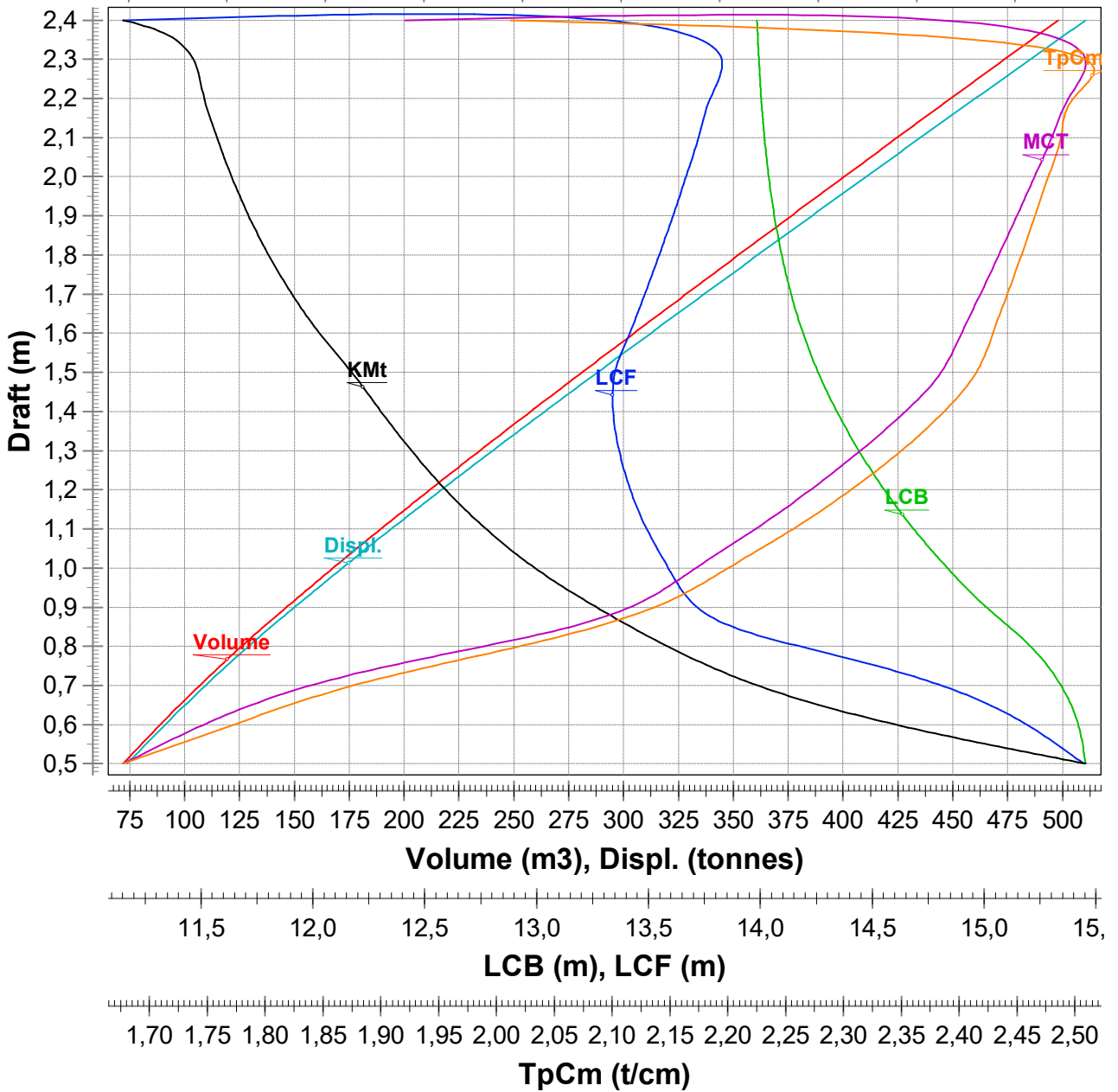


Figure 13

## Trim: 0,200 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	23,487	73,119	74,946	15,702	0,261	163,08	15,587	13,463	68,65	1,878	13,202	1,672
<b>0,600</b>	23,733	89,934	92,183	15,655	0,318	171,63	15,364	11,608	64,24	2,159	11,290	1,759
<b>0,700</b>	24,007	107,633	110,323	15,573	0,374	180,81	15,034	10,253	62,78	2,522	9,879	1,853
<b>0,800</b>	25,436	126,360	129,519	15,451	0,431	192,27	14,552	9,296	64,81	3,055	8,865	1,971
<b>0,900</b>	26,759	146,511	150,174	15,265	0,489	207,24	13,855	8,658	70,61	3,858	8,169	2,124
<b>1,000</b>	26,835	167,626	171,816	15,075	0,548	213,75	13,705	8,051	66,29	4,138	7,503	2,191
<b>1,100</b>	26,910	189,336	194,069	14,910	0,605	219,42	13,596	7,564	62,28	4,385	6,959	2,249
<b>1,200</b>	26,986	211,575	216,864	14,766	0,662	224,45	13,513	7,165	58,70	4,611	6,503	2,301
<b>1,300</b>	27,062	234,281	240,138	14,640	0,719	228,88	13,452	6,828	55,49	4,818	6,108	2,346
<b>1,400</b>	27,138	257,394	263,829	14,531	0,776	232,69	13,414	6,532	52,55	5,004	5,756	2,385
<b>1,500</b>	27,214	280,848	287,869	14,437	0,832	235,78	13,403	6,258	49,79	5,163	5,426	2,417
<b>1,600</b>	27,289	304,540	312,154	14,358	0,888	237,58	13,447	5,960	46,92	5,264	5,072	2,435
<b>1,700</b>	27,365	328,365	336,574	14,294	0,943	238,79	13,514	5,676	44,23	5,338	4,734	2,448
<b>1,800</b>	27,441	352,307	361,115	14,244	0,998	239,95	13,578	5,437	41,89	5,410	4,439	2,459
<b>1,900</b>	27,517	376,364	385,773	14,203	1,052	241,08	13,639	5,233	39,83	5,480	4,181	2,471
<b>2,000</b>	27,592	400,531	410,545	14,171	1,106	242,16	13,696	5,058	38,00	5,549	3,952	2,482
<b>2,100</b>	27,667	424,806	435,426	14,146	1,160	243,22	13,751	4,908	36,37	5,616	3,748	2,493
<b>2,200</b>	27,740	449,184	460,413	14,126	1,214	244,25	13,803	4,778	34,91	5,683	3,564	2,504
<b>2,300</b>	27,810	473,664	485,505	14,111	1,268	245,25	13,854	4,666	33,59	5,749	3,398	2,514
<b>2,400</b>	27,992	495,957	508,356	14,051	1,316	159,44	9,156	3,451	10,54	1,719	2,135	1,634

# Curves of form

MCT (t\*m/cm)

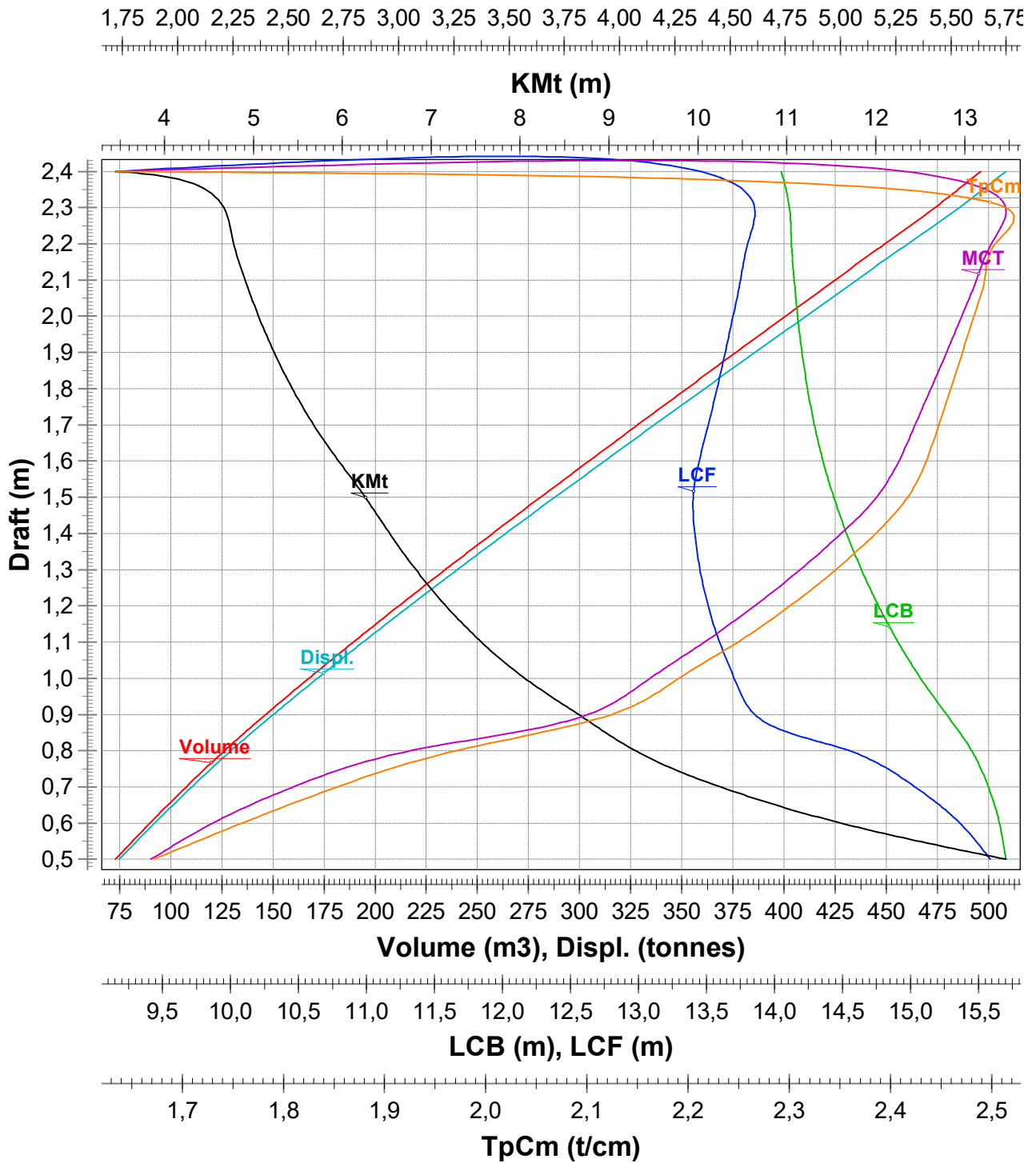


Figure 14



## Trim: 0,300 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	23,607	74,304	76,162	15,943	0,268	162,72	15,718	13,215	67,20	1,867	12,947	1,668
<b>0,600</b>	23,790	91,037	93,313	15,879	0,324	170,51	15,514	11,425	62,13	2,113	11,102	1,748
<b>0,700</b>	23,871	108,583	111,298	15,791	0,379	179,01	15,227	10,121	60,04	2,433	9,741	1,835
<b>0,800</b>	24,883	127,050	130,226	15,675	0,435	188,88	14,840	9,153	60,61	2,871	8,718	1,936
<b>0,900</b>	26,266	146,730	150,398	15,513	0,492	202,73	14,212	8,523	65,41	3,576	8,031	2,078
<b>1,000</b>	26,872	167,703	171,895	15,312	0,550	212,75	13,827	7,975	65,65	4,099	7,425	2,181
<b>1,100</b>	26,948	189,325	194,058	15,133	0,607	218,62	13,705	7,499	61,90	4,357	6,892	2,241
<b>1,200</b>	27,024	211,493	216,780	14,977	0,664	223,81	13,610	7,110	58,48	4,591	6,446	2,294
<b>1,300</b>	27,100	234,145	239,998	14,840	0,721	228,41	13,539	6,782	55,39	4,806	6,061	2,341
<b>1,400</b>	27,176	257,221	263,651	14,720	0,777	232,40	13,490	6,497	52,55	5,000	5,720	2,382
<b>1,500</b>	27,252	280,659	287,675	14,616	0,833	235,76	13,465	6,239	49,91	5,171	5,405	2,416
<b>1,600</b>	27,328	304,380	311,990	14,526	0,889	238,14	13,480	5,978	47,27	5,301	5,089	2,441
<b>1,700</b>	27,404	328,263	336,469	14,453	0,944	239,36	13,544	5,694	44,55	5,375	4,750	2,453
<b>1,800</b>	27,480	352,261	361,067	14,393	0,999	240,50	13,607	5,453	42,17	5,446	4,454	2,465
<b>1,900</b>	27,556	376,370	385,780	14,345	1,053	241,60	13,667	5,247	40,08	5,515	4,193	2,476
<b>2,000</b>	27,632	400,589	410,603	14,306	1,108	242,67	13,724	5,070	38,22	5,582	3,963	2,487
<b>2,100</b>	27,706	424,912	435,534	14,274	1,162	243,71	13,778	4,919	36,57	5,649	3,757	2,498
<b>2,200</b>	27,777	449,337	460,571	14,249	1,216	244,72	13,831	4,788	35,09	5,715	3,572	2,508
<b>2,300</b>	27,934	473,872	485,718	14,229	1,269	228,75	12,935	4,486	27,52	4,670	3,217	2,345
<b>2,400</b>	28,057	493,377	505,711	14,112	1,311	147,14	8,499	3,288	8,91	1,407	1,977	1,508

# Curves of form

MCT (t\*m/cm)

1,50 1,75 2,00 2,25 2,50 2,75 3,00 3,25 3,50 3,75 4,00 4,25 4,50 4,75 5,00 5,25 5,50 5,7

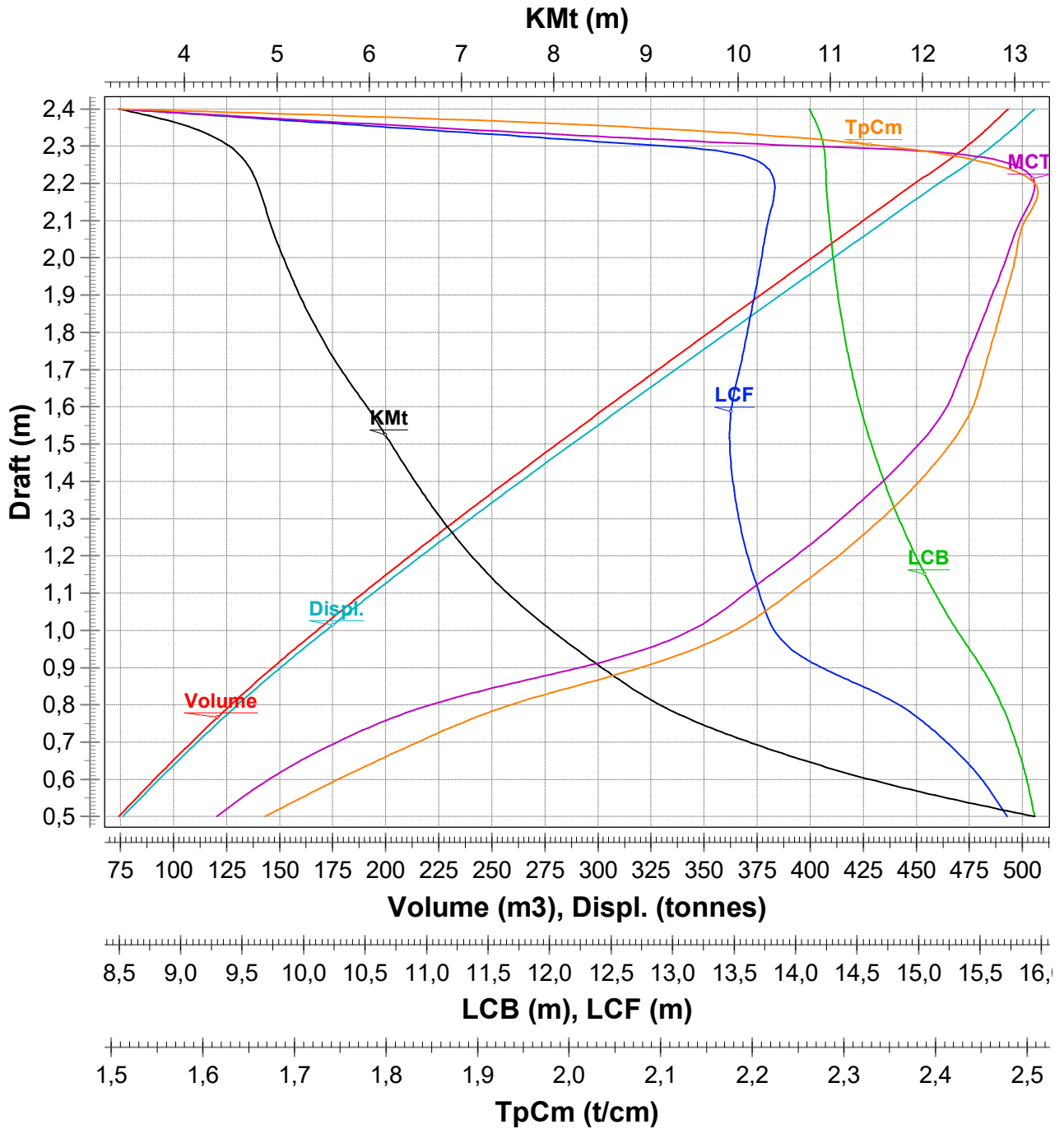


Figure 15

## Trim: 0,400 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	23,714	75,562	77,451	16,178	0,275	162,44	15,836	12,967	65,83	1,860	12,692	1,665
<b>0,600</b>	23,825	92,223	94,529	16,094	0,330	169,62	15,649	11,244	60,33	2,078	10,914	1,739
<b>0,700</b>	23,907	109,647	112,388	15,998	0,385	177,56	15,398	9,989	57,80	2,364	9,603	1,820
<b>0,800</b>	24,389	127,917	131,115	15,884	0,441	186,42	15,073	9,034	57,49	2,740	8,593	1,911
<b>0,900</b>	25,701	147,224	150,904	15,739	0,497	198,09	14,574	8,380	60,26	3,303	7,883	2,030
<b>1,000</b>	26,910	167,876	172,073	15,545	0,553	211,60	13,959	7,897	64,81	4,050	7,344	2,169
<b>1,100</b>	26,987	189,402	194,137	15,354	0,610	217,75	13,817	7,434	61,42	4,325	6,824	2,232
<b>1,200</b>	27,063	211,492	216,780	15,186	0,667	223,11	13,711	7,054	58,19	4,568	6,387	2,287
<b>1,300</b>	27,139	234,082	239,934	15,039	0,723	227,87	13,630	6,734	55,22	4,790	6,011	2,336
<b>1,400</b>	27,215	257,113	263,541	14,909	0,779	232,03	13,570	6,459	52,49	4,993	5,679	2,378
<b>1,500</b>	27,291	280,525	287,538	14,795	0,835	235,59	13,534	6,212	49,95	5,173	5,377	2,415
<b>1,600</b>	27,368	304,252	311,858	14,696	0,891	238,41	13,526	5,977	47,49	5,324	5,087	2,444
<b>1,700</b>	27,444	328,187	336,391	14,612	0,946	239,93	13,574	5,712	44,87	5,413	4,766	2,459
<b>1,800</b>	27,520	352,240	361,046	14,543	1,001	241,05	13,636	5,469	42,45	5,482	4,468	2,471
<b>1,900</b>	27,596	376,402	385,812	14,487	1,055	242,13	13,696	5,261	40,32	5,550	4,206	2,482
<b>2,000</b>	27,672	400,671	410,687	14,441	1,110	243,18	13,752	5,083	38,44	5,616	3,973	2,493
<b>2,100</b>	27,745	425,042	435,668	14,404	1,164	244,20	13,806	4,930	36,76	5,682	3,766	2,503
<b>2,200</b>	27,815	449,515	460,753	14,373	1,218	245,20	13,858	4,798	35,27	5,747	3,581	2,513
<b>2,300</b>	28,000	472,951	484,775	14,319	1,268	202,41	11,497	4,123	19,80	3,291	2,854	2,075
<b>2,400</b>	28,124	490,658	502,924	14,173	1,305	141,01	8,175	3,209	8,22	1,274	1,904	1,445

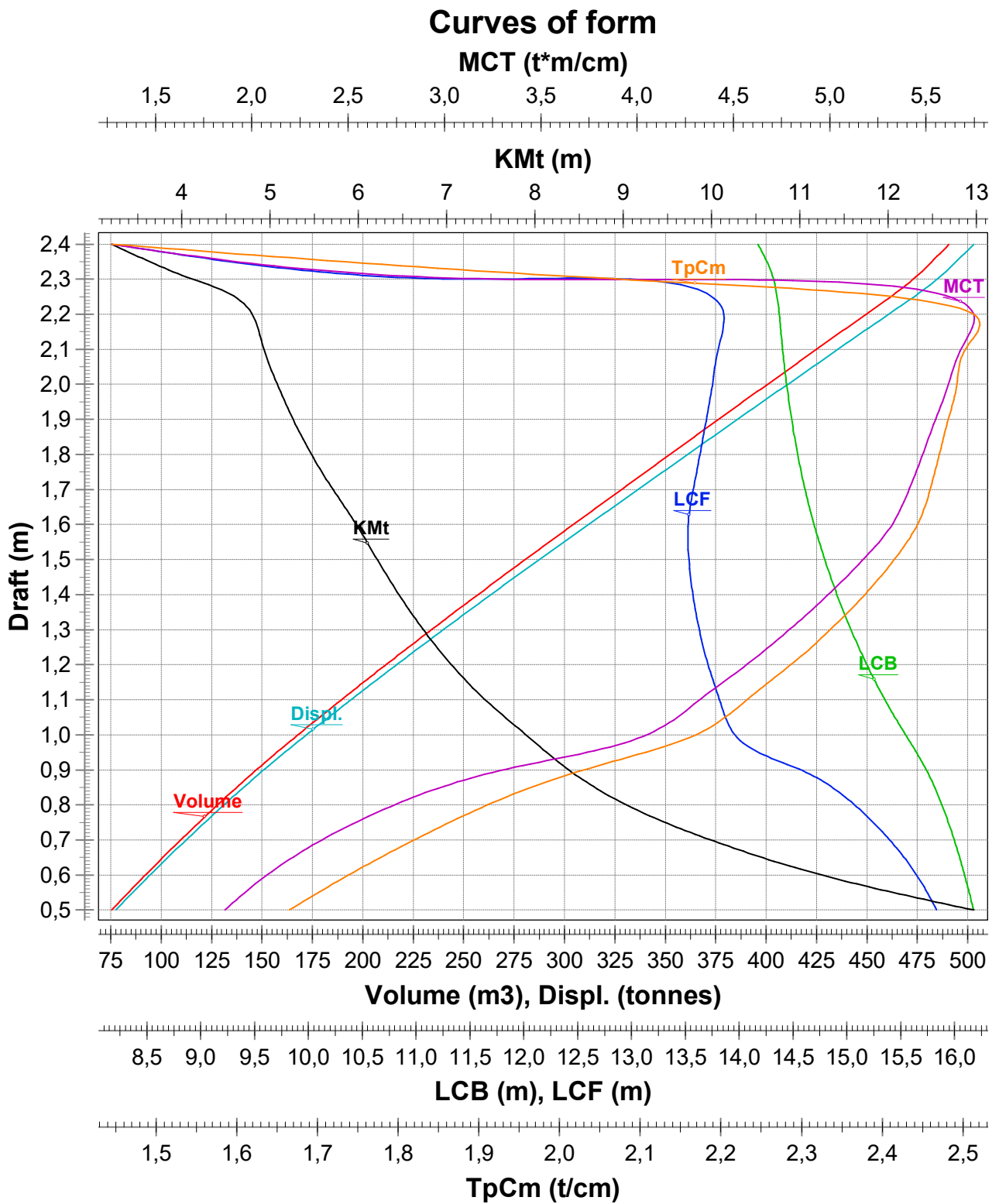


Figure 16

## Trim: 0,500 (m)

<b>Draft</b>	<b>Lwl</b>	<b>Volume</b>	<b>Displ.</b>	<b>LCB</b>	<b>VCB</b>	<b>Aw</b>	<b>LCF</b>	<b>KMt</b>	<b>KMI</b>	<b>MCT</b>	<b>BMt</b>	<b>TpCm</b>
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(tonnes)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(t*m/cm)	(m)	(t/cm)
<b>0,500</b>	23,779	76,879	78,801	16,405	0,283	162,04	15,941	12,716	64,30	1,848	12,432	1,661
<b>0,600</b>	23,861	93,485	95,822	16,302	0,338	168,92	15,771	11,065	58,79	2,052	10,728	1,731
<b>0,700</b>	23,943	110,810	113,581	16,197	0,392	176,38	15,550	9,857	55,93	2,311	9,465	1,808
<b>0,800</b>	24,024	128,925	132,148	16,081	0,447	184,59	15,266	8,932	55,07	2,644	8,485	1,892
<b>0,900</b>	25,194	147,952	151,650	15,945	0,502	194,61	14,863	8,257	56,47	3,109	7,754	1,995
<b>1,000</b>	26,466	168,175	172,379	15,772	0,558	207,72	14,271	7,792	60,79	3,804	7,234	2,129
<b>1,100</b>	27,026	189,569	194,308	15,573	0,614	216,79	13,934	7,369	60,84	4,287	6,755	2,222
<b>1,200</b>	27,102	211,574	216,864	15,394	0,670	222,34	13,815	6,997	57,82	4,540	6,327	2,279
<b>1,300</b>	27,178	234,096	239,948	15,237	0,726	227,26	13,723	6,686	55,00	4,771	5,960	2,329
<b>1,400</b>	27,255	257,074	263,501	15,097	0,782	231,59	13,654	6,419	52,38	4,981	5,637	2,374
<b>1,500</b>	27,331	280,451	287,463	14,974	0,838	235,34	13,606	6,183	49,93	5,170	5,345	2,412
<b>1,600</b>	27,408	304,166	311,770	14,866	0,893	238,44	13,583	5,963	47,59	5,334	5,070	2,444
<b>1,700</b>	27,484	328,136	336,340	14,772	0,948	240,50	13,603	5,731	45,18	5,450	4,782	2,465
<b>1,800</b>	27,560	352,244	361,050	14,695	1,003	241,60	13,665	5,485	42,72	5,518	4,481	2,476
<b>1,900</b>	27,637	376,459	385,870	14,631	1,058	242,66	13,723	5,275	40,57	5,585	4,217	2,487
<b>2,000</b>	27,711	400,777	410,797	14,577	1,112	243,68	13,779	5,096	38,66	5,650	3,984	2,498
<b>2,100</b>	27,783	425,197	435,827	14,533	1,166	244,69	13,833	4,942	36,96	5,715	3,775	2,508
<b>2,200</b>	27,943	449,737	460,980	14,497	1,220	234,80	13,274	4,689	31,08	5,043	3,469	2,407
<b>2,300</b>	28,067	471,259	483,041	14,396	1,266	186,45	10,631	3,902	16,07	2,620	2,636	1,911
<b>2,400</b>	28,192	487,886	500,083	14,234	1,300	137,33	7,983	3,164	7,86	1,202	1,863	1,408

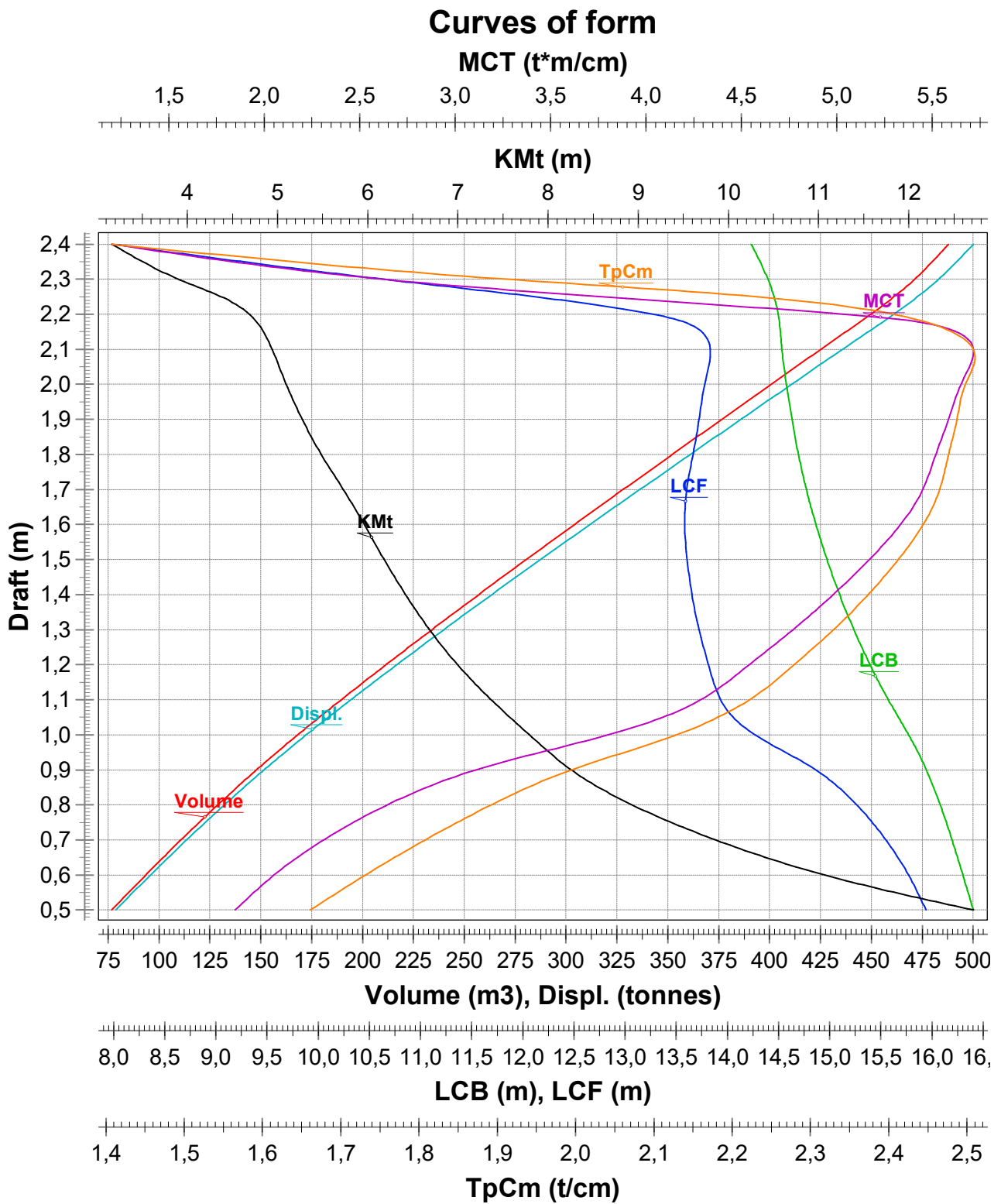


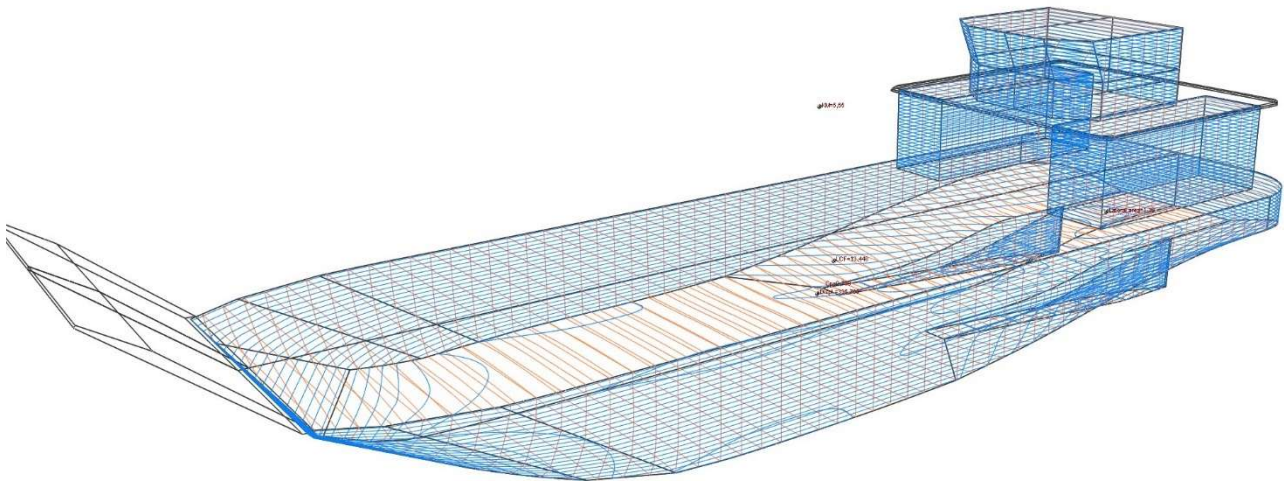
Figure 17

NOTE 1: Draft (and all other vertical heights) is measured from base  $Z=0,000$

NOTE 2: All calculated coefficients based on actual dimensions of submerged body.

## CROSS CURVES CHART

Calculations for research of cross curves are made by Microsoft Excel using data from Delftship. In the calculations model is cut up over 3700 blocks like in picture. Outcome of data is a conclusion of 384 different heel and displacement situation.



Picture 2

### Instructions for using of cross curves chart

1. You must know the exact **volume** of displacement in cubic meters.
2. Look from the footer the volumes and estimate the place of vertical line by the current volume.
3. Check the crossing point of vertical line by volume and each trend lines of heeling.
4. Read and estimate the KP value in meters from the left side of chart which crosses that crossing point mentioned before.  
For example, we can find values for volume of 300 cubic meters as next:  $5^\circ = 0,52 \text{ m}$ ,  $10^\circ = 1,025 \text{ m}$ ,  $15^\circ = 1,47 \text{ m}$ , etc.
5. Write those values to the blanc table of righting moments calculations.

### Cross curves chart

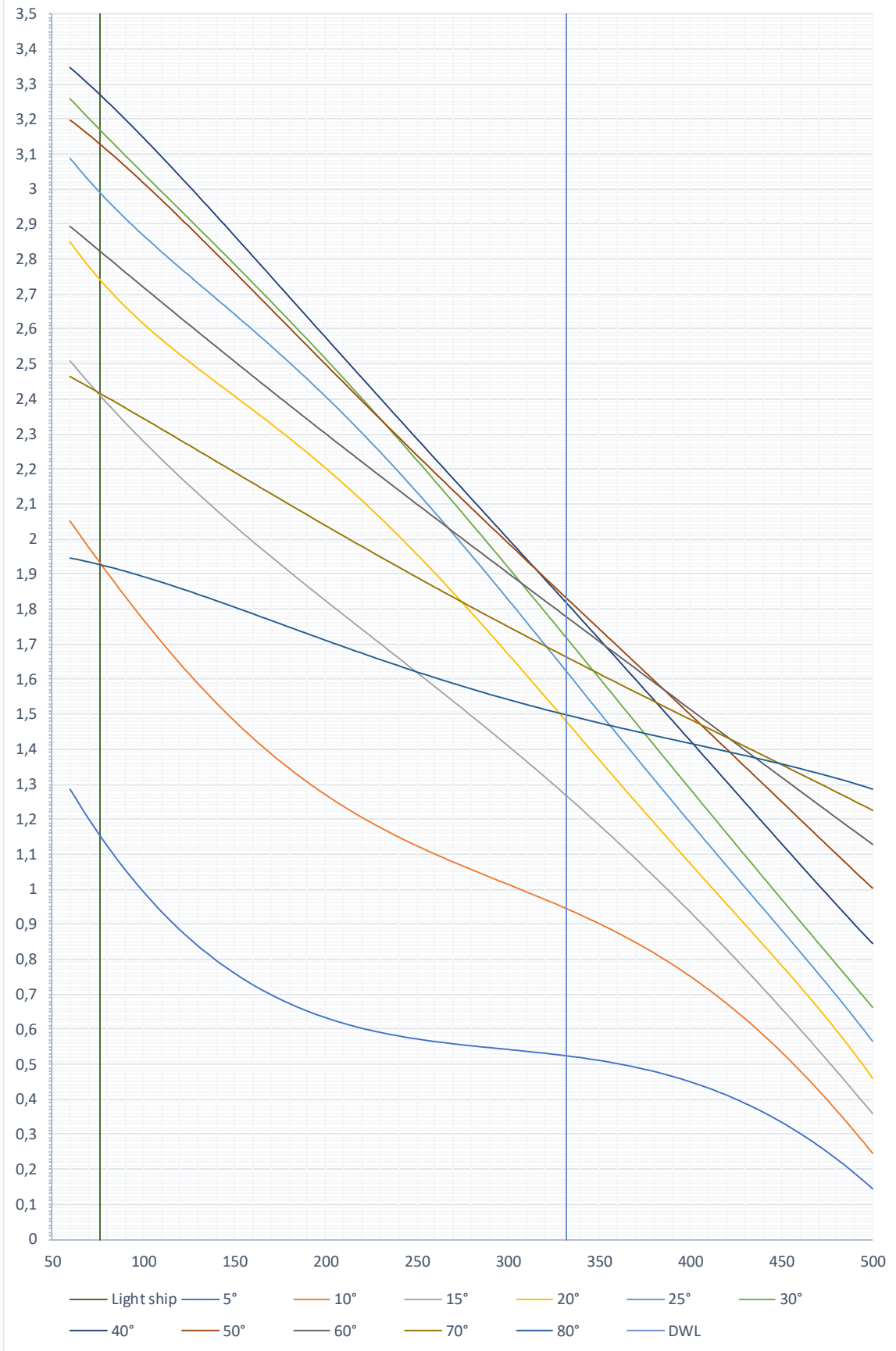


Figure 18



DISPL	VOL	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
61,5	60	1,285103	2,052496	2,509874	2,847544	3,089738	3,258474	3,348515	3,196882	2,893908	2,463184	1,945412
66,625	65	1,242553	2,015707	2,479092	2,812187	3,058187	3,23102	3,325547	3,176567	2,872181	2,44872	1,940078
71,75	70	1,20182	1,97931	2,448989	2,778991	3,028059	3,203884	3,30192	3,155578	2,850472	2,434127	1,934332
76,875	75	1,162855	1,943357	2,41954	2,747758	2,999213	3,177028	3,277682	3,133965	2,828785	2,419414	1,928199
78	76,1	1,154534	1,935529	2,41316	2,741145	2,993039	3,171166	3,272285	3,129142	2,824028	2,41617	1,926803
82	80	1,125612	1,907897	2,390717	2,718299	2,971515	3,150412	3,252883	3,111777	2,807125	2,404594	1,921703
87,125	85	1,090044	1,872976	2,362495	2,690437	2,944837	3,124003	3,227567	3,089061	2,785496	2,389677	1,914869
92,25	90	1,056105	1,838635	2,334847	2,664001	2,919059	3,097765	3,201779	3,065859	2,763902	2,374672	1,90772
97,375	95	1,023748	1,804911	2,30775	2,638832	2,894064	3,071667	3,175559	3,042215	2,742346	2,35959	1,900278
102,5	100	0,992928	1,771838	2,281176	2,614776	2,869746	3,045678	3,148946	3,018169	2,720832	2,34444	1,892567
107,625	105	0,963599	1,739446	2,255103	2,591692	2,846002	3,01977	3,121978	2,993759	2,699362	2,32923	1,884607
112,75	110	0,935716	1,707762	2,229506	2,569443	2,822736	2,993916	3,094689	2,969021	2,677939	2,31397	1,876418
117,875	115	0,909235	1,676809	2,20436	2,547902	2,799858	2,96809	3,067112	2,943989	2,656566	2,298668	1,868023
123	120	0,884111	1,646607	2,179644	2,526951	2,777284	2,942269	3,039279	2,918698	2,635245	2,283332	1,859439
128,125	125	0,860301	1,617172	2,155333	2,506477	2,754934	2,91643	3,011218	2,893176	2,613976	2,267969	1,850686
133,25	130	0,837761	1,588519	2,131405	2,486377	2,732736	2,890553	2,982958	2,867455	2,592763	2,252586	1,841782
138,375	135	0,816447	1,560657	2,107839	2,466553	2,710621	2,864619	2,954522	2,84156	2,571607	2,237191	1,832745
143,5	140	0,796319	1,533595	2,084611	2,446917	2,688526	2,838609	2,925936	2,815518	2,550508	2,221791	1,823593
148,625	145	0,777332	1,507337	2,061701	2,427385	2,666393	2,812507	2,897221	2,789353	2,529468	2,20639	1,81434
153,75	150	0,759444	1,481885	2,039087	2,407881	2,644169	2,786299	2,868399	2,763088	2,508487	2,190997	1,805004
158,875	155	0,742616	1,457239	2,016749	2,388334	2,621806	2,75997	2,839487	2,736744	2,487567	2,175615	1,795599
164	160	0,726804	1,433394	1,994667	2,368682	2,59926	2,733509	2,810503	2,710341	2,466706	2,160251	1,786141
169,125	165	0,711968	1,410346	1,972821	2,348866	2,57649	2,706903	2,781463	2,683896	2,445906	2,144909	1,776643
174,25	170	0,698068	1,388085	1,951191	2,328836	2,553462	2,680143	2,752382	2,657426	2,425166	2,129594	1,767118
179,375	175	0,685063	1,366601	1,929757	2,308544	2,530145	2,65322	2,723272	2,630948	2,404486	2,114311	1,75758
184,5	180	0,672915	1,345882	1,908502	2,287949	2,506511	2,626127	2,694146	2,604475	2,383866	2,099064	1,748041
189,625	185	0,661582	1,325912	1,887408	2,267017	2,482538	2,598857	2,665014	2,57802	2,363305	2,083857	1,738512
194,75	190	0,651027	1,306674	1,866455	2,245716	2,458204	2,571404	2,635885	2,551594	2,342803	2,068693	1,729005
199,875	195	0,641211	1,28815	1,845626	2,224021	2,433494	2,543764	2,606768	2,525209	2,322358	2,053577	1,71953
205	200	0,632095	1,270318	1,824905	2,20191	2,408394	2,515933	2,577669	2,498874	2,301971	2,038509	1,710097
210,125	205	0,623642	1,253156	1,804274	2,179366	2,382896	2,48791	2,548594	2,472596	2,281639	2,023495	1,700716
215,25	210	0,615815	1,236639	1,783717	2,156377	2,356992	2,459691	2,519549	2,446382	2,261361	2,008536	1,691395

DISPL	VOL	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
220,375	215	0,608575	1,220741	1,763218	2,132934	2,330679	2,431277	2,490536	2,42024	2,241136	1,993635	1,682142
225,5	220	0,601886	1,205435	1,742761	2,109031	2,303955	2,402668	2,46156	2,394174	2,220964	1,978793	1,672966
230,625	225	0,595712	1,190693	1,722331	2,084668	2,276823	2,373864	2,432622	2,368189	2,200841	1,964014	1,663872
235,75	230	0,590017	1,176482	1,701914	2,059845	2,249285	2,344866	2,403723	2,342287	2,180768	1,949297	1,654869
240,875	235	0,584766	1,162773	1,681494	2,034569	2,221349	2,315679	2,374864	2,316471	2,160741	1,934645	1,645962
246	240	0,579922	1,149532	1,661057	2,008846	2,193023	2,286303	2,346045	2,290743	2,14076	1,920059	1,637157
251,125	245	0,575451	1,136726	1,640591	1,982687	2,164318	2,256743	2,317266	2,265105	2,120822	1,90554	1,628458
256,25	250	0,571319	1,12432	1,620081	1,956106	2,135245	2,227004	2,288523	2,239555	2,100926	1,891088	1,619869
261,375	255	0,567492	1,112279	1,599515	1,929117	2,10582	2,19709	2,259816	2,214093	2,081069	1,876704	1,611396
266,5	260	0,563935	1,100565	1,57888	1,901739	2,076057	2,167006	2,231142	2,188719	2,061251	1,862389	1,603041
271,625	265	0,560615	1,089142	1,558164	1,87399	2,045974	2,136758	2,202498	2,163431	2,041468	1,848142	1,594806
276,75	270	0,557499	1,077972	1,537354	1,845891	2,015589	2,106353	2,17388	2,138226	2,02172	1,833964	1,586695
281,875	275	0,554555	1,067017	1,516441	1,817466	1,984922	2,075798	2,145285	2,113102	2,002003	1,819855	1,578709
287	280	0,551751	1,056237	1,495412	1,788737	1,953992	2,045098	2,116708	2,088055	1,982317	1,805813	1,57085
292,125	285	0,549054	1,045595	1,474258	1,75973	1,922822	2,014263	2,088145	2,063082	1,962658	1,791839	1,563117
297,25	290	0,546433	1,035051	1,452967	1,730471	1,891434	1,983299	2,059592	2,038178	1,943026	1,777931	1,555513
302,375	295	0,543856	1,024565	1,431531	1,700985	1,859849	1,952215	2,031044	2,01334	1,923417	1,764089	1,548035
307,5	300	0,541294	1,014098	1,409938	1,6713	1,828091	1,921019	2,002495	1,988562	1,903831	1,750312	1,540683
312,625	305	0,538715	1,003609	1,388182	1,641443	1,796182	1,88972	1,973941	1,963839	1,884266	1,736598	1,533457
317,75	310	0,536089	0,993061	1,366252	1,61144	1,764147	1,858325	1,945377	1,939167	1,864718	1,722947	1,526355
322,875	315	0,533388	0,982413	1,344141	1,581319	1,732007	1,826844	1,916798	1,914539	1,845187	1,709355	1,519373
328	320	0,530581	0,971626	1,321841	1,551106	1,699786	1,795286	1,8882	1,889951	1,825672	1,695823	1,51251
333,125	325	0,52764	0,960663	1,299343	1,520827	1,667507	1,763659	1,859577	1,865396	1,806169	1,682348	1,505763
338,25	330	0,524536	0,949484	1,276642	1,490507	1,63519	1,731972	1,830924	1,84087	1,786679	1,668928	1,499127
343,375	335	0,521241	0,938052	1,25373	1,46017	1,602859	1,700234	1,802239	1,816366	1,767198	1,655561	1,492599
348,5	340	0,517728	0,92633	1,2306	1,42984	1,570533	1,668454	1,773516	1,791878	1,747727	1,642246	1,486174
353,625	345	0,513968	0,914283	1,207248	1,399538	1,538232	1,636641	1,744753	1,767402	1,728263	1,628979	1,479847
358,75	350	0,509935	0,901874	1,183667	1,369283	1,505973	1,604802	1,715945	1,742932	1,708805	1,615758	1,473612
363,875	355	0,505602	0,889069	1,159852	1,339094	1,473776	1,572946	1,687091	1,718462	1,689352	1,602582	1,467464
369	360	0,500943	0,875835	1,135798	1,308987	1,441654	1,541082	1,658187	1,693988	1,669904	1,589447	1,461396
374,125	365	0,495932	0,862139	1,111502	1,278975	1,409623	1,509216	1,629233	1,669504	1,650459	1,57635	1,455401

DISPL	VOL	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
379,25	370	0,490544	0,84795	1,086958	1,249071	1,377695	1,477358	1,600226	1,645006	1,631017	1,56329	1,449471
384,375	375	0,484752	0,833238	1,062163	1,219282	1,345881	1,445513	1,571167	1,620491	1,611577	1,550263	1,443599
389,5	380	0,478533	0,817975	1,037114	1,189615	1,314189	1,413688	1,542056	1,595953	1,592139	1,537266	1,437777
394,625	385	0,471862	0,802134	1,011808	1,160073	1,282626	1,38189	1,512893	1,571389	1,572703	1,524297	1,431997
399,75	390	0,464715	0,785688	0,986243	1,130654	1,251197	1,350126	1,48368	1,546798	1,553268	1,511352	1,426248
404,875	395	0,457069	0,768614	0,960416	1,101355	1,219902	1,318399	1,454421	1,522175	1,533835	1,498428	1,420521
410	400	0,448899	0,75089	0,934326	1,072169	1,188741	1,286716	1,425117	1,49752	1,514404	1,485522	1,414807
415,125	405	0,440184	0,732495	0,907971	1,043084	1,157711	1,255081	1,395775	1,47283	1,494976	1,472632	1,409095
420,25	410	0,4309	0,713411	0,881351	1,014084	1,126805	1,223497	1,366399	1,448105	1,475551	1,459753	1,403374
425,375	415	0,421025	0,693621	0,854465	0,985149	1,096013	1,191967	1,336995	1,423346	1,45613	1,446882	1,397634
430,5	420	0,410538	0,67311	0,827312	0,956256	1,065323	1,160494	1,307572	1,398552	1,436715	1,434017	1,391862
435,625	425	0,399417	0,651868	0,799893	0,927374	1,03472	1,129081	1,278138	1,373725	1,417307	1,421153	1,386046
440,75	430	0,387641	0,629883	0,772209	0,89847	1,004182	1,097726	1,248703	1,348867	1,397907	1,408288	1,380174
445,875	435	0,37519	0,607148	0,74426	0,869505	0,973688	1,066432	1,219278	1,323982	1,378517	1,395418	1,374233
451	440	0,362042	0,583657	0,716049	0,840434	0,943211	1,035197	1,189876	1,299073	1,35914	1,38254	1,368211
456,125	445	0,348179	0,559408	0,687576	0,811207	0,912718	1,00402	1,16051	1,274144	1,339777	1,36965	1,362092
461,25	450	0,333581	0,534402	0,658844	0,781769	0,882176	0,972898	1,131196	1,249202	1,320433	1,356745	1,355864
466,375	455	0,318227	0,50864	0,629855	0,752057	0,851546	0,941829	1,101951	1,224254	1,301108	1,343822	1,349512
471,5	460	0,302101	0,482127	0,600612	0,722004	0,820783	0,910807	1,072792	1,199307	1,281807	1,330877	1,343021
476,625	465	0,285183	0,454874	0,571119	0,691535	0,78984	0,879828	1,04374	1,17437	1,262534	1,317907	1,336376
481,75	470	0,267454	0,426889	0,54138	0,660571	0,758664	0,848884	1,014815	1,149454	1,243291	1,304909	1,329561
486,875	475	0,248898	0,398189	0,511397	0,629022	0,727197	0,81797	0,986042	1,124568	1,224084	1,291879	1,322561
492	480	0,229498	0,368791	0,481177	0,596795	0,695377	0,787075	0,957444	1,099727	1,204916	1,278813	1,315359
497,125	485	0,209235	0,338715	0,450723	0,563787	0,663135	0,756191	0,929048	1,074943	1,185792	1,26571	1,307938
502,25	490	0,188094	0,307985	0,420042	0,52989	0,6304	0,725306	0,900882	1,050231	1,166718	1,252565	1,300283
507,375	495	0,166059	0,27663	0,389138	0,494987	0,597093	0,694408	0,872977	1,025608	1,147698	1,239375	1,292374
512,5	500	0,143113	0,24468	0,358017	0,458954	0,563129	0,663484	0,845365	1,001092	1,12874	1,226138	1,284195

## SUBDIVISIONS AND TANK TABLES

### Cargo tanks SB1 and P1

VOLUME	SURFACE HEIGHT	FILL FACTOR	LCG	TCG -PORT	TCG STARBOARD	VCG
61,789	2,39	100,0 %	12,413	-2,250	2,250	1,283
59,50465	2,31	96,3 %	12,415	-2,258	2,258	1,238
56,8808	2,21	92,1 %	12,417	-2,255	2,255	1,186
54,259375	2,11	87,8 %	12,420	-2,252	2,252	1,135
51,63795	2,01	83,6 %	12,423	-2,249	2,249	1,083
49,01895	1,91	79,3 %	12,426	-2,245	2,245	1,031
46,397525	1,81	75,1 %	12,429	-2,240	2,240	0,979
43,7664	1,71	70,8 %	12,433	-2,235	2,235	0,927
41,140125	1,61	66,6 %	12,437	-2,229	2,229	0,875
38,516275	1,51	62,3 %	12,442	-2,223	2,223	0,823
35,897275	1,41	58,1 %	12,448	-2,216	2,216	0,771
33,27585	1,31	53,9 %	12,455	-2,207	2,207	0,719
30,65685	1,21	49,6 %	12,462	-2,198	2,198	0,667
28,033	1,11	45,4 %	12,472	-2,186	2,186	0,614
25,39945	1,01	41,1 %	12,482	-2,171	2,171	0,561
22,773175	0,91	36,9 %	12,496	-2,153	2,153	0,508
20,154175	0,81	32,6 %	12,513	-2,131	2,131	0,455
17,53275	0,71	28,4 %	12,535	-2,103	2,103	0,401
14,916175	0,61	24,1 %	12,564	-2,065	2,065	0,347
12,31415	0,51	19,9 %	12,602	-2,014	2,014	0,291
9,741225	0,41	15,8 %	12,649	-1,943	1,943	0,235
7,243475	0,31	11,7 %	12,706	-1,845	1,845	0,177
4,87425	0,21	7,9 %	12,766	-1,703	1,703	0,117
2,6772	0,11	4,3 %	12,819	-1,441	1,441	0,052
0,856025	0,01	1,4 %	12,414	-0,611	0,611	-0,035
0,16975	-0,09	0,3 %	10,193	-0,298	0,298	-0,135
0,036375	-0,19	0,1 %	9,702	-0,215	0,215	-0,216

### FREE SURFACE MOMENTS

Moment of FS	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
$I_T^*$	<b>3,646</b>	7,324	11,135	15,146	19,461	24,069	28,932	29,929	28,820	26,277	22,664
Diesel	<b>3,081</b>	6,189	9,409	12,798	16,444	20,338	24,448	25,290	24,353	22,204	19,151
Sea water	<b>3,738</b>	7,507	11,414	15,524	19,947	24,670	29,655	30,677	29,541	26,934	23,230

\* $I_T$  values must be multiplied by the density of liquid for moment!

## Cargo tanks SB2 and P2

VOLUME	SURFACE HEIGHT	FILL FACTOR	LCG	TCG -PORT	TCG STARBOARD	VCG
63,760525	2,39	100,0 %	18,543	-2,287	2,287	1,248
61,476175	2,31	96,4 %	18,543	-2,297	2,297	1,203
58,857175	2,21	92,3 %	18,543	-2,296	2,296	1,152
56,23575	2,11	88,2 %	18,542	-2,295	2,295	1,100
53,61675	2,01	84,1 %	18,542	-2,294	2,294	1,048
50,99775	1,91	80,0 %	18,541	-2,293	2,293	0,997
48,3739	1,81	75,9 %	18,541	-2,291	2,291	0,945
45,747625	1,71	71,7 %	18,541	-2,289	2,289	0,894
43,1262	1,61	67,6 %	18,540	-2,287	2,287	0,842
40,5072	1,51	63,5 %	18,539	-2,285	2,285	0,790
37,885775	1,41	59,4 %	18,539	-2,282	2,282	0,739
35,261925	1,31	55,3 %	18,538	-2,279	2,279	0,687
32,642925	1,21	51,2 %	18,537	-2,276	2,276	0,636
30,023925	1,11	47,1 %	18,536	-2,272	2,272	0,584
27,404925	1,01	43,0 %	18,534	-2,267	2,267	0,532
24,7835	0,91	38,9 %	18,533	-2,262	2,262	0,481
22,15965	0,81	34,8 %	18,532	-2,254	2,254	0,429
19,543075	0,71	30,7 %	18,529	-2,246	2,246	0,377
16,919225	0,61	26,5 %	18,526	-2,234	2,234	0,325
14,300225	0,51	22,4 %	18,522	-2,218	2,218	0,273
11,681225	0,41	18,3 %	18,516	-2,195	2,195	0,221
9,0598	0,31	14,2 %	18,507	-2,159	2,159	0,169
6,4408	0,21	10,1 %	18,492	-2,093	2,093	0,116
3,824225	0,11	6,0 %	18,456	-1,940	1,940	0,061
1,205225	0,01	1,9 %	18,264	-1,115	1,115	-0,010

## FREE SURFACE MOMENTS

Moment of FS	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
$I_T^*$	3,808	7,676	11,670	15,873	20,395	25,224	30,321	31,365	30,204	27,539	23,752
Diesel	3,222	6,494	9,873	13,428	17,254	21,339	25,652	26,535	25,552	23,298	20,094
Sea water	3,903	7,868	11,961	16,270	20,905	25,855	31,079	32,150	30,959	28,227	24,345

\* $I_T$  values must be multiplied by the density of liquid for moment!

## Engine Room (damage stability)

VOLUME	SURFACE HEIGHT	FILL FACTOR	LCG	VCG
122,3712	2,39	100,0 %	4,947	1,505
120,768	2,31	98,7 %	4,974	1,493
113,7264	2,21	92,9 %	4,993	1,437
106,6992	2,11	87,2 %	5,015	1,381
99,6912	2,01	81,5 %	5,040	1,324
92,7024	1,91	75,8 %	5,068	1,267
85,7232	1,81	70,1 %	5,100	1,209
78,7296	1,71	64,3 %	5,137	1,151
71,7408	1,61	58,6 %	5,182	1,090
64,7424	1,51	52,9 %	5,236	1,028
57,768	1,41	47,2 %	5,303	0,964
50,8512	1,31	41,6 %	5,387	0,897
44,1264	1,21	36,1 %	5,484	0,828
37,608	1,11	30,7 %	5,606	0,756
31,4112	1,01	25,7 %	5,757	0,679
25,5312	0,91	20,9 %	5,959	0,597
20,0544	0,81	16,4 %	6,242	0,504
15,1536	0,71	12,4 %	6,616	0,399
11,5536	0,61	9,4 %	6,834	0,297
8,8752	0,51	7,3 %	6,914	0,199
6,8496	0,41	5,6 %	6,885	0,104
5,2656	0,31	4,3 %	6,782	0,011
4,008	0,21	3,3 %	6,609	-0,082
3,1728	0,11	2,6 %	6,443	-0,158
2,5728	0,01	2,1 %	6,347	-0,219
2,0544	-0,09	1,7 %	6,269	-0,273
1,5408	-0,19	1,3 %	6,133	-0,328
1,008	-0,29	0,8 %	5,853	-0,390
0,5088	-0,39	0,4 %	5,255	-0,464
0,1824	-0,49	0,1 %	4,661	-0,543

TCG<sub>solid</sub> is 0,00

## FREE SURFACE MOMENTS

Moment of FS	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
$I_T^*$	<b>24,52</b>	24,49	37,24	28,05	62,14	80,48	96,75	100,08	96,37	87,87	75,79
Sea water	<b>25,14</b>	25,10	38,17	28,75	63,69	82,50	99,17	102,58	98,78	90,07	77,68

\* $I_T$  values must be multiplied by the density of liquid for moment!

## Secure Subdivision PS and ST

VOLUME	SURFACE HEIGHT	FILL FACTOR	LCG	TCG -PORT	TCG STARBOARD	VCG
5,97	2,39	100,0 %	8,703	-2,075	2,075	1,284
5,736	2,31	96,1 %	8,703	-2,080	2,080	1,240
5,463	2,21	91,5 %	8,703	-2,070	2,070	1,189
5,193	2,11	87,0 %	8,703	-2,061	2,061	1,138
4,923	2,01	82,5 %	8,703	-2,051	2,051	1,086
4,653	1,91	77,9 %	8,703	-2,039	2,039	1,035
4,383	1,81	73,4 %	8,703	-2,026	2,026	0,984
4,113	1,71	68,9 %	8,703	-2,011	2,011	0,932
3,84	1,61	64,3 %	8,703	-1,993	1,993	0,880
3,57	1,51	59,8 %	8,703	-1,973	1,973	0,827
3,3	1,41	55,3 %	8,703	-1,951	1,951	0,775
3,03	1,31	50,8 %	8,703	-1,924	1,924	0,722
2,76	1,21	46,2 %	8,703	-1,892	1,892	0,668
2,49	1,11	41,7 %	8,703	-1,853	1,853	0,614
2,217	1,01	37,1 %	8,703	-1,801	1,801	0,558
1,947	0,91	32,6 %	8,703	-1,739	1,739	0,500
1,677	0,81	28,1 %	8,703	-1,657	1,657	0,441
1,413	0,71	23,7 %	8,703	-1,555	1,555	0,379
1,161	0,61	19,4 %	8,703	-1,437	1,437	0,316
0,921	0,51	15,4 %	8,703	-1,290	1,290	0,250
0,702	0,41	11,8 %	8,703	-1,124	1,124	0,182
0,513	0,31	8,6 %	8,703	-0,957	0,957	0,112
0,345	0,21	5,8 %	8,703	-0,742	0,742	0,035
0,207	0,11	3,5 %	8,703	-0,469	0,469	-0,055
0,129	0,01	2,2 %	8,703	-0,360	0,360	-0,130
0,084	-0,09	1,4 %	8,703	-0,352	0,352	-0,184
0,045	-0,19	0,8 %	8,703	-0,375	0,375	-0,230

## FREE SURFACE MOMENTS

Moment of FS	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
$I_T^*$	0,351	0,702	1,067	1,451	1,865	2,306	2,772	2,868	2,762	2,518	2,172
Sea water	0,360	0,719	1,094	1,488	1,911	2,364	2,842	2,940	2,831	2,581	2,226

\* $I_T$  values must be multiplied by the density of liquid for moment!

## BOW quarters PS3 and ST3

VOLUME	SURFACE HEIGHT	FILL FACTOR	LCG	TCG -PORT	TCG STARBOARD	VCG
50,30	2,39	100,0 %	24,991	-2,099	2,099	1,499
47,82	2,31	95,1 %	24,957	-2,105	2,105	1,446
45,00	2,21	89,5 %	24,915	-2,096	2,096	1,385
42,20	2,11	83,9 %	24,870	-2,087	2,087	1,323
39,44	2,01	78,4 %	24,820	-2,079	2,079	1,260
36,83	1,91	73,2 %	24,782	-2,067	2,067	1,200
34,27	1,81	68,1 %	24,741	-2,057	2,057	1,140
31,73	1,71	63,1 %	24,696	-2,046	2,046	1,079
29,23	1,61	58,1 %	24,647	-2,035	2,035	1,018
26,79	1,51	53,3 %	24,595	-2,025	2,025	0,957
24,39	1,41	48,5 %	24,538	-2,015	2,015	0,896
22,07	1,31	43,9 %	24,481	-2,005	2,005	0,835
19,86	1,21	39,5 %	24,429	-1,992	1,992	0,775
17,70	1,11	35,2 %	24,373	-1,980	1,980	0,715
15,60	1,01	31,0 %	24,311	-1,969	1,969	0,654
13,57	0,91	27,0 %	24,244	-1,957	1,957	0,594
11,61	0,81	23,1 %	24,171	-1,945	1,945	0,534
9,74	0,71	19,4 %	24,091	-1,931	1,931	0,474
7,95	0,61	15,8 %	24,003	-1,915	1,915	0,414
6,25	0,51	12,4 %	23,905	-1,894	1,894	0,353
4,66	0,41	9,3 %	23,794	-1,863	1,863	0,293
3,20	0,31	6,4 %	23,664	-1,817	1,817	0,232
1,87	0,21	3,7 %	23,481	-1,730	1,730	0,170
0,74	0,11	1,5 %	23,211	-1,461	1,461	0,101
0,06	0,01	0,1 %	22,863	-0,212	0,212	0,004

## FREE SURFACE MOMENTS

Moment of FS	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
$I_T^*$	2,512	5,046	7,671	10,434	13,406	16,581	19,931	20,618	19,854	18,102	15,613
Sea water	2,575	5,172	7,863	10,695	13,742	16,995	20,430	21,133	20,350	18,555	16,003

\* $I_T$  values has to be multiplied by the density of liquid for moment!



## ATTACHEMENTS

1. WHITE PAPER OF CARGO PLANNING AND STABILITY ANALYSE TABLE
2. LINES PLAN
3. STABILITY CALCULATION SPREADSHEET

### CARGO PLANNING AND STABILITY ANALYSE TABLE

	LCG	VCG	TCG	Weight (t)Δ	Volume (m³)	L.mom	V.mom	T.mom	Density (t/m³)	Fill factor (%)	Additional
<b>LIGHTSHIP</b>	12,64	1,65	0	78	76,10	985,92	128,7	0			
TANKS	FUEL TANK ST										
	FUEL TANK PS										
	CG-TANK PS 1										
	CG-TANK ST 1										
	CG-TANK PS 2										
CG-TANK ST 2											
ON DECK											
DAMAGE STABILITY	ENGINE ROOM										
	SEC SUBDIV ST										
	SEC SUBDIV PS										
	BOW ST 3										
BOW PS 3											

SUM OF                $xCG = X.mom \div \Delta$

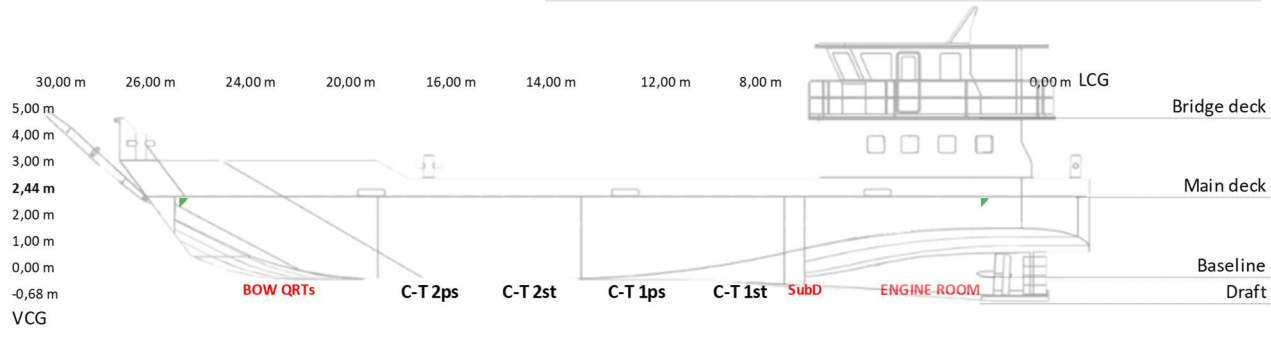
**VALUES BASED ON GIVEN DATA OF LOADING**

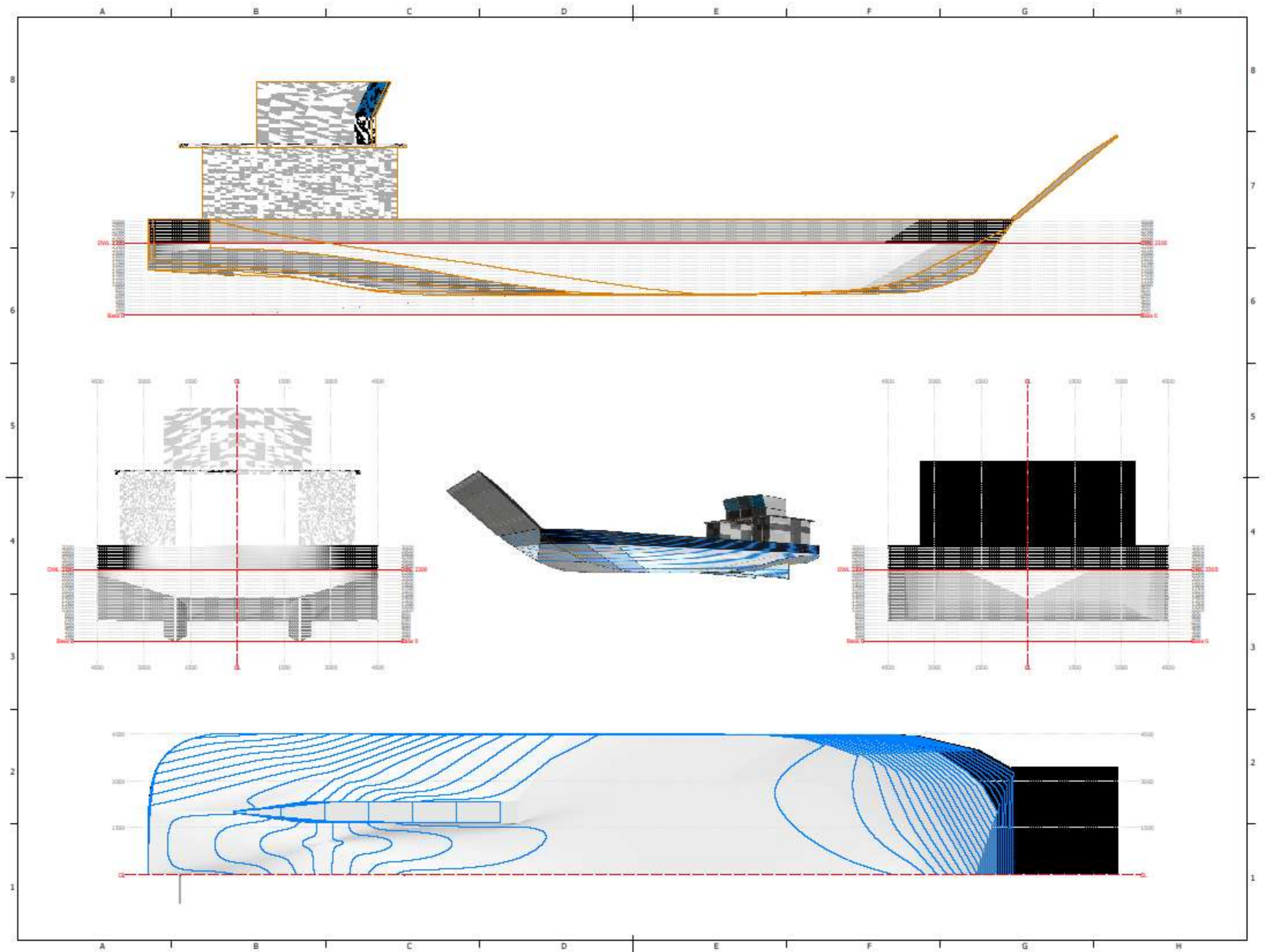
LCG		DISPLACEMENT		tons		LCB		VOLUME	
VCG		CARGO		tons		VCB		MCT	
TCG		DRAFT		AND TRIM		TCB		TPC	
						$KM_{T \text{ trim}=0}$			
						$GM_{\text{trim}=0}$		$DRAFT_{\text{app}}$	

	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
GZ	0											
$\Sigma 1$	0											
$\Sigma 2$	0											
e	0											
GM	0											

**Criteria (IS 2008)**

Corrected GM > 0,15m:		m
$GZ_{30^\circ} > 0,2m$ :		m
$GZ_{\text{max}} > 25^\circ$ :		
$e_{40^\circ} > 0,09 \text{ m} \cdot \text{rad}$ :		m·rad
$-e_{30^\circ} > 0,055 \text{ m} \cdot \text{rad}$ :		m·rad
$\Delta e > 0,03 \text{ m} \cdot \text{rad}$ :		m·rad





THE END OF DOCUMENT