



Sjøkrigsskolen

Bacheloroppgave

Sammenligning av gjeldende regelverk hos DNV GL

– Vindstabilitet på Nordkapp-klasse –

av

Thomas Jensen og Daniel A. Granunaune

Lvert som en del av kravet til graden:

BACHELOR I MILITÆRE STUDIER MED FORDYPNING I MASKINFAG

Innlevert: Mai 2019

Godkjent for offentlig publisering

Publiseringsavtale

En avtale om elektronisk publisering av bachelor/prosjektoppgave

Kadettene har opphavsrett til oppgaven, inkludert rettighetene til å publisere den.

Alle oppgaver som oppfyller kravene til publisering vil bli registrert og publisert i Bibsys Brage når kadettene har godkjent publisering.

Oppgaver som er graderte eller begrenset av en inngått avtale vil ikke bli publisert.

Vi gir herved Sjøkrigsskolen rett til å gjøre denne oppgaven tilgjengelig elektronisk, gratis og uten kostnader	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei
Finnes det en avtale om forsinket eller kun intern publisering? (Utfyllende opplysninger må fylles ut)	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nei
Hvis ja: kan oppgaven publiseres elektronisk når embargoperioden utløper?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei

Plagiaterklæring

Vi erklærer herved at oppgaven er vårt eget arbeid og med bruk av riktig kildehenvisning.

Vi har ikke nyttet annen hjelp enn det som er beskrevet i oppgaven.

Vi er klar over at brudd på dette vil føre til avvisning av oppgaven.

Dato: 29 – 05- 2019

Thomas Jensen
Kadett navn

Kadett, signatur

Daniel A. Granaune
Kadett navn

Kadett, signatur

Forord

Denne oppgaven utgjør den avsluttende delen av bachelorstudiet ved Sjøkrigsskolen. Oppgaven omhandler stabilitetsregelverk og går i dybden på hvordan to forskjellige regelverk stiller ulike krav til vindstabilitet.

Arbeidet med bacheloroppgaven startet januar 2019 og ble avsluttet mai 2019, og er skrevet av Thomas Jensen og Daniel A. Granaune. Det antas at leseren har god kunnskap innenfor skipsteknikk, med hensyn til stabilitet.

En stor takk rettes til vår veileder, Gisle Strand lærer ved sjøkrigsskolen, for god veiledning, bindeledd mellom ulike kontakter og gode tilbakemeldinger under hele prosessen.

Bergen, Sjøkrigsskolen, 29-05-2019

Oppgaveformulering

Problemstilling:

Siden slutten av 90-tallet har Sjøforsvaret overlatt vedlikehold og utvikling av sitt eget byggregelverk til klasseselskapet Det Norske Veritas. De gjennomførte en sammenslåing med det tyske selskapet Germanischer Lloyd i 2013, dette har ført til to ulike regelverk som dekker det samme. I den forbindelse vil vi studere forskjellene i regelverkene innenfor vindstabilitet, og ta for oss hvor virkelighetsnære regelverkene er.

Oppgave:

Kadettene, i samarbeid med DNV GL, etablerer status på regelverkene. Krav til sidevinds stabilitet prioriteres. Det skal gjennomføres en sammenligning av de to gjeldende regelverkene på et valgt fartøy. Dette for å studere eventuelle forskjeller og deres betydning. Arbeidet skal anbefale videre studier og eventuelle områder som det må arbeides videre med.

Sammendrag

Sammenslåingen av Det Norske Veritas (DNV) og Germaischer Lloyd (GL) i 2013 har ført til at klasseselskapet nå operer med to militære regelverk. DNVGL-RU-NAVAL som er GL sitt tidligere regelverk og DNVGL-RU-SHIP som er DNV sitt. Regelverkene har ulike opphav, begge fra etterkrigstiden. DNV stammer fra Amerikansk standard og GL fra Tysk standard. Når det gjelder utregningsmetoder og krav som stilles til vindstabilitet er det flere forskjeller. For å studere ulikhetene og konsekvensene av disse har vi testet Kystvaktens Nordkapp-klasse for begge regelverk.

DNV sitt regelverk er basert på en rekke studier gjort etter at en Amerikansk Task Force seilte inn i en tyfon, og flere mennesker og skip gikk ned. Dette betyr at utregninger og krav stort sett er empirisk bestemt, basert på fartøy med design fra andre verdenskrig. GL sitt regelverk stammer også fra etterkrigstiden, og har heller ikke utviklet seg stort siden den gang. Regelverkene har gjennom tiden blitt testet fra flere uavhengige hold, og fungerer godt. Antall ulykker som konsekvens av dårlig vindstabilitet har gått drastisk ned etter regelverkene ble etablert. Videre knyttes det stor usikkerhet rundt nøyaktigheten til verdiene en operer med, men dette er tatt høyde for i begge regelverk ved å ha god sikkerhetsmargin. Det stilles spørsmål til hvorvidt det er nødvendig å bruke ressurser på å oppdatere regelverkene slik de er i dag.

Oppsummert viser denne oppgaven at DNV sitt regelverk er mindre dynamisk og virkelighetsnært. Dette kommer av at flere parametere, blant annet utregning av vindtrykket. Her brukes en konstant som er uavhengig av skipets geometri og overflate. GL har en mer dynamisk tilnærming ved å ta skipets utforming som en variabel i utregningene. Videre har GL tatt høyde for at skipet har en bredde ved beregning av vindens kreggende arm. DNV sitt regelverk er på den andre siden enklere å forholde seg til, utregningene krever mindre data og en har ikke det samme behovet for avanserte simuleringer. Regelverket inneholder også mindre tekst og detaljer enn GL.

Resultatene viser at DNV er mer konservative enn GL, men forskjellen avtar ved lett lastekondisjon. Derfor konkluderer oppgaven med at regelverkene er tilnærmet like sikre mot kantring som konsekvens av sidevind, men DNV er noe mer konservativ. Denne påstanden støttes av andre studier.

Det foreligger positive og negative sider ved begge regelverk, og oppgaven kan ikke favorisere ett regelverk.

Innholdsfortegnelse

Figurer	8
Tabeller	9
Forkortelser	10
1 Innledning	11
1.1 Regelverkernes bakgrunn og dagens status	11
1.2 Bakgrunn for valg av oppgave	12
1.3 Mål.....	12
1.4 Begrensninger.....	12
1.5 Metode og struktur	13
2 Beskrivelse av regelverkene.....	14
2.1 Det Norske Veritas	15
2.1.1 Kregende arm	15
2.1.2 Lastekondisjoner.....	17
2.1.3 Regelverkets krav	19
2.2 Germanischer Lloyd	19
2.2.1 Kregende arm	20
2.2.2 Lastekondisjoner.....	21
2.2.3 Regelverkets krav	23
3 Sammenligning	26
3.1 Sammenligning av den kregende- og rettende arm	26
3.2 Sammenligning av lastekondisjoner.....	29
3.3 Sammenligning av regelverkernes krav	29
4 Resultater	31
4.1 Resultater DNV	31
4.2 Resultater GL.....	36
5 Drøfting	41
5.1 Generelt om regelverkene.....	41
5.2 Formel for kregede arm	41
5.3 Lastekondisjoner.....	45
5.4 Regelverkernes krav	46
5.5 Usikkerhet.....	48
6 Konklusjon med anbefaling.....	50

Bibliografi	52
Vedlegg	54

Figurer

Figur 2.1: Beregning av GZ vha. KY-verdier	14
Figur 2.2: Hvordan dele opp fartøyet i "i" lag, areal og dens arm.	15
Figur 2.3: Faktisk vindhastighet ved varierende høyde over vannlinje for 80 knops nominell vind.	17
Figur 2.4: Kurve for GZ og kregende arm DNV	19
Figur 2.5: GZ-kurve og kregende arm for GL	24
Figur 3.1: Fartøy ved 90° krengevinkel	27
Figur 3.2: Forskjell i formlene når det er brukt like tallverdier	28
Figur 3.3: Effekten av \cos^n	28
Figur 4.1: Stabilitetsforhold for DNV <i>minimum operating condition</i>	34
Figur 4.2: Stabilitetsforhold for DNV <i>full load condition</i>	35
Figur 4.3: Stabilitetsforhold for GL <i>condition 1</i>	39
Figur 4.4: Stabilitetsforhold for GL <i>condition 2</i>	40
Figur 5.1: Forskjellen mellom konstant- og nominell vind på et fartøy på størrelse med Nordkapp-klassen og 80 knops vind.	43

Tabeller

Tabell 1: DNV loading conditions for intact and damage stability criteria	18
Tabell 2: GL summary of load cases	22
Tabell 3: Største tillatte krengevinkel ved ulike vindhastigheter for GL	24
Tabell 4: Utregning av kreggende arm ved 0° krenkning, DNV Full. Op. Cond.	32
Tabell 5: Utregning av kreggende arm ved 0° krenkning, DNV Min. Op. Cond.	32
Tabell 6: GZ verdier for minimumslastet fartøy DNV	33
Tabell 7: GZ verdier for fullastet fartøy DNV	33
Tabell 8: Resultat DNV <i>minimum operating condition</i>	35
Tabell 9: Resultat DNV <i>full load condition</i>	36
Tabell 10: Utregning av kreggende arm for vind ved 0° krenkning, GL Cond1	37
Tabell 11: Utregning av kreggende arm for vind ved 0° krenkning, GL Cond2	37
Tabell 12: GZ verdier for GL Cond1	38
Tabell 13: GZ verdier for GL Cond2	38
Tabell 14: Resultat GL <i>condition 1</i>	39
Tabell 15: Resultat GL <i>condition 2</i>	40

Forkortelser

DNV	Det Norske Veritas
DNV GL	Det Norske Veritas Germanischer Lloyd
FMA	Forsvarsmateriell
GL	Germanischer Lloyd
IMO	International maritime organisation
KNM	Den Kongelige Norske Marine
NRAR	The Royal Norwegian Navy Standard Requirments and Regulations
RAR	Rules and Regulations of the Royal Norwegian Navy

1 Innledning

Militære fartøy må potensielt operere i områder der risikoen for en uønsket hendelse er større enn i kommersiell offshore drift. I en tenkt situasjon må et krigsskip, av operative hensyn, seile gjennom dårlig vær fremfor å seile rundt. Forsvarets fartøy skal ikke bare være bygget for å kunne oppsøke farer, fremfor å unngå dem, de skal også være best mulig konstruert for sjøkrigens krav. Risikoen et militært fartøy er utsatt for er vesentlig høyere enn for et sivilt fartøy, og dermed må også kravene til flyteevne og stabilitet være forankret i flere hensyn enn i sivil skipsfart.

Det er mange faktorer som påvirker et fartøys flyteevne og stabilitet. Hvor mye vind skal et militært fartøy kunne motstå, hvordan gjøres korrekte utregninger, og hvordan sette realistiske krav? I dag er det fortsatt en del usikkerhet knyttet til vindstabilitet.

Tradisjonelt har nasjoner sine marinere selv stått for arbeidet med å validere, vedlikeholde og utvikle regelverk når det gjelder design og konstruksjon av militære fartøy. Dette førte til en god kompetanse blant de ansatte. I dag er store deler av ansvaret overlatt til sivile klasseselskap. Dette påvirker blant annet det norske forsvaret.

1.1 Regelverkernes bakgrunn og dagens status

I 1944 seilte en Amerikansk Task Force inn i en kraftig tyfon, dette resulterte i at den amerikanske marinen mistet 790 menn og flere skip. Det store spørsmålet etter hendelsen var hvorfor noen skip klarte seg, men andre sank. Svaret var ulike konstruksjoner, lastekondisjoner, og kunnskap. I 1946 satt Amerikanerne derfor i gang en systemisert stabilitetsstudie, med fokus på store bølger og kraftig vind. Dette var forløpet til et regelverk som verftene måtte forholde seg til under konstruksjon, og kapteinen under seilas (Walsh 2014, 3). Basert på samarbeidet under krigen og flåteplanen av 1960 ble det amerikanske regelverket tatt i bruk av Den Kongelige Norske Marine (KNM). Det norske regelverket fikk navnet *Rules and Regulations of the Royal Norwegian Navy* (RAR).

Siden slutten av 90-tallet har KNM overlatt verifisering og vedlikehold av regelverket til Det Norske Veritas (DNV). Den militære delen av DNV sitt regelverk var i all hovedsak likt RAR. Delene av regelverket som ikke ble overført ble kalt *The Royal Norwegian Navy Standard Requirments and Regulations* (NRAR). NRAR har til hensikt å regulere hvilke krav som stilles ved bygging av nye fartøy. I 2013 slo DNV og Germaischer Lloyd

(GL) seg sammen til et nytt classeselskap under navnet DNV GL. Dette resulterte ikke i et nytt sammenslått militært regelverk, men DNV GL har valgt å beholde begge regelverkene, henholdsvis DNVGL-RU-NAVAL som er basert på tysk regelverk, og DNVGL-RU-SHIP som er basert på norsk regelverk.

1.2 Bakgrunn for valg av oppgave

En maskinoffiser har ikke kun ansvaret for at maskineriet til fartøyet fungerer godt, han skal også være god på fartøyets konstruksjon, flyteevne og stabilitet. Han skal vite hvilke muligheter en har for å opprettholde flyteevne og kampkraft. Disse faktorene er grunnleggende i float-move-fight prinsippet. Med dette i tankene så vi på problemstillingen som en god mulighet for å få dypere forståelse for militære fartøyers utforming. Sammenslåingen mellom DNV og GL vekket interesse for å studere regelverkene, hvilke forskjeller det er og konsekvensene av forskjellene. Hvorfor velger de å bruke to forskjellige militære regelverk. Ettersom Forsvaret nylig har tatt i bruk sivile classeselskap, stilles det spørsmålet rundt hvilket konsekvenser dette har. Vi har valgt å se på reglene rundt vindstabilitet da dette er et omdiskutert tema med klare forskjeller på både utregninger og krav.

1.3 Mål

Oppgaven har til hensikt å kartlegge forskjellene mellom DNV og GL sine regelverk vedrørende vindstabilitetskrav ved design og konstruksjon av militære fartøy, og konsekvensene av dette. Vi ønsker blant annet å finne svar på spørsmål knyttet til hvilke faktorer som legges til grunn, hvilke krav som benyttes, og hvilke formler som brukes i utregningene. Kan et av regelverkene sies å være mest presist, og er det ene strengere enn det andre?

1.4 Begrensninger

Oppgaven tar kun for seg reglene om vindstabilitetskrav.

For GL: DNVGL-RU-NAVAL, Pt3Ch1, section 2. Oppgaven tar kun for seg lastekondisjon: 0, 1, 2 og 6. Da de andre lastekondisjonene blir vanskelige å anta og er lite hensiktsmessige å se på. I GL sitt regelverk ser en på den kreggende armen fra både vind og frivæskeoverflate samtidig.

For DNV: DNVGL-RU-SHIP, Pt5Ch13, section 5. I DNV sitt regelverk ser en kun på vinden sin kreggende arm.

Oppgaven tar ikke for seg kombinasjonen av vind og sjø, da dette krever mer data og simuleringer enn hva vi har.

1.5 Metode og struktur

Oppgaven er en litteraturstudie der forskjellene i regelverkene analyseres. Den starter med å se på reglene i DNV, deretter reglene i GL, for så å gjøre en sammenligning ved bruk av forskjellsmetoden. Denne metoden benyttes for å sammenligne to like ting, for deretter å diskutere forskjellene. For å vurdere konsekvensene av forskjellene benyttes en tilnærmet praktisk anvendelse av regelverkene. Dette gjøres ved å se nærmere på Kystvaktens fartøy, Nordkapp-klassen. Ved hjelp av datasimuleringsprogrammet «Autoload» lastes fartøyet og utsettes for vind i henhold til regelverkene. Dette gir større praktisk forståelse av reglene angående vindstabilitet, og resulterer i ulik margin og sikkerhetsfaktor. Med dette illustreres det hvilket av regelverkene som er mest konservativt. Det var hensiktsmessig å ikke utsette skroget for lik påkjenning, ettersom både krav, lastekondisjoner og utregning er ulike i regelverkene. Derfor sammenlignes ytterpunktene av lastekondisjonene for maksimal vind, for regelverkene.

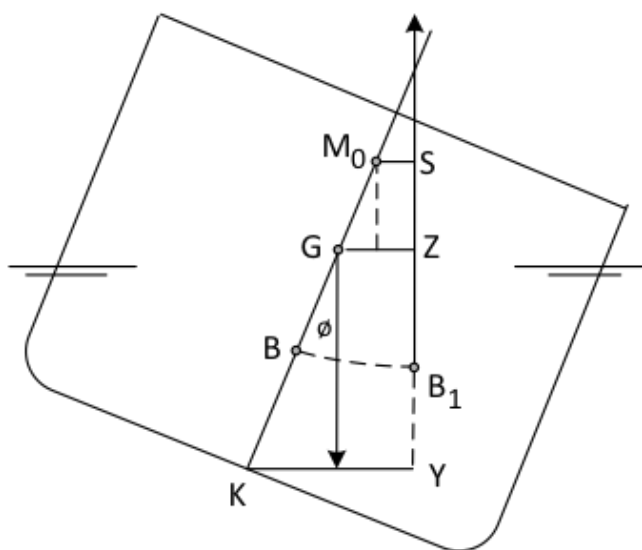
Drøftingen tar for seg forskjellene kronologisk og diskuterer konsekvensene av dette. Avslutningsvis ser oppgaven på usikkerheten rundt formler og krav som er stilt i de ulike regelverkene og om de er virkelighetsnære nok.

2 Beskrivelse av regelverkene

I dette kapittelet følger en beskrivelse av hvordan regelverkene anvendes, utvalgte utregninger, hvilke lastekondisjoner som er gjeldene, og hvilke krav regelverkene stiller. Dette gjøres for å senere kunne sammenlikne og drøfte forskjeller i regelverkene.

Fundamentene for begge regelverk er sammenhengen mellom kurve for rettende arm, GZ-kurve, og kreggende arm. Den kreggende arm illustrerer effekten av sidevind på et fartøy, et annet ord for dette er det kreggende

moments arm. Vinden lager et moment om fartøyet som er produktet av kreggende arm og deplasementet. Det som skal studeres nærmere på er måten den kreggende arm regnes ut. GZ-kurven regnes likt for regelverkene, med et lite unntak når det kommer til hva som medberegnes av overbygg. GZ defineres avstanden mellom tyngdepunktet og linjen hvor oppdriften virker. Punktet Z ligger på den vertikale aksen som går gjennom oppdriftssenteret, og vinkelrett ut fra tyngdepunktet, se figur 2.1. Denne avstanden avhenger av krengevinkel og lastekondisjon. Det vil si at et plott med GZ verdier gir en GZ-kurve som kun er gjeldene for aktuell lastekondisjon. For å regne ut denne kurven, for en gitt lastekondisjon ved en gitt dypgang, er det brukt krysskurver fra Autoload sin brukermanual. Dette er en tabell, se vedlegg 15 og 16, som beskriver avstanden KY i figur 2.1. Brukermanualen inneholder krysskurver for Nordkapp-klassen med og uten overbygg. Arealet mellom GZ kurve og den kreggende arm beskriver det rettende arbeidet.



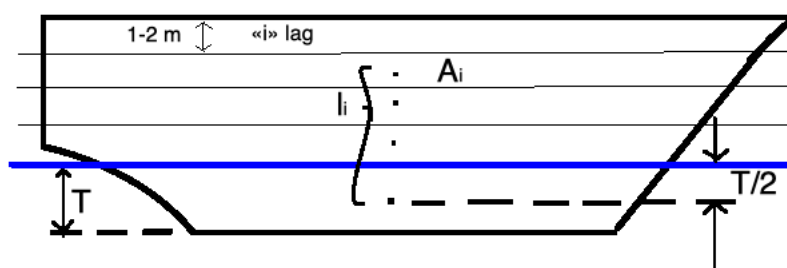
Figur 2.1: Beregning av GZ vha. KY-verdier

2.1 Det Norske Veritas

DNV sitt regelverk har sitt utspring fra RAR, som igjen er basert på den amerikanske marinens regelverk. Anvendelsen av dette regelverket er i stor grad likt slik det har blitt gjort av amerikanerne siden 50/60-tallet når det gjelder vindstabilitet.

2.1.1 Kregende arm

Som et utgangspunkt for å regne kregende arm i henhold til DNV, deles fartøyet i flere horisontale lag. Etersom sidevind studeres er det arealet til fartøyet fra siden, fra vannlinjen og opp som er utgangspunktet. Ifølge DNV varierer vinden med høyden over havet, dermed er skroget eksponert for ulik vind avhengig av hvor høyt opp på skroget en er. De horisontale lagene har høyde 1-2m avhengig av fartøyets størrelse, se figur 2.2.



Figur 2.2: Hvordan dele opp fartøyet i "i" lag, areal og dens arm.

I henhold til DNV sitt regelverk regnes den kregende arm ut på følgende måte:

$$h_w = \frac{0.02 \cdot \cos^2 \theta}{1000 \cdot \Delta} \sum_{i=1}^n V_i^2 \cdot A_i \cdot l_i, \quad [m] \quad (2.1)$$

θ = krengevinkel [grader]

V_i = vindhastighet [knop]

A_i = projisert areal [m^2]

l_i = lengde fra arealsenter til halve dypgangen [m]

Δ = deplasement [tonn]

Arealet A_i er definert som arealet i «i» lag projisert, med projisert menes arealet i 2D sett fra siden. 3D utforminger skal i utgangspunktet ikke medberegnes, men det foreligger to veiledende notater som sier at store overflater som helikopterdekk skal tas med i betrakningen. Samtidig skal det tas hensyn til om fartøyet har store glatte overflater, hvor dragkoeffisienten blir betydelig lavere enn ved konvensjonelle skip. Har fartøyet slike utforminger kan den kregende arm reduseres, men ikke mer enn 10%. Regelverket antar at fartøyet krenger rundt en horisontal akse som går gjennom halve dypgangen. For å finne bidraget til et gitt lag må derfor denne lengden, l_i , tas med. $\cos^2\theta$ avgjør hvor mye av skipet som fanger opp vind ved at vindens retning svekkes med $\cos\theta$. Videre reduseres armen l_i også med $\cos\theta$. Ved ingen kregning vil verdien være 1, og ved 90° kregnevinkel vil verdien være 0. Dette betyr at formelen ikke tar høyde for at fartøyet har en bredde og at det alltid vil være et effektivt areal så lenge fartøyet flyter.

Som nevnt anses vinden å variere med hvor høyt en er over vannet. For å beregne vindhastigheten ved en eksakt høyde brukes følgende formel:

$$V_z = V_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^{0.15}, \quad [knop] \quad (2.2)$$

V_z = vindhastigheten z meter over havet

V_{10} = nominell vindhastighet 10 meter over havet, definert utfra operasjonsområdet

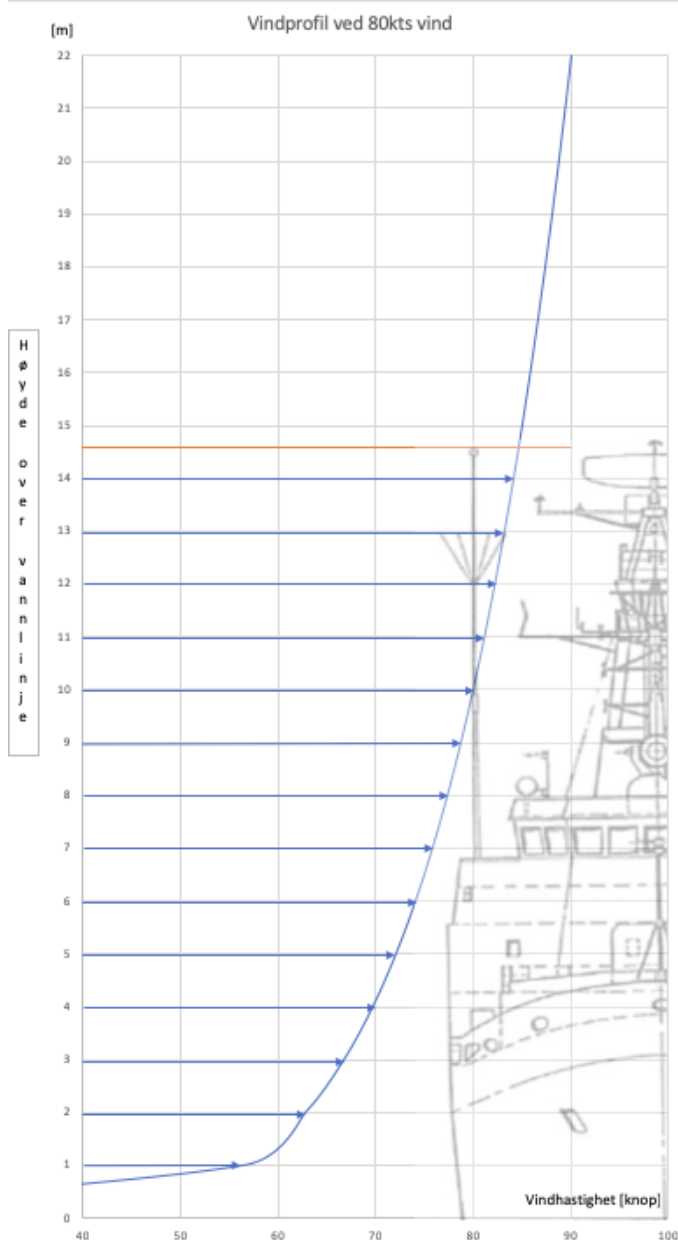
z = meter over havet

Vindhastigheten en ønsker å utsette fartøyet for antas å treffe 10 meter over vannlinjen. Ifølge DNV skal fartøyet utsettes for 80 knops sidevind dersom fartøyet skal operere i Nord-Atlanteren, men som formelen illustrerer vil dette si at fartøyet opplever ulik vindhastighet. Ved vannlinjen vil vinden være lavere enn for eksempel på høyde med bro. Figur 2.3 illustrerer hvilke vindhastigheter skroget utsettes for ved forskjellige høyder.

Konstanten 0.02 ganges inn, og det hele deles på vekten av fartøyet ganger 1000. Dette gir vinden sin kregende arm med benevning meter. Hvis en ser på enhetene går ikke dette helt opp ved første øyekast. Derfor må en se på hva som ligger i konstanten 0.02. Denne består av $C \cdot \rho / 2g$ og en omforming fra (knop)² til (m/s)². Altså dragkoeffisient, ganger tetthet til luft, dele på to ganger tyngdekraften. Denne metoden for beregning vind er noe omdiskutert som oppgaven kommer inn på under drøftingskapittelet.

2.1.2 Lastekondisjoner

DNV har i utgangspunktet to lastekondisjoner som fartøyet skal testes for: *full load condition* og *minimum operating condition*. Tabell 1 viser hva disse kondisjonene inneholder. Ifølge regelverket skal fartøyet også skal testes for alle andre lastekondisjoner som gir dårligere stabilitet. For Sjøforsvarets fartøy er det strenge regler for hvilke lastekondisjoner det er lov å gå i sjøen med, samtidig har fartøyene mulighet til å fylle flere av sine tanker med sjøvann for å bedre stabiliteten. På bakgrunn av dette, sammen med hvilke begrensninger stabilitetshåndboken til Nordkappklassen gir, er det antatt at det ikke vil være andre intakt lastekondisjoner mellom *full load* og *minimum operating condition* som gir dårligere stabilitet.



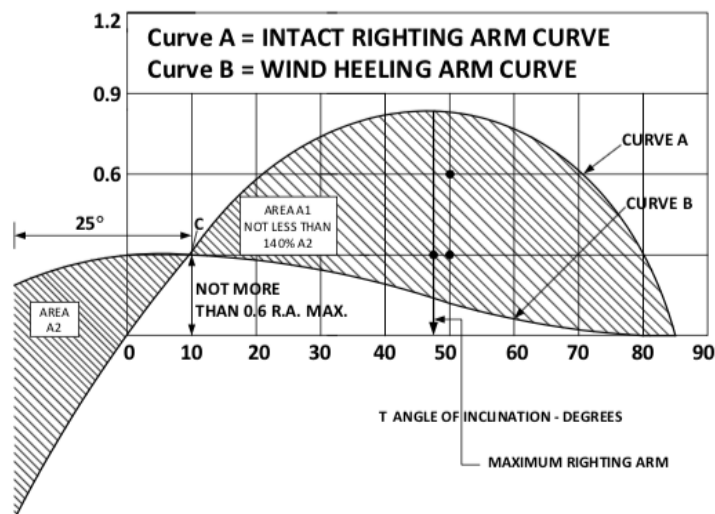
Figur 2.3: Faktisk vindhastighet ved varierende høyde over vannlinje for 80 knops nominell vind.

Tabell 1: DNV loading conditions for intact and damage stability criteria		
<i>Load item</i>	<i>Full load condition</i>	<i>Minimum operating condition</i>
Vessel's complement*	All persons with effect onboard	All persons with effect onboard
Ammunition	Magazines and ready service stowage's filled to maximum capacity	1/3 of full load ammunition with maximum quantities in ready service stowage and remainder in magazines
Mines	Maximum number onboard	Maximum number onboard
Missiles	Maximum number onboard	Least favorable quantity and disposition is assumed
Torpedoes	Maximum number onboard	Least favorable quantity and disposition is assumed
Aircraft	All onboard	All onboard
Provisions	Stores filled	1/3 of full load
General stores	All onboard	2/3 of full load
Lubrication oil	95% of maximum capacity	2/3 of full load
Fuel oil	95% of maximum capacity	Least favorable realistic disposition (normally 5%)
Aviation fuel	95% of maximum capacity	1/2 of full load
Feed water	95% of maximum capacity	1/2 of full load and least favorable disposition
Fresh water	95% of maximum capacity	1/2 of full load and least favorable disposition
Bilge water tanks	Empty**	Empty**
Trim and ballast tanks	Empty**	Empty unless full tanks are needed in order to obtain a favorable trim and/or sufficient stability**
Roll damping tanks	Filled to operating capacity	Filled to operating capacity
Overflow tank	½ full	Empty
Septic tanks	Empty	Empty
<p>*The center of gravity of the vessel's complement with effects is taken to be at deck level, 1. Deck, mass 120 kg/person. ** Design conditions may be used</p>		

2.1.3 Regelverkets krav

Kravene bygger på å legge kurven for kregende arm over GZ-kurven for et gitt fartøy med en gitt lastekondisjon. Resultatet av dette er illustrert i figur 2.4. Kravene som stilles gjelder når fartøyet blir utsatt for 80 knops nominell sidevind. Punktet hvor kurvene krysser hverandre defineres som likevektspunktet, ved denne

krengvinkelen vil fartøyet ligge med gitt vind for gitt lastekondisjon. Likevektspunktet skal ikke overstige 15° . Videre skal ikke høyden til dette punktet være større enn 0,6 av toppunktet til rettende arm kurven. Når sjøen krenger fartøyet mot vinden, vil det lagres energi i fartøyet som dytter det tilbake forbi likevektspunktet. Dette tar regelverket høyde for ved å kreve at A1 ikke er mindre enn 1,4 av A2, se figur 2.4. Innfris dette kravet har fartøyet nok rettende overskuddsmoment for å tåle 25° rulling mot vinden. Videre skal GZ-kurven, den rettende arm, være positiv for minst 70° . Om GZ-kurven er negativ vil dette bidraget jobbe for å krenge fartøyet mer, derfor må den være positiv lengst mulig.



Figur 2.4: Kurve for GZ og kregende arm DNV

2.2 Germanischer Lloyd

GL sine militære regler er et resultat av lang erfaring med klassifisering av militære fartøy, for nasjoner rundt om i verden siden 1868. Dagens militære regelverk stammer fra 60-tallet da den tyske marinen utviklet *the stability standard of the German Navy – the BV 1030*. Siden regelverket trådte i kraft har ikke den tyske marinen opplevd stabilitetsulykker med sine fartøy (Hatecke, Krüger, Rinke og Tammen 2014, 1)

2.2.1 Kregende arm

Kregende arm forårsaket av sidevind skal i GL sitt regelverk regnes ut på følgende måte:

$$k_w = \frac{A_w(A_{w\Theta H} - 0.5 \cdot T)}{\Delta \cdot g} \cdot p_w \cdot (0.25 + 0.75 \cdot \cos^3 \varphi), [m] \quad (2.3)$$

A_w = lateralt areal eksponert for vind [m²]

$A_{w\Theta H}$ = vertikal avstand fra kjøllinje til senter av A_w [m]

p_w = $c_w \cdot V_w^2 \cdot \frac{\rho}{2}$, vindtrykk $\left[\frac{kN}{m^2}\right]$

c_w = dragkoeffisient

V_w = vindhastighet [m/s]

ρ = tetthet luft [t/m³]

Arealet defineres som samlet *overflate* vinden treffer lateralt, fartøyet må derfor sees fra siden i 3D. Arealet skal ikke deles opp i mindre horisontale lag slik som i DNV, ettersom GL anser vinden som konstant over hele arealet. Likevel må en dele fartøyet i ulike areal avhengig av arealets overflate og geometrisk utforming. Dragkoeffisienten har følgende verdier for overflate og utforming:

c_w = 0,60 for sylindrisk flate
 = 1,00 for vertikal flate
 = 1,30 for sylindrisk ru flate
 = 1,70 for vertikal ru flate

Arealsenterets høyde fra kjøllinje defineres som angrepspunktet for vinden. Formelen trekker halve dypgangen fra arealsenterets høyde, dette er fordi en tenker at fartøyet krenger rundt en tenkt horisontal akse ved nettopp halve dypgangen. Vindtrykket beskriver hvor stor kraft som virker på fartøyet per kvadratmeter. Dette vindtrykket regnes for ulike areal med tilhørende dragkoeffisient og summeres. Alternativt kan vindtrykket hentes fra en tabell med dragkoeffisient lik 1,20. Vindtrykket ganges inn med $(0.25 + 0.75 \cos^3 \varphi)$, dette

er fordi en ser for seg at 25% av flaten alltid vil være tilstede og fange vind uavhengig av krengevinkelen. Resterende 75% av fartøyets overflate vil gradvis forsvinne som et resultat av $\cos^3\theta$ leddet. Dermed blir arealet vinden tar tak i mindre etter hvert som fartøyet får en større krengevinkel. Hele uttrykket deles på vekten av fartøyet ganger tyngdekraften, altså kraften fartøyet trekkes ned med. Dette gir oss vinden sin kregende arm med benevning meter.

Den kregende arm til GL inneholder ikke bare vinden sitt bidrag, slik som hos DNV. I kravene som undersøkes er den kregede arm et resultat av vind og frivæskeoverflate. Slik DNV regner vil frivæskeoverflate heve tyngdepunktet, men GL ser på denne effekten som en kregede arm, denne regnes ut på følgende måte:

$$k_F = \frac{1}{\Delta} \cdot \sum (p_i \cdot b_{\varphi i}), [m] \quad (2.4)$$

k_F = kregende arm som resultat av frivæskeoverflate [m]

p_i = massen til fluidet i gitt tank med frivæskeoverflate [tonn]

$b_{\varphi i}$ = tverrskips forflytning av tyngdepunktet i gitt tank [m]

2.2.2 Lastekondisjoner

Regelverket til GL deler inn i 7 forskjellige lastekondisjoner hvor det i tillegg er underkategorier i flere av lastekondisjonene. Oppgaven ser kun på 0, 1, 2 og 6, da enkelte av de andre lastekondisjonene vil være vanskelig å simulere på en riktig måte, samt at disse ikke vil være beste eller verste med hensyn til regelverket. Videre vil det være mest hensiktsmessig å ta for seg lastekondisjon 1 og 2 da disse ligner på DNV sin minimum og maksimum lastekondisjon.

0 light ship displacement

Letteskips deplasement defineres som deplasementet til et tomt skrog, inkludert design og konstruksjonsmargin, fylling av væsker i nødvendige maskinsystemer, våpen,

sensorer, og fast ballast. Mannskaper med deres eiendeler er også inkludert i denne lastekondisjonen.

1 limit displacement

Lastekondisjonen er basert på lettskips deplACEMENT, ballastvann er fylt så langt som nødvendig og forskjellige forsyninger er fylt eller delvis fulle, Tabell 2, forbruk og væsker er kun om bord i den grad det fører til en mindre gunstig lastekondisjon.

2 combat displacement

Lastekondisjonen er basert på lettskips deplACEMENT, men inkluderer fylling av alle forsyninger til 100%, uten ballastvann eller avløpsvann.

6 maximum displacement

Lik lastekondisjon 2, men med en økning av deplACEMENTET på 2%.

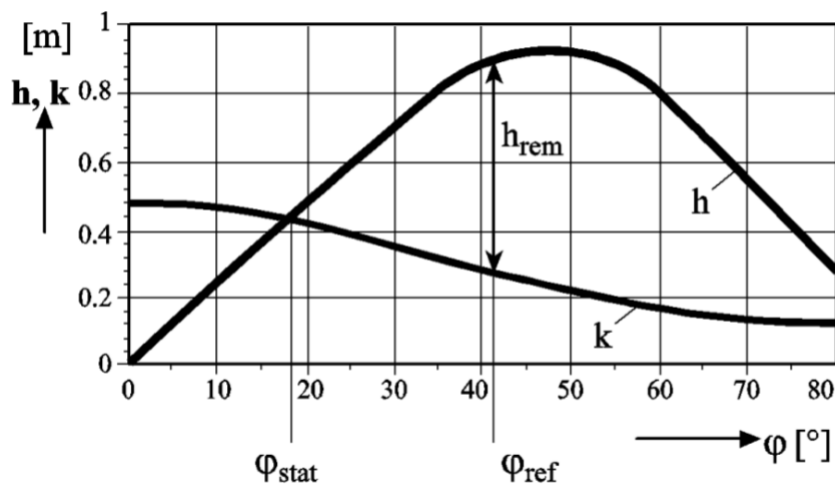
Tabell 2: GL summary of load cases				
Load cases →	0	1	2	6
Loads ↓	All values are percentages of the specific max possible load [%]			
Empty ship with mach. systems filled	100	100	100	100
Crew with personal effects	100	100	100	100
Consumable/provisions	-	50/33	100	100
Fresh water	-	10/50 ¹	100	100
Waste water	-	50	-	-
Ship fuel	-	10	100	100
Aircraft fuel	-	10	100	100

Lubrications	-	50	100	100
Fire exting. foams	-	100	100	100
Ammunition	-	33	100	100
Aircraft (stowed)	-	100	100	100
Special loads	-	-	-	100
Supplies/transport	-	-	100	100
Ballast water	-	2	3	2
<p>1) 50% of freshwater if 30 l/day/crew member can be provided</p> <p>2) as far as necessary for stability</p> <p>3) supply goods and liquids according to the most unfavorable load condition</p>				

2.2.3 Regelverkets krav

For å kunne bevise at fartøyet har nødvendig stabilitet til å kunne utføre sine operasjonelle arbeidsoppgaver må en sammenligne kreggende arm med rettende arm for ulike situasjoner, og sette noen krav deretter.

Det som er avgjørende i GL sitt regelverk er den statiske krengevinkelen og den gjenværende høyden mellom kreggende og rettende arm h_{rem} , *height remaining*, se figur 2.5.



Figur 2.5: GZ-kurve og kreggende arm for GL

h_{rem} måles ved punktet φ_{ref} som defineres på følgende måte:

$$\text{Hvis } \varphi_{stat} \leq 15^\circ \quad \rightarrow \quad \varphi_{ref} = 35^\circ$$

$$\text{Hvis } \varphi_{stat} > 15^\circ \quad \rightarrow \quad \varphi_{ref} = 2 \cdot \varphi_{stat} + 5^\circ$$

Den gjenværende rettende armen, h_{rem} , må undersøkes for alle lastekondisjoner og eventuelle spesial tilfeller, videre må verdiene ligge innenfor følgende krav:

- Ved krengevinkel $\varphi_{stat} \leq 15^\circ$, må gjenværende rettende arm være $h_{rem} \geq 0,1\text{m}$ ved $\varphi_{ref} = 35^\circ$
- Ved krengevinkel $\varphi_{stat} > 15^\circ$, må gjenværende rettende arm være $h_{rem} \geq 0,01 \cdot (\varphi_{stat} - 5^\circ) [\text{m}]$

Tabell 3: Største tillatte krengevinkel ved ulike vindhastigheter for GL

Vindhastighet [kn]	40	70	90
Krengevinkel φ_{stat} [°]	15	20	25

Når et fartøy ikke holder seg innenfor alle grenseverdiene, må nødvendige tiltak diskuteres og fagmiljøet må ta en vurdering. Dette kan for eksempel føre til restriksjoner i driften av fartøyet.

3 Sammenligning

Regelverkene er utarbeidet i to forskjellige land og det er derfor å forvente at det vil være forskjeller i kravene som stilles. På den andre siden ønsker begge regelverkene det samme; sikre personell og materiell. I denne delen av oppgaven skal regelverkene sammenlignes for å avdekke likheter og ulikheter. Dette kapittelet starter med å sammenlikne måten regelverkene regner ut den kregende og rettende arm. Videre sammenliknes lastekondisjonene og de ulike kravene som stilles.

3.1 Sammenligning av den kregende- og rettende arm

Fartøyets rettende arm, GZ , kommer av utformingen på skroget og det er naturlig å anta at GZ -kurven til et fartøy vil være lik for de to regelverkene. Dette er til en viss grad riktig, men kravene til hvilke deler av overbygget som skal inkluderes er ulike. I følge skal rom i skipet som er vanntette være med i utregningen, og dette inkluderer skroget, skottdekk, overbygg og dekkshus som kan lukkes vanntette. Hvis noen av de vanntette rommene over havaridekket ikke er lenger enn 5% av skipets lengde skal de ikke medberegnes i utregning av rettende arm. I regelverket til DNV kan overbygg og dekkshus medberegnes i utregningene så lenge rommene er vanntette og av «efficient construction». Oppgaven medberegner ikke overbygg for noen av regelverkene. Dette fordi overbygg tradisjonelt sett ikke regnes med i marine miljøer, da disse små volumene fort kan fylle seg med vann ved skader.

En viktig forskjell mellom formlene i regelverkene, er måten en bruker formlene på. I DNV deles fartøyet opp i flere mindre horisontale lag, hvor GL deler fartøyet opp i areal på bakgrunn av dets utforming og overflate. For GL kan en tabell med dragkoeffisient lik 1,20, nyttes for å beregne vindtrykket.

Begge formlene inkluderer de samme parameterne:

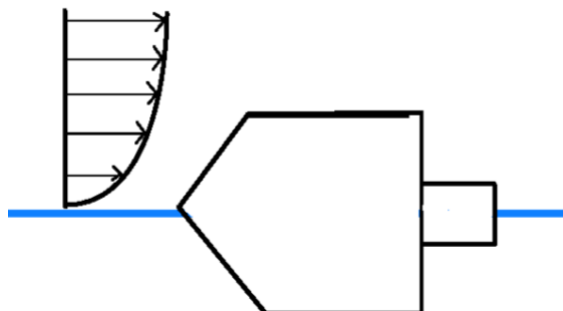
Over brøkstreken: A , V^2 , $\cos \varphi$, C , ρ , avstand fra halv dypgang til arealsenteret/vindsenter

Under brøkstreken: Δ , 2 , g

Selv om de samme parameterne brukes, er det noen klare forskjeller:

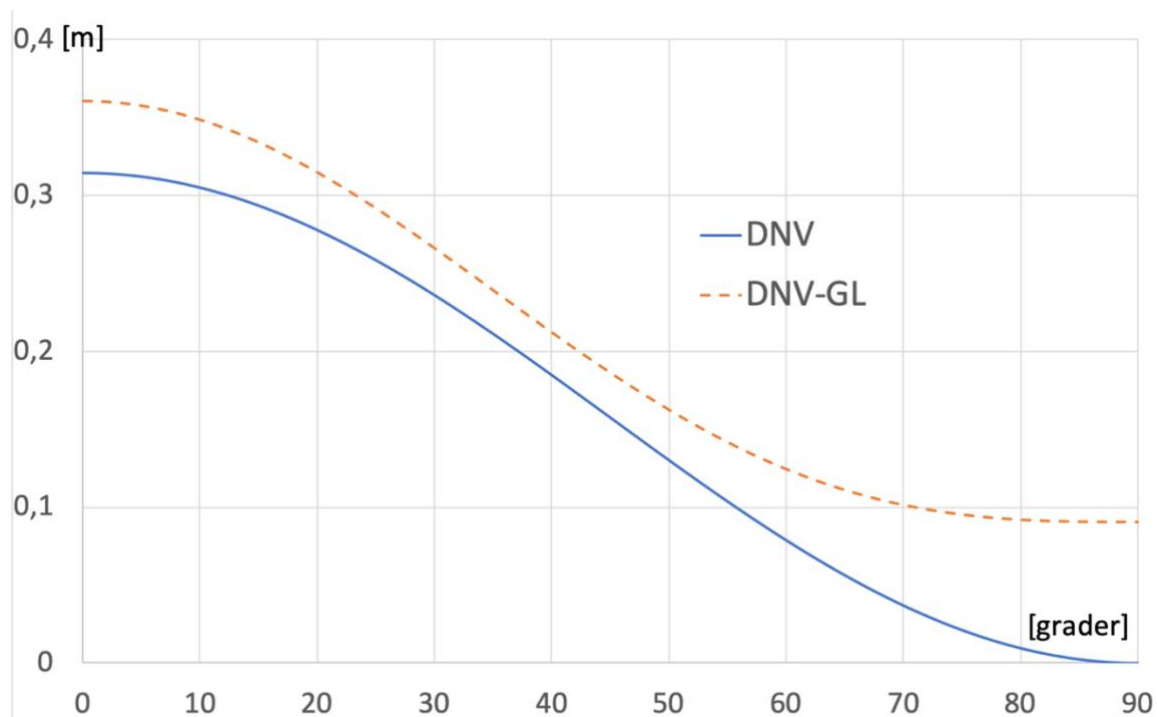
- DNV bruker projisert areal, GL bruker lateralt areal.
- DNV bruker varierende vindhastighet avhengig av fartøyets høyde over vannet (se Figur 2.3), GL bruker en gitt vindhastighet og varier ikke vindtrykket avhengig av høyden på fartøyet.

- DNV bruker en konstant på 0.02, og GL regner ut vindtrykket.
- I DNV ganges uttrykket med $\cos^2\theta$, dette gjør at vinden sin kregende arm vil bli 0 ved 90° kregnevinkel. Figur 3.1 illustrerer at fartøyet fortsatt vil ha et effektivt areal ved 90° kregnevinkel.

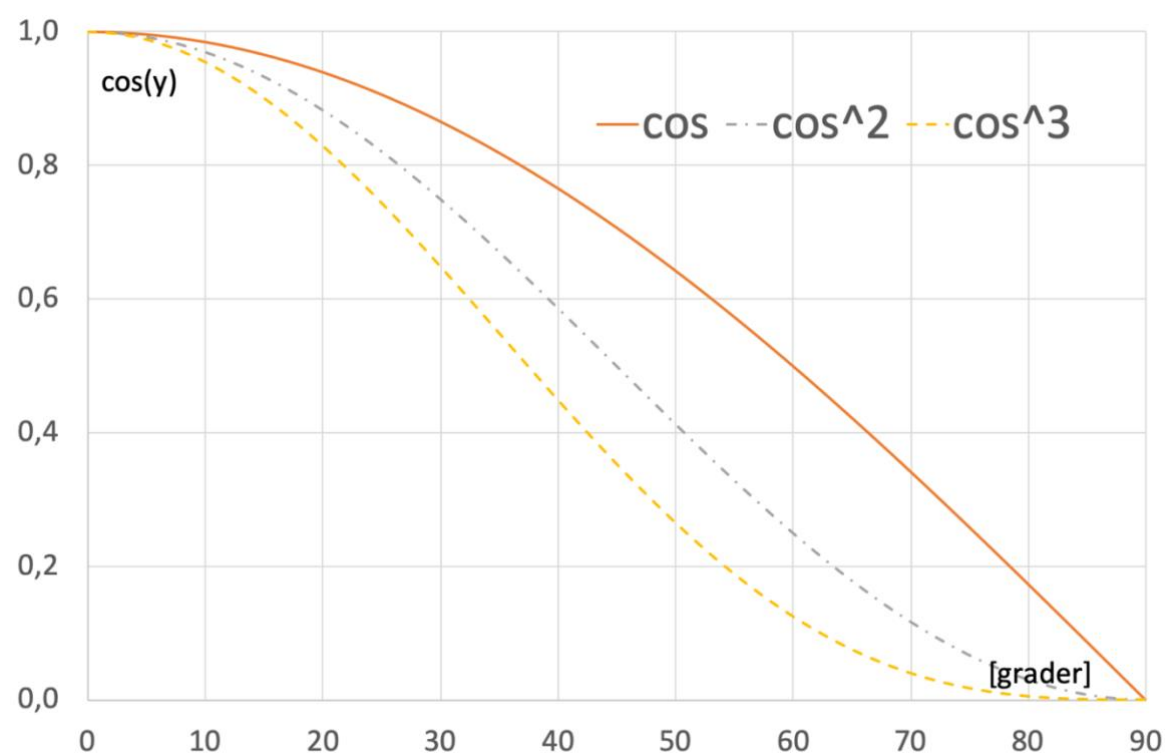


Figur 3.1: Fartøy ved 90° kregnevinkel

- Her er antakelig den største forskjellen mellom de to formlene, GL bruker et konstantledd på 0.25 og $\cos^3 \varphi$. Dette resulterer i at vinden vil treffe 25% av fartøyet ved en kregnevinkel på 90° . I figur 3.2 ser illustreres effekten av dette, figuren illustrerer forskjellen i formlene ved like tallverdier. Denne forskjellen er først utslagsgivende ved ca. 50° kregning.
- DNV bruker \cos^2 og GL bruker \cos^3 , ved å øke potensen vil kurven avta raskere. Ses dette i sammenheng med kregende arm mener GL at effektivt areal avtar raskere enn DNV, se figur 3.3. Allikevel utlignes dette ved at GL kun avtar 0,75 av verdien og DNV avtar hele verdien.



Figur 3.2: Forskjell i formlene når det er brukt like tallverdier



Figur 3.3: Effekten av \cos^n

3.2 Sammenligning av lastekondisjoner

- GL har kondisjoner inkluderer *end of life, construction og design margin*, dette er marginer som medberegner at fartøyet øker i vekt under levetiden. Videre tar regelverket høyde for at under design og konstruksjon kan tyngden på fartøyet bli høyere enn planlagt. Dette nevnes ikke i DNV sitt regelverk.
- DNV har kun *full load condition* og *minimum operating condition*, i tillegg må en se på eventuelle lastekondisjoner som kan gi en verre stabilitet.
- GL har syv ulike lastekondisjoner hvor hver kondisjon har flere forskjellige marginer en må se på.
- I tabellene over lastekondisjonene brukes det noe forskjellige punkter, se Tabell 1 og Tabell 2.
- DNV *full load condition* ligner i stor grad på GL Cond 2 *combat displacement*, men i DNV skal enkelte av punktene kun fylles til 95% av maks kapasitet, og i GL skal de fylles 100% av spesifikk maks mulig last. Ballastvannet skal hos DNV være tomt, men hos GL skal det være fylt slik at det skaper en mest ugunstig lastekondisjon.
- DNV *minimum operating condition* ligner på GL Cond 1 *limit displacement*, men det er enkelte forskjeller i mengden som skal fylles på i de ulike punktene.

3.3 Sammenligning av regelverkernes krav

For å finne ut om et fartøy har nødvendig vindstabilitet benytter begge regelverkene seg av å sammenligne den rettende arm med den kregende arm. Kravene som settes til denne sammenligningen er allikevel helt forskjellig. DNV ser kun på 80 knop vind og har en maks grense på 15° krengevinkel i likevektspunktet. Videre sier DNV at høyden opp til likevektspunktet ikke skal være mer en 0,6 av høyden opp til toppunktet av den rettende armen. DNV sammenligner også arealet A1 med A2 (se Figur 2.4: Kurve for GZ og kregende arm.), hvor A1 må være større enn 1,4 større enn A2. Den rettende arm må også være positiv for minst 70° krengevinkel. GL ser på flere forskjellige vindstyrker og ved 90 knop vind kan det være opptil 25° krengevinkel. GL ser i motsetning til DNV ikke på noe høyde ved likevektspunktet eller areal, men kun på høyden mellom kregende arm og rettende arm ved φ_{ref} . Denne høyden kaller de h_{rem} . Ved krengevinkel under 15° skal ikke h_{rem} være under 0,1m, ved krengevinkel over 15° skal denne formelen følges

$h_{rem} \geq 0,01 \cdot (\varphi_{stat} - 5^\circ)$. Når det kommer til maksimalt tillat krengevinkel tillater GL mer krenkning enn DNV, men dette er fordi GL tar for seg et mer dynamisk situasjonsbilde som kan inneholde andre faktorer enn bare vind. Disse faktorene kan være frivæskeoverflate, dreiesirkel og bølger. DNV tar også for seg frivæskeoverflate og dreiesirkel, hvor frivæskeoverflate hever KG og dreiersirkel som kregende arm med egne krav.

4 Resultater

I denne delen av oppgaven presenteres hvordan Nordkapp-klassen treffer kravene som stilles fra DNV og GL. Det er valgt å presentere disse resultatene med sikkerhetsfaktor og margin mot de ulike kravene som stilles. Ettersom DNV og GL har ulike lastekondisjoner, vindstyrke og krav er dette en naturlig måte å gjøre det på for å lettere sammenligne resultatene.

4.1 Resultater DNV

For å få nødvendig data brukes programmet Autoload. Dette programmet er designet for å simulere skrog mot DNV sitt regelverk. For å sjekke Nordkapp-klasse skroget mot dette regelverket lastes båten i henhold til de to lastekondisjonene regelverket referer til, *full load condition* og *minimum operation condition*. Ettersom kravene til lastekondisjonene er noe generelle, er noen skjønsmessige vurderinger nødvendig. Disse vurderingene er tatt på bakgrunn av hva som ligger inne i Autoload og stabilitetshåndboken til Nordkapp-klassen. For fullstendig oversikt over måten fartøyet er lastet på, se vedlegg 10 og 11.

Videre utsettes skroget for 80 knops sidevind ved hjelp av Autoload, programmet gir så en rapport på stabiliteten til fartøyet. Ved hjelp av data fra denne rapporten regnes den kregende arm ved 0° kregning ut, se Tabell 4 for fullastet og Tabell 5 for minimumslastet. Denne verdien brukes så sammen med formel 2.1. Ettersom den kregende arm ved 0° nå er etablert, og kun $\cos^2\theta$ -leddet endrer seg, ganges verdien for kregende arm med \cos^2 til alle vinkler mellom 0° og 90° . På denne måten etableres den kregende arm for alle aktuelle krengevinkler. Videre skal GZ-kurven etableres, dette gjøres ved hjelp av krysskurver. Oppgaven beregner GZ-kurve med og uten overbygg, men kun brukt GZ-kurven uten overbygg til videre sammenligning opp mot kravene.

Tabell 4: Utregning av kregende arm ved 0° kregning, DNV Full. Op. Cond.

Data fra AUTOLOAD DNV Full.Op.Cond.80kts, Depl. 3314,37 tonn					
Part	LPA [m2]	HCP [m]	Arm [m]	Pressure [MT/m2]	Moment [m-MT]
HULL	758,0	4,167	6,564	1,05E-01	521,365
SUPER	264,0	9,184	11,581	1,28E-01	389,929
Utregning av kregende arm					
Part	Force [MT]	LPA [m2]	HCP [m]	Arm [m]	Moment [m-MT]
HULL	79,5900	758,0	4,167	6,564	521,365
SUPER	33,7920	264,0	9,184	11,581	389,929
SubTotals:	113,3820	1022	5,662250	8,059250	913,7739
Heeling arm [m]	0,2757				

Tabell 5: Utregning av kregende arm ved 0° kregning, DNV Min. Op. Cond.

Data fra AUTOLOAD DNV Min.Op.Cond.80kts, Depl. 2980,47 tonn					
Part	LPA (m2)	HCP (m)	Arm (m)	Pressure (MT/m2)	Moment (m-MT)
HULL	787,8	4,307	6,561	1,06E-01	546,373
SUPER	264,0	9,488	11,742	1,29E-01	398,403
Utregning av kregende arm					
Part	Force (MT)	LPA (m2)	HCP (m)	Arm	Moment (m-MT)
HULL	83,5068	787,8	4,307	6,561	546,373
SUPER	34,0560	264	9,488	11,742	398,403
SubTotals:	117,5628	1051,8	5,807850	8,061850	947,7737
Heeling arm (m)	0,3180				

For å ta krysskurver i bruk beregnes effektiv dyppgang, dette gjøres ved hjelp av følgende formler:

$$\frac{LCF}{a} = \frac{L_{pp}}{t}, \quad (4.1)$$

$$T_E = T_m \pm a, \quad [m] \quad (4.2)$$

Krysskurvene gir «KY», som er avstanden fra kjøll til et fast valgt punkt. For å finne aktuell GZ verdi brukes følgende formel:

$$GZ = KY - KG \cdot \sin(\theta), \quad [m] \quad (4.3)$$

Tabell 6: GZ verdier for minimumslastet fartøy DNV

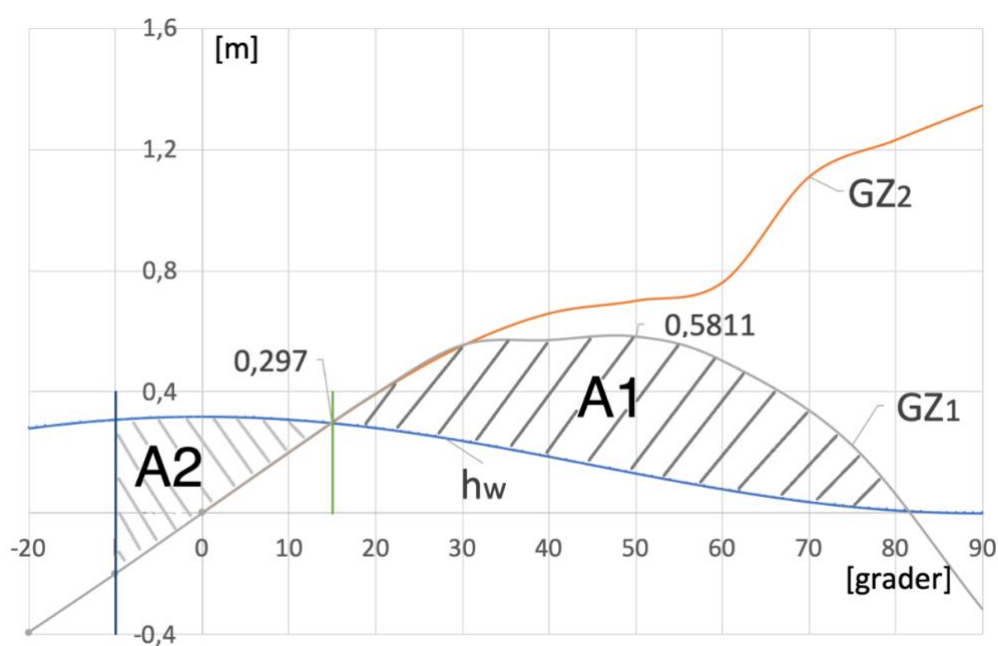
GZ u/overbygg DNV Min.Op.Cond. T_E=5,338m					
GZ=KY-KGsin(rad)		KG(m)= 6,395			
grader	radianer	KY (m) (u/overbygg)	GZ stb (m)	GZ port (m)	grader
0	0,0000	0	0,0000	0,0000	0
10	0,1745	1,31	0,1995	-0,1995	-10
20	0,3491	2,58	0,3928	-0,3928	-20
30	0,5236	3,75	0,5525		
40	0,6981	4,68	0,5694		
50	0,8727	5,48	0,5811		
60	1,0472	6,04	0,5018		
75	1,3090	6,4	0,2229		
90	1,5708	6,08	-0,3150		

Tabell 7: GZ verdier for fullastet fartøy DNV

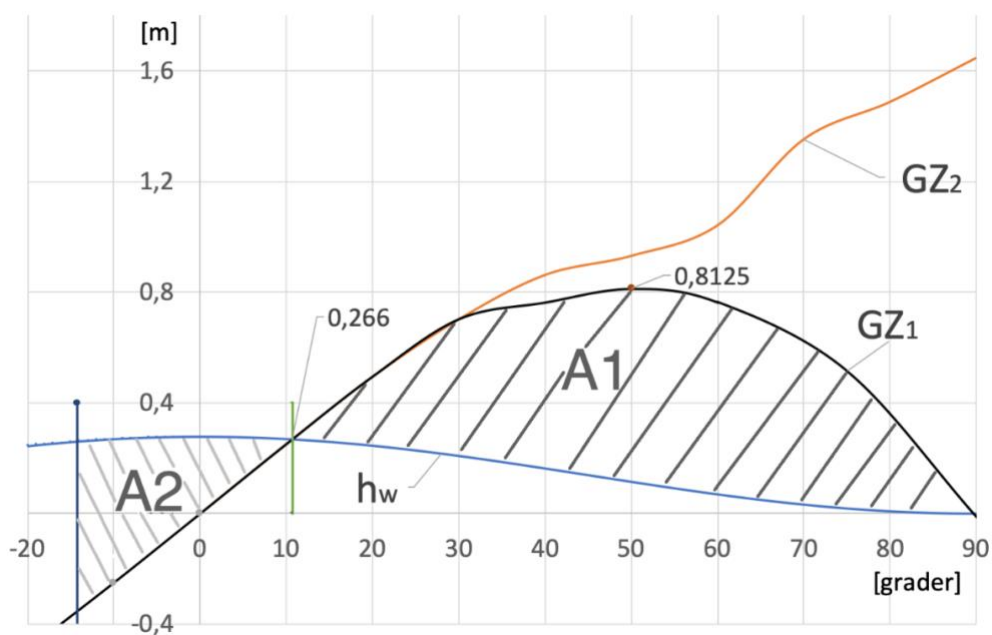
GZ u/overbygg DNV Full.Op.Cond. T_E=5,694m					
GZ=KY-KGsin(rad)		KG(m)= 6,093			
grader	radianer	KY (m) (u/overbygg)	GZ (m)	GZ port (m)	Grader
0	0,0000	0	0,0000	0,0000	0
10	0,1745	1,31	0,2520	-0,2520	-10
20	0,3491	2,58	0,4961	-0,4961	-20
30	0,5236	3,75	0,7035		
40	0,6981	4,68	0,7635		
50	0,8727	5,48	0,8125		
60	1,0472	6,04	0,7633		
75	1,3090	6,4	0,5146		
90	1,5708	6,08	-0,0130		

Tabell 6 og 7 illustrerer GZ-verdiene for ulike krengevinkler for de to lastekondisjonene. Disse verdiene brukes til å lage GZ-kurven. For å kunne sjekke fartøyet opp mot

regelverket legges kurven for den kregende arm og kurven for den rettende arm i samme kurveark, slik at et lignende bilde som Figur 2.4: Kurve for GZ og kregende arm etableres. Figur 4.1 og 4.2 illustrerer stabilitetsforholdene til Nordkapp-klassen når den er lastet i henhold til *full load condition* og *minimum operation condition*, og utsatt for 80 knops sidevind. Med stabilitetsforhold menes forholdet mellom den kregende og rettende arm. H_w kurven representerer den kregende arm, og den rettende arm med og uten overbygg henholdsvis GZ_2 og GZ_1 . Det er en markant lavere GZ-kurve for den lette lastekondisjonen, dette kommer av at fartøyet har et høyere tyngdepunkt. Kurven til den kregende arm er lavere med tyngre lastekondisjon. Dette kommer av at skipet stikker dypere, og derfor har et mindre areal som vinden kan ta tak i. Summen av dette gjør at likevekten finner sted ved $10,7^\circ$ fullastet, og 15° ved den lettere lastekondisjon.



Figur 4.1: Stabilitetsforhold for DNV *minimum operating condition*



Figur 4.2: Stabilitetsforhold for DNV *full load condition*

Disse stabilitetsforholdene er begge innenfor kravet. Det som er interessant for å kunne diskutere og sammenligne regelverkene er hvor godt innenfor kravet en er. Se tabell 8 og 9 for resultater.

Tabell 8: Resultat DNV *minimum operating condition*

DNV regelverk, minimum operatin condition:				
Hva	Krav	faktisk	sikkerhetsfaktor	Margin
armlengde ved likevekt	0,6*Max GZ	0,5*Max GZ	1,20	0,1
Krenging ved likevekt	15 grader	15 grader	1,00	0
Overskuddsareal	1,4*A2	3,0*A2	2,14	1,6
GZ område	70 grader	82 grader	-	12
Gz er positiv over hele området	Ja	ja	-	-

Tabell 9: Resultat DNV full load condition

DNV regelverk, full load condition:				
Hva	Krav	Faktisk	Sikkerhetsfaktor	Margin
armlengde ved likevekt	0,6*Max GZ	0,3Max GZ	2,00	0,3
Krenging ved likevekt	15 grader	10,7 grader	1,40	4,3
Overskuddsareal	1,4*A2	4,2*A2	3,00	2,8
GZ område	70 grader	89 grader	-	19
Gz er positiv over hele området	ja	ja	-	-

Resultatene viser at minste operasjons lastekondisjon er den tilstanden hvor fartøyet er tettest opp mot kravet. Fartøyet ligger på kravet om maksimalt 15° krengevinkel ved likevekt, og har dermed ikke noe å gå på.

4.2 Resultater GL

Ettersom Autoload er programmert for DNV sitt regelverk gir programmet noen begrensninger når fartøyet videre skal sjekkes mot GL sitt regelverk, derfor brukes programmet kun til å laste skipet i henhold til lastekondisjonene for å få nødvendig hydrostatisk data. Fartøyet lastes i henhold til lastekondisjon 1, 2 og 6 i Tabell 2: GL summary of load cases for fullstendig oversikt over lasting se vedlegg 12, 13 og 14.

Den kregende arm regnes ulikt fra DNV. For å finne lateralt areal til fartøyet benyttes et 3D-modelleringsprogram. Derfor anvender oppgaven 2D arealet, det projiserte areal, som Autoload gir til gitt lastekondisjon. Videre beskriver GL at vindtrykket er avhengig av gitte dragkoeffisienten, C_w , disse koeffisienten bestemmes ut fra ulike geometriske utforminger på fartøyet. Dette krever data som ikke er tilgjengelig, derfor brukes en standard som GL anbefaler, $C_w=1,20$, dette er forøvrig den samme koeffisientverdien som brukes av DNV. Med disse overnevnte verdiene regnes den kregende arm for vind ut, se tabell 10 og 11. For lastekondisjon 1 må også effekten av frivæskeoverflate tas høyde for. Autoload brukes til å krenge skroget og simulere forflytning av tyngdepunkt for hver aktuell tank, i henhold til formel 2.4. Se vedlegg 3 for utregning av dette. GL krever å plote resultatene ved 0°, 10°, 20°, 30°, 45°, 60° og 75° krengevinkel, men siden Autoload ikke krenger skipet lengre enn 70°, er denne krengevinkelen siste plott.

Ettersom lastekondisjon 1 og 2 er de som er naturlig å sammenligne med DNV presenteres kun disse resultatene. Se vedlegg 5 for resultater for kondisjon 6.

Tabell 10: Utregning av kregende arm for vind ved 0° kregning, GL Cond1

Data fra AUTOLOAD GL Cond1, Depl. 2945,47 tonn					
Part	LPA [m2]	HCP [m]	Arm [m]	Pressure [MT/m2]	Moment [m-MT]
HULL	791,0	4,322	6,561		
SUPER	264,0	9,52	11,759		
Utregning av kregende arm					
Part	Force [MT]	LPA [m2]	HCP [m]	Arm [m]	Moment [m-MT]
HULL		791,0		6,561	
SUPER		264,0		11,759	
SubTotals:		1055		7,861732	
Heeling arm [m]	0,4306				

Tabell 11: Utregning av kregende arm for vind ved 0° kregning, GL Cond2

Data fra AUTOLOAD GL Cond2, Depl. 3314,38 tonn					
Part	LPA [m2]	HCP [m]	Arm [m]	Pressure [MT/m2]	Moment [m-MT]
HULL	758,0	4,167	6,564		
SUPER	264,0	9,184	11,581		
Utregning av kregende arm					
Part	Force [MT]	LPA [m2]	HCP [m]	Arm [m]	Moment [m-MT]
HULL		758,0		6,564	
SUPER		264,0		11,581	
SubTotals:		1022		7,859977	
Heeling arm [m]	0,3706				

Den rettende arm, GZ-kurven, regnes ut på samme måte som i DNV og er kun avhengig av lastekondisjonen. Tabell 12 og 13 illustrerer GZ-verdiene for ulike kregvinkler for de to lastekondisjonene. Disse verdiene brukes til å lage GZ-kurven.

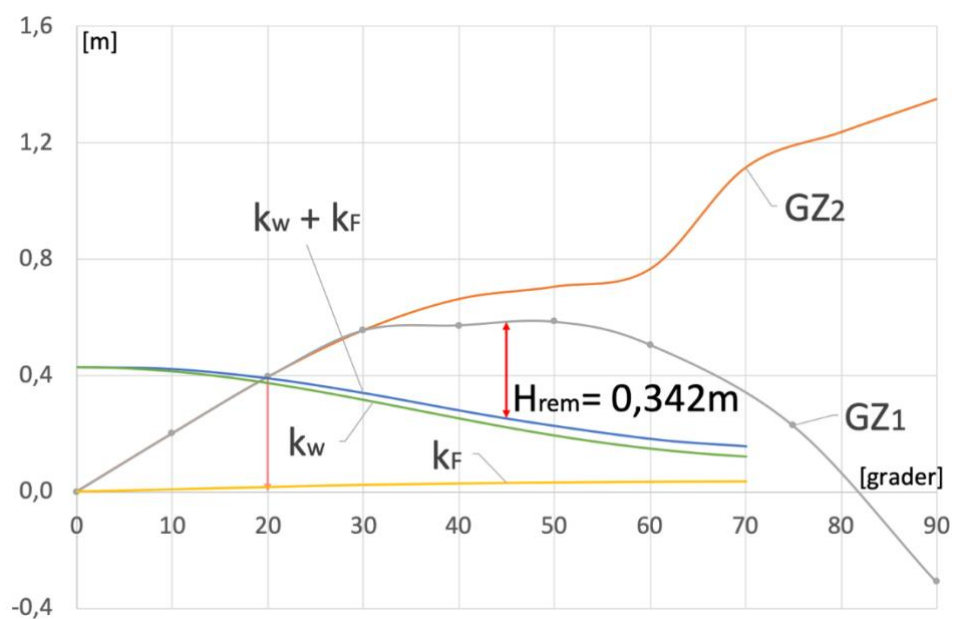
Tabell 12: GZ verdier for GL Cond1

GZ u/overbygg GL Cond1 T_E=5,396m					
GZ=KY-KGsin(rad)		KG(m)= 6,39			
grader	radianer	KY (m) (u/overbygg)	GZ (m)	GZ port (m)	Grader
0	0,0000	0	0,0000	0,0000	0
10	0,1745	1,31	0,2004	-0,2004	-10
20	0,3491	2,58	0,3945	-0,3945	-20
30	0,5236	3,75	0,5550		
40	0,6981	4,68	0,5726		
50	0,8727	5,48	0,5850		
60	1,0472	6,04	0,5061		
75	1,3090	6,4	0,2277		
90	1,5708	6,08	-0,3100		

Tabell 13: GZ verdier for GL Cond2

GZ u/overbygg GL Cond2 T_E=5,732m					
GZ=KY-KGsin(rad)		KG(m)= 6,093			
grader	radianer	KY (m) (u/ov	GZ (m)	GZ port (m)	Grader
0	0,0000	0	0,0000	0,0000	0
10	0,1745	1,31	0,2520	-0,2520	-10
20	0,3491	2,58	0,4961	-0,4961	-20
30	0,5236	3,75	0,7035		
40	0,6981	4,68	0,7635		
50	0,8727	5,48	0,8125		
60	1,0472	6,04	0,7633		
75	1,3090	6,4	0,5146		
90	1,5708	6,08	-0,0130		

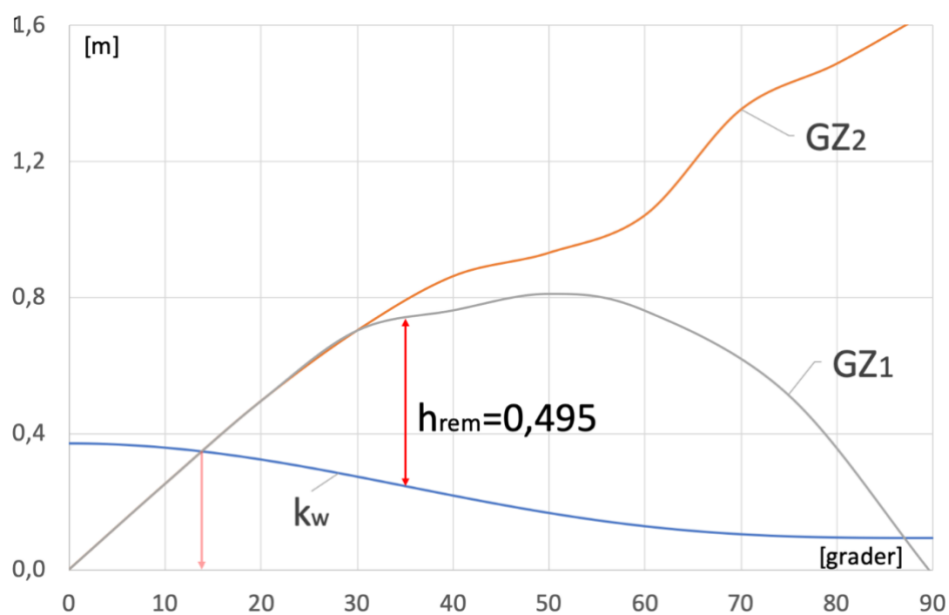
I henhold til regelverket regnes den kregende arm for 90 knops sidevind. I Figur 4.3 og Figur 4.4 er stabilitetsforholdene illustrert, og Tabell 14 og Tabell 15 viser resultatene.



Figur 4.3: Stabilitetesforhold for GL *condition 1*

Tabell 14: Resultat GL *condition 1*

GL regelverk, Cond1 90 kts vind				
Hva	Krav	Faktisk	Sikkerhetsfaktor	Margin
Likevekt	25 grader	20	1,25	5
Hrem	0,141 m	0,332	2,35	0,19



Figur 4.4: Stabilitetsforhold for GL *condition 2*

Tabell 15: Resultat GL *condition 2*

GL regelverk, Cond2 90 kts vind				
Hva	Krav	Faktisk	Sikkerhetsfaktor	Margin
Likevekt	25 grader	13,8	1,81	11,2
Hrem	0,1 m	0,495	4,95	0,40

5 Drøfting

5.1 Generelt om regelverkene

Reglene i DNV og reglene i GL har samme hensikt. Ved å stille gode og riktige krav til hvordan fartøy skal bygges oppnås mer effektive og sikre fartøy. Selv om reglene har flere likheter er det også en del ulikheter som kan ha utslag i hvordan et fartøy utformes for å holde seg innenfor reglene. Årsaken til dette er at regelverkene er blitt utviklet og jobbet med i forskjellige land, av forskjellige mennesker, og med forskjellige erfaringer lagt til grunn. Utslaget er derfor interessant å studere. For å kunne si noe om dette må utregningene studeres opp imot kravene. Det kan tenkes at til tross for forskjeller i både utregning og krav, kan begge regelverk gi de samme begrensningene for et fartøy.

GL sitt regelverk kan i stor grad sies å være mer omfattende enn DNV, det er flere detaljer i hvordan regelverket skal anvendes. Et eksempel på dette er antallet og beskrivelsen av forskjellige lastekondisjoner. DNV er mer kortfattet og har kun to lastekondisjoner. Derimot sikrer DNV seg ved å avslutte med en kommentar om at en må sjekke om det finnes andre situasjoner som også burde undersøkes. Dette kan komme av at DNV i større grad forventer at de som skal arbeide med reglene har dyptgående forståelse og kompetanse i hva som kan være kritisk når det kommer til stabilitet av fartøy.

Utrekning av GZ-kurve gjøres i stor grad likt, men noen ulikheter finnes. Ifølge GL skal deler av overbygg kun tas med som deplasement i beregningene av den rettende arm, så lenge det vannrette rommet er større enn 5% av lengden til fartøyet. DNV åpner for at alle vannrette rom kan brukes uavhengig av størrelse. Dette er en liten forskjell som angår små volum, og vil ikke gi noen betydelig utslag i verdiene for den rettende armen.

5.2 Formel for kregede arm

I dette kapittelet skal en se hvordan disse forskjellene er blitt til, og hvilke fordeler og utfordringer det knyttes til de ulike fremgangsmåtene.

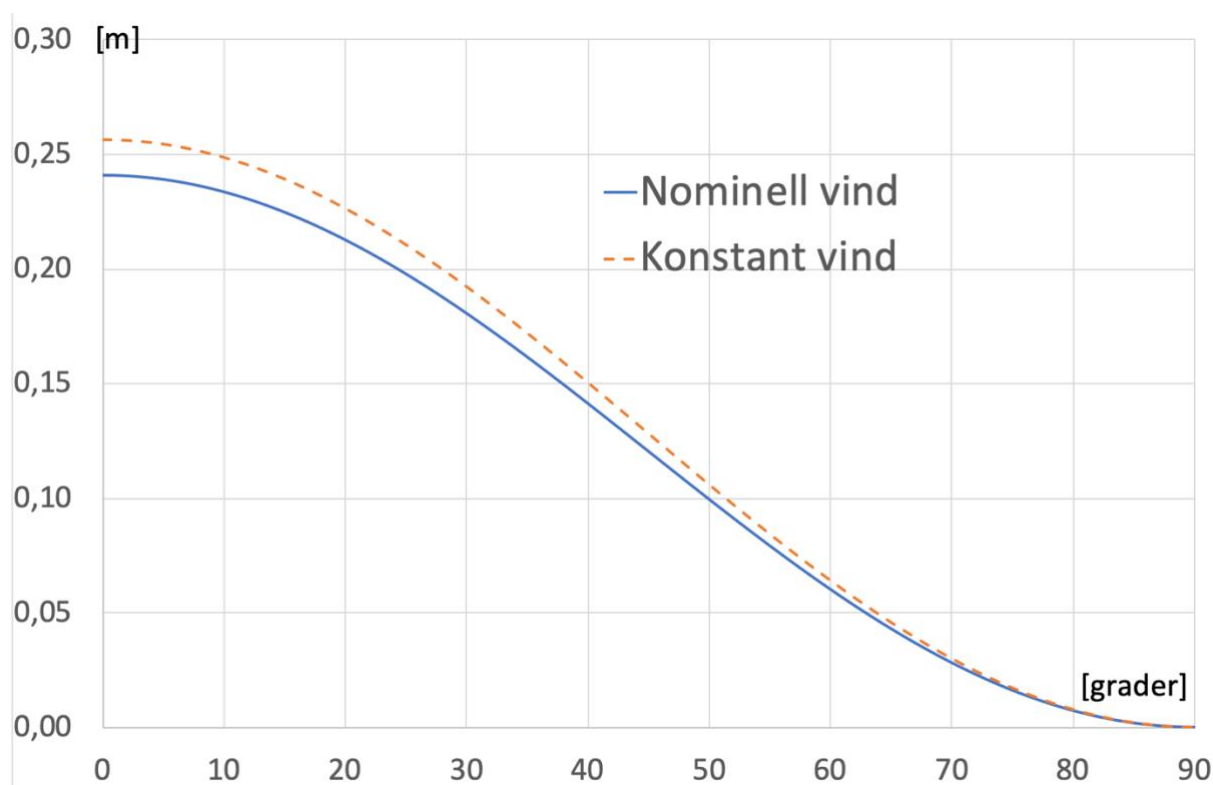
Først studeres konstanten 0,02 som DNV bruker i sin formel. Denne konstanten må ha enhet $[kg \cdot s^2/m^4]$. Konstanten er derfor et tall som er satt sammen av en omforming fra

(knop)² til (m/s)² og $\frac{C \cdot \rho}{2g}$.

I den amerikanske formelen brukes konstanten 0,004. Dette tilsvarer den norske på 0,02, men de bruker andre enheter. Ved omregning fra amerikanske enheter til norsk standard, er 0,004 med våre enheter lik 0,0195. Derfor er DNV sin formel marginalt mer konservativ enn den amerikanske, ved at dette tallet blir rundet opp til 0,02. Forsøk gjort ved David Taylor Model Basin viser til at den empiriske koeffisienten på 0,02 er for høy, altså for konservativ (Sarchin 1962, 428).

Både tettheten til luft og tyngdeakselerasjonen er gitt av situasjonen fartøyet er i, så når det påstås at 0,02 er for høy er det dragkoeffisienten C , som er for høy. GL har derimot ikke en slik empirisk konstant og velger heller å se på skipets geometri for å avgjøre vindtrykket. Formel 2.3 viser at vindtrykket bestemmes av et uttrykk som minner mye om det som ligger bak konstanten 0,02. Uttrykkene består av det samme, men ettersom GL har konstant vind er denne bakt inn i uttrykket. Hvilket betyr at DNV og GL bruker samme parametere, men DNV har konstant dragkoeffisient som medfører et konstant uttrykk på 0,02. Det at DNV bruker en slik fastsatt konstant gjør at den er noe mindre dynamisk. Det er derimot knyttet mye usikkerhet til dragkoeffisienten C , derfor kan det diskuteres hvorvidt en dynamisk dragkoeffisient er mer virkelighetsnært. DNV nevner også at den kreggende armen kan reduseres med opptil 10% hvis skipet for eksempel har glatte flater, som gjør at DNV tar til en viss grad høyde for geometri og overflate. Dermed er det ikke mye utslagsgivende forskjell i denne delen av formelen. Det krever mer arbeid å regne dragkoeffisienten i henhold til GL, og kan derfor sies å være vanskeligere å bruke. På den andre siden er det å anse som standard for skipskonstruksjon å ha programmer som kan gjøre dette.

Angående vindberegninger vil det mest nøyaktige være å gjøre vindtunnel-test på hvert design eller datasimuleringer, disse resultatene ville vært mer presise enn DNV sin metode gitt i formel 2.2. Derimot er denne formelen godt etablert i miljøet, og det er nærliggende å tro at det er derfor DNV bruker denne formelen for å beregne vind. GL velger å se på vindhastigheten som konstant fra vannlinjen og opp, noe som ikke stemmer med virkeligheten. Akkurat i havoverflaten vil hastigheten være nærmere 0 m/s, derfor virker denne måten å regne på noe upresis. På den andre siden kan det diskuteres hvor stor effekt det er å bruke en eksponentialfunksjon for vindhastigheten. I figur 5.1 er forskjellen mellom en kreggende arm beregnet med nominell og konstant vind illustrert.



Figur 5.1: Forskjellen mellom konstant- og nominell vind på et fartøy på størrelse med Nordkapp-klassen og 80 knops vind.

Figuren viser at forskjellen er relativt liten for et fartøy på denne størrelsen. Forskjellen utgjør lite på både likevektspunktet og areal. Det kan derfor konkluderes med at den praktiske forskjellen for Nordkapp-klassen er liten med tanke på vindberegninger for DNV og GL.

Videre ser DNV på fartøyet uten bredde, dette fordi $\cos^2\theta$ vil gi den kregende arm verdi 0 ved 90° . Dette er en svakhet ved formelen, som er godt belyst av Burton og DeKat i 1994. De skrev en studie hvor de anbefalte å endre dette for å få et mer riktig bilde av virkeligheten. Videre anbefalte de følgende formel for å beregne arealet som er eksponert for vind (Brown 1998, 69):

$$A_{forstag} = c_w \frac{L_{pp}B}{2} + \left(A - c_w \frac{L_{pp}B}{2} \right) \cos\theta, \quad [m^2] \quad (5.1)$$

B = bredde for fartøyets breieste punkt ved konstruksjonsvannlinjen [m]

- C_w = vannlinjeareal koeffisient
 L_{pp} = lengde mellom perpendikulærene [m]
 A = projisert areal ved 0° kregning [m²]

Formelen Burton og DeKat har publisert er blitt anerkjent av IMO, men ikke blitt implementert av DNV GL. Det kan diskuteres hvor mye dette har å si for stabilitetsberegninger ettersom feilen først har betydelig utslag ved store krengevinkler, men en bør vel alltid søke å få det beste bilde av virkeligheten ved stabilitetsberegninger. Under dette tema er GL mer nøyaktig da de har et konstantledd som gjør at 25% av arealet alltid vil være eksponert for vinden. Det var Arndt (1962) som kom opp med formelen GL anvender, da den skulle være mer presis ved store krengevinkler (Biras 2003, 247). Denne formelen er også noe upresis da arealet til fartøyet ved 90° krengevinkel ikke nødvendigvis er 25%. Verdien er en antagelse som gir et mer presist bilde enn ved DNV, men ikke så presis som Burton og DeKat har foreslått.

Både DNV og GL mener at armen fra arealsenteret og ned til den tenkte aksen ved halve dypgangen er avtagende med $\cos\theta$ for alle krengevinklene. Det er ikke helt riktig å si at fartøyet alltid vil krenge rundt en akse ved halve dypgangen, og når fartøyet krenger vil det også oppstå et nytt areal med et nytt arealsenter. Virkeligheten er altså en god del mer kompleks enn hva formlene tar høyde for. Burton og DeKat kom opp med et nytt forslag til formel for denne lengden:

$$L_{forstag} = \frac{B}{2} + \left(L - \frac{B}{2}\right) \cos\theta, [m] \quad (5.2)$$

- L = armen fra arealsenteret til halve dypgangen ved 0° kregning [m]
 B = bredde for fartøyets breieste punkt ved konstruksjonsvannlinjen [m]

Denne formelen er ikke implementert av DNV GL. Det vil si at måten å regne armen fra arealsenteret ned til halve dypgangen er upresis i begge regelverkene (Brown 1998, 69).

GL lager en kregende arm som summen av flere forhold enn bare vind. DNV anser at effekten av frivæskeoverflate gir en større KG, GL derimot ser på denne effekten som en kregende arm. Den praktiske forskjellen på måten å beregne effekten av frivæskeoverflate er ikke testet. Ved å gjøre det på den tyske måten illustreres effekten av frivæskeoverflate som en kregende arm, noe som gjør det lettere å se hvor stort bidrag denne effekten har.

5.3 Lastekondisjoner

Hvilke lastekondisjoner en velger å se på vil ha stort utslag for hvilken stabilitet et fartøy har. Lastekondisjonene i DNV og i GL ligner i stor grad på hverandre, men de er ikke like. Generelt sett har GL flere lastekondisjoner og de er noe mere detaljerte, DNV har færre lastekondisjoner og detaljer. DNV helgarderer seg med å nevne at en må ta for seg andre lastekondisjoner hvis det vil føre til en forverring i stabiliteten.

DNV sin *full load condition* ligner i stor grad på GL sin *2 combat displacement*, i disse lastekondisjonene er deplasementet for de to tilnærmet likt, men ettersom det er ulikheter i hvor dødvekten er plassert og hva dødvekten er, vil KG være mer ulik. Dette vil påvirke GZ-kurven. Ved en tung lastekondisjon er marginen mot kravet større enn ved lett lastekondisjon. Dette virker jo logisk i og med at et tyngre skip antakelig vil kreve kraftigere vind for å krenge til siden. Spesielt i regelverket til GL er denne marginen en god del større, og dette skyldes at påvirkningen av den kregende armen til frivæskeoverflate vil være neglisjerbar når tankene er fulle.

DNV sin *minimum operating condition* ligner på GL sin *1 limit displacement*, i disse lastekondisjonene er forskjellen i deplasement noe større. For å følge regelverkene direkte skulle egentlig begge lastekondisjonene anvendt på KV-Nordkapp ført til et enda lavere deplasement, men på grunn av stabilitetskrav i fra stabilitetshåndboka til kystvakten er det mer ballast og drivstoff om bord enn hva tabell 1 og 2 sier. Dette er fortsatt innenfor regelverkene fordi begge to åpner for at en kan fylle enkelte tanker mere for å oppnå nødvendig stabilitet. Marginene for å være innfor kravene er mer like ved disse lastekondisjonene. Et spørsmål som reises er hvorvidt det er nødvendig å ta for seg fullastede fartøy det skal avgjøres hvorvidt et fartøy er innfor vindstabilitetskravene som stilles. Ettersom en minimums lastekondisjon alltid vil gi fartøyet en høyere flytestilling

og et høyere tyngdepunkt. Dette resulterer i et større vindareal og en høyere KG som vil gjøre fartøyet mer utsatt for vind.

5.4 Regelverkernes krav

For å drøfte kvaliteten i kravene som er gitt av DNV og GL er det nødvendig å studere hvor de har sitt opphav. For DNV stammer kravene fra funnene som ble gjort etter tyfonen, og de første resultatene kom allerede i 1946. Første kravet DNV stiller er at armlengden ved likevekt ikke skal være mer enn $0,6 \cdot GZ_{max}$. Det viste seg at skipene som gikk ned i tyfonen hadde høyden $0,67 \cdot GZ_{max}$ eller større. For å ha margin mot dette ble kravet satt til 0,6. Kravet om arealforhold mellom A1 og A2 er et krav om skipets evne til å rette seg selv opp i en dynamisk situasjon. Det ble valgt 25° rulling mot vinden fra likevekt. Denne verdien ble satt på grunnlag av antagelser, og det finnes ingen begrunnelse i resultatene fra 1946. Arealforholdet ble satt fordi en så at skipene som overlevde tyfonen hadde arealforhold på 1,8 - 2, hvor fartøyene som gikk ned hadde mindre enn 1,15. Derfor ble kravet om 1,4 satt (Brown 1998, 66). Det at 25° krengevinkel mot vinden fra likevekt er basert på skjønn er naturligvis upresist, og bør utbedres. Det er illustrert et nytt forslag til hvordan en kan regne ut den forventende rulling i et uregelmessig bølgemønster i Brown 1998, side 70-71.

Oppsummert og forenklet kan en si at kravene som stilles av DNV er empirisk bestemt med grunnlag i erfaringer fra ulykken i 1944. Etter den tid har det vært stor utvikling innenfor hvordan marinefartøy ser ut, noe som betyr at resultatene ikke nødvendigvis er like aktuelle i dag. Videre har konstruktørene i dag svært avanserte verktøy som kan brukes for å simulere fartøy og dets bevegelser, derfor kan det virke som DNV henger igjen i fortiden ved å ikke ta i bruk disse verktøyene for å klassifisere fartøy. På den andre siden må nye utregninger være godt forankret og testet for å bli etablert i et regelverk, men dette burde være en prioritet når regelverk skal vedlikeholdes. Det kan tenkes at dette er en ren kost-nytte vurdering, hvor en anser at tiden og resursene som må legges inn for å forbedre regelverket ikke gir nok i den andre enden. Hvis gjeldende regler gjør nytten uten at kravene blir for dimensjonerende for utformingen av nye fartøy, trengs kanskje ikke et mer nøyaktig regelverk. Det kan også tenkes at den militære delen av regelverket ikke er av stor prioritet for DNV, da dette er relativt sett en liten kunde. Dette

var en av farene som ble belyst da Forsvaret valgte å gi jobben med klassifisering og vedlikehold av regelverk til DNV.

GL sine krav har på samme måte som DNV sitt opphav fra marinens historie. Etter andre verdenskrig hadde den tyske marinen flere fartøy som kantret som en konsekvens av utilstrekkelig stabilitet (Hatecke 2014, 2). Dette førte til flere studier på hvordan et fremtidig regelverk burde se ut for å oppnå tilstrekkelig stabilitet. Amerikanerne valgte å se på vind, frivæskeoverflate, dreiesirkel og bølger adskilt. Tyskerne valgte å se på et mer dynamisk bilde, ved å kombinere flere av effektene samtidig. Det var Kurt Wendel som stod bak førsteutkastet av regelverket som følges av GL i dag, denne ble publisert første gang i 1961 (Biran, Adrian og Røben Løpez-Pulido 2003, 243).

Figur 3.2 illustrerer ulikheten i formlene ved like verdier, men ettersom verdiene er ulike for regelverkene er ikke dette en fullstendig sammenligning. GL har høyere vindhastighet, arealet er ulikt ved stor krengevinkel, samt at vinden er konstant. Dette gjør at sammenligningen ikke kan gjøres ved å se på tallene direkte. Derfor sammenlignes regelverkene med hensyn til sikkerhetsfaktor og margin. Oppgaven sammenligner resultatene fra lastekondisjonene *full load condition* og *combat displacement* (videre kalt full lastekondisjon), samt *minimum operating condition* og *limit displacement* (videre kalt lett lastekondisjon). Se Tabell 8 og Tabell 14 for lett lastekondisjon, og Tabell 9 og Tabell 15 for full lastekondisjon.

Begge regelverkene har en grense for hvor stor krengevinkelen skal være, og Nordkappklassen har tilfredsstilt kravet hos begge, men sikkerhetsfaktoren er ulik. DNV har krav om mindre enn 15° krengevinkel og GL har krav om mindre enn 25° krengevinkel. At GL tolererer større krengevinkel kommer av at frivæskeoverflate også skal ses på som en kregende arm. Ettersom denne effekten er neglisjerbar ved full lastekondisjon spiker sikkerhetsfaktoren og marginen mer enn ved lett lastekondisjon. Når det gjelder kravet om krengevinkel er DNV mest konservativ, hvor regelverkene er med like ved lett lastekondisjon.

Det er å anta at h_{rem} skal dekke opp både for kravet om overskuddsareal og armlengde ved likevekt. Den resterende GZ-armen vil si noe om hvordan forholdet mellom kregende og rettende arm utvikler seg fra likevektspunktet. Derfor sammenlignes det dimensjonerende kravet for DNV og h_{rem} . For begge lastekondisjoner er det armlengden som blir det dimensjonerende hos DNV. Også her kommer GL ut som minst konservative, men regelverkene er mer like ved lett lastekondisjon.

Det kommer frem at DNV er mer konservativ på samtlige punkter når det kommer til vindstabilitet. Det påstås at begge regelverk har ganske lik sikkerhet mot kantring ifølge Biran (Biran 2003, 244). Dette stemmer delvis med våre resultater. Når fartøyet har lavest sikkerhet, altså ved lavt deplasement, er sikkerhetsfaktorene mer like enn ved full lastekondisjon. Ved full lastet skip er det større sprik i sikkerheten mellom regelverkene, men dette er ikke så interessant i og med at begge uansett er godt innenfor kravene.

5.5 Usikkerhet

Begge regelverkene bygger på erfaringer, modeller, tester og beregninger. Dette gjør at det knyttes usikkerhet til hvor godt bilde av virkeligheten regelverkene illustrerer. En grunnleggende verdi for beregningene som gjøres er tyngdepunktets plassering. Til tross for at en kan regne seg frem til tyngdepunktets plassering med tre desimaler, er det ikke gitt at dette stemmer. I den virkelige verden oppnås en tilstrekkelig nøyaktighet på plassering, men en vil ikke ha full kontroll på dette til enhver tid. Videre blir skroget ikke nøyaktig likt som tegningene, og ettersom hydrostatiske data er basert på tegningene knyttes det usikkerhet til verdiene som hentes derfra. Ettersom det knyttes usikkerhet til grunnlaget for beregningene, vil dette svekke nøyaktigheten i resultatene dersom de skulle være gjeldende for et fartøy.

Fluidier i uregelmessig bevegelse er vanskelig å regne på selv med gode simuleringsprogrammer. Bruken av en konstant dragkoeffisient hos DNV er derfor en forenkling av det virkelige bildet, og det er derfor usikkerhet rundt nøyaktigheten. GL bruker ulike koeffisienter avhengig av hvilke utforminger skroget består av, dette er mer nøyaktig enn hos DNV. Likevel er dette å anse som en gammeldags metode som det knyttes usikkerhet til, ettersom den ikke tar høyde for at én utforming påvirker utformingen ved siden av.

Med så mye usikkerhet rundt grunnleggende verdier kan det derfor reises spørsmål til hvor nødvendig det er å være nøyaktig ved for eksempel arealberegninger. Utrekning av arealet med 3 desimaler, for å videre bruke en KG med usikkerhet $\pm 0,1$ meter, gir et resultat med like stor usikkerhet som usikkerheten til KG. Hvilket betyr at resultatene ikke kan å presenteres med den nøyaktigheten oppgaven bruker. Ettersom disse resultatene ikke skal brukes for klassifisering, men sammenligning, beholdes nøyaktigheten i og med at utregningene er gjort likt.

Til tross for mye usikkerhet innenfor stabilitetsutregninger har kravene og regelverkene som er utarbeidet, resultert i færre stabilitets ulykker. Disse usikkerhetene er tatt med i betraktning når regelverkene settes ved å inkludere konservative marginer. Til tross for at regelverkene virker tilsynelatende gode, er det i nyere tid diskutert kvaliteten og sikkerheten til regelverkene. DNV sitt regelverk bygger på empiriske verdier fra 50-tallet, og mens den teknologiske utviklingen har vært stor, har ikke regelverket utviklet seg stort (Hayes, Smith, Renilson, Cannon 2015, 442). De empiriske verdiene har blitt testet fra uavhengige hold, men begrenser seg til fartøyet som blir testet. Hvilket betyr at det knyttes usikkerhet til validiteten ved å bruke samme regelverk på ulike fartøysutforminger, spesielt ettersom krigsskip har utviklet seg enormt siden etterkrigstiden.

6 Konklusjon med anbefaling

Resultatene viser at sikkerhetsfaktoren er mer lik ved lett lastekondisjon, enn ved full lastekondisjon, hvor lett lastekondisjon er tettest til kravene. Vi kan derfor konkludere med at regelverkernes sikkerhet mot kantring ved sidevind er ganske lik for Nordkappklassen, men DNV virker mest konservativ. Denne påstanden støttes generelt i *Ship hydrostatics and stability* (Biran 2003, 244). Til tross for at sikkerheten mot kantring er ganske lik, er måten dette beregnes ulik. DNV sitt regelverk stammer fra Amerikanerne sine funn på 50/60-tallet, og bruker empiriske verdier fra forsøk som ble gjort da. Fartøyene har endret seg stort siden den tid, og det stilles spørsmål vedrørende aktualiteten til kravene. Disse verdiene er senere testet, men endret seg lite. Generelt er DNV sitt regelverk mindre dynamisk enn GL. Det stilles også stor usikkerhet til parameterne som blir brukt. På den andre siden er regelverket enkelt å bruke og forstå, samt viser historien at regelverket gjør en god nok jobb.

GL sitt regelverk er noe mer dynamisk og presis i måten utregningene gjøres, men som det er diskutert tidligere finnes det metoder for beregningene som er mer presise. Blant annet tar GL høyde for at fartøyet har en bredde under effektiv arealberegning, dette gjør ikke DNV.

Det er generelt mye usikkerhet i forbindelse med skipsteknikk, og dette gjelder også stabilitetsberegninger. Derfor kan det være lite hensiktsmessig å søke mer presise beregningsmetoder, ettersom grunnlaget bygger på stor usikkerhet. Det kan argumenteres at kravene er konservative nok til at en uavhengig av mengden usikkerhet havner på den trygge siden når det gjelder vindstabilitet. Videre er de ikke så konservative at det blir svært dimensjonerende for utformingen på skroget. Derfor har det muligens ikke så mye å si hvor nøyaktige og virkelighetsnære beregningene er.

Etter oppgavens beregninger er regelverkene omtrent like sikre, og det kan ikke sies å være en metode som virker betraktelig bedre enn den andre. Regelverkene har sine fordeler og ulemper, men oppgaven kan ikke på bakgrunn av beregningene favorisere det ene fremfor det andre. En viktig presisjon er at disse konklusjonene gjelder for Nordkappklassen.

Anbefaling for videre studier er å studere om resultatene vi har kommet fram til gjelder for andre fartøy i Forsvaret. Det vil også være interessant å studere andre forskjeller ved

DNVGL-RU-NAVAL og DNVGL-RU-SHIP, spesielt med hensyn på dynamisk intakt stabilitet og skadestabilitet.

Bibliografi

Biran, Adrian og Røben López-pulido

2003. *Ship Hydrostatics and Stability Second Edition*. UK: Elsevier.

Brown, A. J. og Deybach F.

1998. *Towards A Rational Intact Stability Criteria For Naval Ships*. USA: American Society of Naval Engineers.

Commodore Saunders, Stephen

2014. *IHS Jane's Fighting Ships*. United Kingdom, IHS.

DNV GL

2015. *RULES FOR CLASSIFICATION vessels, Part 3 Surface Ships, Chapter 1 Hull structures and ship equipment*. <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RU-NAVAL/2015-12/DNVGL-RU-NAVAL-Pt3Ch1.pdf> 21.01.2019.

DNV GL

2015. *RULES FOR CLASSIFICATION Ships, Part 5 Ship types, Chapter 13 Naval and naval support vessels*. <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RU-SHIP/2015-10/DNVGL-RU-SHIP-Pt5Ch13.pdf> 21.01.2019.

Forsvarets Logistikk Organisasjon Maritime Kapasiteter

2013. *The Royal Norwegian Navy Standard Requirements and Regulations Part 1 Chapter 1: Naval and Naval Support Vessels*. Norge: Haakonvern.

Hatecke, Hannes, Stefan Krüger, Adreas Rinke og Klaus Tammen

2014. *ANALYSIS OF THE GERMAN NAVY STABILITY STANDARD BV 1030 WITH RESPECT TO OPERABILITY IN HEAVY WEATHER*. San Francisco: OMEA.

Hayes, Petter, Warren Smith, Martin Renilson, Stuart Cannon

2015. *A Reassessment of Wind Speeds used for Intact Stability Analysis*. Glasgow, UK: 12th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles.

Kahramanoglu, Emre, Hüseyin Yilmaz, Burak Yilmaz

2015. *A Reassessment of Wind Speeds used for Intact Stability Analysis*. Glasgow, UK: 12th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles.

Riola, Josemaria M., Rodringo Pérez

2009. *WARSHIP DAMAGE STABILITY CRITERIA CASE STUDY*. Spain: Santander.

Rüsch, Peter.

Naval Architect Engineer DNV GL. Mailkorrespondens med Thomas Jensen. Bergen, Norge. 22. Mai.

Sarchin, T.H., L. L. Goldberg

1963. *Stability and Buoyancy Criteria for U. S. Naval Surface Ship*. New York: Society of Naval Architects and Marine Engineers.

Sjøforsvarets Forsyningskommando

1975. *RAR 1, RULES AND REGULATION FOR SURFACE VESSELS OF THE ROYAL NORWEGIAN NAVY*. Norge.

Sjøforsvarets forsyningskommando

2000. *STABILITETSBOOK FOR NORKAPP – W320*. Norge: Polarkonsult naval architects & marine engineers.

Walsh, Jon B.

2014. *Wind Heel Stability Management for DDG Availabilities*. USA: US Navy.

Vedlegg

Vedleggene til denne oppgaven leveres digitalt i Wiseflow. Dette gjøres slik at en kan se gjennom regnearkene som ligger bak resultatene.

Vedlegg 1.....	DNV Min.Op.Cond 80kts
Vedlegg 2.....	DNV Full.Op.Cond 80kts
Vedlegg 3.....	GL Cond 1 90kts
Vedlegg 4.....	GL Cond 2 90kts
Vedlegg 5.....	GL Cond 6 90kts
Vedlegg 6.....	Vindprofil Nom.Vind
Vedlegg 7.....	Sammenligning av formel
Vedlegg 8.....	Effekten av cos
Vedlegg 9.....	Nominell og konstant vind
Vedlegg 10.....	Lastekondisjon DNV Min.Op.Cond
Vedlegg 11.....	Lastekondisjon DNV Full.Op.Cond
Vedlegg 12.....	Lastekondisjon GL Cond 1
Vedlegg 13.....	Lastekondisjon GL Cond 2
Vedlegg 14.....	Lastekondisjon GL Cond 6
Vedlegg 15.....	Krysskurver med overbygg
Vedlegg 16.....	Krysskurver uten overbygg