Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave

NAB3030

Predefinert informasjon

Startdato:	19-04-2018 16:22	**Termin:**	2018 VÅR
Sluttdato:	02-05-2018 14:00	**Vurderingsform:**	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Prosjektoppgave		
SIS-kode:	203 NAB3030 1 PRO-1 2018 VÅR		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Kandidatnr.: 15

Informasjon fra deltaker

Tittel *: Nedising av skip i arktiske farvann

Tro- og loverklæring *: Ja

Inneholder besvarelsen konfidensiell materiale?: Nei

Jeg bekrefter at jeg har registrert oppgavetittelen på norsk og engelsk i StudentWeb og vet at denne vil stå på vitnemålet mitt *: Ja

Gruppe

Gruppenavn: (Anonymisert)

Gruppenummer: 7

Andre medlemmer i gruppen: 10, 40

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja

Høgskulen på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Nedising av skip i arktiske farvann

Icing on ships in Arctic waters

Fotograf: Jonny Toft – M/S Northguider

Sanja Ribaric, Diana Toft, Hege Husø

Kandidatnr. 10, 15, 40

Nautikk
Høgskolen på Vestlandet
Veileder: Ria Bruenig
02.05.2018

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10.

Bacheloroppgavens tittel:

Sanja Ribaric	*Diana Toft*	*Hege Husø*
(Sign)	*(Sign)*	*(Sign)*

Navn på veileder: Ria Bruenig

Gradering: Offentlig.

Forord

Arbeidet med denne oppgaven har vært omfattende, men interessant. Vi har tilegnet oss mye kunnskaper om stabilitet, seilas i Arktis og nedising på skip.
Vi har vært heldig som har fått god hjelp til denne oppgaven. Tusen takk for bidrag, gode råd og imøtekommenhet:

UiT - Norges Arktiske Universitet i Tromsø
Polarinstituttet
Olsengruppen AS
Sjøfartsdiriktoratet Haugesund

Til sist, men ikke minst vil vi takke vår veileder, Ria Bruenig, for trivelige møter med gode råd og hjelp til å bygge opp vår bacheloroppgave.

Haugesund, 02.05.2018

Sanja Ribaric, Diana Toft, Hege Husø

Ordforklaring

Ord/Utrykk	Beskrivelse
IMO	Internasjonal maritime organisasjon
GZ	Rettende arm
Lpp	Lengde mellom perpendikulær
Loa	Total lengde
B	Bredde på spant
LCG	Longitude center of gravity
VCG = KG	Vertical center of gravity
B	Oppdriftssenter
K	Kjøl
M	Metasenter
GM	Metasenterhøyde
KM	Transvers metasenterhøyde, avstand mellom kjøl og metasenter

Figurliste

Figur 1 – Trykk på undervannskrog 13
Figur 2 - Oppdrift 14
Figur 3 – Tyngdepunkt og oppdrift 15
Figur 4 – Endring av oppdriftspunkt B 15
Figur 5 – Endring av krefter ved store krengevinkler 16
Figur 6 - Positiv GM ved liten krengevinkel 17
Figur 7 – IMOs krav til areal under GZ-kurve 19
Figur 8 – GZ-kurve ved fullast avgang 21
Figur 9 – IMOs minimumskrav til GM 24
Figur 10 – GZ-kurve ved fullast ankomst 26
Figur 11 – Estimert mengde og hyppighet nedising ved PPR 29
Figur 12 – GZ-kurve fullast ankomst med is 32
Figur 13 – GZ-kurve etter fjerning av is 43

Sammendrag

I denne oppgaven undersøkes tiltak en navigatør kan utføre for å forebygge og fjerne ising på skip i arktiske farvann, slik at skipet ikke mister sin sjødyktighet. Oppgaven tar utgangspunkt i problemstillingen: *«Hvilke tiltak kan navigatøren om bord gjøre for å forhindre at skipet mister sin sjødyktighet i stabilitetsmessig sammenheng i forhold til nedising?"*

Formålet med oppgaven er å belyse hvordan ising påvirker stabilitet på skip i arktiske farvann og hvilke tiltak navigatør kan gjøre for at skipet skal opprettholde sjødyktighet under slike forhold. Begrepet sjødyktighet er i denne sammenheng koblet opp til IMOs krav til stabilitet.

Denne oppgaven tar for seg et eksempelstudie som undersøker isens påvirkning på stabilitet. Undersøkelsen gjøres både med og uten is-beregninger. Resultat av kalkulasjoner viser at isen kan utgjøre store endringer på stabiliteten. Gjennom litteratursøk gjør oppgaven rede for tiltak navigatør kan gjøre for å opprettholde skipets sjødyktighet. Tiltakene kan kombineres for å gi en større påvirkningskraft på stabiliteten.

Basert på undersøkelser av isens påvirkning på stabilitet og tiltak navigatør kan gjøre for å opprettholde skipets sjødyktighet, konkluderer oppgaven med at navigatør bør gjennomføre gode forberedelser i forkant av seilas i arktiske farvann. Kalkulasjoner viser at is først bør fjernes høyt på fartøyet.

NAB3030
Kandidat: 10, 15, 40
Innleveringsfrist: 02.05.2018

Summary

This report will investigate measures a navigator can do to prevent and remove icing on ships in Arctic waters so that the ship does not lose its seaworthiness. This report is based on the research question: *"What measures can the navigator on board do to prevent the ship from losing its seafaring stability related to icing?"*

The purpose of the report is to illustrate how icing affects the stability of ships in Arctic waters and what measures the navigator can do to ensure that the ship is maintained in such conditions. In this context, the term seaworthiness is linked to IMO's requirements for stability.

This report involves a case study that examines how ice influence stability of ships. The survey is done both with and without ice calculations. The calculations show that the ice can make major changes on ship stability. Through literature search, the task explains the actions the navigator can do to maintain the ship's seaworthiness. The measures can be combined to give greater impact on stability.

Based on surveys of the impact of the ice on stability and measures the navigator can do to maintain the ship's seaworthiness, the task concludes that the navigator should carry out good preparations ahead of sailing in Arctic waters. Calculations show that ice should first be removed from the top of the vessel.

Innholdsliste

Forord i

Ordforklaring ii

Figurliste ii

Sammendrag iii

Summary iv

1. Innledning 1

1.1 Arktis, ikke bare en vanlig seilas 1

1.2 Presentasjon av problemstilling 2

1.3 Metode 3

1.4 Oppgavens avgrensning 3

2. Grunnleggende teori 5

2.1 Nedising 5

2.2 Stabilitet 5

2.3 Klima i Arktis 6

3. Metoder til forebygging og fjerning av is 7

3.1 Tiltak som kan gjennomføres før seilas 7

3.1.1 Elektriske varmesystemer. 7

3.1.2 Andre metoder som kan redusere nedising. 7

3.1.3 Meteorologisk metode. 8

3.2 Tiltak som kan gjennomføres under seilas. 8

3.2.1 Verktøy til hugging av is. 8

3.2.2 Salting & kjemikalier. 9

3.2.3 Skipets eget utstyr 10

3.2.4 Bruken av vann til fjerning av is. 10

4. The Performer 11

4.1 Skipet 11

4.2 Skipets hoveddimensjoner 11
4.3 Kalkulasjonsprogrammet DelftShip 12
4.4 Skipets 3D Modellen 12
4.5 Lettskipsvekter 12
4.6 The Performers maskineri 12
5. Eksempelstudie 13
5.1 Teori for stabilitet 13
5.2 Metasenterhøyde GM_0 17
5.3 Sjødyktighet 17
5.4 IMOs krav til stabilitet 18
5.5 Lastetilstand 19
5.6 Stabilitetsberegninger 20
5.6.1 Skipets stabilitet tilstand ved fullastet avgangstilstand. 20
5.6.2 Krav til areal under GZ-kurven opptil 30° krengevinkel. 21
5.6.3 Krav til areal under GZ-kurve opptil 40° krengevinkel. 22
5.6.4 Krav til areal under GZ-kurven mellom krengevinkel 30° og 40°. 23
5.6.5 Krav til GZ-arm. 23
5.6.6 Krav til GM. 23
5.6.7 Resultat. 24
5.7 Skipets stabilitetskrav ved ankomst 24
5.7.1 Krav til areal under GZ-kurven opptil 30° krengevinkel. 26
5.7.2 Krav til areal under GZ-kurve opptil 40° krengevinkel. 27
5.7.3 Krav til areal under GZ-kurven mellom krengevinkel 30° og 40° 27
5.7.4 Krav til GZ-arm. 28
5.7.5 Krav til GM. 28
5.7.6 Resultat. 28
5.8 Fullastet skip ved ankomst med is 28

5.8.1 Isen skaper vekter på fartøyet. 29
5.8.2 Krav til areal under GZ-kurven opptil 30° krengevinkel. 32
5.8.3 Krav til areal under GZ-kurven opptil 40° krengevinkel 33
5.8.4 Krav til areal under GZ-kurven mellom krengevinkel 30° og 40° 34
5.8.5 Krav til GZ-arm. 34
5.8.6 Krav til GM. 34
5.8.7 Resultat. 35
5.8.8 Hvordan forbedre intakt stabilitet. 35
6. Drøfting av metoder ved forebygging og fjerning av nedising 36
6.1 Tiltak som kan gjennomføres før en seilas 36
6.1.1 Elektriske varmesystemer. 36
6.1.2 Andre metoder som kan redusere nedising. 37
6.1.3 Meteorologisk prognose. 37
6.2 Tiltak som kan gjennomføres under en seilas 38
6.2.1 Verktøy til hugging av is. 38
6.2.2 Salting & kjemikalier. 38
6.2.3 Skipets eget utstyr. 39
6.2.4 Bruken av vann til fjerning av is. 39
6.3 Metoder til bruk på The Performer 40
6.4 Eksempelstudie ved bruk av metoder for is-fjerning. 41
6.4.1 Krav til areal under GZ-kurven opptil 30° krengevinkel 43
6.4.2 Krav til areal under GZ-kurven opptil 40° krengevinkel 44
6.4.3 Krav til areal under GZ-kurven mellom krengevinkel 30° og 40° 45
6.4.4 Krav til GZ-arm. 45
6.4.5 Krav til GM. 45
6.4.6 Resultat. 45
7. Konklusjon 47

Referanser 48

Vedlegg 50

Vedlegg 1: General arrangement (2 sider) 50

Vedlegg 2: 3D modell av skip 52

Vedlegg 3: Skipets linjetegning 53

Vedlegg 4: Hydrostatisk rapport 54

Vedlegg 5: Cross Curves 55

Vedlegg 6: Dobbeltbunn 56

Vedlegg 7: Oceaneering - The Performer (2 sider) 57

Vedlegg 8: Maskineri (2 sider) 59

Vedlegg 10: Fullast avgang 61

Vedlegg 10.1: 61

Vedlegg 10.2: 62

Vedlegg 10.3: 63

Vedlegg 11: Fullast ankomst 64

Vedlegg 11.1: 64

Vedlegg 11.2: 65

Vedlegg 11.3: 66

Vedlegg 12: Fullast ankomst fri væskeoverflate + is 67

Vedlegg 12.1: 67

Vedlegg 12.2: 68

Vedlegg 12.3: 69

Vedlegg 12.4: 70

1. Innledning

1.1 Arktis, ikke bare en vanlig seilas

Langt tilbake i historiebøkene kan en lese om berømte oppdagere som drømte om ekspedisjoner i arktiske farvann hvor uberørte, mektige, frosne havområder regjerte. Roald Amundsen var første til å seile Nordvestpassasjen. Seilasen varte i hele 3 år, fra 1903-1906, med fiskefartøyet Gjøa (bygget i 1872) (Amundsen & Hansen, 2014).

Nordvestpassasjen strekker seg fra det nordlige Atlanterhavet, langs Grønlands sørlige kyst, over Canadas kystlinje og ned forbi Alaska. En annen kjent sjøvei går østover langs Russlands nordligste kyst, forbi Sibir, og ned mellom Russland og Alaska. Denne sjøveien kalles Nordøstpassasjen.

Etter å ha satt det beryktede havområdet rundt Arktis på kartet, kom diskusjonen om en kortere handelsvei mellom vesten og østen. Sammenliknet med å krysse Atlanteren og Panamakanalen i vest, eller å seile Suezkanalen til øst, er en seilas over arktiske farvann en betydelig kortere reise fra Europa. En seilas i arktiske farvann kan spare både tid og penger, men seilasen er ikke problemfri. Forholdene i det nordlige farvannet byr på store utfordringer. Det kalde klimaet gjør forholdene hardere å seile i med tanke på kalde temperaturer, is og værfenomener (Amundsen & Hansen, 2014).

Arktiske farvann er havområdene rundt Arktis. Havområdet defineres som farvann innenfor den nordlige polarsirkel, og strekker seg fra 66°33`nord til 90°00`nord. I løpet av de siste 30 årene har havisen i Arktis forandret seg drastisk, og minsket både i utstrekning og i tykkelse (Polarinstituttet, u.å.). Dette fører til muligheter for økt skipstrafikk i arktiske farvann og hyppigere bruk av både nordvest- og nordøstpassasjen.

En handelsvei gjennom nord fører med seg økonomiske fordeler. Sjøveien vekker interesse hos verdens handelsflåte fordi en tidsmessig redusert seilas sparer rederier for økonomiske kostnader. Ikke bare reduseres utgifter som drivstoff og supplementer, men fartøyene har også mulighet for å oppnå raskere leveringstid, samt levere ferskere varer. Skipsfart i arktiske farvann åpner også for muligheter innen ekspedisjonsturer for cruiseskip, samt gi tilgang til gode fiskefelt for både krabbebåter, reketrålere og andre fiskebåter.

Høsten 2017 skrev kystverket at alle medlemsstater i det arktiske Råd skulle møtes for å kartlegge risiko for hele Arktis. Her påpeker de at det stadig blir en viktigere oppgave å

NAB3030
Kandidat: 10, 15, 40
Innleveringsfrist: 02.05.2018

sørge for god sjøsikkerhet, særlig med tanke på økende skipstrafikk og petroleumsaktivitet i Arktis (Kystverket, 2017).

En stor utfordring ved seilas i arktiske farvann er nedising av fartøy. Is som legger seg på skipets konstruksjon kan være en trussel for stabiliteten. For å opprettholde en god stabilitet må isen fjernes, eller hindres i å fryse på skipet. I løpet av 1980-tallet ble det, på verdensbasis, registrert årlig 10-12 skipsulykker relatert til nedising (Rashid, Khawaja & Edvardsen, 2016). I dag er teknologi og værforutsetninger utviklet til det positive, men nedising er fortsatt en reell trussel for skip i det arktiske farvann.

Stabilitetsendringer i forhold til is er et dagsaktuelt tema med tanke på det kalde klimaet rundt Arktis. Kommende generasjoner av sjøfolk er mer sannsynlig å erfare utfordringer i arktiske farvann i større grad, enn tidligere generasjoner. Nedising er i stor grad relevant for navigatører, da det er navigatører som har ansvaret for fartøyets sjødyktighet i forhold til stabilitet.

Denne oppgaven ser nærmere på nedising av skip i arktiske farvann. Oppgaven tar for seg stabilitetsendringer forårsaket nedising av skip, samt hvilke tiltak navigatøren om bord kan gjøre før å forebygge drastiske stabilitetsendringer av skipet.

1.2 Presentasjon av problemstilling

Navigatøren har ansvar for sikkerhet, navigasjon og fartøy, med kaptein som overhode. Det er da nødvendig for navigatører som seiler i arktiske farvann å være bevist på utfordringer i området. Her er is et hyppig fenomen. Is legger seg som et lag på fartøy, og vil fungere som ekstra, eksterne vekter over skipets vannlinje. Dette vil ha en innvirkning på stabiliteten.

Hvilke tiltak kan navigatøren om bord gjøre for å forhindre at skipet mister sin sjødyktighet i stabilitetsmessig sammenheng i forhold til nedising? Ved hjelp av denne problemstillingen vil oppgaven svare på hvilke tiltak navigatører kan gjøre ombord på skip for å forebygge nedising, samt metoder for fjerning av is som legger seg på fartøyet. Oppgaven inneholder utregninger av stabiliteten til skipet The Performer ved avgangstilstand og ankomsttilstand for å undersøke om skipet oppnår IMOs krav til intakt stabilitet. Deretter legges is på forskjellige deler av skipet etter realistiske værforhold i arktiske farvann. Kalkulasjonene forteller om IMOs krav til intakt stabilitet er oppnådd dersom ingen forebyggende tiltak eller fjerning av is er gjort. Stabilitetsberegningen forklarer isens effekt på stabilitet til skipet. Innsamlet informasjon om forebygging og fjerning av is på skip sees i

betraktning til hva en navigatør kan gjøre for å unngå at skipets stabilitetsverdier overgår IMOs stabilitetskrav innen intakt stabilitet.

1.3 Metode

Oppgaven tar for seg et eksempelstudie. Eksempelstudie vil si studie av en enhet. I oppgavens tilfelle vil det si bruken av et enkelt skip for svare på problemstillingen. Sterke sider ved et eksempelstudie gjør det mulig å gå i dybden av en enhet, slik at mer detaljerte beskrivelser kan komme frem i studien. Svake sider er derimot at det ofte er utfordrende å kunne sammenligne en enhet med flere enheter i samme kategori (Wæhle & Dahlum, 2018).

Oppgaven tar for seg egne kalkulasjoner av stabilitetsregning og litteratursøk av eksisterende studier som omhandler forebygging- og fjerning av is på skip. Valg av metode er ved formål å samle eksisterende litteratur, samt regne på isens påvirkning av skips stabilitet.

Oppgaven kalkulerer stabilitet i forhold til nedising på skip for å se i hvilken grad isen påvirker stabiliteten. Kalkulasjonene utføres på skipet The Performer i samarbeid med Norges Arktiske Universitet – UiT. Kalkulasjonene gjøres i henhold til IMOs, Internasjonale Maritime Organisasjon, stabilitetskrav. Utregningen av stabilitet utføres for hånd og ved hjelp av dataprogrammet DelftShip, for å oppnå presise resultater. Dataprogrammet er disponert av UiT - Norges Arktiske Universitet.

Ved litteratursøk av nedising, undersøkes forebygging og fjerning av is på skip. Oppgaven innhenter eksisterende informasjon for å utforske ulike metoder for forebygging og fjerning av is som legger seg på skip. Formålet er å se hvilke tiltak navigatører kan utføre for å beholde en sjødyktig stabilitet med tanke nedising av skip i arktisk farvann. Ved hjelp av søkedatabasen Google Scholar ble det søkt etter nøkkelordene; *icing on ship, polar ship icing, preventing ship ice, preventing sea spray icing, removing ice on ship, chopping ice on ship, anti-icing coating.*

1.4 Oppgavens avgrensning

Avgrensning av oppgaven er gjort ved å følge IMOs krav til intakt stabilitet til lastetilstander for lasteskip og Offshore Supply Vessels. Dette begrunner type fartøy som er gjort stabilitetsundersøkelser på. Oppgaven utfører kalkulasjoner på et skip. Det anses ikke nødvendig å gjøre undersøkelser på flere skip da oppgaven ikke ser på fartøyets evne til å motstå nedising, men undersøker nedisingens generelle effekt på stabilitet. Krengning i form av vind og trim på skip er ikke tatt i betraktning ved utregning. Oppgaven legge vekt på

stabilitetsteori, ikke teori bak nedisingsforekomst. Grunnen til dette er at navigatør har ansvar for stabiliteten til skip.

2. Grunnleggende teori

I dette kapittelet presenteres teori bak nedising, stabilitet og klima i Arktis.

2.1 Nedising

Nedising er et fenomen som kan oppstå når lufttemperaturen er under frysepunktet. Isingen forekommer ved at sjøsprøyt enten løftes fra havoverflaten eller blir generert av bølger som interagerer med skip eller struktur. Dette er en stor sikkerhetsvurdering fordi vekten på isen rammer både skipets stabilitet og manøvrering. Nedising kan forårsake ulykker og forlis (Samuelsen, Løset, & Edvardsen, 2015).

Nedising er delt inn i to kategorier, maritim og atmosfærisk.
Maritim nedising blir sett på som den mest seriøse (Samuelsen et al., 2015). De viktigste formene for maritim nedising er vind- og bølgegenerert vannspray, hvor den vanligste av de to er bølgegenerert vannspray (Zakrzewski, W.P. 1986, s.9).

Bølgegenerert vannspray forekommer i samspill mellom skip og bølger. Når bølgene treffer skipets skrog oppstår sjøsprøyt som blir tatt av luftstrømmer. Sjøsprøyten føres videre til høyere nivå på skipet, og fryser til is (Samuelsen et al., 2015). Hvis luftstrømmene er turbulente kan dette medføre at dråper fra sjøsprøyten tar veien til lesiden og andre deler av skipet, som etter forholdene ikke har problemer med vind og vann. Skipets hastighet har effekt på bølgegenerert vannspray (Samuelsen et al., 2015).

Vindgenerert vannspray oppstår primært på to måter, den direkte piskingen av vinden på bølgetoppene, og bristingen av luftbobler på vannets overflate. Den sistnevnte er ofte sett på som vanligst av vindgenerert vannspray (Zakrzewski, W.P. 1986, s.11). En studie viser til at når vindhastigheten øker, øker også størrelsen på vanndråpene som fører til mer vann på skipet. Dette vil igjen føre til mer is (Zakrzewski, W.P. 1986).

Atmosfærisk nedising er et resultat av ekstremt kald tåke, frysende kaldt regn eller snø når temperaturen er under 0°C (Samuelsen et al., 2015).

2.2 Stabilitet

Fartøyets evne til å rette seg opp etter krengning er et nødvendig element innen skipsstabilitet. Et skip, i henhold til IMO, skal ha evne til å motstå krengning og synking (IMO, 2002).

Intakt stabilitet er et begrep på stabilitet ved et uskadet skip. Skipet har en metasenterhøyde som brukes som mål på intakt stabilitet. Hellinger opp til ca. 5° anses som små, men ved større helninger kan ikke metasenterhøyde lenger anses som et sikkert kriterium

(IMO, 2002). Når helningene blir større enn 5° brukes rettende arm (GZ) for å beregne skipets stabilitetsevne. Intakt stabilitet, altså stabiliteten på et uskadet skip, er et grunnlag for utregning av stabilitet i oppgavens rapport. Sjødyktighet kan kort defineres som et flytende objekts evne til å klare seg til sjøs. Skipet anses som sjødyktig i stabilitetsmessig sammenheng når IMO kravene til intakt stabilitet er oppfylt (IMO, 2002).

2.3 Klima i Arktis

Polart klima defineres som områder med kalde somre med gjennomsnittstemperatur på under 10°C. 20 prosent av jordens overflate anses å ha polart klima. Jordens helning mot solen er hovedårsaken til dette. Helningen mot sola fører til at mindre solenergi når polområdene. Snø og is har høy refleksjonsevne og dekker Arktis store deler av året, dette kalles albedoeffekten. Albedoeffekten fungerer slik at mesteparten av solvarmen som treffer de lyse overflatene, blir sendt tilbake til atmosfæren og dermed bidrar til å holde Arktis nedkjølt. De nordligste land- og havområdene på jorda er Arktis. Det er sterke endringer med økende temperaturer i klimaet i Arktis, dette medfører smeltende is. Nye seilingsruter og utvinning av ressurser åpnes nå mer og mer i områder som tidligere var utilgjengelig på grunn av isen (Polarinstituttet, 2014).

3. Metoder til forebygging og fjerning av is

Før entring av arktisk farvann må skipsfører forberede både skip og mannskap på eventuelle utfordringer. Vurderingene må tas i betraktning til meteorologiske forhold, samt sesong. I vinterhalvåret vil sjansen for nedising av skip øke betraktelig.

I tillegg til stabilitetsendringer har Norske Veritas klassifisert utstyr som skal være frie for is av sikkerhetsmessige årsaker. Første kategori dekker navigasjonsutstyr, fremdrift, ankersystemer og livredningsutstyr. Andre kategori som skal prioriteres er overbygg, helikopterdekk og lastedekk (Rashid, Khawaja & Edvardsen, 2016).

I dette kapitlet tar oppgaven for seg metoder for forebygging og fjerning av is på skip. Metoder ved forebygging og fjerning av is er inndelt i to grupper, tiltak som kan gjennomføres før seilas og tiltak som kan gjennomføres under seilas. Metodene som presenteres er: verktøy, skipets eget utstyr, meteorologisk prognose, elektriske varmesystemer, salt og kjemikalier, vann og andre testede metoder som kan redusere nedising.

3.1 Tiltak som kan gjennomføres før seilas

Tiltak som kan gjennomføres før seilas i arktiske farvann, baseres på opprustning av skip med nødvendig utstyr, og undersøking av forutsigbare værfenomener.

3.1.1 Elektriske varmesystemer. Elektriske varmesystemet utstråler varme, og hindrer vann i å fryse. Systemet installeres under overflater, som inngår i skipets konstruksjon. Asymmetriske overflater, overflater som er utsatt for stort varmetap og store dekksarealer er mindre egnet for denne type metode. Dette skylles høyt energiforbruk ved oppvarming (L. David Minsk, 1977 s.15). Av sikkerhetsmessige årsaker skal rømningsveier holdes klare av is. Elektriske varmesystemer anbefales rundt nødutganger, ventiler, luker, gangpassasjer og eventuelt helikopterdekk (Lonsdale & Norrby, 1985).

3.1.2 Andre metoder som kan redusere nedising. Stallabrass (1970) testet metoder for å redusere nedising refererer L. David. Minsk. Metodene er listet i henhold til deres effektivitet til å fjerne is og etter hvor enkle de er til bruk.

1. Pneumatisk is fjerning.
2. Frysepunkt-trykkmiddel (etylenglykol).
3. Gummibelagt plastskum på stålplater.
4. Grå dekksmaling på tre panel.

5. Spar lakk på tre panel.
6. Ren polyetylenskum på stålpanel.
7. Svart rustbeskyttende maling på stålpanel.
8. Grå dekksmaling på stålpanel.

Metodene ble testet i en isvindtunnel og på utendørs test plasser, og viste seg å være kvalitative (L. David Minsk, 1977 s.15).

3.1.3 Meteorologisk metode. Meteorologisk institutt sender i dag ut generelle værvarsler i kystområder rundt Norge fra 65° - 90°N. Målingene utgjøres ved høyvannstilstander og sendes to ganger per døgn (Samuelsen, E.M. 2017).

Grunnet manglende feltobservasjoner i arktiske farvann har det tidligere vert diskusjon om modelleringens pålitelighet ved prognoser av is. Samuelsen (2017) presenterer en ny modell som baseres på isingsdata fra observasjoner i arktisk-norsk farvann. Observasjonene er gjort av fartøy i Den Norske Kystvakt. Studien dokumenterer en forbedret værprognose fordi nedisingens forekomst, basert på bølgesprøyt, ikke er satt i sammenheng med vindstyrke. Bakgrunnen for dette er at høye bølger sjeldent opptrer i områder med svært lave lufttemperaturer. Studien viser at naturen har begrensninger for hvor mye nedising som kan oppstå på skip på grunn av bølgenes interaksjoner med skip. Studien viser også at nedising av skip forekommer hyppigere ved snøfall.

I skriftet "Prediction of ship icing in arctic waters" (Samuelsen, E.M. 2017) diskuteres mulig utvikling av værmelding i kaldt maritimt klima. I samarbeid med norsk Meteorologisk institutt er prosjektet "Optimization of Ship Operations in Arctic Waters by Application of Sensor Technologies for Ice Detection, De-icing and Weather Data" utviklet. Prosjektet har utviklet et system som lager prognoser for ising flere dager frem i tid. Ideen er å kunne støtte hvert enkelt skip med individuelle is-prognoser, samt hjelpe navigatør å forutse nedisingens hastighet. Systemet kan gi navigatører et tidlig varsel om risiko for ising ved planlegging av operasjoner og seilaser under arktiske forhold.

3.2 Tiltak som kan gjennomføres under seilas.

Tiltak navigatør kan gjennomføre under seilas i arktiske farvann, baseres på metoder som kan utføres før og etter påbegynt nedisingsprosess.

3.2.1 Verktøy til hugging av is. Når maritim eller atmosfærisk nedising legger seg på skipet, er det viktig med bruk av rett verktøy for å fjerne is. Det er mange verktøy som egner seg for hugging av is, men enkelte verktøy er mer skånsomt mot skipets struktur.

For å finne det verktøyet som egner seg best til is-hugging på skip, ble det opprettet kontakt med det Norske rederiet Olsengruppen AS (Olsengruppen AS, 2018). Kontaktperson i rederiet har lang erfaring fra seilas i arktiske klima.

Ved hugging av is på skip bør konstruksjonen til skipet, samt effektiviteten av huggingen tas i betraktning. Hugging med spist verktøy i hardt materiale kan gi skade på rekkverk, dører eller andre deler av konstruksjonen. Dette er uønsket, da reparasjoner i etterkant av seilas kan bli kostbart (Olsengruppen AS, 2018).

Det verktøyet som ble presentert som både skånsomt og effektivt er gummislegge. Olsengruppen AS opplyser at fryst sjøvann er mykere enn fryst ferskvann, noe som gjør at denne type slegge er effektiv til hugging av is med sine flate sider. Gummislegge gir lite skader på konstruksjonen til skipet. Dette er positivt og sparer på utgifter dersom noe går galt ved bruk av verktøy laget av hardt metall og som har en spiss (Olsengruppen AS, 2018).

3.2.2 Salting & kjemikalier. Olsengruppen AS opplyser om bruk av salt ved arktisk seilas med forventet nedising. Ved å salte i forkant av nedising vil saltet redusere nedisingen i noe grad. Salting etter påbegynt nedisings-prosess vil ha en smeltende, men tidkrevende effekt på isen. Ved nedbør i form av snø vil saltet medføre at snøen blir mindre kompakt og lettere håndterlig. Snøen vil bli mykere og lettere å fjerne (Olsengruppen AS, 2018).

Rashid, Khawaja og Edvardsen (2016) nevner i sin rapport ‘’Review of marine icing and anti-/de-icing systems’’ forebygging av nedising ved bruk av kjemikalier. Enkelte kjemiske blandinger kan påføres fartøyets utsatte områder før entring av havområder med fare for ising. Kjemikaliene hindrer vann i å fryse på fartøyet. Andre kjemikalier påføres direkte på isen etter påbegynt nedisingsprosess av skipet. Disse kjemikaliene bidrar til en raskere smelteprosess av is. De-isingsblandingene inkluderer kjemikalier som klorider, formater, samt asitat. Vurdering ved bruk av kjemikaliene må gjøres i henhold til miljøforurensing og rust på fartøyet (Rashid, Khawaja & Edvardsen, 2016).

Salt senker frysepunktet til vann. Den kjemiske forbindelsen Natriumklorid (NaCl) er kjent som koksalt. Når natriumklorid løses opp i smeltingsprosessen, frigis ioner. Dette bidrar til økt smeltingseffekt og gir sjøvann ett lavere frysepunkt. (Peeples, B. 1998). Sjøvann vil oftest fryse ved -1,7℃ eller -1,8℃ (Overland et al. (1986) og Overland (1990)).

I sin rapport, nevner Peeples blant annet tre forskjellige typer salt. Natriumklorid, kalsiumklorid og kaliumacetat. Kalsiumklorid har en mer effektiv smeltingsprosess enn natriumklorid. Kaliumacetat derimot, er ofte blandet med rustmiddel for å hindre at overflater ruster. Dette gjør at kaliumacetat er gunstig for salting av dekk (Peeples, B. 1998).

Bruk av kjemikalier må tas i betraktning til hvor og når kjemikalet skal påføres. Midler som natriumklorid har en tendens til å bli mindre effektiv ved lave temperaturer. I tillegg kan bruk av natriumklorid medføre økt korrosjon. Kjemikalien tar til seg fukt og lar rester ligge igjen slik at overflater bli glatte (Rashid, Khawaja & Edvardsen, 2016). For å øke effekten av natriumklorid kan stoffet benyttes sammen med kalsiumklorid, da kalsiumklorid er rapportert effektiv på lufttemperaturer ned til -25°C (Yehia & Tuan, 1999).

3.2.3 Skipets eget utstyr. Olsengruppen AS Opplyser at oppstart av skipets hydraulikksystem kan være til hjelp ved fjerning av is. Om man starter hydraulikken på vinsjer og ankervinsjer slik at oljen varmes opp, vil dette gjøre det lettere å fjerne isen rundt disse områdene. Det kan også gjøre at isen rundt tiner på egenhånd (Olsengruppen AS, 2018).

Om en bruker denne løsningen for mye, kan det medføre i at vinsjene blir slitt etter lengre bruk. Drivstofforbruket vil også øke i små mengder, slik at en gjerne bruker mer drivstoff enn det som er planlagt på seilasen, om en gjør denne løsningen om til en vane. Derfor er dette anbefalt å bruke kun som en ekstra løsning (Olsengruppen AS, 2018).

3.2.4 Bruken av vann til fjerning av is. Varmt vann brukes til å skylle dekk og andre flater for å fjerne is. Om bruk av store mengder kan også sjøvann, rett over frysepunkt, brukes som fjerning eller beskyttelse mot nedkjøling og nedising, men dette innebærer at vind ikke er årsaken til nedising og om man har rett drenering (L. David Minsk, 1977).

4. The Performer

Kapittelet tar for seg beskrivelse av skipet The Performer og dataprogrammet DelftShip.

4.1 Skipet

For å undersøke isings påvirkning på stabilitet, tar oppgaven utgangspunkt i arbeidsskipet The Performer (vedlegg 1).

Skipet er konstruert som arbeidsfartøy i arktiske farvann og var bygd for firmaet Odd Berg AS, Tromsø. Originalt ble skipet bygget under navnet Arctic Seal. Den gang seilte fartøyet i nordlige farvann. Båten byttet i 1989 navn til Vso Performer, og senere til The Performer. I 2010 hadde skipet sitt seneste navn-skifte The Providence, MMSI 308215000. I denne oppgaven refereres fartøyet til navnet The Performer, fordi modellen oppgaven tar utgangspunkt i ble utarbeidet da skipet het The Performer. (Kontakt person, UiT – Norges Arktiske Universitet).

I dag seiler skipet under flaggstaten Bahamas, og har hjemmehavn i Nassau. Fartøyet går som Multiservice ROV (Undervannsfarkoster) Support Vessel og er blant annet utstyrt med brønnåpning. Lite endringer er gjort på skipets konstruksjon siden originalt byggeår 1977.

The Performer tar i dag oppdrag som Subsea construction support, Acoustic Survey services, Deepwater drilling support, Pipeline inspections, Subsea Maintenance.

I samarbeid med UiT - Norges Arktiske universitet er en 3D modell av skipet konstruert. Modellen er basert på skipets linjetegninger og har identiske lengder og hydrostatiske verdier. Skipets arbeidsutstyr, vekter og tanker er estimert etter fartøyets general arrangement (vedlegg 1). 3D modellen oppgaven tar utgangspunkt i, er derfor ikke identisk med det opprinnelige fartøyet. Beregningene er gjort på en modell.

4.2 Skipets hoveddimensjoner

Length between Perpendiculars (Lpp) – 83,00m

Length overall (Loa) – 96,02m

Breadth Moulded (B) – 18,0m

Draft Extreme (konstruksjons dypgang) – 6,1m

Lettskipsvekt – 3838,82 tonn

VCG (KG) lettskip – 8,114m

Dimensjonene er hentet fra general arrangement til skipet (vedlegg 1).

4.3 Kalkulasjonsprogrammet DelftShip

3D modellen av skipet er laget i dataprogrammet DelftShip Marine Software i samarbeid med UiT – Norges Arktiske Universitet (vedlegg 2). Programmet er også brukt til å regne hydrostatikk og lastetilstander på skipet. I vedlegg 2 vises 3D modellen av skipet, og vedlegg 3 viser skipets linjetegning basert på 3D modellen. På grunnlag av linjetegningen er hydrostatisk data regnet ut for dypganger mellom 5,5 m og 6,5m (vedlegg 4).

4.4 Skipets 3D Modellen

Origo er satt til skjæringspunktet mellom aktre perpendikulær og kjølen i skipets senterlinje. LCG verdier (longitude center of gravity) er målt slik at positive verdier ligger fremfor origo og negative verdier bak origo. VCG (vertical center of gravity) er tyngdepunkt i forhold til skipets kjøl. VCG punktettegnes også som KG.

Skipet er originalt utstyrt med brønnåpning for å kunne sjøsette ROV. Brønnåpningen er liten og ligger på skipets senterlinje. I 3D modellen anses brønnåpningen å ha liten påvirkning på stabiliteten til skipet, fordi poolen har liten effekt på vannlinjens tverrskips treghetsmoment. Derfor ser oppgaven bort ifra brønnåpningen i oppgavens beregninger. Tunneler for baug thruster er heller ikke modulert.

4.5 Lettskipsvekter

Volumutregninger er gjort av DelftShip på grunnlag av 3D modellen. Vektene og volumutregningene inngår i fartøyets Hydrostatiske rapport (vedlegg 4). Stålvektene av alle platene inngår i 3D modellen. Platetykkelsen er satt til 10 mm (0,01m). Skipet er bygget i stål. Egenvekten til stål er 7,8 tonn/m^3.Totalvekt av stålplatene er 564,42 tonn. Lettskipet er 3838,82t.

4.6 The Performers maskineri

Skipets fremdriftsmaskineri fremgår å være 6000 hestekrefter (vedlegg 7). General arrangementer (vedlegg 1) viser at skipet har en propell på hver side av skroget og går derfor ut ifra at skipet har to motorer.

Rolls Royce (vedlegg 8) viser at motor B32:40L6P gir 3000 hestekrefter (vedlegg 8). Hver motor har vekten 33,2 tonn.

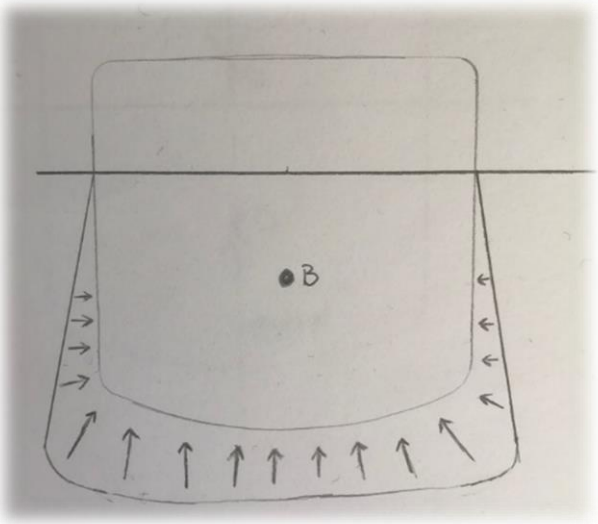
5. Eksempelstudie

Hvilke tiltak kan navigatøren om bord gjøre for å forhindre at skipet mister sin sjødyktighet i stabilitetsmessig sammenheng i forhold til nedising?

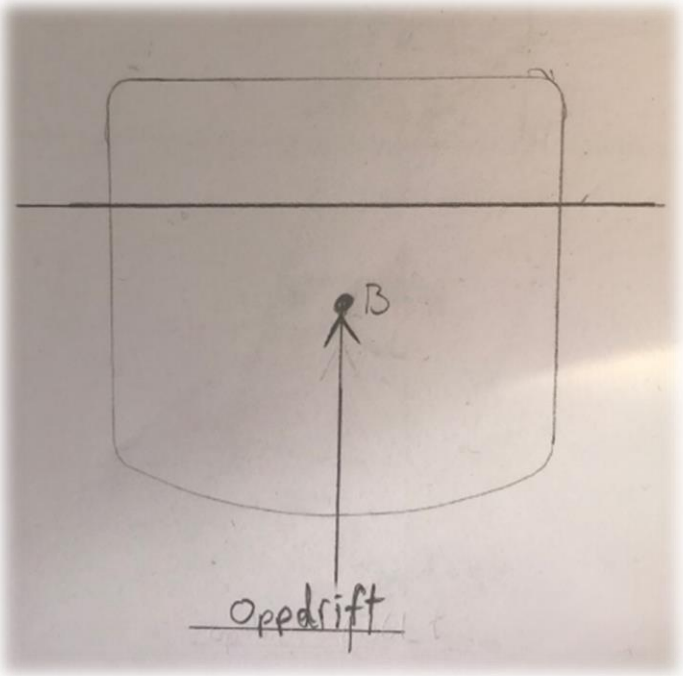
I dette kapittelet tar oppgaven for seg stabilitetsberegninger i forhold til problemstillingen. Her kalkuleres skipets stabilitetstilstand ved avgang, ankomst og ankomst med is for å undersøke isens påvirkning på skipets stabilitet.

5.1 Teori for stabilitet

På et skipsskrog virker trykkrefter. Figur 1 viser hvordan trykket virker på undervannsskroget. Trykket fører til oppdrift av fartøyet. Trykkreftene settes sammen til en resultant som angriper i punkt B. Denne resultanten er oppdriften til fartøyet. Resultanten angriper i punkt B. Oppdriften og oppdriftspunktet er vist i figur 2. Punkt B kalles oppdriftspunktet (buoyancy)



Figur 1 – Trykk på undervannskrog



Figur 2 - Oppdrift

For å forstå stabilitet er det 2 viktige betingelser; Arkimedes lov og Newtons første lov.

Arkimedes lov sier at et legeme senket ned i vann skaffer seg en oppdrift lik summen av den fortrengte væskemengde.

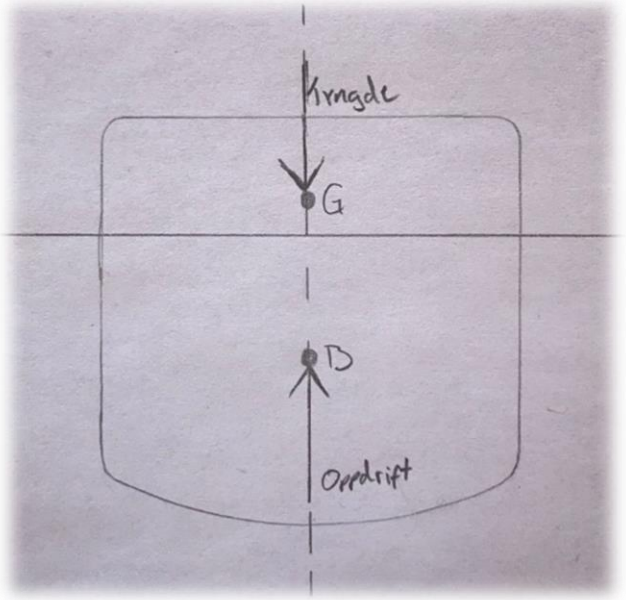
$$\text{Oppdrift} = \nabla \times \rho$$

Dersom volumet av undervannsskroget på skipet er 6361,82m^3 (total displaced volum), målt til design dypgående, og tettheten til sjøvann er 1.025 t/m^3 blir oppdriften til skipet 6520,86 t.

$$\text{Oppdrift} = 6361{,}82\ m^3 \times 1.025\text{t}/m^3 = 6520{,}86\text{t}$$

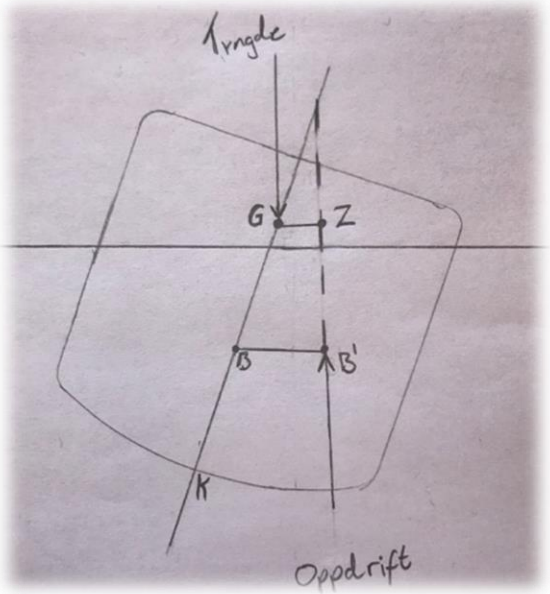
Newtons første lov sier at et legeme er i ro når summen av krefter som virker på legemet er 0, og når summen av momenter som virker på legemet er lik 0.

Dersom summen av lettskipsvekt og dødvekt er 6520,86t, flyter skipet på design dypgående. Skipets tyngde angriper i tyngdepunktet G, og oppdrift angriper i punkt B.



Figur 3 – Tyngdepunkt og oppdrift

Dersom et utvendig moment, for eksempel vind, krenger skipet, flyttes oppdriftspunktet fra B til B[1]. Oppdriftspunktet flyttes fordi undervannsskroget endrer form, som fører til at kreftene angriper skroget fra et nytt punkt. Fordi tyngden i punkt G ikke er påvirket av krengningen, vil fartøyet få ett opprettende moment. Det opprettende moment er lik kraft × arm. I et tilfelle med krengning er deplasementet å regne som kraften, mens lengden GZ er den rettende arm.



Figur 4 – Endring av oppdriftspunkt B

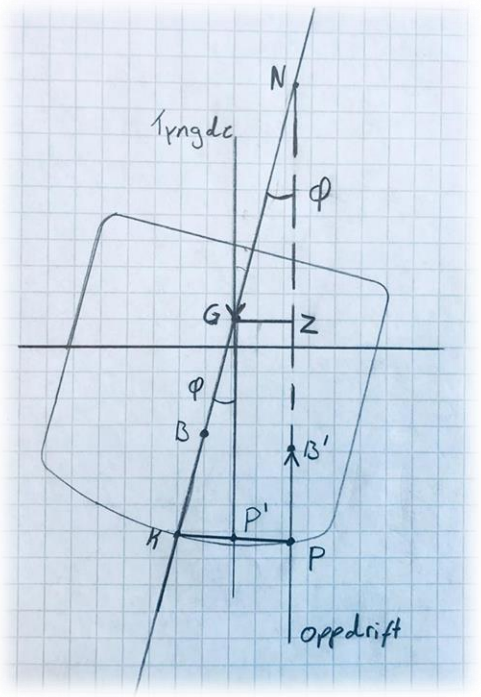
Armen GZ varierer med krengningsvinkelen. Jo lengre GZ arm, desto større rettende moment. For å kunne se avstand GZ i forhold til forskjellige krengningsvinkel bruker man GZ kurver. Dette er data som er individuelt for hvert skip. GZ kurver plottes i forbindelse med stabilitetskontroll. I et slikt plott settes GZ armen langs x-aksen, og krengevinkelen langs y-aksen.

Når skipet krenger ved vinkel φ, flyttes oppdriftspunktet fra B til B´. Angrepslinjen til oppdriften skjærer senterlinjen til skipet i punkt N. Se figur 5.

Programmet DelftShip regner ut avstanden KN sinφ ut ifra skipet The Performers dypgang (vedlegg 5). KN sinφ kjennetegnes som formstabilitet, fordi denne avstanden er gitt av skipets form. Med andre ord er KN allerede bestemt ved skipets konstruksjon. KG sinφ kjennetegnes som vektstabilitet.

KG er delvis gitt av skipets konstruksjon, men kan endres ved hjelp av vekter om bord. Dette betyr at navigatør kan påvirke KG ved lasting og lossing. Is er også en ytre faktor ved påvirkning av KG, fordi is fungerer som vekter på fartøyet. Ved egen utregning av KG sinφ, finner oppgaven GZ verdier på krengevinkler ved formelen:

$$GZ=KP-KP'=KN\ \sin\varphi-KG\ \sin\varphi$$



Figur 5 – *Endring av krefter ved store krengevinkler*

5.2 Metasenterhøyde GM_0

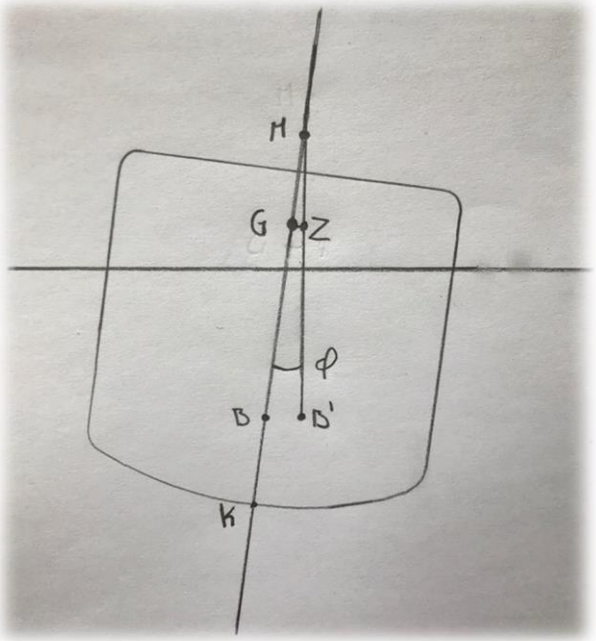
Når fartøy rettes opp ved hjelp av krengningsmoment minker vinkel φ. Når krengningsvinkel φ går mot 0^o, går avstanden KN mot en grense KM_0. Avstanden GM_0 kalles metasenterhøyden til fartøyet. KM er gitt av skipets konstruksjon. KG er justerbart ved vekter og påvirkes også av nedising av skipet.

$$GM_0=KM-KG$$

Ved små krengningsvinkler gjelder formelen:

$$GZ=GM_0\times\sin\varphi$$

Dersom eksterne vekter plasseres slik at G blir liggende over M, vil en negativ GM_0 oppstå. Årsak til negativ GM_0 er for mye vekt plassert høyt på fartøyet. Konsekvensen er et skip med slagside. Negativ GM_0 er uønsket situasjon. IMO har krav til positiv GM_0.



Figur 6 - Positiv GM ved liten krengevinkel

5.3 Sjødyktighet

Skip anses som sjødyktig i stabilitetsmessig sammenheng når IMOs krav er oppfylt. Kravene er hentet fra IMOs kode for intakt stabilitet (2002) og gjelder alle marine fartøy over 24 meter (1.2.1). I IMOs krav for stabilitet for lasteskip inneholder også krav til krengning i vind og rulling. Oppgavens kalkulasjoner ser bort fra disse kravene. Lasteskip defineres av IMO som skip uten passasjerer (1.3.3).

Etter å ha tatt kontakt med Sjøfartsdirektoratet opplyser de om at IMOs kode for intakt stabilitet ikke er endret etter 2002. En fornyet versjon er under arbeid (Sjøfartsdirektoratet 2018)

5.4 IMOs krav til stabilitet

I henhold til IMOs stabilitetskrav for passasjerskip og lasteskip skal arealet under GZ kurven være minst 0,055 meterradianer opp til 30° krengningsvinkel, og minst 0,09 meterradianer ved krengningsvinkel opp til 40°. Kravene sier også at arealet mellom krengningsvinkel 30° og 40° skal lik eller større enn 0.03 meterradianer. (3.1.2.1) (IMO, 2002)

Meterradianer er regnet til å være 57,3°

$$2\pi \times r = 360°$$

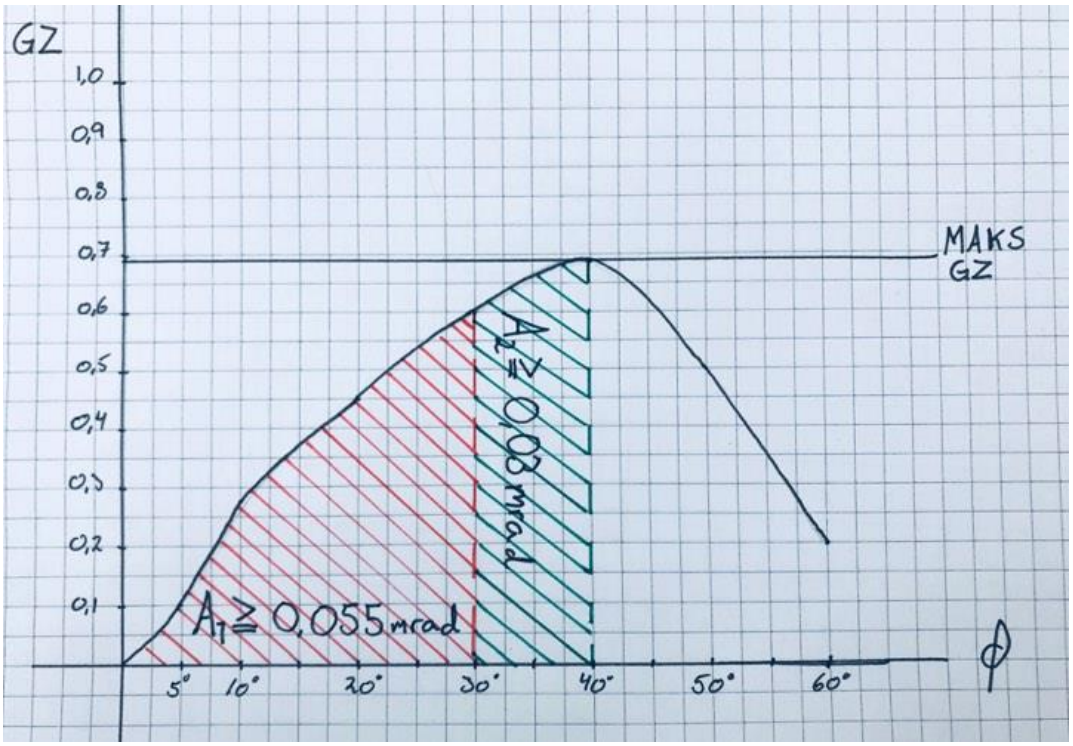
$$r = \frac{360°}{2\pi} = \frac{180°}{\pi}$$

$$r = 57{,}3°$$

Den rettende arm GZ skal være minst 0,20 m ved krengningsvinkel lik eller større enn 30°. (3.1.2.2)

Den største rettende armen, GZ, bør oppstå ved 30° eller mer, og skal ikke være under 25°. (3.1.2.3)

Metasenterhøyden GM_0 skal ikke være mindre enn 0,15m. (3.1.2.4)



Figur 7 – IMOs krav til areal under GZ-kurve

5.5 Lastetilstand

IMOs stabilitetskrav skal gjelde både ved skipets avgang tilstand og ankomst tilstand. I henhold til IMOs krav om lastetilstand på lasteskip defineres fullast ved avgang som skip med last homogent fordelt over alle lasterom, fulle tanker, samt fulle forbrukstanker (3.5.1.2-1). Fullast tilstand ved ankomst defineres som skip med last homogent fordelt over alle lasterom, og resterende 10% i forbrukstanker (3.5.1.2-2). Oppgaven modulerer tre forskjellige lastetilstander av skipet The Performer.

Lastetilstandene er;

Fullast avgang (vedlegg 10). Her moduleres fartøyet med fulle forbrukstanker.

Fullast ankomst (vedlegg 11). Her moduleres fartøyet med 10% fulle forbrukstanker.

Fullast ankomst med is (vedlegg 12). Her moduleres skipet med 10% fulle forbrukstanker, og med is beregninger.

Tallverdiene av volumet i tankene er hentet fra vedlegg 7. Tyngdepunkts orden til tankene er målt på arrangementstegningen. Verdiene er oppgitt i galon, og omregnet til liter med verdi 1 gal = 3,785l.

$$1\ U.S\ gallon = 3{,}785l$$

Bunkersolje oppgitt i The Performer er 240 000 gallon. Oljen er regnet som ρ Olje = 0,8 t/m^3

$$(3{,}785 \times 0{,}8) \times 240\,000 = 726720kg$$

$$726720kg \approx 727t$$

Smøreolje oppgitt i 11 900 gal, som tilsvarer 36t.

Ferskvann oppgitt i 140 000 gal, som tilsvarer 560,8t.

Skipets tanker er plassert i dobbeltbunnen med LCG og VCG henvist i Lastetilstandene (vedlegg 10, 11 og 12). I lastetilstandene inngår også dekkslast (cargo deck load capacity)1 200t, LCG og VCG inngår i tabell (vedlegg 10.2, 11.2 og 12.2).

Ved utregning av disse verdiene i lastetilstand fullast, fremkommer en tilstand i sjøen med middelgående dybde (vedlegg 10.1) som tilsvarer design dypgående dybde på 6,05m (vedlegg 1). Skipet vil få en ubetydelig trim.

Beregninger er i utgangspunktet utført med skipets design dypgående, 6,05m, som utgangspunkt. Ved å ta utgangspunkt i draft 6,05 vil skipet ha en mulighet for å nå Extreme draft ved nedising i arktiske farvann etter brukte forbrukstanker.

5.6 Stabilitetsberegninger

Oppgaven beregner fullast tilstand, ankomst tilstand, samt ankomst tilstand med is for skipet The Performer. Skipets stabilitet kontrolleres mot IMOs stabilitetskrav. Tilstandene kalkuleres både for hånd og med konstruksjonsprogrammet DelftShip. Formlene er hentet fra Ship Stability OOW. (Rhodes, M. 2009).

5.6.1 Skipets stabilitet tilstand ved fullastet avgangstilstand. For å beregne stabilitet må skipets tyngdepunkt VCG (KG) for fullastet skip ved avgang kalkuleres.

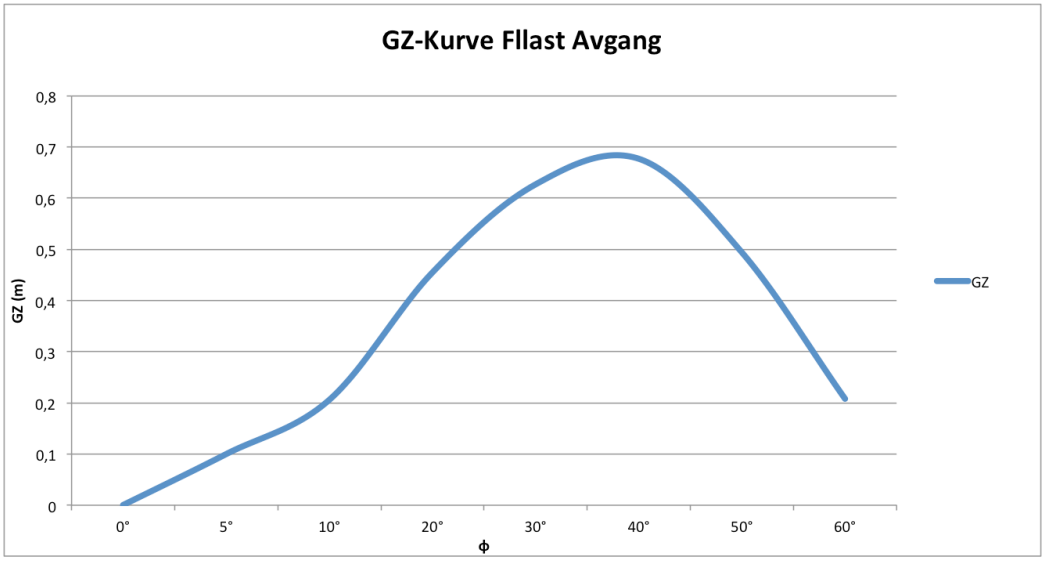
Item	**Vekt (t)**	**VCG (KG)**	**Moments (tm)**
Lettskip	3838,82	8,114	31148,18
Dekkslast	1200,00	10,100	12120,00
bunkersolje	727,00	2,00	1454,00
Ferskvann	560,00	4,00	2240,00
smørolje	36,00	1.00	36,00
SUM	**6361,82**		**48998,18**

$$VCG(KG) = \frac{Moment\ (tm)}{Vekt\ (t)} = \frac{489998{,}18\ tm}{6361{,}82\ t} = 7{,}38m$$

Lastetilstanden fullast avgang (vedlegg 10) viser at VCG (KG) er lik egen utregning.

Med VCG (KG) = 7,38 m vil skipets GZ kurve se slik ut:

Φ	**5°**	**10°**	**20°**	**30°**	**40°**	**50°**	**60°**
KN×sinφ	0,743	1,487	2,979	4,317	5,420	6,147	6,599
KG×sinφ	0,643	1,281	2,524	3,690	4,743	5,653	6,391
GZ	0,1	0,206	0,455	0,627	0,677	0,494	0,208



Figur 8 – GZ-kurve ved fullast avgang

For å kunne kontrollere om skipet tilfredsstiller IMOs stabilitetskrav benyttes Simpsons formel:

$$A \approx \int_a^b f(x)\,dx \approx \frac{h}{3}(y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + 4y_5 + y_6)$$

5.6.2 Krav til areal under GZ-kurven opptil 30° krengevinkel. IMOs første stabilitetskrav sier at areal i GZ-kurven skal være lik eller større enn 0,055mrad opptil 30° krengevinkel. Arealet kalles A_1.

Arealet under GZ-kurven er regnet ut slik:

	GZ verdier	**Simpsons faktorer**	**GZ×Simpsons faktorer**
y0	GZ 0° = 0m	1	1×0 = 0
y1	GZ 5° = 0,1m	4	0,1×4 = 0,4
y2	GZ 10° = 0,206m	2	0,206×2 = 0,412
y3	GZ 15° = 0,34m	4	0,35×4 = 1,36
y4	GZ 20° = 0,45m	2	0,455×2 = 0,91
y5	GZ 25° = 0,54m	4	0,54×4 = 2,16
y6	GZ 30° = 0,62m	1	0,627×1 = 0,627
Sum; GZ×Simpsons faktorer = 5,869			

Fordi vi regner med 5° mellom hver y-verdi er h=5°

Gitte verdier settes inn i Simpsons formel:

$$A_1 \approx \int_a^b f(x)\,dx \approx \frac{5}{3} \times \frac{\pi}{180}(5{,}869) = 0{,}17mrad$$

$$0{,}17mrad > 0{,}055mrad$$

IMOs krav for krengevinkel opp til 30° er oppfylt fordi 0,17mrad > 0,055mrad. DelftShip viser at lastetilstanden for fullastet avgang areal 0° - 30° er 0,1667mrad (vedlegg 10.3). Dette stemmer overens med manuell utregning

5.6.3 Krav til areal under GZ-kurve opptil 40° krengevinkel. IMOs andre stabilitetskrav sier at areal under GZ-kurven skal være 0,09 meterradianer opp til 40° krengevinkel. Arealet kalles A_1+A_2.

Ved fullastet skip ved avgang ser y-verdiene slik ut:

	GZ verdier	**Simpsons faktorer**	**GZ×Simpsons faktorer**
y0	GZ0° = 0m	1	0×1 = 0
y10	GZ10° = 0,206m	4	0,206×4 = 0,824
y20	GZ20° = 0,455m	2	0,455×2 = 0,91
y30	GZ30° = 0,627m	4	0,627×4 = 2,508

y40	GZ40° = 0,677m	1	0,677×1 = 0,677
Sum; GZ×Simpsons faktorer=4,919			

Y-verdiene regnes med 10° mellomrom. h=10°.

Gitte verdier settes inn i Simpsons formel:

Formelen er:

$$A_1 + A_2 \approx \int_a^b f(x)\,dx \approx \frac{10}{3} \times \frac{\pi}{180}(4{,}919) \approx 0{,}286mrad$$

$$0{,}286mrad > 0{,}09mrad$$

Utregningen viser at A_1+A_2 er større enn 0,09mrad. Krav til areal under GZ-kurven opptil krengningsvinkel 40° er oppfylt.

5.6.4 Krav til areal under GZ-kurven mellom krengevinkel 30° og 40°. Areal under GZ-kurven mellom 30° og 40° skal være minst 0,03 meterradianer. Arealet kalles A_2.

$$(A_1 + A_2) - A_1 \approx A_2$$

$$0{,}286 - 0{,}17 \approx 0{,}116$$

$$0{,}116mrad > 0{,}03mrad$$

Manuelle kalkulasjoner viser at skipet tilfredsstiller IMOs krav om areal under GZ-kurven mellom krengningsvinkel 30° og 40°. DelftShips kalkulasjoner viser at A_2 er 0,111mrad (vedlegg 10.3). Skipet oppfyller IMOs krav.

5.6.5 Krav til GZ-arm. På et krengende skip vil GZ-armen strekke seg til en krengningsvinkel med maks GZ. Maks GZ er den lengst mulige oppnåelige lengden mellom punkt G og punkt Z. Etter å ha nådd maksimum GZ vil GZ-armen krympe selv om krengningsvinkelen øker, helt til skipet kantrer.

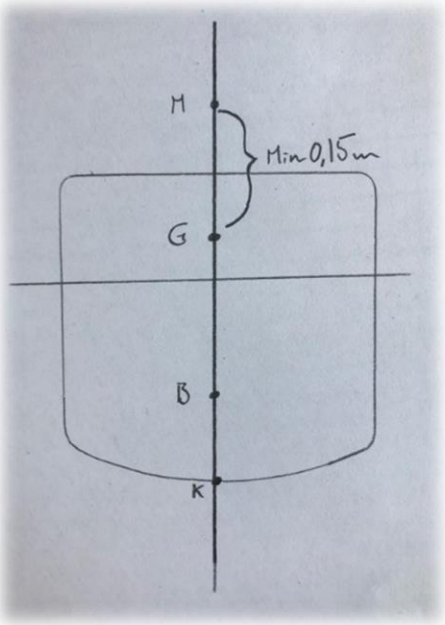
IMO krever at GZ-armen skal være minst 0,2m ved en krengevinkel på 30°. GZ-kurven til The Performer (figur 8) viser GZ-verdi 0,627m ved krengningsvinkel 30°. DelftShips kalkulasjoner viser at GZ ved 30° er 0,650m (vedlegg 10.3). The performer oppfyller IMOs krav til lengde GZ.

5.6.6 Krav til GM. Ved laste tilstanden ved avgang er dyptgående 6,1 m (vedlegg 10.1). Skipets hydrostatiske rapport viser at avstanden KM er 8,51m (vedlegg 10). VCG (KG) for skipet er beregnet å bli 7,39m (vedlegg 10.3).

$$GM_0 = KM - KG = 8{,}51m - 7{,}39m = 1{,}12m$$

$$1{,}12m > 0{,}15m$$

DelftShips resultat ved GM-kalkulasjonen samsvarer med oppgavens håndutregning (vedlegg 10.3). IMO krever at GM_0 er minst 0,15m. The performer tilfredsstiller derfor IMOs krav til GM.



Figur 9 – IMOs minimumskrav til GM

5.6.7 Resultat. DelftShips resultater (vedlegg 10) samsvarer med kalkulasjoner utført for hånd. IMOs stabilitetskrav er oppfylt. Skipet er sjødyktig ved avgangs tilstand med hensyn til stabilitet.

5.7 Skipets stabilitetskrav ved ankomst

For å beregne stabilitet må skipets tyngdepunkt VCG (KG) for fullastet skip ved avgang kalkuleres. Vekter og VCG er hentet fra lastetilstand fullast ankomst (vedlegg 11).

Item	**Vekt (t)**	**VCG (KG)**	**Moment (tm)**
Lettskip	3838,82	8,114	31148,18
Dekkslast	1200,00	10,10	12120
Bunkersolje	72,70	0,50	36,35
Ferskvann	56,00	1,00	56,00
Smørolje	3,60	0,50	1,80

Sum	**5171,12**		**43362,34**

$$VCG(KG) = \frac{Moment\ (tm)}{Vekt\ (t)} = \frac{43362{,}34\ tm}{5171{,}12\ t} = 8{,}386m$$

DelftShips kalkulasjoner av lastetilstanden fullast ankomst viser at VCG (KG) tilsvarer oppgavens håndutregning (vedlegg 11.2).

I DelftShips stabilitetsberegning er fri væskeoverflateeffekt av fartøyets forbrukstanker ikke tatt i betraktning. Dette gir fartøyet en bedre stabilitet enn hva som er realistisk. Fordi fri væskeoverflateeffekt har innvirkning på stabiliteten, tar oppgaven dette i betraktning i manuelle kalkulasjoner. Kalkulasjoner med fri væskeoverflateeffekt vil gi en dårligere stabilitet. DelftShips kalkulasjoner tar ikke fri væskeoverflateeffekt i betraktning. Derfor vil dataprogrammets resultater ikke samsvære oppgavens håndkalkulasjoner.

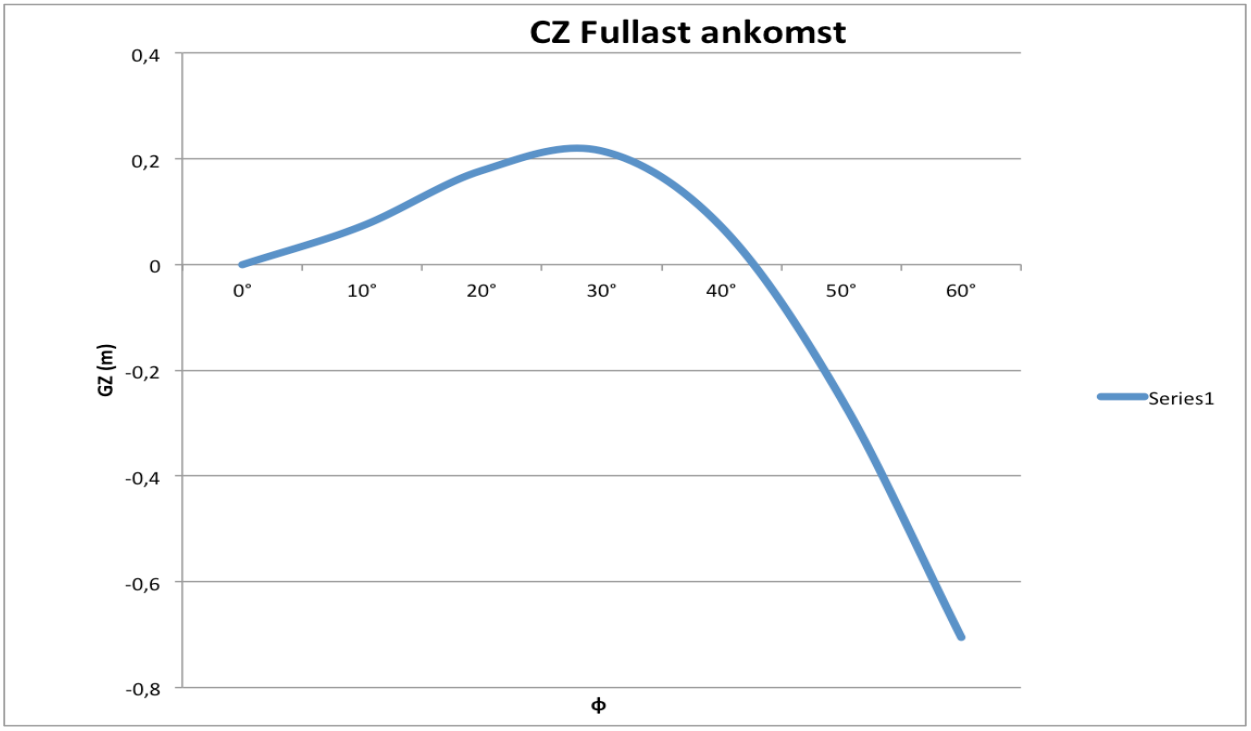
I ankomsttilstand er tanker for bunkers, ferskvann og smørolje slakke. I tilgjengelig data av fartøyet vises ikke plassering av tankene, og kan derfor ikke regne virtuelle tyngdepunkts merker (GG_1). Oppgaven anslår GG_1 til 0,1m for bunkerstank, 0,05 for ferskvannstank, og 0,005m for smøroljetank. Til sammen er GG_1 0,155m. Ny VCG (KG) beregnes.

$$VCG(KG)_{Ny} = VCG + GG_1 = 8{,}386 + 0{,}155 = 8{,}54$$

For å regne stabilitet ved ankomsttilstand benyttes skipets intakte stabilitetsdata, samt tilhørende GZ kurve for skipet (vedlegg 11.3).

GZ kurve korrigeres for fri overflateeffekt. Kurvens GZ-verdier er:

φ	**5°**	**10°**	**20°**	**30°**	**40°**	**50°**	**60°**
KN×sinφ	0,778	1,556	3,101	4,485	5,560	6,288	6,690
KG×sinφ	0,744	1,483	2,923	4,27	5,489	6,542	7,395
GZ	0,034	0,073	0,178	0,215	0,071	-0,254	-0,705



Figur 10 – GZ-kurve ved fullast ankomst

5.7.1 Krav til areal under GZ-kurven opptil 30° krengevinkel. Simpsons formel benytter ved kurvens y-verdier opp til 30°.

	GZ verdier	**Simpsons faktorer**	$\boldsymbol{GZ \times Simpsons\ faktorer}$
y_0	$GZ_{0°} = 0m$	1	$1 \times 0 = 0$
y_1	$GZ_{5°} = 0{,}034m$	4	$0{,}036 \times 4 = 0{,}136$
y_2	$GZ_{10°} = 0{,}073m$	2	$0{,}073 \times 2 = 0{,}146$
y_3	$GZ_{15°} = 0{,}125m$	4	$0{,}125 \times 4 = 0{,}50$
y_4	$GZ_{20°} = 0{,}178m$	2	$0{,}178 \times 2 = 0{,}356$
y_5	$GZ_{25°} = 0{,}196m$	4	$0{,}196 \times 4 = 0{,}784$
y_6	$GZ_{30°} = 0{,}215m$	1	$0{,}215 \times 1 = 0{,}215$
Sum; $\boldsymbol{GZ \cdot Simpsons\ faktorer = 1{,}922}$			

$$h = 5°$$

Gitte verdier settes inn i Simpsons formel:

$$A_1 \approx \int_a^b f(x)\,dx \approx \frac{5}{3} \times \frac{\pi}{180}(1{,}922) \approx 0{,}056mrad$$

$$0{,}056mrad > 0{,}055mrad$$

IMOs krav for krengevinkel opp til 30° er oppfylt fordi 0,056mrad > 0,055mrad. DelftShip resultat viser 0,08mrad.

5.7.2 Krav til areal under GZ-kurve opptil 40° krengevinkel. Simpsons formel benytter GZ-kurvens y-verdier opp til 40°.

	GZ verdier	**Simpsons faktorer**	$\boldsymbol{GZ \times Simpsons\ faktorer}$
y_0	$GZ_{0°} = 0m$	1	$0 \times 1 = 0$
y_{10}	$GZ_{10°} = 0{,}073m$	4	$0{,}073 \times 4 = 0{,}292$
y_{20}	$GZ_{20°} = 0{,}178m$	2	$0{,}178 \times 2 = 0{,}356$
y_{30}	$GZ_{30°} = 0{,}215m$	4	$0{,}215 \times 4 = 0{,}86$
y_{40}	$GZ_{40°} = 0{,}071m$	1	$0{,}071 \times 1 = 0{,}071$
Sum; $\boldsymbol{GZ \times Simpsons\ faktorer = 1.579}$			

$$h = 10°$$

Gitte verdier settes inn i Simpsons formel:

$$A_1 + A_2 \approx \int_a^b f(x)\,dx \approx \frac{10}{3} \times \frac{\pi}{180}(1{,}579) = 0.092mrad$$

$$0{,}092mrad > 0{,}09mrad$$

Utregningen viser at areal A_1+A_2 er større enn 0,09 meter-radianer. Fartøyet oppfyller dermed IMOs krav.

5.7.3 Krav til areal under GZ-kurven mellom krengevinkel 30° og 40°

$$(A_1 + A_2) - A_1 \approx A_2$$

$$0{,}092 - 0{,}056 \approx 0{,}036$$

$$0{,}036mrad > 0{,}03mrad$$

Kalkulasjonene viser at skipet tilfredsstiller IMOs krav til areal under GZ-kurven mellom krengevinkel 30° og 40°. DelftShips beregning viser 0,43mrad ved krengningsvinkel mellom 30° og 40°. Fartøyet oppfyller kravet.

5.7.4 Krav til GZ-arm. Manuell kalkulasjon av GZ-kurven viser en GZ verdi på 0,215m ved krengevinkel 30°. DelftShip regner ut GZ til 0,29m. Dermed oppfyller skipet IMOs krav på minst 0.20m ved en krengevinkel lik eller større enn 30°.

5.7.5 Krav til GM. Ved lastetilstanden fullastet ankomst er skipets dypgående 5,123m (vedlegg 11.1). Fra skipets hydrostatiske rapport (vedlegg 11.1) ser vi at avstanden KM er 8,93m. VCG (KG) for skipet er regnet å bli 8,54m.

$$GM_0 = KM - KG = 8{,}93m - 8{,}54m = 0.39m$$

GM_0 i oppgaven kalkuleres manuelt som 0,39m, og av DelftShip som 0,54. Fordi IMOs krav for GM_0 er 0,15, oppnår The Performer kravet. Forskjellene skylle at fri væskeoverflate er tatt med i hånd regningen.

5.7.6 Resultat. Kalkulasjoner av fullastet skip ved ankomst viser en betydelig svakere stabilitet, sammenliknet med lastetilstanden ved avgang. Verdiene ved krengning, samt GZ og GM_0 viser at skipet har lite å gå på stabilitetsmessig i forhold til IMOs krav. Skipet har en svakere stabilitet da det kun er resterende 10% i forbrukstankene som er plassert langt nede i skipet. Manuell utregning viser også stabilitetens påvirkning av fri væskeoverflateeffekt. Skipet oppfyller IMOs stabilitetskrav ved en fullastet ankomsttilstand med slakke tanker. Marginene er små.

5.8 Fullastet skip ved ankomst med is

Overland et al. (1986) og Overland (1990) presenterer en algoritme for å forutse nedisingshastighet og mengde basert på meteorologiske forhold.

$$PPR = \frac{V_a(T_f - T_a)}{1 + 0{,}3(T_w - T_f)}$$

Algoritmen er i hovedsak forbeholdt fartøy med 20-75m. For å beregne et realistisk senario på skipet The Performer benyttes algoritmen (Overland et al. (1986) og Overland (1990)), til tross for at skipets lengde overgår algoritmens beregnede lengde.

Fordi hyppige lavtrykk kan forekomme 12-15 ganger pr år i havområdet rundt Arktis, beregnes vindstyrke til 11 m/s (V_a). Frysepunkt i sjøvann er -1,7°C (T_f) (Overland et al.

(1986) og Overland (1990)). Temperaturen på luft er satt til -10°C (T_a). I det maritime trafikkseparasjonssystemet nord for Nordkapp var gjennomsnittstemperaturen på sjøvann i januar 4°C (T_a) innenfor tidsrammen 1999-2017 (Noer, G. 2018).

Ved å sette inn gitte verdier vil formelen se slik ut:

$$PPR = \frac{11((-1{,}7) - (-10))}{1 + 0{,}3(4 - (-1{,}7))} = 33{,}69$$

Med algoritmen medfølger en tabell som viser mengden og hyppigheten målt ut i fra PPR.

PPR	<0	0-22.4	22.4-53.3	53.3-83.0	>83.0
Icing Class	None	Light	Moderate	Heavy	Extreme
Icing Rates (cm/hour) (inches/hour)	0	<0.7 <0.3	0.7-2.0 0.3-0.8	2.0-4.0 0.8-1.6	>4.0 >1.6

Figur 11 – Estimert mengde og hyppighet nedising ved PPR
(Overland et al. (1986) og Overland (1990))

Tabellen viser at det legger seg 0,7-2,0 cm is per time (Overland et al. (1986) og Overland (1990)). Nedisingstilstanden er definert som moderat. Dersom nedisingen har en hastighet på 2,0 cm/h, vil isen ha en høyde på 10 cm innen 5 timer.

5.8.1 Isen skaper vekter på fartøyet. I kalkulasjonen fordeles is-mengden på skipets helikopterdekk, brønnåpning, styrhustak og overbyggets lang-og-kortsider. Mål av nevnte konstruksjonsdeler er tatt fra fartøyets arrangement tegning (vedlegg 1). Is har massetetthet $0{,}917 {}^{t}/_{m^3}$ (Geist, T. 2005).

Helikopterdekk:

Helikopterdekket er 20m i diameter.

$$A\ (helidekk) = \left(\frac{\pi}{4} \times 20^2\right) \times 0{,}05 \approx 16$$

$$W(helidekk) = 16m^3 \times 0{,}917\ {}^{t}/_{m^3} \approx 29t$$

Brønnåpning:

Brønnåpningen (moon-pool) har horisontal lengde 4,8m og bredde 2,5m.

$$A = 2(l \times b) = 2(4{,}8m \times 2{,}5m) = 24m^2$$

$$V = 24m^2 \times 0{,}1m = 2{,}4m^3$$

$$W = 2{,}4m^3 \times 0{,}917\ {}^{t}/_{m^3} = 2{,}0t$$

Styrhustak (monkey island):

Styrhustaket har en horisontal lengde 14,5m og bredde 8,5m.

$$A = (l \cdot b) = (14{,}5m \times 8{,}5m) = 123{,}25m^2$$

$$V = 123{,}25m^2 \times 0{,}1m = 12{,}3m^3$$

$$W = 12{,}3m^3 \times 0{,}917\ {}^{t}/_{m^3} = 11.3t$$

Overbygg:

Overbyggets langside har lengde 14,5m og bredde 5m.

$$A_1 = (l \times b) = (14{,}5m \times 5m) = 72{,}5m^2$$

$$V = 72{,}5m^2 \times 0{,}1m = 7.25m^3$$

$$W = 7{,}25m^3 \times 0{,}917\ {}^{t}/_{m^3} = 6{,}64t$$

Overbyggets kortside har lengde 8,5m og bredde 5m.

$$A_2 = (l \times b) = (8{,}5m \times 5m) = 42{,}5m^2$$

$$V = 42{,}5m^2 \times 0{,}1m = 4{,}25m^3$$

$$W = 4{,}25m^3 \times 0{,}917\,{}^{t}/_{m^3} = 3{,}89t$$

Totalt areal overbygg:

$$A_{total} = 2(A_1) + 2(A_2) = 2(6{,}64t) + 2(3{,}89t) = 21{,}06$$

Total is-mengde som legges på skipet er 63,36 tonn. Is-mengden kalkuleres sammen med vekter fra fullastet ankomsttilstand ved fri væske + is (vedlegg 12.2) for å finne skipets VCG i en nediset tilstand.

Item	**Vekt (t)**	**VCG (KG)**	**Moment (tm)**
Lettskip	3838,82	8,114	31148,18
Dekkslast	1200,00	10,10	12120
Bunkersolje	72,70	0,50	36,35
Ferskvann	56,00	1,00	56,00
Smørolje	3,60	0,50	1,80
Sum	**5171,12**		**43362,34**
Is Helidekk	29	16,00	464
Is Overbygg	21,06	20,00	421,2
Is brønnåpning	2,0	18,00	36
Is styrhustak (monkey island)	11,3	24,00	271,2
SUM	**5234,48**		**44554,74**

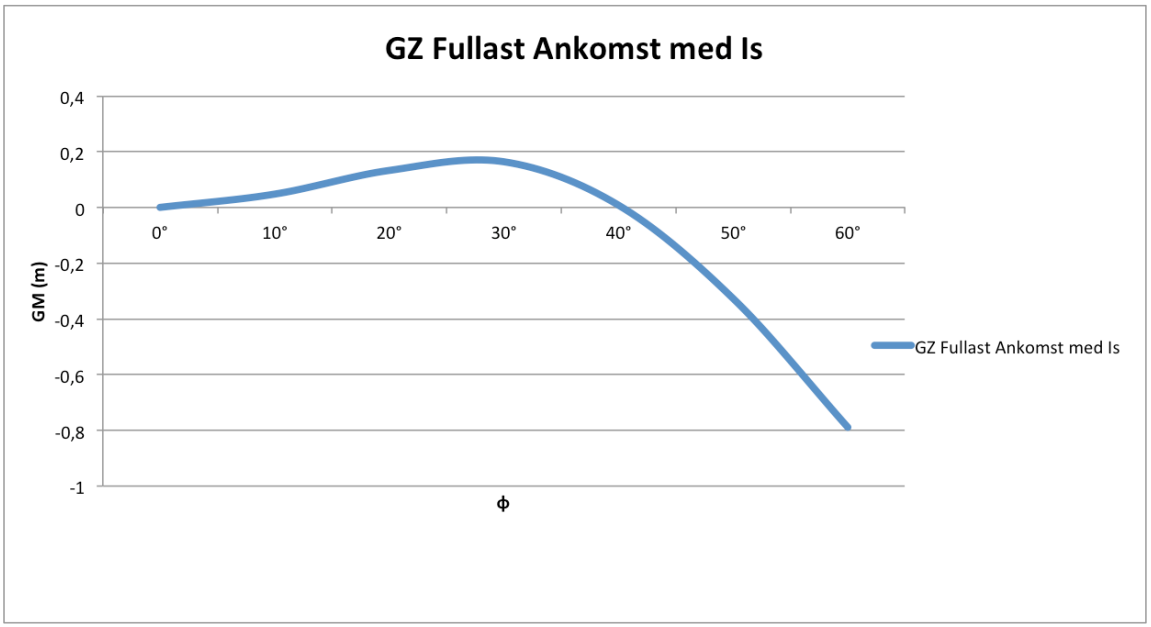
$$VCG(KG) = \frac{Moment(tm)}{Vekt(t)} = \frac{44554{,}74}{5234{,}48} = 8{,}512m$$

I skipets is-kondisjon er slakke tanker (0,155m) tatt i betraktning. Med fri væskeoverflate blir VCG ved is-kondisjon:

$$VCG(KG)_{Ny} = VCG + GG_1 = 8{,}512 + 0{,}155 = 8{,}667\text{m}$$

For å lage GZ kurve benyttes KN×sinφ verdier fra lastetilstanden Fullast ankomst fri væske + is (vedlegg 12.3).

φ	**5°**	**10°**	**20°**	**30°**	**40°**	**50°**	**60°**
KN×sinφ	0,777	1,553	3,097	4,496	5,577	6,310	6,715
KG×sinφ	0,755	1,505	2,964	4,334	5,571	6,639	7,506
GZ	0,022	0,048	0,133	0,162	0,006	-0,329	-0,791



Figur 12 – GZ-kurve fullast ankomst med is

5.8.2 Krav til areal under GZ-kurven opptil 30° krengevinkel. Skipets y-verdier, hentet fra egen GZ kurve, settes inn i Simpsons formel.

	GZ verdier	**Simpsons faktorer**	$\boldsymbol{GZ \times Simpsons\ faktorer}$
y_0	$GZ_{0°} = 0m$	1	$1 \times 0 = 0$
y_1	$GZ_{5°} = 0{,}022m$	4	$0{,}022 \times 4 = 0{,}088$
y_2	$GZ_{10°} = 0{,}048m$	2	$0{,}048 \times 2 = 0{,}096$
y_3	$GZ_{15°} = 0{,}090m$	4	$0{,}090 \times 4 = 0{,}36$
y_4	$GZ_{20°} = 0{,}133m$	2	$0{,}133 \times 2 = 0{,}266$
y_5	$GZ_{25°} = 0{,}150m$	4	$0{,}150 \times 4 = 0{,}600$
y_6	$GZ_{30°} = 0{,}162m$	1	$0{,}162 \times 1 = 0{,}162$
Sum; $\boldsymbol{GZ \times Simpsons\ faktorer = 1{,}572}$			

$$h = 5°$$

Ved å sette inn gitte verdier vil formelen vise:

$$A_1 \approx \int_a^b f(x)\,dx \approx \frac{5}{3} \times \frac{\pi}{180}(1{,}572) \approx 0{,}046mrad$$

$$0{,}046mrad \not> 0{,}055mrad$$

Arealet ved krengevinkel opp til 30° er ikke større enn 0,055mrad. The Performer oppfyller ikke IMOs krav i denne lastetilstanden.

5.8.3 Krav til areal under GZ-kurven opptil 40° krengevinkel

Skipets y-verdier benyttes i Simpsons formel:

	GZ verdier	**Simpsons faktorer**	$\boldsymbol{GZ \times Simpsons\ faktorer}$
y_0	$GZ_{0°} = 0m$	1	$0 \times 1 = 0$
y_{10}	$GZ_{10°} = 0{,}048m$	4	$0{,}048 \times 4 = 0{,}192$
y_{20}	$GZ_{20°} = 0{,}133m$	2	$0{,}133 \times 2 = 0{,}266$

y_{30}	$GZ_{30°} = 0{,}162m$	4	$0{,}162 \times 4 = 0{,}646$
y_{40}	$GZ_{40°} = 0{,}006m$	1	$0{,}006 \times 1 = 0{,}006$
Sum; $GZ \times Simpsons\ faktorer = 1{,}10$			

$$h = 10°$$

Verdiene settes inn i Simpsons formel:

$$A_1 + A_2 \approx \int_a^b f(x)\,dx \approx \frac{10}{3} \times \frac{\pi}{180}(1{,}110) = 0.065mrad$$

$$0{,}065mrad \not> 0{,}09mrad$$

Utregningen viser at arealet opp til 40°, er mindre enn 0,09 meter-radianer. Fartøyet oppfyller ikke IMOs krav.

5.8.4 Krav til areal under GZ-kurven mellom krengevinkel 30° og 40°

$$(A_1 + A_2) - A_1 \approx A_2$$

$$0{,}065 - 0{,}046 \approx 0{,}019$$

$$0{,}019mrad \not> 0{,}03mrad$$

Manuelle kalkulasjoner viser at skipet ikke oppfyller IMOs krav i henhold til areal under GZ-kurven mellom krengevinkel 30° og 40°.

5.8.5 Krav til GZ-arm. Manuell kalkulasjon viser en GZ-verdi på 0,162m ved krengevinkel 30°. IMO krever en GZ-verdi på 0,20m eller mer ved krengningsvinkel lik eller større enn 30°. Fartøyet oppfyller ikke IMOs krav til GZ-verdi.

5.8.6 Krav til GM. Ved lastetilstanden fullastet ankomst med is er skipets dypgående 5,090m (vedlegg 12.1). Skipets hydrostatiske rapport (vedlegg 12) viser at avstanden KM er 8,913m, og VCG (KG) er 8,676m.

$$GM_0 = KM - KG = 8{,}913m - 8{,}676m = 0.237m$$

IMO krever at GM_0 er lik eller større enn 0,15m. The Performer oppfyller IMOs krav til GM_0.

5.8.7 Resultat. I is-tilstanden oppfyller ikke The Performer IMOs krav om areal under GZ-kurven på minst 0,055mrad ved en krengevinkel opp til 30°. Fartøyet oppfyller heller ikke IMOs krav på minst 0,09mrad opptil 40°, eller kravet på over 0,03mrad mellom 30° og 40° krengevinkel. I tillegg er The Performers rettende arm, GZ, for liten. Lengde GM oppfyller IMOs krav. Både manuelle kalkulasjoner, samt DelftShips beregninger, viser at The Performer ikke er sjødyktig i henholdt til IMOs stabilitetsregler i denne lastetilstanden.

Ved fullast avgangstilstand inneholder The Performers forbrukstanker 1323 tonn (vedlegg 10.2). I løpet av seilasen reduseres forbrukstankene med 90%, til 132,3 tonn (vedlegg 12.2). Fartøyet forbruker 1190,7 tonn. I både fullastet tilstand ved avgang, og fullastet tilstand ved ankomst oppfyller skipet IMOs stabilitetskrav. Vektene av is som legges på skipet ved ankomst tilstand er 63,36 tonn. Til tross for at vektene av is er betydelig mindre enn vektene brukt fra forbrukstanker, fører isen til at The Performer ikke oppfyller stabilitetskravene. Dette er fordi is legges høyt på fartøyet med lang VCG.

5.8.8 Hvordan forbedre intakt stabilitet. Som tidligere nevnt i kapittel 5.2 er avstanden KN gitt av skipets konstruksjon. KG derimot er delvis gitt av skipets konstruksjon, og delvis påvirkelig av vekter. G, skipets tyngdepunkt, er avhengig av vekter om bord, og påvirkelig ved flytting eller fjerning av vekter.

For at The Performer skal oppnå en godkjent intakt stabilitet i henhold til IMOs krav, må den rettende armen GZ øke. En større GZ vil øke opprettende moment ved enhver krengningsvinkel, og derfor øke arealene under GZ kurven.

$$GZ = KN \times sin\varphi - KG \times sin\varphi$$

Ved å fjerne is over tyngdepunktet, beveges tyngdepunktet G lengre ned i skipet. Avstanden KG vil som resultat bli kortere. KN×sinφ er gitt uavhengig av G. Formelen viser at GZ blir større dersom KG×sinφ minker. Jo høyere opp i fartøyet isen fjernes, desto mer påvirkning vil det ha på G, og dermed på stabiliteten til skipet.

Navigatør kan påvirke fartøyets intakte stabilitet ved nedising ved å fjerne is. Avisnings-prosessen bør begynne så høyt oppe på skipet som mulig for å oppnå størst effekt. Dette vil gi skipet større sannsynlighet til å tilfredsstille IMOs stabilitetskrav.

6. Drøfting av metoder ved forebygging og fjerning av nedising

Hvilke tiltak kan navigatøren ombord gjøre for å forhindre at skipet mister sin sjødyktighet i stabilitetsmessig sammenheng i forhold til nedising? Navigatør står ansvarlig for sikker stabilitet under seilas. Dette kapittelet tar for seg drøfting av problemstillingen og går nærmere inn på tiltak navigatør kan utføre ved å forebygge og fjerne is. Tiltakene er delt inn i to kategorier. Tiltak som kan gjennomføres før en seilas og tiltak som kan gjennomføres under seilas. Deretter vurderes hvilke metoder som egner seg godt på skipet The Performer. Oppgaven utfører et eksempelstudie for å teste stabiliteten ved redusert is-mengde på skipet.

6.1 Tiltak som kan gjennomføres før en seilas

Ved forberedelse av en seilas i arktiske farvann er det i kapittel 3.1 presentert metoder for å forebygge nedising, som kan gjennomføres før seilas. Elektriske varmesystemer, gode værprognoser og andre eksterne midler som kan påføres fartøyet før seilas, er metoder med dokumentert effekt på reduksjon av is.

6.1.1 Elektriske varmesystemer. Varme er et effektivt element ved bekjempelse av is. Fordi elektriske varmesystemer inngår i skipets konstruksjon, er installasjon av systemet en langsiktig metode ved fjerning av is. Installasjon av varmesystemer er ikke nødvendigvis navigatørens beslutning. I rederier står ledelsen for avgjørelser av opprustning ved skipets konstruksjon. Navigatører tar beslutning om når elektriske varmesystemer skal brukes, ved forebygging av nedising.

Fra et økonomisk perspektiv vil elektriske varmesystemer være en kostbar metode, både ved innkjøp, installasjon og ved bruk av systemet. På grunn av høyt energiforbruk kan derfor systemet anses som mer lønnsomt på lokale områder, i motsetning til større arealer av fartøyet. En beslutning ved bruk av elektriske varmesystemer bør tas i betraktning til skipets oppdrag. Ved større tidskrevende operasjoner vil varmesystemet sannsynligvis benyttes i stor grad i arktiske farvann. Dette kan medføre store økonomiske kostnader for rederiet, i motsetning til fartøy som benyttes ved kortere og mindre tidkrevende operasjoner i arktiske farvann.

Som tidligere nevnt i kapittel 3, skal rømningsveier holdes klare. Ved installering av varmesystem rundt nødutganger, luker og ventiler forblir rømningsveier åpne. Det er også viktig at eventuelle helikopterdekk holdes fri for is, da bruk av helikopter er en sikkerhetsfaktor ved hendelsesforløp av ulykker eller behov for evakuering. Fordi helikopterdekk går over ett stort areal vil varmetapet ved bruk av elektrisk varmesystem være

hyppig på dette området, og derfor bruke mye energi. Derfor kan det hevdes at på bakgrunn av sikkerhetsmessige årsaker er elektrisk varmesystem et godt alternativ til forhindring av is på overflater.

Ved bruk av systemet i rekkverk, gangpassasjer og leidere vil dette bidra til tryggere omgivelser å arbeide i. I tillegg vil elektriske varmesystemer spare mannskap for fysisk arbeid under harde omgivelser i større grad, sammenliknet med manuelle metoder for is-fjerning. For å tilrettelegge arbeidsforholdet til mannskap om bord kan elektrisk varmesystem brukes som metode.

6.1.2 Andre metoder som kan redusere nedising. Som nevnt i kapittel 3.1.2 viser Stallabrass (1970) sin forskning på neising å ha dokumentert effekt etter testing i isvindtunell og ved utendørs test plasser. Metodene baseres på å legge materialer og kjemikalier på overflater der det ikke ønskes is. På grunn av lite funn av disse metodene ved litteratursøk, kan videre forskning anses å være nødvendig.

6.1.3 Meteorologisk prognose. Meteorologiske forhold er essensielt med tanke på ising av skip. Ved hjelp av værprognoser kan forebygging av nedising starte tidlig. Skip i det arktiske farvann har da mulighet får å planlegge ruter med formål å seile rundt områder med høy risiko for nedising. Ved å forutse kommende meteorologiske forhold før en seilas, er værmeldinger til stor nytte.

Fjerning av is er energikrevende og kan føre til økonomiske utgifter. Ved å planlegge seilas basert på meteorologiske forhold vil nedising reduseres, og ressurser som ellers ville bli brukt på fjerning av en større mengde is, frigjøres og kan benyttes til andre oppgaver om bord. Samuelsen (2017) presenterer en mer pålitelig metode for is-prognose, enn hva som tidligere har vert tilgjengelig. Prognosen gir, basert på værstasjoner plassert på skip, en bedre forutsetning for områder med fare for nedising. Fra en navigatørs ståsted vil dette bidra i stor grad til ruteplanlegging av sikrere seilaser ved å unngå havområder med høy risiko for ising, men prognosene kan også slå feil. Navigatører må ta høyde for feilestimerte prognoser, og derfor være forberedt med både utstyr og ressurser dersom en hyppigere nedising enn anslått skulle oppstå. Ved for god tiltro til prognosene risikerer fartøyet å havne i uforberedte situasjoner som fører til større tap både økonomisk og ved bruk av ressurser.

Bruk av prognoser for å estimere kommende nedising på fartøyet er absolutt forebyggende. Navigatør må ta høyde for at metoden ikke hindrer nedisingsprosessen, og må derfor stille forberedt med ressurser tilfelle nedising skulle oppstå.

6.2 Tiltak som kan gjennomføres under en seilas

Tiltak ved forebygging og fjerning av is som kan gjennomføres under seilas, står i navigatørens fulle makt å iverksette. Ved trussel av sikkerheten om bord er navigatør pålagt å påbegynne avisningsprosess. I kapittel 3.2 beskriver oppgaven bruk av verktøy, salting & kjemikalier, fartøyets eget utstyr, samt vann til bruk ved forebygging eller fjerning på skip.

6.2.1 Verktøy til hugging av is. Verktøy har lenge vært benyttet, og er en velkjent metode for fjerning av is på skip. Metoden krever enkelt utstyr, og lite forberedelser før bruk. Denne form for metode kan derfor anses som økonomisk.

Metoden fungerer ved fjerning av is. Ved hjelp av hugging vil det være mulig å fjerne store mengder is på kort tid, fordi isen sprekker og løsrives fra dekk, for så å lempes over bord. Effektiviteten vil ha betydelig påvirkning av hvor mye mannskap en har tilgjengelig for hugging.

Ved utførelse av metoden benyttes menneskekraft, noe som er en begrenset ressurs. Mannskap utsettes for hardt fysisk arbeid, under utfordrende kalde forhold. Denne type metode vil være en fysisk påkjenning, og motivasjon til å fortsette arbeidet kan tenkes å tære på mannskapet. I tillegg kan denne type metode skape problemer dersom nedisingen har en raskere prosess enn huggingen.

Som tidligere nevnt i oppgaven, kapittel 3.2.1, anbefales gummislegge ved hugging av is. Dette anses å være et skånsomt og effektivt verktøy. I tillegg etterlater bruk av gummislegge lite påvirkning i form av skader på konstruksjonen, sammenliknet med verktøy i hardere materialer som metall. Dersom gummislegge ikke er tilgjengelig om bord, er også øks og hammer egnet for is-hugging, til tross for at metodene ikke er de mest ønskelige med tanke skader på fartøyet.

Dekk, rekkverk, leidere og andre bruksområder er lett tilgjengelig for is-hugging om bord på skip. Andre arealer hvor tilgjengeligheten ikke er like beleilig, som for eksempel mast og eventuelt kran, kan by på utfordringer ved is- hugging. Ved hugging på styrhustak og mast må radar slås av, av sikkerhetsmessige årsaker, grunnet radioaktive bølger. Følgene av å slå av radar er utfordrende navigering, samt risiko for å ikke se eventuelle farer i omgivelsene rundt fartøyet.

6.2.2 Salting & kjemikalier. Ved seilas i arktiske farvann, er salt en god ressurs å ha med ombord. Enkelte typer skip, som fartøy innen fiskerinæringen, vil gjerne ha større mengder salt om bord som bruksvare til for eksempel koking og lagring av fangst. Andre skip kan gjøre

godt i å ta med salt ved seilas nordover. Dersom nedising av skipet er forventet, kan salting av dekksarealet og styrhustaket være lønnsomt. Dette kan forebygge nedising.

Salt er billig, og blir dermed en økonomisk metode for forebygging og fjerning av is. Ved lange tidskrevende operasjoner i arktiske farvann, vil man sannsynligvis trenge større mengder salt, noe som kan gjøre metoden mer kostbar da salt er en forbruksvare.
Som nevnt i kapittel 3.2.2 kan salt brukes før nedising, under nedising og ved både atmosfærisk og maritim nedising. Dette gjør at metoden blir både forebyggende og fjernende. Salt er en effektiv metode, grunnet egenskapen salt har til å løse seg opp i smelteprosessen og vil dermed senke frysepunktet til is.

Kjemikalier har ulike egenskaper. For å oppnå økt effekt ved forebygging og fjerning av is kan kjemikalier blandes. Kaliumacetat er ofte blandet med rustmiddel for å forhindre at overflater ruster. Dette er en fordel da enkelte andre blandinger medfører økt korrosjon. Som nevnt i kapittel 3.2.5, er natriumklorid mindre effektivt ved lave temperaturer og har en tendens til å øke korrosjon. Natriumklorid tiltrekker seg vann som fører til glatte overflater, noe som truer mannskapets sikkerhet på dekk. Derfor er kjennskap til de ulike kjemikaliene viktig før bruk. Ved bruk av rette kjemikalier til egnede forhold kan en spare seg for problemer og metoden vil bli mer effektiv.

Ved bruk av denne metoden må menneskekraft benyttes. Menneskekraft er en begrenset ressurs og det vil derfor være lønnsomt med gode metoder for å spre kjemikalier for å spare energi. På grunn av sikkerhet ved helse, bør mannskap benytte verneutstyr ved påføring av kjemikalet. Skyllestasjoner skal være godt oppmerket på skipet, da det kan forekomme uhell.

6.2.3 Skipets eget utstyr. Som nevnt i 3.2.3 kan en starte skipets hydraulikk for å varme olje, slik at is smelter eller fjernes lett. Dette er ikke en spesielt økonomisk metode, da en bruker mer drivstoff av å ha hydraulikken i gang. Vinsjer- og ankervinsjer kan også bli slitt som et resultat av mye bruk. Noe som igjen resulterer i uønskede økonomiske kostnader.

Bruk av skipets eget hydraulikksystem er en lettvint metode ved nedising, da systemet er maskindrevet og ikke krever menneskelige ressurser. Hydraulikksystemet vil virke som lokal oppvarming. Systemet frigjør ressurser i form av mannskap, som kan brukes til andre områder på skipet, hvor hydraulikken ikke vil være behjelpelig.

6.2.4 Bruken av vann til fjerning av is. En stor fordel ved bruk av denne metoden er at en kan bruke både ferskvann og sjøvann. Ved bruk av ferskvann må vannet ha varme for å fjerne

is, mens ved sjøvann kan man som nevnt i kapittel 3.2.4 bruke vann med temperatur rett over frysepunkt. Dette er en fordel fordi skipet slipper å bruke mer energi på å varme opp vannet før bruk, og vil gjøre metoden økonomisk.

Metoden har to forutsetninger for å fungere som avisingsmetode, dreneringsmuligheter og lite vind. Ved bruk av vann for fjerning av is, er gode dreneringsmuligheter høyst nødvendig slik at vannet ikke forblir på dekk. Metoden er ikke gunstig i vindmessige værforhold da vannet lettere fryser og vil resultere i større mengder is enn utgangspunktet. Dreneringsmuligheter og vindforhold tas i betraktning før en eventuell bruk av vann som de-isings metode.

6.3 Metoder til bruk på The Performer

Oppgaven vurderer bruk av metoder på skipet The Performer. Metodene testes ved kalkulasjoner, og isens reduksjon estimeres.

Etter oppgavens vurderinger av metodebruk, anses elektriske varmesystem, hugging og bruk av kjemikalier som mest effektive metoder ved forebygging og redusering av is på skipet The Performer. I tillegg skal navigatør skal ha oppdaterte værprognoser, for å forberede både mannskap og skip på kommende meteorologiske utfordringer.

Installasjon av elektriske varmesystem er ikke navigatørs beslutning alene, men navigatør kan ha en påvirkning, samt bestemme når systemet skal benyttes under seilas. Skipet The Performer har helikopterdekk. På bakgrunn av varmesystemets effekt, anses systemet som beleilig å benytte på skipets helikopterdekk og rømningsveier av sikkerhetsmessige årsaker.

Hugging av is med gummislegge er en effektiv metode ved fjerning av is på tilgjengelige områder på fartøyet, til tross for metodens behov for menneskelig ressurs. Styrhustak og øverste del av overbygg på skipet The Performer, egner seg for bruk av denne metoden på grunn av sin tilgjengelighet.

For å redusere mengde is på The performer, benyttes kjemikalier. Kjemikaliene sprøytes på skipets styrhustak og øverste del av overbyggets fire sider. Dette skjer både før entring av område med høy risiko for nedising og etter påbegynt nedisingsprosess. Bruk av kjemikalier, som tidligere nevnt i kapittel 6, vil gjøre isen på skipet mykere, og derfor effektivisere huggeprosessen. I eksempelstudiet, kapittel 5.8, ved lastetilstand med is (vedlegg 12) er lufttemperatur satt til -10°C. For å oppnå best mulig effekt av kjemikalie ved en lav lufttemperatur, benyttes en blanding mellom natriumklorid og kalsiumklorid. Natriumklorid

grunnet stoffets effekt på is, samt kalsiumklorid grunnet stoffets holdbarhet ved lave temperaturer.

Navigatør må være godt forberedt på nedising før seilas. Meteorologiske forhold skal vurderes. Som vist i kapittel 5.8 kan nedising av skip forekomme raskt. Derfor er gode forberedelser høyst nødvendig. Navigatør kan på forhånd av seilas plotte inn estimerte is-mengder på lastekalkulator for å forutse isens påvirkning på stabilitet. Valg av metode må være vurdert før påbegynt seilas for å ruste fartøyet med riktig, samt rikelig mengde utstyr. Ved bruk av elektrisk varmesystem, hugging og kjemikalier, vil is-mengden på skipet reduseres. Kombinasjon av flere metoder for å bekjempe is vil føre til en mer effektiv prosess av is-reduksjonen.

6.4 Eksempelstudie ved bruk av metoder for is-fjerning

Oppgaven estimerer resultatet av å benytte elektrisk varmesystem, is-hugging med gummislegge og bruk av kjemikalier for å redusere mengden is på skipet The performer. Kalkulasjonen i dette kapittelet viser effekten på skipets stabilitet ved bruk av disse metodene. For å gi størst mulig utslag på stabiliteten og tyngdepunkt G, reduseres is fra styrhustak og øverste del av overbyggets fire sider da dette er høye deler av skipet. Av sikkerhetsmessige årsaker tar utregning i betraktning at helikopterdekk er fri for is.

Etter å ha benyttet elektrisk varmesystem, hugging og kjemikalier viser oppgaven en ny lastetilstand. Lastetilstanden er kun utført ved manuelle kalkulasjoner, og ikke regnet i dataprogrammet DelftShip. Oppgavens manuelle utregning henter data fra The Performers ankomsttilstand med is (vedlegg 12). Data som er hentet er tilstandens dypgående og KM. Fordi skipets lastetilstand med is ved ankomst (vedlegg 12) har mer vekter plassert høyt på skipet, vil KM være lenger enn hva som er realistisk. Konsekvensen av dette er at resultatet av i ny lastetilstand etter redusert is-mengde vil vise en kortere avstand GM enn realistisk senario.

I lastetilstand ved ankomst med is (vedlegg 12) regnes The Performer å holde en is-mengde på 63,36 tonn. Utregning i kapittel 5.7, samt DelftShips kalkulasjoner (vedlegg 12) viser at The Performer ikke oppfyller IMOs stabilitetskrav ved laste-tilstanden. Etter reduksjon av is på fartøyet regnes is-mengden å være 13,06 tonn.

Fjerning av is på øverste del av overbyggets konstruksjon, vil gi en lavere VCG til overbygget. Dette er fordi vekter, i form av is, reduseres. Dermed senkes overbyggets tyngdepunkt G.

Reduksjon av is gir skipet ny VCG (KG):

Item	Vekt (t)	VCG (KG)	Moment (tm)
Lettskip	3838,82	8,114	31148,18
Dekkslast	1200,00	10,10	12120
Bunkersolje	72,70	0,50	36,35
Ferskvann	56,00	1,00	56,00
Smørolje	3,60	0,50	1,80
Sum	5171,12		43362,34
Is Overbygg	11,06	10	110,6
Is brønnåpning	2	18	36
SUM	5184,18		43508,94

$$VCG(KG) = \frac{Moment\ (tm)}{Vekt\ (t)} = \frac{43508{,}94}{5184{,}18} = 8{,}392m$$

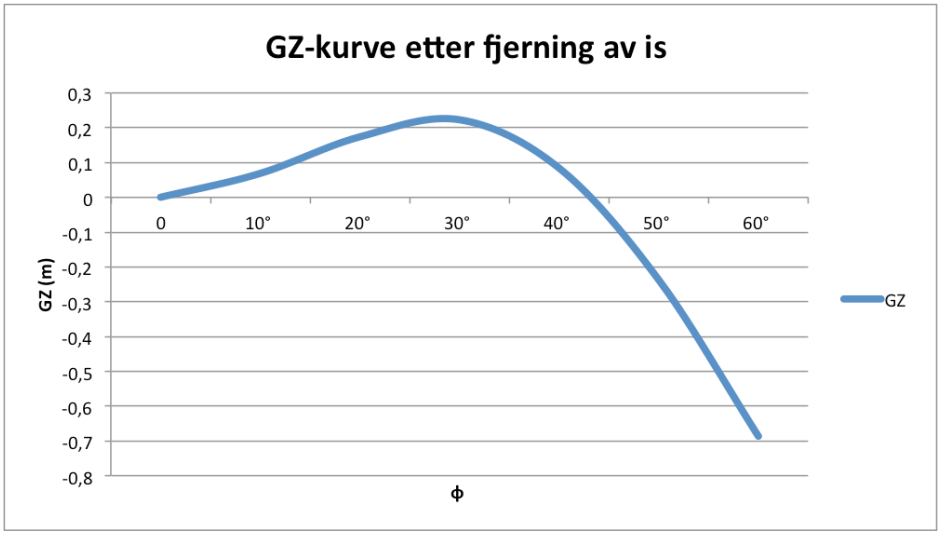
I skipets is kondisjon er slakke tanker (0,155m) tatt i betraktning. Med fri væske overflate, blir VCG til fartøyets kondisjon med redusert is-mengde:

$$VCG(KG)_{Ny} = VCG + GG_1 = 8{,}392 + 0{,}155 = 8{,}547$$

Nye GZ verdier for tilstanden beregnes:

φ	5°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
KN×sinφ	0,777	1,553	3,097	4,496	5,577	6,31	6,715
KG×sinφ	0,744	1,484	2,923	4,273	5,493	6,547	7,401
GZ	0,033	0,069	0,174	0,223	0,084	-0,237	-0,686

GZ-kurve:



Figur 13 – GZ-kurve etter fjerning av is

6.4.1 Krav til areal under GZ-kurven opptil 30° krengevinkel

Verdier i GZ-kurven benyttes i Simpsons formel:

	GZ verdier	**Simpsons faktorer**	$\boldsymbol{GZ \times Simpsons\ faktorer}$
y_0	$GZ_{0°} = 0m$	1	$1 \times 0 = 0$
y_1	$GZ_{5°} = 0{,}033m$	4	$0{,}033 \times 4 = 0{,}132$
y_2	$GZ_{10°} = 0{,}069m$	2	$0{,}069 \times 2 = 0{,}138$
y_3	$GZ_{15°} = 0{,}122m$	4	$0{,}122 \times 4 = 0{,}488$
y_4	$GZ_{20°} = 0{,}174m$	2	$0{,}174 \times 2 = 0{,}348$
y_5	$GZ_{25°} = 0{,}198m$	4	$0{,}198 \times 4 = 0{,}792$
y_6	$GZ_{30°} = 0{,}223m$	1	$0{,}223 \times 1 = 0{,}223$
Sum Simpsons faktorer: $\boldsymbol{GZ \times Simpsons\ faktorer = 2{,}121}$			

$$h = 5°$$

Ved å sette inn gitte verdier vil formelen vise:

$$A_1 \approx \int_a^b f(x)\,dx \approx \frac{5}{3} \times \frac{\pi}{180}(2{,}121) \approx 0{,}061 mrad$$

$$0{,}061 mrad > 0{,}055 mrad$$

Etter å ha redusert is-mengden på The Performer, oppnår skipet IMOs krav til areal lik eller mer enn 0,055 meter radianer under GZ kurven opp til 30°.

6.4.2 Krav til areal under GZ-kurven opptil 40° krengevinkel

GZ-kurvens verdier benyttes i Simpsons formel:

	GZ verdier	**Simpsons faktorer**	$\boldsymbol{GZ \times Simpsons\ faktorer}$
y_0	$GZ_{0°} = 0m$	1	$0 \times 1 = 0$
y_{10}	$GZ_{10°} = 0{,}069m$	4	$0{,}069 \times 4 = 0{,}276$
y_{20}	$GZ_{20°} = 0{,}174m$	2	$0{,}174 \times 2 = 0{,}348$
y_{30}	$GZ_{30°} = 0{,}223m$	4	$0{,}223 \times 4 = 0{,}892$
y_{40}	$GZ_{40°} = 0{,}084m$	1	$0{,}084 \times 1 = 0{,}084$
Sum; $\boldsymbol{GZ \times Simpsons\ faktorer = 1{,}6}$			

$$h = 10°$$

Verdiene settes inn i Simpsons formel:

$$A_1 + A_2 \approx \int_a^b f(x)\,dx \approx \frac{10}{3} \times \frac{\pi}{180}(1{,}6) = 0.093 mrad$$

$$0{,}093 mrad > 0{,}090 mrad$$

Etter å ha redusert mengden is på The Performer, oppnår skipet IMOs krav til areal lik eller mer enn 0,09 meter radianer under GZ kurven opp til 40°.

6.4.3 Krav til areal under GZ-kurven mellom krengevinkel 30° og 40°

$$(A_1 + A_2) - A_1 \approx A_2$$
$$0{,}093 - 0{,}061 \approx 0{,}032$$
$$0{,}032mrad > 0{,}03mrad$$

Etter å ha redusert mengden is på The Performer, oppnår skipet IMOs krav til areal lik eller mer enn 0,03 meter radianer under GZ kurven ved 30° til 40°.

6.4.4 Krav til GZ-arm. Oppgavens kalkulasjon viser GZ-arm på 0,223m ved krengevinkel 30°. IMO krever en GZ-arm på 0,20m eller mer ved krengevinkel lik eller større enn 30°. Fartøyet oppfyller IMOs krav for GZ verdier.

6.4.5 Krav til GM. Ved lastetilstanden fullastet ankomst med is er skipets dypgående 5,090m (vedlegg 12.1). Skipets hydrostatiske rapport (vedlegg 12) ser vi at avstanden KM er 8,913m, og VCG (KG) er 8,676m.

$$GM_0 = KM - KG = 8{,}913m - 8{,}547m = 0.676m$$

Resultatet av lengde GM_0 er kortere enn hva virkeligheten vil tilsi da KM og VCG (KG) verdier er hentet fra en mer kritisk lastetilstand. IMO krever en GM_0 lik eller større enn 0,15m. The Performer oppfyller IMOs stabilitetskrav for lengde GM_0.

6.4.6 Resultat. Etter å ha redusert mengde is på skipet, tilfredsstiller The Performer IMOs krav om areal under GZ-kurven på minst 0,055mrad ved en krengningsvinkel opp til 30°. Fartøyet tilfredsstiller også IMOs krav på minst 0,09mrad opptil 40°, samt kravet på lik eller mer enn 0,03mrad mellom 30° og 40° krengningsvinkel. The Performers rettende GZ-arm og GM_0, tilfredsstiller også IMOs krav. Ved hjelp av kalkulasjoner, viser oppgaven at The Performer er sjødyktig i henholdt til IMOs stabilitetsregler etter redusert is-mengde.

Tabellen viser en oversikt over lastetilstander i henhold til IMOs krav for intakt stabilitet:

Lastetilstand	Krav til areal under GZ-kurven opptil 30° krengevinkel (mrad)	Krav til areal under GZ-kurve opptil 40° krengevinkel (mrad)	Krav til areal under GZ-kurven mellom krengevinkel 30° og 40° (mrad)	Krav til GZ-arm ved krengevinkel lik eller større enn 30° (m)	Krav til GM_0 (m)
IMO krav	**≥0,055**	**≥0,09**	**≥0,03**	**≥0,20**	**≥0,15**
Fullast avgang	0,17	0,285	0,116	0,627	1,12
Fullast ankomst	0,056	0,092	0,036	0,29	0,39
Fullast ankomst is	0,046	0,065	0,019	0,162	0,237
Fullast ankomst is-reduksjon	0,061	0,093	0,032	0,223	0,676

Oppgaven viser i kapittel 5 at The Performer oppfyller IMOs kra til intakt stabilitet ved fullastet skip i avgangs- og ankomsttilstand. Ved ankomsttilstand med is oppfyller skipet ikke IMOs krav. Etter å ha redusert isen på skipet ved hjelp av gitte metoder, forbedres stabiliteten og The Performer oppfyller igjen IMOs krav til intakt stabilitet. Skipet er sjødyktig etter avising. Kalkulasjonene konkluderer med at navigatør kan påvirke skipets stabilitet ved å endre skipets tyngdepunkt G, og at is-reduksjon er mest effektiv dersom isen fjernes fra toppen av skipet først.

7. Konklusjon

Oppgavens problemstilling er *Hvilke tiltak kan navigatøren ombord gjøre for å forhindre at skipet mister sin sjødyktighet i stabilitetsmessig sammenheng i forhold til nedising?*

Formålet med oppgaven har vert å belyse hvordan ising påvirker stabilitet på skip i arktiske farvann og hvilke tiltak navigatør kan gjøre for at skipet skal opprettholde sjødyktighet under slike forhold. Begrepet sjødyktighet er i denne sammenheng koblet opp til IMOs krav til stabilitet.

Oppgaven er gjennomført som følger:

- Litteratursøk om forebygging og redusering av is på skip
- Undersøkelse av isens effekt på stabilitet
- Diskusjon av funn
- Gjennomført test av teorifunn på skip

Oppgaven viser at ising på skip kan føre til vesentlige endringer av stabilitet. Navigatør har ansvar for sjødyktigheten til skipet. Dersom fartøy skal gjennomføre seilas i arktiske farvann med fare for ising, anbefales navigatør å forberede både skip og mannskap på forebygging og fjerning av is. Forebygging og fjerning av is krever at både skip og mannskap er utstyrt med riktig utstyr og med tilstrekkelig midler for å utføre en effektiv de-isingsprosess. Utregningene viser også at fjerning av is er mest effektivt når isen høyt oppe på fartøyet fjernes først. Det anbefales at navigatør legger inn is i lastekalkulator for å forutse isingens påvirkning på stabilitet.

Referanser

Amundsen & Hansen. (2014). *The north west passage* (Vol. 2): Cambridge University Press.

Geist, T. (2005) APPLICATION OF AIRBORNE LASER SCANNER

TECHNOLOGY IN GLACIER RESEARCH. *Investigations on intra-annual elevation changes using multi-temporal airborne laser scanning data: Case study Engabre....* DOI: 10.3189/172756405781812592

IMO. (2002). *CODE ON INTACT STABILITY*. (Vol. 2) London: International Maritime Organization.

Kystverket (2017) Skal kartlegge risiko for hele Arktis. Hentet 04. april. 2018 fra:

http://www.kystverket.no/Nyheter/2017/oktober/skal-kartlegge-risiko-for-hele-arktis/

Laughlin. R. B., (2010) The Performer, Oceaneering. Hentet 12. september. 2017 fra:

http://large.stanford.edu/publications/coal/references/ocean/projects/performer/

Lonsdale, JT, & Norrby, T. (1985). Electric heat tracing designed to prevent icing.

Offshore;(United States).

L. David Minsk. (1977) Ice accumulation on ocean structures. s.15

CORPS OF ENGINEERS, U.S. ARMY

Marine Traffic (2018) The Providence. Hentet 12. september. 2017 fra:

https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:368469/mmsi:308215000/vessel:THE%20PROVIDENCE

Noer, G. (2018) Meteorologisk Institutt. Hentet 26. mars. 2018 fra:

Polart lavtrykk

https://snl.no/polart_lavtrykk

Overland et al. (1986) and Overland (1990), (2008, 20. august)

Prediction of vessel sea spray icing

http://www.met.nps.edu/~psguest/polarmet/vessel/predict.html

Peeples, B. (1998). Using salt to melt ice. MadSciNetwork. Hentet 16. april. 2018 fra:

http://www.madsci.org/posts/archives/1998-11/910675052.Ch.r.html

Polarinstituttet (2014, 04. mars) *Klimaendringer i Arktis.* Hentet 23. mars 2018 fra

http://www.npolar.no/no/tema/klima/arktis/

Polarinstituttet, (u.å.) *Klimaendringer i Arktis: Status og fremtid*. Hentet 23. mars 2018 fra http://www.npolar.no/no/tema/klima/klimaendringer/klimaendringer-arktis/

Polarinstituttet, (u.å.) *Arktis*. Hentet 23. mars 2018 fra http://www.npolar.no/no/arktis/

Polarinstituttet, (u.å.) ICE-havis. Hentet 11. april 2018 fra http://www.npolar.no/no/forskning/ice/havis/

Rashid, Khawaja & Edvardsen, (2016) Review of maritime icing and anti-/de-icing systems. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/20464177.2016.1216734

Rhodes, M. (2009) *Ship Stability OOW.* Scotland: Witherby Seamanship International Ltd

Samuelsen, E.M. (2017) Prediction of ship icing in Arctic waters: *Observations and modelling for application in operational weather forecasting*: PhD - UiT

Samuelsen, Løset & Edvardsen. (2015). Marine icing observed on KV Nordkapp during a cold air outbreak with a developing polar low in the Barents sea.

Shipspotting (2013) Arctic Seal. Hentet 12. september. 2017 fra: http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=1908970

Wæhle & Dahlum, (2018) Case-Studie. Hentet 25. april. 2018 fra: https://snl.no/case-studie

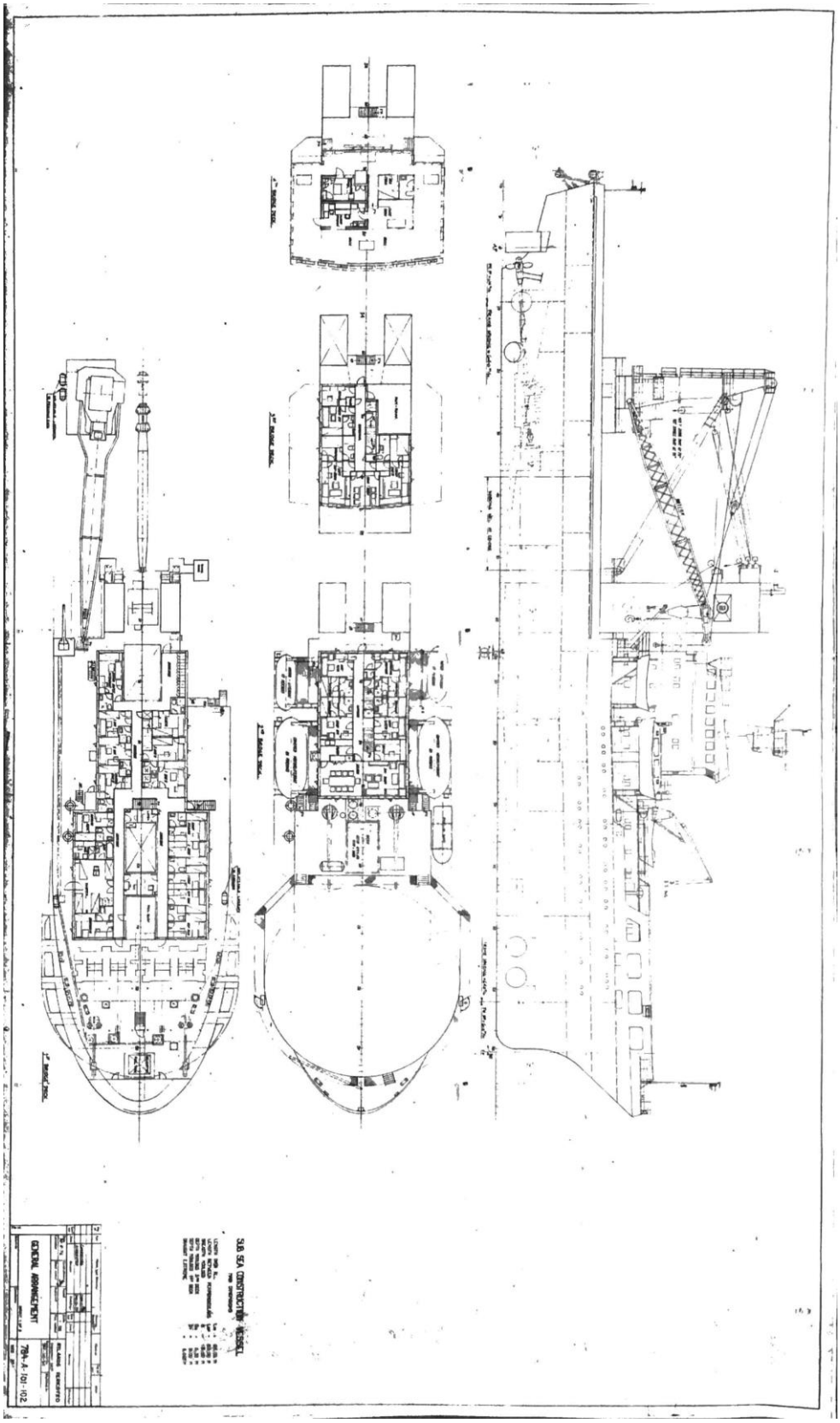
Ye, S. (1999). Conductive concrete overlay for bridge deck deicing. *ACI Materials Journal*.

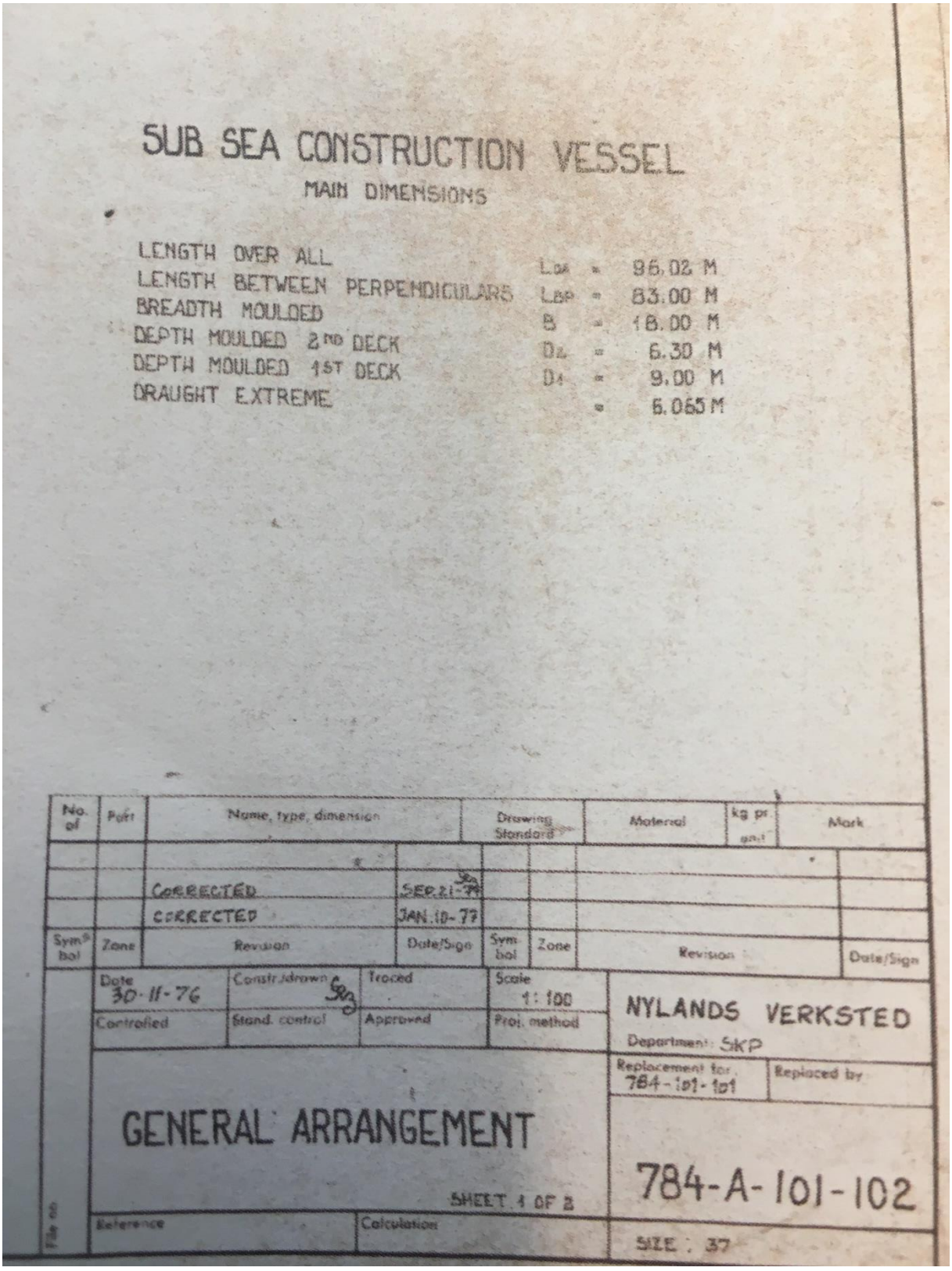
Zakrzewski, W.P. (1986). *Icing of ships. Part 1: splashing a ship with spray.* Hentet 08. April 2018 fra https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/9491

Kystverket (01. nov. 2017) Skal kartlegge risiko for hele Arktis. http://www.kystverket.no/Nyheter/2017/oktober/skal-kartlegge-risiko-for-hele-arktis/

Vedlegg

Vedlegg 1: General arrangement (2 sider)





SUB SEA CONSTRUCTION VESSEL

MAIN DIMENSIONS

LENGTH OVER ALL	L_{OA} =	96.02 M
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS	L_{BP} =	83.00 M
BREADTH MOULDED	B =	18.00 M
DEPTH MOULDED 2ND DECK	D_2 =	6.30 M
DEPTH MOULDED 1ST DECK	D_1 =	9.00 M
DRAUGHT EXTREME	=	6.065 M

No. of	Part	Name, type, dimension	Drawing Standard	Material	kg pr pc.!	Mark
		CORRECTED	SEP.21-77			
		CORRECTED	JAN.10-77			

Symbol	Zone	Revision	Date/Sign	Symbol	Zone	Revision	Date/Sign

Date 30-11-76	Constr./drawn	Traced	Scale 1:100
Controlled	Stand. control	Approved	Prot. method

NYLANDS VERKSTED

Department: SKP

Replacement for: 784-101-101 | Replaced by

GENERAL ARRANGEMENT

SHEET 1 OF 2

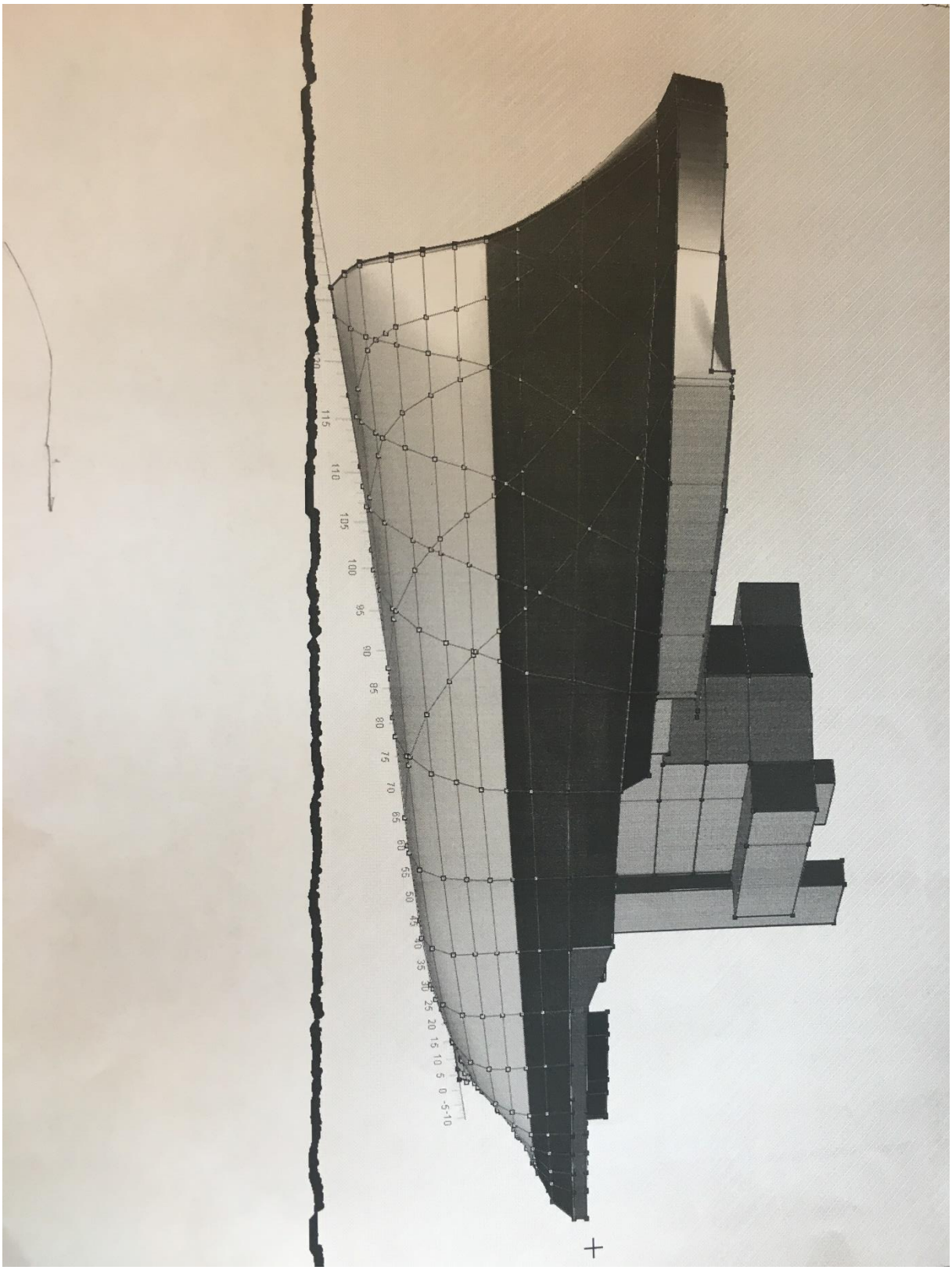
784-A-101-102

Reference | Calculation

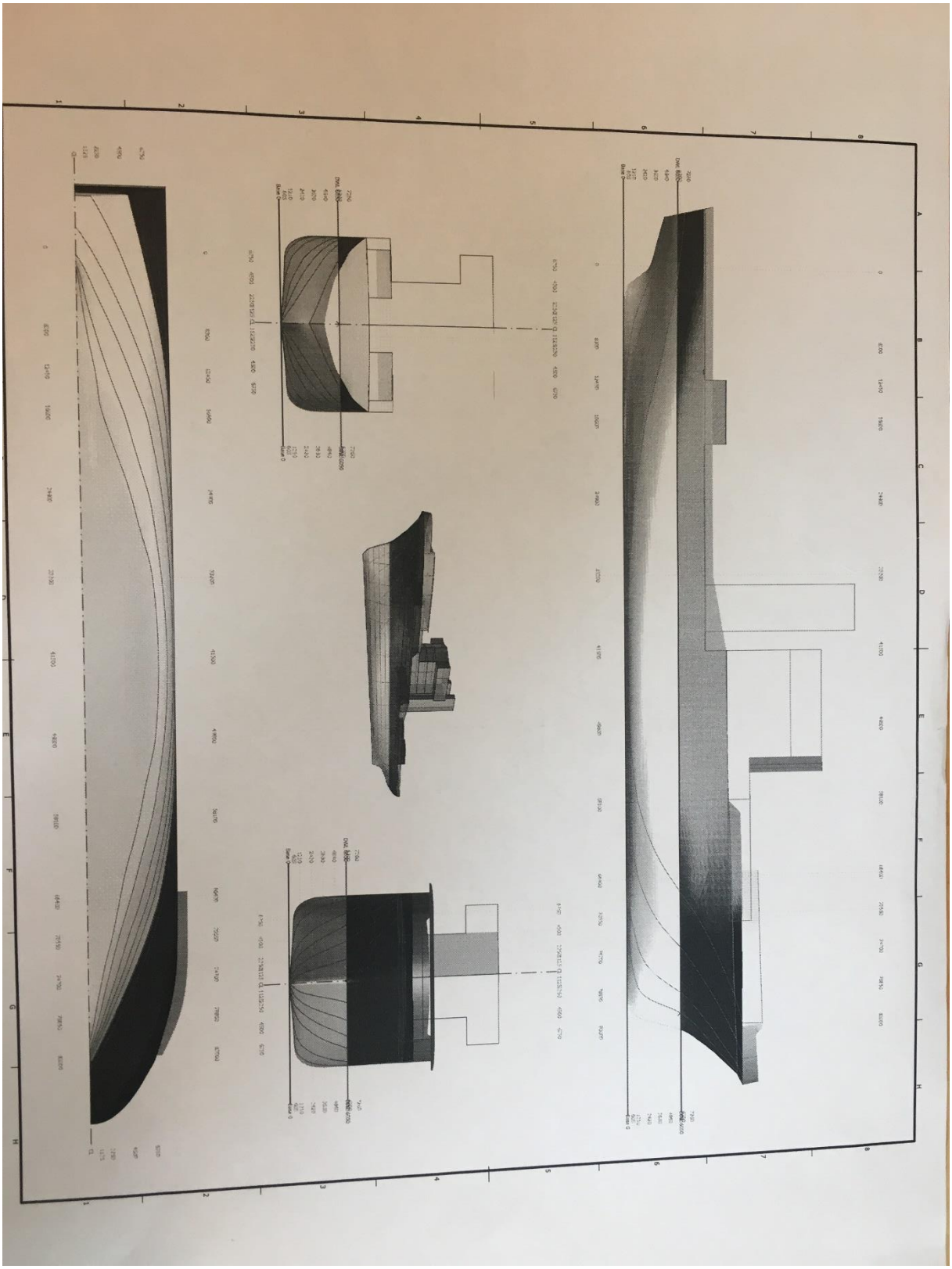
SIZE: A3

NAB3030
Kandidat: 10, 15, 40
Innleveringsfrist: 02.05.2018

Vedlegg 2: 3D modell av skip



Vedlegg 3: Skipets linjetegning



Vedlegg 4: Hydrostatisk rapport

Hydrostatics

Relative water density : 1,0250
Mean shell thickness : 0,0100 (m)

Trim: 0,000 (m)

Draft (m)	Volume (m^3)	Displ FW (tonnes)	Displ. (tonnes)	LCB (m)	VCB (m)	TCB (m)	Aw (m^2)	LCF (m)	KMt (m)	KMl (m)	MCT (t*m/cm)	TpCm (t/cm)
5,500	5342,86	5342,86	5476,43	39,308	3,161	0,000	1301,8	36,081	8,572	121,78	78,268	13,344
5,550	5408,06	5408,06	5543,26	39,269	3,189	0,000	1305,9	36,026	8,564	121,26	78,854	13,385
5,600	5473,45	5473,45	5610,29	39,230	3,218	0,000	1309,8	35,975	8,556	120,72	79,424	13,426
5,650	5539,05	5539,05	5677,52	39,191	3,247	0,000	1313,7	35,924	8,550	120,19	79,992	13,466
5,700	5604,84	5604,84	5744,96	39,152	3,275	0,000	1317,6	35,876	8,544	119,65	80,549	13,506
5,750	5670,81	5670,81	5812,58	39,114	3,304	0,000	1321,5	35,830	8,540	119,11	81,098	13,545
5,800	5736,97	5736,97	5880,40	39,075	3,332	0,000	1325,2	35,788	8,534	118,56	81,637	13,583
5,850	5803,32	5803,32	5948,41	39,037	3,361	0,000	1328,8	35,747	8,529	118,01	82,169	13,620
5,900	5869,86	5869,86	6016,60	39,000	3,389	0,000	1332,4	35,708	8,525	117,47	82,695	13,657
5,950	5936,57	5936,57	6084,98	38,963	3,418	0,000	1336,0	35,670	8,521	116,93	83,216	13,694
6,000	6003,46	6003,46	6153,55	38,926	3,446	0,000	1339,5	35,633	8,518	116,39	83,733	13,730
6,050	6070,52	6070,52	6222,28	38,889	3,475	0,000	1343,1	35,597	8,516	115,86	84,249	13,766
6,100	6137,75	6137,75	6291,20	38,853	3,503	0,000	1346,4	35,566	8,513	115,32	84,757	13,801
6,150	6205,16	6205,16	6360,29	38,817	3,532	0,000	1349,8	35,535	8,510	114,80	85,261	13,835
6,200	6272,74	6272,74	6429,56	38,781	3,560	0,000	1353,1	35,506	8,508	114,27	85,763	13,870
6,250	6340,48	6340,48	6498,99	38,746	3,589	0,000	1356,4	35,477	8,507	113,76	86,262	13,903
6,300	6408,39	6408,39	6568,60	38,711	3,617	0,000	1359,7	35,449	8,507	113,25	86,760	13,937
6,350	6476,46	6476,46	6638,37	38,677	3,646	0,000	1363,0	35,422	8,507	112,74	87,256	13,971
6,400	6544,70	6544,70	6708,31	38,642	3,674	0,000	1366,2	35,398	8,506	112,24	87,744	14,003
6,450	6613,09	6613,09	6778,41	38,609	3,703	0,000	1369,3	35,376	8,505	111,74	88,232	14,035
6,500	6681,63	6681,63	6848,67	38,575	3,731	0,000	1372,4	35,354	8,505	111,25	88,721	14,067

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.

Nomenclature

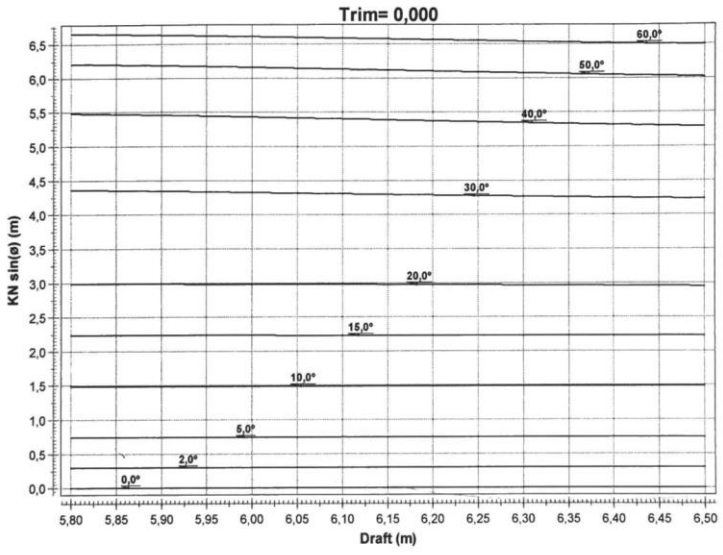
Draft	*Moulded draft, measured from baseline*
Volume	*Total displaced volume*
Displ FW	*Displacement fresh water*
Displ.	*Displacement*
LCB	*Longitudinal center of buoyancy, measured from the aft perpendicular at X=0.0*
VCB	*Vertical center of buoyancy*
TCB	*Transverse center of buoyancy*
Aw	*Waterplane area*
LCF	*Waterplane center of floatation, measured from the aft perpendicular at X=0.0*
KMt	*Transverse metacentric height*
KMl	*Longitudinal metacentric height*
MCT	*Moment to change trim one unit*
TpCm	*Weight to change the immersion with one unit*

Vedlegg 5: Cross Curves

Cross curves

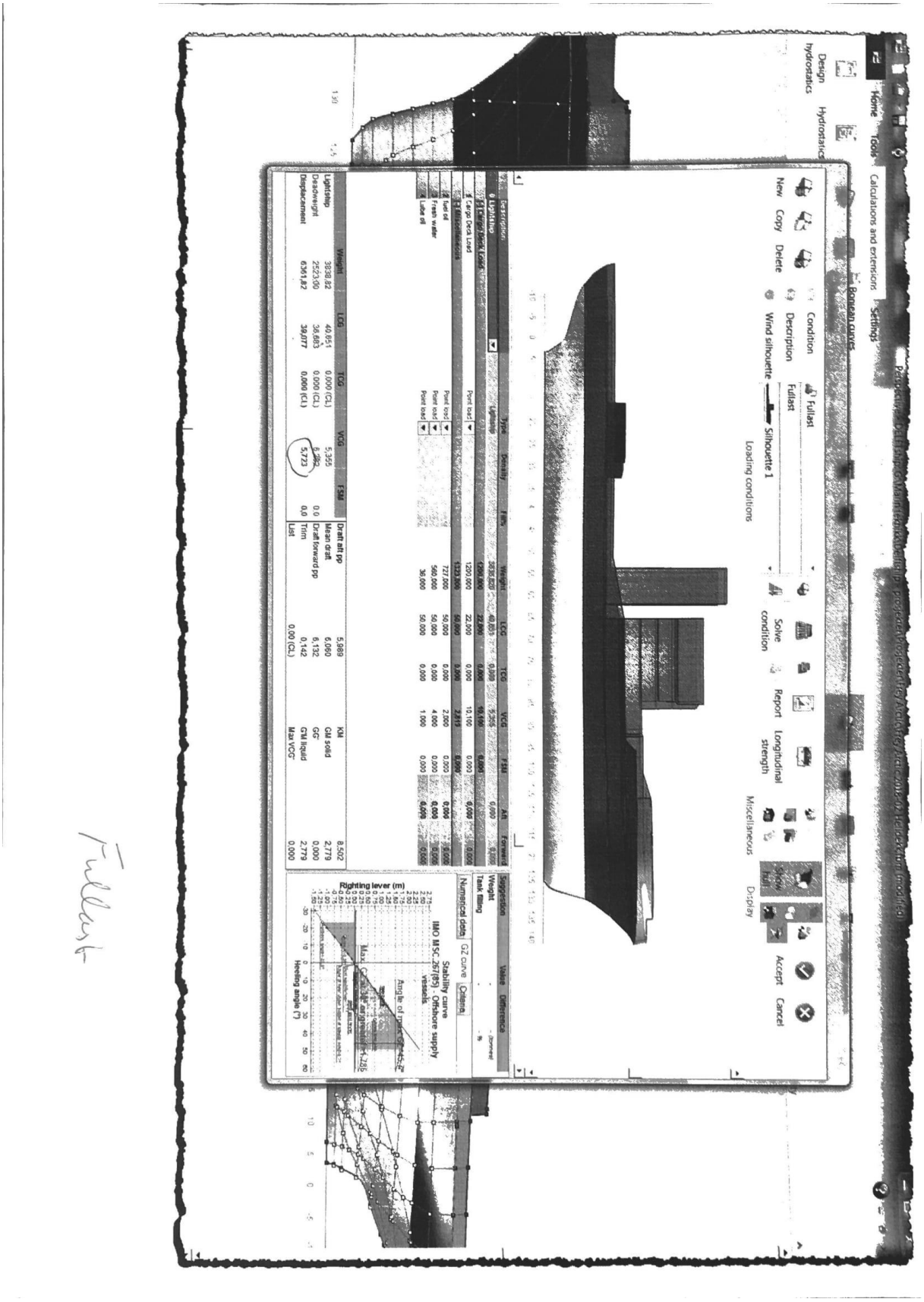
Trim= 0,000

Draft	0,0°	2,0°	5,0°	10,0°	15,0°	20,0°	30,0°	40,0°	50,0°	60,0°
5,800	0,000	0,298	0,745	1,491	2,238	2,988	4,364	5,485	6,214	6,658
5,850	0,000	0,298	0,744	1,490	2,237	2,986	4,355	5,473	6,201	6,646
5,900	0,000	0,297	0,744	1,489	2,236	2,984	4,346	5,460	6,187	6,634
5,950	0,000	0,297	0,744	1,488	2,234	2,983	4,336	5,447	6,174	6,623
6,000	0,000	0,297	0,743	1,488	2,233	2,981	4,327	5,433	6,160	6,611
6,050	0,000	0,297	0,743	1,487	2,232	2,979	4,317	5,420	6,147	6,599
6,100	0,000	0,297	0,743	1,487	2,232	2,977	4,308	5,406	6,133	6,587
6,150	0,000	0,297	0,743	1,486	2,231	2,974	4,298	5,392	6,120	6,575
6,200	0,000	0,297	0,742	1,486	2,230	2,972	4,289	5,377	6,106	6,563
6,250	0,000	0,297	0,742	1,485	2,230	2,968	4,279	5,363	6,092	6,551
6,300	0,000	0,297	0,742	1,485	2,229	2,965	4,269	5,348	6,078	6,539
6,350	0,000	0,297	0,742	1,485	2,229	2,961	4,259	5,333	6,064	6,527
6,400	0,000	0,297	0,742	1,485	2,229	2,957	4,250	5,318	6,049	6,514
6,450	0,000	0,297	0,742	1,485	2,228	2,953	4,240	5,303	6,035	6,502
6,500	0,000	0,297	0,742	1,485	2,228	2,948	4,230	5,287	6,020	6,491



NAB3030
Kandidat: 10, 15, 40
Innleveringsfrist: 02.05.2018

Vedlegg 6: Dobbeltbunn



Fullast

Vedlegg 7: Oceaneering - The Performer (2 sider)

Oceaneering International Web Site - 2010

Prof. Robert B. Laughlin
Department of Physics
Stanford University, Stanford, CA 94305

http://www.oceaneering.com/subsea-projects/vessels/the-performer
(Copied 21 Jan 10)

OCEANEERING (Click for Oceaneering Subsea Projects Page)

The Performer

The Performer, Oceaneering's 315 ft multi-service ROV support vessel, is well suited to a variety of subsea tasks:

- Subsea Construction Support
- Acoustic Survey Services
- Touchdown Monitoring
- Deepwater Drilling Support
- Pipeline Inspections
- Subsea Maintenance

ROV Services

ne Performer is an extremely stable and spacious work platform that can be adapted to support a range of underwater operations. A Hydra Millennium Plus 330 hp ROV System and a complete ROV Tooling Suite reside on the DNV DP-2 classed vessel.

Multi-Service

The Performer features a helideck and a 6,781 ft2 work-deck area. The vessel is especially suitable for subsea construction and repair operations such as changing control pods or chokes; testing and installing steel flying leads; valve operations and subsea completions.

Specifications:

Dimensions

- Length 315 ft
- Beam 59 ft
- Molded Depth 20 ft
- Draft 18 ft = 5,4864 m

Weights

$m = \frac{H}{3,2808}$

- Cargo Deck Load Capacity 1,200 LT
- Main Deck, Load Strength 1,500 lbs / ft2

Horsepower

- Total Available 6,000 hp
- Bow Tunnel Thrusters 2 x 1,000 hp
- Stern Tunnel Thrusters 2 x 1,000 hp

Velge 2x Rolls Royce B32:40 L6p 3200 kW
Hver: 33 200 kg

Capacities

- Fuel oil bunkers 240,000 gal ← 727 tonn
- Fresh water 148,000 gal ← 560,2 t
- Lube oil 11,900 gal ← 36 t

1 US gallon = 3,7854 l
$\rho = 0,8$

Accommodations

- 75 Persons
- Fully air-conditioned

Lifting Capacity

- Crane 50 T man-rated crane

Brochure

NAB3030
Kandidat: 10, 15, 40
Innleveringsfrist: 02.05.2018

Vedlegg 8: Maskineri (2 sider)

Fact Sheet

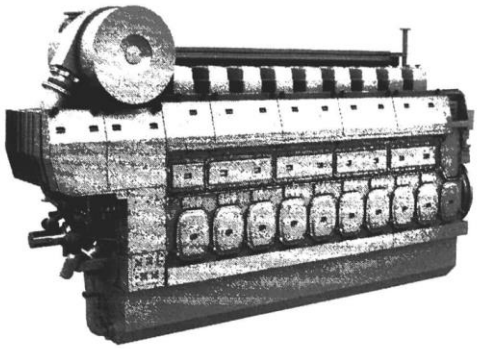
Rolls-Royce

Rolls-Royce diesel and gas engines

Bergen B32:40 - propulsion engine

Features

- Compact and powerful
- Low fuel oil consumption
- No leakage of fuel to lubricating oil system
- Designed for start & stop on HFO
- Service friendly
- Impulse type turbo charging system - Optimum response at all engine loads
- Super silent resilient mounting
- Available for clean design as an option



Choose Rolls-Royce engines for cost-effective operation.
For more than sixty years of operation, we have produced four stroke medium speed engines for marine propulsion, marine auxiliary and power generation to customers world wide.

Technical data for the Bergen B-engine with 750 rpm - propulsion type engine

Engine type		B32:40L6P	B32:40L8P	B32:40L9P	B32:40V12P	B32:40V16P
Number of cylinders		6	8	9	12	16
Engine speed	RPM	750	750	750	750	750
Mean piston speed	m/sec.	10	10	10	10	10
Max.cont rating	kW	3000	4000	4500	6000	8000
Max.cont rating (MCR)	BHP (metric)	4080	5440	6120	8160	10080
Mean effective pressure (BMEP)	Bar	24.9	24.9	24.9	24.9	24.9
Specific fuel consumption	g/kWh	185	185	185	185	185
Specific lubricating oil consumption	g/kWh	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Cooling water temp. engine outlet	°C	90	90	90	90	90

*Engine ratings are according to ISO 3046/1.They also meet conditions of max.45°C ambient air temperature and max. 32°C seawater temperature. Specific fuel oil consumption is based on MDO with a net calorific value of 42.7 MJ/kg and no engine driven pumps. If engine driven pumps, add 1 g/kWh for each pump.

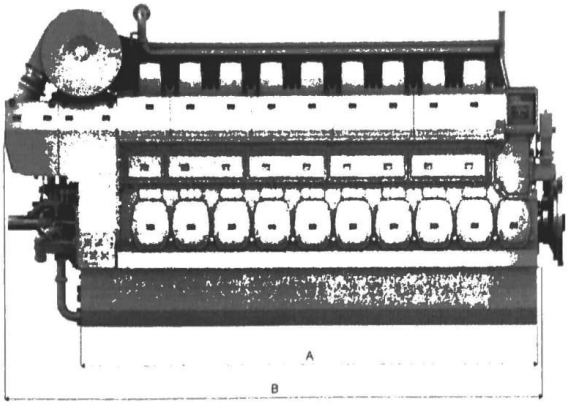
Heavy fuel operation
The engines are designed for operations on Heavy fuel with viscosity up to 55 cSt at 100°C ISO 8217 RMH55. Ratings will be specified subject to type of application.

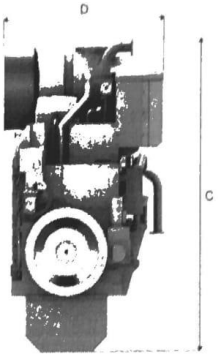
Waste heat recovery
Necessary data for arranging waste heat recovery plants (exhaust gas and cooling water) are available upon request.

Note
Due to continous development, some data may be change without notice.

02Bkr-1 of 2-11.12.08

Fact Sheet





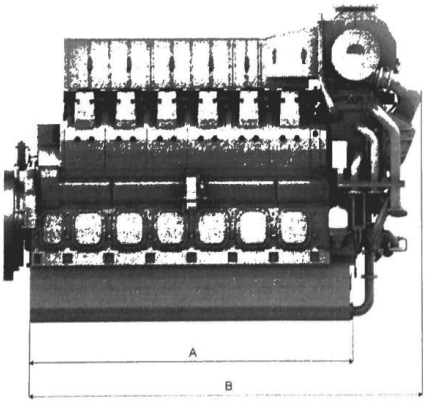
Principal dimensions

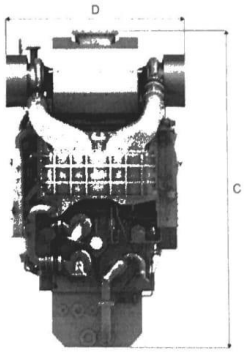
Cylinder dia. 320 mm. Piston stroke 400 mm.

All dimensions in mm.

Engine type	A	B	C	D	Weight dry engine**
B32:40L6P	4390	5383	3778	1882	33200 kg
B32:40L8P	5430	6422	3898	1955	40000 kg
B32:40L9P	5950	6942	3899	2003	45900 kg
B32:40V12P	4951	6040	4470	2712	53700 kg
B32:40V16P	6201	7698	4380	3192	62900 kg

Engine** = Engine and foundation.
Dimensions given apply for resiliently mounted engines.
Dimensions B exd. flywheel.





02Be-2 of 2-11-2/06

Rolls-Royce

Rolls-Royce Marine AS
Engines - Bergen
P.O. Box 924, N-5808 Bergen, Norway
Tel: +47 815 20 070 Fax: +47 55 53 61 04
E-mail: engines.bergen@rolls-royce.com
www.rolls-royce.com

© 2008 Rolls-Royce plc
Whilst this information is given in good faith, no warranty or representation is given concerning such information, which must not be taken as establishing any contractual or other commitment binding upon Rolls-Royce plc or any of its subsidiary or associated companies.

NAB3030
Kandidat: 10, 15, 40
Innleveringsfrist: 02.05.2018

Vedlegg 10: Fullast avgang

Vedlegg 10.1:

Intact stability

DELFTSHIP

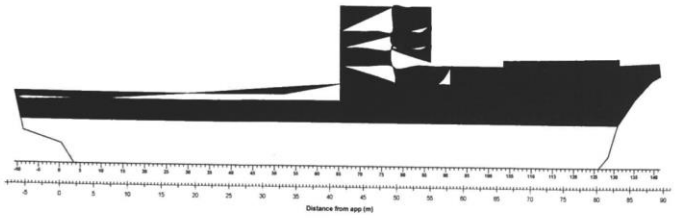
Fullast avgang

The Performer

Designer	
Created by	L.Paulsen
Comment	Ø.Husø
Filename	The Performer 2018-03.fbm

Design length	83,000 (m)	**Midship location**	41,500 (m)
Length over all	94,521 (m)	**Relative water density**	1,0250
Design beam	18,000 (m)	**Mean shell thickness**	0,0100 (m)
Maximum beam	18,000 (m)	**Appendage coefficient**	1,0000
Design draft	6,050 (m)		

Silhouette 1



Hydrostatic particulars

List	0,0 (CL) (Degr.)	**GG'**	0,000 (m)
Draft aft pp	6,152 (m)	**VCG'**	7,388 (m)
Mean moulded draft	6,151 (m)	**Max VCG'**	0,000 (m)
Draft forward pp	6,150 (m)	**GM solid**	1,123 (m)
Trim	-0,001 (m)	**G'M liquid**	1,123 (m)
KM	8,510 (m)	**Immersion rate**	13,836 (t/cm)
VCG	7,388 (m)	**MCT**	82,32 (t*m/cm)

Vedlegg 10.2:

escription	Density (t/m³)	Fill%	Weight (tonnes)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t*m)
Cargo Deck Load							
Cargo Deck Load			1200,00	20,600	0,000 (CL)	10,100	0,0
Miscellaneous							
fuel oil			727,00	50,000	0,000 (CL)	2,000	0,0
Fresh water			560,00	50,000	0,000 (CL)	4,000	0,0
Lube oil			36,00	50,000	0,000 (CL)	1,000	0,0
Totals for Miscellaneous			**1323,00**	**50,000**	**0,000 (CL)**	**2,819**	**0,0**
Lightship			**3838,82**	**40,651**	**0,000 (CL)**	**8,114**	
Deadweight			**2523,00**	**36,017**	**0,000 (CL)**	**6,282**	**0,0**
Displacement			**6361,82**	**38,813**	**0,000 (CL)**	**7,388**	**0,0**

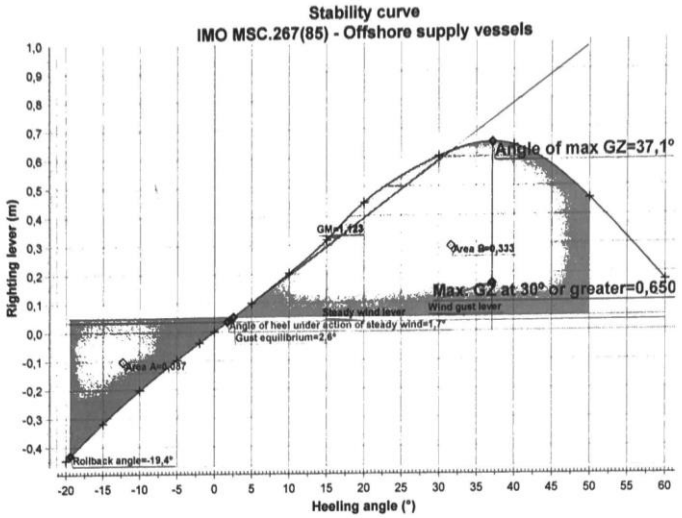
NAB3030
Kandidat: 10, 15, 40
Innleveringsfrist: 02.05.2018

Vedlegg 10.3:

DELFTSHIP

Righting levers

Heeling angle (Degr.)	Draft (m)	Trim (m)	Displacement (tonnes)	KN sin(ø) (m)	VCG sin(ø) (m)	GG' sin(ø) (m)	TCG cos(ø) (m)	GZ (m)	Area (mrad)
0,0° (CL)	6,151	-0,001	6361,82	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,0° (PS)	6,150	0,001	6361,82	0,297	0,258	0,000	0,000	0,039	0,001
5,0° (PS)	6,144	0,021	6361,82	0,743	0,644	0,000	0,000	0,099	0,004
10,0° (PS)	6,124	0,092	6361,82	1,486	1,283	0,000	0,000	0,203	0,017
15,0° (PS)	6,088	0,207	6361,81	2,231	1,912	0,000	0,000	0,319	0,040
20,0° (PS)	6,036	0,360	6361,82	2,974	2,527	0,000	0,000	0,447	0,074
30,0° (PS)	5,942	0,392	6361,82	4,297	3,694	0,000	0,000	0,603	0,167
40,0° (PS)	5,826	0,033	6361,82	5,389	4,749	0,000	0,000	0,640	0,278
50,0° (PS)	5,687	-0,654	6361,81	6,115	5,659	0,000	0,000	0,455	0,376
60,0° (PS)	5,434	-1,989	6361,79	6,568	6,398	0,000	0,000	0,170	0,431



Evaluation of criteria

IMO MSC.267(85) - Offshore supply vessels

International Code on Intact Stability (2008), Part B, §2.4

Description	Attained value	Criterion	Required value	Complies
Area 0° - 30° / Angle of Max GZ	**0,1667 (mrad)**	**>=**	**0,0550 (mrad)**	**YES**
Angle of max GZ	37,1 (Degr.)			
Calculated angle	37,1 (Degr.)			
Area 30° - 40°	**0,1112 (mrad)**	**>=**	**0,0300 (mrad)**	**YES**
Max. GZ at 30° or greater	**0,650 (m)**	**>=**	**0,200 (m)**	**YES**
Lower angle	30,0 (Degr.)			
Upper angle	90,0 (Degr.)			
Angle of max GZ	**37,1 (Degr.)**	**>=**	**15,0 (Degr.)**	**YES**
Initial metacentric height	**1,123 (m)**	**>=**	**0,150 (m)**	**YES**
Severe wind and rolling criterion (weather criterion)				**NO**
Wind silhouette:	Silhouette 1			
Wind pressure	51,4 (kg/m²)			
Wind area	557,27 (m²)			

04.03.2018 DELFTship 9.30 (307) 3

NAB3030
Kandidat: 10, 15, 40
Innleveringsfrist: 02.05.2018

Vedlegg 11: Fullast ankomst

Vedlegg 11.1:

Intact stability

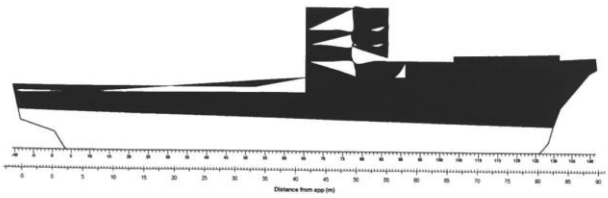
DELFTSHIP

Fullast ankomst

The Performer

Designer		L.Paulsen	
Created by		Ø.Husø	
Comment			
Filename		The Performer 2018-03.fbm	
Design length	83,000 (m)	**Midship location**	41,500 (m)
Length over all	94,521 (m)	**Relative water density**	1,0250
Design beam	18,000 (m)	**Mean shell thickness**	0,0100 (m)
Maximum beam	18,000 (m)	**Appendage coefficient**	1,0000
Design draft	6,050 (m)		

Silhouette 1



Distance from app (m)

Hydrostatic particulars

List	0,0 (CL) (Degr.)	**GG'**	0,000 (m)
Draft aft pp	6,136 (m)	**VCG'**	8,386 (m)
Mean moulded draft	5,123 (m)	**Max VCG'**	0,000 (m)
Draft forward pp	4,109 (m)	**GM solid**	0,544 (m)
Trim	-2,027 (m)	**G'M liquid**	0,544 (m)
KM	8,930 (m)	**Immersion rate**	13,475 (t/cm)
VCG	8,386 (m)	**MCT**	76,85 (t*m/cm)

Vedlegg 11.2:

Description	Density (t/m³)	Fill%	Weight (tonnes)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t*m)
Cargo Deck Load							
Cargo Deck Load			1200,00	22,000	0,000 (CL)	10,100	0,0
Miscellaneous							
fuel oil			72,70	50,000	0,000 (CL)	0,500	0,0
Fresh water			56,00	50,000	0,000 (CL)	1,000	0,0
Lube oil			3,60	50,000	0,000 (CL)	0,500	0,0
Totals for Miscellaneous			**132,30**	**50,000**	**0,000 (CL)**	**0,712**	**0,0**
Lightship			**3838,82**	**40,651**	**0,000 (CL)**	**8,114**	
Deadweight			**1332,30**	**24,780**	**0,000 (CL)**	**9,168**	**0,0**
Displacement			**5171,12**	**36,562**	**0,000 (CL)**	**8,386**	**0,0**

04.03.2018 DELFTship 9.30 (307)

2

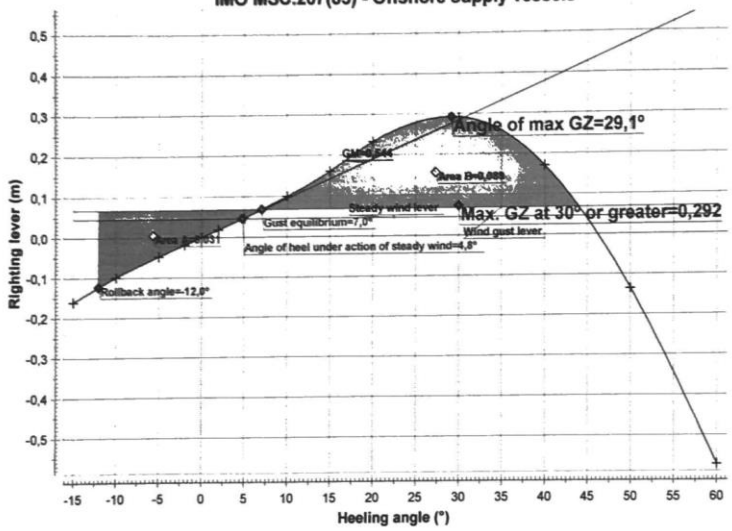
NAB3030
Kandidat: 10, 15, 40
Innleveringsfrist: 02.05.2018

Vedlegg 11.3:

Righting levers

Heeling angle (Degr.)	Draft (m)	Trim (m)	Displacement (tonnes)	KN sin(ø) (m)	VCG sin(ø) (m)	GG' sin(ø) (m)	TCG cos(ø) (m)	GZ (m)	Area (mrad)
0,0° (CL)	5,123	-2,027	5171,11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,0° (PS)	5,122	-2,022	5171,11	0,311	0,293	0,000	0,000	0,019	0,000
5,0° (PS)	5,116	-1,998	5171,12	0,778	0,731	0,000	0,000	0,048	0,002
10,0° (PS)	5,094	-1,915	5171,17	1,556	1,456	0,000	0,000	0,100	0,008
15,0° (PS)	5,056	-1,784	5171,12	2,331	2,170	0,000	0,000	0,161	0,020
20,0° (PS)	4,995	-1,610	5171,12	3,101	2,868	0,000	0,000	0,233	0,037
30,0° (PS)	4,818	-1,440	5171,09	4,485	4,193	0,000	0,000	0,292	0,085
40,0° (PS)	4,511	-1,729	5171,11	5,560	5,390	0,000	0,000	0,170	0,128
50,0° (PS)	4,007	-2,522	5171,10	6,288	6,424	0,000	0,000	-0,136	0,138
60,0° (PS)	3,200	-4,031	5171,12	6,690	7,262	0,000	0,000	-0,572	0,138

Stability curve
IMO MSC.267(85) - Offshore supply vessels



Evaluation of criteria

IMO MSC.267(85) - Offshore supply vessels

International Code on Intact Stability (2008), Part B, §2.4

Description	Attained value	Criterion	Required value	Complies
Area 0° - 30° / Angle of Max GZ	**0,0803 (mrad)**	**>=**	**0,0559 (mrad)**	**YES**
Angle of max GZ	29,1 (Degr.)			
Calculated angle	29,1 (Degr.)			
Area 30° - 40°	**0,0434 (mrad)**	**>=**	**0,0300 (mrad)**	**YES**
Max. GZ at 30° or greater	**0,292 (m)**	**>=**	**0,200 (m)**	**YES**
Lower angle	30,0 (Degr.)			
Upper angle	90,0 (Degr.)			
Angle of max GZ	**29,1 (Degr.)**	**>=**	**15,0 (Degr.)**	**YES**
Initial metacentric height	**0,544 (m)**	**>=**	**0,150 (m)**	**YES**
Severe wind and rolling criterion (weather criterion)				**NO**
Wind silhouette:	Silhouette 1			
Wind pressure	51,4 (kg/m²)			
Wind area	641,79 (m²)			

04.03.2018 DELFTship 9.30 (307)

3

NAB3030
Kandidat: 10, 15, 40
Innleveringsfrist: 02.05.2018

Vedlegg 12: Fullast ankomst fri væskeoverflate + is

Vedlegg 12.1:

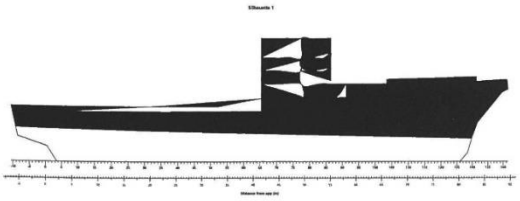
Intact stability

DELFTSHIP

Fullast ankomst fir væske + is

The Performer

Designer		L.Paulsen	
Created by		Ø.Husø	
Comment			
Filename		Frey Arctic 2018-02 Helidekk.fbm	
Design length	83,000 (m)	**Midship location**	41,500 (m)
Length over all	94,521 (m)	**Relative water density**	1,0250
Design beam	18,000 (m)	**Mean shell thickness**	0,0800 (m)
Maximum beam	18,000 (m)	**Appendage coefficient**	1,0000
Design draft	6,050 (m)		



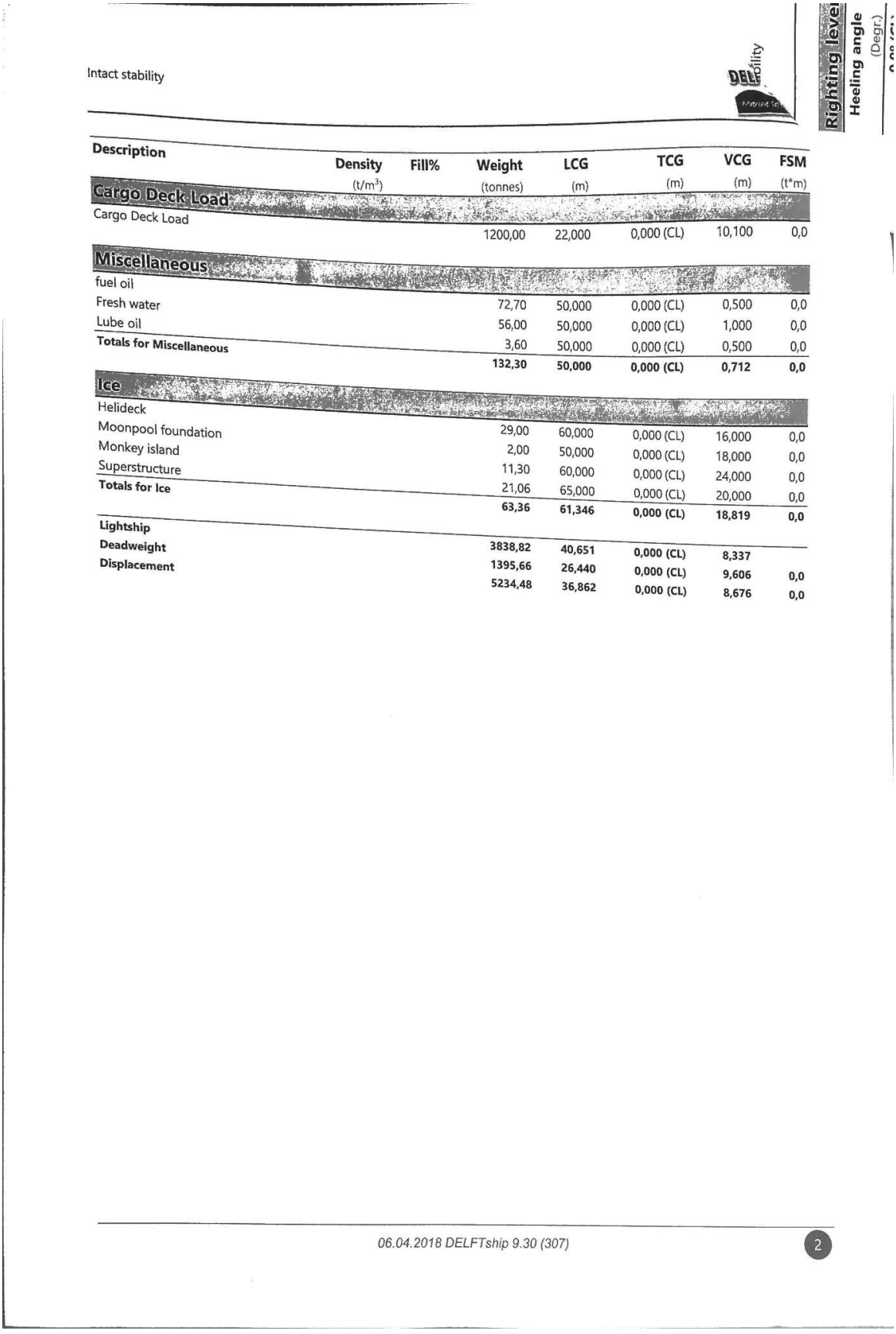
Hydrostatic particulars

List	0,0 (CL) (Degr.)	**GG'**	0,000 (m)
Draft aft pp	6,013 (m)	**VCG'**	8,676 (m)
Mean moulded draft	5,090 (m)	**Max VCG'**	0,000 (m)
Draft forward pp	4,168 (m)	**GM solid**	0,238 (m)
Trim	-1,845 (m)	**G'M liquid**	0,238 (m)
KM	8,913 (m)	**Immersion rate**	13,554 (t/cm)
VCG	8,676 (m)	**MCT**	77,81 (t*m/cm)

06.04.2018 DELFTship 9.30 (307)

1

Vedlegg 12.2:



Intact stability

Righting level
Heeling angle (Degr.)

Description	Density (t/m³)	Fill%	Weight (tonnes)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (t*m)
Cargo Deck Load							
Cargo Deck Load			1200,00	22,000	0,000 (CL)	10,100	0,0
Miscellaneous							
fuel oil			72,70	50,000	0,000 (CL)	0,500	0,0
Fresh water			56,00	50,000	0,000 (CL)	1,000	0,0
Lube oil			3,60	50,000	0,000 (CL)	0,500	0,0
Totals for Miscellaneous			**132,30**	**50,000**	**0,000 (CL)**	**0,712**	**0,0**
Ice							
Helideck			29,00	60,000	0,000 (CL)	16,000	0,0
Moonpool foundation			2,00	50,000	0,000 (CL)	18,000	0,0
Monkey island			11,30	60,000	0,000 (CL)	24,000	0,0
Superstructure			21,06	65,000	0,000 (CL)	20,000	0,0
Totals for Ice			**63,36**	**61,346**	**0,000 (CL)**	**18,819**	**0,0**
Lightship			**3838,82**	**40,651**	**0,000 (CL)**	**8,337**	
Deadweight			**1395,66**	**26,440**	**0,000 (CL)**	**9,606**	**0,0**
Displacement			**5234,48**	**36,862**	**0,000 (CL)**	**8,676**	**0,0**

06.04.2018 DELFTship 9.30 (307)

2

NAB3030
Kandidat: 10, 15, 40
Innleveringsfrist: 02.05.2018

Vedlegg 12.3:

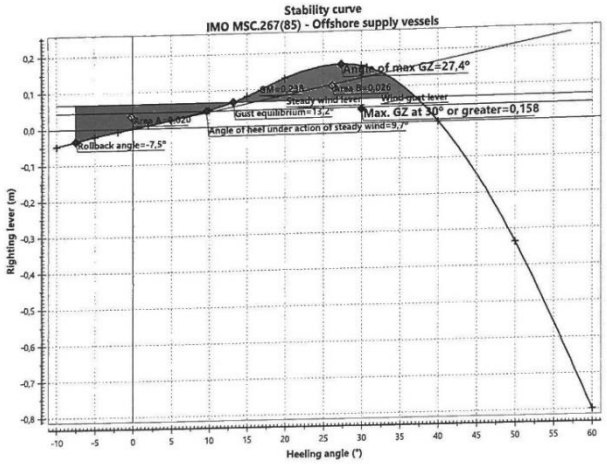
VCG (m)
FSM (tm)

DELFTship Stability

DELFTSHIP Maritime software

Righting levers

Heeling angle	Draft	Trim	Displacement	KN sin(ø)	VCG sin(ø)	GG' sin(ø)	TCG cos(ø)	GZ	Area
(Degr.)	(m)	(m)	(tonnes)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(mrad)
0,0° (CL)	5,090	-1,845	5234,46	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,0° (PS)	5,089	-1,840	5234,46	0,311	0,303	0,000	0,000	0,008	0,000
5,0° (PS)	5,083	-1,816	5234,47	0,777	0,756	0,000	0,000	0,021	0,001
10,0° (PS)	5,061	-1,730	5234,47	1,553	1,506	0,000	0,000	0,047	0,004
15,0° (PS)	5,021	-1,595	5234,48	2,328	2,245	0,000	0,000	0,082	0,009
20,0° (PS)	4,959	-1,416	5234,48	3,097	2,967	0,000	0,000	0,130	0,019
30,0° (PS)	4,767	-1,186	5234,48	4,496	4,338	0,000	0,000	0,158	0,046
40,0° (PS)	4,440	-1,406	5234,46	5,577	5,577	0,000	0,000	0,000	0,063
50,0° (PS)	3,903	-2,095	5234,46	6,310	6,646	0,000	0,000	-0,336	0,063
60,0° (PS)	3,043	-3,435	5234,48	6,715	7,513	0,000	0,000	-0,798	0,063



NAB3030
Kandidat: 10, 15, 40
Innleveringsfrist: 02.05.2018

Vedlegg 12.4:

Evaluation of criteria

IMO MSC.267(85) - Offshore supply vessels

International Codeon Intact Stability (2008), Part B, §2.4

Description	Attained value	Criterion	Required value	Complies
Area 0° - 30° / Angle of Max GZ	**0,0382 (mrad)**	**>=**	**0,0576 (mrad)**	**NO**
Angle of max GZ	27,4 (Degr.)			
Calculated angle	27,4 (Degr.)			
Area 30° - 40°	**0,0169 (mrad)**	**>=**	**0,0300 (mrad)**	**NO**
Max. GZ at 30° or greater	**0,158 (m)**	**>=**	**0,200 (m)**	**NO**
Lower angle	30,0 (Degr.)			
Upper angle	90,0 (Degr.)			
Angle of max GZ	**27,4 (Degr.)**	**>=**	**15,0 (Degr.)**	**YES**
Initial metacentric height	**0,238 (m)**	**>=**	**0,150 (m)**	**YES**
Severe wind and rolling criterion (weather criterion)				**NO**
Wind silhouette:	Silhouette 1			
Wind pressure	51,4 (kg/m^2)			
Wind area	645,26 (m^2)			
Steady wind lever	0,045 (m)			
Deck immersion angle	**Could not be calculated!** (Degr.)			
Wind gust lever	0,068 (m)			
Ratio of areaA/areaB	0,767	<=	1,000	**YES**
Maximum allowed static heeling angle	9,7 (Degr.)	<=	16,0 (Degr.)	**YES**
Max allowed ratio static angle/deck immersion angle	**Could not be calculated!**			**YES**

The condition does NOT comply with the stability criteria

NAB3030
Kandidat: 10, 15, 40
Innleveringsfrist: 02.05.2018